

МОДЕРНИЗАЦИЯ МАГНЕТРОННОГО УЗЛА УСТАНОВКИ ВУП-11М ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЁНОК

Хыдырова С.Ю., Гусейнов Б.Р., Лысов Л.Е., Моисеев К.М.

АННОТАЦИЯ

Проведено компьютерное моделирование магнитного поля магнетронной распылительной системы лабораторной установки ВУП-11М и рассчитан коэффициент разбалансированности магнетрона.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

МАГНЕТРОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ, ТОНКИЕ ПЛЁНКИ, СТЕПЕНЬ КРИСТАЛЛИЧНОСТИ, МАГНИТНОЕ ПОЛЕ, РАЗБАЛАНСИРОВАННЫЙ МАГНЕТРОН

UPGRADING THE MAGNETRON UNIT OF THE VUP-11M SETUP FOR CRYSTALLINE SUPERCONDUCTING FILMS FABRICATION

Hydyrova S. Yu., Guseynov B. R., Lysov L.E., Moiseev K.M.

ABSTRACT

A computer simulation of the magnetic field generated by the magnetron in the VUP-11M sputtering laboratory setup was conducted, and the imbalance factor was calculated in order to determine the optimal settings for enhancing its performance.

KEYWORDS

MAGNETRON SPUTTERING, THIN FILMS, CRYSTALLINITY, MAGNETIC FIELD, UNBALANCED MAGNETRON

Однофотонные детекторы на основе сверхпроводящей нанопроволоки (SNSPD) имеют большие перспективы своего применения в самом широком спектре технических областей, например, в квантовой криптографии и вычислениях, а также в медицинском оборудовании.

Основой SNSPD является чувствительный элемент, реагирующий на поглощение фотона и изготовленный из ультратонкой сверхпроводящей плёнки.

Одним из основных требований, предъявляемых к материалу чувствительного элемента является высокая температура сверхпроводящего перехода. Перспективными материалами для SNSPD являются сверхпроводники с кристаллической структурой типа A15, такие как Nb_3Ge , Nb_3Si , Nb_3Al , обладающие относительно высокой температурой сверхпроводящего перехода по сравнению с аморфными плёнками данных материалов.

Кристаллические плёнки Nb_3Ge со структурой A15 могут быть получены различными методами, однако предпочтительным является магнетронное распыление, которое обеспечивает более высокие температуры сверхпроводящего перехода, что связывают с примесями кислорода (около 1%) из остаточной атмосферы.

Повышение степени кристалличности формируемых плёнок при магнетронном распылении возможно следующими способами:

Нанесение на нагретую до 700...900 градусов в процессе осаждения подложку;

Термический отжиг полученных покрытий (для Nb-Ge отмечаются более низкие сверхпроводящие свойства в сравнении с осаждением на нагретую подложку);

Осаждение с ионным ассистированием;

Разбалансирование магнетрона;

Рассмотрим разбалансирование магнетрона как наиболее простой в реализации из перечисленных способов. Известны следующие способы увеличения разбалансированности магнетрона [2]:

1. Замена существующих магнитов на магниты с увеличенной магнитной индукцией;
2. Внедрение постоянного или переменного внешнего магнитного поля;
3. Изменение положения подложкодержателя относительно магнетронной системы.
4. Изменение полярности кольцевых и центральных магнитов;

При изменении полярности меняется геометрия магнитного поля: зеркальная система становится замкнутой. Системы с замкнутой конфигурацией магнитного поля обеспечивают наибольшие величины плотности ионного тока на подложку и отношения потока ионов к потоку нейтральных атомов, осаждающихся на подложке [2].

Воспользуемся ими следующим образом: увеличим степень разбалансировки магнетронов при открытой магнитной системе в соответствии с п.1, а затем сменим полярность магнитов и перейдём к магнитной системе закрытого типа.

При повышении разбалансированности магнетрона повышается плотность ионного тока к подложке, способствующего повышению степени кристалличности структуры [3] (см. Рис. 1).

