

ОТЗЫВ

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

Неравновесная газоразрядная плазма находит широкое применение в различных областях современной науки и техники. При этом одной из актуальных и востребованных задач перед исследователями является развитие методов плазмохимического синтеза новых материалов. В частности, это разработка эффективных систем осаждения кремниевых пленок в аргон-силановой плазме, широко используемых в современной микроэлектронике. Стоит отметить, что использование газоразрядной плазмы позволяет интенсифицировать протекание химических реакций в газе при достаточно низких температурах. При этом управление как внешними условиями, так и внутренними параметрами разрядов позволяет селективно воздействовать на кинетику протекающих плазмохимических и тем самым оптимизировать процессы получения новых материалов. С другой стороны, как правило, развитие и оптимизация плазмохимического синтеза происходит в основном "на ощупь", путем подбора тех или иных внешних параметров горения разрядов. Это связано в основном с тем, что локальные параметры газоразрядной плазмы в реагирующих газах достаточно трудно поддаются диагностике. В частности, одной из проблем зондовой диагностики аргон-силановой плазмы является быстрое формирование тонкой полимерной пленки на поверхности зондов, которая искажает и даже в большинстве случаев блокирует регистрируемый сигнал. В связи с этим экспериментальное определение такой важной характеристики плазмы как функция распределения электронов по энергиям (ФРЭЭ) затруднительна. Очевидно, что в данном случае на помощь приходят теоретические методы исследования газоразрядной плазмы и численный эксперимент. В связи с этим диссертационная работа Ляхова А.А., направленная на математическое моделирование кинетики электронов и процессов переноса нейтральных компонентов в аргон-силановой ВЧ плазме пониженного давления является актуальной.

Наиболее важными полученными результатами является решение локального кинетического уравнения Больцмана, записанного в двучленном приближении с учетом влияния монодисперсных пылевых частиц на кинетику электронов в плазме. Автором проведены расчеты ФРЭЭ в пылевой плазме аргона, гелия, а также в аргон-силановой смеси. Показано влияние пылевых частиц на кинетические коэффициенты в области низких значений E/N (приведенного значения напряженности электрического поля) в плазме аргона и гелия и при средних значениях E/N в аргон-силановой смеси, но при большем содержании пылевых частиц в плазме. Причем показано, что в отличие от запыленной плазмы аргона, воздействие пыли на кинетику электронов в аргон-силановой плазме при малых значениях приведенного поля ослаблено процессами колебательного возбуждения молекул моносилана.

Кроме того, автором создана математическая модель и проведен численный анализ химической кинетики нейтральных компонентов аргон-силановой плазмы при параметрах, соответствующих осаждению пленок аморфного кремния. Показана значительная роль реакций с участием водорода. На основе полученных результатов проведен детальный анализ формирования пленкообразующего радикала SiH_3 .

По тексту автореферата имеются некоторые вопросы:

1. В тексте в описании третьей главы сказано, что решается кинетическое уравнение Больцмана, записанное в двучленном приближении. Однако непонятно учитывались ли в уравнении градиенты по пространственной производной? Судя по всему нет. Тогда приведен ли обоснованный «отказ» от этих членов? Поскольку

давления, при которых проведены расчеты достаточно низкие, то необходимо предварительно сравнить длины свободного пробега и релаксации электронов с характерными размерами объема плазмы и обосновать возможность отбрасывания членов с производными по координате.

2. Непонятно учитывались при решении кинетического уравнения Больцмана реакции пеннинговской ионизации. Как известно, в чистых инертных газах – в аргоне и гелии их роль является значительной. Интересно было бы отследить роль этих реакций также в смеси аргона и силана.

Данные вопросы не снижают высокой оценки в целом. Работы выполнены на высоком научном уровне. Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых изданиях и апробированы на конференциях. Считаю, что работа Ляхова Анатолия Александровича отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы, а сам автор заслуживает присуждения ему искомой степени.

Сайфутдинов Алмаз Ильгизович,
к.ф.-м.н., старший научный сотрудник
НИЛ «Вакуумно-плазменные технологии»
Казанского Федерального университета

Казанский федеральный университет
420008, Казань, ул. Кремлёвская, 18
Телефон: (843) 233-71-09.

as.uav@bk.ru

Контакты КФУ:

Телефон: (843) 292-69-77

E-mail: info.rector.kfu@gmail.com

Web-сайт: <https://kpfu.ru>



10.12.2018