

МЕТОД РАСЧЕТА ПРОФИЛЯ ЗОНЫ ЭРОЗИИ МИШЕНИ МАГНЕТРОННОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

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

Шекелевский В.В., Бездников М.С.

Котов Д.А. – канд. техн. наук, доцент

В работе представлена методика определения профиля зоны эрозии мишени исходя из расчетов распределения скоростей электронов в магнитной ловушке методом конечных элементов.

Современная промышленность в производстве изделий микро-, нано- и оптоэлектроники при нанесении тонкопленочных покрытий чаще всего использует магнетронное распыление. Несмотря на распространенность метода, в настоящее время является актуальной разработка методик определения равномерности формируемого покрытия исходя из количественной оценки эффектов и процессов магнетронного распыления и конденсации на подложке.

Магнетронное распылительное устройство состоит из электрической, магнитной, охлаждающей, газораспределительной систем. Система электродов нужна для создания разности потенциалов, магнитная – для создания магнитной ловушки, охлаждающая – для предотвращения перегрева магнитной системы и других элементов конструкции, газораспределительная – для подачи рабочего вещества в разрядной зоне.

Локализация плазмы у поверхности мишени с помощью магнитной ловушки зависит от конфигурации магнитного поля системы магнитов [1]. Для определения профиля зоны эрозии мишени необходимо знать профиль распределения плотности ионного тока, который зависит от конфигурации магнитного и электрического полей и давления в камере. Профиль зоны эрозии можно рассчитать по формуле

$$h(r_i) = t \cdot \mathcal{D}_i(r_i) = t \cdot \frac{\langle Y_i \rangle j_i(r_i) A_i}{e N_A \rho_i} \quad (1)$$

где $\langle Y_i(r) \rangle$ – средняя по энергетическому спектру безразмерная величина коэффициента распыления материала мишени (эффективный коэффициент распыления) на радиусе r , $j_i(r)$ – плотность ионного тока над мишенью на радиусе r , $A/\text{см}^2$, A_i – атомная масса распыляемого материала, г/моль, ρ_i – плотность материала, г/см³ [2].

Ключевым этапом при расчете профиля зоны эрозии мишени является нахождение профиля распределения плотности ионного тока, который можно найти по следующей формуле

$$j_i(r) = \int_{z_{\min}}^{z_{\max}} n_e(r, z) v_i(r, z) dz \quad (2)$$

где n_e – концентрация ионизирующих электронов, м⁻³; z_{\min} и z_{\max} – минимальная и максимальная граница плазмообразования по высоте, м; v_i – частота ионизации, которая определяется функцией распределения электронов по энергиям:

$$v_i = n_a \sigma_i \langle v_e \rangle \quad (3)$$

где n_a – концентрация атомов или молекул рабочего газа, м⁻³; σ_i – сечение ионизации при столкновении электронов с атомами, м²; $\langle v_e \rangle$ – средняя скорость электронов, м/с [2].

Для определения распределения электронов по скоростям в магнитной ловушке необходимо знать конфигурацию линий индукции и величину магнитного поля. Для расчета магнитной системы нами использовался программный комплекс Comsol Multiphysics студенческой версии. На рис. 1 показана конфигурация линий индукции магнитной ловушки над поверхностью мишени, полученная нами в результате расчетов.

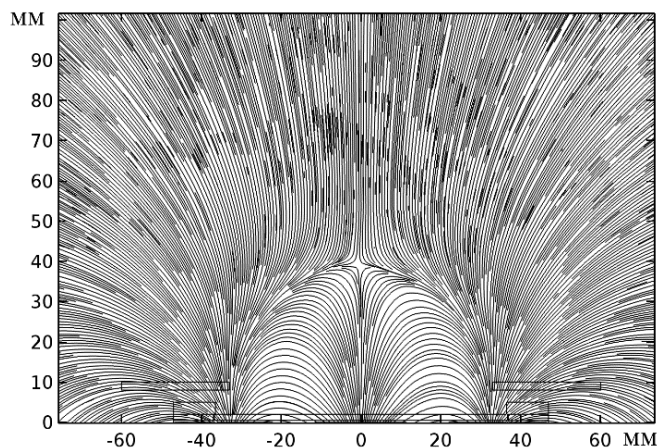


Рисунок 1 – Визуализация результатов расчета магнитного поля в программе Comsol Multiphysics

Исходя из расчета магнитного поля в программе Comsol Multiphysics, можно определить распределение электронов по энергиям используя формулу

$$E(\vartheta) = \left(\frac{\vec{E}_y \times \vec{B}_x}{B^2} \right)^2 \cdot \frac{m_e}{2e}, \quad (4)$$

где \vec{E}_y и \vec{B}_x – вертикальная и горизонтальная компоненты векторов напряженности электрического и индукции магнитного полей.

На рисунке 2 представлен расчет распределения электронов по энергиям в программе Comsol Multiphysics.

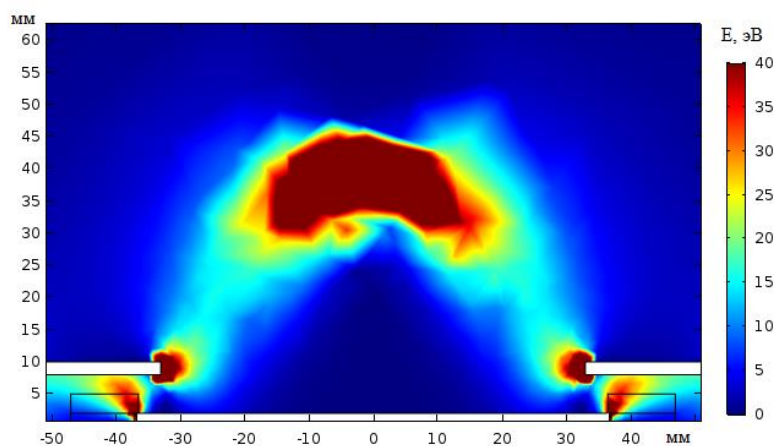


Рисунок 2 – Распределение энергий электронов в магнитной ловушке

Далее подставляя распределение электронов по энергиям в выражение для сечения ионизации и распределение электронов по скоростям в уравнение (3) и полученное в уравнение (2), можно рассчитать профиль плотности ионного тока. Подстановкой полученного в уравнение (1) находится скорость распыления мишени и профиль зоны эрозии мишени.

Таким образом приведен метод расчета профиля зоны эрозии мишени и в дальнейшем, используя законы распределения распыляемых атомов, можно оценить неравномерность осажденного покрытия на подложке.

Список использованных источников:

1. Данилин, Б.С. Магнетронные распылительные системы / Б.С. Данилин, В.К. Сырчин – М.: Радио и связь, 1982. - 72с.
2. Голосов, Д.А., Мельников, С.Н., Кундас С.П., Достанко А.П. // Проблемы физики, математики и техники. – Т. 2. – 3. – 2010. – С. 62-67.