



ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

В новой пятилетке предстоит решительно перестроить отраслевую науку, максимально приблизить ее к производству, укрепить материальную и особенно опытно-экспериментальную базы, оснастить современными приборами и научным оборудованием.



1987

МИНИСТЕРСТВО
ЭЛЕКТРОННОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
СБОРНИК

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

В. И. Жильцов
(главный редактор)

В. А. Афанасьев

С. С. Булгаков

Ф. И. Бусол

А. А. Васенков

Г. Г. Горбунова
(ответственный секретарь)

А. П. Грибачев

Б. Г. Грибов

Ю. Х. Гукетлев

Г. Я. Гуськов

Н. Д. Девятков

Г. М. Зверев

В. И. Иванов

А. И. Казьмин

Э. А. Лукин

Ю. Б. Митюшин

А. Р. Назарьян
(зам. главного редактора)

А. Г. Олейников

В. Д. Степанов

П. М. Стуколов
(зам. главного редактора)

В. М. Терехов

В. Е. Фетисов

О. В. Филатов

А. А. Чернышев

Трудящиеся электронной промышленности, руководствуясь стремлением увеличить свой вклад в ускорение социально-экономического развития страны, приняли на 1987 год следующие социалистические обязательства:

— выполнить 25 НИР приборов на новых принципах действия, оригинальных решениях;

— разработать 51 тип и освоить в производстве 38 типов бытовой РЗА, разработать 11 изделий медицинского назначения, 7 типов устройств для сельского хозяйства;

— завершить досрочно 3 работы по созданию высокопроизводительных средств вычислительной техники, в том числе обеспечить освоение серийного производства новой модели школьных классов и выпустить на базе этой модели не менее 1 тыс. классов;

— выполнить задание двух лет пятилетки по производству профессиональных и школьных микроЭВМ и накопителей на гибких магнитных дисках, освоить в производстве накопители на жестких магнитных дисках объемом 10 Мбайт досрочно; дополнительно изготовить 15000 накопителей на ГМД диаметром 133 мм;

— дополнительно выполнить 13 работ в области технологии, направленных на создание важнейших и приоритетных ИЭТ и повышение технического уровня производства;

— снизить технологические потери на 0,3% за счет внедрения новых технологических процессов, средств автоматизации и улучшения организации труда, в частности: создания гибких автоматизированных участков, внедрения станков с ЧПУ, в том числе типа "обрабатывающий центр", оборудования, управляемого микроЭВМ, и роторно-конвейерных линий, нового спецтехнологического, контрольно-измерительного и испытательного оборудования.

— демонтировать и передать в народное хозяйство более 2,5 тыс. универсальных металлорежущих станков;

— осуществить перевод предприятий отрасли на 2—3-сменный режим работы, повысив при этом коэффициент сменности металлообрабатывающего оборудования в основном производстве до 1,59 и рабочих до 1,6;

— выпустить продукции высшей категории качества на сумму не менее 2650 млн. руб.;

— обеспечить увеличение в 1,5 раза долговечности и ресурса 106 типов серийно выпускаемых ИЭТ;

— добиться увеличения наработки на отказ: по микрокалькуляторам — не менее 15000 ч, цветным кассетным видеоманитофонам — не менее 2000 ч, многофункциональным электронным часам — до 0,97 (вероятность безотказной работы), микроЭВМ типа "Электроника НЦ8001Д, ДМ" и БК00100И — не менее 15000 ч, устройствам ЧПУ — не менее 7500 ч, ДВК — не менее 10000 ч;

— провести на ряде предприятий экспериментальную аттестацию производства на соответствие требованиям международных стандартов и обеспечить подготовку ее проведения на остальных предприятиях отрасли;

— выполнить план двух лет пятилетки по росту производительности труда и по темпам роста объема производства досрочно;

— обеспечить сверхплановую экономию себестоимости продукции на сумму 50 млн. руб.;

— сберечь не менее 8,4 тыс. т проката черных металлов, 2,6 тыс. т цветных металлов и 2,2 млн. м хлопчатобумажной ткани;

— сэкономить 580 млн. квт.-ч электроэнергии и 1300 тыс. Гкал тепловой энергии;

— ввести в эксплуатацию: общей жилой площади — 759 тыс. кв. м, больниц — на 250 коек, профилакториев — на 1762 места, столовых — на 6000 мест, поликлиник — на 575 посещений, профтехучилищ — на 1680 мест, пионерских лагерей — на 1160 мест, детских дошкольных учреждений — на 5500 мест, очистных сооружений — на 20,9 тыс. куб.м/сут.;

— организовать фирменное техническое обслуживание видеоманитонов и персональных бытовых компьютеров не менее чем в 30 городах страны;

— перевыполнить в подсобных хозяйствах отрасли плановые задания по реализации мяса — на 3%, молока — на 10%;

— осуществить комплекс мер по снижению заболеваний трудящихся, предусмотренный программой "Здоровье".

Из социалистических обязательств коллективов предприятий и организаций отрасли на 1987 год

ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

1987 5

ИЗДАЕТСЯ С 1970 г. • ВЫПУСК (163)

OldPC.su

музей компьютеров

СОДЕРЖАНИЕ

- 3 *Жильцов В. И.* Отраслевая наука — направления перестройки
- 7 *Кобзарь А. И.* Основные задачи совершенствования управления научно-техническим прогрессом в условиях НИИ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

- 10 *Кобзарь А. И., Константинов Б. А., Марков В. И., Преображенский В. А.* Повышение уровня организации научно-технических разработок
- 11 *Аксенов А. И., Иванов В. И., Шульгин Е. И.* Совершенствование методов прогнозирования развития разработок ИЭТ
- 13 *Ланцов А. Ф., Широков Ю. Ф., Шульгин Е. И.* Новая методика оценки технического уровня ИЭТ
- 15 *Шульгин Е. И., Юсов Ю. П.* Физико-математическое моделирование параметрических отказов ИЭТ для оценки ресурса и его предельно достижимых значений
- 17 *Ланевский В. Е.* Опережающая унификация — основа разработки параметрических рядов ИЭТ
- 18 *Константинов Б. А.* Внедрение информационного моделирования — важное условие выполнения программ разработок и экономии ресурсов
- 20 *Гарба Л. С.* Проведение опытно-конструкторских разработок по форме А
- 22 *Ребров С. И.* Роль головных НИИ в развитии научно-технической деятельности
- 24 *Преображенский В. А.* Комплексный отдел планирования научно-технического прогресса в НПО

- 25 *Анненков В. В., Преображенский В. А.* Комплексные творческие коллективы — действенная форма ускорения НТП
- 26 *Савостьянов В. А., Ролдугин В. И.* Опыт работы НПО в условиях гибкого рабочего дня с применением автоматизированной системы учета рабочего времени
- 28 *Гохштанд А. Д.* Определение экономических результатов научно-технического прогресса в отрасли

ИССЛЕДОВАНИЯ. РАЗРАБОТКИ. МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

- 33 *Денисов А. Г.* Роль центров физико-химических исследований и высокоточных измерений в совершенствовании технологических процессов
- 34 *Денисов А. Г., Полонский Б. А., Протопопов О. Д., Соколов О. Б.* Комплексная установка для анализа поверхности методами рентгено-электронной и оже-спектроскопии
- 39 *Горбунов С. В., Паршин Г. Д., Чернобродов Е. Г., Шерозия Г. А.* Лазерный атомно-флуоресцентный спектрометр с лазерным отбором пробы для спектрального анализа
- 41 *Закурдаев И. В., Миловзоров Д. Е., Мучник М. Л., Шерозия Г. А., Ширяков В. А.* Лазерный атомно-ионизационный спектрометр для послыйного элементного анализа поверхности
- 42 *Волков С. С., Гутенко В. Т., Дмитриевский Ю. Е., Толстогузов А. Б., Трухин В. В.* Спектрометр обратнорассеянных ионов низких энергий и ионизированных атомов отдачи

- 44 *Долгов С. С., Дорошина Н. В., Китаева Т. И., Толстогузов А. Б.* Колонна первичного ионного пучка для масс-спектрометра вторичных ионов
- 47 *Аристархова А. А., Волков С. С., Исаева Т. Н., Машкова Т. М., Тимашев М. Ю.* Установка для исследования поверхности и эмиссионных свойств пленочных эмиттеров
- 49 *Денисов А. Г., Летохов В. С.* Получение особо чистых веществ методом селективной лазерной ионизации
- 52 *Копылов С. М., Лысой Б. Г., Михайлов Л. К., Серегин С. Л., Соловьев А. А., Спицын Е. М., Чердниченко О. Б.* Скоростные акустооптические спектрометры и их применение
- 54 *Мазалов И. Н., Самсонов К. Б., Тычинский В. П.* Измерительный комплекс для контроля микро-рельефа полупроводниковых структур
- 60 *Ступаченко А. А.* Банки данных интегрированных САПР
- 64 *Князев А. С., Пекач М. В., Тейтельбаум А. З.* "Дельта-2" — комплекс программ двумерного расчета структуры элементов СБИС
- 67 *Горлач Е. Г., Мезенцев М. Ю., Митаенко А. А., Пчельникова В. Л.* Маршрут автоматизированного проектирования и верификации топологии микропроцессорных СБИС
- 70 *Михалева Л. П., Рыжкова О. В., Тизенберг А. Р.* Система АСКТ для логического проектирования микропроцессорных СБИС и вычислительных систем на их основе

СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

- 56 *Власов А. М., Плотников В. В., Харин В. Н., Чекмарев В. П.* АРМ и ИГС нового поколения для САПР изделий микроэлектроники
- 58 *Харин В. Н.* Базовое программное обеспечение типовых САПР изделий микроэлектроники
- 3-я стр. обл. *Алтынбаев В. С., Сахнина Л. М.* Оптовая ярмарка — важный этап в формировании планов отрасли
- 4-я стр. обл. *Банников В. С., Безручко С. М., Кацур С. Ф., Саунин С. А., Шанов А. М.* Автоматизированный лазерный анализатор дефектности полупроводниковых пластин

СООБЩЕНИЯ

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

Публикация материала по совершенствованию управления научной деятельностью будет продолжена в последующих выпусках.

В СЛЕДУЮЩЕМ НОМЕРЕ

будут опубликованы статьи по материалам электронной техники, в частности по соединениям редкоземельных элементов, пригодных для использования в технологии микроэлектроники, позитивно-негативным фоторезистам для инверсной фотолитографии, магнитным сплавам, волоконно-оптическим и полимерным материалам различного назначения, а также по эффективным технологическим процессам и контрольно-измерительному оборудованию, применение которых обеспечивает улучшенные характеристики ИЭТ.

ОТРАСЛЕВАЯ НАУКА — НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕСТРОЙКИ

УДК [001.89]:621.38

В.И.Жильцов

Разработанная XXVII съездом КПСС стратегия интенсификации экономики страны на базе ускорения научно-технического прогресса для электронной промышленности означает повышение технического уровня изделий электронной техники и темпов их массового производства. Обеспечить решение этих стратегически важных задач призвана отраслевая наука.

Проблема повышения эффективности научной деятельности всегда находилась в центре внимания руководства отрасли. Министерство одним из первых внедрило программные методы планирования, организовало создание научно-производственных объединений, в которые в настоящее время входит большая часть НИИ и КБ. В отрасли зародились научно-производственные комплексы, значительная часть ОКР уже ряд лет проводится с совмещением их освоения на заводе, широкое распространение получили комплексные творческие бригады.

Важным организующим документом по совершенствованию системы управления отраслевой наукой стала "Программа повышения эффективности деятельности НИИ и КБ отрасли в 12-й пятилетке", утвержденная приказом министра, которая предусматривает широкий комплекс организационно-технических мероприятий, обеспечивающих:

- повышение технического уровня изделий;
- совершенствование системы планирования и управления НИИ и КБ отрасли;
- перевод НИИ и КБ на новые условия экономического стимулирования;
- усиление роли человеческого фактора в ускорении научно-технического прогресса.

В основу деятельности отрасли по повышению технического уровня изделий в 12-й пятилетке положена программа важнейших работ по развитию отрасли на период 1986—1995 гг., представляющая собой научно обоснованный прогноз развития ИЭТ до 1995 г., полученный в результате анализа достижений отечественной и зарубежной электроники. Программа включает широкий комплекс работ по всем направлениям электронной техники, необходимых для создания современных радиоэлектронных средств и аппаратуры.

Важным этапом в конкретизации заданий программы явилась разработка пятилетнего плана важнейших работ по изготовлению изделий электронной техники на период 1986—1990 гг., основу которого составили аппаратурно-ориентированные программы создания ИЭТ для новых поколений средств вычислительной техники, систем числового

программного управления, приборостроения, бытовой радиоэлектроники и многих других направлений народного хозяйства. В соответствии с этим планом составлен и утвержден план важнейших работ отрасли на 1987 г. Такая структура планов развития отраслевой науки призвана решить две первоочередные задачи: обеспечить разработку изделий высокого научно-технического уровня и сконцентрировать ресурсы отрасли на создании приоритетной продукции.

В целях обеспечения высоких темпов научно-технического прогресса в отрасли и приоритетного развития отечественной электроники в плане важнейших работ 1987 г. сформирован раздел "Наука", в который включены поисковые исследования по созданию научного задела на основе использования оригинальных отечественных научно-технических достижений, не имеющих зарубежных аналогов или превосходящих их по своим характеристикам. Работы этого раздела проводятся организациями АН СССР и Минвуза совместно с предприятиями электронной промышленности, что позволяет резко сократить время адаптации в отрасли наиболее важных достижений ученых Академии наук и вузов и быстрее освоить их в производстве. Раздел "Наука" в плане важнейших работ решает в определенной степени и вопрос материального поощрения авторов указанных новшеств уже на этапе научных исследований.

Большое значение для повышения технического уровня создаваемых изделий имеет внедрение в процесс разработки изделий методов информационного моделирования, под которым понимается построение структурной модели изделия с использованием типовой регламентированной технологии поиска и выбора предпочтительного пути создания требуемого изделия на основе известных технических решений или формирование обоснованного задания на поиск новых принципов и способов его создания. На современном этапе, когда наука и техника развиваются широким фронтом и происходит непрерывное взаимопроникновение различных их направлений, как правило, наиболее эффективными оказываются разработки на основе использования идей и технических решений, полученных в смежных отраслях. В этих условиях принятие оптимального решения обеспечивается не только специальными знаниями разработчика, но и тем, как он владеет технологией поиска и выбора нужного варианта. Информационное моделирование разработок уже на подготовительном этапе позволяет опре-

делить необходимость постановки новой работы и ее категорию, сформулировать направления деятельности с учетом самых современных достижений.

Внедрение информационного моделирования обеспечивает:

- снижение влияния квалификации разработчика на выбор направлений исследований;

- совершенствование системы формирования тематических планов разрабатывающих предприятий благодаря большей определенности планируемых исследований;

- сокращение продолжительности разработок;

- создание более целенаправленной системы информационного обеспечения разработчиков.

Разработка изделий электронной техники высокого технического уровня требует активного участия заказчиков в формировании идеологии создаваемых приборов, тестов и алгоритмов автоматизированного контроля, в создании средств контроля качества готовых изделий. В настоящее время такая работа регламентирована рядом отраслевых стандартов и там, где они выполняются, достигается высокое качество изделий, существенно сокращаются сроки разработки и подготовки производства для организации их серийного выпуска. Необходимо добиться, чтобы лучшие примеры сотрудничества с заказчиком стали правилом для всех разрабатывающих предприятий отрасли.

Одним из важнейших направлений повышения технического уровня выпускаемых отраслью изделий является работа по прямому применению международных стандартов. Разработаны и утверждены отраслевые программы работ, предусматривающие поэтапный пересмотр общих технических условий по всем классам изделий электронной техники.

Материалы XXVII съезда КПСС, последующие постановления партии и правительства по вопросам повышения технического уровня и качества выпускаемой продукции ориентируют на усиление персональной ответственности разработчиков за обеспечение указанных показателей. В связи с этим в отрасли создан институт главных конструкторов министерства по всем направлениям электронной техники, в состав которого вошли научные руководители головных НИИ и КБ, ведущие специалисты отрасли. На них возложена персональная ответственность за технический уровень изделий по закрепленным направлениям электронной техники. Им предоставлены такие права, как согласование планов научных исследований ведомых НИИ и КБ отрасли, утверждение технических заданий на разработку изделий по закрепленному направлению, утверждение технических условий на созданные изделия и др.

При главных конструкторах организованы научно-технические советы из числа ведущих специалистов отрасли, целенаправленная работа которых создает предпосылки для проведения активной научно-технической политики и обеспечивает формирова-

ние оптимальных путей построения аппаратуры, исключение дублирования разработок и концентрацию усилий разработчиков на решении важнейших задач с минимальными материальными затратами, углубление специализации ведомых НИИ и КБ и предприятий серийного изготовления и, в конечном счете, повышение технико-экономических показателей их деятельности.

XXVII съезд КПСС наметил пути совершенствования системы планирования и поставил задачу перехода к сквозному планированию научно-технического прогресса, укрепления взаимосвязи прогнозирования, перспективного и текущего планирования. Другими словами — система планирования должна быть нацелена на достижение конечного результата. Решение этой задачи требует серьезного совершенствования организации планирования научных исследований. В отрасли имеется положительный опыт в этом направлении. На ряде предприятий для обеспечения планирования непрерывного цикла "исследование—разработка—производство" созданы комплексные подразделения, объединившие в своем составе ранее разрозненные службы: технический отдел, плановый отдел, отдел новой техники и внедрения. Такое комплексное подразделение решает задачи создания научно-технических прогнозов развития, разработки и подготовки к утверждению пятилетних и годовых планов НИР и ОКР, разработки и организации выполнения планов новой техники и планов освоения в производстве новых разработок, а также организует методическое руководство и оперативный контроль за выполнением принятых планов с привлечением АСУ.

Многолетний опыт функционирования такой системы планирования на отдельных предприятиях показал их высокую эффективность: в 10—12 раз снизился объем плановой и отчетной документации; обеспечен комплексный характер планирования; все многообразие оперативных решений подчинено достижению конечного результата. Программа повышения эффективности НИИ и КБ отрасли в 12-й пятилетке предписывает организацию в них таких комплексных подразделений.

Существенным фактором повышения эффективности работы разрабатывающих предприятий отрасли стали автоматизированные системы управления. За годы 10—11-й пятилеток в этом направлении сделано много, и в настоящее время во всех НИИ и крупных КБ такие системы существуют, однако, как доказывает анализ, по эффективности они значительно отличаются друг от друга и в некоторых случаях не оправдывают капитальных затрат и затрат труда специалистов, которые привлекаются для их создания.

На основе обобщения положительного опыта функционирования автоматизированных систем управления в передовых НИИ и КБ разработаны и введены отраслевые стандарты "Автоматизированная система управления разрабатывающим предприятием" (ОСТ 11.091.451—80, ОСТ 11.091.325—77, ОСТ 11.091.452—80), которые предусматри-

вают единую "технология" выполнения работ с учетом особенностей предприятий; составление ресурсно обеспеченных годовых тематических планов НИИ и КБ; применение "прогнозного контура" в системе управления в целях активного непрерывного контроля и регулирования процесса выполнения НИР и ОКР; создание предпосылок для построения отраслевой АСУ планом важнейших работ с одновременным сокращением документооборота.

Программой повышения эффективности НИИ и КБ отрасли предусмотрено завершить внедрение указанных стандартов на всех разрабатывающих предприятиях в текущей пятилетке. Необходимо отметить, что наличие на предприятии АСУ в соответствии с отраслевыми стандартами стало обязательным условием социалистического соревнования между НИИ и КБ отрасли.

Как показал анализ работы НИИ и КБ в 10-й пятилетке, не все выполненные опытно-конструкторские разработки дошли до производства. Основными причинами этого являются недостаточная обоснованность необходимости проведения разработки; низкий технический и технологический уровень созданных приборов; отсутствие своевременной технической подготовки серийного производства. В связи с этим руководством отрасли принято решение о принципиальном изменении порядка выполнения опытно-конструкторских работ. План важнейших работ отрасли на 1987 г. предусматривает, что этап подготовки серийного производства ИЭТ становится неотъемлемой частью ОКР, которая заканчивается приемкой установочной партии на предприятии серийного изготовления. Такая организация ОКР, именуемая формой "А", позволяет повысить персональную ответственность разработчика за качество выполняемой работы и существенно сократить цикл "исследование—производство". Вместе с тем эта форма требует, чтобы в планируемую предприятиям номенклатуру изделий серийного изготовления был включен выпуск установочных партий. Работа по совместному выполнению разработки и освоению в производстве новых ИЭТ должна подкрепляться двусторонним договором института с заводом с утверждением конкретного плана проведения этой работы и установлением персональной ответственности за ее выполнение.

Одной из важных составляющих цикла "исследование—разработка—производство" является система автоматизированного проектирования (САПР), базирующаяся на современных вычислительных средствах. САПР служит центральной компонентой при создании интегрированного автоматизированного производственного комплекса АСУП—АСУТП—САПР—ГАП.

В настоящее время применение САПР позволяет не только сократить сроки проектирования, но и существенно повысить качество проектов, а разработка сложных изделий без их использования невозможна. Затраты на автоматизированное проектирование составляют около 50% себестоимости сложных ИЭТ, и в дальнейшем они будут

возрастать. В связи с особой важностью этих работ в отрасли созданы Совет главных конструкторов САПР и 14 рабочих групп по отдельным направлениям, которые решают задачи разработки методологии, архитектуры и использования интегрированных САПР, интерфейсных связей в цикле "управление—проектирование—производство".

Автоматизированное проектирование интенсивно внедряется во многие сферы деятельности, но наибольшее развитие оно получило в проектировании БИС. За последние два десятилетия максимальное количество компонентов на кристалле в среднем ежегодно удваивается и в настоящее время превышает 100 тыс.; ожидается, что плотность элементов на кристалле возрастет еще на два порядка. Поиск соответствующих методик проектирования и вычислительных ресурсов, которые позволят решить поставленные задачи, приводит к сквозному автоматизированному проектированию БИС с автоматическим выполнением отдельных этапов и обеспечением максимального уровня бездефектности проекта в целом.

Дальнейшее сокращение цикла "разработка—производство" СБИС должно основываться на организации связи САПР БИС с гибкими автоматизированными производствами. Так, например, при создании матричных БИС топология разрабатывается на основе САПР базового кристалла с помощью автоматизированного комплекса типа "Кулон" и получаемая при этом информация управляется электронно-лучевой установкой, что обеспечивает гибкость проектирования широкой номенклатуры матричных БИС и сокращение сроков проектирования с двух лет до 8—10 недель.

Действенным фактором повышения эффективности производства и качества продукции является научно-техническое и, в первую очередь, изобретательское творчество, направленное не только на совершенствование существующей техники и технологии, но и на создание принципиально новых изделий и технологических процессов.

Так, на базе 10 изобретений разработана и освоена в серийном производстве автоматическая установка совмещения и мультипликации ЭМ-584, предназначенная для выполнения операций прецизионной фотолитографии в производстве больших и сверхбольших интегральных схем. Годовой экономический эффект от применения одной установки составил 500 тыс. руб.

На основе 7 изобретений создан микропроцессорный комплект ТТЛШ серии 1802 из 12 СБИС для однопроцессорных и многопроцессорных систем повышенного быстродействия.

С использованием 13 изобретений разработана и освоена в короткие сроки конкурентоспособная технология изготовления фотошаблонов, организовано их промышленное производство, полностью удовлетворяющее потребность внутри страны и обеспечивающее экспорт в страны СЭВ (3 лицензии проданы в капиталистические страны).

Однако в настоящее время в отрасли находит применение только каждое третье

изобретение. Переход на новые условия хозяйствования создает реальные предпосылки для широкого использования в разработках эффективных изобретений. Их внедрение должно быть поставлено на плановую основу, увязано с планами внедрения новой техники, включаться в обязательные отчетные показатели работы предприятий и организаций.

Масштабы изобретательской деятельности в отрасли требуют привлечения к ее управлению вычислительной техники. Создаваемая автоматизированная система управления изобретательством, с одной стороны, будет сопрягаться с АСУ "Изобретение" Госкомизобретений, а с другой — с автоматизированной подсистемой планирования и управления НИОКР, что позволит вести учет на всех этапах — от начала создания изобретения до его промышленного использования, даст возможность оценить изобретательский уровень того или иного направления электронной техники, организовать отбор изобретений для первоочередного внедрения.

Широкие возможности материального поощрения творческой активности сотрудников НИИ и КБ отрасли открывает перевод разрабатывающих предприятий на новые условия экономического стимулирования, которые предполагают создание в НИИ и КБ по аналогии с промышленными предприятиями фондов экономического стимулирования.

Отчисления в фонды экономического стимулирования будут производиться из двух основных источников:

- в соответствии с утвержденным нормативом от фонда заработной платы каждой разработки;

- по твердому нормативу от экономического эффекта, полученного в результате внедрения мероприятий научно-технического прогресса за счет средств предприятия, на котором освоено новшество.

Нормативы отчислений от фонда заработной платы утверждены дифференцированно по каждому НИИ и КБ и в зависимости от важности и технического уровня выполняемой разработки они могут изменяться. Размер отчислений в фонды экономического стимулирования по этому источнику будет тем больше, чем выше приоритет разработки, технический уровень созданного прибора, чем лучше организовано взаимодействие с заказчиком и обеспечены плановые или договорные сроки выполнения работы. Безусловно с введением этой системы в выигрышном положении окажутся предприятия, которые ведут разработки, обеспечивающие приоритетные работы, имеют высокий уровень организации и культуры управления, широко используют передовые достижения науки и техники. Напротив, трудно будет тем коллективам, которые проводят случайные работы, не выполняют обязательств перед заказчиком.

Ускорение научно-технического прогресса призвано сыграть определяющую роль в улучшении технико-экономических показателей производства, обеспечить интенсификацию технических факторов увеличения

производительности труда и снижения себестоимости выпускаемой продукции при одновременном повышении ее качества и технического уровня. В этих условиях особую важность приобретает экономическое стимулирование деятельности НИИ и КБ отрасли со стороны промышленных предприятий. Введение твердого норматива отчислений в ФЭС НИИ и КБ от экономического эффекта, полученного вследствие внедрения результатов научно-технического прогресса на промышленном предприятии, создает твердую основу экономических отношений партнеров. Такая форма взаимоотношений НИИ и КБ с предприятиями в условиях нового хозяйственного механизма, основанного на принципах самокупаемости и самофинансирования, должна стать определяющей, однако она еще не получила необходимого развития.

В материалах XXVII съезда КПСС, последующих решениях партии и правительства большое внимание уделено человеческому фактору ускорения научно-технического прогресса. Это очень широкое понятие, включающее целый ряд составляющих, из которых для решения проблемы совершенствования управления научными исследованиями наиболее важны:

- неформальные отношения в условиях творческого процесса;

- расширение гласности в оценке эффективности деятельности специалистов;

- организация процесса исследований и "личное время".

Эффективность создания и освоения новой техники в значительной мере определяется уровнем организации и управления этими процессами.

В настоящее время на ряде предприятий отрасли накоплен определенный опыт применения бригадных форм труда в научно-исследовательских коллективах, который показал, что с помощью комплексных творческих бригад можно в кратчайшие сроки решать сложные научно-технические задачи по созданию и освоению в производстве новой техники, не прибегая при этом к болезненной ломке организационной структуры предприятия. При этом существенно возрастает значение моральных стимулов. Как правило, бригады комплектуются из числа наиболее квалифицированных и дисциплинированных ИТР и рабочих, способных выполнять поставленные перед ними сложные задачи. Поэтому сам факт участия в бригаде является престижным для специалиста, расценивается как признание его способностей выполнять наиболее ответственные работы.

Анализ деятельности комплексных творческих бригад выявил следующие их преимущества перед традиционными формами труда:

- четко планируется конечный результат;

- в 1,5—2 раза сокращаются сроки создания и освоения новой техники;

- в 5—10 раз уменьшается время принятия оперативных решений в ходе разработки;

— углубляется дифференцирование материального вознаграждения по результатам труда;

— улучшается моральный климат в коллективе.

В последнее время бригадная форма организации труда вышла за пределы одного объединения или предприятия: созданы временные межотраслевые научно-технические коллективы для решения важных народно-хозяйственных задач. Их деятельность показала перспективность такого подхода к организации работ по эффективному сближению науки и производства.

Важное место в повышении результативности деятельности НИИ и КБ должна занять гласность в оценке труда каждого инженерно-технического работника. При подведении итогов работы за квартал, год, пятилетку следует не только чествовать победителей соцсоревнования, передовиков науки и труда, но и выносить на всеобщее обсуждение работу тех, кто по существу является балластом коллектива.

На ряде предприятий отрасли действует система регулярного проведения смотров эффективности инженерного труда, которые позволяют выявить как наиболее эффективно работающих специалистов, так и тех, кто на деле не оправдывает своего инженерного звания. Такие работники в соответствии с "Законом о трудовых коллективах" проходят внеочередную аттестацию и им предоставляется работа в соответствии с их реальными способностями. Подобные смотры содействуют повышению творческой активности специалистов, их ответственности за порученный участок работы, способствуют улучшению морального климата в коллективе.

Партия и правительство всегда уделяли особое внимание удовлетворению широкого круга социально-бытовых потребностей трудящихся. Программа социального развития и повышения народного благосостояния в 12-й пятилетке предусматривает обширный комплекс мер по повышению общеобразовательного и культурного уровня подрастающего поколения, улучшению здоровья каждого человека, укреплению советской семьи. В связи с этим возникает проблема оптимального сочетания рабочего и личного времени работника, которая наиболее полно решается введением режима гибкого рабочего дня. Такая форма организации труда позволяет снизить утомляемость работающего, обеспечивает оптимальное сочетание общественных и личных интересов, стимулирует улучшение конечных результатов производства. С введением режима гибкого рабочего дня на предприятиях резко снижается текучесть кадров и повышается эффективность использования рабочего времени.

Решение рассмотренных выше задач будет способствовать интенсификации деятельности НИИ и КБ отрасли, позволит укрепить связь науки с производством, обеспечит более быстрое прохождение научных идей от зарождения до широкого применения на практике.

Статья поступила 17 апреля 1987 г.

УДК 001.89

А.И.Кобзарь

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИМ ПРОГРЕССОМ В УСЛОВИЯХ НИИ

На основе опыта работы одного из отраслевых НИИ даны предложения по совершенствованию управления научно-технической деятельностью разрабатываемого предприятия.

Важную роль в ускорении научно-технического прогресса (НТП) играет улучшение системы планирования и управления. Наиболее сложна проблема управления НТП, что связано в первую очередь с высоким динамизмом объекта управления, необходимостью оперативно реагировать на быстроменяющуюся ситуацию, изменять не только тактику, но и стратегию воздействия на управляемый объект. Поэтому система управления наряду с комплексностью должна обладать гибкостью и оперативностью. Под комплексностью в данном случае следует понимать охват всех аспектов управления, включая совершенствование его организационной структуры, принятие управляющих решений, применение обоснованной нормативной базы, моральное и материальное стимулирование, компьютеризацию процессов управления и т. п.

Первый этап любого управления — формирование совокупности целей, на которые должна ориентироваться научно-техническая деятельность НИИ и которые отражаются в научно-технических программах, являющихся основой разработки и оптимизации текущих (годовых) планов НИР и ОКР. Поэтому важнейшими задачами управления являются: организация работы разрабатываемого предприятия в области программно-целевого планирования и управления, обоснование организационно-технических процедур формирования программ, в том числе распределение ответственности между подразделениями предприятия за выполнение работ по формированию научно-технических программ, организация взаимодействия подразделений, оптимизация информационных потоков и форм документации, отражающих этапы формирования программ. Опыт деятельности НИИ в указанном направлении обобщен в работах [1, 2].

Одним из методов повышения обоснованности принимаемых предплановых решений является метод информационного моделирования [3].

Новая идея, как правило, представляет собой синтез известных или известных и новых, в исключительных случаях — только новых технических решений. Качество разрабатываемого изделия, стоимость, эффективность процесса его создания определяют степень использования в нем лучших достижений мировой науки и техники. Поиск и применение новых принципов допу-

стимулы лишь в том случае, когда получение заданного качества изделия на основе уже известных решений не представляется возможным. Неудачно выбранный путь создания нового изделия ведет к снижению его качества, увеличению стоимости и продолжительности разработки.

На практике выбор варианта технического решения, как правило, осуществляется единолично руководителем разработки. При этом основным критерием выбора является обеспечение технических параметров изделия, а учет таких важных показателей, как стоимость и продолжительность разработки, конкурентоспособность, технологичность носит случайный характер.

Для целенаправленного воздействия на качество изделий и повышение эффективности процесса разработки необходимо создание специальной технологии поиска, отбора и оценки информации, обеспечивающей:

— анализ, оценку и контроль качества изделия и эффективности процесса его разработки при выборе технического решения на основе единой системы критериев;

— безусловное использование в создаваемом изделии лучших достижений науки и техники применительно к специфике, научным и производственно-технологическим возможностям предприятия-разработчика и предприятия-изготовителя;

— обоснованный выбор предпочтительного варианта технического решения с минимальными затратами, максимальной механизацией и автоматизацией технологических процессов и применением ЭВМ, предшествующий определению категории работы и включению темы в план НИР и ОКР предприятия.

Информационное моделирование обеспечивает построение структурной модели изделия с использованием типовой технологии выбора предпочтительного пути его создания на основе известных технических решений или формирование научно обоснованного задания, направленного на поиск новых принципов и способов создания этого изделия. Результатом моделирования является информационная модель изделия или иерархическая структура проблем, которые необходимо решить при его разработке, проект ТЗ на НИР (ОКР) и обоснование выбранного пути создания изделия с оценкой его возможных показателей качества.

Разрабатывающее предприятие как производственная система работает в условиях ограниченных ресурсов и должно одновременно выполнять значительное количество разработок, поэтому необходимо применять специальные методы оптимизации и использовать вычислительную технику, что позволит количественно оценить качество принятия решений.

Процесс формирования годового тематического плана предприятия и его оптимизация сводятся к достижению баланса между нагрузкой предприятия и его мощностями. Методической основой оптимизации плана являются математические методы планирования эксперимента, позволяющие установить связь между научно-техническими характеристиками НИР и ОКР и величиной

необходимых для их достижения ресурсов, и специальные алгоритмы составления расписаний, используемые для формирования планов НИР и ОКР, удовлетворяющих ограничениям по ресурсам и обеспечивающих наибольшую эффективность разработок.

Основой для анализа соотношения между нагрузкой и мощностями подразделений должны быть нормативы трудоемкости НИР и ОКР, разработанные на базе типовых сетевых моделей, отображающих "технологический маршрут" выполнения НИР и ОКР различной направленности. Номенклатура элементарных работ и нормативы трудоемкости и продолжительности их выполнения приведены в типовом перечне.

Совокупность сетевых моделей НИР и ОКР является обобщенным образом тех объектов, разработки которых составляют тематический план предприятия. Каждая сетевая модель включает 500–600, а план НИР и ОКР — несколько тысяч элементарных работ. Сочетание этих работ представляет собой информационный массив, на основе которого осуществляется текущее планирование деятельности подразделений и оперативное управление выполнением годового тематического плана.

Текущее планирование заключается в формировании оперативно-календарных планов по темам, расчете и оптимизации загрузки подразделений с учетом ресурсных ограничений, формировании квартальных планов разрабатывающих подразделений и обеспечивающих служб предприятия. Оперативное управление ходом НИР и ОКР предполагает постоянный контроль и учет выполнения элементарных работ сетевых моделей, регулирование проведения разработок, анализ и оценку выполнения квартальных планов подразделений.

Текущее планирование требует переработки больших массивов информации, а оперативное управление — оперативной обработки информации, относящейся к различным сторонам деятельности разрабатывающего предприятия, что может быть обеспечено лишь на базе использования современных средств вычислительной техники. Применение ЭВМ при решении задач управления — основа создания автоматизированной системы управления разрабатывающим предприятием (АСУРП), призванной обеспечить эффективное его функционирование.

В функции АСУРП, кроме текущего планирования НИР и ОКР с использованием средств и методов сетевого планирования, управления и оптимизации планов, планирования деятельности НИИ, контроля и регулирования НИР и ОКР, входит организация работ по нормированию, управлению качеством разработок, метрологическому обеспечению, формированию и оптимизации плана опытного производства, контролю и регулированию его выполнения, анализу и оценке деятельности подразделений предприятия и отдельных исполнителей, моральному и материальному стимулированию, материально-техническому снабжению и др. Основные функции, структура, информационное

обеспечение АСУРП, принципы обработки информационных потоков с использованием ЭВМ рассматриваются в работах [4–6].

Эффективному функционированию системы управления во многом способствует рациональное использование морального и материального стимулирования.

Как правило, в основе оценки результатов работы подразделений разрабатывающего предприятия лежат экономические показатели (общий объем работ, объем собственных работ, обеспечение плановых соотношений между госбюджетными и хозяйственными средствами, выполнение сметы затрат и т. д.). При отсутствии достаточно объективной нормативной базы (в отличие, например, от промышленных предприятий) подобная оценка в большинстве случаев теряет свою эффективность, так как зачастую плохо коррелируется с такими важными показателями, как научно-технический уровень разработок, качество создаваемой продукции, ее патентная чистота и т. д.

Моральное и материальное стимулирование подразделений разрабатывающего предприятия должно основываться на анализе таких сторон их деятельности, как качество разрабатываемой и выпускаемой продукции, трудоемкость ее изготовления, материало-емкость, исполнительская дисциплина.

Комплексное совершенствование всей системы управления научно-техническим прогрессом в условиях НИИ включает и улучшение организационных форм управления.

Практика показывает, что расчленение единого процесса управления НИР и ОКР между различными подразделениями, взаимодействующими между собой не непосредственно, а через следующие по уровню звенья управления, приводит к снижению оперативности управления и не ориентирует на конечный результат деятельности НИИ.

В работе [7] рассматривается новая, "целевая" структура организации НИР и ОКР, направленная на управление конечными целями всего предприятия, а не его отдельных подразделений и реализованная в виде единого комплексного отдела, в рамках которого сосредоточено управление всем жизненным циклом изделий — от формирования научно-технических целей НИИ до их освоения в производстве. К основным задачам такого комплексного отдела относятся: разработка прогнозов развития научно-технических направлений; методическое и организационное руководство формированием и выполнением научно-технических программ развития техники по закрепленным за предприятием научно-техническим направлениям; разработка и утверждение годовых планов НИР и ОКР; организационно-техническое сопровождение плана НИР и ОКР; планирование и контроль работы подразделений по выполнению тематического плана на основе методов СПУ; оперативный и статистический учет выполнения планов НИР и ОКР; контроль хозяйственной деятельности подразделений НИИ; разработка, оформление, утверждение и контроль выполнения планов новой техники

и повышение эффективности производства НПО; анализ экономической эффективности планов НИР и ОКР, плана новой техники; разработка, оформление, утверждение и контроль выполнения планов освоения новых изделий в производстве; координация деятельности подразделений НИИ по межотраслевым связям и связям с министерством.

Совершенствование системы управления исследованиями и разработками не исчерпывает проблемы повышения эффективности работы НИИ. Улучшение качества выполнения НИР и ОКР, сокращение продолжительности цикла "исследование—разработка—производство" — сложная комплексная задача, решение которой зависит и от внедрения новых форм организации труда, в частности бригадной формы [8], непосредственно в сферу разработки и освоения производства новой техники.

Одной из таких форм, хорошо зарекомендовавших себя в НИИ, является комплексный творческий коллектив (КТК), представляющий собой временный коллектив специалистов различных профилей и квалификации, совместно обеспечивающих достижение поставленной цели, несущих индивидуальную и коллективную ответственность за своевременное и качественное выполнение задания. С помощью КТК можно в кратчайшие сроки решать сложные научно-технические задачи по созданию и освоению в производстве новой техники, не прибегая при этом к болезненной ломке организационной структуры предприятия.

Как показывает практика, комплексное решение перечисленных выше задач существенно повышает эффективность работы НИИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обзоры по электронной технике: Программно-целевой метод управления в науке/Г.М.Добров, В.И.Жильцов, А.И.Кобзарь и др.— М.: 1974.— Вып. 3. Сер. 9. АСУ — 60 с.
2. Программное планирование и управление разработками в условиях НИИ(КБ)/В.И.Жильцов, А.И.Кобзарь, Б.А.Константинов, Н.В.Кононов.— Электронная промышленность, 1974, вып. 6, с. 105—111.
3. Информационное моделирование — путь повышения качества новой техники/В.И.Жильцов, Н.И.Ермаков, А.И.Кобзарь, Н.В.Кононов.— Электронная техника. Сер. 9. ЭИСУ, 1977, вып. 4, с. 25—32.
4. Автоматизация управления научно-производственным комплексом/В.И.Жильцов, В.И.Марков, А.Н.Никольский, И.З.Фельдман.— Электронная промышленность, 1980, вып. 2, с. 36—40.
5. Ж и л ь ц о в В.И. АСУ «Прогресс» — основные принципы и опыт эксплуатации.— Электронная промышленность, 1982, вып. 3, с. 17—20.
6. Интегрированная автоматизированная система управления «НИИ — опытный завод»/В.И.Жильцов, Б.А.Константинов, В.И.Марков, И.З.Фельдман.— Электронная техника. Сер. 9. ЭИСУ, 1977, вып. 4, с. 83—88.
7. П р е о б р а ж е н с к и й В.А. Комплексный отдел планирования научно-технического прогресса в НПО.— См. наст. вып., с. 24.
8. Опыт использования бригадной формы организации труда при создании и освоении новой техники/В.В.Аненков, В.И.Жильцов, А.И.Кобзарь, В.А.Преображенский.— Технология, экономика, ВИМИ, 1984, вып. 1, с. 33—38.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

УДК 658.012.011.56:658.5

**А.И.Кобзарь, Б.А.Константинов, В.И.Марков,
В.А.Преображенский**

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ОРГАНИЗАЦИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК

Одним из действенных средств управления научно-техническим прогрессом в НПО является АСУ разрабатывающего предприятия (АСУРП), основанная на широком применении методов и средств вычислительной техники. В рамках АСУРП осуществляется координация деятельности всех основных и обеспечивающих служб предприятия по созданию и внедрению в производство новых разработок. Эффективное выполнение этой задачи требует объединения всех функций планирования и управления НТП в одном комплексном подразделении, включающем в себя такие ранее самостоятельные отделы, как научно-тематический, плановый, новой техники, внедрения, а также лабораторию сетевого планирования и управления. В результате организации комплексных отделов планирования на передовых предприятиях отрасли создана единая система планирования и управления по всему циклу «исследование—разработка—производство». Опыт показал, что при этом достигается повышение качества планов и управленческих решений по их выполнению и, как следствие, значительное улучшение показателей деятельности предприятия. В качестве примера рассмотрим отдельные элементы действующей АСУРП и их вклад в ускорение НТП и повышение технического уровня разработок.

Созданию АСУРП предшествовало внедрение на предприятии научных методов перспективного планирования на основе комплексных программ, охватывающих более 80% НИР и ОКР, что дало возможность резко уменьшить перерывы между стадиями цикла «исследование—разработка—производство» и более чем на год сократить его продолжительность. Кроме того, программное планирование позволило повысить обоснованность выбора целей НИОКР благодаря глубокой проработке с заказчиками и потенциальными потребителями вопросов применения новых видов изделий, в результате чего количество законченных разработок, находящихся применение в народном хозяйстве, возросло с 60 почти до 100%. Это обеспечивает высокие темпы прироста объемов новой продукции и быстрое обновление номенклатуры выпускаемых ИЭТ. Технические параметры разрабатываемых изделий на момент их освоения в производстве устанавливаются с учетом прогнозов мировых достижений, т.е. высокий научно-технический уровень новых изделий закладывается уже в перспективных планах.

Долгосрочные научно-технические программы реализуются через годовые планы НИОКР и освоения новых изделий с помощью АСУРП, обеспечивающей оперативную переработку огромного количества информации, увязку тысяч проводимых одновременно элементарных работ по сотням выполняемых НИОКР, контроль за ходом их выполнения, принятие решений по регулированию хода работ, проведение плановых расчетов. Методической основой оперативного планирования и управления является сетевое планирование.

Практика показала, что надежное и эффективное оперативное планирование и управление возможны только при условии типизации процесса разработок по основным видам НИОКР (приборам, технологиям, материалам и т.д.) и создания нормативной базы, устанавливающей продолжительность выполнения и трудоемкость работ. Типовые сетевые модели включают в себя все работы, предусмотренные государственными и отраслевыми стандартами при проведении НИОКР данного вида, от согласования и утверждения технического задания до списания с баланса затрат по законченной теме. Степень детализации типовых сетевых моделей определяется исходя из организационной структуры предприятия и требований объективного контроля сроков выполнения и качества работ, который осуществляется при передаче из одного структурного подразделения в другое. Акт приема-передачи результатов работы фиксируется в АСУРП отдельным документом — «запросом-отчетом о выполнении работы», который после подписи у лица, принимающего и оценивающего эту работу, исполнитель обязан сдать в комплексный отдел планирования не позже планового срока выполнения работы. В случае непредставления подписанного «запроса-отчета» в срок работа считается невыполненной. Таким образом обеспечивается непрерывный контроль элементарных работ и, следовательно, всей темы в целом.

Для принятия управленческих решений при отклонении сроков выполнения работ от плановых целесообразно ввести так называемый «прогнозный контур», позволяющий выявлять отклонения до истечения плановых сроков окончания работ. С этой целью при помощи ЭВМ формируется перечень работ, проводимых в заданном плановом периоде (месяце, квартале), по которым через каждые две недели выдаются «запросы о ходе выполнения» по специальной форме. Если ожидаемый срок выполнения соответствует плановому, исполнитель подтверждает это своей подписью в запросе, если превышает плановый, то он проставляется в соответствующей графе запроса. Далее составляется перечень работ, по которым ожидается отклонение от плановых сроков, и комплексный отдел планирования требует от руководителей этих работ ликвидировать отставание от установленных сроков, а по нерешенным вопросам организует рассмотрение их у руководства предприятия. Таким образом, использование «прогнозного контура» в

АСУРП позволяет значительно повысить устойчивость плана и исполнительскую дисциплину.

