

Монтаж и запуск жидкофазного магнетрона НМСА-52 на установке МВТУ-11-1

© М.В. Макарова, М.А. Мартыненко, А.С. Бабурин, К.М. Моисеев

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Рассмотрена смоделированная в программном комплексе SolidWorks магнитная система жидкофазного магнетрона НМСА-52, смонтированного и запущенного на установке МВТУ-11-1. Приведено сравнение двух вариантов магнитной системы. Ряд экспериментов по запуску магнетрона проведен с различными вариациями мишени и разными условиями горения разряда. Определены лучшие режимы работы при запуске с тиглем и мишенью для жидкофазного распыления для новой магнитной системы. Анализ полученных результатов подтвердил необходимость продолжения работы по выведению магнетрона на жидкофазный режим с использованием блока увеличенной мощности.

Ключевые слова: жидкофазный магнетрон, моделирование магнитного поля, магнитная система, ионное распыление.

Один из способов нанесения тонких пленок — метод ионного распыления в магнетронных системах с жидкой мишенью. Этот метод отличается высокой скоростью осаждения, большой энергетической эффективностью, а также высокими показателями чистоты и адгезии. Скорость осаждения в данном случае складывается из двух составляющих: испарения и распыления [1–3].

Установлено, что для достижения стабильного режима работы магнетрона с жидкой мишенью необходимо использовать магниты с большей индукцией магнитного поля в магнитной системе [4, 5]. Для реализации данного метода нанесения на вакуумной установке МВТУ-11-1 лабораторией кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с ОАО «НИИТМ» разработан и изготовлен новый жидкофазный магнетрон НМСА-52, в котором в установленный на керамических прокладках тигель загружается мишень толщиной 3,75 мм (рис. 1).

Цель работы заключается в том, чтобы смонтировать магнетрон, отработать режимы зажигания разряда и обеспечить стабильное функционирование магнетрона.

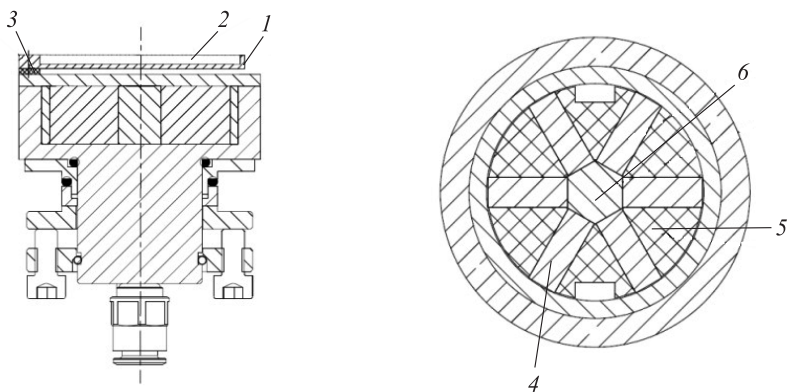


Рис. 1. Жидкофазный магнетрон НМСА-52:

1 — тигель; 2 — место под мишень; 3 — диэлектрические прокладки; 4 — изолятор;
5 — магниты; 6 — магнитовод

Сравнительный анализ систем НМСА-50 и НМСА-52. Согласно схеме, представленной на рис. 2, было измерено магнитное поле системы НМСА-52 с помощью миллесламетра, который измеряет только тангенциальную составляющую магнитной индукции магнитного поля (рис. 3).

