

## УДК 537.612.2

**РАЗРАБОТКА МАЛОГАБАРИТНОГО МАГНЕТРОНА С ПОВЫШЕННОЙ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИЕЙ**Ирина Валерьевна Михайлова<sup>(1)</sup>, Селби Хыдырова<sup>(2)</sup>, Дарья Витальевна Пасечникова<sup>(3)</sup>*Магистр 1 года<sup>(1)</sup>, магистр 2 года<sup>(2)</sup>, студент 3 курса<sup>(3)</sup>,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: Д.Д. Васильев,  
старший преподаватель кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Методы осаждения тонких пленок путем ионно-плазменного распыления получили широкое распространение благодаря высокой равномерности получаемых покрытий, отсутствию капельной фазы и возможности нанесения сплавов и тугоплавких материалов. Преимуществом магнетронного распыления, по сравнению с катодным и триодным, является высокая плотность плазмы вблизи поверхности катода-мишени благодаря скрещенным магнитным и электрическим полям, что позволяет достигать больших плотностей ионного тока при меньших рабочих давлениях и, соответственно, обеспечивать высокие скорости распыления. Плотность плазмы при магнетронном распылении напрямую зависит от величины магнитной индукции.

Для установки ВУП-11М лаборатории «Вакуумные технологии и объекты наноинженерии» разрабатывается новая магнетронная распылительная система с двумя магнетронами для формирования двухкомпонентных покрытий [1]. В связи с конструкцией камеры размер мишеней магнетронов выбран 2". При таком размере магнетронов сложно достичь высокого значения магнитной индукции, порядка 120 мТл. Таким образом, целью работы является разработка малогабаритного магнетрона с повышенной магнитной индукцией для установки ВУП-11М.

Величина и форма магнитного поля магнетрона зависит от используемой магнитной системы (МС). Рассмотрены магнетроны с лучистой (табл. 1, магнетрон №1) [2] и кольцевой (магнетроны №2, 3, 4) МС. Лучистая МС состоит из 12-ти магнитов, 6 из которых располагаются в форме лучей. Кольцевая МС состоит из двух магнитов: центрального и кольцевого. По измерению тангенциальной составляющей магнитной индукции магнетронов миллитесламетром на поверхности магнетрона и на высоте 4 мм от него на радиусе магнетрона 10 мм (табл. 1) видно, что на поверхности магнетрона в среднем у кольцевой и лучистой систем величина магнитной индукции примерно одинакова, а на высоте 4 мм от поверхности магнетрона лучевая МС (№1) превосходит кольцевую МС (№2, 3, 4). Однако, измерение вольт-амперной характеристики (ВАХ) магнетронов с лучистой и кольцевой МС показало, что при напряжении 575 В у магнетрона с лучистой МС ток 400 мА, а у магнетрона с кольцевой МС в 4 раза больше. Низкие значения токов у лучистой МС связаны с неравномерностью магнитного поля, вызванной особенностью конструкции МС. Таким образом, кольцевая МС более подходит для применения в магнетронах.

Таблица 1. Значения тангенциальной составляющей магнитной индукции магнетронов

Высота, мм	$\bar{B}$ (№1), мТл	$\bar{B}$ (№2), мТл	$\bar{B}$ (№3), мТл	$\bar{B}$ (№4), мТл
0	137,4	109,3	68,7	157,0
4	113,0	58,3	37,7	72,7

Важным параметром для МС является материал магнитов. Проведено сравнение магнетронов с неодимовым магнитом из материала NbFeB (№2) и самарий-кобальтовым IV группы из сплава Sm-Co-FeCu-Zr (№3). Точная марка магнита второго магнетрона

неизвестна. По таблице 1 видно, что величина магнитной индукции второго магнетрона выше магнитной индукции третьего магнетрона. Это различие связано с величиной остаточной индукции магнитов: у неодимовых – от 11,7 до 14,8 кГс, а у самарий-кобальтового IV группы – 10,7 кГс. Чем выше величина остаточной индукции, тем сильнее магнит. Самарий-кобальтовый магнит IV группы является самым сильным магнитом своего типа, но он все равно уступает неодимовым магнитам. Следовательно, для магнетрона необходимо использовать более сильный магнит, то есть неодимовый. Выберем неодимовый магнит среднего класса N45 с остаточной индукцией 13,5 кГс, поскольку он сильный и доступный по цене.

В установке ВУП-11М установлен магнетрон МАК-2 (№2) с кольцевой МС, неодимовыми магнитами и размером мишени 2”. Магнетрон обладает высокой магнитной индукцией (табл. 1) и экспоненциально возрастающей ВАХ. Новый разработанный магнетрон NE-50-1 (№4) также имеет кольцевую МС и неодимовые магниты N45. Поэтому проведено сравнение магнитной индукции и магнитного поля двух магнетронов с идентичными конструкциями. По таблице 1 видно, что магнитная индукция магнетрона NE-50-1 (№4) выше, чем у магнетрона МАК-2 (№2). Магнитное поле магнетронов измерялось с помощью опилок. По результатам измерений форма магнитного поля у магнетронов совпадает. Значит, ВАХ магнетрона NE-50-1, предположительно, будет иметь выше значения токов при тех же напряжениях, что будет связано с больше плотностью плазмы.

Таким образом, выбрана форма магнетронной системы для магнетрона – кольцевая, в связи с лучшей ВАХ по сравнению с лучистой МС, и материал магнитов – неодимовый N45, в связи с более высоким значением магнитной индукции по сравнению с самарий-кобальтовым. Разработанный магнетрон NE-50-1 превосходит свой аналог МАК-2 по значению тангенциальной составляющей магнитной индукции на ~20% на высоте 4 мм.

В дальнейшем планируется измерить ВАХ разработанного магнетрона NE-50-1 и сравнить с ВАХ магнетрона МАК-2.

## Литература

1. Михайлова И.В., Мамонтова В.А., Хыдырова С.Ю., Акишин М.Ю., Васильев Д.Д., Моисеев К.М. Разработка магнетронной распылительной системы с двумя источниками для формирования ультратонких покрытий WSi для SNSPD. // Научно-технический журнал Наноиндустрия. Спецвыпуск. – 2020, № 2s, т. 13. – С. 39–46.
2. Макарова М.В., Васильев Д.Д. Моделирование магнитной системы магнетрона НМСА-2. // Сборник трудов конференции «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы – 2016». – 2016. – С. 274–278.