

МАГНЕТРОННАЯ РАСПЫЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ МАГНИТНОЙ СИСТЕМОЙ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА СТАЦИОНАРНУЮ ПОДЛОЖКУ

Нгуен В.Т.А.

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

Научный руководитель: Голосов Д.А. – канд. техн. наук, доцент, в.н.с. Центра 2.1

Аннотация. В данной статье приведены основные конструктивные особенности магнетронной системы, влияющие на скорость и качество распыления, способствуя увеличению производительности нанесения тонких пленок, а также снижения эксплуатационных расходов.

Ключевые слова: магнетронная система, магнетронное распыление, вращающаяся магнитная система

Введение. Одной из самых актуальных проблем современной микроэлектроники является внедрение в технологические процессы новых материалов. Существуют различные способы формирования наноразмерных слоев, однако наибольшее распространение получил метод магнетронного распыления благодаря его невысокой стоимости, масштабируемости и воспроизводимости [1]. Магнетронное распыление стало наиболее широко используемым методом осаждения как металлических, так и составных тонких пленок и используется во многих промышленных приложениях. Технология магнетронного распыления непрерывно развивалась для улучшения использования мишеней, повышения ионизации распыляемых частиц, увеличения скорости осаждения и сведения к минимуму электрических нестабильностей, таких как дуги, а также снижения эксплуатационных расходов [2].

При появлении и развитии магнетронных источников магнетронное распыление прочно реализовало на практике получение металлизации современных интегральных схем в качестве функциональных слоев элементов памяти, МОП транзисторов, конденсаторных и резистивных структур, интегральных датчиков (сенсоров) и источников питания, а также диффузионно-барьерных и покровных слоев. Магнетронное напыление применяется в большом количестве различных напылительных, как вновь разрабатываемых, так и модернизированных вакуумных установок предыдущих лет выпуска.

Основная часть. Магнетронными называются системы, в которых используются неоднородные скрещенные магнитное поля. Причина некоторого разброса параметров рабочих процессов, приводящих к нанесению тонких пленок с оптимальными характеристиками, может быть связана с использованием установок магнетронного осаждения, различающихся конструкцией ростовой камеры. Проблему равномерности толщины пленок при магнетронном распылении чаще всего решают путем увеличения размеров зоны распыления [3]. Однако это требует изготовления мишеней больших размеров и в ряде случаев это связано с рядом проблем. Одним из методов снижения неравномерности наносимых слоев является использование вращения магнетрона. Этот метод позволяет при небольших размерах зоны распыления магнетрона получать высокую равномерность даже на подложках, превышающих в несколько раз размер мишени. Однако практически отсутствуют статьи, в которых бы рассматривались вопросы распределения толщины и диэлектрических свойств пленок при магнетронном нанесении на вращающуюся подложку магнетроном системой с вращающимся магнитной системой.

При этом расстояние от мишени до подложкодержателя и их взаимное расположение может значительно различаться в зависимости от конструкции установки. Типичная камера установки магнетронного распыления включает вращающийся металлический диск (под-

ложкодержатель) и находящиеся на некотором расстоянии один или несколько магнетронов с закрепленными на них материалами для распыления (мишени) (рисунок 1). На рисунке 1 приведены структура и расположение относительно подложек и магнетрона распылительной системы. Облако плазмы рабочего газа над мишенью удерживается благодаря магнитному полю, напряженность которого также может варьироваться в зависимости от конструкции магнетрона. Высокоэнергетичные частицы газа, находящиеся в плазме, выбивают материал мишени в окружающее пространство камеры и в зависимости от формы плазменного облака траектория движения распыляемых атомов и кислорода может в значительной степени различаться, что может сказываться на стехиометрии формирующегося материала, а это приводит к изменениям его электронных и оптических свойств. Таким образом, цель данного исследования заключается в изучении влияния конструктивных особенностей вращающегося магнетрона распылительной системы на свойства формирующейся тонкой пленки.

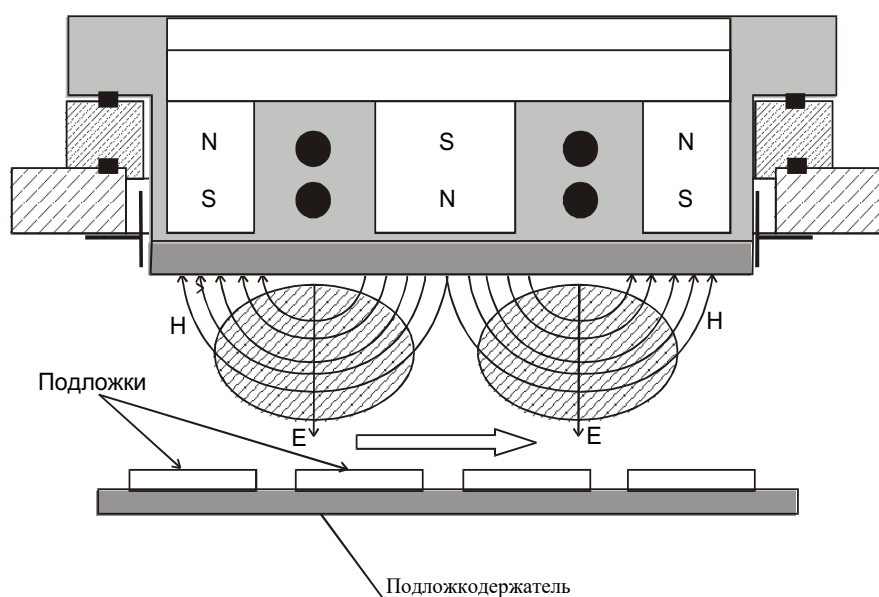


Рисунок 1 – Структура и расположение относительно подложек и магнетрона распылительной системы