Однако система контроля за ходом работ не в состоянии обеспечить выполнение плана, если план не сбалансирован по ресурсам. Несмотря на объективные трудности в нормировании творческой деятельности при планировании НИОКР, создание нормативов для прикладных работ вполне возможно, поскольку процесс их выполнения достаточно регламентирован и отображается типовыми сетевыми моделями. Анализ моделей показал, что до 85—90% от общего количества элементарных работ могут быть пронормированы, так как представляют собой многократно повторяющиеся операции. Для практических целей достаточно иметь нормативы трудоемкости и продолжительности работ, полученные путем обработки результатов экспертных оценок проведенных специалистами с большим опытом работы.

Наличие нормативов позволяет в условиях АСУРП рассчитывать загрузку подразделений по всем НИОКР и проводить ее оптимизацию в пределах планового периода (года, квартала). В большинстве случаев достаточно оптимизировать тематический план предприятия по одному параметру — напряженности планов подразделений, определяемой как отношение трудоемкости выполняемых подразделением работ к его плановой мощности. Другие виды ресурсов (финансовые, материальные) могут быть привлечены в необходимых количествах в любом плановом периоде.

Формирование тематического плана, обеспеченного необходимыми ресурсами, в сочетании с системой непрерывного контроля за ходом выполнения работ в условиях АСУРП является одним из важнейших факторов, обеспечивающих своевременность выполнения и высокое качество разработок.

АСУРП не только повышает эффективность управления разработками, но и в значительной мере разгружает специалистов от выполнения работ, связанных с подготовкой плановой документации, позволяя сконцентрировать все эти работы в комплексном отделе планирования. В результате объем плановой документации удается сократить в 10—12 раз, а годовую трудоемкость соответствующих работ на 3500 чел.-дней.

Для надежного и четкого функционирования АСУРП необходимо полнее учитывать влияние человеческого фактора. Размеры материального вознаграждения исполнителей должны находиться в прямой зависимости от сроков и качества выполнения работ в соответствии с сетевыми моделями. Именно эта зависимость обеспечивает в АСУРП своевременное поступление «запросов-отчетов» и «запросов о ходе выполнения» работ. Однако оперативная информация отражает лишь количественную сторону деятельности исполнителей, по которой можно судить о соблюдении плановой дисциплины, и не содержит данных о техническом уровне разработки, новизне, приоритетности технических решений и т.п., в то время как показатели качества должны стать основными в системе материального стимулирования. К числу таких показателей следует отнести: долю НИОКР, выполненных подразделением на уровне лучших мировых образцов, объем продукции высшей категории качества и изделий с использованием изобретений в общем

количестве разработок подразделений за отчетный период.

Больше внимания следует уделять моральному стимулированию работников, используя такие формы повышения творческой активности, как ежегодные смотры эффективности инженерного труда и конкурсы лучших разработок.

Статья поступила 19 февраля 1987 г.

УДК 001.18:[001.89:621.38]

А.И.Аксенов, В.И.Иванов, Е.И.Шульгин

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ РАЗРАБОТОК ИЭТ

Важнейшим фактором ускорения научно-технического прогресса является совершенствование методов управления техническим уровнем создаваемых изделий, характеризующим конечные результаты деятельности главных конструкторов, головных НИИ и КБ.

В отрасли эта функция управления регламентируется комплексом методик определения перспектив развития технического уровня разработок и организационно-технических методик планирования и управления.

При разработке технической политики ускорения возникает проблема установления пропорциональных и сбалансированных рубежей ускоренного роста технического уровня по всем взаимосвязанным направлениям развития на базе научно обоснованного определения перспективного технического уровня, которое является результатом прогностических исследований всех уровней и предшествует созданию перспективного и текущего планов отрасли, увязывающих требования разработчиков РЭА, тенденции развития мировой электроники и отраслевые ресурсы.

В целом сложившаяся в отрасли система управления техническим уровнем и ее методический аппарат обеспечивают скоординированную деятельность головных НИИ и разработчиков РЭА по установлению краткосрочных и долгосрочных рубежей развития на основе анализа и прогнозирования технического уровня отечественной и зарубежной электроники. Однако решение задач ускорения по каждому направлению электронной техники выдвигает повышенные требования к научнотехнической обоснованности и точности прогноза. Для выполнения этих требований необходим пересмотр с позиции системного подхода как структуры методического аппарата в целом, так и основополагающих методик управления техническим уровнем.

Системный подход в данном случае заключается в переходе от традиционной структуры и содержания методов анализа и прогнозирования к созданию эффективно функционирующей отраслевой системы комплексного непрерывного прогнозирования технического уровня направлений электронной техники. Комплекс

ность прогнозирования требует взаимоувязанного на всех этапах определения перспективного технического уровня разработок ИЭТ (основной прогноз) и обеспечивающих эти разработки материалов, технологии, оборудования, САПР и пр. (вспомогательный прогноз), которое дополнительно к имеющимся методам анализа и прогнозирования включает:

— исследования физико-технических ограничений при разработке новых ИЭТ, материалов ЭТ, технологии, архитектурных решений и пр. и определение предельно достижимых значений (ПДЗ) важнейших показателей технического уровня изделий и разработок, в том числе основанных на новых принципах;

— системный анализ направленности и результатов важнейших поисковых исследований, в том числе основанных на новых принципах.

Концепция комплексного непрерывного прогнозирования (см. рисунок) предусматривает изучение зависимости динамики изменения технических параметров ИЭТ от динамики изменения технических параметров технологических разработок и соотношения прогнозируемых технических параметров с предельно достижимыми значениями, результатами поисковых НИР и перспективными требованиями разработчиков РЭА. Кроме указанных факторов, на прогнозируемые значения технических параметров ИЭТ влияют временные интервалы «запаздывания» между достигнутым уровнем технологических разработок, уровнем поисковых НИР и техническим уровнем ОКР, т.е. сроки внедрения научно-технических достижений при разработке ИЭТ.

Важной составной частью комплексного непрерывного прогнозирования является ретроспективный анализ технического уровня лучших мировых достижений и основанный на нем краткосрочный прогноз с использованием методов экстраполяции. Являясь исходным уровнем при разработке долгосрочных прогнозов, краткосрочный прогноз, составляемый на всех

этапах НИОКР и по каждому направлению, обеспечивает непрерывность прогнозирования и позволяет оперативно учитывать появление новых мировых достижений и тенденций в развитии электроники, что повышает научно-техническую обоснованность и точность определения перспектив развития на длительный период.

Внедрение комплексного непрерывного прогнозирования и формирование на его основе главными конструкторами отрасли эффективной научно-технической политики ускорения требует незамедлительной разработки научно-методического аппарата и проведения комплексных исследований по всем направлениям. Несмотря на большое разнообразие ИЭТ методы этих исследований содержат ряд общих для всех типов изделий этапов.

Так, при определении ПДЗ первым общим этапом является выделение важнейших технических показателей, анализ факторов, влияющих на технический уровень изделия, выделение из них определяющих, установление функциональной связи между техническими параметрами определяющих факторов (уровнем технологии, оборудования, характеристик материалов и пр.) и техническими показателями изделий.

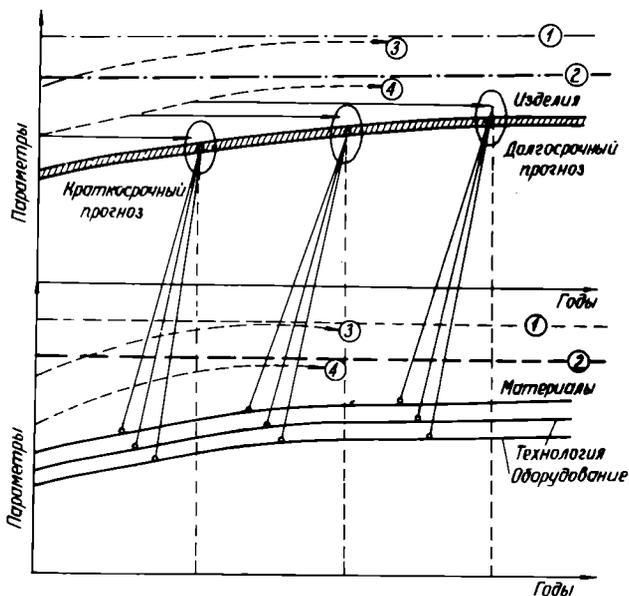
Далее вычисляются предельные значения определяющих факторов. Это важнейший этап исследований, представляющий собой самостоятельную научно-техническую задачу, решение которой требует проведения ретроспективного анализа роста технического уровня определяющих факторов, физико-математической формализации этого роста, получения количественных выводов по результатам теоретических и экспериментальных исследований. Пересчет полученных результатов по установленным функциональным зависимостям позволяет определить ПДЗ важнейших технических параметров изделий.

Знание ПДЗ разработок необходимо для установления рубежей их развития, которые, однако, могут отличаться от ПДЗ по технико-экономическим и другим причинам. В связи с этим особую важность приобретает следующий этап, на котором исследуется эффективность, полученная от применения в РЭА изделий с ПДЗ и проводится технико-экономический анализ целесообразности достижения предельных значений технических показателей разрабатываемых изделий. По результатам этого этапа исследований устанавливаются научно- и технико-экономически обоснованные значения рубежей развития ИЭТ.

Проведение исследований по предлагаемой схеме позволяет не только определить ПДЗ и установить рубежи развития разработок по основным направлениям, но и наметить пути их достижения.

Составной частью исследований по определению ПДЗ является системный анализ направленности и результатов поисковых НИР по достижению ПДЗ, основанный на оценке разности между предельно достижимыми и достигнутыми в НИР значениями важнейших показателей.

Если методики определения ПДЗ и оценки научно-технического уровня поисковых НИР еще разрабатываются, то в качестве методического обеспечения непрерывного краткосрочного прогнозирования может быть использована



Основные принципы научно-технического прогнозирования развития разработок ИЭТ: ПДЗ разработок (1) и поисковых НИР (3) на новых принципах; ПДЗ разработок (2) и поисковых НИР (4) на существующих принципах

уже внедренная в отрасли новая методика оценки технического уровня разработок ИЭТ*, в которой за базу сравнения при оценке принимаются результаты краткосрочного прогноза лучшего мирового технического уровня. Внедрение такой методики в качестве отраслевого стандарта должно активизировать работу главных конструкторов и головных НИИ по краткосрочному прогнозированию, повысить его научно-техническую обоснованность и придать ему непрерывный характер.

Таким образом, системный подход к совершенствованию научно-методической базы комплексного прогнозирования развития электронной техники позволяет заключить, что основу такого прогнозирования должны составить следующие элементы:

- непрерывное краткосрочное прогнозирование при оценке технического уровня прикладных НИОКР;
- определение и учет при периодическом долгосрочном прогнозировании предельно-достижимых значений важнейших показателей технического уровня ИЭТ, в том числе созданных на новых принципах;
- непрерывная оценка и системный анализ направленности, научно-технического уровня и результативности поисковых НИР по достижению ПДЗ, в том числе основанных на новых принципах;
- обеспечение комплексного, взаимоувязанного на всех этапах прогнозирования технического уровня разработок ИЭТ, материалов, технологий, архитектуры, САПР и пр. с учетом перспективных требований разработчиков РЭА.

Использование предложенных методических рекомендаций при прогнозировании обеспечит научно обоснованное определение перспектив развития важнейших направлений электронной техники.

* Ланцов А.Ф., Широков Ю.Ф., Шулъгин Е.И. Новая методика оценки технического уровня ИЭТ.— См. следующую статью.

Статья поступила 6 февраля 1987 г.

УДК 001.89:621.38.012.2.001.24

А.Ф.Ланцов, Ю.Ф.Широков, Е.И.Шулъгин

НОВАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ИЭТ

Для ускорения научно-технического прогресса большое значение имеет разработка нового методического подхода к оценке технического уровня изделий [1], поскольку существующие методы оценки прямым сравнением разрабатываемых изделий с серийно выпускаемыми зарубежными позволяли заранее (при планировании и разработке) закладывать отставание от мирового уровня.

В целях решения этой задачи в отрасли завершена разработка новой методики оценки технического уровня ИЭТ. В ней впервые реализован принципиально новый методический подход к оценке, включающий сравнение параметров разрабатываемого (оцениваемого) изделия ($P_{оц}$) с прогнозируемыми на момент его освоения лучшими мировыми достижениями, а также формирование базы сравнения (перспективного образца) с учетом вида, назначения разработки и специфики развития направлений электронной техники.

Впервые формализовано понятие «перспективный образец» через экстраполяционные коэффициенты ускорения K и конкретизировано их выражение через Δt — интервал времени от момента появления лучшего мирового достижения (лучшего аналога) до окончания освоения оцениваемого изделия в производстве. При этом значения показателей перспективного образца R_n выражаются в зависимости от коэффициента ускорения K и значений показателей лучшего аналога P_n в виде:

$$P_n = K \cdot P_n,$$

а коэффициент ускорения K в зависимости от Δt в общем случае — в виде:

$$K = 1 + f(a, \Delta t),$$

где $f(a, \Delta t)$ — экстраполяционная функция; a — динамический коэффициент, характеризующий изменение K в зависимости от Δt .

Конкретный вид экстраполяционной функции $f(a, \Delta t)$ определяется на основе ретроспективного анализа динамики изменения показателей технического уровня с использованием методов аппроксимации и может быть выражен для различных направлений электронной техники в зависимости от специфики и тенденций их развития в виде линейной экстраполяции $f = a\Delta t$ (рис. 1), экспоненциальной

экстраполяции $f = \frac{P_{плз} - P_n}{P_n} (1 - e^{-a\Delta t})$, где $P_{плз}$ —

предельно достижимое значение показателя технического уровня [2], (рис. 2) или в виде регрессионного выражения.

Важнейшим условием создания любой, в особенности перспективной, базы сравнения, позволяющей объективно оценивать технический уровень изделий, является дифференцированный по классам изделий и по разновидностям разработок подход к формированию указанной базы. Согласно такому подходу

НОВАЯ КНИГА

А. Л. Минц

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

СТАТЬИ, ВЫСТУПЛЕНИЯ, ВОСПОМИНАНИЯ

М.: Наука, 1987, (IV кв.). — 18 л.

В книгу вошли научно-популярные статьи академика А.Л. Минца (1895—1974) по радиофизике, радиозлектронике, ускорителям заряженных частиц, а также очерки по истории становления советской радиотехники. Освещены вопросы, связанные с развитием науки в целом, с проблемами создания научных коллективов, с деятельностью изобретателей.

Для читателей, интересующихся вопросами развития радиотехники и историей науки.

нельзя одинаково оценивать изделия массового, универсального назначения и узкоцелевые, единичного применения; разработки, направленные на самые высокие технические достижения, и частные модификации на основе ранее созданных базовых конструкций.

Новая методика реализует дифференцированный подход практически на всех этапах формирования перспективного образца и проведения оценки. На первом этапе лучший аналог выбирается с учетом вида и направленности разработки: для разработок, направленных на достижение повышенных (рубежных) значений определяющих или целевых показателей — из изделий с лучшими значениями этих показателей; для прочих разработок — из лучших базовых изделий, их модификаций, представляющих значительную часть общего объема производства ИЭТ такого типа в стране и за рубежом, пользующихся спросом на внутреннем и конкурентоспособных на внешнем рынке.

Важнейший научно-технический этап формирования перспективного образца — определение коэффициентов ускорения — в принципе невозможен без дифференцированного подхода как при выборе вида экстраполяционных функций, так и при установлении конкретных численных значений коэффициентов в экстраполяционных выражениях. На этом этапе по каждому направлению ЭТ используются методы прогнозирования с учетом отечественных и зарубежных достижений в области технологии, материалов, архитектурных, конструктивных и прочих решений; физико-технических ограничений развития классов (групп) изделий и требований разработчиков РЭА.

В ряде случаев по новой методике можно устанавливать коэффициенты ускорения, равные единице (например, при достижении образцом физико-технических пределов развития, отсутствии потребности в дальнейшем росте параметров), экспертно определять значения показателей перспективного образца или категории технического уровня (например, для узкоцелевых разработок).

Дифференцированный подход к оценке ИЭТ усилен введением в методику коэффициентов весомости по каждому из показателей, используемых при оценке, в зависимости от вида и направленности разработки.

На последнем этапе оценки — при определении категории технического уровня — ужесточены критерии по обобщенному показателю и по отклонениям определяющих показателей, улучшение которых является целью разработки, но при этом ограничения на допустимые отклонения значений по другим показателям не устанавливаются едиными для всех изделий, а определяются в зависимости от специфики развития классов (групп) ИЭТ, вида и направленности разработки.

Новый методический подход допускает применение в качестве базы сравнения перспективных значений показателей, устанавливаемых в разрабатываемых в настоящее время головными НИИ отрасли государственных стандартах вида ОТТ.

Основные принципы, заложенные в разработанной методике — порядок формирования перспективной базы сравнения и дифференцированный подход к оценке на каждом этапе — могут быть применены для оценки изделий не только электронной техники но и других

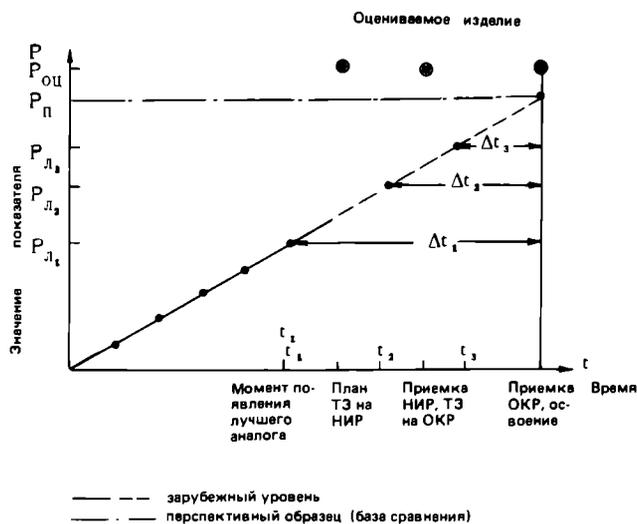


Рис. 1. Процедура формирования перспективного образца (линейная экстраполяция)

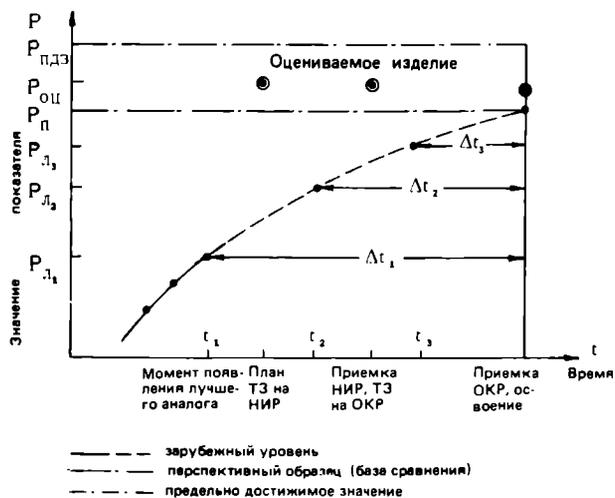


Рис. 2. Процедура формирования перспективного образца (экспоненциальная экстраполяция)

машиностроительных отраслей с учетом их специфики.

Новая методика оценки технического уровня изделий, ориентирующая разработчиков на перспективный мировой уровень и гибко учитывающая специфику развития различных направлений отрасли, призвана стать эффективным инструментом управления техническим уровнем разработок и внести существенный вклад в ускорение научно-технического прогресса в электронике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов А.И., Иванов В.И., Шульгин Е.И. Совершенствование методов прогнозирования развития разработок ИЭТ. — См. наст. вып., с. 11.
2. Определение предельно достижимых значений важнейших показателей технического уровня ИЭТ/А.И.Аксенов, Ю.Ф.Широков, Е.И.Шульгин и др. — Электронная промышленность, 1982, вып. 3, с. 50—52.

УДК 53.072:51:621.38.019.3

Е.И.Шульгин, Ю.П.Юсов

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОТКАЗОВ ИЭТ ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕСУРСА И ЕГО ПРЕДЕЛЬНО ДОСТИЖИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ

Одним из необходимых условий повышения технического уровня изделий является определение предельно достижимых значений (ПДЗ) его важнейших показателей и поиск путей их реализации [1]. Первостепенное значение придается показателям технического уровня, входящим в соответствии с отраслевыми стандартами в группу показателей функционирования. При определении их ПДЗ необходимо учитывать взаимосвязь параметров, так как улучшение одного из них неизбежно влечет за собой изменение целого ряда других, зависимых от него показателей.

Особое место среди параметров технического уровня, не входящих в группу показателей функционирования, занимает ресурс τ , включенный в число важнейших показателей практически для всех видов ИЭТ.

Ресурс, определяемый как время (эксплуатации или хранения) до момента наступления параметрического отказа, в общем случае не ортогонален показателям функционирования и по мере их улучшения может увеличиваться или уменьшаться. Поэтому выявление предельно достижимых значений показателей функционирования должно сочетаться с оценкой ресурса, основанной на физико-техническом анализе изменений, происходящих в ИЭТ при их совершенствовании, и кинетических процессов, приводящих к отказам.

С другой стороны, увеличение ресурса ИЭТ, особенно для объектов с длительным сроком службы, в ряде случаев является основной целью важнейших разработок и определение предельно достижимых значений ресурса $\tau_{пдз}$ при сохранении норм на взаимозависимые показатели функционирования становится самостоятельной научной задачей, решение которой также невозможно без применения методов физико-технического анализа.

Наиболее перспективный способ анализа и прогнозирования постепенных отказов ИЭТ состоит в построении физико-математических моделей процессов, приводящих к отказам изделий, аналитическом описании изменений параметров последних, определении по начальным участкам кривых этих изменений констант процессов, приводящих к отказам, прогнозировании моментов отказов. Преимущество этого способа объясняется тем, что для современных изделий с высокой стабильностью эксплуатационных параметров формально-математическая экстраполяция изменения характеристик на длительные сроки не обеспечивает достаточно достоверных прогнозов, статистические методы требуют длительных испытаний, а глубокое экспериментальное исследование физики отказов практически невозможно в условиях постоянно совершенствующейся широкой номенклатуры изделий.

Работы последних лет позволили выделить наиболее типичные механизмы отказов, состав

ить физико-математические модели вызывающих их процессов и осуществить прогнозирование отказов для ряда типов изделий.

Так, с учетом влияния на процесс развития отказа кинетики фазовых переходов в замкнутом объеме зависимость изменения электросопротивления резисторов и резистивных слоев по отношению к начальному значению $\Delta R(t)$ записывается в виде [2]:

$$\Delta R(t) = \Delta R_{\max}(1 - \exp(-kt^n)), \quad (1)$$

где ΔR_{\max} , k , n — константы, определяемые параметрами фазового перехода; t — время. При $n=1$ уравнение (1) описывает типичный параметрический отказ, определяемый влиянием диффузионного переноса примесей через открытую границу.

Для токов утечки электролитических конденсаторов в рамках данной модели справедливо выражение [3]:

$$\Delta J_{ут}(t) = J_{ут \max}(1 - \exp(-kt^n)). \quad (2)$$

Для класса магнитомягких ферритов изменение магнитной проницаемости, происходящее под воздействием процессов электронно-ионной диффузии в подрешетках шпинели, можно записать в виде [3]:

$$\Delta \mu(t) = \Delta \mu_{\max} \frac{1 - e^{-kt}}{1 - \omega e^{-kt}}, \quad (3)$$

где $\Delta \mu_{\max}$, k , ω — константы, определяемые параметрами диффузионного процесса.

Для кварцевых резонаторов изменение собственной частоты $\Delta f(t)$ может быть выражено как [4]:

$$\Delta f(t) = \frac{1}{1 + A_c(1 - \exp(-kct))} \times \left(\sqrt{\frac{1 + A_p(1 - \exp(-kpt))}{1 + A_g(1 - \exp(-kgt))}} - 1 \right), \quad (4)$$

где A_i и k_i — константы процессов в кварцевом резонаторе, приводящих к параметрическому отказу.

Выражения (1)–(4) описывают семейство типичных кинетических кривых изменения эксплуатационных параметров ИЭТ (рис. 1) и позволяют по начальным (и средним) временным интервалам определять ресурс и константы процессов, приводящих к параметрическому отказу ИЭТ.

Ряд физико-математических моделей кинетики развития параметрических отказов приводится в работах [5, 6] и др. Эти модели применимы для научно обоснованного определения ресурса дискретных ИЭТ и элементов ИС и используются в разработанных на их основе соответствующих методиках определения индивидуального и гамма-процентного ресурса ИЭТ.

Замена линейной формально-математической зависимости среднего значения в методе

регрессионного анализа на физико-математическую модель для оценки индивидуального ресурса обеспечила переход к научно обоснованному определению γ -процентного ресурса по физическим константам процессов от формально-математических коэффициентов уравнения регрессии.

Самостоятельное значение для внедрения физико-математического моделирования в целях научно обоснованного определения ресурса (особенно для объектов с длительным сроком службы) имеет формализация основных этапов частных методов оценки индивидуального ресурса в общей методике с включением в нее систематизированных физико-математических моделей типов ИЭТ и процессов, приводящих к параметрическим отказам, например, в виде справочного приложения.

В общем случае кинетика максимального изменения эксплуатационного параметра $\Delta P(\Delta R, \Delta J, \Delta \mu, \Delta f)$ из приведенных выше уравнений (см. рис. 1) выражается в виде:

$$\Delta P = f(\Delta P_{\max}, k_i, t). \quad (5)$$

Задача определения индивидуального ресурса формулируется как установление τ , при котором ΔP достигает предельно допустимого по ТУ значения:

$$\Delta P_{\text{пред ТУ}} = f(\Delta P_{\max}, k_i, \tau),$$

$$\tau = F(\Delta P_{\text{пред ТУ}}, \Delta P_{\max}, k_i),$$

где функция F обратна f .

При всем многообразии видов ИЭТ и их отказов можно выделить общие этапы физико-математического метода анализа и прогнозирования ресурса изделий [7]:

— качественный анализ процессов в ИЭТ, приводящих к параметрическому отказу, выделение определяющих процессов;

— составление параметрических уравнений кинетики процессов, выявление связи между параметрами процессов и эксплуатационными параметрами ИЭТ;

— составление параметрического уравнения кинетики изменения эксплуатационных параметров ИЭТ (5);

— определение с помощью ЭВМ численных значений констант ΔP_{\max} и k_i по экспериментальным кривым изменения эксплуатационных параметров ИЭТ с их аппроксимацией по выражению (5);

— составление полного количественного уравнения кинетики изменения эксплуатационных параметров ИЭТ, включающего определяемые численные значения констант ΔP_{\max} и k_i ;

— расчет численных значений ресурса τ .
Важным следствием применения физико-математических методов является возможность перехода к научно обоснованному определению ресурса при эксплуатации ИЭТ в режимах, отличных от предусмотренных ТУ, т.е. к установлению зависимости физических констант k_i процессов параметрических отказов от эксплуатационных факторов. Например, для температурных воздействий, применяемых в методах ускоренных испытаний, $k_i(T)$ для вышеприведенных физико-математических мо-

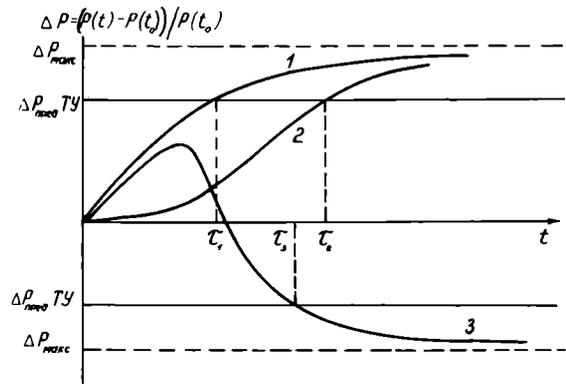


Рис. 1. Кинетические кривые параметрических отказов магнитомягких ферритов (1), резисторов и конденсаторов (2), кварцевых резонаторов (3)

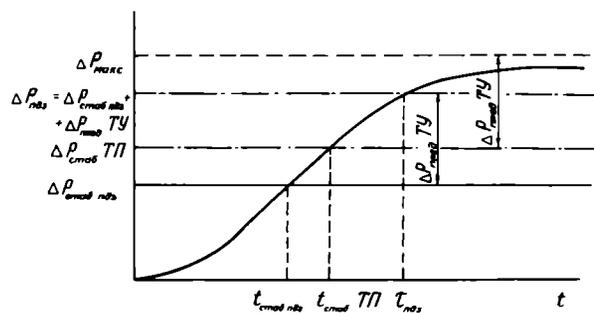


Рис. 2. Определение предельно достижимого ресурса $\tau_{\text{пдз}}$

делей имеет вид:

$$k_i = k_0 \exp(-E/KT),$$

где k_0 — абсолютная константа процесса отказа; E — энергия активации процесса отказа; K — постоянная Больцмана; T — температура, К.

Следует отметить, что используемые для ускоренной оценки гамма-процентного ресурса и других показателей зависимости вида

$$\tau = \tau_0 \exp(-A/kT) \text{ или}$$

$$\Delta P(t, T) = \Delta P_0(t) \exp(-A/kT) \quad (6)$$

только как частный случай должны предусматривать $A=E$, а в общем случае $A=\varphi(E, f)$, т.е. использование A в качестве энергии активации и соответственно коэффициентов форсирования корректно лишь для частных случаев и в каждом из них требует дополнительного обоснования.

Анализ результатов физико-математического описания кинетических кривых процессов параметрических отказов и их вида позволяет сформулировать два основных пути увеличения ресурса ИЭТ до предельно достижимых значений (рис. 2);

— уменьшение физических констант процессов, приводящих к параметрическим отказам, до предельно достижимых (минимизированных) значений на основе совершен-

ствования материалов электронной техники, технологий, оборудования, САПР, архитектурных и конструкторско-технологических решений изготовления ИЭТ;

— снижение уровня начальной метастабильности ИЭТ как термодинамической системы до предельно необходимого (теоретического предельного) уровня $\Delta P_{\text{стаб. тп}}$, определяемого на основании уравнения (5) и рис. 2 как:

$$\Delta P_{\text{стаб. тп}} = \Delta P_{\text{макс}} - \Delta P_{\text{пред. ту}}$$

$$\text{при } \Delta t_{\text{стаб. тп}} = F(\Delta P_{\text{макс}}, \Delta P_{\text{пред. ту}}, k_i, t).$$

Переход от определения ресурса к установлению его предельно достижимого значения предусматривает следующие методические этапы:

— определение предельно необходимых уровней и времени метастабильности $\Delta P_{\text{стаб. тп}}$, $\Delta t_{\text{стаб. тп}}$, соответствующих теоретически предельному ресурсу $t_{\text{тп}} = \infty$;

— анализ физико-технологических ограничений достижения предельно необходимого уровня метастабильности, определение предельно-достижимых уровней и времени метастабильности $\Delta P_{\text{стаб. пдз}}$, $t_{\text{стаб. пдз}}$;

— количественное определение предельно достижимого ресурса $t_{\text{пдз}}$ (рис. 2) из соотношения:

$$t_{\text{пдз}} = F(\Delta P_{\text{стаб. пдз}}, \Delta P_{\text{пред. ту}}, k_i, t);$$

— анализ физико-технологических ограничений уменьшения численных значений физических констант процессов, приводящих к параметрическим отказам ИЭТ; определение их предельно достижимых (минимизированных) значений.

Далее определяют предельно достижимые значения ИЭТ по алгоритму, сформулированному в работе [8].

Предложенные методические выводы целесообразно учитывать при разработке методических указаний по определению предельно достижимых значений важнейших показателей ИЭТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов А.И., Иванов В.И., Шулгин Е.И. Совершенствование методов прогнозирования развития разработок ИЭТ.— См. наст. вып., с. 11.
2. Шефтель И.Т., Шулгин Е.И., Строчан И.В. Исследование кинетики процессов старения оксидно-полупроводниковых терморезисторов.— Электронная техника. Сер. 5. Радиодетали и радиокомпоненты, 1977, вып. 1, с. 43—50.
3. Шулгин Е.И. Физико-математическое описание некоторых типичных процессов развития постепенных отказов изделий.— Надежность и контроль качества. Прилож. к журн. «Стандарты и качество», 1981, вып. 11, с. 9—15.
4. Лавренцов В.Д., Ярославский М.И., Шулгин Е.И. Физико-математическая модель старения кварцевых резонаторов.— Электронная техника. Сер. 8. Управление качеством, метрология, стандартизация, 1983, вып. 4, с. 24—26.
5. Физические основы надежности интегральных схем/Под ред. Ю.Г.Миллера.— М.: Сов. радио, 1976.— 320 с.
6. Геликман Б.Ю., Горячева Г.А., Кристаллинский Л.А. Вопросы качества радиодеталей.— М.: Сов. радио, 1980.— 328 с.

7. Шулгин Е.И. Феноменологический метод физического анализа и прогнозирования надежности ИЭТ.— Электронная техника. Сер. 8. Управление качеством, метрология, стандартизация, 1974, вып. 11, с. 59—67.

8. Определение предельно достижимых значений важнейших показателей технического уровня ИЭТ/Аксенов А.И., Широков Ю.Ф., Шулгин Е.И. и др.— Электронная промышленность, 1982, вып. 3, с. 50—52.

Статья поступила 6 февраля 1987 г.

УДК 001.89:621.38.001.66

В.Е.Ланевский

ОПЕРЕЖАЮЩАЯ УНИФИКАЦИЯ — ОСНОВА РАЗРАБОТКИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ РЯДОВ ИЭТ

Одним из основных путей сокращения сроков разработки новой техники и ее освоения в серийном производстве является унификация изделий и их компонентов, обеспечивающая ограничение номенклатуры серийных ИЭТ, а также комплектовующих изделий и материалов, используемых в новых разработках [1—4].

Проводить работу по унификации необходимо на самых ранних стадиях цикла «исследование—производство». При унификации изделий электроники СВЧ возникают трудности, обусловленные зависимостью геометрических размеров конструктивных элементов от радиочастотного рабочего диапазона, малой серийностью при большой номенклатуре составных частей изделий и их низким уровнем стандартизации. Преодолеть эти трудности можно, используя принципы комплексной опережающей унификации, предусматривающей одновременную унификацию параметров, схемных и конструктивно-технологических решений групп (параметрических рядов) изделий и их составных частей во всех группах (параметрических рядах) на всех этапах разработки, начиная с предпроектной стадии.

Действенное использование принципов опережающей унификации обеспечивается наличием высокого научно-технического потенциала предприятия по данному направлению работ, а также одновременным проведением групповых разработок, т.е. разработок, объединенных в группы изделий, имеющих единое схемное и конструктивно-технологическое исполнение в данном радиочастотном диапазоне. Одновременное проведение разработок необходимо для определения состава изделий каждого ряда и анализа конструктивных особенностей составных частей с целью обеспечения внутрирядовой и межрядовой унификации.

До начала работ по опережающей унификации на предпроектной стадии, т.е. до включения НИР и ОКР в тематический план предприятия, необходимо изучить спрос и требования потребителей к параметрам изделий, определить основные параметры, которые будут достигнуты в разработках, сформировать па-

раметрические ряды, выбрать оптимальные схмотехнические решения, обеспечивающие достижение намеченных параметров, провести тщательную конструктивно-технологическую проработку этих решений для уточнения схмотехнического построения изделий, определить объекты конструктивной унификации, оформить руководящий материал и каталог по параметрам и структурным схемам параметрических рядов изделий.

Изучение спроса потребителей дает возможность установить область требуемых радиочастотных диапазонов изделий, а также объем их производства. На этом этапе происходит группирование изделий по конструктивным, функциональным и эксплуатационным признакам, т.е. намечается структурная схема построения рядов. Электрические характеристики определяются спросом потребителей и прогнозными оценками параметров новых материалов, комплектующих и технологических процессов.

Параметры изделий, необходимые различным потребителям, в некоторых частотных диапазонах нередко совпадают или отличаются незначительно. Унификация их значений позволяет обеспечить максимум потребителей минимальным количеством разработок.

Для получения требуемых параметров изделий разработчики моделируют различные варианты схемных решений, выбирая наиболее экономически целесообразный. Оценка оптимальности выбора схмотехнических решений проводится при конструктивной и технологической их проработке, выполняемой совместно разработчиками схем, конструкторами и технологами. В ходе проработки анализируется конструктивный облик изделий, выявляются составные части одинакового функционального назначения, выясняется возможность заимствования их из предыдущих разработок, т.е. определяются объекты унификации и намечаются базовые технические решения их реализации. При этом исключается появление одинаковых по функциональному назначению в одном и том же частотном диапазоне, но различных по конструктивному исполнению составных частей изделий.

Технологическая проработка заключается в анализе технологических процессов изготовления изделий и составных частей, определении необходимости и целесообразности разработки новых технологических процессов и материалов, выработке рекомендаций по использованию типовых и групповых технологических процессов, освоенных в производстве.

По результатам конструктивно-технологической проработки уточняются номенклатура составных частей, схемное построение всех рядов изделий и их параметры, после чего они включаются в руководящий материал предприятия типа «Параметры и структурные схемы унифицированных рядов изделий», выполнение которого является обязательным для всех участвующих в разработке параметрических рядов. Каталоги параметров, реализуемых в будущих изделиях, рассылаются потребителям. Такая предпроектная проработка обеспечивает целенаправленное проведение НИР и ОКР с максимально возможной унификацией схемных и конструктивных решений.

Групповой метод разработки открывает большие возможности применения систем автоматизированного проектирования при модели-

ровании и расчетах, разработке конструкторской и технологической документации. Он исключает дублирование работ, позволяет разработчикам увидеть конструктивный облик будущих изделий, определить объекты унификации, применить накопленный опыт предыдущих разработок в решении новых задач.

Разработка параметрических рядов ИЭТ на основе опережающей унификации обеспечивает сокращение сроков проведения НИОКР на 15—30%, уменьшение номенклатуры составных частей изделий в 5—6 раз, позволяет использовать средства вычислительной техники при моделировании схмотехники, расчетах, разработке конструкторской и технологической документации.

ЛИТЕРАТУРА

1. ОСТ 11 0168-85. Порядок проведения работ по унификации составных частей изделий.
2. Методические указания. Порядок работы по унификации составных частей изделий, имеющих важнейшее народнохозяйственное значение, и их стандартизация. РД 50-436-83.— М.: Изд-во стандартов, 1984.
3. Ш а ш к о в В.В. Проведение работ по унификации изделий.— Обмен производственно-техническим опытом, 1986, № 10, с. 4, 5.
4. Обзорная информация: повышение технического уровня и качества продукции на основе комплексной стандартизации и унификации/Охремчук М.Н., Пастушенко Л.Л.— Киев: УкрНИИТИ, 1986.— Сер. 15. Управление качеством продукции. 48 с.

Статья поступила 16 января 1987 г.

УДК 001.57:002

Б.А.Константинов

ВНЕДРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ — ВАЖНОЕ УСЛОВИЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММ РАЗРАБОТОК И ЭКОНОМИИ РЕСУРСОВ

При создании в рамках научно-технических программ объектов новой техники (ОНТ) приходится решать проблему выбора способа разработки их. Эта проблема имеет исключительную значимость, так как выбранный способ в значительной мере определяет качество будущего объекта (технический уровень, материалоемкость, технологичность, конкурентоспособность и т.д.) и необходимые ресурсы (стоимость, трудоемкость, сроки). В процессе разработки осуществляется экспериментальная проверка и корректировка выбранного способа.

Как правило, ОНТ создается на основе синтеза известных либо известных и новых технических решений. В исключительных случаях ОНТ выполняется на базе изобретения и не имеет аналогов, но и здесь частично используются известные технические решения. По-

этому качество будущего изделия и эффективность его реализации в конечном счете определяются степенью использования в нем лучших достижений мировой науки и техники. Поиск и применение новых технических решений с экономической точки зрения допустимы лишь тогда, когда создание ОНТ с заданным уровнем качества на основе известного научно-технического потенциала невозможно. Таким образом, требование снижения стоимости и уменьшения времени создания ОНТ обуславливает необходимость максимального использования в нем лучших известных технических решений, т.е. выбора оптимального пути его реализации.

Поиск лучшего из возможных путей создания ОНТ достаточно сложен и с технической и с методической точки зрения. Неудачно выбранный вариант отрицательно сказывается на качестве создаваемого объекта, увеличивает стоимость и продолжительность его материализации, экспериментальной проверки, снижает эффективность разработки. С методической точки зрения сложность заключается в обосновании критериев и способов оценки вариантов определения состава необходимой информации и вида ее представления, последовательности сбора и изучения, методов ее обработки для выделения предпочтительных вариантов либо установления структуры проблем, подлежащих решению при создании ОНТ. Поэтому качество будущего объекта и эффективность способа его создания находятся в зависимости от двух основных факторов: уровня квалификации специалистов, ответственных за выбор этого способа, и совершенства методики выбора.

В различных условиях влияние того или иного фактора меняется. На современном этапе непрерывной дифференциации, интеграции и взаимопроникновения наук часто наиболее плодотворным при создании ОНТ в какой-либо отрасли является использование идей и технических решений из смежных, а иногда и отдаленных областей науки и техники. При этом наличие специальной методики выбора на основе регламентированного процесса изучения и заимствования мирового опыта существенно снижает значение квалификации разработчика и повышает качество создаваемого ОНТ.

Одной из таких методик поиска и выбора предпочтительного варианта способа создания требуемого ОНТ является **информационное моделирование**, под которым понимается процесс построения информационной модели ОНТ на основе регламентированной совокупности правил.

Информационная модель представляет собой разработанную на основе анализа и синтеза научно-технической информации модель будущего изделия с определенными параметрами, каждому элементу или составной части которого поставлена в соответствие информация о путях его создания.

Цели информационного моделирования основные:

— управление процессом формирования качества создаваемых ОНТ и эффективностью их разработки (создание ОНТ на уровне лучших мировых образцов в кратчайшие сроки с минимальными затратами);

— обеспечение исследователей и разработчиков рациональной технологией поиска и выбора лучшего из возможных способов со-

здания требуемого объекта при заданных критериях выбора;

побочные:

— совершенствование процесса и повышение качества формирования комплексных целевых программ и планов исследований и разработок в НПО;

— оптимизация системы информационного обеспечения научных исследований и разработок и повышение эффективности использования мирового научно-технического потенциала.

Система информационного моделирования определяет: логическую последовательность операций при моделировании; порядок организации работ и взаимодействия подразделений и исполнителей в процессе моделирования; структуру и содержание документов, документооборот и порядок представления результатов; структуру и содержание массива информации.

Объектом моделирования является цель разработки, т.е. требуемый ОНТ, описанный в виде системы заданных показателей качества (в том числе технических параметров) и системы критериев и ограничений. Важным средством воздействия на техническую политику предприятия и качество разработок служит внедрение при отборе целей стандартов на типоряды и базовые конструкции (применительно к приборным объектам) и типовые технологические процессы. Эти стандарты служат своеобразной матрицей, через которую цели как бы «продавливаются».

В основу построения принципиальной схемы поиска и выбора предпочтительного способа создания требуемого объекта положен принцип перебора вариантов от простейшего к сложному с последовательной оценкой каждого из них по критериям отбора, а также принцип максимальной преемственности технических решений и максимального использования известного опыта.

Минимизация затрат на выбор варианта и создание объекта обеспечивается тем, что перебор вариантов прекращается, как только вариант удовлетворяет системе критериев.

Схема предусматривает следующие модели, на основе которых может быть создан требуемый объект новой техники:

модель 0 — наличие готового полного отечественного аналога;

модель 1 — модификация отечественного аналога;

модель 2 — наличие полного зарубежного аналога;

модель 3 — модификация зарубежного аналога;

модель 4 — синтез готовых элементов и известных способов их соединения;

модель 5 — одновариантный путь с частичным использованием или без использования готовых элементов и способов их соединения;

модель 6 — многовариантный путь с частичным использованием или без использования готовых элементов и способов их соединения (предпочтительный вариант выбирается экспериментальным путем в процессе выполнения НИР).

На практике возможны ситуации, при которых существует единственный (один из 6) вариант создания объекта, несколько или все 6 вариантов, не существует ни одного варианта. Во втором случае выбирается тот вариант, который наиболее удовлетворяет совокупности

критериев качества и эффективности. В третьем случае необходимо проведение поисковых исследований по изысканию новых принципов создания требуемого объекта (при положительном результате получаем патентоспособное решение).

Выбрав ту или иную модель, нетрудно определить структуру, содержание и категорию работы. Модель 1 — определительные испытания, модели 2 и 3 — приобретение лицензии или покупка зарубежных объектов, модель 4 — ОКР (в крайнем случае с нировским этапом), модели 5 и 6 — прикладные НИР.

Порядок выбора варианта осуществляется следующим образом. На основании описания цели отбираются отечественные аналоги. При отсутствии полного отечественного аналога, т.е. имеющего идентичные технические параметры и отвечающего системе критериев, расчетным путем проводится оценка ближайших аналогов. Если ближайший аналог не может обеспечить требуемые технические параметры или если он не отвечает системе критериев, переходим к поиску и отбору полных и ближайших зарубежных аналогов (процедура повторяется).

В том случае, если нет ни одного варианта модели с 0 по 3, первоначально ставится задача создания требуемого ОНТ на основе синтеза готовых технических решений (с использованием элементов различных аналогов). С этой целью строится расчетная модель объекта (4), назначение которой — определение внутренней структуры ОНТ и требований к параметрам каждого элемента, т.е. выявление элементов, необходимых и достаточных для создания требуемого объекта. На основании расчетной модели отбираются элементы, удовлетворяющие требованиям. Допустима ситуация, когда решение поставленной задачи может быть обеспечено путем использования различных наборов элементов. В этом случае отбираются те совокупности, которые в большей степени обеспечивают технические параметры и отвечают системе критериев.

Если вариант модели 4 неприемлем или неосуществим, проводится анализ причин непригодности готовых элементов на основе информации о причинах отказов аналогов и их элементов, затем определяется сущность и структура проблем, которые необходимо решить для создания элементов, отвечающих требованиям, и формируется запрос на поиск информации о способах их решения. Одновариантный способ решения проблем дает модель 5, многовариантный — модель 6.