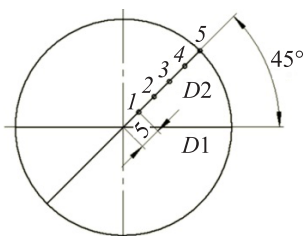


Рис. 2. Схема измерения магнитного поля

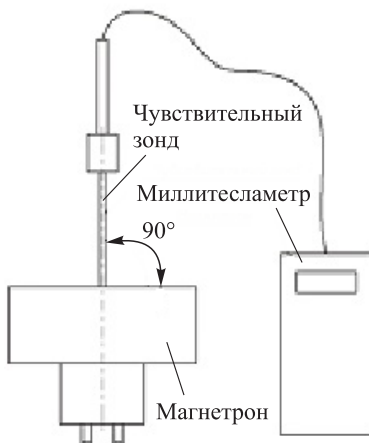


Рис. 3. Схема установки чувствительного зонда микротесламетра

Данные для сравнительного анализа систем максимальной высоты приведены в табл. 1. Все расчетные значения t меньше критического. Согласно критерию Стьюдента, который используется для сравнения средних значений, следует, что магнитные поля обеих систем на высоте $h = 7,75$ мм сопоставимы или одинаковы с уровнем значимости 0,01.

Таким образом, магнитное поле магнитной системы не изменилось.

Значения магнитной индукции систем НМСА-50 и НМСА-52

Расстояние от центра, мм	Среднее значение магнитного поля на различных расстояниях от центра, мТл		Среднеквадратичное отклонение S^2		Дисперсия $S_{\chi^2_2}$	Расчетное значение	Критическое значение (0,01; 2)
	НМСА-52	НМСА-50	НМСА-52	НМСА-50			
0	4,5	11,0	0,5	2,0	1,3	4,30	9,92
5	32,5	37,5	24,5	12,5	18,5	0,27	
10	43,0	52,5	2,0	12,5	7,3	1,31	
15	39,5	47,5	4,5	12,5	8,5	0,94	
20	29,5	31,5	4,5	24,5	14,5	0,14	

Моделирование магнитной системы НМСА-52. На рис. 4 представлена модель магнитного поля магнитной системы НМСА-52, выполненная в программном комплексе SolidWorks.

Значения магнитной индукции этой системы приведены в табл. 2.

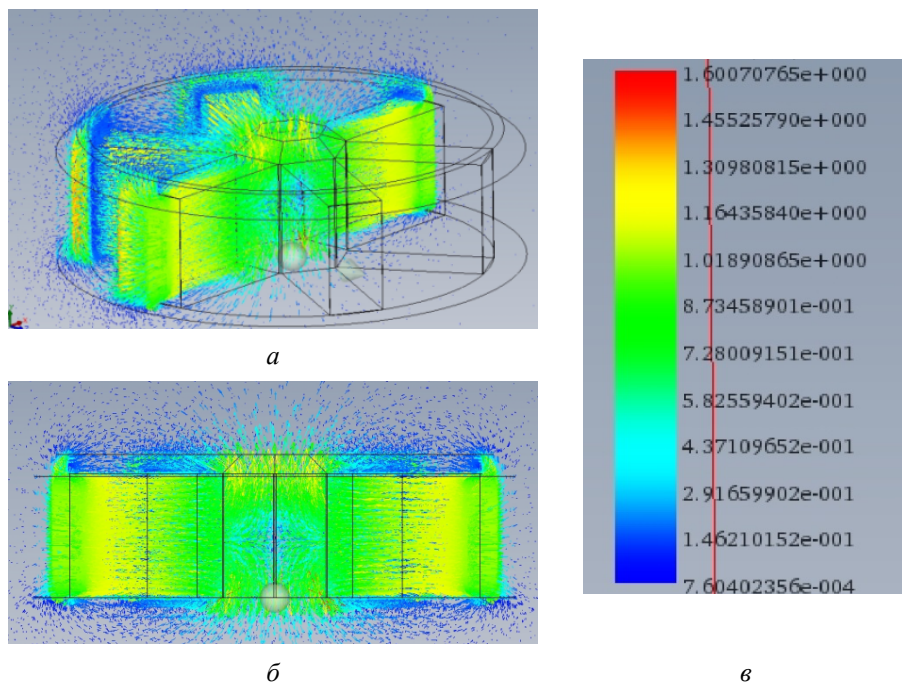


Рис. 4. Моделирование магнитной системы НМСА-52:

а, б — магнитная система с силовыми линиями; в — значения магнитной индукции, Тл

Таблица 2

Значения суммарной магнитной индукции, полученные при моделировании системы НМСА-52 в среде SolidWorks

Расстояние от центра, мм	Расчетные значения суммарной магнитной индукции, мТл
0	87
5	1000
10	43
15	14
20	1

Распределение магнитной индукции по мере удаления от центра представлено на рис. 5.