Электрические параметры разряда в магнетронной системе в значительной степени зависят от рабочего давления, величины и конфигурации магнитного поля, конструктивных характеристик распылительной системы. Магнетронные системы представляют собой системы ионного распыления, в которых распыление материала осуществляется путем бомбардировки поверхности мишени ионами рабочего газа (обычно аргона), образующегося в плазме аномального тлеющего разряда. Высокая скорость распыления, характерная для этих систем, достигается увеличением плотности ионного тока за счет локализации плазмы у распыляемой поверхности мишени с помощью сильного поперечного магнитного поля [4].

Конфигурация разряда магнетронного распыления может быть плоской, цилиндрической с аксиальным магнитным полем, или катодная мишень может представлять собой трубку, вращающуюся вокруг неподвижного магнитного узла или магнетрон с вращающимся магнитом (рисунок 2). Однако это всего лишь геометрические варианты одного и того же принципа магнитного удержания электронов вблизи катодной мишени. Благодаря различным конфигурациям метод магнетронного распыления может быть применен к большому количеству материалов, которые могут быть нанесены на ряд подложек в различных формах и формах, и легко масштабируется до очень больших площадей.

Высокая скорость и равномерность распыления, характерная для этих систем, достигается увеличением плотности ионного тока за счет локализации плазмы у распыляемой поверхности мишени с помощью сильного поперечного магнитного поля при вращающейся конструкции магнетронной системы (рисунок 2) [4].

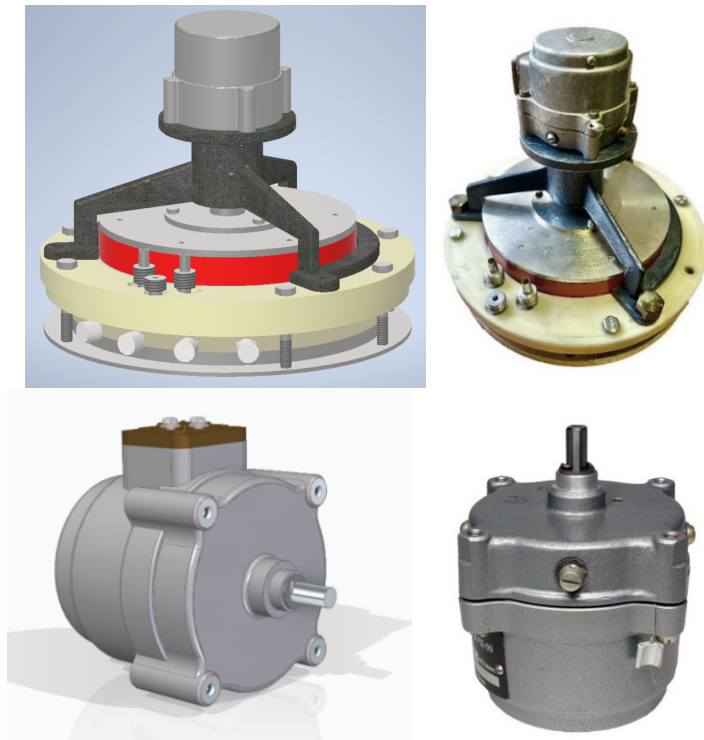


Рисунок 2 – Магнетрон с вращающимся магнитом с помощью реверсивным двигателем РД-09

Система с вращающимся магнетроном (рисунок 3) способна преодолеть многие из традиционных трудностей, возникающих при выполнении высокоскоростного реактивного осаждения, таких как скорость роста конкреций, но увеличить общую площадь распыления поверхности мишени. Он может изменять уровень магнитного дисбаланса/баланса и, следовательно, изменять уровень ионной бомбардировки растущей пленки. Это очень полезно при определении оптимального уровня бомбардировки для конкретных процессов.

Область моделирования рассматриваемой системы магнетронного распыления постоянного тока поясняется (рисунок 4) величиной плотности магнитного потока. Магниты создают локализованное около катода поле с дугообразными силовыми линиями, образующих туннельные своды. Плазма при этом локализуется около катода в области «магнитных туннелей», где максимальна напряжённость магнитного поля, параллельного катодной поверхности [5].