В том случае, если поиск информации не дал ответа о способе решения хотя бы одной проблемы, необходимо проведение исследований для изыскания нового пути.

Процесс информационного моделирования есть замкнутый процесс с обратной связью. Наличие эффективных путей и средств достижения первоначально поставленной цели приводит к корректировке последней в сторону усложнения (повышения задаваемых параметров, сокращения сроков и ресурсов и т.д.), отсутствие необходимых путей и средств — в сторону упрощения параметров, характеризующих цель.

Управление уровнем качества ОНТ и эффективностью его разработки осуществляется посредством регулирования критериев и вариантов пути создания объекта.

Эффективность системы информационного моделирования проявляется в нескольких сферах.

В сфере управления НИР и ОКР использование информационного моделирования обеспечивает разработку комплексных целевых программ, а также управление качеством ОНТ и эффективностью его создания. Кроме того, совершенствуется процесс формирования технической политики, повышается качество выполнения НИР и ОКР, так как их стоимость и продолжительность определяются на основе объективной информации и коллективной оценки различных способов производства ОНТ; появляется методическая основа для объективного синтеза родственных проблем при создании однотипных изделий. Сокращается продолжительность НИОКР за счет совмещения этапа выбора варианта изготовления ОНТ с этапом планирования.

В сфере информационного обеспечения реализуется более объективное и качественное определение информационных потребностей при создании требуемых объектов, а также сокращение трудозатрат на информационное обеспечение за счет синтеза информационных потребностей в рамках тематического направления. Выявленные в процессе информационного моделирования научно-технические достижения внедряются целенаправленно, при этом осуществляется контроль за их внедрением; появляется возможность управления с помощью информационных средств техническим уровнем, патентной чистотой и патентоспособностью ОНТ.

В сфере научных исследований и разработок совершенствуется технология поиска и выбора лучшего из возможных способов создания ОНТ с требуемыми параметрами, обеспечивается ознакомление исследователей и разработчиков с новыми достижениями в науке и технике по решаемой проблеме и регламентированное их использование.

Статья поступила 19 февраля 1987 г.

УДК 001.892

А.С.Гарба

ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАЗРАБОТОК ПО ФОРМЕ А

Выполнение задач по ускорению научно-технического прогресса требует нового подхода к организации разработок в научно-исследовательском институте и их освоению в производстве на опытном заводе. В первую очередь повышается роль комплексного планирования и сокращения циклов «исследование—производство» и «разработка—внедрение».

Один из главных путей сокращения цикла «разработка—внедрение» — перевод опытно-конструкторских работ на форму А, предусматривающую освоение изделий на заводе в рамках ОКР. В условиях нашего объединения количество ОКР, проводимых по форме А, постоянно увеличивается: так, с 1984 по 1985 гг. их удельный вес возрос с 50 до 70,8%, а в

1986 г. он достиг 77%. В 12-й пятилетке планируется перевод всех ОКР на форму А.

Сокращение длительности цикла «разработка—внедрение» связано с определенными сложностями. Сроки работ определяются конечными этапами разработки. Время согласования и утверждения цены на изделия в зависимости от их сложности составляет 6—11 месяцев, согласования и утверждения ТУ — 4—6 месяцев, корректировки и оформления технической документации — 3—5 месяцев, цикл изготовления контрольной и опытной партии вместе с испытаниями достигает 3—5 месяцев. Все перечисленные этапы реализуются лишь в указанной последовательности, сокращение сроков их выполнения путем параллельного проведения работ невозможно. Поэтому, чтобы уменьшить длительность цикла необходимо сдвинуть все этапы к началу ОКР, а это влечет за собой изменение функции ОКР, как таковой. ОКР по форме А следует рассматривать не как разработку, а как доработку изделия до уровня серийной технологии с достаточным процентом выхода годных. Альтернативным вариантом может быть предоставление широких полномочий государственным комиссиям по приемке ОКР для того, чтобы в дальнейшем ТУ и цену направлять сразу на утверждение без согласования с промежуточными инстанциями. Однако при существующей системе альтернативный вариант не представляется возможным.

Выполнение ОКР по форме А предполагает повышение роли фундаментальных, поисковых и прикладных НИР. Если в 11-й пятилетке доля указанных НИР в среднем составляла соответственно 1; 37 и 62%, то в 12-й пятилетке необходимо изменить это соотношение, увеличив долю фундаментальных и поисковых НИР, обеспечивающих физико-технологический задел для прикладных работ. Меняется при этом и характер задач, решаемых НИР. Если недавно для прикладных НИР это были в основном задачи изыскания наиболее современных конструктивных и технологических принципов создания новых и коренного улучшения существующих ИЭТ, то теперь это должны быть законченные разработки приборов, требующие создания в рамках ОКР серийно-пригодной технологии для их производства. Соответственно изменяется и длительность циклов «исследование—производство» и «разработка—внедрение». В течение 11-й пятилетки длительность этих циклов у нас стабилизировалась, а величина их среднего значения снизилась относительно 10-й пятилетки для цикла «исследование—производство» на 12%, «разработка—внедрение» — на 10%. Разброс средних значений этих циклов в 11-й пятилетке сократился соответственно на 80 и на 40%. В связи с изменением характера и задач НИР и ОКР в 12-й пятилетке можно ожидать, что длительность цикла «исследование—производство» останется в целом такой же за счет увеличения доли и длительности НИР фундаментального и поискового типа, а цикл «разработка—внедрение» резко сократится (в среднем на 50%) в результате создания базовых технологий в рамках прикладных НИР.

Наибольшие сложности в процессе создания изделия возникают в период, когда оно находится на стыке разработки и ее освоения. Это связано с тем, что работа НИИ регламентируется перспективными и годовыми планами, отраслевыми стандартами и стандартами предприятия по проведению НИР и ОКР, а также стандартом предприятия по разработке изделий

с применением методов сетевого планирования и управления и рядом других документов, а работа опытного завода определяется планами производства, освоения и замещения продукции, отраслевыми стандартами, стандартами предприятия, в том числе и стандартом организации работ по подготовке производства для внедрения и освоения ОКР.

Опытный завод нашего объединения осваивает за год достаточно большую номенклатуру изделий, и она продолжает расти. Объем товарного производства ИЭТ, освоенных на опытном заводе в 11-й пятилетке, включая поставки опытных образцов, составлял 31% от основной продукции, а в 1985 г. уже около 50%. Однако, несмотря на эти показатели система «НИИ—опытный завод» в том виде, в котором она существует, не соответствует требованиям времени. Объем услуг завода, выполняемых в рамках каждой ОКР по форме А колеблется от 3 до 5% от общего объема работ по ОКР, в то время как для успешного освоения изделий он должен составлять 30—40%.

Существующая система планирования опытному заводу, так же как и серийному, темпов роста и объемов товарной продукции от достигнутых не дает возможности увеличить объем работ завода в рамках ОКР и не удовлетворяет требованиям повышения качества разработок. Сдерживает увеличение доли работ опытного завода в рамках ОКР и выпуск значительных объемов серийных изделий, освоенных много лет назад, медленное, в течение ряда лет, замещение этой продукции.

Для ускорения цикла «разработка—внедрение» базовых технологий в области НИР необходима гибкая и оперативная в управлении структура научно-производственных комплексов с планируемыми сроками разработок и объемами поставок заказчику. Так как ОКР по форме А предусматривает выполнение договорных поставок и включение опытной партии в план производства, то в составе НПК обязательно наличие участка с административным подчинением предприятию—изготовителю, т.е. опытному заводу. Как показывает опыт работы ряда НПК, на стадии выполнения договорных поставок в рамках ОКР по форме А участок превращается в производственное подразделение с быстро обновляющейся номенклатурой. Поэтому в составе НПК, по нашему мнению, обязательно наличие так называемых «пилотных» линий для проведения разработки базовых технологий и отработки различных технологических процессов. Однако выполнение фундаментальных НИР, закладывающих основы будущих приборов, невозможно без использования уникального исследовательского и диагностического оборудования. Оптимальная структура гибкого и оперативно управляемого НПК должна включать: отдел проектирования, технологический отдел, производственный участок. Помимо разрабатывающих НПК на предприятии необходимы вспомогательные отделения: технологическое, конструирования, фундаментальных исследований, фотошаблонов и отдел САПР, — а также обеспечивающие службы.

При проведении ОКР производственные участки НПК являются связующим звеном между институтом и заводом. После изготовления опытных образцов ОКР и опробования серийно воспроизводимой технологии производ-

ственный участок должен не позднее чем через год передать изделия в цех опытного завода, который определен для выпуска указанного типа ИЭТ, а опытный завод не более чем через 2 года после освоения — передать изделие, имеющее высшую категорию качества и достаточный процент выхода годных, на серийный завод.

Однако серийные заводы, как и производственные участки НПК и цеха опытного завода, должны специализироваться на выпуске определенных типов изделий, что позволит более эффективно развивать производственные мощности под соответствующие виды базовых технологий. Такой подход тем более необходим, что использование современных методов обработки, в частности гибких автоматизированных производств, связано с решением ряда задач перестройки структуры технологического процесса, конструктивного исполнения дискретного оборудования и компоновки его в технологические модули, создания многоуровневой системы организационных и технико-экономических мероприятий. При этом возрастает роль службы подготовки производства, которая, начиная с последнего этапа прикладной НИР, должна вести подготовку как производственного участка НПК, так и соответствующего цеха опытного завода к изготовлению разработанного изделия, а также принимать непосредственное участие в создании технологии под серийное и массовое производство. Наличие НПК и службы подготовки производства сделает возможным передачу им части функций центрального управления, что повысит оперативность решения возникающих в процессе работы вопросов. В этом случае наряду с переводом цехов опытного завода возможен и перевод НПК на новые условия хозяйствования, в частности по конечному результату, т.е. по выпуску ИЭТ на производственном участке НПК и в цехе опытного завода.

Таким образом, для сокращения сроков освоения разработок необходимо решить задачи перестройки структуры НИИ и опытного завода в рамках комплекса «НИИ—опытный завод», а также специализации серийных заводов, что потребует усиления роли головных институтов отрасли в руководстве специализированными серийными заводами и формировании их планов.

Статья поступила 6 февраля 1987 г.

УДК 001.89

С.И.Ребров

РОЛЬ ГОЛОВНЫХ НИИ В РАЗВИТИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Любая система управления объектом или процессом должна базироваться на результатах его всестороннего изучения. Поэтому говоря об управлении наукой, необходимо под-

черкнуть основные особенности ее развития.

Прогресс науки по своей природе является стохастическим процессом, где каждое открытие, любой качественный скачок имеет конечную вероятность, как случайное событие. Полностью детерминированное управление (будем называть его далее директивным) таким процессом исключает вероятностные события и вместе с тем делает маловероятными любые качественные скачки в развитии науки. Директивное управление, при котором процесс развития науки рассматривается как функционально управляемый, неизбежно приводит к значительному преобладанию работ прикладного характера над принципиальными поисковыми не только в разработках, но и в исследованиях. Кроме того, директивное управление характеризуется большим числом различных показателей, используемых в качестве управляющих «рычагов», но не всегда отражающих основные, коренные свойства и вероятностный характер научных исследований и потому нередко тормозящих развитие науки.

Развитие научно-технических направлений в этом случае идет под действием побудительных внешних (директивных указаний вышестоящих организаций) и отчасти внутренних (инициативы предприятий) факторов. Однако как в первом, так и во втором случаях директивный метод управления требует однозначной и четкой формулировки решаемых задач, что и приводит к детерминированному характеру процесса развития науки.

Указанная форма управления обеспечивает общее соответствие научных разработок мировому уровню техники с отставанием зачастую на 2—3 года, которое обусловлено длительностью прикладного исследования, требуемого для достижения параметров лучших мировых образцов. Однако при возникновении за рубежом нового направления отставание отечественного уровня техники существенно возрастает, что связано с необходимостью создания нового научного коллектива и новой материальной базы для него. Такое положение является прямым следствием директивного централизованного руководства прикладной наукой и мало зависит от научных коллективов и их оснащенности.

Одним из методов разумной частичной децентрализации управления наукой является передача определенной части функций управления в полное распоряжение научной организации (НИИ или КБ). Естественно, что и в этом случае необходима выработка рекомендаций по выбору направлений, определению объемов и видов работ, обмену информацией. Решение этих задач следует поручить головным НИИ, включив в их обязанности организацию работ по созданию научного задела на основе прогноза развития направлений, обеспечивающего достижение мирового уровня техники, а также выработку рекомендаций по постановке программно-ориентированных работ.

На работы по созданию научного задела и развитию материально-технической базы каждому НИИ и КБ должны выделяться государственные ассигнования, объемы которых устанавливаются на основании предложений НИИ и КБ, но при обязательном участии головного НИИ в качестве согласующей или даже утверждающей инстанции. При этом головным НИИ должны быть предоставлены права согла-

сования технических заданий, приемки технических предложений по принципиальным поисковым работам и участия в комиссиях по их приемке в целом.

Выделение госбюджетных ассигнований согласно предложениям НИИ и КБ под контролем головных НИИ должно значительно повысить долю инициативных работ по созданию научного задела и развитию материально-технической базы в новых направлениях техники, что увеличит вероятность получения качественно новых результатов и обеспечит опережающее развитие этих направлений.

В тех подотраслях промышленности, где вопросы системотехники и применения разрабатываемых изделий имеют проблемный характер, становится особо важным участие головного НИИ в формировании аппаратурно-ориентированных программ. В нашей отрасли к таким подотраслям относятся, в первую очередь, электроника СВЧ, микроэлектроника и отчасти — квантовая электроника.

Многолетняя практика взаимодействия нашего научно-производственного объединения со смежными отраслями при формировании аппаратурно-ориентированных программ позволила выработать эффективные, с нашей точки зрения, формы организации и методiku взаимоотношений.

При головном НИИ организуется Совет главных конструкторов (Совет ГК) направлений, непосредственно подчиненный заместителю министра. Главным конструктором направления назначается руководитель НИИ (КБ) или его заместитель по данному направлению. Должность главного конструктора должна давать ему право подписывать решения Совета ГК от имени своей организации.

Создание Совета ГК позволяет ограничить число главных конструкторов направлений в подотрасли до 3—4. В то же время в Совете ГК организованы секции по направлениям программ и рабочие группы как орган оперативного решения вопросов по данному виду аппаратуры, что позволяет привлечь к участию в формировании программ практически всех ведущих специалистов и руководителей НИИ и КБ подотрасли. Особая роль в организации этой работы принадлежит председателю Совета ГК — руководителю головного НИИ, который должен сочетать хорошее знание системотехники разрабатываемой в смежных отраслях аппаратуры со знанием электронной техники своей подотрасли.

В тех подотраслях, где разрабатываются изделия общего применения и вопросы системотехники не являются технической проблемой, назначение главных конструкторов вряд ли целесообразно. В этом случае выполнение программ не требует решения технических проблем во взаимодействии со смежными отраслями. Для координации научной деятельности и обеспечения инициативных работ по созданию научного задела при головных НИИ таких подотраслей целесообразно создавать Советы ведущих специалистов направлений во главе с главным конструктором головного НИИ, подчиненным непосредственно начальнику Главного управления.

Опыт работы подотраслевого Совета ГК показывает, что эта действенная форма управ-

ления развитием науки обеспечивает:

- выявление областей, в которых необходимо ставить инициативные поисковые работы;
- принятие оптимальных технических решений по научным и техническим проблемам;
- стимулирование развития отстающих направлений в электронной технике и в аппаратуростроении;
- сокращение цикла «исследование—производство» за счет решения «стыковочных» вопросов уже на первом этапе проектирования аппаратуры и сведения к минимуму дополнительных работ;
- управление номенклатурой изделий электронной техники при максимально возможной унификации разрабатываемых и выпускаемых промышленностью изделий.

Как правило, в подотрасли достаточно иметь один головной НИИ. В исключительных случаях, при наличии в подотрасли научных направлений, базирующихся на принципиально различных технологиях изготовления изделий, допустимо назначение двух или нескольких головных организаций.

Для выполнения функций управления наукой головной НИИ подотрасли должен удовлетворять условиям, приведенным ниже.

1. С точки зрения тематики структура головного НИИ должна охватывать большинство тематических направлений подотрасли, по крайней мере основные из них, и обеспечивать их опережающее развитие.

2. Научно-производственная база головного НИИ должна включать все основные технологии производства изделий, выпускаемых подотраслью, и научные коллективы, обеспечивающие развитие этих технологий.

3. В составе головного НИИ следует иметь:

- подотраслевой теоретический отдел, в котором сосредоточивается изучение теоретических основ и физики большинства тематических направлений;

- подотраслевой банк программ системы автоматизированного проектирования разработок;

- системотехническое подразделение, основной задачей которого является изучение системотехники проектируемой аппаратуры с целью технического обоснования выбора используемых в ней изделий.

4. В головном НИИ желательно выполнять наибольший объем тематических работ подотрасли.

Головной НИИ вырабатывает рекомендации по развитию производственных мощностей и объемов подотрасли и курирует технический уровень технологии.

Внедрение в управление отраслевой наукой каких-либо новшеств, диктуемых ее развитием, должно сопровождаться расширением прав головного НИИ по управлению наукой и формированию научно-технической политики.

Статья поступила 16 октября 1986 г.

УДК 658.5.012.2:621.38

В. А. Преображенский

КОМПЛЕКСНЫЙ ОТДЕЛ ПЛАНИРОВАНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА В НПО

Эффективное использование резервов ускорения научно-технического прогресса, имеющих в сфере планирования, организации и управления, требует совершенствования традиционной структуры системы управления НТП.

Как известно, основой планирования научно-технического прогресса являются перспективные планы, которые, в свою очередь, базируются на целевых комплексных программах и предусматривают сквозное планирование всех этапов создания новой продукции, от поисковых или прикладных исследований до освоения в производстве. Весь комплекс работ подчинен конечной цели — созданию в кратчайшие сроки и с наименьшими затратами новой продукции с заданными свойствами. Несмотря на широкое распространение в отрасли элементов программного планирования, заложенные в нем потенциальные возможности используются далеко не в полной мере. Это объясняется тем, что существующая система управления НТП построена не по целевому, а по функциональному принципу. Различные структурные подразделения в рамках этой системы занимаются ограниченным кругом вопросов, связанных с отдельными стадиями цикла «исследование—производство», и в своей деятельности ориентируются на определенный набор показателей, которые не сказываются непосредственно на конечных результатах работы предприятия в целом. Так, основной целью НПО является обеспечение нужд народного хозяйства в определенных видах продукции при соблюдении заданного технического уровня и эффективности производства, а задачей научной части НПО, ответственной за научно-технический прогресс, — выполнение в сжатые сроки и на высоком техническом уровне разработок, обеспечивающих потребности народного хозяйства, заданные темпы роста производства и уровень его эффективности.

В традиционной структуре управления можно выделить следующие отделы, связанные с планированием и управлением научно-техническим прогрессом на различных стадиях цикла «исследование—производство»: научно-тематический, плановый, сетевого планирования и управления, новой техники, внедрения. Ни одно из этих подразделений не решает задачи обеспечения конечных целей НПО в области научно-технического прогресса. Кроме того, перечисленные подразделения подчинены разным руководителям: часть — главному инженеру НИИ, а часть (плановый отдел) — директору. Это снижает эффективность планирования и управления НТП. Перестройка структуры управления должна обеспечить переход от функционального принципа к целевому.

Примером практической реализации такой перестройки могут служить комплексные научно-технические отделы (КНТО) планирования и управления НТП, созданные на некоторых предприятиях отрасли. Состав КНТО оп-

ределяется задачами управления НТП на данной стадии цикла «исследование—производство».

На стадии исследований и разработок главная задача — формирование перспективных научно-технических программ по важнейшим направлениям техники и обеспечение реализации этих программ через годовые тематические планы НИР и ОКР. Научно-технические программы и тематические планы являются определяющими для управления НТП на предприятии, поскольку на их основе составляются планы освоения новых изделий, прогрессивных технологических процессов и оборудования и устанавливается будущий технический уровень производства.

На этапе выполнения работ тематического плана основная роль принадлежит оперативному планированию НИР и ОКР, координации действий всех научно-исследовательских, конструкторских, технологических и обеспечивающих подразделений предприятия. Это достигается применением сетевых моделей НИР и ОКР и автоматизированных систем контроля за ходом выполнения работ. Плановое обеспечение финансирования НИР и ОКР на данном этапе играет подчиненную роль и призвано удовлетворять потребности разработок исходя из их содержания и сроков выполнения.

Таким образом, задачам управления НТП на стадии исследований и разработок в структуре КНТО должны соответствовать лаборатории или группы тематического планирования, оперативного планирования и контроля выполнения НИР и ОКР, планового обеспечения финансирования.

На стадии освоения новых изделий в производстве решаются задачи формирования годовых планов освоения, оперативных планов подготовки производства и контроля за ходом их выполнения. В связи с расширением в отрасли практики освоения новых изделий непосредственно в ходе ОКР планирование освоения смыкается с тематическим планированием, а планирование подготовки производства — с оперативным планированием разработок. В соответствии с объемом решаемых задач в КНТО целесообразно иметь самостоятельную группу планирования освоения или группу в составе лаборатории тематического планирования.

Наконец, на стадии производства необходимо планировать научно-технические мероприятия по повышению технического уровня производства и улучшению его технико-экономических показателей применительно к определенным видам продукции. Эту задачу призвана решать лаборатория планирования новой техники.

Создание комплексного отдела планирования и управления НТП дает возможность повысить качество плановой работы на предприятии. Во-первых, создаются объективные условия для реального ускорения темпов научно-технического прогресса, управления длительностью цикла «исследование—производство», что достигается благодаря сквозному планированию по всем стадиям цикла, четкой стыковке всех видов планов, минимизации разрывов между стадиями цикла. Во-вторых, ответственность КНТО за достижение конечных целей НПО позволяет перейти к управлению такими обобщенными показателями, как вклад научных подразделений НПО в повышение

эффективности и технического уровня производства, обновление продукции в производстве и обеспечение прироста объемов за счет внедрения разработок НИИ, качество выпускаемой продукции.

Статья поступила 19 февраля 1987 г.

УДК 658.387

В.В.Анненков, В.А.Преображенский

КОМПЛЕКСНЫЕ ТВОРЧЕСКИЕ КОЛЛЕКТИВЫ — ДЕЙСТВЕННАЯ ФОРМА УСКОРЕНИЯ НТП

Многообразие организационных форм программно-целевого управления научно-техническим прогрессом, применяемых в настоящее время на практике, может быть сведено к трем основным: комплексные творческие коллективы (КТК), создаваемые временно для выполнения целевой программы независимо от степени завершенности цикла «исследование—внедрение»; научно-производственные комплексы, действующие постоянно для удовлетворения потребности народного хозяйства в определенном виде изделий с завершенным инновационным циклом (от поискового исследования до снятия продукции с производства), и временные научно-производственные подразделения — промежуточные организационные формы программно-целевого управления созданием новой техники (с неполным инновационным циклом, без стадий эксплуатации и снятия с производства). В последнее время наибольшее распространение получили комплексные творческие коллективы, создаваемые для решения конкретных важнейших задач.

Комплексный творческий коллектив — это внутрихозяйственная организационная ячейка объединения, имеющая в лице руководителя единое административно-техническое управление.

На время проведения разработки коллективу выделяются людские и материальные ресурсы, фонд заработной платы и материального поощрения и общий объем финансирования по проекту. Работу над проектом, как правило, выполняют специалисты трех категорий: постоянный состав КТК, переменный и содействующий. *Постоянный* состав участвует в выполнении работ на протяжении всего проекта, *переменный* — подключается на отдельных его этапах, а *содействующий* — не входя непосредственно в состав коллектива, выполняет задания по заявкам КТК. После сдачи работ руководителю КТК переменный состав возвращается к деятельности в своих подразделениях, а постоянный — работает до тех пор, пока проект не будет завершен и принят заказчиком.

КТК организуется для выполнения важнейших работ. Специалисты подразделений, занимающиеся поисковыми работами, где создается необходимый научный задел для выполнения будущих проектов, редко привлекаются к работе в КТК. Работники подразделений, ведущих конкретные исследования и разработки, где и формируются КТК, входят в них в качестве постоянного или переменного состава.

Сотрудники функциональных подразделений могут входить в КТК как переменный состав, а их руководители — как состав, содействующий выполнению проекта.

В НПО имеется перечень работ, выполняемых КТК в очередности, определяемой значимостью этих работ, наличием необходимого числа квалифицированных специалистов, материально-технических и финансовых лимитов, фондов материального поощрения и заработной платы.

В программе работ КТК четко сформулированные промежуточные и конечные цели проекта должны быть конкретизированы в форме информационного или предметного результата с указанием сроков, исполнителей, сумм финансирования и поощрения. Эти цели должны находить унифицированное отображение во всех плановых документах.

Распределение заданий между членами коллектива, организация их взаимодействия, приемка отдельных работ осуществляются руководителем КТК с учетом временных и ресурсных ограничений. Заместитель руководителя КТК по переменному составу на время выполнения своей работы по проекту находится в линейном подчинении руководителя КТК, осуществляет контроль за использованием ресурсов по целевому назначению, координирует работу с соисполнителями, принимает оперативные меры при отклонении фактического хода работ от планируемого. Кроме того, он определяет в соответствии с заданными нормативами фонд материального поощрения, выделенного для переменного состава из общего фонда стимулирования по проекту, и утверждает (с учетом мнения совета коллектива) его персональное распределение между членами переменного состава. Методическое руководство переменной группой осуществляет руководитель тематического отдела, из которого данная группа передана в КТК. При затруднениях в решении технических вопросов заместитель руководителя КТК по переменному составу обращается за помощью к руководителю тематического отдела, а если решение вопроса связано с изменениями в работе других соисполнителей проекта, то к руководителю КТК. В случаях, когда вопрос касается корректировки технического задания или сроков его выполнения, решение принимается научно-техническим советом.

Руководитель тематического отдела участвует в разработке ТЗ на проект по своей специализации, осуществляет экспертизу технической стороны выполняемых работ, вместе с руководителем КТК принимает завершенный этап работ. Он несет административную, материальную ответственность и поощряется за качество выполненной работы по завершении проекта и сдаче его заказчику. Так обеспечивается квалифицированное научно-техническое руководство всеми частями разработки. Управление и обслуживание осуществляются централизованно службами НПО.

Комплексному творческому коллективу планируются следующие показатели:

- сроки и сметная стоимость проекта в целом и его этапов;
- научно-технический уровень и экономический эффект от его реализации;
- численность переменного и постоянного составов;
- лимиты по фонду заработной платы;
- лимиты по материалам и комплектующим изделиям;

— лимиты фонда материального поощрения в целом по проекту и по этапам.

КТК представляют ежеквартальный отчет о ходе выполнения работ по проекту, подписанный руководителем коллектива и начальником отдела-темодержателя, что соответствует установленному порядку планирования и финансирования работы НПО в целом.

Система индивидуального планирования основана на личном плане-отчете сотрудника, в котором отмечается качество, плановый и фактический сроки работы. Индивидуальный план утверждается руководителем КТК или его заместителем.

Материальное поощрение работников КТК включает: текущее премирование за выполнение квартальных личных планов по проекту; премирование группы или отдельных членов КТК за достижение конечных результатов поэтапно и в целом по проекту; персональные надбавки руководителю и его заместителям (ответственным исполнителям) на время функционирования КТК; целевое премирование за внедрение новой техники.

Руководитель проекта в полной мере несет ответственность за сроки выполнения, качество проекта и распоряжается фондом материального поощрения по согласованию с советом КТК.

Установленный фонд материального поощрения (ФМП) складывается из фондов постоянного, переменного и содействующего составов. Выплачивается ФМП по завершении разработки технической документации, а также после подписания акта о внедрении и заключении заказчика о промышленном использовании разработки.

Фактический размер ФМП может быть увеличен или уменьшен по сравнению с планом в зависимости от оценки результатов выполненной работы. Не использованная на данном этапе часть ФМП остается в распоряжении руководителя КТК и служит для пополнения ФМП на следующих этапах, даже если они заканчиваются не в текущем году. При этом выплата поощрительных средств производится в соответствии с достигнутым результатом, в частности, она существенно увеличивается за сокращение сроков разработки проекта и достижение более высокого (в сравнении с ТЗ) научно-технического уровня.

Система морального поощрения работников КТК предусматривает:

присвоение звания «Лауреат премии НПО» трех степеней с вручением диплома, знака и денежного вознаграждения руководителям КТК, добившимся повышения объема производства в результате внедрения разработанного изделия на заводе, улучшения качества выпускаемой продукции, экономии материальных ресурсов за счет внедрения новой конструкции, технологии и др.;

присвоение звания «Победитель социалистического соревнования» с вручением грамоты и денежного вознаграждения ответственным исполнителям;

занесение на Доску почета и в Книгу почета НПО с вручением свидетельства и денежного вознаграждения лучших исполнителей.

Кроме того, при повышении в должности и увеличении оклада учитывается в первую очередь вклад, внесенный в работу над проектом в составе КТК. Члены КТК пользуются преимущественным правом на получение жилищной площади, личных автомашин, путевок в санатории, дома отдыха и других социально-бытовых услуг.

Шестилетний опыт работы комплексных творческих коллективов с рассмотренной организационной структурой позволил выявить направления повышения эффективности деятельности КТК и разработать научно обоснованную методику их формирования с учетом многоцелевого назначения.

Статья поступила 27 февраля 1987 г.

УДК 658.381

В.А.Савостьянов, В.И.Ролдугин

ОПЫТ РАБОТЫ НПО В УСЛОВИЯХ ГИБКОГО РАБОЧЕГО ДНЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ

Новая форма организации работы — гибкий рабочий день (ГРД) впервые была разработана и введена в 1967 г. на западно-германской фирме «Messerschmidt» с целью привлечения рабочей силы и повышения эффективности труда. ГРД получил широкое распространение в развитых капиталистических странах, а также в странах социалистического содружества. К началу 80-х годов по гибкому графику работали 60% служащих в Швеции, 30% — в Швейцарии, 6 млн.чел. — в ФРГ, 4 млн.чел. — в США. По оценкам зарубежных специалистов, введение ГРД позволило: повысить занятость населения, решить проблему с транспортом, эффективнее использовать инфраструктуру, уменьшить количество оплачиваемых отпусков и неявок на работу по болезни, полнее использовать рабочее время, повысить производительность труда, качество работы, удовлетворить требования работников, связанные с личной жизнью. В 70-е годы гибкий рабочий день начал внедряться в СССР, в частности в нашей отрасли.

В научно-производственном объединении новая форма использования рабочего времени была введена в целях повышения производительности труда, эффективности работы научных подразделений, сокращения потерь рабочего времени, уменьшения текучести кадров, укрепления трудовой дисциплины, а также более полного удовлетворения социально-бытовых потребностей трудящихся. Уже первые результаты эксперимента показали, что режим ГРД способствует решению всех поставленных задач, а кроме того, обеспечивает улучшение морального климата в подразделениях.

На основании результатов эксперимента и данных анкетного опроса было принято решение, согласно которому все подразделения НИИ и завода по мере готовности были переведены на новую форму организации труда. Работа в режиме ГРД была регламентирована следующим распорядком рабочего времени:

— приход на работу с 7 до 10 ч;

— обязательное присутствие на рабочем месте — с 10 до 16 ч;

— уход с работы — с 16 до 19 ч.

За неделю каждый сотрудник обязан отработать не менее 41 ч 15 мин (исключения могут быть только в случае болезней, командировок). Превышение недельного баланса рабочего времени не компенсируется дополнительным отпуском или оплатой.

Руководителям подразделений предоставлена возможность лишать сотрудников, нарушающих указанный режим, права работать по графику ГРД на срок до 6 мес., а также временно устанавливать график для работников, труд которых связан с производственной деятельностью служб, работающих вне ГРД.

Внедрению ГРД предшествовала большая подготовительная работа:

— разработаны нормативные документы (положение, инструкции, формы табельного учета и отчетности, справка-вопросник, вкладыш к пропускам);

— создана система контроля и учета отработанного времени;

— проведен контроль наличия должностных инструкций;

— установлен контингент сотрудников, условия работы которых требуют соблюдения регламентированного режима рабочего времени;

— разработана и введена система индивидуального планирования рабочего времени и объема выполняемых работ (с конкретизацией заданий на месяц, декаду, день для каждого сотрудника, перешедшего на работу в режиме ГРД);

— проведены разъяснительные беседы с сотрудниками и руководителями подразделений;

— проведено анкетирование сотрудников, работающих в режиме ГРД.

Внедрение режима ГРД предполагает строгий учет и контроль отработанного времени. На начальном этапе работы по гибкому графику этот контроль осуществлялся следующим образом. В «Журнале учета рабочего времени» сотрудники подразделения отмечали время прихода и ухода с работы. Ответственный за табельный учет заверял правильность записи. Один раз в две недели на основании данных журнала составлялся табель учета рабочего времени. Сотрудниками отдела кадров и отдела научной организации труда совместно с представителями общественных организаций проводились периодические проверки. Вопросы внедрения ГРД регулярно рассматривались на совещаниях руководителей объединения.

Для совершенствования табельного учета, повышения его оперативности, более эффективного использования рабочего времени в НПО разработана и внедрена автоматизированная система учета рабочего времени (АСУРВ), представляющая собой аппаратно-программный комплекс, выполненный на базе микропроцессоров серии КР500 и решающий все задачи автономно без привлечения дополнительных вычислительных средств. АСУРВ предназначена для организации на предприятиях учета использования рабочего времени путем регистрации входа (выхода) сотрудников через контрольно-пропускной пункт с последующей обработкой накопленных данных. При этом полностью исключается субъективный фактор и

руководители получают достоверную информацию о балансе рабочего времени и нарушениях у каждого сотрудника, которая по мере надобности представляется по отдельному подразделению или по всей организации за день, неделю, месяц, год. Высокая надежность и чрезвычайная гибкость, небольшие габаритные размеры делают АСУРВ доступной для предприятий с различной численностью сотрудников и работающих по любому графику.

Основные задачи, решаемые АСУРВ;

— фиксирование времени входа (выхода) сотрудников через любой контрольно-пропускной пункт организации;

— выявление всех отклонений от заданного графика при прохождении сотрудниками через контрольно-пропускной пункт;

— подсчет времени, отработанного каждым сотрудником за данный период;

— выдача статистических отчетов об использовании рабочего времени за различные периоды;

— формирование документов для ручного или автоматизированного начисления заработной платы.

АСУРВ содержит центральную станцию и связанные с ней линиями связи периферийные станции.

Документами табельного учета при системе АСУРВ являются: распечатки данных об отклонениях от регламента рабочего времени по режиму ГРД за каждый рабочий день; распечатки данных о количестве времени, отработанного каждым сотрудником за день, за неделю; форма корректировки рабочего времени; табель по учету рабочего времени.

В распечатке указывается дата, подразделение, фамилия, инициалы, табельный номер сотрудника, нарушившего режим работы или не явившегося на работу, а в графе «нарушения» — вид нарушения (отклонения), связанный с проходом через контрольно-пропускной пункт, и время, когда зафиксировано отклонение. В первой половине дня распечатки за предыдущий день направляются табельщиками в подразделения, где выясняются и проставляются в графе распечатки «примечание» причины опоздания, выхода с предприятия во время обязательного присутствия, преждевременного ухода с работы или невыхода на работу. Из подразделений распечатки, подписанные начальником подразделения и табельщиком, в тот же день поступают в АСУРВ, где производится анализ нарушений.

Для своевременной корректировки сведений о рабочем времени сотрудников, отсутствующих с ведома начальника подразделения, а также по учету движения кадров действует специально разработанная форма, которая заполняется и представляется различными службами в операторскую центральную станцию в течение рабочего дня в случае предоставления административного, очередного или учебного отпусков, отгулов за ранее отработанное время, местных командировок, выполнения общественных работ вне территории организации, выполнения государственных обязанностей, а также в случае болезни сотрудника или ухода за больным членом семьи. При привлечении рабочих и служащих к работам в выходные дни эта форма заполняется канцелярией на основании приказа о сверхурочных работах.

Каждое подразделение одновременно с распечаткой отклонений от регламента работы по режиму ГРД получает распечатку об отработанном времени за один день, где указывается число, месяц, год, подразделение, табельный номер сотрудника и число отработанных им часов. В распечатке за последний день недели проставляется количество часов, отработанных каждым сотрудником за неделю. Кроме того, АСУРВ выдает подразделениям сведения о количестве времени, отработанном в выходные дни. Документом, отражающим время, отработанное каждым сотрудником за месяц и служащим для начисления зарплаты, является табель. В настоящее время проводится доработка действующей АСУРВ, в результате которой будет автоматизировано ведение табеля.

Опыт работы объединения в условиях ГРД позволяет заключить, что такая организация труда обеспечивает:

- снижение текучести кадров;
- ликвидацию потерь рабочего времени, связанную с опозданиями и преждевременными уходами с работы;
- сокращение потерь рабочего времени от краткосрочных административных отпусков;
- удовлетворение социально-бытовых потребностей сотрудников за счет оптимального сочетания времени работы и времени выполнения домашних обязанностей, учебы, воспитания детей.
- решение острых вопросов, связанных с городским транспортом, торговлей, бытовым обслуживанием;
- улучшение морального климата в организации, снижение психологических и нервных нагрузок, возникающих в процессе подготовки к работе и самого труда.

Сокращение потерь рабочего времени, переход в условиях ГРД к новой системе организации и планирования работ позволили значительно повысить производительность и качество труда в НПО.

Статья поступила 19 февраля 1987 г.

УДК 001.18:621.38.003

А.Д.Гохштадт

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА В ОТРАСЛИ

Научно-технический прогресс (НТП) представляет собой сложный, многогранный и вместе с тем динамичный процесс, характеризующийся изменениями в составе, номенклатуре и масштабах выпускаемой продукции, а также в технике, технологии, организации и управлении производством. Эти изменения проявляются в конечном счете в виде определенных затрат

и экономических результатов. НТП приводит к созданию новых видов продукции и услуг, удовлетворяющих новые потребности, причем часть из них не имеют аналогов в прошлом и рождены новой техникой, а часть являются результатом обновления и увеличения номенклатуры и ассортимента ранее выпускавшихся изделий. Появление новых и расширение уже имеющихся потребностей может характеризоваться уровнем и динамикой выпуска новых видов изделий. Экономический показатель, отражающий этот процесс — доля новой продукции в общем объеме выпуска — позволяет сравнивать объединения и предприятия между собой, а также одно предприятие в разные периоды деятельности.

Влияние научно-технического прогресса на удовлетворение потребностей народного хозяйства характеризуется долей качественной и прогрессивной продукции в общем объеме выпуска. К качественным изделиям следует отнести изделия высшей категории качества, изделия, имеющие надбавки за улучшенные качественные характеристики (например, долговечность и надежность) и поставляемые на экспорт. Оценка прогрессивности изделий в различных отраслях промышленности производится по-разному, и критерии ее постоянно меняются под влиянием НТП. Для группы машиностроительных отраслей степень прогрессивности продукции, не подлежащей аттестации, может оцениваться единообразно долей продукции высших и специальных видов приемок в общем объеме выпуска профильной продукции. К числу характеристик качества изделий относятся также их новизна, уровень рекламаций и экономия от повышения качества.

Показатели качества изделий, выпускаемых отраслью, объединением или предприятием могут оцениваться: в сравнении с аналогичными показателями в других хозяйственных системах, с показателями предыдущего базового периода, с плановыми показателями (оценка может производиться в натуральном и денежном выражении). Эти показатели и схема их анализа приведены в табл. 1.

Научно-технический прогресс является главным фактором повышения экономической эффективности общественного производства, что выражается в выпуске более качественной и прогрессивной продукции, требующей меньше затрат в потреблении, а также в совершенствовании самого производства (оборудования, технологии, материалов, организации и управления), снижающем себестоимость изготовления изделий.

Рассмотрим на примере НТП в производстве интегральных схем основные составляющие экономии, достигаемой в народном хозяйстве.

Вследствие прогресса в технологии, оборудовании, материалах, организации и управлении производством в отрасли систематически снижаются себестоимость интегральных схем и цены на них.

Второй важный источник народнохозяйственной экономии связан с усложнением самих интегральных схем, повышением степени интеграции, которое позволяет отрасли, производящей ИС, экономить материальные и трудовые ресурсы за счет снижения затрат в расчете на один элемент.

Отрасли, выпускающие аппаратуру с применением электронных компонентов, помимо

Таблица 1

Наименование показателя	Значение показателя			Доля показателя в общем объеме производства		
	Абсолютный уровень	изменение		уровень	изменение	
		абсолютное	в процентах		абсолютное	в процентах
Продукция высшей категории качества*	+	+	+	+	+	+
Продукция первой категории качества*	+	+	+	+	+	+
Продукция, поставляемая на экспорт	+	+	+	+	+	+
Продукция по видам приемок	+	+	+	+	+	+
Продукция, имеющая надбавки за качество	+	+	+	+	+	+
Сумма надбавок к ценам за качество продукции	+	+	+	-	-	-
Прогрессивная продукция	+	+	+	+	+	+
Новая продукция	+	+	+	+	+	+
Возвращенная некачественная продукция	+	+	+	+	+	+
Экономия от повышения качества продукции	+	+	+	-	-	-

* Доля этой продукции определяется в общем объеме продукции, подлежащей аттестации.

удешевления своего производства за счет снижения затрат на покупную комплектацию в расчете на один потребляемый элемент, получают экономию вследствие уменьшения числа монтажно-сборочных операций, а, следовательно, уменьшения численности рабочих, производственных площадей и оборудования. Кроме того, достигается повышение производительности радиоэлектронной аппаратуры, сокращение потребляемой ею мощности, веса, габаритов. Имеет место и относительная (в расчете на выполняемые функции) экономия расходов на эксплуатацию оборудования в системах конечного назначения.

Для определения величины народнохозяйственной эффективности от повышения степени интеграции ИС вначале рассчитывается количество условно сэкономленных микросхем исходя из данных о средней степени интеграции ИС базового и расчетного годов и количестве использованных ИС с повышенной степенью интеграции.

Далее определяется экономия в отрасли, производящей ИС повышенной степени интеграции, которая получается, несмотря на

более высокие затраты на их производство, за счет уменьшения выпускаемых ИС при удовлетворении одного и того же объема выполняемых функций.

На основе экономии на комплектации может быть рассчитана в отрасли, производящей ИС, условная экономия трудовых ресурсов как отношение экономии на комплектации к выработке, достигнутой при производстве ИС, и условная экономия основных фондов в результате сокращения работающих и соответственно (с учетом коэффициента сменности) количества рабочих мест.

Экономия отрасли-потребителя на комплектации вследствие применения ИС повышенной степени интеграции образуется за счет уменьшения потребного количества схем за вычетом величины дополнительных расходов.

Экономия на монтажно-сборочных операциях у потребителя получается в результате сокращения количества ИС, входящих в конечную аппаратуру, поскольку, согласно расчетам, средняя стоимость сборки одной ИС составляет ~10% от ее стоимости.

Сокращение монтажно-сборочных операций при внедрении ИС повышенной степени интеграции обеспечивает условную экономию трудовых ресурсов у потребителя, которая рассчитывается как отношение экономии, полученной за счет сокращения монтажно-сборочных операций, к выработке, достигнутой на операциях сборки, что позволяет соответственно сократить и количество рабочих мест, т.е. приводит к экономии основных фондов.

Помимо экономии в отраслях, производящих ИС и выпускающих радиоэлектронную аппаратуру, имеет место экономия при ее эксплуатации у потребителя, которая складывается из трех основных составляющих: уменьшения массогабаритных показателей, снижения энергопотребления и повышения качества.

Поскольку стоимости площадей (объемов), на которых эксплуатируется радиоэлектронная аппаратура, различны и определяются ее назначением (промышленная, учрежденческая, бытовая и т.д.), для вычисления экономии, получаемой вследствие уменьшения массогабаритных показателей необходимо, учитывая вид аппаратуры, использовать при расчетах соответствующую ему стоимость 1 м² площади (или 1 м³ объема).

Определение экономии расходов в результате сокращения энергопотребления следует проводить с учетом применяемых источников питания.

Конкретные формулы расчета экономического эффекта от повышения степени интеграции ИС приведены в работе [1].

Экономия от повышения качества изделий в народном хозяйстве должна определяться как разность совокупных текущих затрат в расчете на полезность по основному назначению нового (или улучшенного) и базового изделия за срок его службы (в расчете на одно новое изделие).

Совокупные текущие затраты, приходящиеся на одно изделие, состоят из себестоимости изделия у изготовителя и эксплуатационных затрат потребителя за срок службы изделия (включая затраты на замену), кроме затрат на приобретение самого изделия.

В производстве электронной техники и аппаратуры важнейшими параметрами полезности по основному назначению являются: быст-

родействие, объем памяти, надежность и др. Учитывая особое значение показателя надежности ИЭТ в условиях научно-технического прогресса, рассмотрим этот показатель подробно с экономической точки зрения.

Под надежностью изделий, как известно, понимается такое комплексное их свойство, которое в зависимости от назначения и условий эксплуатации определяется долговечностью, безотказностью, сохраняемостью и ремонтпригодностью. Потребителя в зависимости от требований к изделию может интересовать повышение одного из этих свойств или одновременно нескольких.

Экономия в результате повышения долговечности для потребителя заключается главным образом в уменьшении количества изделий, необходимых для замены, а также затрат, вызываемых заменой.

В условиях, когда долговечность может непрерывно увеличиваться в заданных пределах, а капитальные затраты у потребителя остаются неизменными (за исключением стоимости изделия), экономия от повышения долговечности одного изделия определяется по формуле:

$$\Delta = (C_0 + Z_0^3) \cdot a_d - (C_n + Z_n^3),$$

где C_0 и C_n — себестоимости изделия со старой и новой долговечностью, Z_0^3 и Z_n^3 — затраты на замену единицы изделия со старой и новой долговечностью; a_d — коэффициент заменяемости по долговечности, исчисляемый отношением долговечности старого и нового изделий.

Повышение безотказности в зависимости от условий работы изделий может выражаться либо через повышение гарантийного технического ресурса при заданной вероятности безотказной работы, либо через повышение вероятности безотказной работы при заданном техническом ресурсе.

