

УДК 533.9.924, 621.793.18

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВА МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ ПУТЕМ ПОДБОРА И МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНФИГУРАЦИИ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ

Доломанжи Александр Антонович⁽¹⁾, Семочкин Александр Иванович⁽²⁾

Аспирант 1 года обучения⁽¹⁾, студент 2 курса магистратуры⁽²⁾

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: А.И. Беликов,

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день системы магнетронного распыления (МР) широко используются в технологиях нанесения тонких пленок, в частности, в электронной, оптической промышленности, а также в машиностроении за счет более высоких скоростей осаждения по сравнению с иными методами формирования покрытий. МР системы основаны на возбуждении объемного электрического разряда в разреженной газовой среде, в области с неоднородными скрещенными электрическими и магнитными полями. Более высокая скорость осаждения обусловлена эффективным захватом вторичных электронов магнитным полем в приповерхностной области распыляемой мишени. Это увеличивает плотность плазмы и, следовательно, увеличивает поток бомбардирующих ионов, участвующих в распылении [1].

Одним из важнейших аспектов систем магнетронного распыления является возможность изменять и контролировать в широком диапазоне параметры плазмы при нанесении покрытий. Требования к контролируемым параметрам плазмы и рабочим режимам МРС зависят от конкретной задачи и требований, предъявляемых к режимам нанесения тонкопленочных покрытий. Для формирования оптимальной структуры материала покрытий важен ряд основных параметров магнетронных систем, таких как, напряжение на катоде-мишени, ток разряда, плотность тока на мишени, удельная мощность, величина индукции магнитного поля, область магнетронного разряда, работоспособность магнетрона при более низких давлениях, скорость распыления, равномерность магнитных полей и энергия бомбардирующих ионов [2].

В настоящее время главной проблемой магнетронных распылительных систем традиционной магнитной конфигурации является ограниченная зона интенсивного распыления, зона эрозии мишени из-за ограниченной площади, на которой происходит захват вторичных электронов, а также недостаточно низкое рабочее давление [3]. Актуальной задачей является расширение пространственной области магнетронного разряда за счет увеличения объема захвата вторичных электронов, а также снижение рабочего давления, позволяющее управлять параметрами пленок. Для функционирования МР системы при более низком давлении необходимо преодолеть ограничения связанные с физическими условиями формирования аномального тлеющего разряда посредством увеличения остаточной магнитной индукции в приповерхностной области распыляемой мишени. Магнитное поле существенно влияет на увеличение пути электронов от катода к аноду, а также увеличивает количество ионизирующих столкновений.

ПРОЕКТНАЯ ЧАСТЬ

Целью данной работы являлось моделирование магнитных полей для различных конфигураций магнитной системы устройства магнетронного распыления и анализ влияния конструкции магнитопровода, количества и расположения магнитов на пространственное распределение и величину магнитной индукции в приповерхностной области распыляемой мишени. Моделирование магнитной системы проводилось в программной среде “Comsol”, которая позволяет получить распределение значений магнитной индукции над поверхностью мишени. Анализ конструкций с разным количеством магнитов необходимо для выбора варианта с предпочтительной конфигурацией магнитного поля над поверхностью мишени.

Было рассмотрено и проанализировано 5 вариантов конфигурации магнитной системы. Основными параметрами при моделировании магнитной системы были конструкция и магнитная проницаемость используемых материалов (таблица 1). В качестве варьируемых параметров были выбраны: высота магнитопровода относительно основания магнетрона, толщина магнитопровода и количество магнитов.

Таблица 1. Материалы магнитной системы.

Материал	Магнитная проницаемость
Основание: Сталь – 12Х18Н10Т	100
Корпус: Медь – М1	1
Магнитопровод: Сталь – 10895	3000
Магниты: SmCo – КЦ25ДЦ-240 Остаточная магнитная индукция, Вг – 1,1Тл	1,1

При выборе количества периферийных магнитов был проанализирован и учтен опыт эксплуатации имеющейся магнетронной распылительной системы, используемой в составе универсальной вакуумной установки кафедры МТ-11 «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ имени Н. Э. Баумана, а также ее модифицированный аналог. Периферийный магнит в обеих схемах расположен на диаметре 66 мм (рисунок 1). Он состоит из набора цилиндрических магнитов диаметром 10 мм и высотой 14 мм. Диаметр центрального магнита составляет 25 мм при высоте 14 мм. Моделирование магнитных систем проводилось на основе варианта, в котором присутствовали основание и корпус, и, таким образом учитывалось их влияние на величину магнитной индукции. Результаты моделирования показали, что максимальное значение магнитной индукции при увеличении количества периферийных магнитов с 13 до 18 штук возрастает с 95 мТл до 110 мТл на радиальной координате мишени 20 мм, при этом для значений индукции магнитного поля более 100 мТл наблюдается увеличение ширины зоны таких значений (рисунок 1).