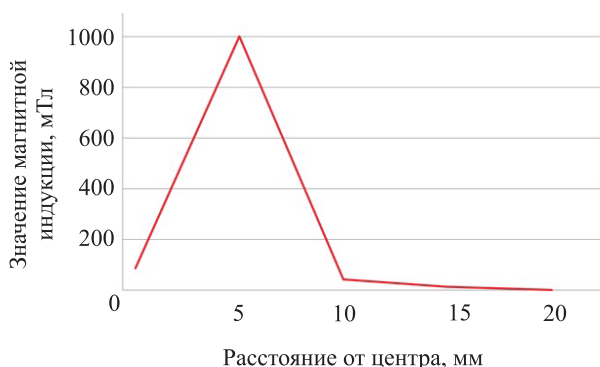


Рис. 5. Значения магнитной индукции, полученные в результате моделирования магнитной системы в среде SolidWorks

Поскольку миллитесламетр измеряет тангенциальную составляющую магнитного поля, сравним конфигурацию магнитного поля, полученного в процессе моделирования, и конфигурацию измеренного магнитного поля (рис. 6).

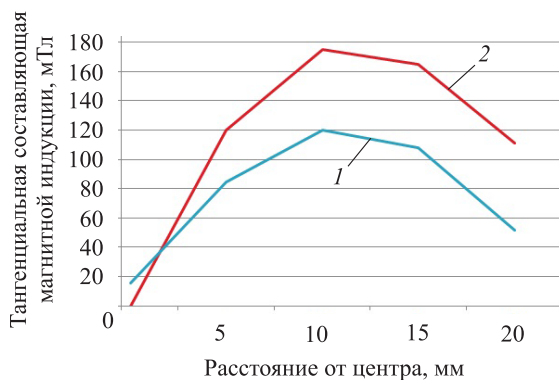


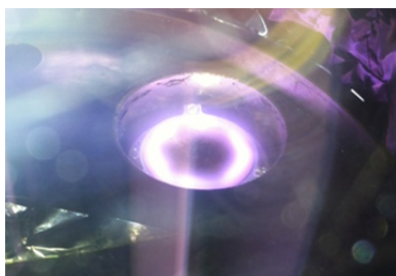
Рис. 6. Конфигурации измеренного магнитного поля (1) и магнитного поля модели (2) (тангенциальная составляющая)

Практическая часть. Проведен ряд экспериментов по запуску магнетрона с различными вариациями условий запуска. Результаты экспериментов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты серии экспериментов