Повышение вероятности безотказной работы для данного распределения вероятностей требует сокращения гарантийного технического ресурса, и наоборот — повышение последнего ведет к снижению гарантийной вероятности безотказной работы.

Повышение гарантийного технического ресурса при прежней вероятности безотказной работы равноценно замене нескольких изделий с меньшим гарантийным сроком, обеспечивающим ту же вероятность. Получить более высокую вероятность безотказной работы для одних и тех же изделий (при прежних параметрах распределения вероятностей) можно лишь за счет сокращения гарантийного технического ресурса, т.е. при сохранении прежней продолжительности работы для гарантирования повышенной вероятности безотказной работы необходимо использовать большее количество изделий с уменьшенным гарантийным техническим ресурсом.

Следовательно, если удастся улучшить (с помощью каких-либо мероприятий) параметры распределения вероятности безотказной работы, то в зависимости от требований потребителя можно обеспечить либо повышение гарантийного технического ресурса, либо повышение вероятности безотказной работы, что позволяет заменить несколько прежних, менее

качественных изделий: $a_n = T_n^{\text{гар}} / T_0^{\text{гар}}$, где a_n — коэффициент заменяемости по надежности; $T_n^{\text{гар}}$ и $T_0^{\text{гар}}$ — гарантийные технические ресурсы нового и старого изделия, обеспечивающих равную вероятность безотказной работы (либо прежнюю, либо повышенную).

В том случае, когда распределение вероятности для нового и старого изделий соответствует экспоненциальному закону, коэффициент заменяемости по надежности определяется отношением средних технических ресурсов:

$$a_n = T_n^{\text{гар}} / T_0^{\text{гар}} = T_n^{\text{ср}} / T_0^{\text{ср}}.$$

Однако вероятность безотказной работы в более сложных случаях зависит не только от среднего технического ресурса, но и от рассеивания наработки на отказ, выражаемого средним квадратичным отклонением от средней величины.

Для изделий, распределение вероятности безотказной работы которых в зависимости от времени подчиняется известным законам, расчеты коэффициентов заменяемости по надежности осуществляются по специальным таблицам, позволяющим на основании известного среднего технического ресурса и среднего квадратичного отклонения определять гарантийные технические ресурсы для заданных вероятностей безотказной работы. Для других видов распределения расчеты могут быть более сложными. В тех случаях, когда закон распределения выявить трудно, а известна только область, в которой может находиться кривая убыли работающих изделий, приходится пользоваться приближенными формулами, отвечающими средним (математически ожидаемым) значениям вероятностей.

Когда по истечении гарантийного технического ресурса изделие заменяется, потребителю очень нежелательно иметь вероятность отказов выше определенного уровня, поскольку это может привести к убыткам в результате внезапных отказов, т.е. отказов, возникающих в пределах гарантийного технического ресурса с вероятностью $[1 - P(t)]$. Убытки от одного внезапного отказа определяются не только потерями в производстве, но и стоимостью технического обслуживания и профилактики, направленных на предотвращение таких отказов, и вычисляются по формуле:

$$U_{\text{отк}} = C_{\text{отк}} [1 - P(T_{\text{гар}})],$$

где $U_{\text{отк}}$ — убытки от внезапных отказов, приходящиеся на одно изделие; $C_{\text{отк}}$ — стоимость одного отказа. Разница же в убытках от внезапных отказов нового и базового изделия (в расчете на одно изделие) вследствие повышения надежности равна $C_{\text{отк}}(a_n - 1)$.

Расчет экономии от повышения гарантийных показателей надежности в случае, когда по истечении гарантийного технического ресурса изделие заменяется, производится по формуле:

$$\Delta = (C_0 + Z_0^3) a_n - (C_n + Z_n^3) + C_{\text{отк}} (a_n - 1).$$

Часто потребителей интересует как средний технический ресурс, так и безотказность в течение определенного гарантированного времени. Изделия в этом случае эксплуатируются до отказа, однако убытки от внезапных отка-

зов, техническое обслуживание и профилактика соответствуют гарантийным показателям безотказности. Экономия от повышения надежности определяется при этом как

$$\Delta = (C_0 + 3z_0^3) a_d - (C_n + 3z_n^3) + C_{отк} (a_n - 1),$$

где a_d и a_n — коэффициенты заменяемости по долговечности и надежности.

Правильность расчетов экономии от повышения надежности в значительной степени зависит от достоверности данных по расходам на замену изделий, стоимости отказов, технического обслуживания и профилактики.

Сама по себе экономия затрат или ресурсов еще не свидетельствует об экономической эффективности научно-технического прогресса. Важно соизмерить получаемую экономию с дополнительно привлеченными ресурсами. В этой связи необходимо различать показатели интегральной экономии текущих затрат, сравнительного эффекта, народнохозяйственного эффекта и соответственно коэффициенты прироста общей, сравнительной, народнохозяйственной (структурной) эффективности капитальных вложений в производственные фонды.

Интегральная экономия текущих затрат, получаемая в отрасли, объединении, на предприятии, складывается из экономии текущих затрат в производстве и потреблении продукции. Интегральная экономия текущих затрат, получаемая каждой хозяйственной системой, представляет собой абсолютный, а ее отношение к капитальным вложениям в производственные фонды — относительный результат прироста эффективности производства. Это отношение можно назвать коэффициентом (критерием) прироста общей (интегральной) эффективности, который определяется по формуле:

$$E_0 = \Delta_T^n / B, \text{ где } \Delta_T^n \text{ — интегральная экономия текущих затрат; } B \text{ — капитальные вложения в производственные фонды.}$$

Коэффициент E_0 учитывает только одну функцию производственных фондов — способность снижать затраты — и не учитывает другой не менее важной функции — производства изделий для удовлетворения общественных потребностей. Чем больше изделий производится на рубль капиталовложений в производственные фонды, тем меньше требуется капитальных ресурсов при том же объеме выпускаемой продукции. Учет этой второй функции довольно сложен.

Можно достаточно строго показать [2], что различие в уровне фондоотдачи при сравнении вариантов необходимо учитывать, пользуясь формулами:

$$T'_{ок} = T_{ок} \cdot K_2 / K_1, \tag{1}$$

$$E' = E \cdot K_1 / K_2, \tag{2}$$

из которых видно, что отличие T от $T_{ок}$, а E от E' заключается в дополнительном учете уровня фондоотдачи при сравнении вариантов, т.е. T' и E' — это срок окупаемости и коэффициент эффективности дополнительных капиталовложений, скорректированные с учетом отношения уровней фондоотдачи или, что то же, удельных капитальных вложений.

Из выражений (1) и (2) следует:

$$(K_2 - K_1) / (C_1 - C_2) \cdot K_2 / K_1 \geq T'_n = 1 / E_n$$

$E'_n(K_2 - K_1) \geq (C_1 - C_2) \cdot K_1 / K_2$ и, следовательно,

$$\Delta_{ср} = (C_2 + E'_n \cdot K_2) - (C_1 + E'_n \cdot K_1) + (C_1 - C_2) \times (1 - K_1 / K_2)$$

$$\text{или } \Delta_{ср} = (C_2 - C_1) + E'_n(K_2 - K_1) + (C_1 - C_2) \times (1 - K_1 / K_2).$$

Анализ выражения (3) показывает, что первая его часть $(C_2 + E'_n \cdot K_2) - (C_1 + E'_n \cdot K_1)$ по своей форме соответствует разнице приведенных затрат, хотя по содержанию они различны, поскольку E' отличается от E на величину отношения K_1 / K_2 , и нормируется в данном случае не коэффициент эффективности дополнительных капитальных вложений, а срок сравнения вариантов по производству продукции (работы) на рубль первоначальных капитальных вложений.

Вторая часть выражения (3) $(C_1 - C_2) \times (1 - K_1 / K_2)$ означает уменьшение экономии на уровнях себестоимости сравниваемых вариантов вследствие недополучения продукции из-за более низкой фондоотдачи более капиталоемкого варианта.

Таким образом, формула (3) позволяет определять экономический результат не только как разницу приведенных затрат, но и как разницу фондоотдачи в сравниваемых вариантах, т.е. вычислять полный эффект сравнения двух вариантов.

Экономический эффект сравнения — важный показатель, обуславливающий предпочтение одного варианта хозяйственного решения другому. В отличие от него народнохозяйственный эффект характеризует не потенциальный, а действительный эффект, получаемый народным хозяйством при реализации варианта хозяйственного решения, и отражает изменение показателей предприятия, отрасли или народного хозяйства в целом за счет вклада соответствующей хозяйственной системы в развитие системы более высокого уровня. Он, таким образом, представляет собой экономический эффект от прогрессивных структурных сдвигов, происходящих в отрасли или стране, и может быть назван народнохозяйственным сравнительным эффектом. Именно этот показатель, по нашему мнению, характеризует реальный экономический результат научно-технического прогресса.

Покажем технологию расчета народнохозяйственного (сравнительного) эффекта на условном примере (исходные данные приведены в табл. 2).

Таблица 2

Наименование показателя	Базовый вариант	Новые варианты		
		1	2	3
Цена, руб.	100	100	100	100
Себестоимость единицы продукции, руб.	85,5	80,0	80,0	80,0
Удельные капитальные вложения, руб/руб.	50	50	60	40
Фондоотдача производственных фондов руб/руб.	2	2	1,67	2,5

Таблица 3

Наименование показателя	Новые варианты		
	1	2	3
Экономия себестоимости единицы продукции по сравнению с базовым вариантом ($C_1 - C_2$), руб.	-5,5	-5,5	-5,5
Экономия приведенных капитальных вложений в производственные фонды на единицу продукции по сравнению с базовым вариантом $E'_n \cdot (K_2 - K_1)$ при $E'_n = 0,15$, руб.	—	+1,5	-1,5
Относительная экономия себестоимости на единицу продукции вследствие различий в уровне фондоотдачи по сравнению с базовым вариантом $(C_1 - C_2) (1 - K_1/K_2)$	—	+0,9	-0,9
Народнохозяйственный (сравнительный) эффект варианта по сравнению с базовым в расчете на единицу продукции $(C_2 - C_1) + E'_n (K_2 - K_1) + (C_1 - C_2) \times X(1 - K_1/K_2)$, руб.	-5,5	-3,1	-7,9

Как видно из табл. 2, первый вариант отличается от базового только уровнем себестоимости продукции при одинаковой капиталоемкости, второй и третий варианты при одинаковых с первым вариантом уровнях себестоимости отличаются от него размерами удельных капитальных вложений, при этом во втором варианте они выше, а в третьем ниже, чем во втором. Результаты расчета эффекта по всем вариантам решений сведены в табл. 3. Рассчитанные по данным этой таблицы коэффициенты народнохозяйственной (сравнительной) эффективности по трем вариантам (в расчете на одно изделие) соответственно равны 0,11; 0,05 и 0,2.

Изложенные выше предложения по оценке экономических результатов НТП охватывают

основные области экономики предприятия и позволяют, по мнению автора, целенаправленно, полно и точно определять изменения в экономических показателях работы и экономический эффект как на предприятии, так и в народном хозяйстве, обусловленные прогрессивными структурными сдвигами и внедрением различных нововведений.

Крупные, наиболее эффективные нововведения создаются в основном разрабатывающими предприятиями. Поэтому важно заинтересовать их в максимальной эффективности внедряемых разработок, что может быть достигнуто путем отчисления предприятиями, внедряющими разработки, определенной доли гарантированного экономического эффекта в фонды экономического стимулирования НИИ (КБ). Такие отчисления в принципе предусмотрены решением правительства по переводу НИИ и КБ на новые условия хозяйствования, однако в нем не указано, за счет каких статей финансового плана промышленных предприятий их можно производить.

Видимо, необходимо узаконить отчисления промышленными предприятиями части своей плановой и сверхплановой прибыли в размере 16,5% гарантированного экономического эффекта в фонды экономического стимулирования НИИ (КБ) за разработку и освоение новой техники и технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Митюшин Ю.Б., Гохштан А.Д., Коломийцев М.И. Определение народнохозяйственной эффективности от роста степени интеграции ИС. — Электронная техника. Сер. 9. ЭИСУ, 1985, вып. 2, с. 15—17.

2. Гохштан А.Д. Вопросы измерения эффективности хозяйственных решений. — Электронная техника. Сер. 9. ЭИСУ, 1984, вып. 2, с. 13—17.

Статья поступила 11 марта 1987 г.

НОВЫЕ КНИГИ

МИНИ- И МИКРОЭВМ СЕМЕЙСТВА "ЭЛЕКТРОНИКА"

Б.Л. Толстых, И.Л. Талов, В.В. Плотников и др.

М.: Радио и связь, 1987. — 20 л.

Описана архитектура, технические и программные средства мини- и микроЭВМ семейства "Электроника". Рассмотрены вопросы построения систем автоматизированного проектирования на базе ЭВМ "Электроника".

Для инженерно-технических работников, специализирующихся в области вычислительной техники и автоматизированных систем управления и проектирования.

ПЕРВЫЕ ШАГИ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Ж. Паскалев

Пер. с болг. — М.: Радио и связь, 1987. — 10 л.

В популярной форме рассмотрена структура ЭВМ, раскрыто понятие алгоритма, даны основы математических и логических операций, описаны элементы, на базе которых строятся основные устройства вычислительной машины, показана роль программного обеспечения в работе ЭВМ, приведены примеры программ на языке Бейсик. Для широкого круга читателей.

ИССЛЕДОВАНИЯ. РАЗРАБОТКИ. МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

УДК 543.08:621.38

А.Г.Денисов

РОЛЬ ЦЕНТРОВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВЫСОКОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Результаты работы ЦФХИВИ в 11-й пятилетке показали, что такая форма концентрации наиболее современного физико-аналитического оборудования (ФАО) и высококвалифицированных кадров весьма эффективна для решения широкого круга задач отрасли. Помимо официально утвержденных региональных ЦФХИВИ на ряде ведущих предприятий отрасли созданы подразделения, которые также оснащены ФАО и выполняют аналогичные функции, поэтому в понятие ЦФХИВИ включим и эти подразделения.

Среди задач, решаемых ЦФХИВИ, важнейшими являются задачи повышения качества и надежности ИЭТ на основе исследования и стабилизации технологических процессов; уточнения требований к параметрам технологических режимов и оборудования; аттестации технологических процессов и оборудования; анализа причин отказов и создания физико-химических моделей деградации.

Использование современного ФАО при решении указанных задач обеспечит развитие технологических основ производства, базирующихся на создании новых представлений на уровне атомарных взаимодействий и формировании более информативных моделей различных технологий. Эти модели позволяют оптимизировать требования к исходным материалам, технологическим средам и режимам и, что особенно важно, к технологическому оборудованию. Рассмотрим некоторые аспекты оптимизации технологии с помощью ФАО на примере микроэлектроники.

Развитие микроминиатюризации обуславливает качественно новые требования к технологическому оборудованию и исходным материалам, связанные с необходимостью освоения способов изготовления единичных элементов микросхем размером 0,2–0,4 мкм, а также с увеличением числа элементов на кристалле до 10^6 – 10^8 . Достижение таких показателей возможно только при значительном повышении качества исходных пластин по концентрации и видам дефектов, снижению фоновых примесей в технологических средах в 10–1000 раз, использовании технологических воздействий, результаты которых сравнимы с такими уровнями неконтролируемых примесей, какие считались приемлемыми для изделий предшествующих поколений. Так, например, концентрации легирующих примесей для некоторых ССИС и СВЧ-приборов составляют 10^{13} – 10^{14} ат/см³ (при довольно жестких требо-

ваниях к распределению по глубине), в то время как уровень неконтролируемых примесей 10^{13} – 10^{16} ат/см³ считался до последнего времени приемлемым. Необходимость контроля профиля легирования с чувствительностью 10^{13} ат/см³ — одна из задач, для решения которых требуется использование наиболее современного ФАО.

Неконтролируемые примеси в исходных материалах и технологических средах — не единственный источник загрязнений, приводящих к браку готовых изделий. Причинами таких загрязнений могут быть также ошибки в конструкции оборудования, организации режимов работы. Так, паразитное распыление конструктивных элементов рабочим ионным пучком в процессе имплантации, газотделение внутренних стенок технологических камер и другие подобные явления могут оказывать решающее влияние на качество изготавливаемых структур. Обеспечение взаимного согласования компонентов системы "машина — технологический процесс — изделие" связано с поиском информативных параметров машины и технологического процесса, а также средств измерения этих параметров.

Появление в отрасли ФАО значительно расширило совокупность измеряемых параметров и диапазоны их измерений при контроле технологических операций, а также при исследовании и контроле физико-химических свойств обрабатываемого объекта после технологических операций.

Недостаточная изученность использования ФАО для исследований и контроля технологии, а также отсутствие стандартных приемов, методов и средств метрологического обеспечения обусловили ведущую роль ЦФХИВИ в деле внедрения ФАО в отрасли. В процессе этого внедрения выявилось стремление к таким видам измерений, которые несут детальную информацию на атомарном уровне о химическом составе и кристаллической структуре материала или о влиянии на него технологических операций на уровне межмолекулярных (межмолекулярных) взаимодействий. Показательным примером такого процесса является динамика развития методов и средств исследований профилей концентрации примесей в полупроводниковых материалах, которые на первом этапе выполнялись главным образом путем измерений электрофизических характеристик полупроводниковых структур. Эти методы фиксируют наличие (или даже оценивают концентрацию) электрически активных центров, но не дают практически никакой информации об их химической природе. Для детального решения многих задач согласования компонентов системы "машина — технологический процесс — изделие" такой информации недостаточно, что явилось одной из причин развития интереса к применению наиболее современного ФАО для прямых измерений профилей химического состава различных материалов на атомарном уровне. Сначала для этих целей использовался послойный анализ на основе оже-электронной спектроскопии. Необходимость повышения чувствительности анализа вплоть до 10^{13} ат/см³ с локальностью 1–3 мкм и динамиче-

ским диапазоном измерений в шесть порядков выдвигает на первый план применение метода и аппаратуры вторично-ионной масс-спектрометрии. В настоящее время в отрасли наибольшим спросом пользуются ионные микрозонды.

Следующим важным этапом использования ФАО является анализ причин отказов ИЭТ и формирование моделей деградации приборов, которые раскрывают в числе других связи между параметрами технологических операций и процессами, ответственными за деградацию готовых изделий. Анализ таких связей позволяет определить требования к параметрам (установить границы) технологических режимов и характеристикам оборудования, что обеспечивает научно-обоснованное формирование средств и методик аттестации технологических процессов и специального технологического оборудования, открывает возможность оценки качества технологического процесса не по результатам изучения статистического распределения параметров готовых изделий, а посредством объективного измерения параметров физико-химических процессов, лежащих в основе технологии.

Совершенствование технологических процессов путем использования ФАО — основа для организации производства ИЭТ с гарантированной надежностью. Однако имеется целый ряд факторов, сдерживающих внедрение ФАО: недостаточное количество такого оборудования в отрасли, высокая стоимость и малая производительность некоторых его видов, нехватка квалифицированных специалистов, наконец, отсутствие прямых методик оценки экономического эффекта от внедрения ФАО (привычные критерии, такие как высвобождение численности, повышение производительности и т.п., не всегда приемлемы).

С помощью ЦФХИВИ успешнее преодолеваются указанные трудности и тем самым создается база для расширения фронта внедрения ФАО в отрасли. Деятельность ЦФХИВИ по совершенствованию технологии на основе использования физико-аналитического оборудования означает появление нового вида обратной связи в системе "машина — технологический процесс — изделие", а сам факт оснащения производства этим оборудованием представляет собой принципиально новый способ совершенствования материальной базы разработки и производства ИЭТ. Поэтому дальнейшее развитие ЦФХИВИ при головных институтах в качестве опорных пунктов формирования технической политики по принятию принципиально новых научно-технических решений на базе использования ФАО, обеспечивающих создание приоритетных ИЭТ и технологий, целесообразно и необходимо.

Развитие ЦФХИВИ должно идти по двум направлениям. Во-первых, следует улучшать деятельность собственно ЦФХИВИ с учетом задач 12-й пятилетки по дальнейшему оснащению центров кадрами и их укреплению, а также по ускоренному развитию методического и метрологического обеспечения. Это направление предполагает и дальнейшую специализацию центров, при которой вид используемого ФАО определяется технологией, доминирующей в данном НИИ. Во-вторых, необходимо совершенствовать структуру взаимодействия между ЦФХИВИ: обмен методическими материалами, стандартизацию применения ФАО, создание стандартных образцов и др.

Назрел вопрос формирования иерархической системы ЦФХИВИ без изменения административно-

го подчинения. Улучшение координации работ ЦФХИВИ в 12-й пятилетке будет способствовать повышению эффективности внедрения ФАО как важнейшего элемента опытно-экспериментальной базы НИИ и КБ отрасли.

Статья поступила 10 февраля 1987 г.

УДК 543.42

**А.Г.Денисов, Б.А.Полонский,
О.Д.Протопопов, О.Б.Соколов**

КОМПЛЕКСНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНО-ЭЛЕКТРОННОЙ И ОЖЕ-СПЕКТРОСКОПИИ

Комплексная установка, в которой применяются методы рентгено-электронной и оже-спектроскопии с ионным распылением при исследовании одного участка поверхности образца, может быть эффективно использована для отработки большинства технологических процессов изготовления изделий микроэлектроники и для анализа их отказов.

Среди физических методов диагностики поверхности твердого тела особое место занимают методы электронной и ионной спектроскопии [1, 2], поскольку они позволяют анализировать важнейшие характеристики поверхности твердого тела — элементный и химический состав, кристаллическую структуру, электронное строение.

Все более распространенным становится объединение нескольких методов анализа поверхности в одной установке [2]. Комплексный анализ поверхности разными методами в идентичных условиях, как правило, обеспечивает получение большого объема информации об объекте и, следовательно, позволяет делать более корректные научные и технологические выводы. Наиболее информативна комбинация методов рентгено-электронной (РЭС) и оже-спектроскопии (ЭОС). ЭОС характеризуется высокой чувствительностью, оперативностью и пространственной локальностью. Метод РЭС, хотя и уступает в этом отношении ЭОС, но обладает уникальной возможностью идентификации видов химической связи атомов приповерхностной области твердого тела. Другими словами, ЭОС — это метод оперативного элементного анализа, РЭС — метод химического анализа поверхности. РЭС характеризуется экстремально малым возмущающим воздействием на исследуемую поверхность, что особенно важно при анализе диэлектриков и полупроводников, кроме того, этот метод более перспективен по сравнению с ЭОС для количественных измерений. Объединение данных методов в одной установке позволит эффективно использовать ее для отработки большинства технологических процессов изготовления изделий микроэлектроники и анализа их отказов.

В состав комплексной установки для анализа поверхности методами РЭС и ЭОС (рис. 1) входят: высоковакуумная исследовательская камера со



Рис. 1. Комплексная установка для анализа поверхности методами рентгено-электронной и оже-спектроскопии

средствами откачки; двухкаскадный цилиндрический энергетический анализатор с системой предторможения и встроенной электронной пушкой; источник рентгеновского излучения с двойным (Al-Mg) анодом; манипулятор объектов; ионная пушка с дифференциальной откачкой и системой напуска инертного газа; автономная система охлаждения рентгеновского источника; питающая и регистрирующая аппаратура, а также автоматизированная система управления и обработки данных на базе микроЭВМ.

Манипулятор, энергетический анализатор, ионная пушка и источник рентгеновского излучения расположены таким образом, что электронный, ионный и рентгеновский пучки пересекаются на поверхности исследуемого объекта в фокальной области анализатора. Это позволяет проводить анализ методами РЭС и ЭОС, а также послойный анализ одной области поверхности объекта без его перемещения. Угол между осями рентгеновского источника и анализатора равен 90° , так как выход фотоэлектронов максимален в направлении, перпендикулярном потоку рентгеновских квантов [3–5].

Манипулятор с прогреваемым держателем обеспечивает перемещение объекта по трем осям с точностью $\pm 0,02$ мм, поворот на 320° и контролируемый прогрев до 2000°C . Анализируемые объекты имеют размеры $10 \times 10 \times 0,5$ мм.

Одним из важнейших видов применения методов электронной спектроскопии является послойный анализ с распылением поверхностных слоев объекта пучком ионов инертного газа. Совмещение ионного распыления с РЭС затруднено, поскольку обычно используемые в электронных спектрометрах ионные пушки работают при напуске инертного газа в камеру спектрометра до сравнительно высоких давлений $\sim 10^{-2} \dots 10^{-3}$ Па. Если системы откачки исследовательской камеры и рентгеновского источника не разделены, то такое же давление будет в рабочем объеме источника. В связи с высокими значениями тока эмиссии (до 100 мА) и мощности источника (до 1 кВА) произойдет эффективная ионизация инертного газа в рентгеновском источнике, сопровождаемая ионной бомбардировкой его элементов, особенно катода и фильтра-монокроматора, что резко сократит долговечность источника.

Для устранения указанного явления в установке применена высокоэффективная ионная пушка с дифференциальной откачкой, которая обеспечи-

вает получение пучка ионов инертного газа с энергией $0,5 \dots 5$ кэВ, диаметром до 0,2 мм и плотностью тока не менее 500 мкА/см^2 . Система дифференциальной откачки на базе турбомолекулярного насоса ТМН-450 создает перепад давлений между ионизационной камерой пушки и исследовательской камерой не менее двух порядков при давлении в ионизаторе $10^{-2} \dots 10^{-3}$ Па. С целью исключения образования кратера предусмотрено электронное сканирование ионного пучка по всей исследуемой поверхности.

Для дифференциальной откачки ионной пушки к ней подключается турбомолекулярный насос, который может использоваться и для предварительной откачки аналитической камеры, осуществляемой обычно двумя цеолитовыми насосами. Предварительное разрежение для турбомолекулярного насоса создается форвакуумным насосом 2НВР-5Д, оснащенный сорбционной ловушкой и системой электромагнитных клапанов.

Высоковакуумная откачка проводится с помощью магнитоэлектрического (НМДИ-0,25) и криосорбционного насосов и обеспечивает в обезгаженной аналитической камере остаточное давление не хуже $1 \cdot 10^{-7}$ Па. При вскрытии камера заполняется сухим азотом.

В качестве энергетического анализатора в комплексной установке применено двухкаскадное цилиндрическое зеркало с регулируемым разрешением, обеспечивающее оптимальное соотношение между светосилой и светимостью (произведение пропускания и размера источника) [6], которое наилучшим образом удовлетворяет противоречивым требованиям к анализатору в методах ЭОС и РЭС [7].

Для получения режима постоянного абсолютного разрешения ($\Delta E = \text{const}$) в методе РЭС используется предварительное торможение электронов с помощью двухсеточной линзовой системы. В методе ЭОС, где обычно применяется режим постоянного относительного разрешения ($R = \Delta E/E = \text{const}$), обе сетки заземляются. Сетки (тормозящие и защитные на поверхности внутреннего цилиндра анализатора) для увеличения прозрачности выполнены в виде параллельных щелей, ориентированных вдоль образующей цилиндра. Щели на всех окнах расположены в одной аксиальной плоскости.

С целью устранения искажений электростатического поля на краях анализатора создана система из трех корректирующих электродов, представляющих собой конические кольца, средний радиус которых изменяется по экспоненциальному закону; так что потенциалы на этих электродах составляют 0,25; 0,5 и 0,75 от потенциала на внешнем цилиндре анализатора. Коррекция искажения поля вблизи межкаскадной диафрагмы осуществляется с помощью керамических колец с резистивным покрытием. Для уменьшения вторичной эмиссии с электродов анализатора на рабочих поверхностях его цилиндров нанесена мелкая упорная резьба. Влияние магнитных полей компенсируется в анализаторе двойным магнитным экраном из пермаллоя 79НМ толщиной 1 мм. Кроме того, все детали анализатора выполнены из немагнитных материалов.

Устройство изменения разрешения представляет собой подвижное цилиндрическое кольцо, которое совместно с выходным отверстием внутреннего цилиндра анализатора образует кольцевую диафрагму переменного размера. Поступательное дви-

жение кольца обеспечивается высоковакуумным вводом вращения с микрометрической головкой на наружной стороне фланца. Устройство позволяет плавно устанавливать любое значение разрешения в диапазоне 0,25...1%.

В качестве коллектора электронов используется микроканальный вторично-электронный умножитель ВЭУ-7, который отличается от умножителей других типов повышенной скоростью счета (более 10^6 с⁻¹), более низким напряжением питания при высоком усилении и увеличенным размером входного окна (25 мм), что очень важно в случае кольцевой диафрагмы на выходе анализатора.

Электронная пушка расположена в передней части внутреннего цилиндра анализатора. Использование гексаборид-лантанового катода и двухлинзовой фокусирующей системы позволило получить электронный пучок диаметром 5 мкм, ток которого составляет $\sim 1 \cdot 10^{-7}$ А, а энергия электронов достигает 5 кэВ. Предусмотрена система сканирования электронного пучка и визуализации топографии поверхности объекта, облегчающая настройку спектрометра и выбор области анализа.

Для питания электродов анализатора и ВЭУ-7 разработан блок, который содержит регулируемые источники анализирующего потенциала и питания линзы, высоковольтный источник питания ВЭУ и делитель для питания корректирующих электродов анализатора, а также переключатель режимов РЭС-ЭОС, позволяющий оперативно переходить от режима $\Delta E = \text{const}$ к режиму $R = \text{const}$, и модулирующий трансформатор.

Источник рентгеновского излучения имеет цилиндрическую конструкцию с плоским анодом. Катодный узел выполнен в виде двух одинаковых нитей, образующих незамкнутое кольцо. Фиксированные керамической втулкой выводы нитей расположены бифилярно с целью компенсации магнитного поля, создаваемого током накала. Катод изготовлен из торированного вольфрама. В катодный узел входит экран, помещенный между катодом и нерабочей частью анода и предохраняющий ее от электронной бомбардировки, и сетка, расположенная между анодом и фильтром-монохроматором, которая находится под потенциалом катода и слу-

жит для фокусировки электронного потока на рабочую торцевую часть анода. Плоскость нитей накала размещена ниже плоскости анода, что исключает загрязнение зеркала анода продуктами испарения катода.

При выборе типа рентгеновского излучения для РЭС обычно отдают предпочтение линиям $\text{AlK}\alpha$ (1487 эВ) и $\text{MgK}\alpha$ (1254 эВ) [3-5]. Энергия излучения в области этих линий достаточна для зондирования внутренних энергетических уровней всех элементов периодической системы, линии имеют наименьшую ширину $K_{\alpha 1,2}$ -дублета ($\sim 0,9$ эВ), что позволяет использовать их излучение для измерения химических сдвигов без дополнительной монохроматизации. Кроме того, это излучение характеризуется наибольшим КПД преобразования электрической мощности в поток характеристик квантов и наилучшим соотношением интенсивностей характеристического и тормозного излучения [8], причем последнее при оптимальном ускоряющем напряжении хорошо фильтруется металлической фольгой (Al, Be). Возможность изменения типа излучения в процессе исследования позволяет исключить наложение рентгено-электронных и оже-линий.

Так как при работе анод источника рентгеновского излучения сильно разогревается, применяется жидкостное охлаждение. Поэтому рабочий материал источника наносится на медную основу. Очень важна при этом чистота материала, поскольку загрязнение поверхности может уменьшить интенсивность рентгеновского излучения на несколько порядков величины, или вызвать уширение рентгеновской линии (в случае изменения химического состава поверхности анода), что приведет к ухудшению разрешения спектрометра. Кроме того, требуется обеспечить хороший тепловой контакт и высокую механическую прочность соединения при сравнительно большой толщине покрытия (0,1...0,3 мм).

Анализ способов нанесения покрытий показал, что указанным требованиям лучше всего удовлетворяет метод сварки взрывом, в котором практически отсутствуют ограничения на толщину и природу соединяемых металлов. К тому же, в процессе сварки взрывом за счет образования высокоскоростной

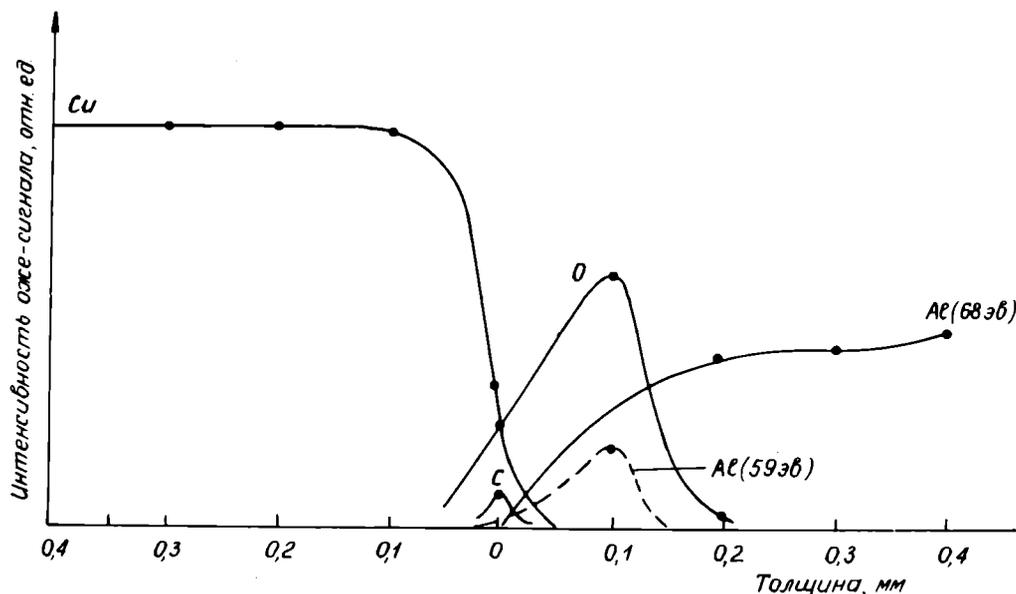


Рис. 2. Химический профиль соединения меди и алюминия, полученного методом сварки взрывом

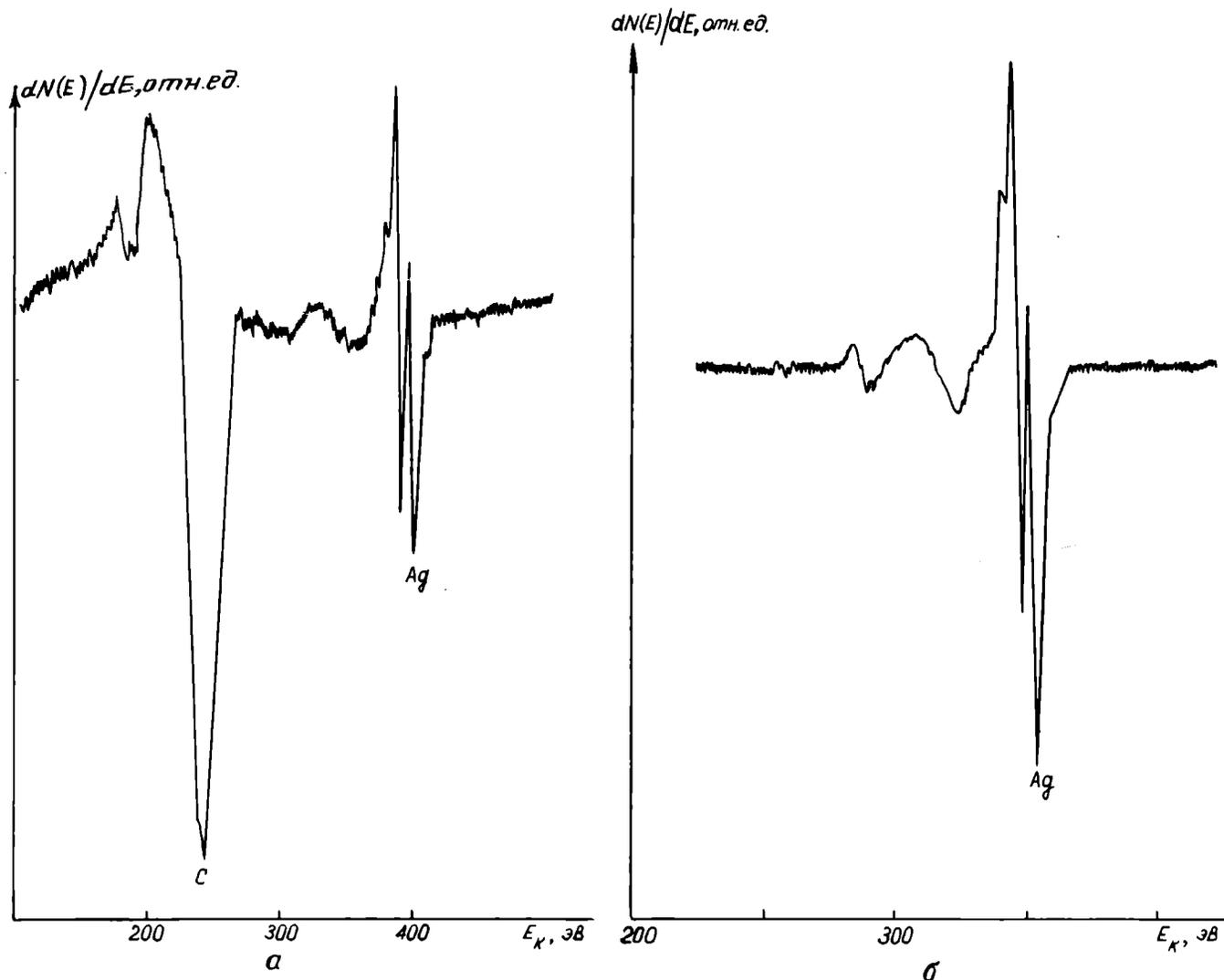


Рис. 3. Оже-спектры поверхности серебра до (а) и после (б) ионного пыления

кумулятивной струи в зоне сцепления происходит самоочистка поверхностей соединяемых деталей.

С целью выяснения химического состояния области соединения металлов был проведен оже-анализ среза торцевой части анодной заготовки (Cu-Al), полученной методом сварки взрывом без предварительной очистки поверхностей соединяемых деталей (рис. 2). Химический профиль показал высокую эффективность самоочистки: в зоне соединения присутствовали лишь следы углерода. В области контакта обнаружено наличие окисленного алюминия. Его влияние на ширину и интенсивность рентгеновской линии можно устранить выбором толщины покрытия ($\sim 0,2$ мм).

Для поглощения тормозного излучения и рассеянных электронов служит фильтр-монокроматор, выполненный из алюминиевой фольги толщиной 3–8 мкм. Фильтр, кроме того, отделяет объем источника от аналитической камеры, что исключает загрязнение образца продуктами испарения источника и позволяет организовать дифференциальную откачку источника, для чего предусмотрена специальная линия.

Сильфонный узел юстировки рентгеновского источника обеспечивает перемещение зеркала анода в любом направлении в пределах ± 5 мм.

Система охлаждения построена по замкнутому автономному циклу. Предусмотрены блокировки

и индикация перегрева охлаждающей жидкости, расхода и наличия сетевой воды, охлаждающей автономный контур. Байпасная линия разгружает насос, поскольку его производительность выбрана с некоторым запасом.

Блок питания рентгеновского источника собран в отдельной стойке и обеспечивает плавную регулировку высокого напряжения в диапазоне 0...15 кВ и тока накала в диапазоне 0...5 А, причем стабилизация осуществляется по току эмиссии катода рентгеновского источника в диапазоне 0...100 мА. Максимальная выходная мощность 1 кВА. Схема блока питания защищена от перегрузок и пробоев. Предусмотрена блокировка блока питания от системы охлаждения рентгеновского источника.

Регистрация рентгено-электронных и оже-спектров осуществляется с помощью универсального блока, работающего как в режиме счета одноэлектронных импульсов ВЭУ (РЭС и ЭОС с низким током возбуждения), так и в режиме измерения аналогового сигнала (ЭОС с большим током возбуждения). В основу блока регистрации положен цифровой метод обработки информации, обладающий по сравнению с аналоговым более высокой точностью, свободный от дрейфа и легко сопрягаемый с ЭВМ.

Выбор режима работы блока регистрации (счетный или аналоговый) осуществляется с по-

мощью переключателя, на который поступают либо импульсы ВЭУ (при токе на входе ВЭУ $\leq 10^{-13}$ А), либо усиленный избирательным усилителем и преобразованный в цифровую форму аналоговый сигнал (при входном токе ВЭУ $\geq 10^{-13}$ А). Делитель частоты с переменным коэффициентом деления необходим для устранения переполнения счетчика при больших уровнях сигнала и больших постоянных времени.

После делителя сигнал поступает на реверсивный счетчик через цифровой синхронный детектор, который в режиме регистрации энергетического распределения вторичных электронов $N(E)$ работает как открытый клапан, пропуская импульсы на вход сложения счетчика, где они накапливаются в течение определенного времени T_0 . В режиме дифференцирования энергетического распределения синхронный детектор попеременно пропускает импульсы либо на вход сложения, либо на вход вычитания реверсивного счетчика каждую половину периода опорной частоты.

Для управления работой преобразователя, формирования опорного напряжения и интервалов времени T_0 используется кварцевый генератор и делитель частоты. Импульсы опорной частоты с делителя подаются непосредственно на синхронный детектор, а также через фазовращатель на усилитель

мощности сигнала модуляции, откуда модулирующий сигнал через трансформатор поступает на энергетический анализатор. Для формирования интервалов времени T_0 служит счетчик, который управляет работой реверсивного счетчика и выходного цифро-аналогового преобразователя.

Аппаратура управления и регистрации комплексной установки совмещена с промышленной системой УВВПЧ-100-001 на базе микроЭВМ "Электроника 60", которая позволяет автоматизировать процессы управления спектрометром, обработки и документирования информации.

Техническая характеристика комплексной установки

Максимальная энергия электронов, кэВ	5
Диаметр электронного пучка, мкм	5
Максимальная энергия ионов, кэВ	5
Плотность ионного тока, мкА/см ²	500
Максимальная энергия регистрируемых электронов, кэВ	3
Относительное разрешение анализаторов, %	0,25...1
Разрешение по линии Ag3d, эВ	1
Мощность рентгеновского источника, кВА	
с Al анодом	1
с Mg анодом	0,6
Давление остаточных газов в аналитической камере, Па	$1 \cdot 10^{-7}$

На рис. 3 представлены оже-спектры поверхности серебра до и после очистки пучком ионов

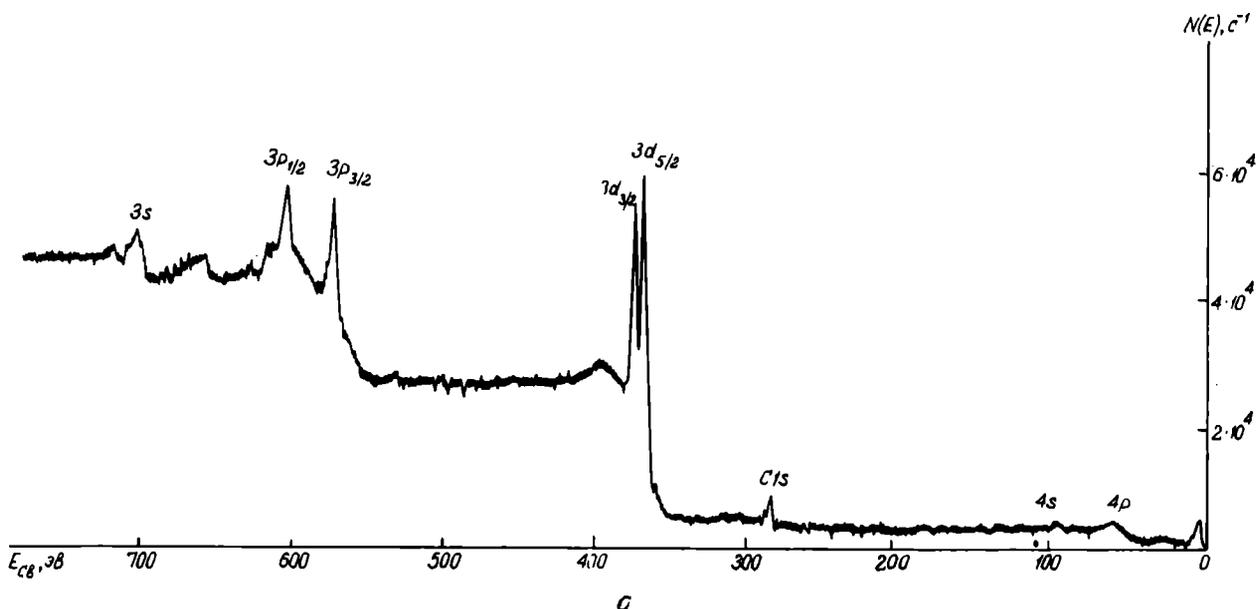
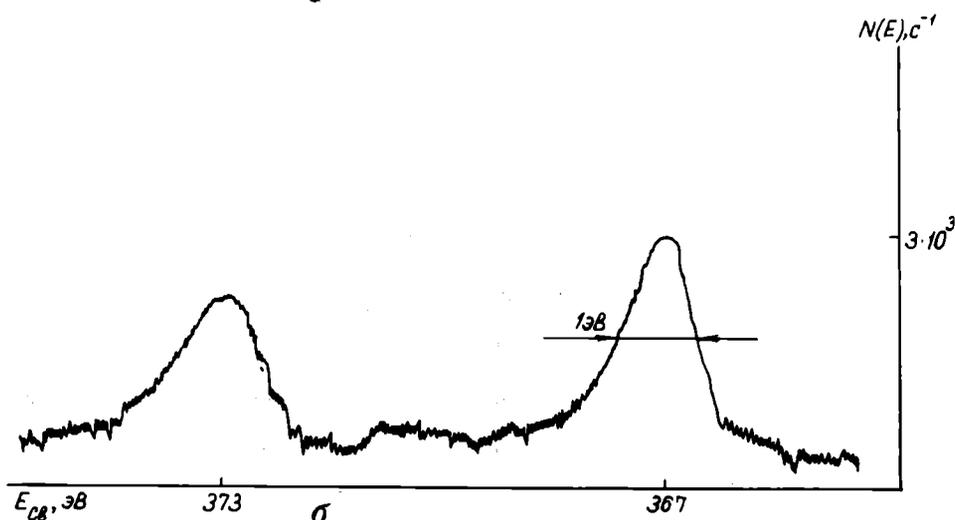


Рис. 4. Рентгено-электронные спектры поверхности серебра: а — обзорный; б — 3d-полоса



Ag^+ с энергией 3 кэВ и плотностью тока 50 мкА/см² в течение 15 мин. Спектры зарегистрированы при энергии электронов 3 кэВ, токе пучка 0,5 мкА, амплитуде модуляции 2 эВ и постоянной времени 0,3 с. На рис. 4, а показан обзорный рентгено-электронный спектр серебра, полученный с использованием АЛК α -излучения (12 кВ x 30 мА). Рис. 4, б демонстрирует высокое энергетическое разрешение спектрометра на примере 3d-полосы серебра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обзоры по электронной технике: Методы электронной спектроскопии/О.Д.Протопопов.— М., 1977.— Вып. 16. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование. 49 с.
2. Михеева Е.В., Протопопов О.Д. Методы электронной и ионной спектроскопии.— Электронная промышленность, 1982, вып. 10—11, с. 10—15.
3. Немешкаленко В.В., Алешин В.Г. Электронная спектроскопия кристаллов.— Киев: Наукова думка, 1976.— 335 с.
4. Карлсон Т. Фотоэлектронная и оже-спектроскопия/Пер. с англ.— М.: Машиностроение, 1981.— 431 с.
5. Нефедов В.И., Черепин В.Т. Физические методы исследования поверхности твердых тел.— М.: Наука, 1983.— 296 с.
6. Palmberg P.W. A combined ESCA and Auger spectrometer.— J. Vac. Sci. Technol., 1975, vol. 12, N 1, p. 379—384.
7. Методы анализа поверхностей/Под ред. А.Зандерны. Пер. с англ.— М.: Мир, 1979.— 582 с.
8. New developments in ESCA — instrumentation/ H.Fellner-Feldegg, V.Gellius et al.— J. Electron Spectr. Rel. Phen., 1974, vol. 5, p. 643—689.

