

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО РАЗРЯДА В СМЕСЯХ СИЛАНА С ВОДОРОДОМ

Плазменно-стимулированное осаждение из газовой фазы (PECVD) широко применяется для выращивания пленок аморфного и микрокристаллического кремния в микроэлектронике, для создания фотоэлементов, жидкокристаллических дисплеев и других целей. Важной задачей является оптимизация параметров разряда и процесса роста для получения пленок с заданными свойствами. Из-за большого числа параметров, которые можно менять от разряда к разряду, а так же трудности характеристики получаемой плёнки оптимизация режимов роста представляет собой чрезвычайно сложную проблему. В этой связи, предсказание свойств выращиваемой плёнки становится актуальной задачей, которую можно решить с помощью численного моделирования. Однако расчёт свойств плёнки невозможен без знания свойств разряда, которые тоже можно получить численными методами. Поскольку возможности современных компьютеров ограничены, а многие параметры атомов и молекул известны с недостаточной точностью, все используемые модели содержат большое количество предположений и упрощений. Поэтому для проверки адекватности модели важно сравнение результатов численного моделирования ВЧ разряда с результатами эксперимента. Целью настоящей работы является численное моделирование ВЧ разряда в смесях силана с водородом и сравнение результатов с экспериментальными данными.

Для достижения поставленной цели были проведены измерения зависимости энергии и потока ионов на электрод реактора, напряжения на электродах, напряжения автосмещения от различных параметров газовой смеси: температуры, давления, мощности, состава. Затем было проведено численное моделирование двумя программами для параметров, совпадающих с параметрами экспериментов. Полученные в ходе моделирования характеристики разряда сравнивались с результатами эксперимента.

Эксперименты проводились в университете Утрехта в Нидерландах. Установка представляла собой планарный реактор. Радиус камеры равнялся 10 см, межэлектродное расстояние – 2.7 см, частота – 50 МГц. Температура обоих электродов во всех экспериментах была равной, температура газа считалась равной температуре электродов. Для измерения характеристик ионов использовался анализатор, представлявший собой совокупность тонких проводящих сеток и коллектор. С помощью анализатора были получены кривые задержки при различных параметрах разряда. По кривым задержки были рассчитаны функции распределения ионов по энергиям, потоки ионов и средние энергии ионов. Выяснено что поток положительных ионов на анализатор и их средняя энергия уменьшаются с ростом доли силана в газовой смеси, с уменьшением температуры и с ростом давления.

Далее было проведено численное моделирование одномерным кодом, описанным в [1], который решает систему гидродинамических уравнений с учётом гамма-электронов. Преимуществом этого кода является быстрота расчёта. Данный код обладает рядом ограничений. В частности, он применим только к симметричному разряду и, следовательно, напряжение автосмещения всегда равно нулю. Из-за особенностей кода невозможно получить состав ионов в разряде, а также поток ионов на стенку. Тем не менее, зная, что ионный поток в приэлектродном слое не меняется, можно рассчитать поток ионов, умножив градиент концентрации на границе слоя на коэффициент диффузии. Коэффициент диффузии можно получить из расчётов двумерного кода, описанного ниже. Для увеличения точности вычислений одномерный код был модифицирован. Расчёт данным кодом даёт правильную зависимость потока и энергии ионов от давления, температуры, мощности, но расчётная

зависимость потока ионов на стенку в зависимости от доли силана в смеси не соответствует экспериментальной. Расчётный поток оказывается примерно в 20 раз больше экспериментального при всех параметрах разряда.

Затем было проведено моделирование двумерным кодом, описанным в [2], который также решает систему гидродинамических уравнений. В отличие от одномерного кода он не учитывает гамма-электроны, однако гораздо лучше рассчитывает химические процессы в разряде, а также позволяет правильно учитывать геометрию реактора. Время работы этого кода значительно превышает время расчёта одномерным кодом. Этот код не обладает ограничениями одномерного кода, однако он не сходится при параметрах (давлении, мощности, температуре), соответствующим экспериментальным. Эта проблема была преодолена следующим образом: были получены зависимости потока ионов от давления, температуры, мощности в том диапазоне параметров, где код сходится, затем эти зависимости были аппроксимированы на весь диапазон параметров. Расчёт двумерным кодом дал зависимости потока ионов на стенку от давления, температуры, мощности и состава смеси, совпадающие с экспериментальными. Численные значения потока оказываются примерно в 3-4 раз больше экспериментальных.

Отличие результатов расчёта двумерного и одномерного кодов может быть вызвано следующими причинами: более правильным учётом химических реакций в двумерном коде, а также невозможность учёта краевых явлений в одномерном коде (результаты моделирования двумерным кодом показывают, что у боковых стенок горит разряд). Отличие в численном значении можно объяснить плохим согласованием ВЧ цепи при проведении эксперимента, что могло привести к изменению формы напряжения на электродах. Более правильный расчёт транспортных коэффициентов также может способствовать лучшему совпадению с экспериментом.

Таким образом, в работе были получены экспериментальные зависимости энергии ионов и потока ионов на стенку реактора, напряжения на электродах, напряжения автосмещения от давления, мощности, температуры, состава смеси. Было проведено численное моделирование одномерным и двумерным кодами с параметрами разряда, соответствующими экспериментальным. Результаты расчётов были сопоставлены с данными эксперимента. Показано что расчёт в двумерной геометрии даёт правильные качественные зависимости потока ионов от параметров разряда, в том числе и от состава газовой смеси и правильные по порядку величины численные значения потока ионов. Это позволяет заключить, что двумерный код адекватно описывает процессы в разряде.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Швейгерт В.А., Жилиев М.И., Швейгерт И.В. ПМТФ, 1994, т. 35. №1. с.3-21.
2. G.J.Nienhuis and W.Goedheer. Plasma Sources Sci. Technol. 8 (1999) 295-298.