

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ С ДВУМЯ ОБЛАСТЯМИ ПЛАЗМЫ ДЛЯ ЖИДКОФАЗНОГО МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

А.А. Храмова

А.Р. Матанин

Д.Д. Васильев

annakhramova3@gmail.com

alexei_matanin@mail.ru

d.d.vasiliev@ya.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрен один из способов повышения индукции магнитного поля, создаваемого магнетроном, для дальнейшего осуществления МРС из жидкой фазы. Исследовано поведение магнитного поля системы двух цилиндрических соосных магнитов при изменении расстояния между ними. Приведена конструкция магнитной системы, формирующей две области плазмы, способной увеличить индукцию магнитного поля над поверхностью мишени. Выполнен сравнительный анализ магнитных полей магнитной системы с двумя магнитными областями и классической магнитной системы с одной областью плазмы. Получены количественные данные, позволяющие судить об усилении магнитного поля.

Ключевые слова

Жидкофазное магнетронное распыление, индукция магнитного поля, магнитная система с двумя областями плазмы, несбалансированная магнитная система

Поступила в редакцию 14.06.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Введение. В настоящее время существует несколько методов нанесения тонких пленок в вакууме. Одним из наиболее распространенных является метод магнетронного распыления. Однако к недостаткам данного метода относятся низкие скорости осаждения пленок и их относительно невысокая чистота. Магнетронное распыление из жидкой фазы позволяет испарять изолированную от охлаждаемого магнетрона мишень вдобавок к ее распылению, что значительно повышает скорость осаждения. Еще одним достоинством этого метода распыления является прохождение материала через плазму, вследствие чего происходит ионизация испаряемого материала, что позволяет влиять на характеристики пленки потенциалом смещения, подаваемым на подложку. Также при проведении процесса в режиме самораспыления вследствие высокого давления насыщенных паров материала мишени возможно прекратить подачу рабочего газа, что повышает качество пленки и снижает количество примесей в ней [1, 2].

Однако для реализации распыления из жидкой фазы мишень изолируют от охлаждаемого корпуса магнетрона посредством тигля, в котором происходит процесс плавления мишени. Вследствие наличия зазора между тиглем и магнетроном, толщины тигля и мишени магнитная индукция уменьшается на поверхности мишени, что не обеспечивает достаточного значения ионного тока

для плавления мишени. Поэтому целью данной работы является повышение индукции магнитного поля на поверхности мишени.

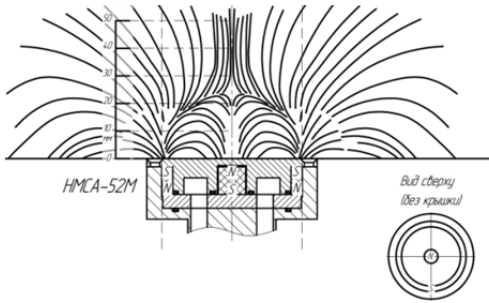


Рис. 1. Конструкция магнитной системы и экспериментально полученное распределение магнитного поля магнетрона

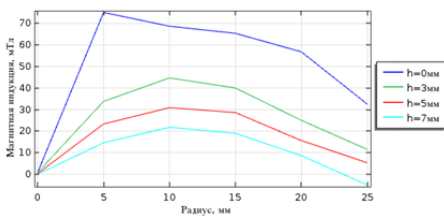
Задачи данной работы — разработка магнитной системы, способной повысить индукцию магнитного поля имеющейся МРС, теоретическое и экспериментальное исследование распределений магнитных полей, создаваемых обеими системами, а также анализ полученных значений и сравнение разработанной магнитной системы с уже имеющейся.

Эксперименты проводили в лаборатории кафедры «Электронные технологии в машиностроении». На установке МВТУ-11-1МС реализован метод жидкофазного распыления на магнетроне HMCA-52M производства АО «НИИТМ» с диаметром мишени 50 мм. Магнитная система магнетрона состоит из центрального цилиндрического и кольцевого магнитов, помещенных в корпус магнетрона (рис. 1).

