

УДК 538.971

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МАГНЕТРОННОГО ОСАЖДЕНИЯ ХРОМА ПРИ
ПЛАНЕТАРНОМ ВРАЩЕНИИ ПОДЛОЖКИ**Э.Э. Оруджов

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. Г.А. Блейхер

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: elvin@tpu.ru**MODELING OF MAGNETRON DEPOSITION OF CHROMIUM WITH ROTATIONAL MOTION OF
THE SUBSTRATE**E.E. Orujov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. G.A. Bleykher

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: elvin@tpu.ru

Abstract. *The present work investigates the method of simulating magnetron sputtering processes in the case of deposition of chromium coatings. The change in the angle and the distance between the substrate and magnetron target has its impact on the deposition rate and the energy transfer from deposition flux onto the surface of the substrate. This may result in differences in chromium coatings structure. The model was created to simulate the rotational motion of the substrate inside a magnetron sputtering system. The relations between deposition rate and various geometry of the system were found. The experimental verification is to be carried out.*

Введение. Хромовые покрытия чаще всего применяются для обеспечения коррозионной стойкости и износостойкости обрабатываемых изделий, повышения их твёрдости, а также в декоративных целях [1]. При магнетронном осаждении на планетарно вращающуюся подложку происходит изменение расстояния и углов между подложкой и мишенью магнетрона, что может приводить к изменениям потоков материала и энергии, достигающих подложки, и, как следствие, влиять на функциональные и адгезионные свойства покрытий [2]. Для исследования процесса магнетронного осаждения плёнок хрома была создана математическая модель, учитывающая планетарное вращение подложки. Данная модель позволяет получать данные о скорости осаждения и количестве осажденных частиц за время протекания процесса осаждения. Для верификации данной модели планируется проведение экспериментального исследования процесса нанесения хромовых покрытий на подложки из кремния при разных углах и расстояниях между подложкой и мишенью магнетрона.

Экспериментальная часть. Расчёт процесса осаждения производился численными методами на основе второго закона Ламберта-Кнудсена. Процесс осаждения разделяется на элементарные временные участки, в каждом из которых происходит расчёт осажденных потоков, а затем перемещение и поворот подложки в соответствии с заданными скоростями. Схема взаимного расположения элементов в математической модели указана на рисунке 1.

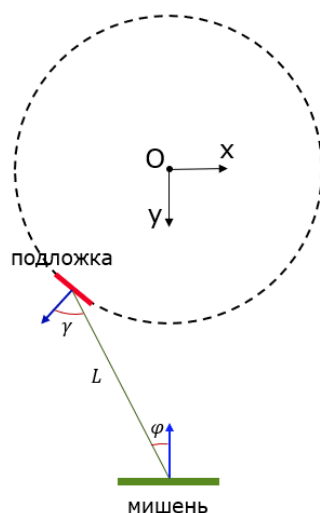


Рис. 1. Схема элементов в модели

Второй закон Ламберта-Кнудсена имеет вид [3]:

$$v_{dep_i} = \frac{v_i dS_i \cos \varphi_i \cos \gamma_i}{\pi L_i^2},$$

где v_{dep_i} – скорость осаждения на подложку с элементарной площадки мишени; v_i – общий поток распыляемых частиц с элементарной площадки мишени; dS_i – площадь элементарной площадки мишени; φ_i – угол между элементарной площадкой мишени и потоком с этой площадки к подложке; γ_i – угол между подложкой и потоком осаждаемых частиц; L_i – расстояние между участком мишени и подложкой.

Общий поток распыляемых частиц пропорционален ионному току на участке (I_{ion_i}) и рассчитывается по следующей формуле:

$$v_i = \frac{S \cdot I_{ion_i}}{e \cdot n_0},$$

где e – элементарный заряд; E – энергия частицы, эВ; n_0 – атомная плотность вещества мишени, шт./м³.

Распределение ионного тока по поверхности мишени определяется в соответствии с распределением магнитного поля по мишени магнетрона. Моделирование магнитного поля проводилось в программной среде «Elcut 5.2» (г. Санкт-Петербург) [4].

В настоящей работе производился расчёт скоростей осаждения хромовых покрытий в течение одного полного вращения в следующей геометрии: расстояние от центра вращения до подложки – 15 см, расстояние от центра вращения до магнетрона – 25 см, скорость вращения подложки относительно центра вращения – 1 об/мин, скорость вращения подложки относительно своей оси – 9 об/мин. Соотношение указанных выше параметров выбрано исходя из характеристик реальной экспериментальной установки. В начальном положении подложка располагается напротив мишени в ближайшей к ней позиции.