Статья поступила 26 февраля 1987 г.

УДК [681.785.5:621.373.826].004

С.В.Горбунов, Г.Д.Паршин,
Е.Г.Чернобродов, Г.А.Шерозия

ЛАЗЕРНЫЙ АТОМНО-ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ СПЕКТРОМЕТР С ЛАЗЕРНЫМ ОТБОРОМ ПРОБЫ ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Лазерный атомно-флуоресцентный спектрометр с лазерным отбором пробы перспективен для высокочувствительного анализа чистоты материалов и полуфабрикатов ИЭТ, а также для определения уровня легирования полупроводниковых пластин.

Высокочувствительный анализ фоновых примесей в материалах и изделиях электронной техники (ИЭТ) осуществляется с помощью лазерного атомно-флуоресцентного спектрометра (ЛАФС), который характеризуется сверхмалыми значениями предела обнаружения примесей для различных элементов [1].

ЛАФС с лазерным способом отбора пробы анализируемого материала [2] имеет ряд преимуществ,

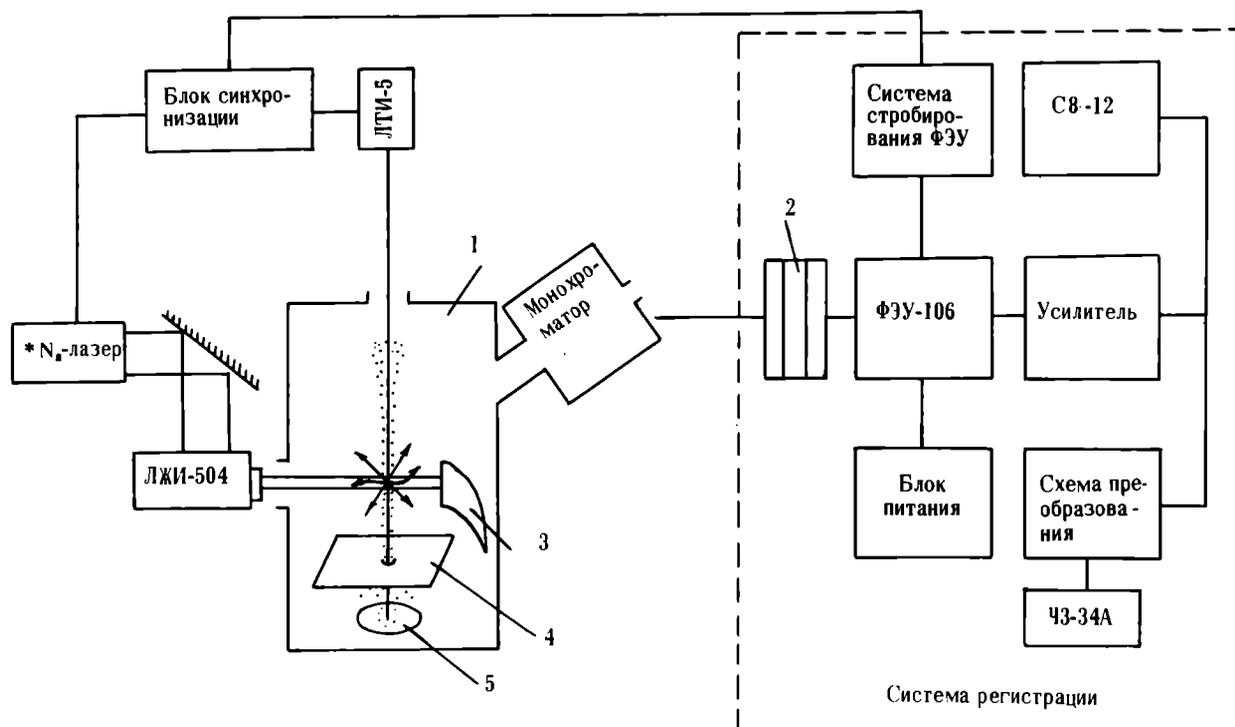
которые дает применение лазерного испарения, по сравнению с традиционными методами атомизации (термическим, распылением в пламени и др.). В этом приборе улучшены рабочие параметры, упрощено обслуживание и повышена надежность работы. Модернизации подверглись не только отдельные функциональные части (например, аналитическая камера, система регистрации), но и их общая компоновка. За основу разрабатываемого промышленного образца спектрометра, предназначенного для серийного производства, взята принципиальная схема, представленная на рисунке. Излучение твердотельного лазера фокусируется на поверхность распыляемого материала 5. Сквозь диафрагму 4 из испаренного разлетающегося вещества проходит направленный пучок 1, который облучается перестраиваемым лазером на определенном расстоянии от поверхности анализируемого материала. Излучение данного лазера настроено в резонанс с линией поглощения атомов анализируемого вещества и поэтому интенсивно поглощается ими, а затем изотропно переизлучается. Флуоресцентные фотоны отделяются от шумового излучения монохроматором и регистрируются.

Для испарения применен лазер на алюмоиттриевом гранате типа ЛТИ-5, который обеспечивает получение импульса излучения с длительностью ~ 20 нс и энергией 30 мДж. Перестраиваемый лазер представляет собой модифицированный лазер ЛЖИ-504 на растворах органических красителей, накачиваемый азотным лазером. Блок синхронизации обеспечивает запуск лазеров и системы регистрации в необходимые моменты времени и плавно регулирует задержку между импульсами лазера-испарителя и перестраиваемого лазера. Нестабильность установки задержки составляет ~ 50 нс.

В аналитической камере помещена система вращения образца, позволяющая перемещать точку отбора пробы по окружности на его поверхности, что исключает влияние эффекта кратера, образующегося при лазерном испарении, на результаты измерений. Для исключения попадания в систему регистрации фоновых сигналов, которые возникают при рассеянии лазерного излучения, возбуждающем флуоресценцию на входном окне камеры и отражении этого излучения от стенок камеры, установлены рог Вуда 3 и специальные диафрагмы после входного окна и перед окном, выводящим резонансный флуоресцентный сигнал на систему регистрации.

Система регистрации состоит из калиброванного оптического ослабителя 2, фотоэлектронного умножителя ФЭУ-106, блока питания, системы стробирования ФЭУ, усилителя, специальной схемы преобразования, частотомера ЧЗ-34А, осциллографа С8-12. Система регистрации работает в двух режимах: в режиме счета фотонов, предназначенном для проведения анализа, и в режиме амплитудных измерений, при котором с помощью осциллографа регистрируются амплитуды флуоресцентных сигналов; этот режим предназначен в основном для настройки длины волны генерации перестраиваемого лазера на линию возбуждения анализируемого элемента.

При использовании для накачки перестраиваемых лазеров азотных, эксимерных или лазеров на парах металлов важное значение имеет защита системы регистрации от электромагнитных наводок. В связи с этим применена система стробирования ФЭУ, которая позволяет снизить на три порядка уровень собственных шумов ФЭУ и практи-



Принципиальная схема ЛАФС

чески подавить фоновый сигнал, вызванный электромагнитными наводками и свечением испаренного вещества.

На разработанном лазерном атомно-флуоресцентном спектрометре определен предел обнаружения для In, Ga, Ni, содержащихся в олове, и Al — в Ga по отношению сигнал-шум, полученному для образцов олова и галлия с известным содержанием указанных выше элементов. Среднеквадратичное отклонение шумового сигнала составило 20...30%. Поэтому при определении отношения сигнал-шум использовалась средняя величина шумового сигнала, что было приблизительно эквивалентно критерию 3б.

В экспериментах применялись образцы олова марки ОВЧ-000 класса В-5 с примесью In, Ga и Ni, приготовленные методом зонной плавки, и образцы галлия с примесью Al, приготовленные путем подвеса и сплавления в высокочастотном электромагнитном поле. Концентрация анализируемых примесей, содержащихся в образцах, контролировалась методом химико-спектрального анализа (ХСА). Для экспериментов по оценке пределов обнаружения примесей ЛАФС были выбраны определенные энергетические переходы с учетом диапазона перестройки лазера на красителях и возможности заселения используемых метастабильных уровней при лазерном испарении.

Результаты определения предела обнаружения примесей ЛАФС представлены в таблице. Погрешность определения составляет 100% и обусловлена в основном погрешностью определения атомарного содержания элементов на уровне $10^{-6}\%$ методом ХСА. Собственная аппаратная погрешность равна 10% и определяется главным образом флуктуациями плотности атомного пучка вследствие нестабильности работы лазера-испарителя.

Анализ полученных результатов показывает, что ЛАФС является перспективным прибором для

Элемент	Материал подложки	Атомарное содержание элемента в подложке, %	λ возб, нм (переход)	λ фл, нм (переход)	Предел атомарного обнаружения, %
Al	Ga	$2 \cdot 10^{-5}$	394,4 ($3p^2P_{1/2}^0 - 4s^2S_{1/2}$)	396,1 ($4s^2S_{1/2} - 3p^2P_{1/2}^0$)	$1,8 \cdot 10^{-7}$
Ga	Sn	$2 \cdot 10^{-6}$	403,3 ($4p^2P_{1/2}^0 - 5s^2S_{1/2}$)	417,2 ($5s^2S_{1/2} - 4p^2P_{1/2}^0$)	$2 \cdot 10^{-8}$
In	Sn	$2 \cdot 10^{-6}$	451,1 ($5p^2P_{1/2}^0 - 6s^2S_{1/2}$)	410,4 ($6s^2S_{1/2} - 5p^2P_{1/2}^0$)	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Ni	Sn	$4 \cdot 10^{-6}$	385,8 ($a^2D_2 - z^2F_1^0$)	351,5 ($z^2F_1^0 - a^2D_2$)	$6 \cdot 10^{-7}$

входного контроля чистоты материалов и полупроводников ИЭТ, а также для определения уровня легирования полупроводниковых пластин.

ЛИТЕРАТУРА

- Зайдиль А.Н. Атомно-флуоресцентный анализ.— Л.: Химия, 1983, с. 76.
- Лазерный атомно-флуоресцентный спектрометр/И.В.Закурдаев, Е.Г.Чернобродов, Е.Я.Черняк, Г.А.Шерозия.— Электронная промышленность, 1982, вып. 10—11, с. 81—83.

Статья поступила 20 февраля 1987 г.

УДК [681.785.5:621.373.826].004

И.В.Закурдаев, Д.Е.Миловзоров,
М.Л.Мучник, Г.А.Шерозия, В.А.Шихлаков

ЛАЗЕРНЫЙ АТОМНО-ИОНИЗАЦИОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ПОСЛОЙНОГО ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТИ

Снижение пределов обнаружения примесей лазерного атомно-ионизационного спектрометра с помощью усовершенствования его конструкции делает этот прибор перспективным для послойного элементного анализа поверхности твердого тела.

Действие лазерного атомно-ионизационного спектрометра (ЛАИС) [1] основано на детектировании методом селективной двухступенчатой лазерной ионизации атомов, распыленных с поверхности твердого тела ионным пучком. Лазерная атомно-ионизационная спектроскопия обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами анализа тонких пленок. Применение наиболее чувствительного из них — метода вторично-ионной масс-спектрометрии (ВИМС) — не обеспечивает количественного контроля примесей в тонких пленках из-за сильной зависимости выхода вторичных ионов от условий на поверхности и элементного состава образца [2]. Нейтральная компонента, составляющая более 95% от общего числа распыленных ионным пучком частиц [3] и регистрируемая методом селективной лазерной ионизации на ЛАИС, в значительно меньшей степени подвержена влиянию указанных факторов, что позволяет проводить высокочувствительный количественный анализ.

С целью исследования пределов обнаружения ЛАИС на его основе была создана экспериментальная установка [4], в которой азотный лазер "Крона-1" заменен лазером на парах меди, генерирующим излучение с двумя длинами волн: $\lambda_1 = 510,6$ нм и $\lambda_2 = 578,2$ нм (средней мощностью 10 и 12 Вт соответственно) при частоте следования импульсов 8 кГц и длительности импульса 20 нс. Излучение с $\lambda_1 = 510,6$ нм использовалось для накачки перестраиваемого лазера на красителях ЛЖИ-504, а излучение с $\lambda_2 = 578,2$ нм — для второй ступени ионизации. Одновременно к выталкивающим электродам системы регистрации подключался генератор прямоугольных импульсов длительностью ~ 1 мкс. Импульс этого генератора направлял селективно ионизованные атомы на вторично-электронный умножитель ВЭУ-6, расположенный непосредственно за системой выталкивающих электродов. Блоком регистрации служил ламповый вольтметр В7-15 (на вход которого подключался ВЭУ-6) или осциллограф (подключаемый к ВЭУ через предварительный усилитель). Система подавления рассеянных и вторичных ионов (фильтр ионов) состояла из заземленных диафрагм и двух электродов, к которым было приложено напряжение 5 кВ.

В первых экспериментах на ЛАИС в качестве образца использовался поликристаллический индий, поверхность которого подвергалась бомбардировке ионами аргона. Пучок распыленных атомов, выделенный диафрагмами и очищенный от заряженных частиц фильтром ионов, в пространстве между

выталкивающими электродами облучался лазерными пучками. Излучение лазера на красителе с $\lambda_3 = 607,87$ нм после удвоения в кристалле КДР преобразовывалось в излучение с $\lambda_4 = 303,94$ нм (средней мощностью 15 мВт), которое возбуждало в распыленных атомах индия переход $5s^2 5p^2 P_{1/2}^0 \rightarrow$

$5s^2 5d^2 D_{3/2}$. Излучение с $\lambda_2 = 578,2$ нм ионизировало возбужденные атомы.

Полученная в результате исследования линейная зависимость фотоионного тока от тока ионной пушки подтверждает вывод о прямой зависимости числа распыленных нейтральных частиц от количества бомбардирующей поверхность ионов, которая дает возможность проводить анализ на ЛАИС в большом диапазоне токов ионной пушки.

Исследование зависимостей фотоионного тока от средних мощностей лазерных излучений на обеих ступенях фотоионизации показало, что насыщения возбуждаемого перехода в атомах индия достигнуто не было. Замена лазера на парах меди на более мощные азотный или эксимерный лазеры позволит работать в режиме насыщения на обеих ступенях фотоионизации и, следовательно, значительно повысить чувствительность измерений на ЛАИС [1].

При токе ионной пушки 0,1 мкА была выполнена порядковая оценка числа атомов индия K , распыляемых падающим на поверхность ионом аргона с энергией 5 кэВ, которая проводилась по измеренному на вольтметре В7-15 среднему току фотоионов. В результате получено значение коэффициента распыления атомов $K \sim 1$, соответствующее данным, используемым для расчета предельной концентрации элементов, определяемой ЛАИС [1].

Изучение зависимости коэффициента распыления атомов индия от энергии частиц распыляющего ионного пучка аргона выявило, что число распыленных атомов возрастает вдвое при увеличении энергии бомбардирующей поверхность твердого тела ионов от 1 до 5 кэВ.

Как показано в работе [1], применение времяпролетного масс-спектрометра позволяет значительно снизить фоновый сигнал (разделяя ионы по массе), а также устранить влияние электромагнитных наводок, имеющих большую величину в момент генерации импульса азотного лазера. Для точной установки времени задержки и длительности импульса запуска системы регистрации при использовании времяпролетного масс-спектрометра необходимо точно знать время движения ионов исследуемого элемента в дрейфовом пространстве. С этой целью была исследована зависимость тока фотоионов от напряжения на выталкивающем электроде, позволяющая сделать вывод, что средняя энергия разлета атомов индия, распыленных ионным пучком аргона с энергией 5 кэВ, не превышает 1 эВ. Уточнение расчета предельной чувствительности ЛАИС показало, что концентрация распыленных атомов в зоне взаимодействия с излучением составит величину $n \sim 10^6$ см⁻³ [1]. Применение эксимерного лазера с мощностью в импульсе 2 МВт для накачки перестраиваемого лазера на красителях и второй ступени фотоионизации даст возможность увеличить коэффициент использования пучка распыленных атомов. При диаметре лазерных лучей 0,5 см объем засветки атомного пучка будет иметь величину $\sim 10^{-1}$ см³ [1]. Таким образом, можно получить предел обнаружения $\alpha \sim 10^{-7} \dots 10^{-8}\%$.

Применение в ЛАИС импульсного ионного распыления с током в импульсе ~ 1 мА и длительностью

стью импульса ~ 1 мкс позволит увеличить концентрацию распыленных атомов, а следовательно, и интенсивность сигнала. Определенная временная задержка между импульсом ионного источника и импульсом лазера обеспечит разделение по времени поступления в зону регистрации первичных рассеянных ионов Ag^+ и атомов, эмиттированных с поверхности образца под действием ионной бомбардировки. Рассмотренные меры создают условия для снижения предела обнаружения ЛАИС.

При проведении экспериментов на усовершенствованном спектрометре было получено отношение сигнал-шум $\sim 10^4$, что примерно на порядок выше, чем для большинства существующих методов исследования тонких пленок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закурдаев И.В., Суслов А.И., Шерозя Г.А. Лазерный атомно-ионизационный спектрометр.— *Электронная промышленность*, 1986, вып. 1, с. 35—37.
2. Электронная и ионная спектроскопия твердых тел /Под ред. Л.Фирмэнса, Дж.Вэнника, В.Декейсера.— М.: Мир, 1981, с. 346—464.
3. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой: Физическое распыление одноэлементных твердых тел /Под ред. Р.Бериша.— М.: Мир, 1984.— 336 с.
4. Селективная лазерная ионизация атомов, распыленных ионным пучком/С.В.Горбунов, И.В.Закурдаев, М.А.Мучник и др.— *Письма в ЖТФ*, 1986, т. 12, вып. 11, с. 681—685.

Статья поступила 20 февраля 1987 г.

УДК 681.785.5.004

С.С.Волков, В.Т.Гутенко, Ю.Е.Дмитревский
А.Б.Толстогузов, В.В.Трухин

СПЕКТРОМЕТР ОБРАТНОРАССЕЯННЫХ ИОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ И ИОНИЗИРОВАННЫХ АТОМОВ ОТДАЧИ

Экспериментальный спектрометр обратнорассеянных ионов низких энергий и ионизированных атомов отдачи обеспечивает анализ внешнего атомного слоя поверхности твердого тела по всем химическим элементам.

Для решения ряда практических и научных задач, связанных с поверхностью твердого тела (исследования начальных стадий роста пленок, сегрегации и растворения атомов, взаимосвязи свойств поверхности и объема твердых тел, механизмов работы катализаторов, эмиттеров и др.) необходима информация о внешнем моноатомном слое поверхности.

К методам исследования поверхности твердого тела, позволяющим получать достоверную и надежную информацию об элементном составе и структуре внешнего моноатомного слоя поверхности, относятся спектроскопия обратнорассеянных ионов низких энергий (СОРИНЭ) [1, 2] и спектроскопия атомов отдачи (САО) [3, 4], основанные на эффекте однократного парного упругого соуда-

рения первичных ионов с атомами исследуемой поверхности.

В известных спектрометрах ионного рассеяния [1, 2], как правило, углы рассеяния выбираются более 90° для осуществления лучшего разрешения по массам. Поскольку теоретически угол вылета ψ атомов отдачи не превышает 90° , в таких спектрометрах ионного рассеяния невозможно реализовать метод САО.

Однако благодаря тому, что методы СОРИНЭ и САО основаны на взаимодействии практически только двух частиц (на адиабатическом процессе), некоторые их характеристики являются взаимодополняющими. В частности, уменьшение вероятности сохранения заряда рассеянных ионов вследствие нейтрализации приводит к увеличению ионизации атомов отдачи, так как рассеянные ионы нейтрализуются электронами атомов отдачи. Следовательно, чем меньше чувствительность метода СОРИНЭ, тем больше чувствительность метода САО для тех же элементов. Совместное применение этих методов позволит обеспечить для большего диапазона масс лучшую чувствительность, упростить расшифровку спектров при малоугловом рассеянии и повысить достоверность получаемой информации.

Разработан комплексный спектрометр обратнорассеянных ионов низких энергий и ионизированных атомов отдачи с изменяемыми углами рассеяния, отдачи и падения ионного пучка.

Аппаратная реализация методов СОРИНЭ и САО заключается в облучении исследуемой поверхности пучком ионов определенной энергии с помощью ионной пушки и в регистрации энергетическим анализатором энергетического спектра вторичных ионов (быстрых выбитых и рассеянных ионов), вылетающих под определенным углом к направлению движения первичных ионов. Расшифровка спектров (определение массы m_2 атомов поверхности) проводится с помощью формул упругого соударения шаров [1].

В спектрометре использована элементно-конструктивная база ионных и электронных спектрометров [5]. В его состав входит измерительная камера, откачная система напуска газов, питающая и регистрирующая аппаратура (рис. 1). В цилиндрической разборной металлической измерительной камере диаметром 300 мм на радиальных фланцах расположены ионная пушка 10, энергетический анализатор 1, источник напыления атомов, смотровое окно. Исследуемый образец 3 помещается в центре камеры на держателе и может с помощью манипулятора перемещаться по трем координатам и поворачиваться вокруг оси для изменения углов

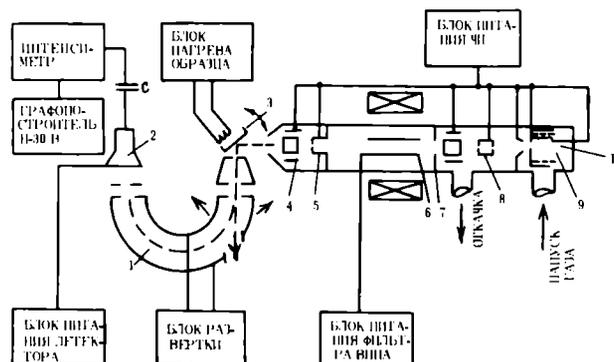


Рис. 1. Принципиальная схема спектрометра

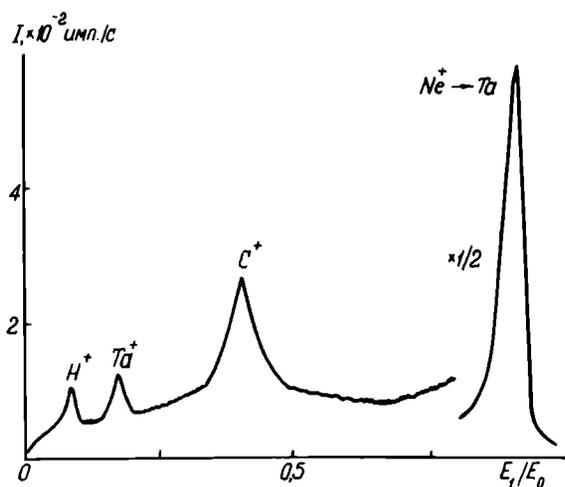


Рис. 2. Энергетическое распределение ионов, полученное при бомбардировке Ne^+ поверхности поликристаллического карбида тантала ($E_0=3$ кэВ, $\theta=50^\circ$)

падения ионного пучка и регистрации вторичных ионов в пределах $0...90^\circ$ относительно исследуемой плоскости. Образец имеет косвенный подогрев до 1000 К.

Ионная пушка формирует пучок ионов инертных газов с энергией $E_0 = 0,5...5$ кэВ, током $I_0 = 0,1...100$ нА. Диаметр пучка $d_0 = 0,2...1$ мм, угловая расходимость $\Delta\alpha \approx 1^\circ$, энергетический разброс $\Delta E \approx 2$ эВ. Ионная пушка содержит ионизатор 9 рабочего газа с электронным ударом и две одиночные электростатические линзы 5, 8, между которыми размещен масс-фильтр Вина 6. Для отклонения и корректировки формы сечения пучка перед фильтром и после выходной линзы 5 установлены отклоняющие пластины 4, выполненные в виде квадрупольной линзы. Фильтр Вина обеспечивает очистку ионного пучка от посторонних ионов, что устраняет из спектров рассеяния и отдачи паразитные пики, уменьшает фон, позволяет использовать в качестве рабочих недорогие газы после технической очистки. Кроме того, при использовании смесей газов возможно быстрое изменение сорта первичных ионов посредством изменения потенциалов на пластинах фильтра и электродах ионизатора. При величине индукции магнитного поля $B = 0,15$ Тл, длине пролетного пространства $l = 200$ мм и выходной диафрагме 7 диаметром 1,5 мм разрешающая способность фильтра для ионов неона на уровне $0,2 I_{\max}$ составляет $M/\Delta M = 20$. Рабочие параметры ионной пушки обеспечиваются при давлении газа в ионизаторе $\sim 10^{-2}...5 \cdot 10^{-3}$ Па. Объем, отделенный от измерительной камеры входной диафрагмой пролетного пространства фильтра, откачивается турбомолекулярным насосом ТМН-150. Откачка камеры осуществляется магнитоэлектрическим насосом НМДИ-0,25 и титановым сублиматором, охлаждаемым жидким азотом [5]. Это обеспечивает давление рабочего газа в камере не хуже $5 \cdot 10^{-6}$ Па, а остаточной атмосферы — не хуже $5 \cdot 10^{-7}$ Па. Состав газов контролируется монополярным масс-спектрометром РОМС-2.

В качестве энергетического анализатора вторичных ионов применен 180° -ный сферический дефлектор со вторичным электронным множителем ВЭУ-6 2 на выходе, установленный на вращающейся

платформе, позволяющей изменять угол рассеяния и отдачи в пределах $\theta = 0...160^\circ$ с точностью 1° . При радиусе средней траектории $r_0 = 40$ мм и диаметрах отверстий диафрагм $d = 0,6$ мм энергетическое разрешение на уровне 0,5 равно $\Delta E/E = 0,3\%$. Угловое разрешение при расстоянии до образца 20 мм составляет $\sim 1,5^\circ$. Для уменьшения фона в спектрах дефлектор оснащен входным конусным ограничителем, его рабочие поверхности покрыты аквадагом и во внешнем электроде выполнено отверстие для вывода нейтралей из сепарирующего пространства. Эффективная регистрация ионов, особенно с энергиями менее 500 эВ, осуществляется путем дополнительного ускорения их при входе в ВЭУ до 1 кэВ с помощью регулируемого источника питания, соединенного с ВЭУ. Энергетические спектры вторичных ионов регистрируются при изменении напряжения на дефлекторе посредством блока развертки в режиме счета ионов с выводом сигнала с интенсивметра на графопостроитель Н306. Собственный фон аппаратуры, включая ВЭУ, составляет не более $1...10$ имп/с.

Вращение анализатора в плоскости падения ионного пучка, перпендикулярной поверхности образца, позволяет измерять угловые зависимости энергетических распределений рассеянных ионов и ионизированных атомов отдачи при углах падения от скользкого до нормального, углах рассеяния и отдачи в пределах $0...160^\circ$. Возможность введения первичного пучка непосредственно в анализатор позволяет контролировать параметры пучка (энергию, разброс по энергиям, угловой разброс), оценивать диаметр пучка, определять коэффициент анализатора, что повышает достоверность расшифровки спектров и упрощает количественную обработку.

С помощью данного спектрометра можно моделировать технологические процессы напыления и термообработки пленок при одновременном изучении состава поверхности. Измерение угловых зависимостей дает возможность исследовать структуру поверхности, изучать особенности соударения ионов с атомами поверхности. Приведенный на рис. 2 энергетический спектр вторичных ионов с поверхности карбида тантала содержит пик рассеянных ионов неона от тантала, а также пики атомов отдачи тантала, углерода, водорода, что подтверждает возможность одновременного анализа поверхности по тяжелым и легким элементам.

ЛИТЕРАТУРА

- Петров Н.Н., Аброян И.А. Диагностика поверхностей с помощью ионных пучков.— Л.: Изд. ЛГУ, 1977.— 160 с.
- Обзоры по электронной технике: Спектроскопия обратнорассеянных ионов низких энергий/С.С.Волков, А.Б.Толстогузов.— Сер. 7. Технология, организация производства и оборудования.— 79 с.
- Prigge S., Niehus H., Bauer E. Recoil spectroscopy of oxygen on W(100).— Proc. 7th Intern. Vac. Congr. 3rd Intern. Conf. Solid Surfaces, Vienna, 1977, p. 1381—1384.
- Волков С.С., Толстогузов А.Б., Рутковский С.В. Применение ионизированных атомов отдачи для элементного анализа поверхности.— Электронная промышленность, 1982, вып. 10—11, с. 41—44.
- Кессельман Л.А., Томашевский А.Г. Элементно-конструктивная база установок электронной и ионной спектроскопии и молекулярной эпитаксии.— Электронная промышленность, 1978, вып. 11—12, с. 102—107.

УДК 621.384.8:621.387.143

С.С.Волков, Н.В.Дорошина, Т.И.Китаева,
А.Б.Толстогузов

КОЛОННА ПЕРВИЧНОГО ИОННОГО ПУЧКА ДЛЯ МАСС-СПЕКТРОМЕТРА ВТОРИЧНЫХ ИОНОВ

Разработана колонна первичных ионов для установки вторично-ионной масс-спектрометрии, в состав которой входят дуоплазмотронный источник ионов с горячим или холодным катодом, трехлинзовая ионно-оптическая система и масс-сепаратор типа фильтра Вина. Максимальная энергия ионов составляет 10 кэВ.

Колонна первичного ионного пучка является одним из важнейших элементов аналитических установок для диагностики поверхности твердого тела методом вторичной ионной масс-спектрометрии (ВИМС) [1–3]. От характеристик (величины и плотности ионного тока, диаметра и чистоты пучка, сорта и энергии ионов) зависит предел обнаружения примесей спектрометра ВИМС, горизонтальное разрешение по поверхности в режиме сканирующего микрозонда и разрешение по глубине при послойном анализе ионным травлением. Разработанная колонна предназначена для определения элементного химического состава поверхности и проведения послойного анализа приповерхностной области (толщиной до нескольких микрон) основных материалов и изделий

электронной техники методом ВИМС (рис. 1). В ее состав входят: источник (генератор) ионов, ионно-оптическая система формирования и транспортировки пучка, масс-сепаратор (фильтр Вина), линза-объектив с системой отклонения и развертки пучка в растр по поверхности образца, система дифференциальной откочки.

На рис. 2 изображена принципиальная схема колонны первичных ионов (без блоков питания и управления ионным пучком).

Колонна состоит из отдельных высоковакуумных модулей с фланцевыми соединениями типа "конфлат" и "зуб-канавка". Возможна работа колонны без отдельных модулей, например без масс-сепаратора. Генератор ионов представляет собой дуоплазмотронный источник А-типа с термокатодом [1, 4], основное преимущество которого — высокая яркость в сочетании с относительно малым разбросом ионов по энергии (≤ 10 эВ), что позволяет фокусировать пучки диаметром до 10 мкм при плотности тока на образце 10...50 мА·см⁻².

Катод изготовлен из вольфрамовой проволоки марки ВА диаметром 0,35 мм. Магнитное поле создается магнитом из феррита бария, выполняющим одновременно роль изолирующей вставки между анодом и промежуточным электродом, которые выполнены из магнитомягкого материала (кобальтового сплава 49КФ). Диаметр выходной танталовой диафрагмы, закрепленной в анодной вставке, подобран экспериментально в пределах 0,1...0,4 мм [5].

Мощность питания катода — 150...200 Вт, анода (в режиме установившегося разряда) — не бо-

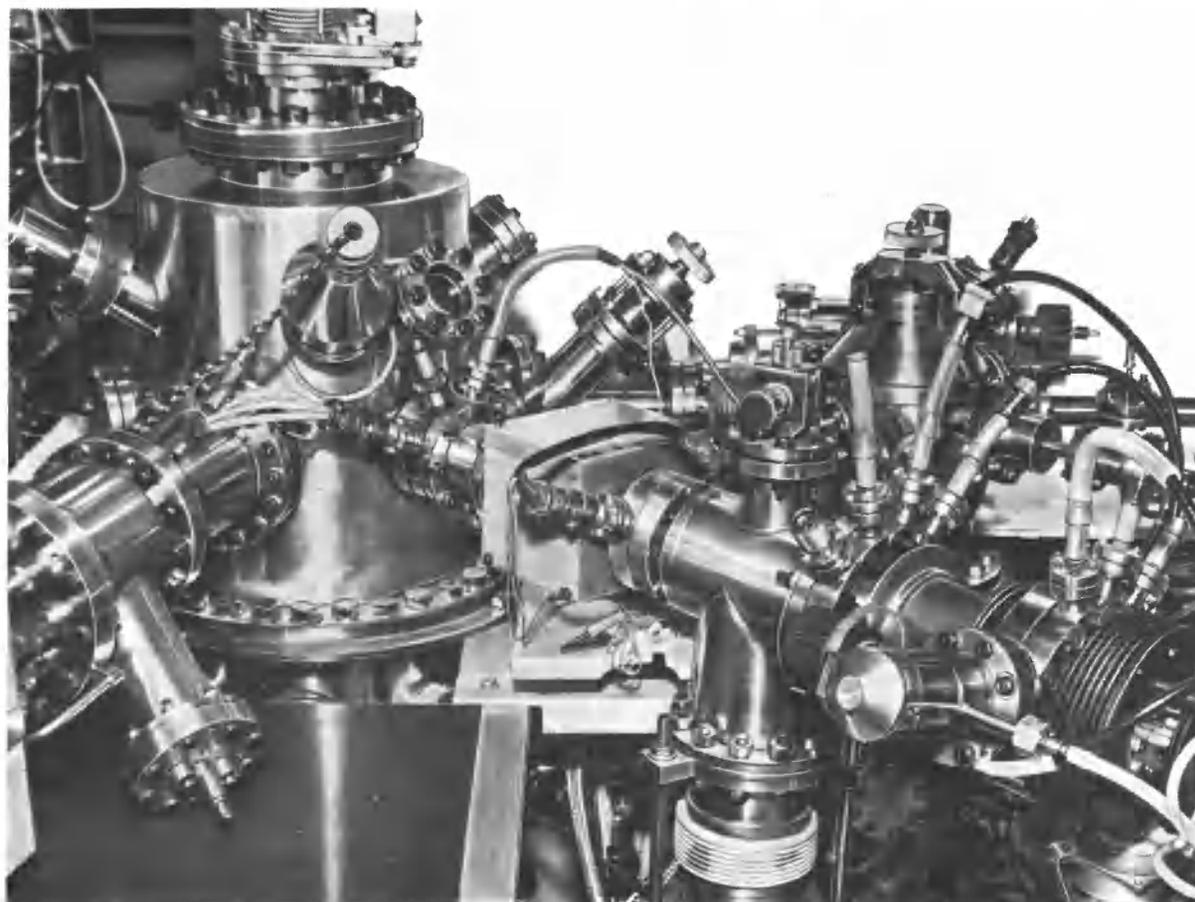


Рис. 1. Колонна первичных ионов со снятым кожухом в составе ВИМС (слева — измерительная камера с квадрупольным фильтром масс и манипулятором образцов)

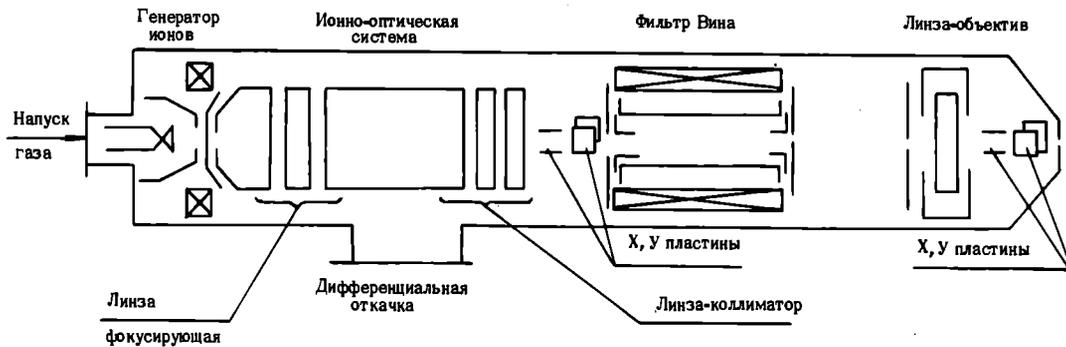


Рис. 2. Принципиальная схема колонны первичных ионов

лее 50 Вт. Габаритная длина дуоплазматрона ионов равна ~ 160 мм при максимальном диаметре 180 мм. Напряжение на анод дуоплазматрона подается через гермовводы, закрепленные на мини-фланцах по периметру основного фланца корпуса газоразрядной камеры (см. рис. 2). Для регулировки рабочего газа (аргона) используется натекагель с изолированной ручкой. Промежуточный электрод электрически соединен с корпусом дуоплазматрона, который изолирован от колонны металлокерамическим узлом и заключен в специальный защитный кожух из оргстекла, поскольку к корпусу приложено также ускоряющее напряжение (до 15 кВ). К кожуху крепятся кабели питания и вентилятор принудительного воздушного охлаждения. Конструкция катодного узла генератора ионов допускает замену термокатода полным холодным катодом из алюминия или никеля для работы с кислородом.

Ионно-оптическая система представляет собой квазипирсовскую вытягивающую систему [6] с двумя формирующими одиночными линзами, которая служит для отбора ионов с поверхности плазменного "пузыря", сформированного в канале анода дуоплазматрона, и включает анод-эспандер и вытягивающий электрод-экстрактор. Вытягивающий электрод может находиться либо под потенциалом земли (в этом случае напряжение экстракции равно ускоряющему напряжению $U_{\text{уск}}$, приложенному к генератору ионов), либо под некоторым отрицательным (или положительным) потенциалом, составляющим часть этого напряжения.

Одиночные линзы имеют цилиндрические электроды [7]. Одна из них формирует промежуточное изображение анодного отверстия внутри ионно-оптической системы. Другая линза (коллиматор) необходима для переноса промежуточного изображения на выходную диафрагму пролетного пространства масс-сепаратора. Совмещение плоскости изображения первой линзы с фокальной плоскостью второй позволяет путем подбора соответствующих потенциалов создать систему, близкую по своим параметрам к телескопической, формирующей на выходе почти параллельный пучок малого диаметра для его дальнейшей транспортировки через сепаратор.

Масс-сепарация первичного ионного пучка осуществляется фильтром Вина, который в литературе часто называют фильем скоростей или сепаратором $E \times V$ типа [1, 8, 9]. Основное его преимущество по сравнению с секторными магнитными сепараторами — удобная прямопролетная компоновка колонны ионного зонда, облегчающая ее настройку, юстировку и позволяющая работать без масс-сепарации

при отключенных полях. Удаление нейтральных частиц большой энергии из первичного пучка обеспечивается изгибом колонны на один—два градуса с последующим отклонением ионов с помощью двух плоскопараллельных электростатических дефлекторов, расположенных во взаимно перпендикулярных плоскостях вдоль оси колонны перед входом в фильтр.

Принцип работы масс-сепаратора заключается в следующем. Ионы, входящие в фильтр вдоль оптической оси и имеющие составляющую скорости вдоль этой оси $U_z = E_0/B_0$ (E_0 и B_0 — напряженность электрического поля и индукция магнитного поля), не испытывают действия полей вследствие равенства $\vec{F}_{\text{эл}} = \vec{F}_{\text{магн}}$. Поэтому они проходят через фильтр без изменения первоначального направления. Таким образом, масс-сепаратор оказывается настроенным на ионы, масса и энергия которых удовлетворяют формуле для U_z . Перестройка фильтра на ионы другой массы или энергии осуществляется изменением напряженности электрического поля в результате изменения разности потенциалов между плоскопараллельными отклоняющими пластинами. Магнитное поле с индукцией B_0 создается постоянными магнитами, расположенными снаружи фильтра в плоскости, перпендикулярной отклоняющим пластинам.

Разность потенциалов $U_{\text{пл}}$ между пластинами фильтра при настройке на ионы с массой m_0 и энергией $eU_{\text{уск}}$ можно вычислить по формуле

$$U_{\text{пл}} = \sqrt{\frac{2e}{m_0}} U_{\text{уск}} \cdot B_0 h,$$

где e — заряд электрона, h — расстояние между пластинами.

Длина корпуса фильтра Вина составляет 186 мм. Внутри него на расстоянии 9 мм друг от друга расположены отклоняющие пластины длиной 120 мм из немагнитного сплава В95, входная и выходная диафрагмы, компенсирующие вставки. Входная диафрагма с отверстием диаметром 3 мм электрически изолирована от корпуса, что позволяет использовать ее для контроля за величиной ионного тока в процессе работы колонны.

Оксидно-бариевые магниты от насоса НМД-0,25 закреплены в магнитопроводе на корпусе фильтра. При максимальном числе магнитов, равном шести, в зазоре создается магнитное поле с индукцией $B_0 \approx 0,18$ Тл. Наличие соосных цилиндрических магнитных вставок на входе и выходе фильтра позволяет уменьшить влияние краевых эффектов

благодаря экранировке участков, на которых происходит наибольшее изменение величины магнитной индукции.

В фильтре Вина имеется пролетное пространство длиной 210 мм, которое занимает шиббер с проходным отверстием диаметром 63 мм, предназначенный для вакуумной изоляции измерительной камеры спектрометра ВИМС от колонны при смене катодного узла и части блока линзы-объектива. В пролетном пространстве, где отсутствуют электрическое и магнитные поля, происходит окончательное разделение ионов. Измерение тока на диафрагме с диаметром отверстия 3 мм, закрепленной на конце пролетного пространства, позволяет контролировать прохождение ионного пучка через фильтр.

Линза-объектив предназначена для окончательной фокусировки ионного пучка на поверхность исследуемого объекта, перемещения его по поверхности и развертки в растр. В ее состав входят одинаковая линза с цилиндрическими электродами и симметричным питанием, работающая в режиме замедляющего потенциала на среднем электроде [7], и система отклонения ионного пучка, состоящая из двух плоско-параллельных электростатических deflectоров. Расстояние от конца экрана линзы до образца составляет 40 мм.

Колонна первичных ионов оснащена системой дифференциальной откачки, состоящей из турбомолекулярного насоса ТМН 01АБ-450-003 с быстротой откачки по воздуху 250 л/с и предельным остаточным давлением $6,6 \cdot 10^{-7}$ Па, шибера с витонным уплотнением, имеющего проходное отверстие диаметром 100 мм, сильфонного компенсатора.

Система дифференциальной откачки собрана в модуль, который жестко крепится к вакуумному переходнику ионно-оптической системы, выполняя одновременно функцию опоры для колонны первичных ионов.

Экспериментальные исследования режимов работы колонны первичного ионного пучка позволили определить оптимальные значения напряжений на фокусирующих электродах линз в зависимости от ускоряющего напряжения, соотношение между скоростями натекания и откачки рабочего газа, разрешающую способность по массе фильтра Вина, величину тока, плотность и диаметр ионного пучка на образце и др.

Измерения ионного тока проводились специальным коллекторным узлом в режиме подавления вторичной ионно-электронной эмиссии. Диаметр ионного пучка d определялся на полувысоте максимума распределения плотности тока методом сканирования поперек проволоки диаметром 0,6 мм в предположении, что плотность тока j_0 в пучке удовлетворяет гауссовому распределению. Максимальное значение плотности тока $^{40}\text{Ar}^+$ и минимальное значение диаметра ионного пучка при $eU_{\text{уск}} = 10$ кэВ составляли соответственно $j_{\text{max}} = 11 \pm 3 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ и $d_{\text{min}} = 55 \pm 15 \text{ мкм}$ (рис. 3). В режиме максимального тока на образце были получены значения $I_{\text{max}} = 0,8 \dots 1 \text{ мкА}$.