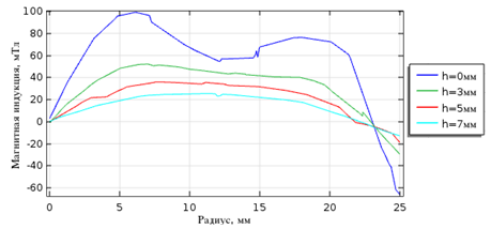
Магнитное поле магнетрона HMCA-52M построено с использованием металлических опилок.

Магнитное поле показывает несбалансированность магнитной системы, что характеризуется неравенством потоков, выходящих из кольцевого магнита и входящих в цилиндрический (см. рис. 1) [3]. Преимуществами магнитных систем данного типа является увеличение ионного тока на подложке и возможность управления свойствами осаждаемых покрытий с использованием ионной бомбардировки [4].

Магнитное поле магнетрона HMCA-52M построено с использованием металлических опилок. В ходе эксперимента с помощью миллitesламетра определены значения тангенциальной составляющей магнитной индукции магнетрона на высоте 0, 3, 5 и 7 мм (рис. 2, а). Магнитная система магнетрона построена и рассчитана методом конечных элементов с помощью компьютерного моделирования. Получены графики распределения магнитной индукции над поверхностью магнетрона (рис. 2, б).



а



б

Рис. 2. Графики зависимости тангенциальной составляющей индукции магнитного поля от расстояния до центра магнетрона, полученные экспериментально (а) и при моделировании (б)

Моделирование показало, что формы графиков совпадают. Погрешность пиковых значений индукции на разных высотах составляет 0...30 %. На основании полученных графиков можно сделать вывод о том, что компьютерное моделирование с точностью свыше 70 % отображает действительное распределение магнитного поля заданной системы. Поэтому последующий сравнительный анализ характеристик магнитных полей различных магнитных систем проводили с помощью компьютерного моделирования.

Проведено исследование зависимости индукции магнитного поля двух соосных цилиндрических магнитов (рис. 3) от расстояния между их осями, равного 10, 15, 25 и 35 мм (рис. 4). Исследование показало, что при приближении цилиндров магнитная индукция между ними увеличивается.

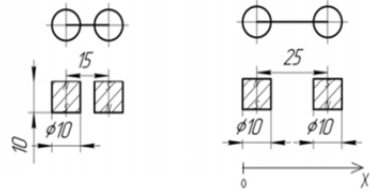


Рис. 3. Система из двух цилиндрических соосных магнитов

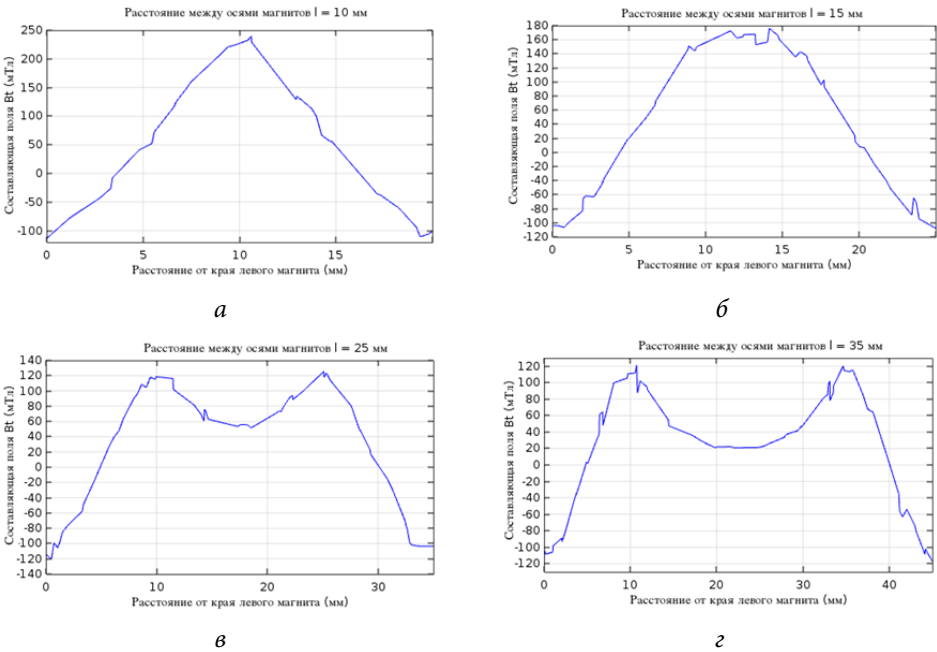


Рис. 4. Зависимости индукции магнитного поля от расстояния от края левого магнита при различном расстоянии между осями магнитов:

