

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

А.Л. Романов, Д.Е. Шашин, А.Д. Дьячков, К.А. Волков

АННОТАЦИЯ

Многослойные тонкопленочные структуры являются важным средством для развития множества направлений науки и техники, поэтому в статье рассмотрены особенности их формирования с помощью метода магнетронного распыления. Описываются методы напыления данных структур и возможности для получения равномерных и высококачественных пленок. Приводится оптимальный вариант конструкции системы напыления и типовая схема технологического процесса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

МАГНЕТРОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ, МНОГОСЛОЙНАЯ СТРУКТУРА, ТОНКОПЛЕНОЧНАЯ СТРУКТУРА

FEATURES OF THE FORMATION OF MULTILAYER STRUCTURES BY MAGNETRON SPUTTERING

A.L. Romanov, D.E. Shashin, A.D. Dyachkov, K.A. Volkov

ABSTRACT

Multilayer thin-film structures are an important tool for the development of many areas of science and technology, so the article considers the features of their formation using the method of magnetron sputtering. The methods of sputtering of these structures and possibilities for obtaining uniform and high quality films are described. The optimal variant of the sputtering system design and a typical scheme of the technological process are given.

KEYWORDS

MAGNETRON SPUTTERING, MULTILAYER STRUCTURE, THIN FILM STRUCTURE

ВВЕДЕНИЕ

Во многих разделах современной науки, таких как микроэлектроника, нанотехнологии, стоит задача формирования многослойных структур, так как данная технология позволяет создавать системы с новыми или заданными свойствами, благодаря которым возможно расширять или оптимизировать многие процессы и технологии.

Существует множество различных технологий создания тонкопленочных многослойных структур: термическое вакуумное испарение, электронно-лучевое напыление, химическое осаждение из газовой фазы, магнетронное распыление и т.д. В данной работе рассмотрим особенности формирования многослойных структур методом магнетронного распыления, так как является одним из наиболее эффективных методов нанесения пленок в планарной технологии.

Магнетронное распыление – технология, являющаяся разновидностью ионно-плазменного распыления, при которой ионизированный инертный газ в скрещенных электрических и магнитных полях локализуется в виде плазмы у поверхности мишени и

бомбардирует ее. Мишень изготавливается из необходимого для распыления материала. При бомбардировке атомы отрываются от нее и осаждаются на подложку. Магнетронное распыление имеет ряд преимуществ над остальными способами:

- высокая скорость осаждения пленок;
- высокая химическая чистота пленочных покрытий;
- низкое энергетическое влияние на подложку и пленку.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

На сегодняшний момент в открытых научно-технических источниках не дается подробное описание технологических особенностей напыления многослойных структур. Каждый такой метод имеет свои недостатки и преимущества, поэтому цель данной работы – изучение методов и особенностей напыления многослойных тонкопленочных структур технологией магнетронного распыления, а также рассмотрение применения данных структур.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Существует три основных способа формирования многослойных структур методом магнетронного распыления:

- 1) попеременное включение и выключение магнетронов;
- 2) закрытие и открытие магнетронов заслонками;
- 3) вращение подложек.

Все преимущества и недостатки приведены в таблице 1. Рассмотрим особенности каждого способа.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки способов напыления

Характеристика	1 – включение и выключение магнетронов	2 – закрытие и открытие заслонки	3 – вращение подложек
Требуется модификация вакуумной установки	нет	да	да
Дополнительная нагрузка на магнетроны и блоки питания	да	нет	нет
Распыление в холостом режиме	нет	да	да/нет
Равномерность получаемой пленки	низкая	низкая	высокая

1) Попеременное включение и выключение магнетронов. Данный способ удобен в случае, если требуется много времени на напыление каждого слоя (например, при большой толщине или малой мощности магнетрона). Также известно, что наносимая пленка активно поглощает примесный газ [1] (причем чистота пленки растет с увеличением мощности магнетрона), поэтому, если имеющиеся примесные газы в пленке не критичны, то при данном способе уменьшается потребление как инертного, так и реактивного газа (то есть идет экономия газа). Данный метод применяется редко, так как он является рабочим при соблюдении следующих условий:

- магнетрон и подложкодержатель статичны;

– магнетроны расположены достаточно близко для напыления на одну подложку (то есть такая система напыления, разработанная для напыления сплавов или интерметаллидов).

Данный метод удобен в случае, если один или несколько из слоев напыляются реактивным магнетронным напылением.

2) Закрытие и открытие магнетронов заслонками. Удобен в случае, если напыляемый материал является химически активным в атмосфере, из-за чего необходимо проводить очистку мишени, что происходит при ее отпыле на закрытую заслонку. Подходит для напыления как толстых слоев, так и тонких.