Разрешающая способность по массе фильтра Вина определялась с помощью формулы

$$R = \frac{M}{\Delta M} \approx \frac{U_{\text{пл}}}{\Delta U_{\text{пл}}}$$

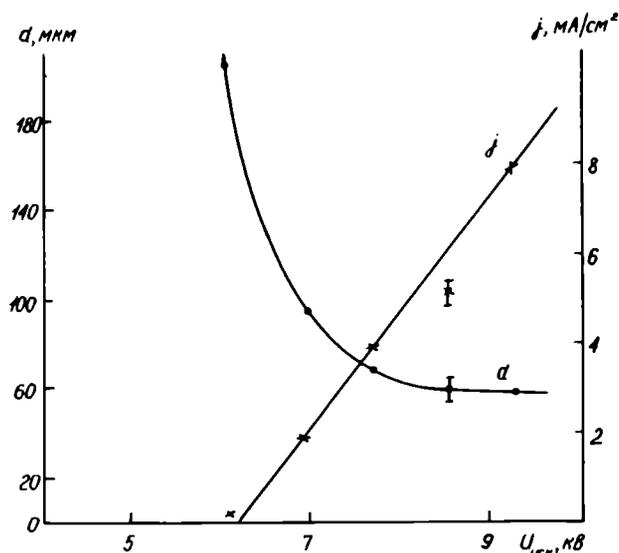


Рис. 3. Зависимость плотности ионного тока и диаметра ионного пучка от ускоряющего напряжения

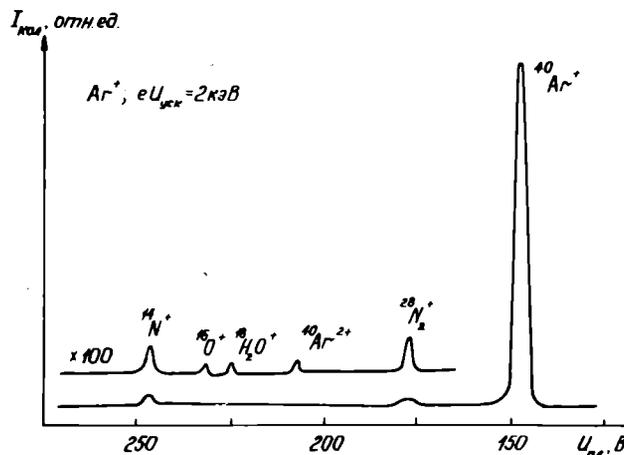


Рис. 4. Масс-спектр первичных ионов

где $U_{\text{пл}}$ — разность потенциалов между отклоняющими пластинами фильтра, соответствующая настройке на ионы с массой M ; $\Delta U_{\text{пл}}$ — ширина распределения ионного тока на заданном уровне. В зависимости от диаметра отверстия выходной диафрагмы пролетного пространства фильтра Вина и энергии $eU_{\text{уск}}$ разрешающая способность $R_{0,5}$ для Ar^+ находилась в пределах 5...15.

Масс-состав первичного ионного пучка Ar^+ при использовании холодного катода из алюминия представлен на рис. 4. Данные получены измерением тока, поступающего на коллекторный узел, в режиме медленной развертки напряжения $U_{\text{пл}}$. При использовании термокатада интенсивность примесных ионов в первичном пучке уменьшалась примерно на порядок. Среднее время работы вольфрамового термокатада в режиме максимальной плотности ионного тока аргона составляло около 20 ч.

Работа колонны первичных ионов в составе установки ВИМС, оснащенной квадрупольным фильтром масс с системой сбора и энергосепарации вторичных ионов, отвечает требованиям послойного

анализа в режиме развертки ионного пучка в растр по поверхности образца с ограничением площади сбора "электронной диафрагмой".

ЛИТЕРАТУРА

1. Черепин В.Т. Ионный зонд.— Киев: Наукова думка, 1981.— 328 с.
2. Вернер Г. Введение в вторично-ионную масс-спектрометрию (ВИМС).— В кн.: Электронная и ионная спектроскопия твердых тел/Под ред. Л.Фирманса и др.— М.: Мир, 1981, с. 345—464.
3. Dumtond. The ion optics of low-energy ion beams.— Vacuum, 1984, vol. 34, N 1—2, p. 51—61.
4. Габович М.Д. Физика и техника плазменных источников ионов.— М.: Атомиздат, 1972.— 304 с.
5. Бажин А.И., Коржавый А.П., Ступак В.А. Установка для определения элементного состава поверхности методом масс-спектропии вторичных ионов отдачи при бомбардировке твердого тела ионами средних энергий.— В кн.: VII Всесоюзная конференция по взаимодействию атомных частиц с твердым телом.— Минск: Изд. МРТИ, 1984.— Т. 1, с. 196—197.
6. Молоковский С.И., Сушков А.Д. Интенсивные электронные и ионные пучки.— Ленинград: Энергия, 1972.— 271 с.
7. Баранова Л.А., Яворский С.Я. Электростатические линзы (обзор).— ЖТФ, 1984, т. 54, № 8, с. 1417—1453.
8. Дуоплазмотрон с фильтром Вина для исследования поверхности твердых тел/А.Л.Пивоваров, С.П.Чернакин, В.Т.Черепин, И.А.Запорожец.— ПТЭ, 1984, № 1, с. 151—154.
9. Seliger R.L. $\vec{E} \times \vec{B}$ mass-separator design.— J. Appl. Phys., 1972, vol. 43, N 5, p. 2352—2357.

Статья поступила 20 февраля 1987 г.

УДК 621.385.032.21:533.59

А.А.Аристархова, С.С.Волков, Т.Н.Исаева,
Т.М.Машкова, М.Ю.Тимашев

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ И ЭМИССИОННЫХ СВОЙСТВ ПЛЕНОЧНЫХ ЭМИТТЕРОВ

Применение спектроскопии обратнорассеянных ионов низких энергий и экзoeлектронной спектроскопии позволяет определять состав и сплошность монослойных пленок на поверхности эмиттеров, различать поляризованное и ионизированное состояние адсорбированных атомов металлов.

Для изучения поверхности эффективных пленочных термо-, фото- и вторичных эмиттеров используются установки вторично-ионной масс-спектропии, оже-спектроскопии, рентгено-электронной спектроскопии, дифракции медленных электронов и др. Однако, несмотря на высокую информативность этих методов по концентрационной чувствительности, латеральной локальности и чувствительности по химическим связям, они позволяют анализировать приповерхностный слой с некоторой глубиной от одного до более десятка монослоев. Это усложняет интерпретацию резуль-

татов исследований и может приводить к ошибкам. Из теоретических и экспериментальных данных известно, что совместным использованием методов спектроскопии обратнорассеянных ионов низких энергий (СОРИНЭ) и экзoeлектронной эмиссии (ЭЭЭ) можно получить достоверную информацию о составе внешнего монослоя и условиях образования пленок монокристаллической толщины на поверхности эмиттеров, о состоянии (ионизированном или поляризованном) адсорбированных атомов.

Создана экспериментальная установка для исследования состава внешнего монослоя поверхности эффективных эмиттеров и их эмиссионных свойств в процессе нагрева, напыления атомов, освещения, ионной бомбардировки, окисления и др. Установка содержит аппаратуру для исследования методами СОРИНЭ, ЭЭЭ, термодесорбционной масс-спектропии (ТДМС) и для измерения термоэмиссии, спектральной фотоэмиссии и вторичной ионно-электронной эмиссии. В ее состав входят разборная металлическая измерительная камера, вакуумная безмасляная откачная система, устройство напуска газов, регистрирующая и питающая аппаратура. При разработке установки использована элементно-конструктивная база электронной и ионной спектроскопии.

В измерительной цилиндрической камере диаметром 300 мм (рис. 1) по оси расположен манипулятор с нагреваемым держателем исследуемого объекта 2, обеспечивающий перемещение по координатам X, Y, Z на 20 мм и вращение вокруг оси Z на 360° . На радиальных фланцах размещены энергетический 180° -ный анализатор 3, на поворотной платформе 4, экзoeлектронный коллектор 8, однополюсный масс-спектрометр с модифицированным ионизатором для анализа потоков атомов 1, ионная пушка для анализа методом СОРИНЭ 5, электронная пушка для ЭЭЭ, оптическое окно для фотоэлектронной эмиссии 7. На наклонно-радиальных фланцах под углом 35° к плоскости образца находятся источники напыления атомов щелочных и щелочноземельных металлов с широким и коллимированным пучками 6. В камеру встроены химический источник кислорода, представляющий собой окись бария, и натекатели, соединяемые с различными источниками газов: инертных — для работы ионной пушки и активных (кислорода, азота, окиси углерода, паров воды) — для моделирования условий технологического процесса. Регистрирующая аппаратура содержит измерительные тракты для СОРИНЭ, ЭЭЭ и ТДМС, работающие в режиме счета заряженных частиц. Для возбуждения фотоэмиссии служит монохроматор ДМР-4 с источником света.

Вакуумные условия в измерительной камере обеспечиваются магнитоэлектрическим и сублимационным титановым охлаждаемым насосами с предельным давлением $\sim 7 \cdot 10^{-9}$ Па. Остаточными газами (по парциальному составу) являются в основном азот, окись углерода и пары воды ($m = 17; 18; 28$ а.е.м.).

Для работы ионной пушки в камеру напускается требуемый инертный газ (гелий, неон или аргон) до давления $\sim 10^{-2} \dots 10^{-4}$ Па. В режиме анализа поверхности методом СОРИНЭ ионная пушка формирует пучок ионов энергией 0,5...5кэВ, током $10^{-6} \dots 10^{-9}$ А, диаметром 1...3 мм с разбросом по энергиям и углу соответственно менее 3 эВ и 2° . Анализатор на поворотной платформе с радиусом электродов 35...45 мм обеспечивает энергетическое

разрешение $\sim 0,5\%$ при угловом разрешении 3° и угол рассеяния $\theta = 160\text{--}90^\circ$ с точностью $0,5^\circ$. Динамический диапазон измерительного тракта в режиме счета составляет $\sim 10^5$ при минимально регистрируемом сигнале ~ 5 имп/с и шуме аппаратуры не более 3 имп/с. Анализатор работает при любой полярности подключения развертки (в том числе в симметричном режиме).

Держатель образца представляет собой молибденовую чашечку диаметром 16 мм с прижимами, подогревателем (до 1400°C) и хромель-алюмелевой (или вольфрам-рениевой) термопарой. Держатель крепится на манипуляторе так, чтобы вертикальная ось вращения проходила через поверхность исследуемого образца, что позволяет при его повороте удерживать анализируемый участок в точке пересечения ионного пучка и оси анализатора. На обратной стороне держателя расположена нагреваемая вольфрамовая проволока для калибровки источников напыления атомов.

Экзоэмиссионный коллектор содержит вторичный электронный умножитель и протяженную диафрагму с отверстием 1...5 мм, находящуюся под потенциалом до 500 В относительно образца. Диафрагма образует с держателем образца плоскопараллельное ускоряющее поле, что обеспечивает локальный отбор экзоэлектронов с поверхности образца и полностью исключает попадание в коллектор фоновых электронов. Исследования показали, что в многофункциональных измерительных камерах имеется фоновый электронный газ с энергиями электронов до 50...70 эВ, способный создавать в экзоэмиссионных коллекторах без специальной защиты произвольно изменяющийся сигнал величиной до 100000 имп/с. Источниками электронного газа в камере являются насосы, манометрические датчики, ионные и электронные пушки, фотоэмиссия от проникающего через смотровые окна света, хемоэмиссия от взаимодействия активных газов с пленками, напыленными на различные детали камеры. Устранение всех источников электронов в камере представляет большие трудности, а в ряде случаев оно принципиально невозможно. Наиболее эффективной защитой от влияния фонового электронного газа служит экранирующее электростатическое поле, формирование которого с помощью протяженной диафрагмы обеспечивает повторяемость экзоэмиссионных спектров.

На величину экзоэмиссионного тока большое влияние оказывают также резистивный ток утечки между подогревателем и образцом (держателем) и электронный ток подогревателя. Устранить эти токи можно с помощью высокоомной изоляции подогревателя (более ста мегаом) и подачи потенциала около +10 В на подогреватель. Исследования показали, что токи утечки вызывают изменения экзоэмиссионного тока вследствие изменения состояния поверхности образца, особенно в случае плохопроводящих материалов. Причиной изменений экзоэмиссионного тока могут быть также поверхностные токи и температурный градиент вдоль поверхности образца. Эти явления устраняются равномерным нагревом держателя и образца.

Измерения ЭЭЭ при термостимуляции проводятся на линейно нагретом образце. Схема измерений содержит широкополосный усилитель $\Delta f \approx 10$ МГц, формирователь импульсов, интегратор с самописцем на выходе, на Y-координату которого выводится сигнал с термопары, закрепленной на образце. Таким образом обеспечивается линейная

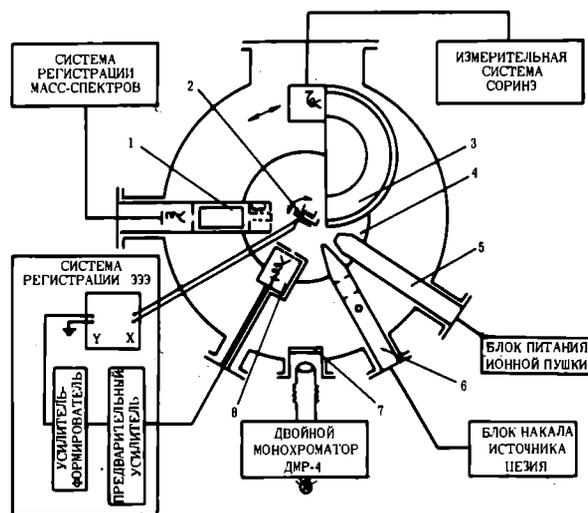


Рис. 1. Схема измерительной камеры исследования пленочных эмиттеров

развертка по температурной шкале при нелинейном увеличении температуры. Параллельная регистрация ЭЭЭ с временной разверткой позволяет контролировать линейность и скорость подъема температуры. Хемоэмиссия при окислении и фотостимулированная ЭЭЭ измеряются также с временной разверткой.

Устройство для ТДМС построено на основе однополюсного масс-спектрометра РОМС-2, снабженного ионизатором потока атомов с эквипотенциальным пролетным каналом, дополнительной системой регистрации сигнала в режиме счета ионов и аппаратурой медленной развертки диапазона масс с записью спектра на самописце. Действие ионизатора, имеющего рабочую длину 50 мм, основано на принципе ионизации электронным ударом. Масс-спектрометр позволяет измерять ионные, атомные потоки, парциальный состав остаточных рабочих газов ионной пушки и газов, напускаемых для исследований.

Для измерения эмиссионных характеристик эмиттеров использовалась имеющаяся аппаратура в режиме постоянного тока, а в счетном режиме — ЭЭЭ-коллектор тока фотоэмиссии в виде проволочной рамки, расположенной на торце источника напыления. Градуировка светового потока для определения фоточувствительности проводилась во время вскрытия камеры с помощью фотоспротивления ФЭС-10, помещаемого на место образца.

Источники напыления щелочных и щелочноземельных металлов представляют собой нагреваемые металлические ампулы с активным веществом (оксидами, солями или интерметаллическими соединениями), размещенные в замкнутых металлических контейнерах с ограничительными диафрагмами, позволяющими формировать направленный поток напыляемых атомов сечением от 1 до 50 мм^2 .

В качестве тестовых экспериментов на установке были проведены исследования адсорбции цезия на поверхности чистого поликристаллического молибдена (рис. 2, а). Анализ спектров рассеяния Ne^+ показал, что после напыления монослойной дозы цезия его атомы полностью закрывают молибден (рис. 2, б), располагаясь на поверхности в двумерной фазе. Окисление цезия приводит к изменению структуры пленки, при котором частично

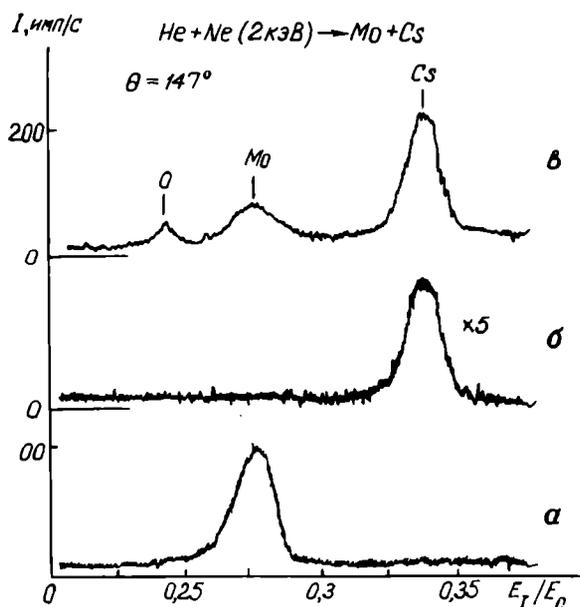


Рис. 2. Спектры рассеяния ионов Ne^+ на поверхности молибдена после прогрева до $1800^\circ C$ (а); напыления монослойной дозы цезия (б) и воздействия кислорода с дозой $\sim 0,05 L$ (в)

оголяются атомы молибдена (рис. 2, в) и происходит интенсивная экзоэлектронная эмиссия (рис. 3). По изменениям экзоэмиссии и величин пиков рассеянных ионов определялось зарядовое состояние адсорбированных атомов на поверхности металлов и полупроводников. Нагрев поверхности со слоем адсорбированных атомов (например, цезия) приводил к появлению термостимулированной ЭЭЭ и термодесорбции (рис. 4), позволяющим оценивать энергию связи и вид адсорбции электроположительных атомов. Исследования спектральных зависимостей фототока в режиме счета и экзоэмиссионных свойств поверхности полупроводниковых материалов с адсорбированными электроположительными атомами позволяют определять влияние последних на энергетическую зонную структуру поверхности — изгиб зон и снижение потенциального барьера.

Таким образом, разработанная установка, помимо исследования поверхности и эмиссионных свойств пленочных эмиттеров, обеспечивает получение достоверной информации о сегрегации атомов в одном внешнем монослое многокомпонентных материалов, процессах диффузии и растворения атомов металлов в полупроводнике, миграции атомов по поверхности.

Статья поступила 19 февраля 1987 г.

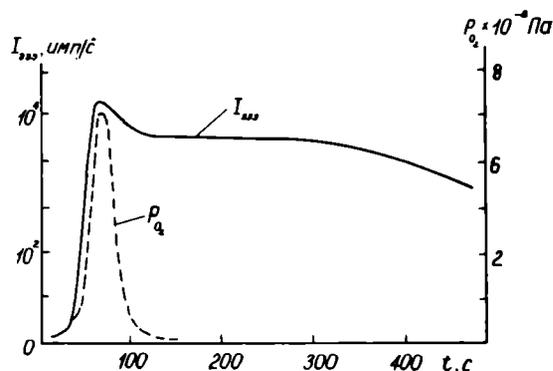


Рис. 3. Экзоэлектронная эмиссия с поверхности молибдена, покрытого пленкой цезия, при напуске кислорода

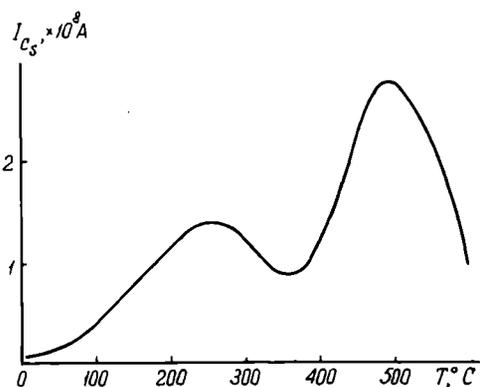


Рис. 4. Изменения в масс-спектре интенсивности пика цезия при его десорбции в процессе нагрева молибдена, покрытого монослойной пленкой цезия

УДК 539.216.2:[537.56/.57:621.373.826]

А.Г.Денисов, В.С.Летохов

ПОЛУЧЕНИЕ ОСОБО ЧИСТЫХ ВЕЩЕСТВ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ИОНИЗАЦИИ

Применение метода селективной ступенчатой лазерной ионизации в тонкопленочной технологии наиболее эффективно для получения тонких, точно контролируемых слоев особо чистых материалов.

В связи с интенсивным развитием лазерной техники (в частности, плавно перестраиваемых лазеров в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазонах) появились реальные возможности применения лазеров для таких видов селективного воздействия излучения на вещество, как управление химическими реакциями, обнаружение единичных атомов и молекул, разделение изотопов и получение особо чистых веществ [1, 2]. Чистота материалов наиболее важна в физике тонких пленок и в связанной с ней тонкопленочной технологии изготовления изделий микроэлектроники, где свойства структуры определяются электрофизическими параметрами самой пленки и границы раздела между слоями.

При изготовлении широкого ряда приборов СВЧ-диапазона (лавинно-пролетных диодов, диодов Шотки, полевых транзисторов, диодов Ганна), приборов со структурой металл-диэлектрик-полу-

проводник и оптоэлектронных приборов методом молекулярно-лучевой эпитаксии [3] чистые вещества должны быть приготовлены в виде направленных пучков атомов или молекул с допустимым содержанием нежелательных примесей. Такие пучки получают путем термического или электронно-лучевого испарения исходного вещества из тигля.

Чистота потока определяется чистотой исходного материала, а дополнительные загрязнения вносятся вследствие их диффузии из тигля. Наличие любых неконтролируемых примесей делает свойства структур непредсказуемыми.

Известный метод селективной ступенчатой фотоионизации [4], хотя и имеет чрезвычайно высокую спектральную селективность [5], не нашел широкого применения для получения особо чистых ионных пучков главным образом из-за отсутствия достаточно мощных лазеров с плавно перестраиваемой частотой в видимой и УФ-области спектра и высокой средней мощностью.

Для предварительной оценки результатов достаточно получить поток ионов, обеспечивающий скорость осаждения пленки $0,1 \text{ нм/с} \cdot \text{см}^2$, для чего могут быть использованы два режима селективной ионизации:

– невысокая плотность атомов в пучке ($\approx 10^{10} \text{ см}^{-3}$) и 100%-ная ионизация всех атомов, проходящих через область взаимодействия с лазерными лучами;

– высокая плотность атомов в потоке (до 10^{15} см^{-3}) с полным поглощением излучения лазера первой ступени.

В первом случае необходимо насыщать резонансные переходы атомов, что требует импульсных мощностей излучения порядка $10^2 \dots 10^3 \text{ Вт/см}^2$. При частоте следования лазерных импульсов 50 кГц необходимая средняя мощность составит $0,5 \text{ Вт}$, а с учетом реальной ширины лазерной линии увеличится до нескольких ватт. Такие мощности потока невозможно создать с помощью перестраиваемого лазера в УФ-области спектра, где наиболее широко используемые в тонкопленочной технологии элементы III и V групп имеют резонансные переходы. Поэтому второй режим является более рациональным. В работе [6] показано, что при полном насыщении процесса второй ступени количество ионов равно количеству фотонов лазера первой ступени, тогда получение потока ионов величиной 10^{15} ион/с возможно при средней мощности перестраиваемого УФ-лазера $0,5 \dots 1 \text{ мВт}$.

Для использования в фотоионной установке требуется лазер, имеющий импульсный характер генерации, причем длительность импульса излучения должна составлять величину порядка времени жизни возбужденного состояния 10^{-8} с . Только в таком импульсном режиме может быть полностью использовано излучение лазера первой ступени, получена эффективностью фотоионизации за время импульса, близкая к 100%, повышена селективность [6]. Кроме того, в этом случае достигается наибольшая эффективность преобразования излучения лазера на красителе видимого диапазона в УФ-излучение [7].

Современные лазеры на красителях в зависимости от типа лазера накачки могут быть условно разделены на две группы, различающиеся частотой следования импульсов генерации f_A : с большой частотой (десятки килогерц) и с малой (десятки и сотни герц). Средние мощности излучения лазеров накачки видимого и УФ-диапазонов практически

равны, поэтому различия в энергии импульсов излучения и количестве фотонов за один импульс определяются частотой следования импульсов. В случае малой частоты следования импульсов эксимерных лазеров большой ионный ток может быть получен только при образовании плотной плазмы за один лазерный импульс. В случае фотоионизации атомов в паре, расширяющемся в вакууме, эффективность использования вещества будет низкой вследствие малой частоты следования лазерных импульсов и высокой скорости движения атомов.

Применяя лазеры с большой частотой следования импульсов, можно достичь высокой производительности установки при меньших концентрациях атомов в области фотоионизации. Это увеличивает селективность метода и эффективность использования вещества, что в свою очередь повышает длительность работы установки при однократной загрузке.

В качестве лазеров с большой частотой следования импульсов могут использоваться лазеры на красителях, накачиваемые излучением лазеров на парах металлов (меди, свинца, золота). В настоящее время наибольшее развитие получил лазер на парах меди, работающий в импульсном режиме с длительностью светового импульса от 10 до 40 нс в зависимости от режима питания. Его излучение имеет две линии спектра: 510 и 578 нм . Частота следования импульсов составляет $5 \dots 20 \text{ кГц}$ (есть сообщение о работе такого лазера при частоте 150 кГц [8]). Средняя мощность излучения, полученная на активном элементе длиной $\approx 1 \text{ м}$, достигла величины более 100 Вт [9] при электрическом КПД $\approx 1\%$.

В настоящее время серийно выпускаются лазеры на парах меди с ступенчатым активным элементом, имеющие гарантированный ресурс непрерывной работы 500 ч (который практически превышает 1000 ч) [10]. Благодаря простоте и надежности в эксплуатации такие лазеры наиболее приемлемы для технологических целей. Дальнейшее повышение их средней мощности во многом определяется выбором оптимальной схемы и режима накачки.

Таким образом, высокие энергетические и ресурсные характеристики лазера на парах меди сочетаются со спектральным диапазоном излучения, совпадающим с первой полосой поглощения органических красителей.

При исследовании параметров перестраиваемого лазера на красителях с использованием в качестве источника накачки медного лазера был получен диапазон перестройки $\lambda = 530 \dots 710 \text{ нм}$ [11], а при удвоении частоты – УФ-диапазон $\lambda = 265 \dots 355 \text{ нм}$. Свободную область $355 \dots 530 \text{ нм}$ можно перекрыть путем смещения частот перестраиваемого и медного лазера. Следовательно, большинство элементов периодической системы можно селективно возбуждать и ионизировать с помощью перестраиваемого лазера с накачкой лазером на парах меди.

Все возрастающая потребность в чистых материалах, а также расширение возможностей лазеров обусловили проведение исследований метода селективной ступенчатой лазерной фотоионизации для получения чистых ионных потоков.

В эксперименте с использованием лазера на парах меди средней мощностью 4 Вт были получены макропотоки атомов галлия, имеющих потенциал возбуждения в УФ-области спектра [12]. При частичном поглощении фотонов первой ступени ионный ток составлял $2,5 \text{ мкА}$. В этом же эксперименте была определена спектральная селективность про-

цесса фотоионизации путем отстройки частоты излучения лазера первой ступени от резонанса на несколько см^{-1} . При этом ионный ток падал в 10^{10} раз, что показывает огромные потенциальные возможности метода по селективности. В данном измерении не могли быть учтены процессы столкновительной передачи возбуждения и перезарядка, так как для этого требуются прямые эксперименты.

Дальнейшее совершенствование режимов возбуждения и параметров активных элементов [13, 14] позволило повысить среднюю мощность лазера на парах меди до 20 Вт без уменьшения ресурса непрерывной работы. С применением таких лазеров была экспериментально осуществлена селективная фотоионизация атомов индия в плотном потоке при полном использовании фотонов лазера первой ступени [15, 16]. При средней мощности УФ-излучения 0,4 мВт был получен ионный ток индия 100 мкА, который может в принципе обеспечивать скорость осаждения пленки $0,1 \text{ нм/с} \cdot \text{см}^2$.

Экстракция ионов из области ионизации и реальная селективность процесса в целом с учетом возможностей столкновительной перезарядки, попадания нейтрального компонента на подложку, образования заряженных кластеров исследовались в работе [15]. Предложенная в этой работе система экстракции ионов эффективно отделяла ионный поток от нейтрального компонента. Вытягивающий потенциал на подложке, при котором происходит полная экстракция ионов, составлял 1,5...2 кВ. Было обнаружено попадание на подложку заряженных кластеров размером до нескольких микрометров, образующихся в области ионизации в плотном атомном паре.

Исключить экстракцию заряженных кластеров на подложку стало возможным благодаря снижению вытягивающего напряжения до 200 В. Полезный ионный ток при этом уменьшался в пять раз.

Селективность процесса в целом определялась введением в исходную пробу определенных наиболее вероятных примесей с известной концентрацией и последующим анализом получаемой пленки методом электронной оже-спектроскопии. Коэффициент разделения веществ в процессе селективной ионизации за один цикл превысил 10^3 . Проведенные исследования в совокупности с результатами работы [15] доказывают возможность получения особо чистых ионных потоков методом селективной лазерной фотоионизации атомов. Производительность метода может быть увеличена при использовании достаточно мощных и дешевых перестраиваемых лазеров с узкой линией излучения в видимом и УФ-диапазонах спектра.

Метод селективной ступенчатой лазерной фотоионизации атомов перспективен для осаждения тонких чистых пленок. Он уступает существующим методам осаждения пленок по производительности, но превосходит их по чистоте получаемого потока, который полностью ионизируется. Осаждение пленок из чистых ионных потоков представляет интерес для исследования, поскольку имеет большие преимущества [16...18]. Результаты экспериментов показали, что при осаждении пленки из ионного пучка In [15] температура кристаллизации снижается на 100°C по сравнению с осаждением из атомного пучка. Аналогичные результаты были ранее получены для ионов других элементов [17, 18].

Наиболее целесообразно применять рассмотренный метод в высоковакуумной тонкопленочной

технологии для осаждения тонких, точно контролируемых слоев особо чистых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л е т о х о в В.С. Селективное действие лазерного излучения на вещество.— УФН, 1978, т. 125, с. 57—96.
2. Лазерное разделение изотопов/С.С.Алиппиев, Н.В.Карлов, Б.Б.Крынецкий, Ю.Н.Петров.— Итоги науки и техники. Сер. Радиотехника, 1980, ч. 1, с. 76—82.
3. Обзоры по электронной технике. Молекулярно-лучевая эпитаксия (приборная реализация)/А.Г.Денисов, Ю.Г.Садофьев, А.П.Сеничкин.— М., 1981. Вып. 16. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудования. 84 с.
4. Л е т о х о в В.С., М у р с С.Б. Лазерное разделение изотопов. Ч. II.— Квантовая электроника, 1976, т. 3, № 3, с. 485—515.
5. Ионизационное детектирование единичных атомов лазерным излучением через ридберговские состояния/Г.И.Беков, В.С.Летохов, О.И.Матвеев, В.И.Мишин.— ЖЭТФ, 1978, т. 75, вып. 6, с. 2093—2101.
6. Л е т о х о в В.С., М и ш и н В.И., П у р е ц к и й А.А. Селективная фотоионизация атомов лазерным излучением.— В кн.: Химия плазмы/Под ред. Б.М.Смирнова.— М.: Атомиздат, 1977, с. 3—60.
7. Генерация мощного излучения с перестройкой спектра в области 280—385 нм/В.В.Бокунь, Н.С.Казак, А.Г.Мащенко и др.— Письма в ЖЭТФ, 1972, т. 15, вып. 1, с. 26—30.
8. Достижения в области разработок лазеров на парах меди.— Радиоэлектроника за рубежом, № 9, 1983, с. 20—21.
9. D a v i s J.I., R o s k w e r E.B. Lasers in materials processing.— IEEE J. of Quantum Electronics, 1982, vol. QE-18, N 2, p. 233—239.
10. Применение активных элементов импульсных лазеров на парах меди в технологическом оборудовании для контроля изделий электронной техники/В.П.Беляев, В.В.Зубов, М.А.Лесной и др.— Электронная промышленность, 1981, вып. 5—6, с. 82—83.
11. Перестраиваемые лазеры на красителях с высокой частотой повторения импульсов с накачкой лазером на парах меди/А.Н.Жерихин, В.С.Летохов, В.И.Мишин и др.— Квантовая электроника, 1981, т. 8, № 6, с. 1340—1343.
12. Production of photoionic gallium beams through stepwise ionization of atoms by laser radiation/A.N.Zherikhin, V.S.Letokhov, V.I.Mishin et al.— Appl. Phys. B., 1983, vol. 30, p. 47—52.
13. М у ч н и к М.Л., П а р ш и н Г.Д., Ч е р н я к Е.Я. Мощный генератор наносекундных импульсов для питания лазера на парах меди.— ПТЭ, 1983, № 3, с. 93—94.
14. Исследование лазера на парах меди с большим ресурсом с улучшенными параметрами импульса возбуждения/В.В.Зубов, Н.А.Лябин, В.И.Мишин и др.— Квантовая электроника, 1983, т. 10, № 9, с. 1908—1910.
15. На пути к фотоионной лазерной эпитаксии: исследование чистоты и условий зарождения кристаллических пленок индия/В.С.Летохов, В.И.Мишин, М.Л.Мучник и др.— Квантовая электроника, 1983, т. 10, № 10, с. 1963—1964.
16. Обзоры по электронной технике. Осаждение тонких пленок из низкоэнергетических ионных пучков/Е.Я.Черняк.— М., 1979. Вып. 4. Сер. 7. Технология, организация производства и оборудование. 55 с.
17. Z a l m P.S., В e s h e r s L.J. Ion beam epitaxy of silicon on Ge & Si at temperature of 400K.— Appl. Phys. Lett., 1982, vol. 41, N 2, p. 167—169.
18. A m a n o J. Direct ion beam deposition for thin film formation.— Thin Solid Films, 1982, vol. 92, p. 115—122.

Статья поступила 20 февраля 1987 г.

УДК 681.785.4/.5.004

С.М.Копылов, Б.Г.Лысой,
Л.К.Михайлов, С.А.Серегин, А.А.Соловьев,
Е.М.Спицын, О.Б.Чередниченко

СКОРОСТНЫЕ АКУСТООПТИЧЕСКИЕ СПЕКТРОМЕТРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Исследования дифракции света на ультразвуковых волнах привели к созданию широкого класса оптических элементов и устройств, в которых при помощи акустической волны осуществляется управление пространственными, временными и спектральными характеристиками излучения. В настоящее время акустооптические модуляторы, дефлекторы и фильтры находят все более широкое применение в лазерной технике. Физические принципы управления такими устройствами обеспечивают их высокое быстродействие и широкие возможности автоматизации созданной на их основе аппаратуры, в частности спектральной [1].

Основным устройством разработанной автоматизированной оптической аппаратуры является монохроматор, созданный с использованием перестраиваемых акустооптических фильтров (АОФ) [2]. Отличительным свойством такого монохроматора является возможность эффективного выделения полезного сигнала на фоне постоянных засветок, возникающих в фильтре из-за рассеяния, деполаризации и т.п., обусловленная тем, что при модуляции звуковой волны, подаваемой на АОФ, постоянная засветка не модулируется. К другим особенностям монохроматора следует отнести: высокую скорость перестройки длины волны пропускания АОФ, позволяющую за короткое время получить развертку по спектру в требуемом диапазоне длин волн, высокую точность установки абсолютного значения длины волны λ_0 , обеспечивающую возможность работы без периодической калибровки по какому-либо измерительному спектральному прибору, а также высокую степень автоматизации.

Для реализации положительных свойств акустооптических монохроматоров разработаны специализированные радиотехнические блоки и аппаратура управления. Так, например, синтезатор частоты, с выхода которого управляющий ВЧ-сигнал подается через усилитель на АОФ, за время $\sim 1...10$ мс устанавливает значение частоты этого сигнала с точностью до 4–5-го знаков, что соответствует точности установки длины волны пропускания монохроматора 0,1...0,01 нм.

Серьезной проблемой при разработке монохроматоров на основе АОФ является подавление побочных максимумов пропускания фильтра, вызванных взаимодействием света с отраженными от его граней звуковыми волнами и гармониками ВЧ-сигнала. Эта проблема решается выбором специальной геометрии АОФ и подачей на АОФ ВЧ-сигнала с низким коэффициентом гармоник (желательно, чтобы уровень второй и третьей гармоник

не превышал -30 дБ). При разработке акустооптических монохроматоров для анализаторов спектра, работающих в широком спектральном диапазоне длин волн, необходимо использовать несколько сменных или переключаемых ВЧ-усилителей и АОФ, поскольку волновые сопротивления в высокочастотном тракте можно согласовать в полосе частот не намного большей, чем октава [3].

Рассмотрим особенности автоматизированной оптической аппаратуры, разработанной на основе акустооптических монохроматоров.

Спектрометр для контроля толщины пленок в вакуумных напылительных установках. Качество диэлектрических покрытий зеркал, призм, фокусирующих линз и т.п. во многом определяется точностью контроля и воспроизводимостью оптических характеристик напыляемых слоев, а именно: показателя преломления n и толщины слоя l . В простейшем случае нанесения четвертьволновых покрытий в процессе напыления контролируется оптическая толщина каждого из наносимых слоев, т.е. произведение nl . Контроль ведется по отраженному от напыляемой пластины или прошедшему через нее монохроматическому излучению. В тот момент, когда оптическая толщина наносимого слоя становится кратной $\lambda/4$, где λ — длина волны монохроматического излучения, интенсивность отраженной (прошедшей) волны достигает экстремума [4]. Система контроля регистрирует прохождение сигнала через экстремум и дает команду на прекращение процесса напыления слоя.

Описанный метод контроля оптической толщины пленки пригоден только при напылении слоев с оптической толщиной, кратной $\lambda/4$. В то же время напыление слоев с произвольной оптической толщиной открывает широкие перспективы при разработке диэлектрических покрытий [5], в частности просветляющих. Нанесение неравнотолщинных диэлектрических покрытий возможно при наличии контроля пропускания в некоторых диапазонах длин волн, т.е. при использовании системы контроля, работающей в режиме анализатора спектра. Основными требованиями, предъявляемыми к анализатору спектра для напылительных установок, является быстрота записи спектра (процесс напыления одного слоя длится около 100 с, поэтому время принятия решения о прекращении напыления, а следовательно, и время измерения спектра пропускания должно быть менее 1 с), а также высокая точность измерения коэффициента пропускания (отражения), определяющая точность воспроизведения заданных оптических характеристик напыляемого покрытия.

Созданный акустооптический анализатор спектра для напылительной установки работает по двухканальной схеме, что позволяет устранить влияние нестабильностей характеристик лампы накаливания, АОФ и т.д. В качестве материала АОФ в УФ-диапазоне (от 0,2 до 0,45 мкм) наиболее удобно использовать кристалл SiO_2 , в видимой и инфракрасной областях — кристаллы CaMoO_4 с возможной заменой на TeO_2 .

Акустооптический спектрометр для контроля газовых сред. Классической задачей спектроскопии

является анализ состава газов по эмиссионным спектрам разряда. Для наблюдения за динамикой изменений газовой среды в реальном масштабе времени, а также для разработки встраиваемых в технологическое оборудование систем контроля и автоматизации процедуры измерения необходимо создание быстродействующей автоматизированной спектральной аппаратуры с использованием малогабаритных монохроматоров, непосредственно управляемых электрическими сигналами. Такими монохроматорами во многих случаях могут служить акустооптические фильтры с соответствующими системами управления.

В разработанном автоматизированном акустооптическом спектрометре-анализаторе спектра газового разряда используется кварцевый АОФ [6]. Управление фильтром осуществляется от сканирующего синтезатора частоты и ВЧ-усилителя, работающего в диапазоне управляющих напряжений 90...130 МГц, который соответствует перестройке полосы пропускания АОФ в области спектра 400...300 нм. В этой области представлен ряд интенсивных спектральных линий He и Ne, а также спектральные полосы многих молекул и радикалов (O_2 , N_2 , NO, OH^{\cdot} , CO, CO_2 , CN и др.), оказывающих отрицательное влияние на долговечность катода газоразрядных приборов и характеристики генерации газовых лазеров при относительном содержании примесных компонент $\sim 10^{-3} \dots 10^{-2}$ [7].

В диалоге оператора с вычислительно-управляющей системой 15 ВУМС-28 задаются режимы измерения: однократное сканирование в одном или нескольких выбранных участках спектра, многократное циклическое сканирование с накоплением сигналов, дискретная перестройка по выбранным линиям спектра с накоплением сигналов или без него, периодическое измерение по заданной программе через определенные интервалы времени и др. Сканирование спектра осуществляется со скоростью до 15 нм/с, при этом точность установки длины волны на каждом шаге перестройки составляет около 0,02 нм (ширина по полувысоте полосы пропускания АОФ $\Delta \lambda_0 = 0,15 \dots 0,20$ нм). Проходящий через АОФ световой поток испытывает 100%-ную амплитудную модуляцию с частотой 4 кГц, принимаемый сигнал синхронно демодулируется на каждом шаге перестройки для вычитания фоновой составляющей. С целью уменьшения избыточных низкочастотных флуктуаций сигнала, обусловленных шумом газового разряда, применяется циклическое многократное сканирование спектра с накоплением сигнала.

Минимальное время анализа достигается при переходе от сканирования к режиму дискретной перестройки АОФ по заданным спектральным линиям разряда, автоматическая настройка спектрометра на каждую из заданных линий занимает не более 1 мс, что не может быть реализовано в традиционных спектрометрах с оптико-механическими монохроматорами.

Применение микроЭВМ позволило предельно упростить работу со спектрометром и обеспечить выполнение ряда сервисных функций: вывод ре-

зультатов измерения на дисплей для предварительного просмотра; получение результатов в табличном или графическом виде; автоматическую разметку графиков (спектрограмм) с представлением данных измерения в алфавитно-цифровом виде; автоматическое масштабирование спектрограмм на максимальный сигнал в линейном или логарифмическом масштабах; оптическое увеличение изображения отдельных участков спектрограммы без проведения отдельного измерения; реализацию режима периодических измерений с хранением результатов на магнитном диске.

Лазерный атомно-флуоресцентный спектрометр с АОФ. Экспрессный высокочувствительный анализ примесных химических элементов широко применяется в различных отраслях промышленности, а также в медицине и сельском хозяйстве. Наряду с электронными, рентгенофлуоресцентными и другими методами получает распространение лазерный атомно-флуоресцентный анализ (АФА) [8] и соответствующая спектрально-аналитическая аппаратура [9]. Метод АФА основан на измерении интенсивности свечения свободных атомов, возбуждаемого монохроматическим излучением с длиной волны, соответствующей одной из линий резонансного поглощения (для получения свободных атомов используется высокотемпературный нагрев, лазерное излучение, плазма и т.д.). Применяемые в качестве источника излучения в АФА перестраиваемые лазеры на красителях позволяют переводить в возбужденное состояние максимальное число анализируемых атомов, что кардинально повышает чувствительность метода. Пределы обнаружения ряда химических элементов, прежде всего металлов, методом лазерного АФА в экспериментах достигают $10^{-12} \dots 10^{-10}$ % по концентрации [10]. Несмотря на то, что при анализе реальных образцов эти величины, как правило, на 2...3 порядка хуже из-за неполной атомизации пробы и ряда других факторов, метод лазерного АФА остается одним из наиболее чувствительных методов анализа и отличается, кроме того, высокой экспрессностью (единицы минут на анализ, включая предварительный отжиг и атомизацию пробы), а также возможностью анализа десятков различных элементов при помощи одного перестраиваемого по спектру источника излучения.

В разработанном лазерном атомно-флуоресцентном спектрометре (ЛАФС) АОФ, являющийся элементом перестройки частоты излучения лазера, используется в комплексе с аналогичным фильтром, установленным перед ФЭУ для выделения сигнала флуоресценции исследуемых атомов [6, 11].

Применение АОФ в сочетании с управляющей микроЭВМ "Электроника-60" обеспечивает полную автоматизацию процесса измерения благодаря точной программируемой настройке длины волны в лазере и монохроматоре, в результате чего достигается производительность 250 анализов в смену. Режим произвольной выборки длины волны пропускания АОФ дает возможность периодически (через несколько лазерных импульсов) отстраивать монохроматор для измерения фоновой составляющей оптического сигнала. Управление величиной

пропускания АОФ (контролируемым изменением мощности управляющего напряжения) позволяет поддерживать величину поступающего на ФЭУ оптического сигнала в пределах линейности тракта регистрации при изменении сигнала флуоресценции (а соответственно и концентрации анализируемого элемента) в широких диапазонах.

Скоростные акустооптические спектрометры могут применяться в установках напыления плазменного травления, дистанционного контроля продуктов сгорания, лидарах и др.

ЛИТЕРАТУРА

- Магдич Л.Н., Молчанов В.Я. Акустооптические устройства и их применения.— М.: Сов. радио, 1978, с. 112.
- Магдич Л.Н. Акустооптические перестраиваемые фильтры.— Изв. АН СССР. Сер. физическая, 1980, т. 44, № 8, с. 1683—1690.
- Залесский В.В. Анализ и синтез пьезоэлектрических преобразователей.— Ростов: Изд-во Рост. Гос. ун-та, 1971.
- MacLeod H.A. Monitoring of optical coatings.— Appl. Optics., 1981, vol. 20, N 1, p. 82—89.
- Bousquet P., Pelletier E. Optical thin film monitoring—recent advances and limitations.— Thin Solid Films, 1981, vol. 77, p. 165—179.
- Лазерный флуоресцентный спектрометр с акустооптическим управлением/И.В.Галишников, В.Г.Дмитриев, С.М.Копылов и др.— В кн.: Тезисы XI Всесоюзной конференции по когерентной и нелинейной оптике.— Ереван, 1982.— Ч. 1, с. 290—291.
- Влияние газовых примесей на работу гелий-неоновых лазеров/В.Ф.Мартьянов, В.С.Михалевский, В.Ф.Папакин, М.Ф.Сэм.— Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ, 1967, № 10, с. 87—97.
- Оменетто Н., Вайнфорд Дж. Атомно-флуоресцентная спектроскопия с лазерным возбуждением.— В кн.: Аналитическая лазерная спектроскопия/Под ред. Н.Оменетто.— М.: Мир, 1982, с. 190—240.
- Лазерный атомно-флуоресцентный спектрометр/И.В.Закурдаев, Е.Г.Чернобродов, Е.Я.Черняк, Г.А.Шерозия.— Электронная промышленность, 1982, № 10—11, с. 81—83.
- Большов М.А., Зыбин А.В., Колошин В.Г. Детектирование низких концентраций свинца методом атомной флуоресценции с лазерным возбуждением.— Квантовая электроника, 1980, т. 7, № 8, с. 1808—1812.
- Перестраиваемые лазеры и лазерные спектральные приборы с использованием акустооптических фильтров/М.Ф.Стельмах, В.Г.Дмитриев, Л.К.Михайлов и др.— Журн. прикладной спектроскопии, 1984, т. 40, № 2, с. 181—189.

Статья поступила 26 февраля 1987 г.