a-g — *e* равно 10, 15, 25 и 35 мм соответственно

На основании полученных результатов сделано предположение, что для повышения магнитной индукции магнетрона НМСА-52М следует сблизить имеющиеся в системе магниты. Основываясь на том, что конструкция и размеры магнетрона позволяют не только сблизить кольцевой и центральный магниты, но и добавить дополнительное внешнее кольцо, что также увеличивает индукцию

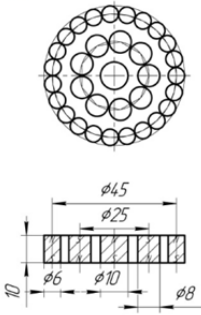


Рис. 5. Разработанная магнитная система

магнитного поля на периферии магнетрона, смоделирована магнитная система с двумя зонами распыления. Диаметры периферийных магнитов были подобраны таким образом, чтобы суммарная площадь торцов цилиндров равнялась площади торца кольцевого магнита. Диаметры промежуточного кольца из магнитов рассчитаны как среднее арифметическое между центральным и периферийным диаметрами цилиндров (рис. 5). Затем смоделирована разработанная магнитная система на базе магнетрона НМСА-52М и проведен сравнительный анализ характеристик магнитного поля этих двух систем (рис. 6, 7).

Моделирование показало, что при добавлении второго кольца магнитов между существующими максимальное увеличение тангенциальной составляющей индукции магнитного поля наблюдается на поверхности магнетрона и составляет 100 %. Однако при увеличении высоты относительно крышки магнетрона разница магнитной индукции между магнетронами уменьшается. На высоте 3, 5 и 7 мм от крышки магнетрона ее значения возросли на 64, 45 и 42 % соответственно.

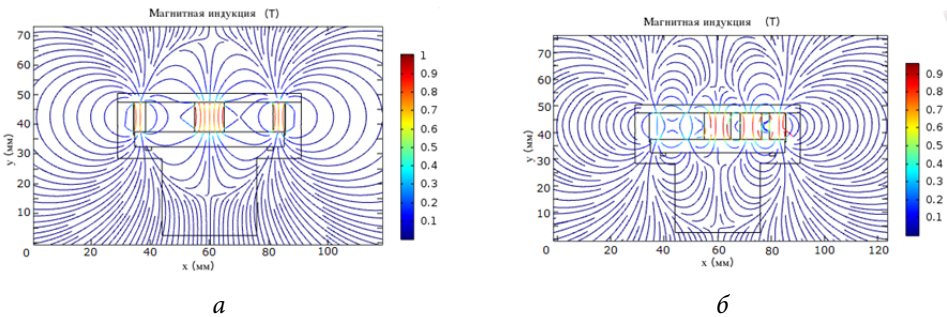


Рис. 6. Распределение магнитного поля имеющейся (а) и разработанной (б) магнитных систем

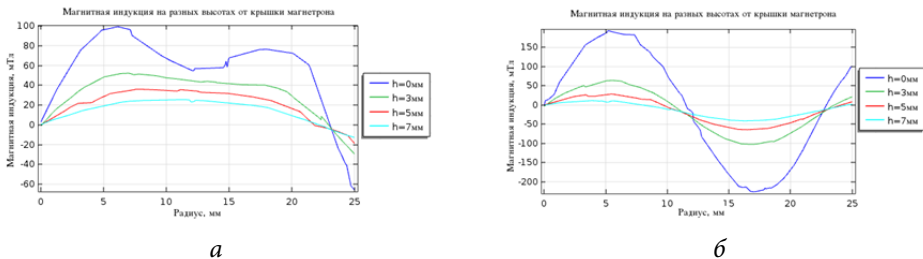


Рис. 7. Зависимости тангенциальной составляющей индукции магнитного поля от расстояния до центра магнетрона имеющейся (а) и разработанной (б) магнитных систем

Заключение. На основе выполненных исследований можно сделать следующие выводы: разработанная конструкция магнитной системы на базе магне-

трона НМСА-52М повышает магнитное поле на поверхности магнетрона на 100 %, на высоте 7 мм относительно крышки магнетрона — на 42 %.

