

ОТЗЫВ

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 и ионно-плазменные технологии играют большую роль в современной микроэлектронике и других отраслях промышленности. Так, плазменные способы осаждения позволяют синтезировать качественно новые пленочные материалы, среди которых – алмазоподобные покрытия, диэлектрики на основе кремния (SiO_2 , SiN_x), карбиды кремния, аморфный и поликристаллический кремний и др. Пленки аморфного кремния достаточно широко применяются при изготовлении функциональных электронных устройств – активных транзисторных матриц, фотодатчиков, фотоэлектрических преобразователей. Получают их путем разложения кремневодородов (обычно это силаны) в газоразрядной плазме пониженного давления. Такой плазмохимический способ осаждения отличается экологичностью, относительной технологической простотой и высоким качеством синтезируемого полупроводникового материала. Получение пленок аморфного и микрокристаллического кремния с требуемыми электрофизическими характеристиками в промышленных масштабах является комплексной задачей, которая неразрывно связана с проектированием и улучшением технологии осаждения покрытий, что, в свою очередь, возможно только при глубоком изучении физико-химических процессов, первичных по отношению к формируемым покрытиям. Специфика газовых составов, которые применяются в плазмохимическом синтезе пленок кремния, заключается в высокой активности реагентов среды, многочисленности химических превращений, а также полимеризации рабочего газа, приводящей к формированию частиц пыли, которые могут заметно ухудшать качество покрытий. Эти обстоятельства, осложняющие экспериментальные исследования, приводят к тому, что возрастает роль методов моделирования плазмохимических систем. Поэтому разработка моделей различных процессов в газоразрядной силановой плазме является актуальной задачей, т.к. позволяет получить информацию представляющую практический интерес – концентрации реагентов, их пространственные профили, потоки компонентов на подложку и другие параметры.

В автореферате диссертации представлены цель, задачи методология и методы исследования. В автореферате приведены также научная новизна, теоретическая и практическая

значимость работы, приведена степень апробации и основные публикации, а также положения, выносимые на защиту.

Кроме того, в автореферате приведено краткое содержание введения, четырех глав диссертации и заключения.

Основные положения диссертационной работы освещены в достаточной степени, число статей в рецензируемых научных журналах достаточно (9 статей в изданиях из перечня ВАК), 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, общее число публикаций также достаточно – 26 работ.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

В диссертационной работе Ляхов А.А. численно исследовал процессы, протекающие в объеме плазмохимического реактора, используемого для синтеза пленок аморфного кремния. В качестве рабочей среды рассматривается один из типичных газовых составов - смесь аргона с моносиланом. Поскольку в неравновесной плазме электронная подсистема существенно неравновесна, то рассмотрение автором вопроса о кинетике электронов в виде отдельной подзадачи вполне закономерно. Проведенные им расчеты кинетических коэффициенты в неравновесной аргон-силановой плазме показывают, что влияние пылевых частиц на константы скоростей, а также коэффициенты переноса электронов может быть существенным. Для решения основной задачи – определения концентраций пленкообразующих радикалов силана в рабочем объеме плазмохимического реактора, диссертант использовал гидродинамическое приближение для нейтральных компонентов среды, которое при низких давлениях газа представляет собой систему уравнений диффузионного переноса химически реагирующего газа. Численное решение системы связанных уравнений позволило определить время выхода на стационар основных продуктов разложения, достаточно детально исследовать кинетику наиболее важных химических реакций в разрядном объеме. Результаты расчетов могут найти применение при совершенствовании технологии плазмохимического осаждения пленок кремния.

В качестве **замечаний** можно указать следующее:

- из автореферата следует, что при решении задачи переноса в двумерной геометрии привлекались значения констант скоростей электронного удара, но не ясно каким образом определялись их скалярные поля, учитывалась пространственная зависимость коэффициентов или брались постоянные величины;

- в автореферате приводятся весьма точные оценки долей вкладов различных реакций в процессы (50%, 33%, 13%, 99% и т.п.), но не ясно, за счёт чего получена такая точность этих оценок.

Сделанные замечания к автореферату не снижают научную и практическую ценность выполненной диссертационной работы. Автореферат в полной мере отражает результаты, полученные в диссертации. Диссертационная работа представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой решена задача, имеющая важное значение для развития методов исследования и развития плазменных и ионно-плазменных технологий. Соискатель, Ляхов Анатолий Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Директор ЦЭОР, доцент кафедры «Информатики, вычислительной техники и информационной безопасности» АлтГТУ, к.т.н., доцент

Шатохин Александр Семёнович

17 декабря 2018 г.

Адрес АлтГТУ: 656038, Российская Федерация, Алтайский край, г. Барнаул, проспект Ленина, д. 46

Сайт АлтГТУ: <https://www.altstu.ru/>

Телефоны:

+7 (3852) 290-710 — приемная ректора

altgtu@list.ru

Телефон директора ЦЭОР:

+7 (3852) 290-716

E-mail: asshatokhin@gmail.com

*Подпись А.С. Шатохина
заверено
Спец-м. [подпись]*