Условия запуска магнетрона	Параметр	Результат
Тигель установлен через диэлектрические прокладки, загружена медная мишень толщиной 0.5 мм. Экран отсутствует. Источник ионов (ИИ) выключен	$P = 0,78$ Па, $U = 650$ В, Газ Ag = 1 200 мВ	Легко зажегся, через 3...5 с стал ярко гореть. На режим не выходит
Конфигурация та же, ИИ включен	$P = 0,8$ Па, $U = 650$ В, Газ Ag = 1 300 мВ	Зажегся. После выключения ИИ продолжил гореть. Горел до понижения напряжения до 450 В, после чего потух (рис. 7, а)
Конфигурация та же, ИИ включен. Мишень Cu, толщиной 2,75 мм	$P = 0,89$ Па, $U = 650$ В, Газ Ag = 1 300 мВ	Зажегся. После выключения ИИ продолжил гореть. Горел до понижения напряжения до 500 В
Тигель установлен через диэлектрические прокладки. Мишень Cu, толщиной 0,5 мм. Экран отсутствует, ИИ выключен	$P = 0,92$ Па, $U = 650$ В, Газ Ag = 1 450 мВ	Зажегся, практически вышел на режим, расплавил часть мишени (рис. 7, б)
Тигель установлен через ситалловые прокладки, толщиной 0,3 мм. Экран отсутствует. Мишень Cu, толщиной 3,75 мм, ИИ выключен	$I = 0,16$ А, $P = 1$ Па, Газ = 1 499 мВ	Разряд легко зажегся. Работа стабильная. Мишень постепенно раскалялась. В жидкую фазу не перешла (рис. 8)
Полная конфигурация. Диэлектрические прокладки, экран. Мишень Cu, толщиной 3,75 мм	Параметры различные	Не зажегся



а



б

Рис. 7. Горение плазмы при толщине мишени 0,5 мм (а) и расплавленная мишень толщиной 0,5 мм (б)



Рис. 8. Раскаленная мишень толщиной 3,75 мм при выключенном питании

Результаты. На установке МВТУ-11-1 смонтирован и запущен магнетрон НМСА-52. Полученная модель адекватно описывает поведение магнитного поля магнитной системы, но не показывает реального значения магнитной индукции в связи с тем, что неизвестна точная марка магнитов НМСА-52.

В ходе проведения экспериментов достигнуты определенные успехи в выведении магнетрона на жидкофазный режим: раскалена толстая мишень, чего не удалось сделать на магнетроне НМСА-50.

Анализ полученных результатов показывает, что необходимо продолжить работы по выведению магнетрона на жидкофазный режим с помощью блока АРЕL-М-1,5РDС, который обеспечивает большую мощность, чем блок, используемый в данном исследовании. Благодаря этому можно увеличить мощность, получаемую на катоде, и достигнуть жидкофазного режима.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Инструкция блока питания URL: <http://apelvac.com/f/37/92/Manual%20APEL-M-3PDC.pdf> (дата обращения 14.06.2015).
- [2] Войнов Р.Ю., Третьяков Р.С., Талаева Ю.С. *Исследование энергопотребления диодных распылительных систем с твердым и жидким катодом*. Томск, Томский политехнический университет, 2009, с. 3.
- [3] Кузьмичев А.И. *Магнетронные распылительные системы*. Москва, Изд-во Аверс, 2008, 244 с.
- [4] Макарова М. В., Бабурин А. С. Монтаж и запуск жидкофазного магнетрона НМСА50 на установке МВТУ-11-1. [Электронный ресурс]. *Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 7–10 апреля, 2015, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*. Москва, ООО «КванторФорм», 2015. URL: <http://studvesna.ru/?go=articles&id=1234> (дата обращения 14.06.2015).
- [5] Макарова М.В., Бабурин А.С. Измерение и моделирование магнитной системы жидкофазного магнетрона НМСА-50. [Электронный ресурс]. *Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 7–10 апреля, 2015, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*. Москва, ООО «КванторФорм», 2015. URL: <http://studvesna.ru/?go=articles&id=1237> (дата обращения 14.06.2015).

Статья поступила в редакцию 12.10.2015

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Макарова М.В., Мартыненко М.А., Бабурин А.С., Моисеев К.М. Монтаж и запуск жидкофазного магнетрона НМСА-52 на установке МВТУ-11-1. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2015, вып. 8.

URL: <http://engjournal.ru/catalog/mesc/meng/1434.html>

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на Восьмой всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России», Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 23–26 сентября 2015 г.

