

О Т З Ы В

**на автореферат диссертации
Алексея Геннадьевича Горобчука**

**«Математическое моделирование плазмохимических технологий
микроэлектроники»,
представленной на соискание ученой степени доктора физико-
математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое
моделирование, численные методы и комплексы программ»
в диссертационный совет ДМ 003.046.01**

Диссертационная работа Горобчука А.Г. посвящена математическому моделированию технологических процессов плазмохимического травления и исследованию физико-химических процессов, имеющих место в реакторах плазмохимического травления.

Диссертация Горобчука А.Г. является актуальной и практически значимой, поскольку посвящена оптимизации и усовершенствованию существующих технологий производства микросхем, а также создает основу для разработки нового оборудования для освоения более тонких технологических норм производства интегральных микросхем.

Полученные в диссертации результаты несомненно имеют как теоретический, так и практический интерес. В первой и второй главах диссертации представлены достаточно сложная обобщенная математическая модель для описания технологий плазмохимического травления и численные алгоритмы для решения больших систем дифференциальных уравнений с частными производными, составляющих основу данной модели, с применением современных суперкомпьютерных технологий. Модель дает возможность исследовать новые, ранее не рассматривавшиеся при моделировании реакторных процессов эффекты слабой разреженности среды, термодиффузии, излучения многоатомных молекул газовой смеси, многокомпонентной кинетики газофазных и гетерогенных реакций.

Результаты численного моделирования достаточно полно представлены в третьей, четвертой и пятой главах диссертации, в которых рассматривается влияние различных факторов на скорость и качество травления образцов. Численное моделирование плазмохимической технологии травления кремния в тетрафторметане с применением бинарной модели кинетики показало основные механизмы возникновения характерной неравномерности травления в распространенных реакторах индивидуального травления. На основе расчетов предложен способ минимизации неоднородности травления кольцевыми протекторами с низкой реакционной способностью. Сравнение распространенных моделей химической кинетики травления кремния в тетрафторметане для реактора радиальной схемы показало необходимость их коррекции и выбора модели кинетики на основе сравнения с экспериментом. Рассмотрено влияние структуры ВЧ-разряда в технологическом процессе плазмохимического травления кремния в CF_4/O_2 . Представлены результаты по управлению и оптимизации скорости травления кремния в широко распространенных низкотемпературных плазмах CF_4/O_2 и CF_4/H_2 с

использованием многокомпонентных моделей плазмохимических кинетик, воспроизводящие в расчетах экспериментально наблюдаемые кинетические эффекты и количественно подтверждающие сценарии процесса, в частности, эффекта гистерезиса в CF_4/O_2 и процесса полимеризации в CF_4/H_2 .

Большинство рассматриваемых автором задач описывает наиболее значимые черты недостаточно изученных технологических процессов травления. Можно отметить хорошую сбалансированность в диссертации всех компонентов специальности 05.13.18: разработки математических моделей, создания расчетных методик и их программной реализации, численного моделирования и анализа различных режимов травления.

Основные публикации по теме диссертации сделаны в известных научных изданиях, в том числе в монографии по микроэлектронике и микросистемной технике, пользующейся популярностью среди зарубежных специалистов.

Содержание автореферата отражает исследования соискателя, которые вносят основополагающий вклад в новое перспективное направление математического моделирования плазмохимических технологий микроэлектроники, что позволяет положительно оценить диссертационную работу.

Считаю, что диссертация Горобчука А.Г. удовлетворяет требованиям, пункта 9 Положения о присуждения ученых степеней, предъявляемым ВАК России к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присвоения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Доктор физико-математических наук,
профессор



Баутин Сергей Петрович
13 января 2017 года

Баутин С.П. – профессор кафедры естественнонаучных дисциплин Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения», 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66

Электронный адрес: SBautin@usurt.ru

Рабочий телефон: 8(343) 221-25-49

Подпись профессора Баутина С.П. заверяю.

Ученый
секретарь



Т.И. Бушуева