УДК 621.317.799:621.382.002

И.Н.Мазалов, К.Б.Самсонов,
В.П.Тычинский

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЯ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

В современной технологии производства полупроводниковых приборов и интегральных схем широко применяются визуально-оптические методы

контроля с помощью различных проекционных устройств и микроскопов, в том числе растровых электронных. Однако при контроле изделий со сложной топологией эти методы трудоемки, необъективны и исключают возможность автоматизации процесса измерений.

Развитие компьютерной интерферометрии [1—4] позволяет получить объективную цифровую информацию о топологии и микрорельефе изделия и проконтролировать их отклонение от нормы.

В разработанном измерительном комплексе определение высоты микрорельефа производится фазомодуляционным интерференционным методом [5, 6], который заключается в измерении локального значения фазы $\psi(x, y)$ объектной волны путем линейно-периодической модуляции фазы плоской референтной волны. С этой целью на пьезокорректор специализированного АЦП подается калиброванное напряжение, а возникающее при этом переменное интерференционное поле регистрируется в соответствующей точке плоскости изображения координатно-чувствительным приемником (диссектором).

В АЦП из фототока диссектора формируется на каждом периоде модуляции временной интервал, пропорциональный локальному значению фазы $\psi(x, y)$, и соответствующее число вводится в память ЭВМ. Накопленный двумерный массив значений высоты $h(x, y) = \lambda / 4 \pi \psi(x, y)$ обрабатывается на ЭВМ и необходимая информация протоколируется на АЦПУ.

Основные технические характеристики

Дискретность отсчета по высоте, нм	0,3
Разрешение в плоскости объекта, мкм	0,5
Размер поля в плоскости объекта, мкм	5x5...100x100
Размер массива, точек	64x64
Время ввода кадра, с	10...30
Время обработки, с	10...30
Рабочая длина волны, мкм	0,63

На топограмме (рис. 1) мезаструктуры полупроводникового лазера отчетливо видна неровность

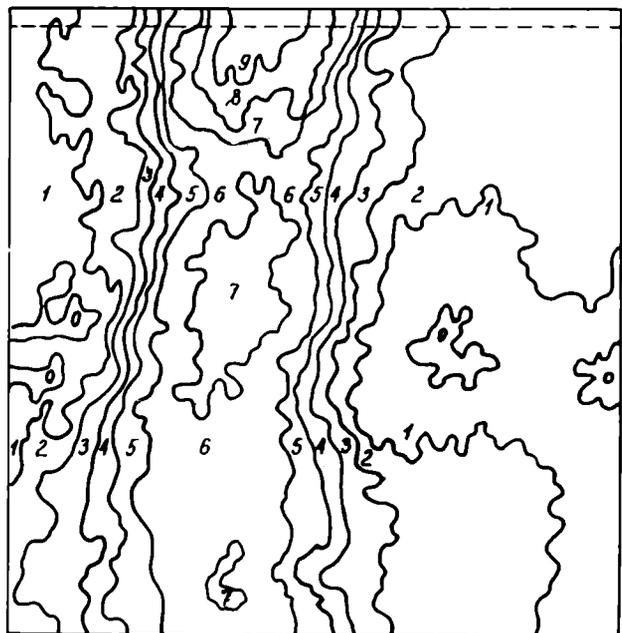


Рис. 1. Фрагмент топограммы (6×9 мкм) мезаструктуры полупроводникового лазера. Дискретность уровней высоты микрорельефа 13 нм

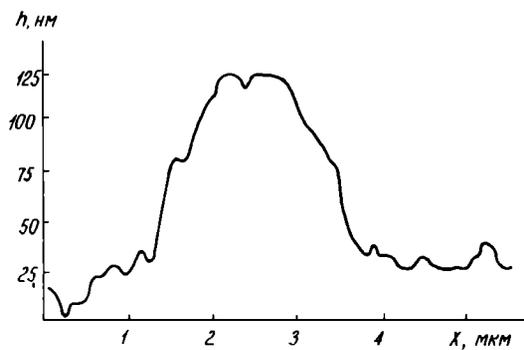


Рис. 2. Профиль сечения мезаструктуры

края ($\Delta x \approx 1$ мкм) и непостоянство высоты ($\Delta h \approx 50$ нм). На рис. 2 приведен профиль сечения этой мезаструктуры вдоль пунктирной линии (см. рис. 1).

Проведенные исследования показали возможность измерений топологии и микрорельефа различных объектов, в том числе полупроводниковых структур, хорошую воспроизводимость результатов

измерений, нечувствительность к коэффициенту отражения поверхности и позволили выявить источники случайных и систематических погрешностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. W y a n t J.C., G r e a t h K. Recent advances in interferometric optical testing.— *Laser focus/electro-optics*, 1985, N 11, s. 118—132.
2. B h u s h a n B., W y a n t J.C., K o l i o p o u l o s C.L. Measurement of surface topography of magnetic tapes by Mirau interferometry.— *Appl. Opt.*, 1985, vol. 24, N 10, p. 1489—1497.
3. Echtzeitinterferometer für die Optikprüfung/ J.Schwider, R.Burow, K.E.Elsner et al.— *Opt. Appl.*, 1985, Bd. 15, N 4, S. 395—412.
4. Координатно-управляемая система цифровой обработки оптических полей/М.В.Евдокимов, С.Н.Козлов, И.Н.Мазалов, В.П.Тычинский.— Тезисы XII конференции КиНО.— М.: МГУ, 1985, с. 147.
5. Лазерный интерференционный профилограф/ Н.Н.Евтихийев, В.П.Тычинский, Г.Р.Левинсон, В.П.Захаров, Ю.А.Снежко.— *Квантовая электроника*, 1977, № 1, с. 69—75.
6. А н д р у щ а к Е.А., Т ы ч и н с к и й В.П. Устройство реверсивного счета полос гомодинного интерферометра.— *Приборы и техника эксперимента*, 1980, № 2, с. 173—175.

Статья поступила 7 апреля 1987 г.

НОВЫЕ КНИГИ

ДИАЛогоВЫЕ СИСТЕМЫ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В. И. Анисимов, Г. Д. Дмитриевич,
К. Б. Скобельцын

Под ред. В. И. Анисимова

М.: Радио и связь, 1987. — 21 л.

Рассматриваются вопросы применения диалоговых систем схемотехнического проектирования, предназначенных для широкого круга пользователей. Предоставлено методическое, информационное, лингвистическое и программное обеспечение указанных систем на мини-ЭВМ СМ-4, "Электроника 100-25" и др. Излагаются вопросы выполнения проектных работ в дисплейных классах.

Для инженерно-технических работников, занимающихся применением и разработкой САПР.

ЭВМ И НЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛИ. ОРГАНИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Р. Уаттс

Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1987. — 6 л.

рассмотрена организация систем, функционирующих в режиме диалога с пользователем, не являющимся профессиональным программистом. Освещены вопросы, связанные с разработкой интерактивных систем, описаны методы реализации диалога, средств помощи пользователю при диалоге, языки команд. Изложены требования к устройствам, обеспечивающим взаимодействие человека и ЭВМ. Приведены примеры практической реализации диалога, даны оценки их эффективности для различных категорий пользователей. Для разработчиков и пользователей интерактивных программ и систем.

СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

УДК 681.3:658.512.2.011.56:621.3.049.77

А.М.Власов, В.В.Плотников, В.Н.Харин,
В.П.Чекмарев

АРМ И ИГС НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ САПР ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

К числу первоочередных проблем, связанных с совершенствованием САПР изделий микроэлектроники, относятся разработка и внедрение в эти системы массовых технических средств, а также создание на их основе интегрированных систем, обеспечивающих сквозное проектирование ИЭТ.

Возможность комплексного решения этих проблем определяется такими базовыми принципами, как структурная организация процесса проектирования, иерархическая декомпозиция проектируемого объекта, независимость и проблемная ориентация проектных процедур, их взаимодействие на уровне автоматической передачи проектных решений, сквозное проектирование методом интеграции проектных процедур, использование типовых маршрутов в технологии обработки проектной информации, автоматизированное управление ходом выполнения проектов в интегрированной САПР, автоинтерактивный режим проектирования.

С учетом сложности решаемых задач разработаны следующие основные требования к базовым техническим средствам и архитектуре программно-технических комплексов, предназначенных для создания интегрированных САПР изделий микроэлектроники, а также к самой интегрированной САПР: модульное построение САПР с использованием типовых проектных решений, построение автоматизированных рабочих мест (АРМ) на базе мини- и микроЭВМ и их специализация, высокая удельная мощность, автономность и различная производительность АРМ для решения разных задач САПР, унификация при определении числа, состава и функциональных возможностей типовых программно-технических комплексов для построения САПР на предприятиях отрасли, комплексирование рабочих мест и вычислителей с помощью быстродействующих связных средств.

Для отраслевых САПР разработано, освоено в серийном производстве и внедрено семейство интерактивных гра-

фических систем (ИГС) и АРМ на базе мини- и микроЭВМ серии "Электроника".

Первым серийно освоенным унифицированным программно-техническим комплексом САПР, предназначенным для проектирования топологии ИС, является ИГС 15УТ-4-017, построенная на базе 16-разрядной мини-ЭВМ "Электроника 100/25" и обеспечивающая проектирование интегральных схем сложностью до 30,0 тыс. элементов. Мини-ЭВМ "Электроника 100/25" имеет объем ОЗУ 32-128 К 16-разрядных слов, быстродействие порядка 800 тыс. операций/с, ВЗУ на дисковых магнитных накопителях емкостью 10 Мбайт и 9-дорожечной магнитной ленте емкостью 8 Мбайт.

Два рабочих места ИГС построены на базе алфавитно-цифрового дисплея 15ИЗ-00-002 и запоминающего графического дисплея (размер экрана 160x210 мм) с указателем координат планшетного типа и кодировщиком графической информации с размером рабочего поля 800x1200 мм.

Система 15УТ-4-017 обеспечивает ввод, редактирование, синтаксический контроль алфавитно-цифровой и графической информации, образование и поддержку иерархических библиотечных элементов, графическое отображение топологии на экране графического дисплея и графопостроителя ЭМ-7022, входящего в состав системы, контроль и подготовку на магнитной ленте управляющей информации для генераторов изображений и быстродействующего графопостроителя ЭМ-732.

Анализ использования ИГС 15УТ-4-017 выявил ряд факторов, ограничивающих производительность системы: перегруженность ЭВМ задачами управления периферийным оборудованием, разделение ресурсов ЭВМ между двумя пользователями, сочетание в одной ЭВМ интерактивных и достаточно трудоемких расчетных задач.

С учетом отмеченных факторов была создана ИГС второго поколения 15УТ-8-060, построенная на базе быстродействующей 16-разрядной мини-ЭВМ "Электроника 79", которая обеспечила увеличение производительности, объемов ОЗУ и ВЗУ мини-ЭВМ, повышение интеллекта рабочих мест и увеличение их числа, повышение возможностей интерактивной графики на рабочих местах.

Мини-ЭВМ "Электроника 79" имеет объем ОЗУ до 2 Мбайт, ВЗУ на НМД -

200 Мбайт, ВЗУ на НМЛ - 40 Мбайт, быстродействие - 3 млн. операций/с, что позволяет решать достаточно сложные расчетные задачи. За счет того, что в системе 15УТ-8-060 применены рабочие места интеллектуального типа 15УТ-1-061 и ВУМС-124, удалось разгрузить мини-ЭВМ "Электроника 79" от рутинных задач по управлению оборудованием рабочих мест.

Средства интерактивной графики в АРМ 15УТ-1-061 выполнены на базе запоминающего графического дисплея 15ИГ-160-210 и алфавитно-цифрового дисплея 15ИЭ-00-013 и включают широкоформатное устройство кодирования и прорисовки графической информации ЭМ-739А с рабочим полем 800x1200мм и скоростью прорисовки до 700 мм/с (управляются от ЭВМ "Электроника 60М").

Рабочее место ВУМС-124 более совершенно, чем 15УТ-1-061, содержит более мощную микроЭВМ, широкоформатный графический дисплей УВВК-51 с размером экрана 270x360 мм и НМЛ емкостью 8 Мбайт, управляется от 16-разрядной микроЭВМ "Электроника МС 1212" с быстродействием 600 тыс. операций/с и емкостью ОЗУ 124 К слов. Связь рабочих мест с мини-ЭВМ "Электроника 79" осуществляется с помощью многоканального устройства ввода-вывода (УВВМ) в режиме программного обмена и непосредственного доступа к памяти со скоростью 2,5 млн. бод/с в посылке.

Такая структура ИГС 15УТ-8-060 обеспечивает возможность независимой обработки топологической информации на рабочих местах, коллективную работу (до 8 разработчиков) над одним проектом, комплексирование нескольких систем 15УТ-8-060 через устройство УВВМ, возможность решения сложных расчетных задач параллельно с интерактивной работой рабочих мест. По производительности ИГС 15УТ-8-060 в несколько раз превосходит систему 15УТ-4-07 и допускает проектирование БИС в режиме эскизного проектирования.

Интерактивная графическая система следующего поколения УВК-8000-006 выполнена на базе 32-разрядной мини-ЭВМ "Электроника 82" и открывает новое семейство 32-разрядных ИГС и АРМ. Мини-ЭВМ "Электроника 82" имеет объем ОЗУ - 8 Мбайт, ВЗУ на НМД - 400 Мбайт, ВЗУ на НМЛ - 80 Мбайт. Ее эффективная производительность в 3...5 раз выше производительности ЭВМ "Электроника 79". Система виртуальной адресации позволяет непосредственно обращаться к адресному пространству объемом до 4 Гбайт.

Устройство УВК-8000-006 способно обеспечить решение большинства задач

логико-функционального и конструкторского проектирования СБИС.

Для построения интегрированных САПР ИЗТ в 12-й пятилетке планируется выпуск графических АРМ различной производительности на базе 16-разрядной профессиональной микроЭВМ (ПЭВМ) "Электроника МС 0585" и 32-разрядной микроЭВМ семейства "Электроника".

АРМ на базе ПЭВМ "Электроника МС 0585" включает ПЭВМ "Электроника МС 0585" с ОЗУ емкостью 512 Кбайт, сдвоенным накопителем на гибком магнитном диске емкостью 2x400 Кбайт и винчестерном емкостью 10 Мбайт, цветным растровым монитором с размером экрана 160x210мм и полноразрядной клавиатурой; планшетный указатель координат для управления маркером цветного монитора и выбора команд из функционального "меню"; планшетный графопостроитель формата А3. АРМ такого состава обеспечивает подготовку топологической информации такой же сложности, как и в ИГС 15УТ-4-017. АРМ имеет возможность подключения к более мощной 32-разрядной мини-ЭВМ "Электроника 82" в качестве ее терминала.

АРМ на базе 32-разрядной микроЭВМ семейства "Электроника" включает 32-разрядную микроЭВМ с ОЗУ емкостью до 1,5 Мбайт, сдвоенным накопителем на магнитном диске емкостью 2x400 Кбайт, накопителем на магнитном диске емкостью 30 Мбайт, четырехканальным последовательным мультиплексором, цветным растровым дисплеем с размером экрана 160x210 мм, полноразрядной клавиатурой; планшетный указатель координат для управления маркером цветного дисплея и выбора команд из функционального "меню"; планшетный графопостроитель формата А3. АРМ такой конфигурации предназначены для обработки графической информации в процессе проектирования изделий микроэлектроники (подготовки библиотечных элементов, графического описания фрагментов принципиальных электрических схем, составления компоновочных планов топологии БИС на вентилях матрицах и заказных БИС и др.). Все компоненты АРМ смонтированы на одном рабочем столе, их можно размещать на рабочих местах разработчиков изделий микроэлектроники. Широкое внедрение АРМ обусловлено малыми габаритами, низким энергопотреблением, малой стоимостью и нетребовательностью к окружающим условиям.

Для решения наиболее трудоемких расчетных задач логического моделирования необходимо создание малогаба-

ритного аппаратного ускорителя с управлением от 32-разрядной микроЭВМ, обеспечивающего повышение эффективности расчетов при решении задач указанного класса в 500-1000 раз по сравнению с такими же расчетами, проведенными на мини-ЭВМ "Электроника 82".

Рассмотренные АРМ и ИГС вместе с аппаратным ускорителем задач логического моделирования составят в 12-й пятилетке базовый набор унифицированных технических средств для построения интегрированных САПР изделий микроэлектроники и обеспечат массовое внедрение средств САПР на предприятиях отрасли.

Статья поступила 19 марта 1987 г.

УДК 658.512.2.011.56:621.3.049.77

В.Н.Харин

БАЗОВОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТИПОВЫХ САПР ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

При создании базового программного обеспечения интегрированных САПР сквозного проектирования изделий микроэлектроники выбрана поведенческая модель, в которой процесс проектирования рассматривается в виде последовательно-параллельного конвейера, составленного из набора независимых проектных процедур. Рабочие места этого конвейера (АРМ и ИГС) обеспечивают выполнение проблемно-ориентированных процедур, результаты которого в виде проектных решений, помещенных в контейнер, передаются на конвейер и далее в оперативный склад, откуда контейнер можно запросить на следующее рабочее место в соответствии с технологическим маршрутом обработки проектной информации.

Проектная процедура выполняет унифицированные действия по запросу и приему нужного контейнера, контролю и переводу его содержимого в требуемый для обработки вид, получению проектного решения и составлению его сертификата, их загрузки в контейнер, информированию конвейера о готовности к отправке законченного контейнера.

Диспетчерская служба организует учет заявок на перемещение контейнеров, ведет журнал их доставки на склад и со склада, обеспечивает целостность данных и защиту от несанкционированного доступа к контейнерам.

Служба склада организует прием, размещение, хранение и выдачу контей-

неров с проектными решениями в соответствии с маршрутом обработки проектной информации.

Выбранная поведенческая модель подходит для широкого круга конкретных построений интегрированных САПР изделий микроэлектроники и позволяет использовать при создании прикладного программного обеспечения программы и пакеты собственной разработки, а также заимствованные, выполненные по другим концептуальным моделям.

ПРОГРАММНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ИНТЕГРИРОВАННОЙ САПР.

Согласно выбранной модели в интегрированной САПР создаются следующие функциональные подсистемы (модули), реализуемые на отдельных АРМ и ИГС, объединенных быстродействующими коммуникационными средствами: мониторинговая, выполняющая функции диспетчеризации, управления ходом проектных работ в системе и защиты проектных данных; информационная, обеспечивающая прием, хранение и выдачу контейнеров с проектными решениями; проектирование электронных схем, реализующая структурно-алгоритмическое, функционально-логическое и схемное моделирование, автоматизированную генерацию тестовых последовательностей; топологического проектирования, решающего задачи размещения, трассировки элементов полупроводниковых структур; проектирования микроэлектронного приборно-технологического базиса, обеспечивающая электрофизическое моделирование элементов, создание и аттестацию типовых технологических маршрутов получения полупроводниковых структур, создание и аттестацию базовых, библиотечных и стандартных элементов; проектирования конструкторской документации на изделие микроэлектроники; автоматизированного архива интегрированной САПР изделий микроэлектроники.

В зависимости от сложности и количества параллельно решаемых задач отдельные подсистемы могут физически размещаться на одной или нескольких однотипных (или разнотипных) ЭВМ, АРМ, ИГС.

Две первые подсистемы являются инвариантными для различных типовых САПР ИЭТ и составляют базис, на котором строится интегрированная САПР сквозного проектирования изделий микроэлектроники при ее реализации из типовых и массовых АРМ и ИГС.

Программное обеспечение этих двух подсистем в сочетании с общесистемным программным обеспечением АРМ и ИГС образует базовое программное обеспечение интегрированной САПР.

Мониторная подсистема интегрированной

ной САПР обеспечивает: организацию взаимодействия подсистем интегрированной САПР, защиту проектных решений от несанкционированного доступа, контроль корректности сопроводительной информации, идентификацию проектных решений, управление проектными работами в системе при параллельном ведении работ по нескольким проектам, сбор статистических данных и составление отчетов о ходе работ в интегрированной САПР, проверку работоспособности интегрированной САПР, обеспечение развития интегрированной САПР.

Мониторная система базируется на отдельной 32-разрядной мини- или микроЭВМ с объемом ОЗУ 6-8 Мбайт и ВЗУ на НМД 100...300 Мбайт, объединенной быстродействующими средствами коммуникаций с ЭВМ подсистем интегрированной САПР. Программное обеспечение обмена по линиям быстродействующей связи используется мониторной системой как прикладной пакет.

Информационная подсистема интегрированной САПР создается для обеспечения информационного взаимодействия подсистем САПР с учетом того, что в интегрированной САПР функционируют разработанные пакеты прикладных программ, отвечающие концепции конкретной САПР, и заимствованные. Информационная подсистема обеспечивает: отчуждение проектных решений от породивших их проектных процедур, санкционирование доступа к контейнерам с проектными решениями, автоматическое изменение содержимого контейнера по аттестованным алгоритмам, оповещение потребителей о произведенном изменении в информационном фонде, регистрацию и выдачу сигнальной информации о попытках несанкционированного доступа к базе данных информационной подсистемы, каталогизацию контейнеров, формирование информации для передачи в архив САПР, подготовку сводных отчетов о состоянии информационной базы подсистемы.

Информационная подсистема может включать автоматизированные банки данных, различные программные средства управления базами данных для каждого конкретного применения, в том числе и унифицированные.

Информационная подсистема интегрированной САПР размещается на отдельной 32-разрядной микроЭВМ с объемом ОЗУ 8 Мбайт и ВЗУ на НМД 0,5...1,0 Гбайт, объединенных быстродействующими средствами коммуникаций с мониторной подсистемой интегрированной САПР.

О П Е Р А Ц И О Н Н А Я С И С Т Е М А 32 - Р А З Р Я Д Н Ы Х Э В М С Е М Е Й С Т В А "Э Л Е К Т Р О Н И К А".

Эффективный механизм базового программного обеспечения интегрированной САПР обуславливается особенностями построения и имеющимися инструментальными средствами многофункциональной виртуальной системы (МВС).

Страничная организация памяти и аппаратные средства преобразования виртуального адреса в физический позволяют создавать гибкие и мощные процедуры ОС МВС, прозрачные для прикладной программы, снимающие жесткие требования к организации контроля и распределению используемой памяти. Механизмы виртуальной памяти обеспечивают поддержку механизмов планирования и предоставления памяти пользователям программ, поддержку порождения и взаимодействия процессов, удобное построение списковых структур для данных и их справочников при иерархическом построении проектируемого объекта, а также проектных процедур, защиту программ пользователя. По сравнению с ОС15 ОС МВС обеспечивает более развитый и удобный сервис в таких компонентах операционной системы, как подсистемы управления памятью, ввода-вывода, планирования и управления процессами, библиотечные процедуры.

ОС МВС поддерживает выполнение процессов в трех режимах: разделения времени, пакетном, реального времени (РВ).

Наиболее характерный для организации интегрированного взаимодействия режим разделения времени в ОС МВС имеет динамически изменяемые приоритеты. Приоритет порождаемых процессов применяется периодически. Динамический приоритет интерактивного процесса возрастает, начиная с некоторого базового значения, определенного в файле полномочий пользователей в зависимости от времени ожидания предоставления центрального процессора ЭВМ. По достижении максимального значения среди остальных ожидающих процессов он получает квант времени для выполнения его центральным процессором, после чего его приоритет понижается до базового значения.

В пакетном и режиме реального времени используются статические приоритеты процессов. Процесс реального времени выполняется до тех пор, пока более приоритетный процесс не будет затребован центральным процессором. В ОС РВ используются только статические приоритеты для управления очередью процессов.

Файловая система МВС поддерживает использование иерархической структуры справочников и подсправочников. Это позволяет не только оптимизировать алгоритмы самой операционной системы, но и обеспечить поддержку многочис-

ленных задач пользователя, базирующихся на обработке иерархически организованных представлений объекта проектирования. В частности, с использованием этих средств оптимально реализуются представления семантически окрашенных узлов дерева, являющегося математической моделью МА БИС в памяти ЭВМ.

Защиту от несанкционированного доступа в ОС МВС обеспечивают мощные и гибкие механизмы, основанные на привилегиях, квотах и категориях пользователей, реализующих свои ресурсы без ограничений. Для выполнения работ, требующих доступа к общесистемным ресурсам или ресурсам других пользователей, необходимо обладание определенными привилегиями: самые высокие требуются для доступа к жизненно важным компонентам ОС МВС.

При регистрации в системе каждому пользователю присваивается имя, код идентификации, квоты, привилегии.

В соответствии с идентифицирующим кодом все пользователи делятся на четыре категории: системный программист, руководитель группы пользователей, член группы пользователей, прочие пользователи.

Пользователь, имеющий право доступа к справочнику, в котором находится не используемый в работе файл, может установить для остальных пользователей различные виды доступа: читать, записывать, удалять, выполнять. При теледоступе к информации через сетевые средства пользователю предоставляются привилегии и код идентификации из вычислительного комплекса, в котором содержится искомая информация.

ОС МВС имеет развитые средства разработки программного обеспечения для задач построения АРМ и принципиальных задач сквозного проектирования. Система программирования включает языки Ассемблер, Фортран, язык системного программирования ВРАМС, который используется для написания и отладки тестовых и многих обеспечивающих программ.

Отладчик ОС МВС позволяет вести символьную отладку в терминах исходного языка программирования, в то время как в ОС РВ отладка ведется на уровне двоичных кодов. Существенную роль в организации символьной отладки в ОС МВС играет режим виртуальной адресации. Отлаживаемая программа реализуется в пространстве виртуальных адресов пользователя, а отладчик — в пространстве виртуальных адресов системы и используется в режиме разделения памяти. Этим достигается практически полная идентичность среды выполнения с отладчиком и без него. Отладчик разделяет управление термина-

лом с процессом пользователя и может создавать и считывать файлы.

Организация файловой структуры МВС обеспечивает совместимость данных, выработанных в файловой структуре ОС РВ, что позволяет использовать преимущество проектных решений, подготовленных в 16- и 32-разрядных ЭВМ семейства "Электроника".

Операционная система МВС обеспечивает режим выполнения на ЭВМ "Электроника-82" программ пользователя, разработанных для 16-разрядных ЭВМ семейства "Электроника", что обеспечивает возможность переноса расчетных задач из одной ИГС в другую. ОС МВС поддерживает ряд устройств внешней памяти (НМД, НМЛ, ЗГД), использованных в 16-разрядной миниЭВМ "Электроника 79".

Существенно развит механизм настройки операционной системы МВС и подключения новых драйверов. Система может быть перенастроена в процессе многопользовательской работы и лишь иногда может потребоваться перезагрузка системы.

ОС МВС обеспечивает совместимость базовых программных средств семейства 32-разрядных ЭВМ "Электроника" с 32-разрядной мини-ЭВМ СМ 1700, что позволяет решать вопросы переносимости программных средств этих ЭВМ.

Рассмотренные основные особенности ОС МВС дают возможность программистам существенно повысить эффективность разработки пакетов прикладных программ и предоставить пользователям развитые сервисные средства для эксплуатации технических и программных средств АРМ и ИГС, создаваемых на базе 32-разрядных ЭВМ семейства "Электроника" и СМ ЭВМ.

Статья поступила 19 марта 1987 г.

УДК 658.512.2.0011.56:681.3

А.А.Ступаченко

БАНКИ ДАННЫХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ САПР

Под научно-технической подготовкой производства (НТПП) понимают совокупность поисковых, прикладных исследований, а также конструкторских и технологических разработок, которые обеспечивают проектирование новых изделий и технологическую подготовку их серийного выпуска в любой отрасли народного хозяйства [1, 2]. Состав этапов цикла НТПП и систем, ориентированных на их реализацию, представлен на рис. 1. Назначение АСНИ — разработка, развитие, пополнение номенклатуры логико-математических моделей различных объектов НТПП, которые предоставля-

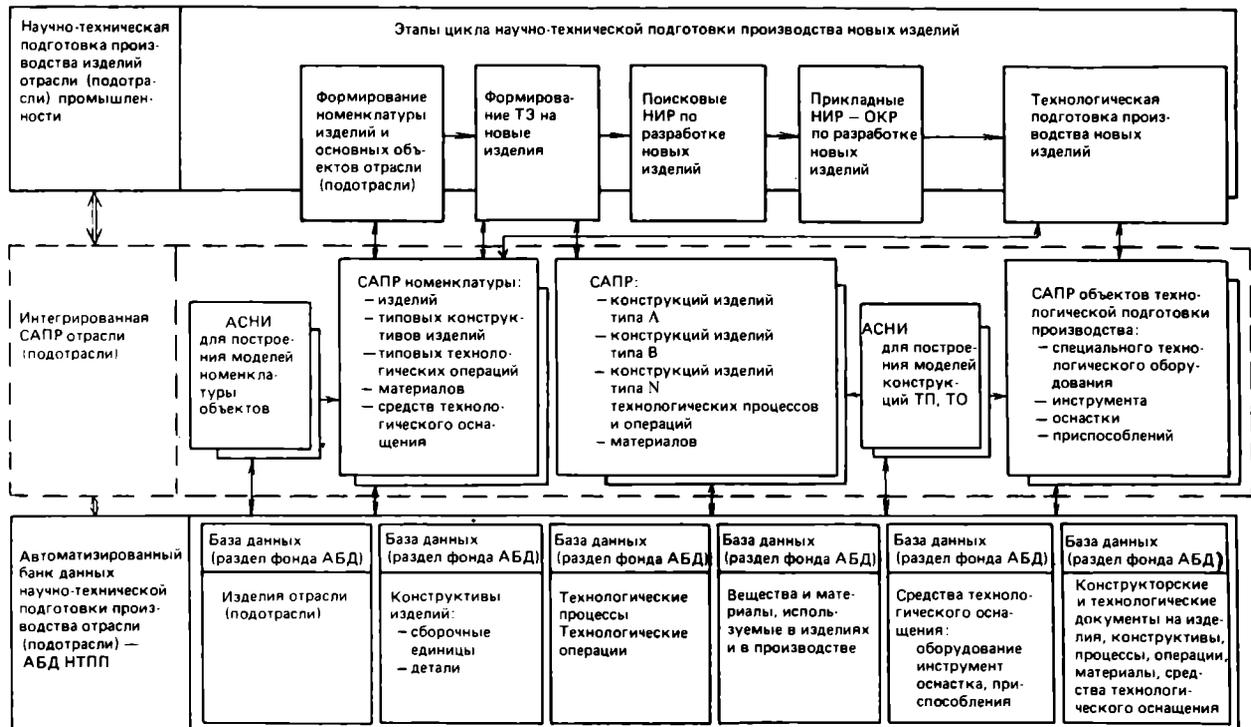


Рис. 1. Состав этапов цикла НТПП и систем, обеспечивающих реализацию этих циклов

ются для использования соответствующим САПР. Совокупность САПР и АСНИ, обеспечивающих (поддерживающих) реализацию цикла НТПП, образует интегрированную САПР данной отрасли (подотрасли) народного хозяйства. Автоматизированный банк объектографических данных (АБД), предназначенный для обеспечения информационными ресурсами цикла НТПП, выступает в качестве АБД интегрированной САПР или, более точно, АБД НТПП и может расцениваться как одна из моделей предметной области (ПО) — определенной отрасли или подотрасли народного хозяйства.

В качестве информационных ресурсов интегрированных САПР (цикла НТПП) будем рассматривать специальным образом организованные кванты информации, необходимость использования которых установлена (со стороны систем, реализующих этапы цикла НТПП, т.е. соответствующих САПР или АСНИ), определена и зафиксирована для каждого рассматриваемого отрезка времени. Разработка концептуальной модели, отображающей предметную область, в которой реализуется цикл НТПП, а также отдельные фрагменты этой ПО в АБД, требует определенного обоснования. Наиболее естественным представляется подход, основанный на специфицировании важнейших целей (соответственно аспектов, объектов, средств, результатов) реализации цикла НТПП в целом и его отдельных этапов, достижение которых должен обеспечивать (или достижению которых должен способствовать) АБД НТПП.

Основные цели реализации цикла НТПП в любой отрасли (подотрасли) народного хозяйства могут быть сформулированы следующим образом:

— минимизировать избыточность номенклатуры объектов основных классов — изделий основного производства, конструктивов (сборочных единиц, деталей изделий), материалов, технологических процессов и операций, средств технологического

оснащения (последние рассматривать на выделенном отрезке времени — за пятилетку, год и т.д.);

— максимизировать степень упорядоченности и организованности* номенклатуры объектов каждого класса;

— максимизировать эффективность (степень безусловного, но избыточного соответствия основному назначению уровней функциональных свойств или соотношений функциональные/утилитарные свойства/условия применения) создаваемых объектов;

— минимизировать ресурсоемкость (трудоемкость, материалоемкость, энергоемкость, фондоемкость) новых объектов каждого класса на этапах их изготовления и на этапе использования;

— максимизировать степень преимущества проектных решений, т.е. обеспечить использование возможно большего числа стандартизованных (типовых, базовых) решений (конструкторских,

* Степень упорядоченности номенклатуры характеризуется относительным числом параметров объектов, для значений которых (номинальных или допустимых) установлены отношения порядка (обычно на основе рядов предпочтительных чисел: E6, E12, E24, ..., P10, P20, P40, ... и т.п.). Степень организованности номенклатуры характеризуется количеством отношений, которые устанавливаются между различными свойствами объектов. К числу таких отношений относят: размерно-параметрические, массо-параметрические, стоимостно-параметрические отношения между условиями использования объектов и их эксплуатационными свойствами (долговечностью, наработкой на отказ) и т.п. Упорядоченность и организованность номенклатуры являются теми механизмами, посредством которых обеспечивается минимальная избыточность номенклатуры объектов каждого класса (включение в ее состав каждого нового объекта предполагает исключение не менее чем одного из прежних), а также устанавливаются правила заменяемости ранее созданных и выпускаемых промышленностью объектов на вновь создаваемые и вводимые в номенклатуру (эти правила оказываются заранее известными не только разработчикам, но и потребителям и изготовителям объектов каждого класса).

технологических, материаловедческих) при создании новых объектов;

— максимизировать достоверность и точность формируемых проектных решений (минимизировать долю проектных решений, дорабатываемых или перерабатываемых по результатам опытного и серийного производства);

— минимизировать продолжительность и (или) трудоемкость реализации цикла НТПП новых объектов.

Достижение указанных целей реализации цикла НТПП предполагает тесное взаимодействие АБД с САПР различных объектов. Так, на этапе цикла "Формирование номенклатуры" (см. рис. 1) САПР номенклатуры объектов любого класса (изделий, конструктивов, технологических операций, материалов и др.) совместно с АБД должны формировать обоснованный ответ на вопрос, следует ли вообще при существующей номенклатуре и тенденциях ее развития создавать новый объект с требуемыми свойствами.

Если ответ на этот вопрос будет положительным, то на этапе "Формирование ТЗ на новые изделия" средствами САПР соответствующих объектов и АБД должны быть даны ответы на следующие вопросы:

— Какими значениями основных свойств должен обладать новый объект? (Как значения основных свойств нового объекта соотносятся со значениями свойств его аналогов (прототипов) и в какой мере при этом соблюдены упорядоченность и организованность номенклатуры, принятые для объектов данного класса?)

— Каков ожидаемый технический уровень объекта, предполагаемого к разработке?

На этапах "Поисковые (прикладные) НИР и ОКР" средствами САПР соответствующих объектов и АБД получают информацию о принципах построения объекта, принятого к разработке, которые можно заимствовать у его аналогов (прототипов); о типовых проектных решениях (конструкторских, технологических, материаловедческих), которые могут быть использованы при проектировании объектов данного класса; о внешних (в том числе эксплуатационных и утилитарных), а также внутренних свойствах и производственно-экономических показателях каждого типового проектного решения.

На этапе "Технологическая подготовка производства" с помощью АБД формируются данные о том, каков состав типовых средств технологического оснащения (оборудования, инструмента, приспособлений), которые можно применить для организации серийного и (или) опытного производства спроектированного объекта, а также выдается конструкторская и технологическая документация (на традиционных и (или) машиночитаемых носителях) на все типовые проектные решения, использованные при проектировании нового объекта.

В соответствии с вышеизложенным АБД НТПП совместно с комплексом проблемно-ориентированных программ должен обеспечивать оперативное получение достоверных, точных и достаточно полных ответов на следующие вопросы:

1. Какова сложившаяся номенклатура (отраслевая, отечественная, ведущих фирм зарубежных стран) объектов данного класса? Каковы основные их тенденции и темпы развития, выраженные в терминах состава и значений основных свойств и (или) отношений свойств объектов?

2. Какие аналоги (прототипы) объекта, намечаемого к созданию, уже существуют в номенклатуре объектов данного класса и каков технический уровень этих аналогов? (При этом должна существовать возможность определять и при необходимости многократно переопределять для каждого конкретного случая состав, а также допустимые различия в значениях свойств объектов, определяемых как "аналог", "ближайший" или "наилучший в заданном смысле аналог".)

3. Каковы по составу и содержанию отношения, определяющие организованность и упорядоченность номенклатуры объектов данного класса?

4. Какие принципы построения использовались при создании объектов каждого данного класса?

5. Какова номенклатура типовых проектных решений (конструкторских, технологических, материаловедческих), которые применялись в объектах данного класса?

6. На какие свойства объектов данного класса могут существенно влиять типовые проектные решения каждого рассматриваемого вида?

7. Каковы для объектов данного класса средние, предельно достигнутые, директивно установленные значения коэффициентов стандартизации, унификации и т. п.?

Возможность получения от АБД НТПП ответов на поставленные выше вопросы в решающей степени определяется концептуальной моделью предметной области. Один из подходов к построению концептуальной модели ПО для АБД НТПП рассмотрен в работе [3], где основаниями построения модели отображаемой ПО являются:

— классификация материальных объектов окружающего мира (МООМ) [4];

— классификация свойств объектов (внешние — назначения, утилитарные и внутренние, отображающие состав, структуру, особенности строения или действия), а также структура среды (окрестностные и внешние условия) объектов [5];

— сущностный подход к отображению фрагментов действительности, при котором "объекты — суть отношения свойств", "свойства — отношения объектов", "отношения — свойства объектов" [6] и в соответствии с которым любой объект может быть описан только на фоне определенной среды. Отображению в АБД НТПП подлежат при этом не изолированные объекты, выделяемые в соответствии с классификацией МООМ, а образуемые этими объектами "элементарные фрагменты ПО", где в составе окрестностных условий среды объектов выделены системы: использующая, изготавливающая, проектирующая, исследующая (испытывающая), информирующая;

— целевая и функциональная модели цикла НТПП изделий, определяющие аспекты классификации МООМ, которые должны быть использованы, а также состав подлежащих отображению в АБД НТПП отношений между объектами разных классов, выделяемых в ПО, и соответствующими этим объектам "элементарными фрагментами ПО".

Модель-описание "элементарного фрагмента ПО" (рис. 2) использовалась для построения логических схем всех разделов информационного фонда АБД.

Выступая в качестве одного из важнейших средств формирования информационной среды процессов НТПП изделий любой отрасли (подотрасли) народного хозяйства, АБД интегрированных САПР представляют собой одновременно и механизмы

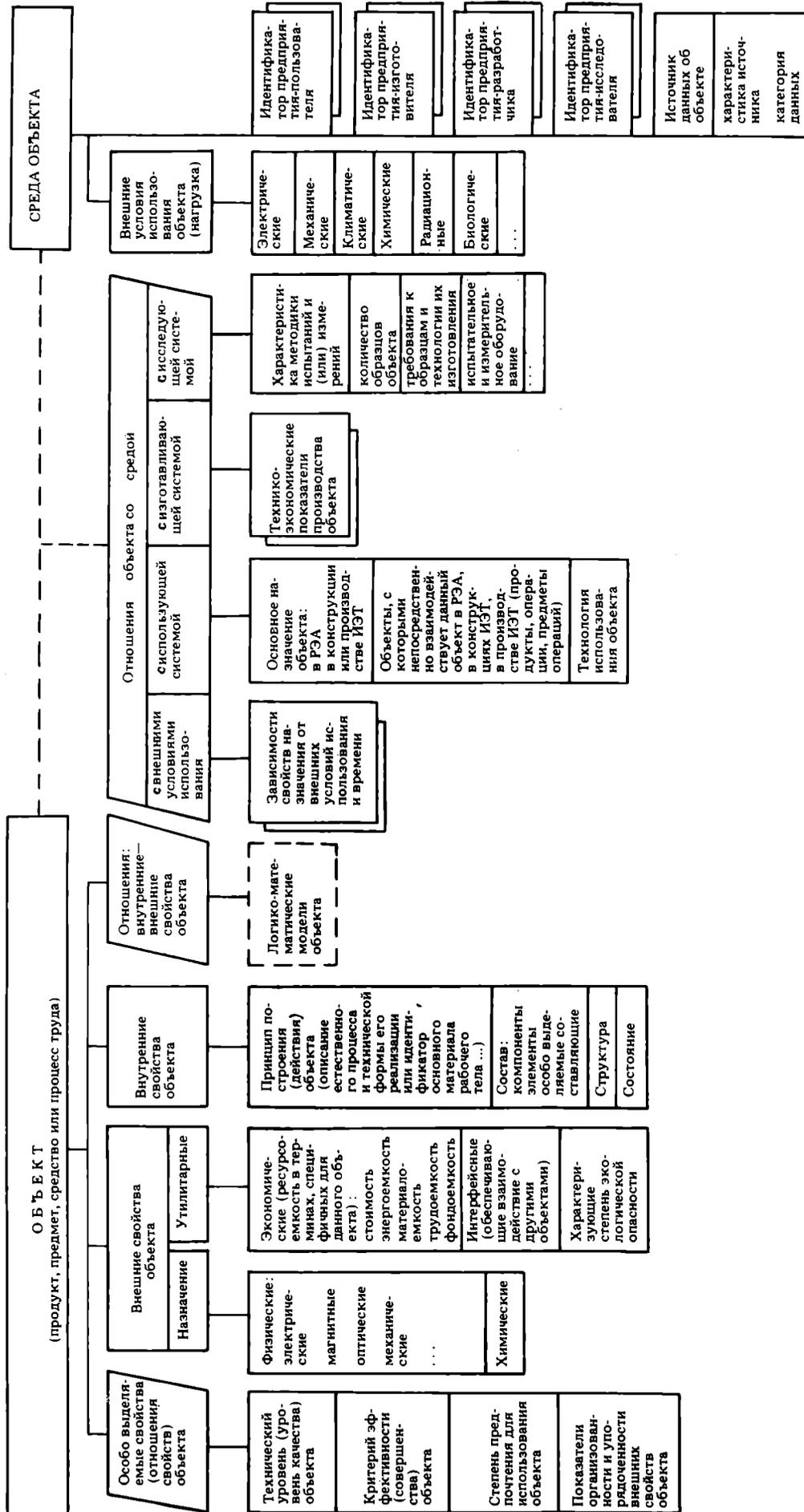


Рис. 2. Концептуальная модель «элементарного фрагмента предметной области»

межотраслевого обеспечения информационными ресурсами. Для систем, реализующих циклы НТП изделий в любой отрасли (подотрасли) народного хозяйства, АБД должны выступать в качестве источника (приемника) объектографических данных об изделиях этой отрасли (подотрасли), универсальных или специализированных средствах технологического оснащения, имеющих многоцелевое назначение, применяемых материалах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев В.Г. Научно-техническая революция, управление, образование.— М.: Политиздат, 1972.— 214 с.
2. Аммиров Ю.Д. Научно-техническая подготовка промышленного производства.— М.: Экономика, 1978.— 223 с.
3. Глейм В.Ф., Ступаченко А.А. Отображение предметной области в банке данных интегрированной САПР ППС.— Электронная промышленность, 1985, вып. 4—5, с. 63—69.
4. Николаев П.П. Классификация материальных объектов как часть ИПС научно-технических справочных данных.— НТИ. Сер. 2, 1980, № 4, с. 9—16.
5. Мельников Г.П. Системология и языковые аспекты кибернетики.— М.: Сов. радио, 1978.— 368 с.
6. Уемов А.И. Логические основы метода моделирования.— М.: Мысль, 1971.— 311 с.

Статья поступила 28 января 1987 г.

УДК 658.512.2.011.56:621.3.049.77.002

А.С.Князев, М.В.Пекач, А.З.Тейтельбаум

«ДЕЛЬТА-2» — КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДВУМЕРНОГО РАСЧЕТА СТРУКТУРЫ ЭЛЕМЕНТОВ СБИС

Повышение функциональной сложности и степени интеграции СБИС, совмещение в одном кристалле элементов разного типа (инжекционных, биполярных, МОП, комплементарных и других) существенно увеличило трудоемкость и стоимость работ по созданию новых приборов и, в первую очередь, по проектированию топологии кристалла и отработке технологического процесса. Одним из основных путей снижения этих показателей явилось применение методов и систем автоматизации проектирования и математического моделирования.

В практике проектирования СБИС все чаще применяются иерархические методы, при которых сначала осуществляется описание схемы на функционально-логическом уровне, а затем привязка проекта к возможностям технологии. При этом получение требуемых характеристик обеспечивается имеющимся элементарно-технологическим базисом проекта или возможностью задания дополнительных требований. Предварительная

оценка элементарно-технологического базиса СБИС осуществляется с помощью физико-технологического моделирования элементов.

Для расчета характеристик элементов современных СБИС часто недостаточно иметь одномерные модели элементов, необходимы двух- и трехмерные модели и соответствующее программное обеспечение [1,2].

Однако при относительно большом числе программ двумерного расчета электрических характеристик элементов программные комплексы для двумерного моделирования процессов создания кристаллов СБИС отсутствуют. В связи с этим разработан программный комплекс двумерного расчета структуры элементов СБИС «ДЕЛЬТА-2», являющийся частью подсистемы автоматизации проектирования элементарно-технологического базиса КМОП СБИС «ЭЛЕМОС», структура и основные характеристики которого приведены ниже.

Назначение и основные функции ональные в возможности. Комплекс программ «ДЕЛЬТА-2» предназначен для расчета структуры и распределения примесей в элементах СБИС в двумерном приближении. Он обеспечивает моделирование следующих основных процессов изготовления кристаллов: локального ионного и диффузионного легирования кремния, термической обработки в нейтральной и окислительной средах, в том числе локального окисления, осаждения изолирующих слоев нитрида и оксида кремния, травления маскирующих слоев и кремния, в том числе локального.

