

## Моделирование толщины пленок, осажденных методом ионно-плазменного распыления.

А.Р. Карамов<sup>1</sup>, А.А. Сердобинцев<sup>2</sup>, Л.Д. Волковойнова<sup>2</sup>, Е.Н. Сапего<sup>1</sup>, А. Богдан<sup>1</sup>,  
А.В. Тумаркин<sup>1</sup>, М. А. Шауро<sup>1</sup>, И.Н. Закасовский<sup>1</sup>, Н. Оспанов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

<sup>2</sup>СГУ им. Н.Г. Чернышевского, кафедра материаловедения, технологии и управления качеством

**Аннотация:** разработана математическая модель, моделирующая распределение толщины пленки по поверхности подложки в зависимости от технологических параметров при ионно-плазменном распылении, а также проведено сравнение расчетных данных с экспериментальными результатами.

**Ключевые слова:** металлические пленки, магнетронное распыление, моделирование.

### 1. Введение

Технология ионно-плазменного осаждения тонких пленок широко используется для получения компонентов микроэлектроники [1,2]. Моделирование физических процессов, происходящих в вакуумной камере при росте пленки, позволяет определять оптимальные технологические условия, в которых возможно получение равномерной по геометрическим и электрическим свойствам пленки с заданной толщиной.

На сегодняшний день предпринят ряд попыток описания физических процессов при ионно-плазменном осаждении тонких пленок [3-6]. В существующих работах, процессы распыления [5,6], переноса [7,8] и осаждения вещества [9] рассматривались независимо друг от друга. На данный момент не существует единой математической модели, объединяющей процессы распыления, переноса вещества и его осаждения на подложку.

Целью работы являлась разработка данной математической модели, включающей в себя вышеназванные процессы, и прогнозирующей распределение толщины пленки по поверхности подложки в зависимости от технологических параметров процесса осаждения пленок, а также сравнение рассчитанных данных с экспериментальными результатами.

### 2. Описание модели и эксперимента

В разработанной модели для расчета количества распыленных атомов, вышедших из мишени, используется эмпирический потенциал Kr-C, позволяющий проводить моделирование для широкого спектра энергий бомбардирующих ионов. Для оценки количества рассеянных атомов в пространстве дрейфа “мишень/подложка” использовалась модель [8], позволяющая учесть как баллистический, так и диффузионный механизм переноса вещества в рабочей камере. Кроме того, учет эффекта разрежения газа в результате нагрева позволил получить точную зависимость скорости осаждения пленки от мощности источника и давления в камере.

Для проверки адекватности разработанной модели, проводились эксперименты по осаждению металлических пленок методом магнетронного распыления. Пленки *Cu* осаждались магнетронным распылением при постоянном токе равном 940 мА, напряжении 532 В, в атмосфере чистого *Ar* при давлении 0.0021 мБар (0,21 Па) на подложки, изготовленные методом фотополимерной печати, в течении 7200 секунд. Толщина пленки измерялась с помощью профилометра *Dektak 150*.

Сопоставление расчетных и экспериментальных данных показало, что

расхождение с результатами эксперимента составило менее 10%. Исходя из анализа экспериментальных данных, можно сделать вывод об адекватности представленной модели и перспективности её использования для разработки технологических процессов осаждения тонких пленок.

Данная работа выполнена при поддержке **Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта № 075-01438-22-07 - FSEE-2022-0015.**

#### Список литературы

- Anders A. Tutorial: Reactive high power impulse magnetron sputtering (R-HiPIMS) //Journal of Applied Physics. – 2017. – Т. 121. – №. 17.
- Kelly P. J., Arnell R. D. Magnetron sputtering: a review of recent developments and applications //Vacuum. – 2000. – Т. 56. – №. 3. – С. 159-172.
- Вольпяс В. А. и др. Ионно-плазменное осаждение оксидных пленок с измененным стехиометрическим составом: эксперимент и моделирование //Письма в Журнал технической физики. – 2016. – Т. 42. – №. 14. – С. 87-93.
- Вольпяс В. А. и др. Статистическое моделирование процесса осаждения тонких пленок высокотемпературного сверхпроводника  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  при ионно-плазменном распылении //Письма в Журнал технической физики. – 2004. – Т. 30. – №. 7. – С. 60-68.
- Sigmund P. Sputtering by ion bombardment theoretical concepts //Sputtering by Particle Bombardment I: Physical Sputtering of Single-Element Solids. – 2005. – С. 9-71.
- Behrisch R., Eckstein W. (ed.). Sputtering by particle bombardment: experiments and computer calculations from threshold to MeV energies. – Springer Science & Business Media, 2007. – Т. 110.
- Petrov I. et al. Comparison of magnetron sputter deposition conditions in neon, argon, krypton, and xenon discharges //Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films. – 1993. – Т. 11. – №. 5. – С. 2733-2741.
- Ekpe S. D., Dew S. K. Theoretical and experimental determination of the energy flux during magnetron sputter deposition onto an unbiased substrate //Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films. – 2003. – Т. 21. – №. 2. – С. 476-483.
- Swann S. Film thickness distribution in magnetron sputtering //Vacuum. – 1988. – Т. 38. – №. 8-10. – С. 791-794.