

ХРОНИКА

II СОВЕЩАНИЕ ПО ЧИСЛЕННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Новосибирск, Академгородок, 8—10 января 1985 г.

С 8 по 10 января 1985 г. в новосибирском Академгородке проходило II Совещание по численному моделированию полупроводниковых приборов.

Это совещание, как и предыдущее (Академгородок, февраль 1984 г.), проводилось по инициативе Института теоретической и прикладной механики СО АН СССР при участии Института автоматки и электротриии, Института физики полупроводников и Вычислительного центра Сибирского отделения АН СССР.

В работе совещания приняли участие 60 представителей от 18 организаций: Академии наук СССР, Минвуза СССР, предприятий министерств и ведомств.

На совещании было заслушано 25 сообщений по трем направлениям.

I. Численные методы и вопросы программного обеспечения расчета полупроводниковых структур.

Обзор проблем математического программного обеспечения проектирования МДП-структур был сделан в докладе В. П. Ильина (Новосибирск). Дан сравнительный анализ конечно-разностных и конечно-элементных методов решения дву- и трехмерных, линейных и нелинейных стационарных задач физики полупроводников. Сформулированы требования к математическому и программному обеспечению полупроводниковых приборов на основе модульного анализа данного класса задач и алгоритмов. Проведена классификация пакетов прикладных программ (ППП), структуры основных компонентов их функционального и системного наполнения.

В докладе В. П. Ильина и Е. И. Плехановой (Новосибирск) сравнивались несколько способов решения уравнения переноса зарядов в полупроводниковых приборах. Для одномерных нестационарных уравнений построены модификации балансовых разностных схем на основе специальных кусочно-функциональных аппроксимаций искомого решения, обеспечивающие высокую точность при больших перепадах электрических полей.

Н. И. Горбенко (Новосибирск) рассказал о пакетах прикладных программ ЭФЕС и ЭФЕС-3 и об опыте их эксплуатации. Программы позволяют по заданному распределению зарядов и электродов восстанавливать распределение полей в структуре полупроводниковых приборов и тем самым прогнозировать направление переноса заряда.

Некоторые варианты метода неполной факторизации для численного решения уравнений эллиптического типа были предложены в докладе Л. А. Косициной (Новосибирск).

С. А. Сандер доложил о созданных на ВЦ СО АН СССР алгоритмах и программах, использующих метод циклической редукции при расчете электрических полей.

В докладе Г. В. Гадияка, М. С. Обрехта, С. П. Синеицы и Н. Л. Шварц (Новосибирск) были представлены характеристики программы двумерного моделирования стационарных ВАХ МДП-транзистора. В работе для решения уравнения Пуассона использовался весьма эффективный метод неполной факторизации и параболических прогонок, предложенный В. П. Гинкиным (Обнинск). Решение уравнения переноса проводилось методом Булеева. Осуществлялось сравнение различных методов решения уравнений переноса и Пуассона для МДП-структур.

Специальные функции  $g(t)$  и  $\gamma(t)$  были предложены М. С. Миропольским (Ленинград) для аналитического решения характерного трансцендентного уравнения, возникающего при анализе процессов в полупроводниковых приборах. Обе функции дифференцируемы и интегрируемы и легко вычисляются при помощи цепных дробей или итерационных формул.

В докладе М. С. Миропольского, В. Е. Новосельцева, А. А. Чебоксарова сообщалось о быстром методе расчета распределения потенциала в многослойных полупроводниковых структурах. Метод сочетает прогонку с эффективным алгоритмом определения положения границ обедненных областей.

Вопросу создания библиотек моделей МДП-транзисторов и других элементов интегральных схем были посвящены два доклада. В. И. Кольдяев, М. А. Ульев,

Д. А. Однокоз, О. Н. Шахова (Новосибирск) доложили о такой библиотеке и системе определения параметров моделей из экспериментальных данных на базе ЭВМ ЕС 1052. Библиотека включает три типа моделей: МДП-транзистор без подлегирования канала; МДП-транзистор с подлегированием канала и подложки примесью одного и противоположных типов. Предложены новые методы определения порогового напряжения транзисторов первых двух типов и напряжения плоских зон для третьего.