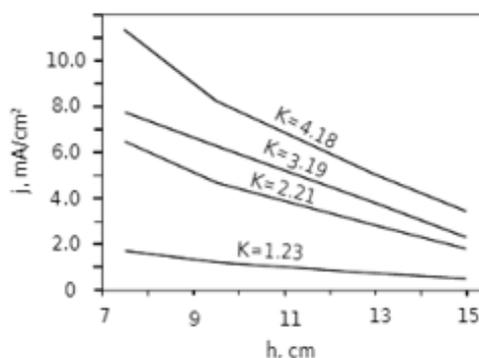


Рис. 1 Зависимость ионного тока от расстояния до подложки для систем с различными коэффициентами разбалансированности [3]

В лаборатории «Вакуумные технологии нанотехнологий» тонкие сверхпроводящие двухкомпонентные плёнки формируются методом совместного магнетронного распыления из двух источников на установке ВУП-11М. Более подробно конструкция магнетронного узла описана в работе [4].

Для магнетронов NE-50 установки ВУП-11М рассчитанный коэффициент разбалансированности составляет системы $K = 4.8$, при этом материал центрального магнита – неодимовый магнит марки N42, кольцевого – неодимовый магнит марки N45.

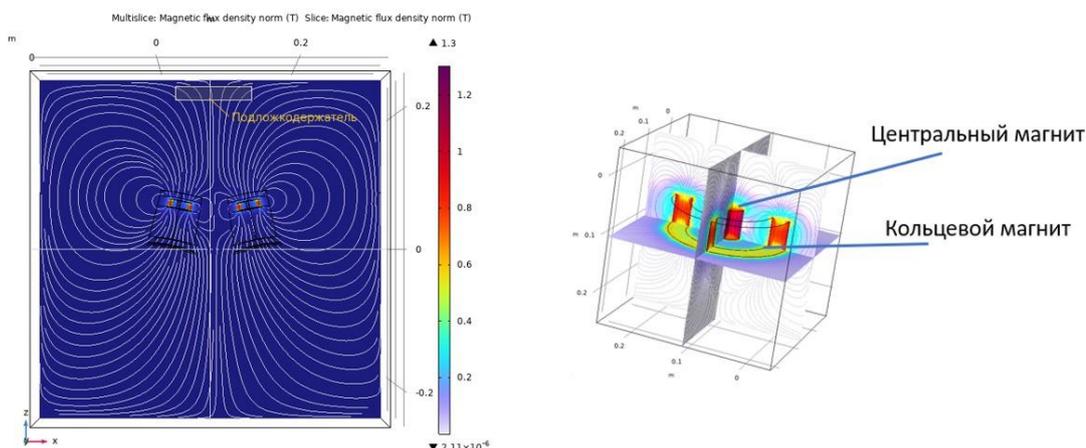


Рис.2 Магнитная система

При моделировании силовых (Рис. 2) линий магнитного поля обнаружено, что в середине подложкодержателя поле терпит разрыв, что существенно влияет на однородность ионного тока, а значит, и на структуру формируемой плёнки.

Были рассмотрены различные материалы и получены соответствующие значения магнитной индукции и коэффициента разбалансированности системы для каждого из вариантов. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры центрального магнита

Материал	Марка	Коэффициент К	Индукция
NdFeB	N35	5.2	1.05 Тл
AlNiCo	ВМAsa-60/6	6.5	1.38 Тл
AlNiCo	ВМAsa-80/12	8.08	1.11 Тл
AlNiCo	ВМAsa-44/16	12.9	0.83 Тл
AlNiCo	ВМAsi-10/4	26	0.67 Тл

Магнит марки ВМAsa-44/16 был выбран как наиболее оптимальный вариант, так как при более высоких К есть вероятность изменения стандартных параметров процесса нанесения.

В новой системе, изображённой на Рис. 3, была изменена полярность магнитов, а также материал центрального магнита: с N42 на магнит AlNiCo марки ВМAsa-44/16. Полученное в ходе моделирования значение коэрцитивной силы (45 кА/м) не превосходит допустимого (143 кА/м). Кроме того, значение точки Кюри у нового магнита - 500 °С, что значительно выше значения предыдущего магнита (80 °С).

. Теперь магнитное поле имеет замкнутую конфигурацию, а коэффициент разбалансированности К стал равен 12,9.

