

О Т З Ы В

на автореферат диссертации **Ляхова Анатолия Александровича**
«Моделирование кинетических процессов в аргон-силановой высокочастотной плазме пониженного давления», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Плазменные способы осаждения материалов и модификации поверхностей широко используются в современной электронике. Использование неравновесных газовых разрядов в плазмохимическом синтезе тонких пленок позволяет осуществить протекание реакций с высокой скоростью при относительно низких температурах рабочего газа и обеспечивает возможность воздействия на активную среду с помощью переменных электромагнитных полей. В современной микроэлектронике аморфный и микрокристаллический кремний высокого качества получают путем разложения моносилана в высокочастотной газоразрядной плазме. Разработка эффективных систем осаждения, в которых достигаются высокие скорости роста пленок, высокая степень конверсии исходного газа, обеспечиваются возможность получения покрытий на подложках большой площади и совместимость с интегральной полупроводниковой технологией и др. является актуальной задачей. Для решения прикладных задач, связанных с оптимизацией плазмохимического синтеза кремния, необходим глубокий анализ процессов, протекающих в разрядном объеме. Большую роль при разработке и оптимизации плазмохимических процессов играют методы моделирования, которые существенно дополняют экспериментальные методы диагностики. Для химически-активной плазмы модельный подход особенно актуален, т.к. позволяет определить многие важные характеристики, трудно поддающиеся измерению.

В своей работе Ляхов А.А. исследовал кинетику электронов и процессы переноса нейтральных частиц в многокомпонентной аргон-силановой плазме. В постановке вычислительной задачи выбрана цилиндрическая геометрия реактора, что соответствует типовой конструкции устройства осаждения и приближает модельную систему к реальной.

Особо следует отметить новизну работы. Отличительной новизной работы является то, что рассмотрение кинетики электронов в аргон-силановой смеси проведено с учетом наличия частиц пыли в плазменном объеме.

1. Предложено влияние монодисперсных пылевых частиц на энергетическое распределение электронов в газоразрядной плазме характеризовать одним параметром, зависящим от радиуса и концентрации частиц.

2. Впервые установлено, что коэффициенты диффузии и подвижности электронов в аргонной плазме при добавлении пыли существенно увеличиваются в области малых значений приведенного электрического поля.

3. Впервые проведен расчет функции распределения электронов по энергиям в аргон-силановой плазме с учетом частиц пыли в широком диапазоне значений приведенного поля и определен параметр пылесодержания, начиная с которого влияние пылевых частиц на кинетику электронов становится существенным.

4. На основе разработанной математической модели проведен анализ химической кинетики реагентов высокочастотного разряда пониженного давления в смеси $\text{Ar}+5\%\text{SiH}_4$ для условий, соответствующих получению пленок аморфного кремния.

Выполненный автором кинетический расчет констант скоростей электронных реакций и транспортных коэффициентов электронов из уравнения Больцмана представляет самостоятельный интерес – их значения можно применять при построении гидродинамических моделей разрядов в плазмообразующей смеси $\text{Ar}+\text{SiH}_4$. В контексте решения проблемы получения кремниевых пленок проведенный автором анализ химической кинетики продуктов разложения силана может быть использован для поиска оптимальных режимов работы плазмохимического реактора. С практической точки зрения также стоит отметить результат, следующий из расчетов автора – оценка наибольшего времени пребывания рабочего газа, при котором роль высокомолекулярных соединений в реакторе еще незначительна.

В качестве замечаний можно отметить:

1) в автореферате не указано, из каких соображений были выбраны параметры пылевых частиц, которые учитывались в кинетическом расчете для электронов;

2) в автореферате на странице 4 отмечено, что параметр $\xi_d = an_d$, а на странице 5 – $\xi_d = a^2 n_d$. Что является верным?

Однако сделанные замечания не являются определяющими и не влияют на общую положительную оценку работы. Работа соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – **Ляхов Анатолий Александрович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Профессор кафедры электронных
приборов Новосибирского
государственного технического
университета,
доктор технических наук



О. К. Пустовалова

Л.И. Лисицына

Сведения об авторе отзыва:

ФИО: Лисицына Лилия Ивановна

Ученая степень: доктор технических наук

Специальность: 05.27.02 – Вакуумная и плазменная электроника

Ученое звание: доцент

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Новосибирский государственный технический
университет»

Адрес: 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

Телефон: (383) 346-50-01

E-mail: rector@nstu.ru

Web-сайт: www.nstu.ru