М. Б. Погребинский (Киев) рассказал об опыте эксплуатации автоматизированного комплекса по идентификации параметров моделей элементов интегральных схем. Измерение параметров моделей и занесение их в банк данных автоматизировано. Комплекс реализован на микроЭВМ «Электроника МС 0401» с каналом связи на СМ-4.

В докладе А. И. Прокопьева (Воронеж) рассматривались варианты конечно-разностной аппроксимации уравнений непрерывности и Пуассона, когда в качестве основных переменных выступают либо потенциалы и концентрации носителей, либо экспоненты от потенциала и квазиуровня Ферми. Исследование скорости сходимости методов проводилось на примере полевого транзистора Шоттки на арсениде галлия, работающего в режиме обеднения.

Доклад С. Г. Мулярчика, И. М. Шевкуна (Минск) был посвящен динамическому определению области численных расчетов при моделировании диффузных процессов изготовления интегральных схем.

О возможности учета и оценки влияния распределенных параметров на выходные характеристики СВЧ полевого транзистора с барьером Шоттки сообщалось в докладе В. В. Минакова и В. И. Тимофеева (Киев). Полевой транзистор при этом рассматривался как структура с распределенными параметрами и анализировался на основе малосигнальной эквивалентной схемы.

Доклад С. Г. Мулярчика, В. Г. Соловьева (Минск) был посвящен проблеме расчета токов в планарных полупроводниковых приборах. Традиционные методы (верхней релаксации, Зейделя) оказываются непригодными для решения уравнений переноса из-за их медленной сходимости.

II. Моделирование технологических процессов изготовления полупроводниковых структур.

Доклад по моделированию влияния механических напряжений на кинетику кристаллизации ионно-имплантированных слоев кремния сделал Л. Н. Александров (Новосибирск). Изучено влияние внешних и внутренних напряжений на температуру начала самоподдерживающейся кристаллизации, на время ожидания начала кристаллизации пленки. Показано, что при повышении температуры кристаллизация от отдельных участков распространяется на всю пленку.

Вопросу моделирования процесса окисления были посвящены два доклада.

Двумерное моделирование процессов окисления рассматривалось В. И. Антоновым (Москва).

В докладе В. И. Кольдяева, С. А. Назарова (Новосибирск) обсуждались результаты моделирования и экспериментального исследования топографии области локального окисления кремния. Показано, что необходимо учитывать процессы адсорбции окислителя на поверхности, диффузии окислителя через  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Si}_3\text{N}_4$  к Si, окисление кремния, диффузию окислителя под маску. Для решения уравнения диффузии окислителя в сложной области с подвижными границами использовался метод функции Грина.

Два доклада были посвящены моделированию процессов легирования.

В работе В. И. Кольдяева и В. А. Мороза (Новосибирск) моделировались процессы внедрения и перераспределения примеси в полупроводнике с учетом его одновременного окисления при изготовлении СВИС. Использование современного представления о процессах ионного внедрения примесей в кремнии и миграции примесей в системе Si— $\text{SiO}_2$  при термообработке позволило достичь хорошего согласия расчета с экспериментом.

Доклад А. Г. Кадменского (Москва) посвящался применению метода Монте-Карло в моделировании ионного легирования.

Теория и моделирование локального изотропного травления рассматривались в докладе С. И. Зайцева, А. А. Свинцова (Москва). Были изложены постановка задачи и свойства решений, а также некоторые аналитические решения.

В докладе Б. А. Котова, В. Е. Новосельцева, М. С. Мирошольского (Ленинград) представлялись результаты численного моделирования технологического процесса изготовления ПЭС и их использование в работе технологов предприятия.

III. Расчет электрофизических характеристик полупроводниковых приборов.

Результаты исследования влияния профилей легирования на электрофизические свойства приборов с зарядовой связью даны И. М. Беловой (Москва), Н. И. Горбенко, Б. С. Кернером, Ю. М. Эскиным (Новосибирск). Расчеты проводились при помощи пакета прикладных программ ЭФЕС.