В дальнейшем планируется собрать магнетрон с разработанной магнитной системой и провести ряд экспериментов для изучения индукции магнитного поля и измерения ВАХ магнетронного распыления с жидкой фазой.

Литература

- [1] Данилин Б.С., Какурин М.В., Минайчев В.Е., Одинокое В.В., Сырчин В.К. Осаждение металлических пленок путем распыления из жидкой фазы. *Электронная техника. Сер. Микроэлектроника*, 1978, № 2, с. 84–87.
- [2] Тумаркин А.В., Ходаченко Г.В., Казиев А.В., Щелканов И.А., Степанова Т.В. Магнетронный разряд с расплавленным катодом. *Успехи прикладной физики*, 2013, т. 1, № 3, с. 276–282.
- [3] Свадковский И.В. Направления развития магнетронных распылительных систем. *Доклады БГУИР*, 2007, т. 5, № 2, с. 112–121.
- [4] Работкин С.В. *Нанесение прозрачных проводящих покрытий на основе оксида цинка методом магнетронного распыления*. Автореф. дис. ... канд. тех. наук. Томск, Институт сильноточной электроники, 2009, с. 7–8.

Храмова Анна Александровна — студентка кафедры «Электронные технологии в машиностроении», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Матанин Алексей Романович — студент кафедры «Электронные технологии в машиностроении», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Васильев Денис Дмитриевич — студент кафедры «Электронные технологии в машиностроении», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — К.М. Моисеев, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

DESIGNING A MAGNETIC SYSTEM WITH TWO PLASMA REGIONS FOR LIQUID-PHASE MAGNETRON SPUTTER DEPOSITION

A.A. Khramova

annakhramova3@gmail.com

A.R. Matanin

alexei_matanin@mail.ru

D.D. Vasilev

d.d.vasiliev@ya.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article considers a way of increasing the magnetic induction generated by a magnetron in order to subsequently perform liquid-phase magnetron sputter deposition. We studied the behaviour of the magnetic field generated by a system of two coaxial cylindrical magnets with a variable distance between them. We present a design of a magnetic system forming two plasma regions that is capable of increasing the magnetic induction above the target. We performed a comparative analysis of the magnetic fields generated by a system with two magnetic regions and a classic magnetic system featuring a single plasma region. The figures we obtained indicate an increase in magnetic field.

Keywords

Liquid-phase magnetron sputter deposition, magnetic induction, magnetic system forming two plasma regions, unbalanced magnetron

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

References

- [1] Danilin B.S., Kakurin M.V., Minaychev V.E., Odinkov V.V., Sychin V.K. Metal films deposition by diffusion from liquid phase. *Elektronnaya tekhnika. Ser. Mikroelektronika*, 1978, no. 2, pp. 84–87.
- [2] Tumarkin A.V., Khodachenko G.V., Kaziev A.V., Shchelkanov I.A., Stepanova T.V. Magnetron discharge with a melted cathode. *Uspekhi prikladnoy fiziki*, 2013, vol. 1, no. 3, pp. 276–282.
- [3] Svadkovskiy I.V. Development tendency of magnetron sputtering system. *Doklady BGUIR*, 2007, vol. 5, no. 2, pp. 112–121.
- [4] Rabotkin S.V. Nanesenie prozrachnykh provodyashchikh pokrytiy na osnove oksida tsinka metodom magnetronnogo raspyleniya. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Transparent conductive coating deposition by magnetron sputtering method. Abs. tech. sci. diss.]. Tomsk, IHCE publ., 2009, pp. 7–8.

Khramova A.A. — student, Department of Electron Beam Technologies in Mechanical Engineering, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Matanin A.R. — student, Department of Electron Beam Technologies in Mechanical Engineering, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Vasilev D.D. — student, Department of Electron Beam Technologies in Mechanical Engineering, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — K.M. Moiseev, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Electron Beam Technologies in Mechanical Engineering, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.