

## Влияние рассеяния заряженных частиц на рабочем газе на профиль выработки мишени при магнетронном распылении

*В. В. Шекелевский, Д. А. Котов*

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь

В работе представлена методика для оценки влияния давления в рабочей зоне над поверхностью мишени магнетронной распылительной системы при использовании метода Монте-Карло для заряженных частиц. Проведены расчетные исследования процесса формирования профиля зоны эрозии мишени при разном давлении, а также проведена верификация расчетных и экспериментальных данных для магнетрона диаметром 80 мм с плоской мишенью, показывающая хорошую эффективность применяемого подхода.

**Ключевые слова:** магнетронное распыление, расчет процесса магнетронного распыления, зона эрозии мишени, рассеяние электронов на рабочем газе, метод Монте-Карло.

Современная промышленность, занимающаяся производством изделий микро-, нано- и оптоэлектроники, при нанесении тонкопленочных покрытий обычно использует магнетронное распыление. В связи с этим возникает важный вопрос о равномерном нанесении покрытий на подложки больших размеров. Изменение конфигурации поверхности мишени как в процессе распыления, так и при изменении давления в камере оказывает влияние на процесс осаждения материала на подложку, поэтому необходимо иметь методики для оценки этих факторов при расчетах.

Одним из основных факторов, влияющим на форму эрозии мишени, является давление в рабочей области над поверхностью мишени. Электроны, движущиеся в магнитной ловушке, испытывают столкновения с атомами рабочего газа и изменяют свою траекторию. Тем самым, в зависимости от концентрации частиц рабочего газа, изменяется картина пространственного распределения ионов над мишенью [1].

Из экспериментальных данных известно, что повышение давления ведет к уменьшению длины свободного пробега частиц в газе, что в случае магнетронных распылительных систем приводит к сужению профиля зоны эрозии мишени и уменьшению коэффициента использования мишени.

В нашем случае оценка зоны плазмообразования производится с помощью метода Монте-Карло для заряженных частиц, движущихся в скрещенных магнитном и электрическом полях [2].

Для учета рассеяния частиц на рабочем газе на каждом шаге вычисления значение скорости частицы подставляется в уравнение 4 для вероятности рассеяния и с помощью генератора случайных величин определяется будет ли меняться направление частицы. Новое направление движения выбирается случайно с одинаковым шансом для любого направления.

Концентрация частиц в  $1 \text{ м}^3$  определяется как

$$N = p/kT, \quad (1)$$

где  $p$  – давление в рабочей зоне,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура газа.

$$\sigma = \pi R_{Ar}, \quad (2)$$

где  $R_{Ar}$  – эффективный радиус атома аргона,  $2,8 \text{ \AA}$ .

Длина свободного пробега частицы

$$\lambda = 1/\sigma n. \quad (3)$$

Вероятность рассеяния

$$P = 1 - e^{-vdt/\lambda}, \quad (4)$$

где  $v$  – мгновенная скорость частицы,  $dt$  – шаг времени, с которым производятся вычисления.

Расчеты проводились для круглого магнетрона диаметром 80 мм внешний вид которого представлен на рис. 1. Рабочее давление порядка 0,15 Па. Потенциал катода –450 В, ионный источник в качестве анода заземлен. На рис. 2 представлены рассчитанные нормированные профили эрозии мишени для разного давления и сравнение с экспериментом, где контур зоны эрозии на экспериментальном образце оцифровывался с помощью фотосъемки. Давлению в 0 Па соответствует случай без учета рассеяния на рабочем газе.