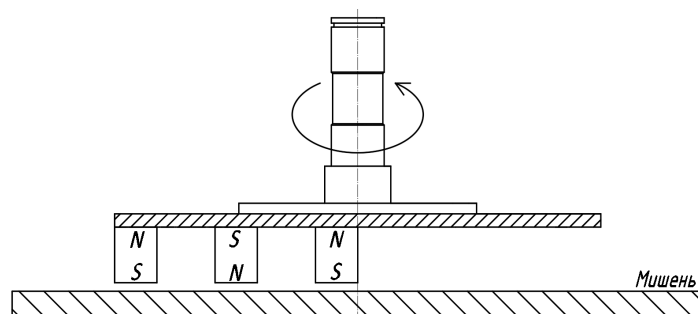


Рисунок 3 – Схема магнетрона с вращающейся магнитной системой

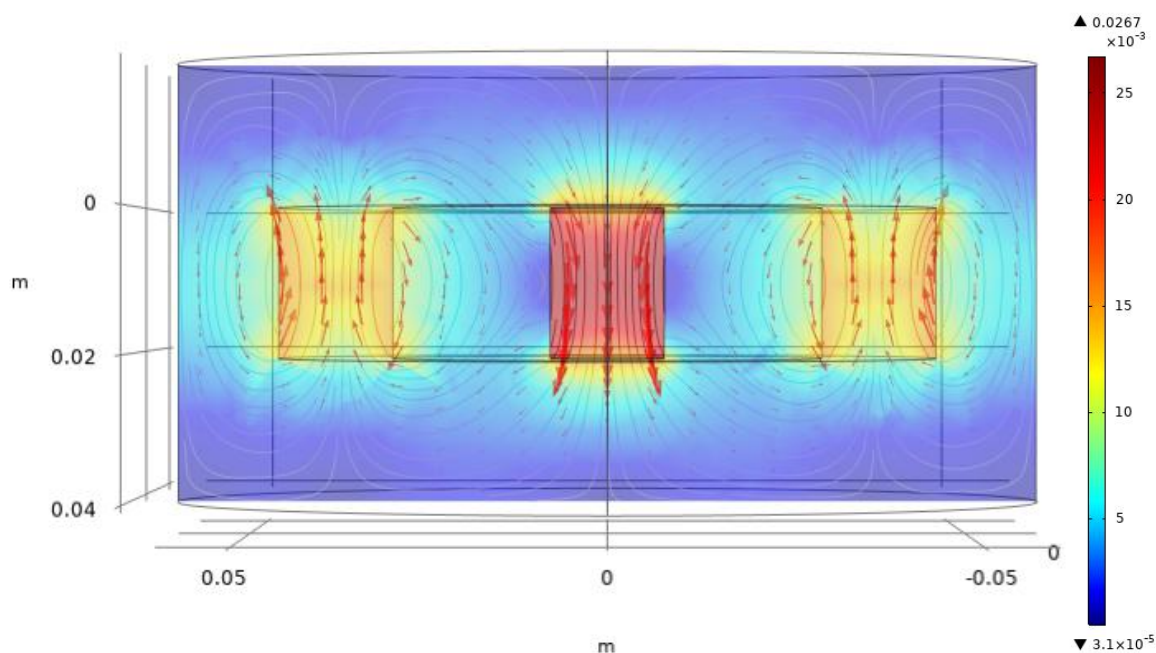


Рисунок 4 – Распределение плотности магнитного потока в магнетронной распылительной системе

Заключение. В данной статье система магнетронного распыления была исследована с использованием инструмента 3D-моделирования Autodesk Inventor и COMSOL – программного обеспечения для мультифизического моделирования. Используя значения измерений, формируется и моделируется 3D-дизайн. Трехмерная модель и визуализация распределения плотности магнитного потока в системе магнетронного напыления подтвердили, что полученные проектные расчеты и результаты предложенного метода расчета магнетрона относительно хорошо согласуются.

Список литературы

1. S. Swann. *Phys Technol.*, 19 (2), 67 (1988).
2. J T Gudmundsson 2020 *Plasma Sources Sci. Technol.* 29 113001.
3. *Инновационные технологии и оборудование нанотехнологий / А.П. Достанко [и др.]; под ред. акад. А.П. Достанко.* – Минск: Беларуская навука, 2020. – 260 с.
4. Удовиченко, С. Ю. Пучково-плазменные технологии для создания материалов и устройств микро- и нанoeлектроники: учебное пособие. В 3 ч. Ч. 1 / С. Ю. Удовиченко // Тюмень: Тюменский государственный университет, 2014. – 85с.
5. Кузьмичёв, А.И. *Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления.* - К.: Аверс, 2008. - 244 с.

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

SIMULATION OF A MAGNETRON SPUTTER SYSTEM BY CONSTRUCTION CHARACTERISTICS TO OPTIMIZE THE PROCESS OF THIN FILMS DEPOSITION

Nguyen V.T.A.

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

Golosov D.F. – PhD, associate professor, leading researcher of Center 2.1

Annotation. This paper simulates a magnetron sputtering system based on main design features to visualize the thin film formation process. The article presents the main design features of the magnetron sputtering system that affect the speed and quality of sputtering, contributing to an increase in the productivity of thin film deposition, as well as reducing operating costs.

Keywords: magnetron system, magnetron sputtering, rotating structure