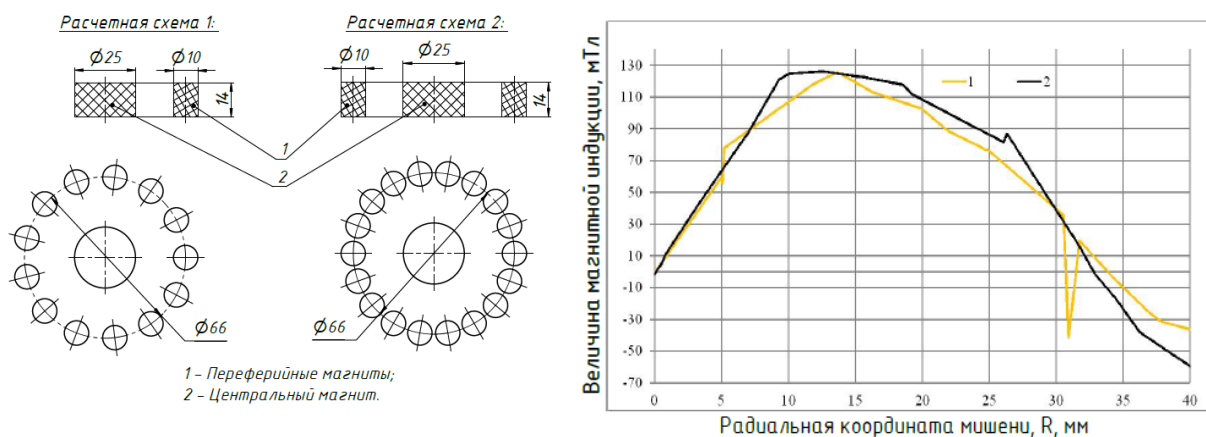


Рисунок 1 – Расчетные схемы магнитных систем с 13-ю (№1) и 18-ю (№2) периферийными магнитами и графики распределения магнитной индукции

Так как магнитопровод используется для концентрации магнитного поля, то необходимо провести моделирование для различных вариантов его конструкции и сравнить результаты с результатами, полученными для вариантов без магнитопровода и оценки степени его влияния на распределение магнитного поля. В качестве возможных вариантов конструкции магнитопровода были предложены следующие, отраженные в трех вариантах расчетных схем (рисунок 2).