Вопросу моделирования кинетики поверхностного переноса заряда в МДП-структурах в квазидвумерном приближении с учетом зависимости подвижности от величины поля и концентрации примесей был посвящен доклад В. И. Кольдяева, О. Ю. Пензина (Новосибирск). Решалось одномерное нестационарное уравнение непрерывности для неосновных носителей на поверхности кремния и уравнение для поверхностного потенциала, полученное из двумерного уравнения Пуассона.

В докладе Г. В. Гадяка, М. С. Обрехта, С. П. Сяницы (Новосибирск) излагались результаты расчета биполярной инжекции и рекомбинации в МНОП-структуре. В частности, анализировалась зависимость времени пробоя структуры от приложенного напряжения.

Расчет тепловых режимов полупроводниковых приборов рассматривался в докладе В. В. Сироткина (Москва).

Доклад А. Г. Пешкова (Новосибирск) посвящался расчету ПЗС-трансверсальных фильтров. Разработанный пакет прикладных программ применялся к исследованию фильтров с учетом их неидеальности (дискретизации размеров на фотошаблоне и случайного разброса весовых коэффициентов).

В ходе работы совещания проходила оживленная дискуссия и состоялся полезный обмен информацией. Тематика совещания весьма актуальна, что подтверждается ростом числа организаций, желающих принять участие в работе совещания, расширением тематики.

Доклады, представленные на совещании, показали, что в настоящее время роль моделирования при проектировании микроэлектронной техники быстро возрастает.

Совещание отметило:

1) существенные успехи применения моделирования в микроэлектронике, создание как пакетов, так и отдельных программ моделирования технологических процессов и электрофизических характеристик полупроводниковых приборов;

2) недостаточное развитие исследований физики микроэлектронных устройств субмикронного размера (кинетические расчеты, метод крупных частиц);

3) недостаточное развитие работ по двум- и трехмерному моделированию процессов диффузии примеси в твердом теле с учетом кинетики дефектов, химических превращений и т. д.;

4) положительный пример плодотворного сотрудничества промышленных предприятий и СО АН в моделировании в микроэлектронике.

Совещание сочло целесообразным:

1) провести в мае — июне 1986 г. Всесоюзное совещание или конференцию «Численное моделирование в микроэлектронике» в Новосибирске с числом участников 100 чел. (3 дня); организаторы — ВЦ, ИФП, ИТПМ СО АН СССР;

2) ускорить внедрение программ моделирования на предприятиях; в частности, в течение 1985—1986 гг. внедрить программу расчета МДП-транзистора и МНОП-элемента памяти (усовершенствованный вариант расчета биполярной модели), созданных в ИТПМ и ИФП СО АН СССР;

3) создать банк тестовых расчетов, опирающихся на надежные экспериментальные данные;

4) продолжить развитие надежных и эффективных методов расчета численных задач микроэлектроники; особое внимание обратить на способы решения уравнения переноса и проблему расчета токов;

5) доводить программы численного моделирования до состояния пакетов прикладных программ, удобных для использования инженерами предприятий; выработать единую универсальную форму пакета программ, избегать дублирования работ, улучшить координацию направления развития, больше обмениваться информацией и программными средствами;

6) для публикации работ по моделированию в микроэлектронике рекомендовать журналы «Автометрия»; «Известия вузов» серия «Радиоэлектроника»; «Электронная техника», серия «Микроэлектроника», а также обратиться в редакции журналов АН СССР с просьбой о включении в тематику журналов «Микроэлектроника», «Известия Сибирского отделения АН СССР», серия «Технические науки» работ по моделированию.

*Г. В. Гадяк, М. С. Обрехт*

## ЛАБОРАТОРИЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

(Институт техники связи  
при Техническом Мюнхенском университете, ФРГ)

С конца 60-х годов деятельность лаборатории тесно связана с когерентно-оптической обработкой изображений. Методы когерентной и некогерентной оптики являются еще мощным инструментом проверки и демонстрации новых алгоритмов в различных задачах обработки изображений и распознавания образов, например, в таких, как: а) обнаружение краев и линий; б) восстановление изображений в медицинской диагностике; в) вычисление локального и глобального фурье-преобразований; г) восстановление по проекциям изображений; д) одновременное вычисление массива двумерных корреляционных функций и выделение признаков; е) сегментация образов с использованием свойств их спектров мощности.