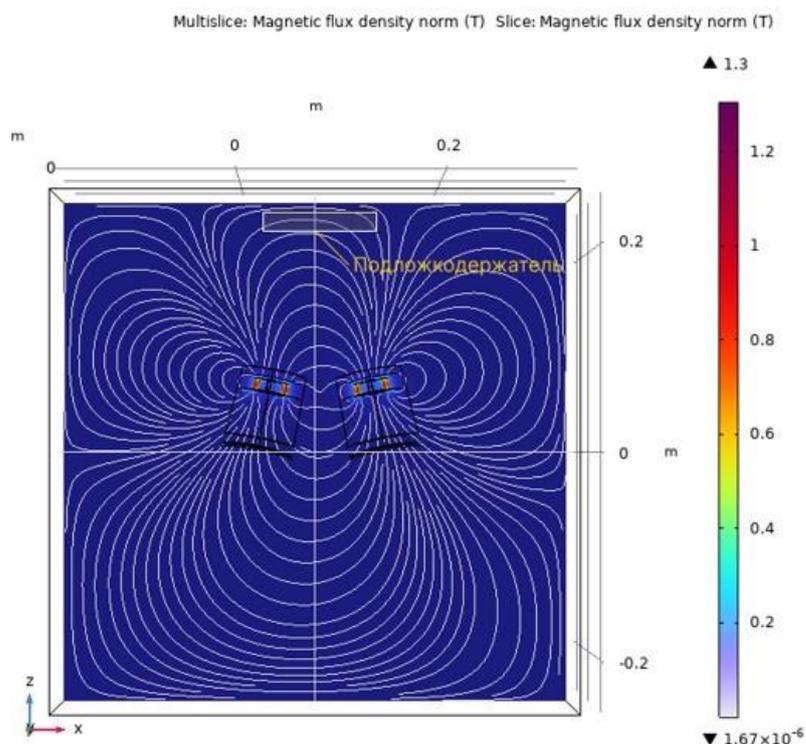


Рис.3 Изменённая магнитная система

Коэффициент разбалансированности можно было увеличить до 26, но в таком случае есть вероятность, что магнетронный разряд будет формироваться при более высоких давлениях, что может значительно повлиять на технологию осаждения и качество покрытий.

Таким образом, для повышения степени кристалличности формируемых двухкомпонентных покрытий рекомендуется увеличение разбалансированности магнитной системы с помощью изменения материала центрального магнита.

На основании результатов проведённого компьютерного моделирования рекомендуется использовать магнит из сплава AlNiCo марки VMAsa-44/16, что увеличивает степень разбалансированности с 4.8 до 12.9, а также повышает работоспособность магнитной системы при повышенных температурах.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. H. Buitrago, L. E. Toth, A. M. Goldman Superconducting Tc's and relationships of sputter-deposited Nb₃Ge. J. Appl. Phys. 1 February 1979; 50 (2): 990–996.
2. Wang Q. et al. The effect of ion current density on target etching in radio frequency-magnetron sputtering process //Plasma Science and Technology. – 2012. – Т. 14. – №. 3. – С. 235.
3. Svadkovski I. V., Golosov D. A., Zavatskiy S. M. Characterisation parameters for unbalanced magnetron sputtering systems //Vacuum.
4. 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. //

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Гусейнов Бегляр Рауфович - студент 3 курса бакалавриата кафедры МТ-11 (ORCID 0009-0003-2926-5336) МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва e-mail: beglyar04.guseynov@mail.ru

Лысов Леонид Евгеньевич - студент 3 курса бакалавриата кафедры МТ-11 (ORCID 0009-0003-8702-3271) МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва e-mail: yhlymbek@mail.ru

Хыдырова Селби Юсуповна – аспирант 3 года и ассистент кафедры МТ-11 (ORCID 0000-0002-5510-0899) МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва e-mail: hydyrova@bmstu.ru

Моисеев Константин Михайлович – к.т.н., доцент кафедры МТ-11 (ORCID 0000-0002-8753-7737) МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва e-mail: k.moiseev@bmstu.ru