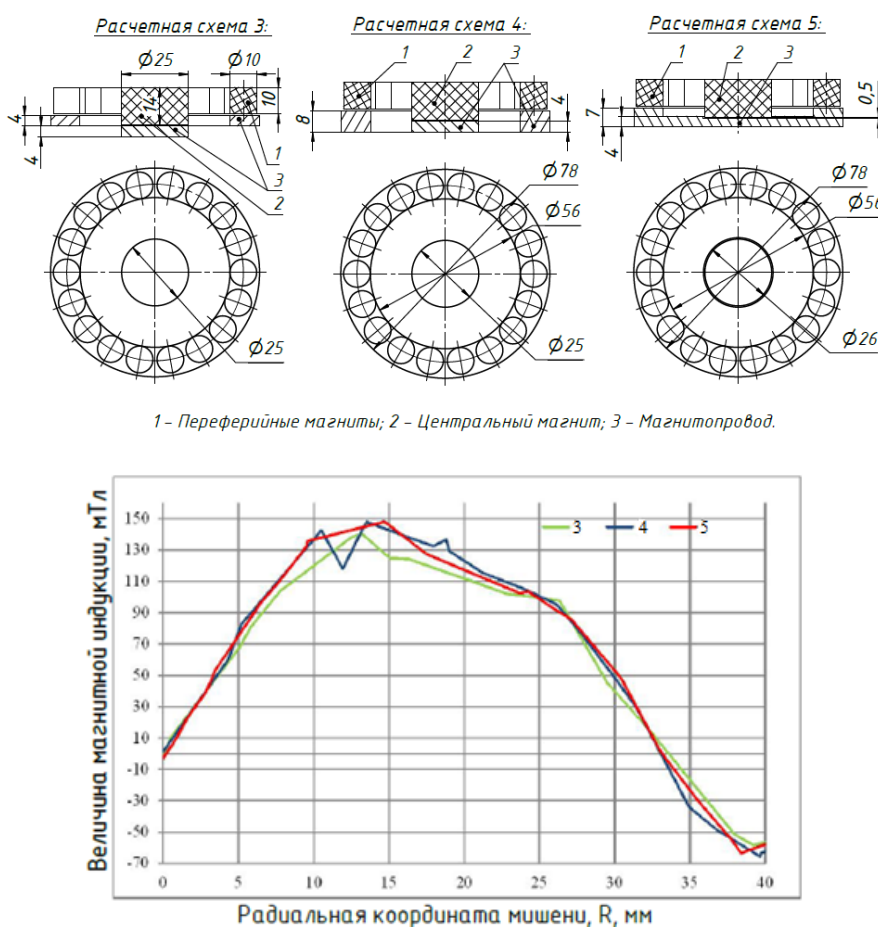


Рисунок 2 – Расчетные схемы для разных конфигураций магнитопровода и графики распределения магнитной индукции на поверхности мишени

Анализ результатов моделирования показал, что конструкция и толщина магнитопровода не оказывают существенного влияния на величину магнитной индукции, однако отсутствие магнитопровода снижает максимальное значение магнитной индукции со 148 мТл до 128 мТл и уменьшает ширину зоны повышенной индукции магнитного поля с 18 мм до 14 мм.

Основываясь на результатах моделирования для использования в разработке конструкции МРС был выбран вариант магнитной системы с цельным магнитопроводом и периферийным магнитом, включающим 18 магнитов диаметром 10 мм и высотой 10 мм (рисунок 3).

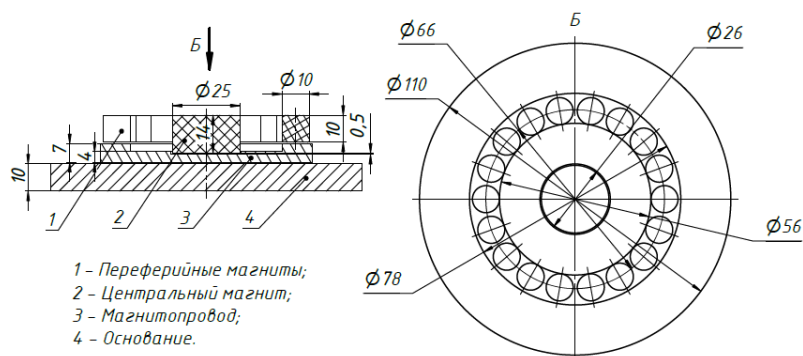


Рисунок 3 – Оптимальный вариант конфигурации магнитной системы МРС

РЕЗУЛЬТАТЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проделанной работы и моделирования можно сделать следующие выводы: увеличение количества периферийных магнитов с 13 до 18 штук приводит к увеличению ширины зоны повышенной индукции магнитного поля (с величиной более 100 мТл). Использование в конструкции магнитной системы магнитопровода увеличивает магнитную индукцию в области мишени до 148 мТл и расширяет область повышенной индукции магнитного поля.

Спроектированная магнитная система обеспечивает повышение эффективности распыления и использования материала мишени за счет расширения области магнетронного разряда, снижения рабочего давления и повышения равномерности толщины наносимых тонких пленок.

В дальнейшем планируется изготовление магнетронной распылительной системы на основе результатов моделирования, измерение фактических параметров магнитного поля над поверхностью мишени, а также проведение серии экспериментов по распылению мишеней дисульфида молибдена на низких давлениях и анализу свойств полученных тонкопленочных покрытий.

Литература

- 1.. M. A. Lieberman and A. J. Lichtenberg, Principles of Plasma Discharges and Materials Processing (Wiley, New York, 1994), p. 373.
2. M. Misina, L. R. Shaginyan, M. Macek, and P. Panjan, Surf. Coat. Technol. 142–144, 348 (2001).
3. L. Gu and M. A. Lieberman, J. Vac. Sci. Technol. A 6, 2960 (1988).