Результаты. Выявлены зависимости скорости осаждения хрома от взаимного расположения мишени и подложки во времени. Экспериментальные зависимости представлены на рисунках 2 и 3. Полученные зависимости показывают уменьшение скорости осаждения примерно на порядок при увеличении расстояния между подложкой и мишенью с 10 до 60 см. Скорость осаждения также сильно зависит от углов γ и φ , сильно уменьшаясь при их приближении к 90°. Полученные зависимости требуют экспериментальной верификации используемой модели, что планируется сделать на следующем этапе работ.

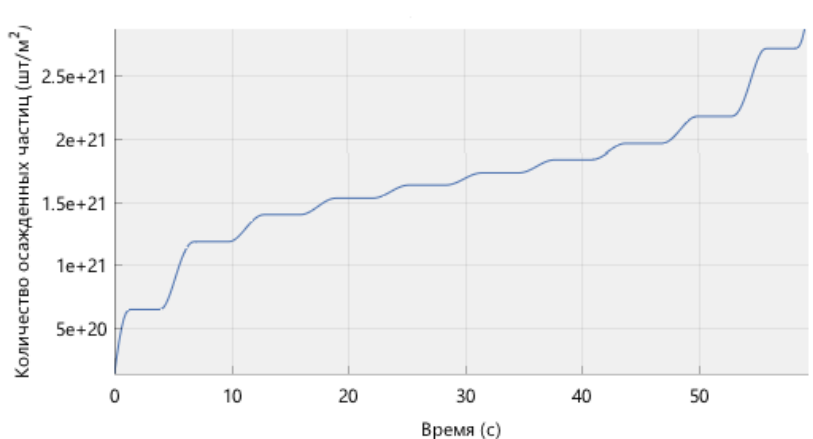


Рис. 2. Поток осаждаемых частиц на подложку в зависимости от времени процесса напыления

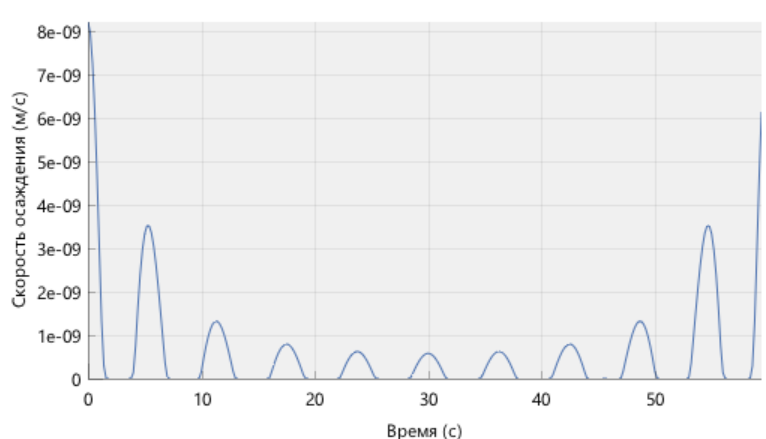


Рис. 3. Зависимость скорости осаждения покрытия от времени процесса напыления

Заключение. В результате проведенных исследований была разработана математическая модель, позволяющая рассчитывать потоки осаждаемых частиц в динамической системе магнетронного распыления. Определены закономерности изменения скорости осаждения при планетарном вращении подложки в случае одиночного магнетронного распыления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grudin V.A. et al. Magnetron deposition of chromium nitride coatings using a hot chromium target: Influence of magnetron power on the deposition rate and elemental composition // Surface and Coatings Technology. – 2022. – V. 433. – P. 128120.
2. Metel A. et al. Products pre-treatment and beam-assisted deposition of magnetron sputtered coatings using a closed cylindrical grid inside a planetary rotation system // Surface and Coatings Technology. – 2017. – V. 325. – P. 327-332.
3. Блейхер Г. А., Кривобоков В. П. Эрозия поверхности твердого тела под действием мощных пучков заряженных частиц. – Новосибирск: Наука, 2014. – 248 с.
4. ELCUT – Программа моделирования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elcut.ru/>. (дата обращения: 28.02.2023)