Описание исходных данных проводится на входном языке комплекса и может быть кратким или расширенным. В первом случае указываются типы и режимы проведения процессов, границы области и начальная сетка расчетов, а также информация, идентифицирующая расчет (наименование темы, обозначение моделируемого элемента или его фрагмента, номер варианта расчета, фамилия разработчика и др.). Это описание ориентировано на пользователя, незнакомого с внутренней структурой комплекса и используемыми вычислительными алгоритмами и моделями. Вся дополнительная информация, необходимая для управления процессом вычислений (количество итераций, допустимая погрешность и т.п.), в этом случае определяется в программе "по умолчанию". При расширенном описании пользователь имеет возможность сам определять всю служебную информацию. Пример описания процесса приведен на рис. 1.

Результаты моделирования могут быть занесены в базу данных (БД),

```

ЗАГОЛОВОК      ВАРИАНТ='ТБСТ', ЭЛЕМЕНТ='Р-МОП',
                ФАМИЛИЯ='ИВАНОВ'
ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ СЕЧЕНИЕ=1, ПРИМЕСЬ='Р',
                КОНЦ.ОКИСЛЕ=0, КОНЦ.КРЕМНИИ=1E15
+              NX=1, X=(0 30 3)
+              NY=2, Y=(1E-3 10 0 40 -4)
ИМПЛАНТАЦИЯ   ЭНЕРГИЯ=40 КЭВ, ДОЗА=10 МККЛ/СМ**2,
                ПРИМЕСЬ='В', БД='ДА'
ОКИСЛЕНИЕ SI02 ТЕМПЕРАТУРА=1000, ВРЕМЯ=60 МИН,
                СРЕДА='ВЛАЖН.', БД='ДА'
ОСАЖДЕНИЕ NITR ТОЛЩИНА=0.1
ТРАВЛЕНИЕ NITR ЧИСЛО ОКОН=1, X=(0 0.5)
ТРАВЛЕНИЕ SI02 ЧИСЛО ОКОН=1, X=(0 0.4)
ДИФФУЗИЯ       ПРИМЕСЬ='Р', ТЕМПЕРАТУРА=950, ВРЕМЯ=30
ОКИСЛЕНИЕ SI02 ТЕМП=1100, ВР=120, СРЕДА='СУХ.' БД='ДА'
КОНТРОЛЬ       ПРИМЕСИ='СУММА,В', X=(0 30 3)
                Y=(0.7 0.05 0 0.05 -4)
КОНЕЦ ВАРИАНТА
КОНЕЦ РАСЧЕТА
>>

```

Рис. 1. Пример описания процесса

через которую осуществляется связь данного комплекса с комплексами программ расчета электрических характеристик элементов. В БД могут быть помещены также промежуточные пооперационные результаты расчетов, что позволяет существенно снизить затраты машинного времени при проведении многовариантных расчетов.

Одной из ключевых функционально-эксплуатационных характеристик комплекса "ДЕЛЬТА-2" является заложенная в нем возможность фрагментного расчета структуры элемента: каждый выделенный пользователем фрагмент элемента рассчитывается на всей цепочке технологических операций, результаты расчетов записываются в БД, а затем из фрагментов по определенным правилам формируется весь элемент или какая-либо его область.

Разбиение элемента на фрагменты может быть протестировано на примере простейшего р-канального МОП-транзистора (рис.2), для которого характерно симметричное распределение примеси и рельефа поверхности относительно середины подзатворного диэлектрика. Поэтому при достаточно больших ширине затвора и расстоянии между р-п переходами областей истока и стока в качестве фрагментов можно взять области А и В. (Границы фрагментов выбираются достаточно удаленными, чтобы избежать влияния потоков примеси и окислителя, или в качестве границ берутся линии симметрии). Для приборов с малой металлургической длиной канала, когда нельзя пренеб-

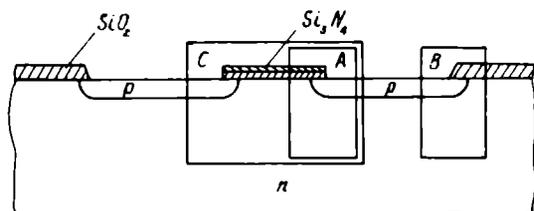


Рис. 2. Области двумерного моделирования в МОП-транзисторе

речь взаимным наложением примесей стока и истока, вместо фрагмента А следует взять фрагмент С.

Применение фрагментного метода расчета элементов позволяет создать и хранить в БД типовые фрагменты элементов, соответствующих определенной базовой технологии, а структуру элементов разных размеров получать без повторения расчетов, синтезом их из имеющихся в БД фрагментов. Этот подход полностью соответствует используемому в настоящее время иерархическим структурным методам проектирования сложных систем, основанным на декомпозиции и композиции.

Используемые модели и математические методы. Моделирование диффузионно-окислительных процессов проводится в двумерном приближении. При моделировании процессов диффузии учитывается зависимость коэффициента диффузии от концентрации, а для окислительных процессов - сегрегация примеси на границе окисел-кремний, зависимость коэффициента диффузии от скорости окисления и кристаллографической ориентации подложки. В основе моделирования этих процессов лежит решение соответствующих диффузионных задач вариационно-разностным методом. Модели коэффициентов диффузии, сегрегации, параметров процесса окисления кремния те же, что и в комплексе "ДЕЛЬТА-1" /3/.

Модель процесса ионного легирования квазидвумерная: она построена в предположении, что внедряемые атомы движутся только вглубь мишени. Расчет распределения атомов осуществляется по одной из следующих моделей: Гаусса, сопряженных полуГауссиан и Пирсона типа IV /4/. Не учитываются боковое рассеяние и отражение атомов от поверхности мишени, но учитывается возможная неравномерность толщины окисла вдоль поверхности рассчитываемого фрагмента.

Моделирование процессов травления и осаждения слоев в текущей версии комплекса основано на "псевдомоделях". При моделировании травления, принимая, что слой травится равномерно во времени, задаются координаты области травления, скорость травления и коэффициент анизотропии. При моделировании осаждения предполагается, что слой заданной толщины осаждается мгновенно на всей поверхности.

Эксплуатационные характеристики. Программы комплекса "ДЕЛЬТА-2" написаны на языке ПЛ/1 и ФОРТРАН-IV, база данных организована и поддерживается средствами СУБД "СПЕКТР". Комплекс функционирует на ЭВМ ЕС-1055, ЕС-1060 под управлением ОС ЕС версии 6.1. Объем

памяти, занимаемый комплексом, составляет не менее 1 Мбайта и определяется размером сетки расчета. Время расчета также зависит от размера сетки, и, кроме того, от уровня легирования, градиентов примеси и от сложности процесса. Наибольшее время требуется для моделирования диффузионно-окислительных операций и составляет в типовом случае 0,05 с на одну точку пространственной сетки за один временной шаг решения.

Структура комплекса "ДЕЛЬТА-2". Комплекс содержит около 180 программных модулей, из которых 35 обеспечивают собственно моделирование процессов, а остальные выполняют обслуживающие функции: ввод исходных данных, обмен с БД, вывод результатов на печать, формирование элементов из фрагментов и т.п. (рис. 3). Комплекс построен по модульному принципу и состоит из головной программы, совокупности исполнительных подпрограмм, программ и процедур создания и обслуживания БД. Единственной функцией головной программы является чтение из входного потока обозначения выполняемой "операции" и передача управления соответствующей исполнительной подпрограмме, которая вводит из входного потока необходимые ей данные и передает управление одной или несколькими программам более низкого уровня, выполняющим указанную во входном потоке функцию (моделирование, формирование или обслуживание).

Модульная структура комплекса позволяет достаточно легко его модифицировать, вставляя новые модели, меняя уже имеющиеся.

База данных комплекса организована по библиотечному принципу и состоит из области каталога и области данных. Область каталога ведется средствами СУБД "СПЕКТР": для каждого варианта расчета хранятся шифры темы, обозначения рассчитываемых элементов и фрагментов, фамилия разработчика, обозначение варианта расчета, номер операции, а также начальный адрес расположения и объем соответствующей информации в области данных. Область данных содержит собственно описание структуры элемента: координаты сетки расчета, поверхностей раздела, координаты начала и конца контактов, значения концентраций отдельно донорных и акцепторных примесей на сетке.

Программы интерфейса с БД обеспечивают передачу прикладным программам из оглавления БД адреса и других реквизитов необходимой информации в области данных и чтение из нее (или запись в нее) структуры элемента.

Пример расчета двумерного распределения примеси в областях стока и

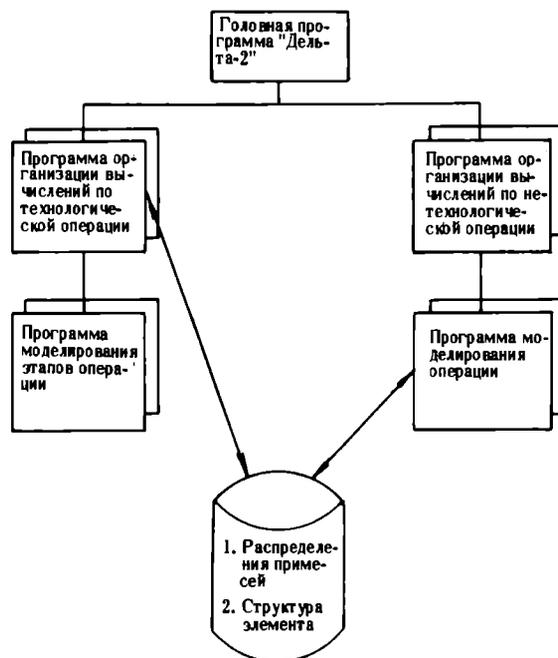


Рис.3. Структура комплекса "Дельта-2"

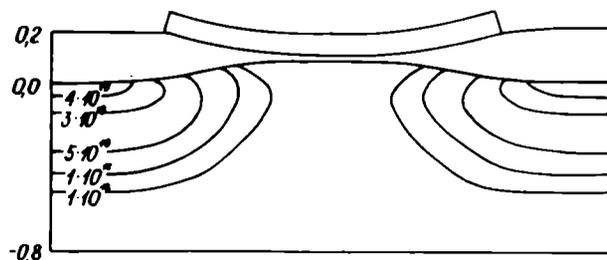


Рис.4. Пример расчета двумерного распределения примеси

истока по программе "ДЕЛЬТА-2" приведен на рис.4.

Таким образом, применение комплекса "ДЕЛЬТА-2" необходимо сочетать с комплексом программ одномерного моделирования технологических процессов "ДЕЛЬТА-1": сначала на основе одномерного моделирования производится ориентировочный подбор технологических режимов и определяются диапазоны изменения контролируемых параметров (поверхностных сопротивлений, глубин залегания р-п переходов), а затем с помощью комплекса "ДЕЛЬТА-2" оцениваются различные варианты конструкции приборов с учетом двумерных эффектов.

Наиболее эффективно с экономической точки зрения применение комплексов "ДЕЛЬТА-1" и "ДЕЛЬТА-2" при проведении поисковых и приборных НИР для разработки новых технологий и элементной базы СБИС: применение

моделирования на этих этапах позволяет не менее чем на 20% снизить объем экспериментальных работ.

Литература

1. Process and device simulation for MOS-VLSI circuits.-In.: Proceedings of NATO Advanced Study Institute on Process and Device Simulation for MOS-VLSI Circuits, SOGESTA, Urbano, Italy July 12-23, 1982/Ed. by P. Antognetti, D.A. Antoniadis, R.W. Dutton, W.G. Oldham.- The Hague: Martinus Nijhoff Publishers, 1983. - 619p.

2. COMPOSITE - a complete modeling program of silicon technology/J. Lorenz, J. Pelka, H. Ryssel et al. - IEEE Trans. on Electron. Dev., 1985, vol. ED - 32, N10, p.1977-1986.

3. Подсистема моделирования технологических процессов изготовления ИС / Т.В. Карамоско, А.С. Князев, В.Е. Матвеев и др. - Электронная промышленность, 1984, вып. 6, с.70-71.

4. Тейтельбаум А.З., Ходунов А.В. Одномерное моделирование процессов ионного легирования и диффузионного перераспределения примесей в кремнии.- Электронная промышленность, 1984, вып. 9, с.41-45.

Статья поступила 15 января 1987 г.

УДК 621.317.799:621.3.049.77.001.2

Е.Г. Горлач, М.Ю. Мезенцев, А.А. Митяенко, В.А. Пчельникова

МАРШРУТ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ВЕРИФИКАЦИИ ТОПОЛОГИИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СБИС

Создание широкой номенклатуры заказных и полузаказных микросхем, а также разработка и серийный выпуск 16/64-разрядных микропроцессорных СБИС обусловили необходимость внедрения эффективных средств автоматизации проектно-конструкторских работ.

Наиболее трудоемкими этапами автоматизированного проектирования микропроцессорных СБИС являются разработка топологии и ее верификация вследствие разнообразия схематологических решений функциональных узлов МП СБИС, требующего достижения предельных для выбранной технологии размерности проекта и его характеристик, и тщательной проработки топологии

высококвалифицированными специалистами.

Существуют различные подходы к решению задачи синтеза топологии СБИС: метод стандартных модулей (СМ) /1/, символическое проектирование (СП) /2/ и "кремниевая компиляция" (КК) топологического проекта /3/. Однако наряду с несомненными достоинствами (высокая производительность, низкий уровень ошибок, возможность полной верификации), все они приводят к ухудшению качества проекта МП СБИС по быстродействию, рассеиваемой мощности и отношению "площадь на функцию" по сравнению с ручным проектированием. Наиболее перспективным для МП СБИС представляется метод структурного проектирования /4/, предполагающий интеграцию автоматических и автоинтерактивных средств планирования структуры кристалла со схематологической проработкой элементного базиса, синтезом частей топологического проекта (ТП), верификацией топологии и временной верификацией частей ТП и всего проекта, компоновкой ТП. При этом предусматривается наличие универсальных и специализированных средств синтеза и верификации топологии, учитывающих специфику реализации различных функциональных узлов МП СБИС.

Создание САПР МП СБИС, реализующей метод иерархического структурного проектирования (ИСП), связано с исследованием вопросов синтеза схематологического базиса широкого класса функциональных узлов МП СБИС, оптимального проектирования регулярных, квазирегулярных и нерегулярных фрагментов ТП, комплексной верификации ТП СБИС. Ниже представлены результаты практического использования маршрута проектирования и верификации ТП СБИС, реализованного на основе разработанного ранее пакета прикладных программ САПР МП СБИС для исследования и отработки метода ИСП.

Маршрут проектирования и верификации топологии состоит из процедур планирования структуры кристалла и топологических блоков, реализующих отдельные функциональные узлы МП СБИС; разработки схематологического базиса и топологии блоков; подготовки логических моделей схематологических узлов (СТУ), топологических блоков и кристалла; аттестации и формирования временных моделей СТУ, комплексной верификации топологии блоков и кристалла. Этот маршрут в отличие от традиционных обеспечивает объединение трех этапов проектирования: логического, схематехнического и топологического, приведение структуры логической модели СБИС к структуре

топологического проекта, использование в качестве базового метода автоинтерактивного проектирования на основе "полуоткрытых" элементов, комплексную верификацию "снизу-вверх" параллельно с разработкой топологии кристалла с активным использованием регулярности и иерархии проекта, адаптируемость всех средств верификации к технологии и элементному базису проектирования.

Маршрут построен с использованием четырех подсистем САПР БИС, тесно взаимодействующих друг с другом: функционально-логического моделирования АСКТ /5/, схемного моделирования ОСА /6/, анализа и контроля топологии АТОС /7/ и АРМ на базе ИГС 15УТ-4-017.

Планирование структуры кристалла, блоков и СТУ, разработка и коррекция топологии выполняются на ИГС 15УТ-4-017 на основе принципиальной схемы СБИС и технического задания. Информация о структуре ТП является исходной для формирования логических моделей СТУ, блоков и кристалла. Топология передается в подсистему АТОС для контроля на соответствие проектным нормам, восстановления электрических соединений, расчета электрических характеристик и сравнения восстановленных и исходных схем СТУ и блоков. Средствами подсистемы ОСА на основе принципиальных схем и алгоритмов их функционирования, а также параметров транзисторов и узловых емкостей выполняется аттестация функционирования СТУ и формирование временных моделей. В подсистеме АСКТ осуществляется отладка логических моделей СТУ, блоков и кристалла на тестовом программном обеспечении (ТПО), моделирование восстановленных из топологии схем с временными параметрами и сравнение результатов моделирования исходной и восстановленной схем. Структура информационных связей перечисленных подсистем показана на рис.1.

Нижним структурным уровнем представления ТП является СТУ - фрагмент топологии размерностью 50-100 транзисторов, многократно используемый при формировании ТП, реализующий схемную функцию в логическом проекте СБИС. Отличие СТУ от элементов, используемых в системах СМ /1/, заключается в значительно меньшем количестве ограничений, накладываемых на его конструктивное исполнение и интерфейс с другими структурными частями ТП. СТУ можно назвать "полуоткрытым" элементом из-за отсутствия единой для всех топологических слоев границы прямоугольной формы, возможности подключения внешних связей к

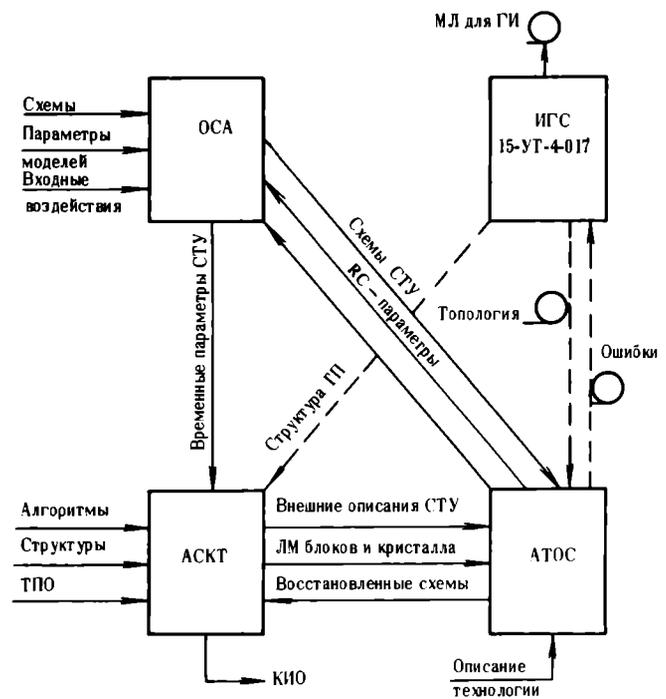


Рис.1. Структура информационных связей подсистемы

внутренним его точкам (для выделенного подмножества коммутационных слоев), а также частичного наложения СТУ друг на друга. Большинство из них в топологическом проекте не являются универсальными, а реализуют свою функцию "по месту", т.е. с учетом структуры топологических блоков. Перечисленные особенности СТУ обеспечивают общность представления элементного базиса регулярных и нерегулярных частей ТП, оптимальное использование площади и требуемые электрические характеристики. Однако использование СТУ в качестве основного базиса проектирования ТП усложняет алгоритмы синтеза ТП и накладывает дополнительные требования на производительность и полноту средств верификации.

Представление СТУ в базе данных (БД) САПР включает принципиальную схему, детальную топологию, алгоритм функционирования, коммутационную топологическую модель и вектор временных параметров. Первые три типа данных подготавливаются в соответствующих подсистемах САПР (рис.1), остальные являются конечным результатом маршрута аттестации СТУ (рис.2). Формирование коммутационной модели заключается в выборе из детальную топологию СТУ элементов коммутационных слоев, выполняющих роль выводов, проходных шин на основе информации об исходной и восстановленной схемах СТУ. Коммутационная модель СТУ используется для восстановления и

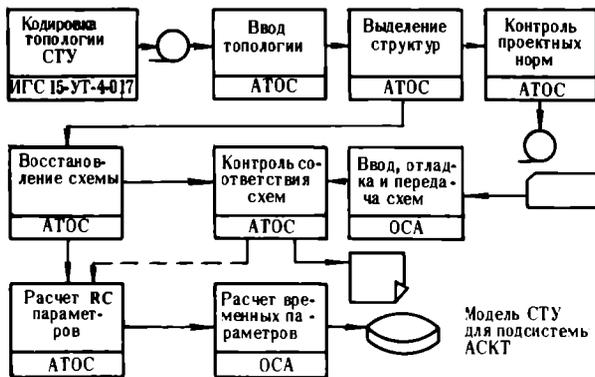


Рис.2. Маршрут аттестации СТУ

контроля электрических соединений по топологии на уровне блоков и кристалла.

Формирование вектора временных параметров T_3 выполняется в подсистеме ОСА с помощью программы многовариантного расчета задержек на основе информации о принципиальной схеме СТУ, входных воздействиях, параметрах транзисторов и связей, рассчитанных по топологии и удельным электрофизическим характеристикам. Вектор временных параметров можно представить как

$$T_3 = \{ C_1 \dots C_n \{ T_{01}, T_{10} \}_1 \dots \{ T_{01}, T_{10} \}_k, \dots \dots \{ C, T_{01}, T_{10} \}_m \},$$

где p, k, m - количество входов, выходов и входов-выходов СТУ; T_{01} - обобщенная временная характеристика выхода или входа-выхода, включающая минимальную и максимальную задержку при переключении из "0" в "1" и коэффициент влияния нагрузки при том же переключении; T_{10} - обобщенная временная характеристика выхода или входа-выхода для переключения из "1" в "0"; C - емкость входа или входа-выхода.

Временная модель СТУ содержит алгоритм функционирования и соответствующий вектор T_3 , что позволяет выполнять временную верификацию как по усредненным задержкам, так и с учетом разброса задержек средствами функционально-логического моделирования подсистемы АСКТ для функциональных узлов и всего проекта СБИС.

Маршрут верификации топологических блоков (ТБ) включает: подготовку логической модели (ЛМ)-ТБ; отладку ЛМ на тестовом наборе и передачу описания ЛМ в подсистему АТОС; передачу топологии из архива ИГС 15УТ-4-017 в БД АТОС; контроль топологии на соответствие проектным нормам; восстановление электрической схемы ТБ в базе СТУ и транзисторов; контроль соответствия исходной и восстановленной схем ТБ на основе выделения макси-

мальных изоморфных подграфов; временную верификацию восстановленной схемы ТБ в подсистеме АСКТ. Контроль топологии на соответствие проектным нормам является дополняющим по отношению к контролю СТУ и выполняется на основе анализа стыковок СТУ, трассировочных и транзисторных фрагментов (он может быть быстрым иерархическим с автоматическим определением контролируемых окон). Формализованное описание правил топологического проектирования выявляет нарушения конструктивно-технологических ограничений и ряд нарушений электрических соединений (закоротки или разрывы шин питания и земли, запрещенные межсоединения). Восстановленная схема ТБ контролируется посредством логического моделирования. Оценка правильности функционирования выполняется сравнением выходных реакций обеих схем на одном и том же тестовом наборе.

Использование описанных методики и маршрута проектирования и верификации при разработке топологии 16- и 32-разрядных МП СБИС позволяет сделать следующие выводы: применение "полуоткрытых" элементов в качестве основного базиса ТП СБИС, даже без средств автоматического синтеза ТБ, на порядок увеличивает производительность топологического проектирования при высокой плотности упаковки, невозможной при СМ и КК, введение СТУ в качестве основной структурной единицы ТП обеспечивает общность иерархии и фрагментации электрической схемы, логического и топологического проектов СБИС, на основе которой возможна комплексная верификация СБИС с приемлемыми временными затратами, требуемой полнотой и достоверностью.

Дальнейшее развитие методики автоинтерактивного проектирования и верификации топологии МП СБИС связывается с объединением средств проектирования и аттестации СТУ на АРМ при использовании перспективных микроЭВМ, автоматизацией средств планирования структуры ТП и подготовки логических моделей ТБ и кристалла СБИС, реализацией средств синтеза топологии блоков на основе "полуоткрытых" элементов.

Литература

1. Correale A. Physical design of a custom 16 bit microprocessor. - IBM J.Res.Develop, 1982, vol.26, N4, p. 446-452.
2. Weste N.MULGA - an interactive symbolic layout system for the design of integrated circuits.- Bell System Tech.Journal, 1981, vol.60, N6, p.823-858.

3. Ayres R.F. Silicon compilation and the art of automatic microchip design. - Prentice - Hall Inc., 1983, p.481.

4. Anceau F., Reis R.A. Complex integrated circuit design strategy. - IEEE J., Solid State Circuits, 1982, vol.SC - 17, N3, p.459-464.

5. Метод степенного продолжения решения уравнений электронных схем цифровых ИС/ В.А.Бачманов, Ю.А.Мухин, В.И.Плис, И.М.Хузин. - Электронная техника. Сер.3. Микроэлектроника, 1982, вып.5, с.55-61.

6. Тизенберг А.Р. Автоматизированная система логического моделирования СБИС микропроцессора и микроЭВМ. Методы и микроэлектронные устройства преобразования и обработки информации. - В кн.: Тезисы докладов конференции. - М.: Изд-во МИЭТ, 1985, Т.2, с.307-308.

7. Горлач Е.Г., Мухин Ю.А., Подобаев А.П. Контроль качества топологического проектирования больших интегральных схем. - В кн.: Автоматизация проектирования и конструирования. Материалы II Всесоюзного совещания. Ч.2. - М.: ИПУ, 1983, с.120-121.

Статья поступила 19 марта 1987 г.

УДК 681.325.65:621.3.049.771.14

А.П.Михалева, О.В.Рыжкова, А.Р.Тизенберг

СИСТЕМА АСКТ ДЛЯ ЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СБИС И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ИХ ОСНОВЕ

Разработка и анализ работоспособности функциональной схемы однокристалльного микропроцессора (ОМП), содержащего десятки и сотни тысяч транзисторов, невозможны без применения средств автоматизации проектирования на супер-ЭВМ, которые сокращают сроки разработки и гарантируют качество готового изделия. Система АСКТ /1/ - автоматизированная система структурно-вентильного временного логического моделирования - основная часть маршрута логического проектирования и верификации однокристалльных микропроцессорных СБИС (ОМП СБИС) на ЭВМ БЭСМ-6, применявшаяся при проектировании однокристалльных микропроцессоров К1801ВМ1, КМ1801ВМ2 /2/, К1806ВМ2, К1801ВМ3, К1801ВМ4 и микроЭВМ "Электроника МС 1201.01" и

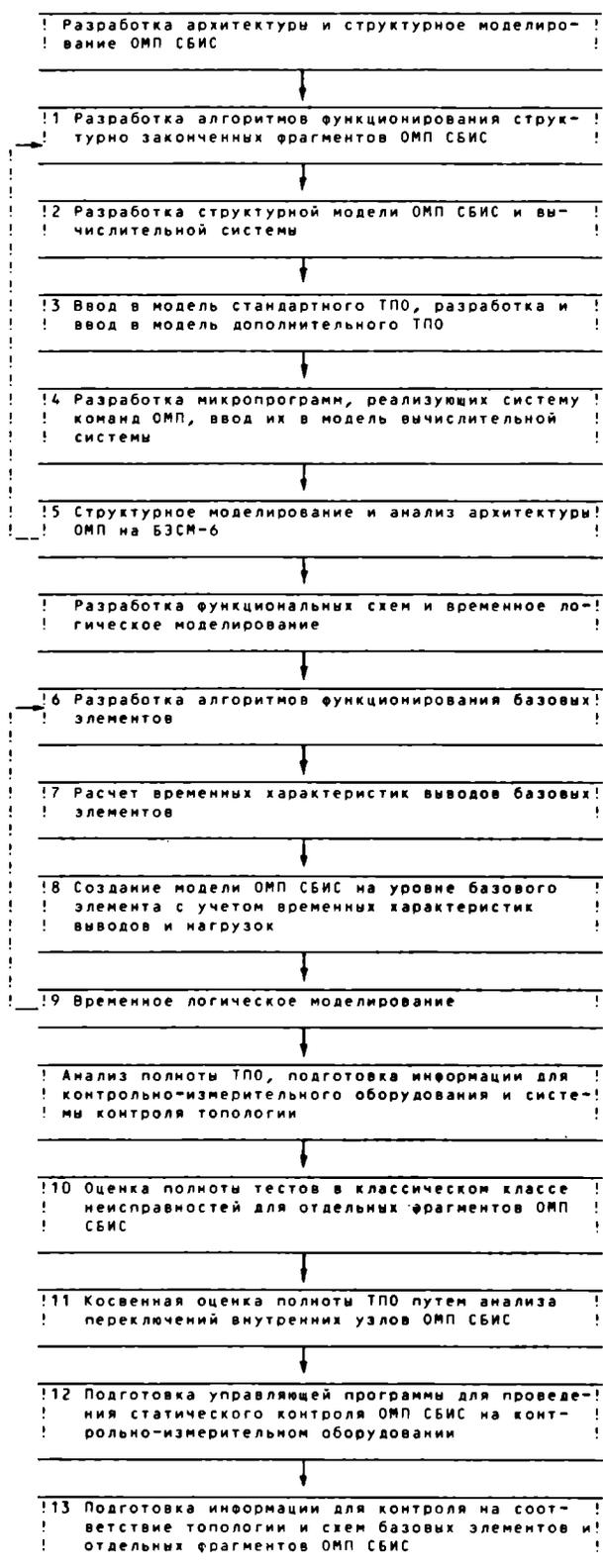
"Электроника МС 1201.02". Система позволяет провести путем структурного моделирования на уровне вычислительной системы анализ архитектуры ОМП, проверить функциональную работоспособность базовых элементов, отдельных узлов и фрагментов изделия, осуществить временное логическое моделирование всего ОМП с любой степенью детализации базовых элементов на тестовом программном обеспечении (ТПО) и оценить полноту тестов для отдельных фрагментов схемы и косвенно для всего ТПО; подготовить управляющую программу статического контроля ОМП СБИС на серийном тестовом оборудовании, а также информацию для проведения контроля на соответствие топологии и принципиальной схемы отдельных фрагментов ОМП СБИС (см.рисунок).

Разработка алгоритмов функционирования (АФ) базовых элементов (блок 6) и структурно законченных фрагментов ОМП СБИС (блок 1) в системе АСКТ выполняется на едином символьном языке БЕМШ-АФ, который является подмножеством универсального языка программирования БЕМШ и подготовлен с использованием целого ряда специально разработанных подпрограмм. Транслятор с языка БЕМШ-АФ формирует программу моделирования длиной до 26000 ячеек БЭСМ-6 за 20-30 с с помощью уникальных алгоритмов обработки текстовой информации, выполняемой за один проход программы, и обработки меток АФ. В качестве примера приведем АФ для элементов 2И-ИЛИ-НЕ и RS-триггера:

```
ЭЛЕ*ИЛИН*ВХОДЫ: 11,12,21,22; ВЫХОДЫ:
1** Б/СЧ/11, /И/12, /СЧМ/21, /И/22,
/ИЛИ/(17), /ПВ/ИНВЕРС(16)!
ЭЛЕ*RS*ВХОДЫ: R,S; ВХОДВХОДЫ: Q,NQ**
Б/СЧ/R, /ИЛИ/NQ, /ПВ/ИНВЕРС(16),
/ЗП/Q, /СЧ/S, /ИЛИ/Q, /ПВ/ИНВЕРС(16),
/ЗП/NQ!
```

Описание функциональной схемы ОМП СБИС для выполнения структурного (блок 2) или временного логического моделирования (блок 8) задается в текстовой форме на языке, принятом в САПР для универсальных вентильных матриц /3/. Особенностью данного языка является принцип многоступенчатой иерархии описания повторяющихся фрагментов схем, что дает заметный выигрыш в объеме текста при описании регулярных частей ОМП СБИС. Кроме того, в системе АСКТ разработан ряд средств, позволяющих компактно описывать регулярные конструкции, например:

```
XI<0,15>, 1/XI<1,16>, AI/1<31,16>,
что соответствует 16 предложениям
X0, 1/X1, A31/1;
X1, 1/X2, A30/1;
.....
X15, 1/X16, A16/1.
```



Маршрут логического проектирования и верификации ОМП СБИС

До начала моделирования входные полюса модели находятся в состоянии "отключено", а выводы базовых элементов (БЭ) - в состоянии полной неопределенности (имеется возможность задать начальное состояние любого БЭ).

Состояние каждого входного полюса в любой момент при любом испытании отражается в алфавите (0,1,X,Z) на общей временной диаграмме, язык описания которой позволяет в компактной форме задать весь эксперимент, используя средства учета повторяемости тестов. Например, временная диаграмма полюса XI

01 01 01 0000 1111 0000 1111 0

в системе АСКТ будет иметь вид

XI = (0;1;) 3; (0;4; 1:4;) 2; 0 *

Важной особенностью системы АСКТ является возможность моделировать тестовые программы, выполняемые в системе команд разрабатываемого микропроцессора (блок 3), которые в оттранслированном компактном виде (одна команда - 16 или 32 бит) хранятся на системном магнитном диске и по директиве пользователя загружаются в ОЗУ микропроцессорной вычислительной системы.

В системе АСКТ разработан ряд утилит, позволяющих вводить в модель стандартное ТПО, дополнять его тестовыми программами разработчиков ОМП СБИС, корректировать и получать листинг ТПО.

Современные ОМП СБИС реализованы на микропрограммном управлении, в качестве накопителя микропрограмм используются программируемые логические матрицы (ПЛМ) на десятки и сотни произведений и ПЗУ. Проектирование ПЛМ осуществляется автоматизированной системой микропрограммирования "ЛИС-ТОПАД" /4/, из архива которой отлаженные кодировки ПЛМ считываются в модель ОМП СБИС по директиве пользователя (блок 4). ПЗУ проектируется на автоматизированной системе микропрограммирования АСКТ ПЗУ, основной частью которой является открытый ассемблер, настраиваемый на конкретную разработку самим пользователем с помощью нескольких синтаксических таблиц. Текстовый язык записи микропрограмм имеет много общего с языком микропрограммирования системы ЛИСТОПАД.

Для организации и управления логическим моделированием в системе АСКТ используется метод событийного компилятивного моделирования (блоки 5 и 9), основными массивами которого являются: циклическая таблица времени с длиной, равной максимальной задержке выходного полюса базового ЛЭ, и циклический список связанных слов для организации очереди будущих событий. Основные особенности данного метода заключаются в моделировании схем с различными задержками нарастания и спада сигнала (в отличие от известного метода моделирования с равными задержками); в задании разброса задержек в процентном отношении к

величине задержки; в использовании команд ухода на возбужденные фрагменты программы моделирования (ПМ), позволяющем на каждом проходе ПМ выигрывать число команд, сравнимое с числом БЭ (в отличие от известных методов компилятивного событийного моделирования, в которых применяются команды ухода невозбужденных фрагментов ПМ); в реализации макро моделирования, основанного на автоматическом оформлении ПМ любой схемы как подпрограммы с записью на внешние ЗУ (ВЗУ) и использовании в дальнейшем этой схемы как базового логического элемента. Для сокращения числа обменов с ВЗУ применяется аппарат подчиненных задач операционной системы ДИСПАК.

Расчет временных характеристик выводов базовых элементов (блок 7) выполняется с помощью подсистемы схемотехнического моделирования. Каждый вывод базового элемента характеризуется следующими параметрами: C - входная емкость полюса; t_{10} и t_{01} - задержки выключения и включения выходного полюса; K_{10} и K_{01} - коэффициенты влияния нагрузки при выключении и включении. Эти параметры вычисляются как функции от технологических и топологических параметров транзисторов (ширины и длины канала, порогов срабатывания транзисторов, входных и выходных напряжений вентилях и т.д.).

При создании модели ОМП СБИС на уровне БЭ (блок 8) задержки срабатывания выходного полюса при нарастании или спаде сигнала автоматически вычисляются по формулам:

$$T_{01} = t_{01} + K_{01} \sum_i C_i + t_c,$$

$$T_{10} = t_{10} + K_{10} \sum_i C_i + t_c,$$

где i - нагрузки данного полюса, t_c - топологическая задержка связи. Значения t_c передаются в систему АСКТ из системы анализа топологии схемы.

При отладке модели вычислительной системы пользователь имеет возможность распечатывать процесс моделирования в заданных внутренних точках на указанных тактах в статическом и динамическом режимах, причем информация выдается в двоичном, восьмеричном или шестнадцатеричном кодах. Листинг временных диаграмм представлен в виде графика, а при моделировании тест-программ из ТМОС имеется возможность выводить в одной строке листинга информацию об адресе команды или константы, направлении обмена (чтение, запись...), такте моделирования, на котором начался цикл обмена, значении регистров общего назначения, счетчика команд, некоторых внутренних регистров. Листинг системы АСКТ в режиме КОМПЕЧ при моделировании про-

цессора К1801ВМ3 и сопроцессора К1801ВМ4 имеет вид:

ОБМ Н	АДРЕС	МАГИСТ	PSW	R1	R2	R3
0060чт	0000026	000340	0000xx	002372	002176	067000
0092чт	0000024	001130	000340	002372	002176	067000
0110чт	0001130	170122	000340	002372	002176	067000
0120чт	0001132	170011	000340	002372	002176	067000
0150чт	0002176	000000	000340	002372	002176	067000
0172чт	0001134	172412	000340	002372	002176	067000
0184чт	0001136	170223	000340	002372	002200	067000

В системе АСКТ реализован режим анализа полноты тестов в типичном классе неисправностей типа "тождественный 0" и "тождественная 1" на выходах базовых логических элементов (блок 10). Этот режим применяется для анализа тестов отдельных фрагментов ОМП СБИС, а также универсальных вентилях матриц, входящих в состав микропроцессорной вычислительной системы типа микроЭВМ "Электроника МС 1201.01". В результате анализа полноты тестов выдается листинг списка необнаруженных неисправностей, анализируя который пользователь может пополнить свой тест для получения требуемой полноты контроля.

В системе АСКТ предусмотрен режим косвенной оценки полноты тестового программного обеспечения для ОМП СБИС (блок 11), по завершении которой выводятся на печать внутренние выводы базовых логических элементов микропроцессора, ни разу не принявших значение 1 или 0.

Литература

1. Тизенберг А.Р. Автоматизированная система логического моделирования СБИС микропроцессора и микроЭВМ - В кн.: Тезисы докладов конференции "Методы и микроэлектронные устройства преобразования и обработки информации". - М.: МИЭТ, 1985, т.2, с.307-308.
2. СБИС 16-разрядного процессора типа КМ1801ВМ2 / Ю.И.Борщенко, И.А.Бурмистров, В.Р.Науменков и др. - Электронная промышленность, 1985, вып. 7, с. 3-5.
3. Система автоматизированного проектирования МДП матричных БИС "Топаз-3000" / В.А.Бачманов, Е.Г.Горлач, Ю.А.Мухин, А.П.Подобаев. - Электронная промышленность, 1986, вып.8, с.34-37.
4. Бобошко Ю.Г., Федин В.А. "Листопад"-автоматизированная система кодирования программируемых логических матриц. - Микроэлектроника и полупроводниковые приборы, 1979, вып. 4, с.29-33.

Статья поступила 19 марта 1987 г.

ОПТОВАЯ ЯРМАРКА ВАЖНЫЙ ЭТАП В ФОРМИРОВАНИИ ПЛАНОВ ОТРАСЛИ

Осуществляемая в стране реорганизация управления важнейшими отраслями экономики, введение в действие рычагов нового хозяйственного механизма предусматривают перевод все большего числа предприятий на полный хозяйственный расчет и самофинансирование. В связи с этим повышается их ответственность и заинтересованность в принятии обоснованных производственных планов.

Основой формирования планов производства товаров народного потребления на современном этапе являются заключаемые на ежегодных межреспубликанских, республиканских, краевых, областных и городских ярмарках по оптовой продаже товаров договоры на их поставку.

Договор — основной документ, определяющий права и обязанности сторон по поставке всех видов товаров, как распределяемых, так и не распределяемых в плановом порядке.

Ярмарки по оптовой продаже проводятся в целях бесперебойного снабжения торговых предприятий товарами по их заказам и наиболее полного удовлетворения спроса населения на конкретные виды изделий на основе:

закупки товаров оптовыми и розничными предприятиями государственной, кооперативной торговли и другими покупателями у производственных, производственно-бытовых объединений, предприятий и организаций промышленности, а также у оптовых торговых предприятий;

заключения договоров на поставку товаров;

усиления влияния торговли на формирование планов производства, воздействия на промышленность в части расширения и обновления ассортимента, повышения качества, технико-экономических показателей и улучшения внешнего оформления товаров, внедрения в производство новых видов товаров;

совершенствования прямых длительных хозяйственных связей между изготовителями и розничными торговыми предприятиями, вне рыночными потребителями;

согласования мероприятий по изучению и формированию спроса, пропаганде и рекламе новых товаров.

В текущем году проводится XXIX Межреспубликанская оптовая ярмарка по продаже следующих товаров народного потребления:

ювелирных изделий — в период с 18 по 28 мая;

хозяйственных товаров — с 5 по 19 июня;

культуртоваров — с 30 июля по 13 августа; галантерейных товаров — с 20 августа по 3 сентября.

В ходе подготовки к участию в ее работе объединения отрасли совместно с Главным управлением по сбыту и Главным планово-экономическим управлением провели мероприятия по подбору новых перспективных товаров, совершенствованию ассортимента ряда изделий, представляемых на ярмарку, и снятию с производства устаревших, некачественных товаров.

На ярмарке представлены новые изделия: микрокалькуляторы — 6 наименований; настольные часы — 12 наименований; магнитофоны — 3 наименования; акустические колонки — 2 наименования и др.

По сравнению с результатами закупок на 1987 год предполагается увеличить реализацию микрокалькуляторов на 166 тыс.шт., наручных электронных часов — на 70 тыс.шт., магнитофонов — на 50 тыс.шт., акустических колонок — на 22 тыс.шт., усилителей — на 113 тыс.шт., стереонаушников — на 7,5 тыс.шт., элементов питания — на 76 тыс.шт. и т.д.

Для обеспечения четкой и слаженной работы предприятий, участвующих в ярмарке, руководством отрасли создана оперативная группа из представителей Главэлектронсбыта, Главного планово-экономического управления, главных производственных управлений, объединений и предприятий отрасли. Группа направляет работу уполномоченных представителей главных управлений, производственных объединений и предприятий, изучает рыночную ситуацию и обеспечивает руководство отрасли оперативной информацией для принятия необходимых решений.

Группа представляет отраслевые интересы в ярмарочных комитетах и координирует их работу с деятельностью отраслевых служб, привлекая для этого руководителей министерства и предприятий отрасли.

В ходе подготовки к ярмарке со всеми оптовыми базами была проведена работа по уточнению потребности, номенклатуры реализуемых товаров, подготовлена печатная реклама, организованы стенды с продукцией предприятий для размещения их в экспозиции региональной базы, отобраны образцы товаров, предлагаемых к демонстрации.

В период работы ярмарки ответственные представители главных управлений ежедневно представляют информацию о реализации централизованно распределяемых товаров для анализа результатов их продажи и принятия необходимых мер.

Ярмарка позволяет полнее выявить и удовлетворить потребности населения в товарах народного потребления, способствует решению назревших проблем в социально-культурной сфере.

В.С.Алтынбаев, Л.М.Сахнина

На первой странице обложки приведена выдержка из доклада Н. И. Рыжкова XXVII съезду КПСС

Ответственные за выпуск Г. Г. Горбунова, Г. В. Потапова
Художник В. А. Чернецов
Технический редактор Г. М. Корнеева
Корректоры А. В. Смирнова, Л. П. Данченкова



Подписано в печать 3.06.87 г.
Т-10489 Формат 60x90/8 Объем 9 п.л.
Уч.—изд. л. 10,75 Индекс 3833 32 статьи, 5 реф.
Заказ 666 Тираж 5080 Цена 2 руб. 20 коп.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ АНАЛИЗАТОР ДЕФЕКТНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

Прибор предназначен для контроля пластин после шлифовки и полировки, разбраковки их по дефектам поверхности, определения степени ее чистоты перед нанесением фоторезиста, оценки качества нанесенных металлических покрытий и технологических сред.

Чувствительность прибора, мкм	0,3
Определяемая плотность дефектов, см ⁻²	1...10 ⁵
Диаметр измеряемых пластин, мм	76; 100; 120; 150; 200
Время сканирования одной пластины, с	30...40

Работа анализатора основана на регистрации зависящей от размеров дефектов интенсивности светорассеяния. По характеру светорассеяния дефекты поверхности можно разделить на три основные группы: протяженные (царапины, пятна,

отпечатки пальцев и т.п.), соизмеримые по размеру с длиной волны зондируемого излучения (микрочастицы, микроцарапины, выколы и т.п.) и гораздо меньших размеров (шероховатость поверхности, скопления очень мелких частиц, структурные неоднородности и т.п.). Микрочастицы вносят основной вклад в уровень дефектности, влияющей на выход годных. Незначительное по амплитуде и слабо зависящее от местоположения сканирующего луча рассеяние от дефектов последней группы определяет так называемую картину замутненности, характеризующую оптическую зеркальность поверхности. Таким образом, в процессе сканирования пластины лазерным лучом на фоне медленно меняющегося рассеяния от дефектов третьей группы регистрируются короткие и интенсивные вспышки света от микродефектов первой и второй групп. Измеряя величину и местоположение этих импульсов, лазерный анализатор определяет размер дефектов и строит карту дефектности поверхности пластины.

Обработка результатов измерений производится на ДВК-2М. Управляющая программа позволяет обрабатывать поступающий цифровой код в различных режимах: выделять импульс выше определенного порога и определять его амплитуду, усреднять значения сигнала на нескольких оборотах, связывать отклики от одного дефекта на различных оборотах пластины, строить гистограмму распределения дефектов по размерам, выделять только протяженные дефекты или наоборот только точечные, строить осциллограммы изменения скорости вращения, сигнала с фотоприемника и т.п.

Результаты измерения регистрируются на цветном дисплее в виде карты дефектности, гистограммы размеров дефектов, различного рода цифровой и текстовой информации (см. рисунок).

Получаемое изображение можно распечатать на матричном принтере или сохранить на гибком магнитном диске.