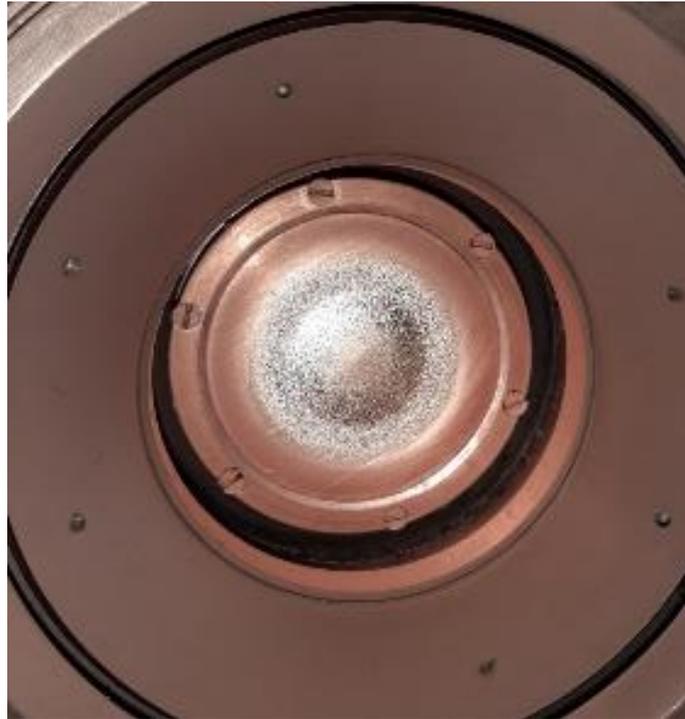


Рис. 1. Внешний вид системы в установке с частично распыленной мишенью из меди

Сравнение рассчитанного профиля для давления 0,15 Па и экспериментального показывает высокую степень соответствия с погрешностью менее 10 %. Следует отметить, что мишень распылялась при разных рабочих параметрах, поэтому профиль эрозии является усредненным.

Из результатов расчета видно, что увеличение давления приводит к смещению максимума зоны распыления мишени и сужению самого профиля. Аналогичные данные наблюдаются и при экспериментальных исследованиях, что говорит о верности предложенной методики.

Таким образом показана методика оценки влияния давления в рабочей зоне над поверхностью мишени магнетронной распылительной системы с помощью численных расчетов с использованием метода Монте-Карло. В дальнейшем полученный профиль зоны эрозии позволяет, используя законы распределения распыляемых атомов, получить распределение потока распыленных частиц на подложке, что является важным при решении прикладных задач по разработке новых распылительных систем и модернизации существующего в республике вакуумного технологического оборудования.

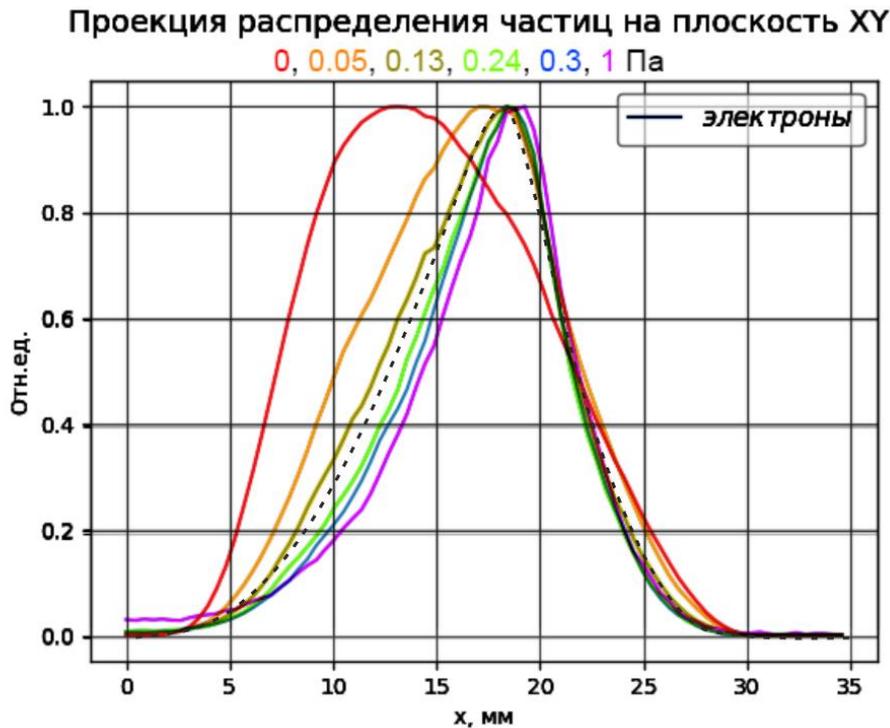


Рис. 2. Рассчитанные профили эрозии мишени для разного давления и сравнение с экспериментом (черная штриховая линия соответствует экспериментальной кривой)

#### Список источников

- [1] Данилин, Б. С. Магнетронные распылительные системы / Б. С. Данилин, В. К. Сырчин — М.: Радио и связь, 1982. — 72 с.
- [2] Шекелевский, В. В. Оценка профиля выработки мишени магнетронной распылительной системы методом Монте-Карло / В. В. Шекелевский, Бездников М. С. // Радиотехника и электроника : материалы 57 науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР, 2021. – С. 126-128.

### Influence of charged particle scattering on the working gas on the sputtering yield profile during magnetron sputtering

*V. U. Shakialeuski, D. A. Kotov*

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

#### Annotation

The paper presents a technique for estimating the effect of pressure in the working zone above the target surface of a magnetron sputtering system using the Monte Carlo method for charged particles. Computational studies were conducted on the process of forming the erosion zone profile of the target at different pressures. The calculated and experimental data were also verified for an 80 mm diameter magnetron with a flat target, demonstrating the good efficiency of the approach used.

**Keywords:** Magnetron sputtering, calculation of the magnetron sputtering process, target erosion zone, electron scattering on the working gas, Monte-Carlo method.