Макарова Мария Владимировна — студент 4-го курса кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

e-mail: kirishkaketli@mail.ru

Мартыненко Максим Алексеевич — студент 4-го курса кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Бабурин Александр Сергеевич — аспирант 1-го курса кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Моисеев Константин Михайлович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

e-mail: mkm430@ya.ru

Installation and start of a liquid-phased magnetron NMSA-52 on the installation BMSTU-11-1

© M.V. Makarova, M.A. Martynenko, A.S. Baburin, K.M. Moiseev

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The article considers a SolidWorks-model of magnetic system of liquid-phased magnetron NMSA-52, which was mounted and started on the installation BMSTU-11-1. We compared two variants of the magnetic system. A number of experiments on launching of the magnetron have been carried out with different variations of targets and different conditions of discharge. The best operation modes were determined when you start up with the crucible and the target for liquid-phase spraying for the new magnetic system. Analysis of the obtained results proved the necessity of continuing the work on the reaching a liquid-phase mode in the magnetron by using a unit of increased power.

Keywords: liquid-phased magnetron, modelling of magnetic field, magnetic system, ion spraying.

REFERENCES

- [1] *Guide to power unit.* Available at: <http://apelvac.com/f/37/92/Manual%20APEL-M-3PDC.pdf> (accessed 14 June 2015).
- [2] Voinov R.Yu., Tretyakov R.S., Talaeva Yu.S. *Issledovaniye energopotrebleniya diodnykh raspylitel'nykh sistem s tverdym i zhidkim katodom* [Study of power diode sputtering systems with solid and liquid cathode]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University, 2009, pp. 3.
- [3] Kuzmichev A.I. *Magnetronnyye raspylitel'nyye sistemy* [Magnetron sputtering systems]. Moscow, Avers Publ., 2008, 244 p.
- [4] Makarova M.V., Baburin A.S. *Montazh i zapusk zhidkofaznogo magnetrona NMSA-50 na ustanovke MVTU-11-1* [Installation and start of a liquid-phased magnetron NMSA-50 on the installation BMSTU-11-1]. [Electronic resource]. *Vserossiyskaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya "Studentcheskaya nauchnaya vesna: Mashinostroitel'nyye tekhnologii"*. *Materialy konferentsii, 7–10 aprelya, 2015, Moskva, MGTU im. N.E. Baumana* [All-Russian Scientific Conference "Student Scientific spring: Engineering technologies". Materials of the conference, 7–10 April, 2015, Moscow, BMSTU]. Moscow, JSC "KvantorForm", 2015. Available at: <http://studvesna.ru/?go=articles&id=1234> (accessed 14 June 2015).
- [5] Makarova M.V., Baburin A.S. *Izmerenie i modelirovanie magnitnoy sistemy zhidkofaznogo magnetrona NMSA-50* [Measuring and modeling of a magnetic system of the liquid-phased magnetron NMSA-50]. [Electronic resource]. *Vserossiyskaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya "Studentcheskaya nauchnaya vesna: Mashinostroitel'nyye tekhnologii"*. *Materialy konferentsii, 7–10 aprelya, 2015, Moskva, MGTU im. N.E. Baumana* [All-Russian Scientific Conference "Student Scientific spring: Engineering technologies". Materials of the conference, 7–10 April, 2015. Moscow, BMSTU]. Moscow, JSC "KvantorForm", 2015. Available at: <http://studvesna.ru/?go=articles&id=1237> (accessed 14 June 2015).

Makarova M.V., 4-year student of the Department “Electronic Technologies in Mechanical Engineering” at Bauman Moscow State Technical University.
e-mail: kirishkaketli@mail.ru

Martynenko M.A., 4-year student of the Department “Electronic Technologies in Mechanical Engineering” at Bauman Moscow State Technical University.

Baburin A.S., postgraduate student of the Department “Electronic Technologies in Mechanical Engineering” at Bauman Moscow State Technical University.

Moiseev K.M., Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Professor of the Department “Electronic Technologies in Mechanical Engineering” at Bauman Moscow State Technical University.
e-mail: mkm430@ya.ru