3) Вращение подложкодержателя. Позволяет напылять на большое количество подложек. В случае, если небольшое количество подложек расположить на противоположной стороне от магнетрона, то возможно провести их очистку. Главным преимуществом данного способа является то, что подобрав скорость вращения подложкодержателя и мощность магнетронов можно напылять требуемую структуру в едином технологическом цикле: за один оборот будет напыляться один структурный слой. Подходит для напыления как тонких, так и толстых слоев. Очистка мишени возможна (при неполной загрузке подложкодержателя), если отводить подложки от магнетронов.

Второй и третий способ также примечательны тем, что позволяют в среде инертного газа напылять более чистые материалы по сравнению с первым способом вследствие более высокой скорости осаждения материала на подложку [1].

Также вращение подложкодержателя имеет еще одно важное преимущество. Вследствие неравномерного потока частиц от магнетрона существуют точки, в которых напыляется больше материала, по сравнению со всей площадью. Тогда на статичной подложке будет образовываться горка напыляемого материала. Если же подложка динамична, то данная горка будет сглаживаться, и мы получим более равномерную толщину напыляемой пленки [2], а следовательно, и более высокое качество всей структуры.

Несмотря на имеющиеся разнообразие методов напыления тонкопленочных многослойных структур они все имеют существенные недостатки, поэтому для их компенсации рекомендуется использовать комбинированный метод напыления: на вращающийся подложкодержатель с использованием заслонок. Так возможно использование всех преимуществ обоих методов: позволяет напылять большие площади подложек в едином технологическом цикле, а заслонки использовать для очистки необходимых для работы магнетронов и защита от нагрева неработающих магнетронов. Совместно с магнетронами также возможно использование ионного источника. Единственным недостатком данной системы является технологическая сложность по сравнению с остальными методами напыления.

Примерная конструкция системы напыления с горизонтально расположенными магнетронами представлена на рис. 1. Основные элементы системы расположены в рабочей вакуумной камере 1. Мишени 2 изготавливаются из требуемых для напыления материалов, закрепляются на магнетронах 3, структура которого позволяет создавать зону плазмы, в которой происходит ионизация газа. Трубка 4 служит для подвода газовой смеси. Нагреватель 5 необходим для нагрева подложек до нужной температуры. Сами подложки 6 устанавливаются на вращающийся подложкодержатель 7. Заслонка 8 выполняет роль защиты подложек от напыления при очистке мишени.

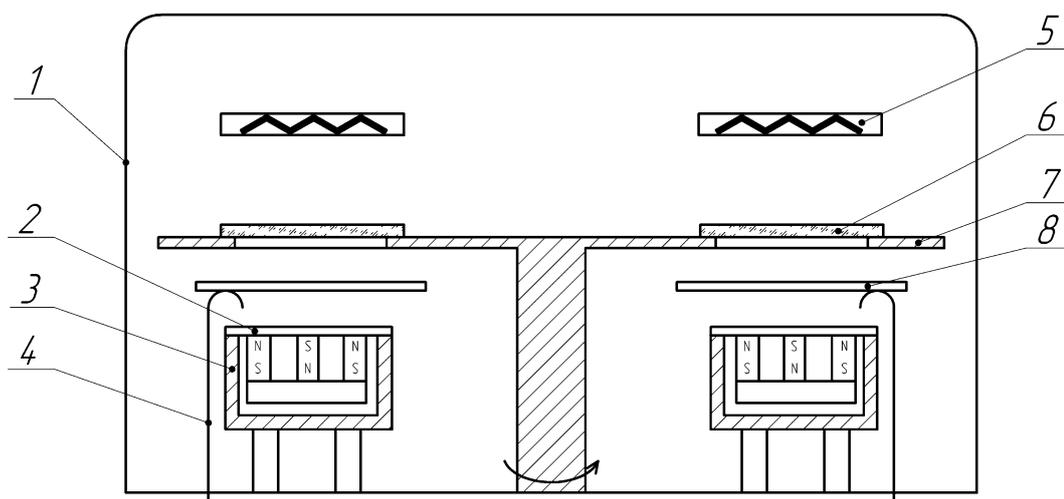


Рис. 1. Конструкция системы напыления

Типовая схема технологического процесса получения тонкопленочных многослойных структур методом магнетронного распыления приведена на рис. 2. Подготовка вакуумной камеры включает включение основных блоков управления установкой и периферией. Первичную очистку проводят в случае необходимости для убрать грязь с подложки и провести обезжиривание. Подготовка может включать в себя такие способы как создание жертвенных слоев или применение маски. Загрузка подложек в камеру осуществляется с соблюдением санитарных норм. После вакуумной системой откачивает воздух из камеры, до тех пор, пока давление не достигнет требуемого уровня. Ионная очистка позволит провести более глубокую очистку подложки. Для улучшения адгезии пленок к подложкам, последние нагреваются до определенной температуры. Далее происходит формирование многослойной структуры одним из методов, приведенным выше. Охлаждение подложек внутри камеры рекомендуется в случае, если сформированная многослойная структура активно окисляется в атмосфере. После идут стандартные процедуры выгрузки подложек и контроль качества.

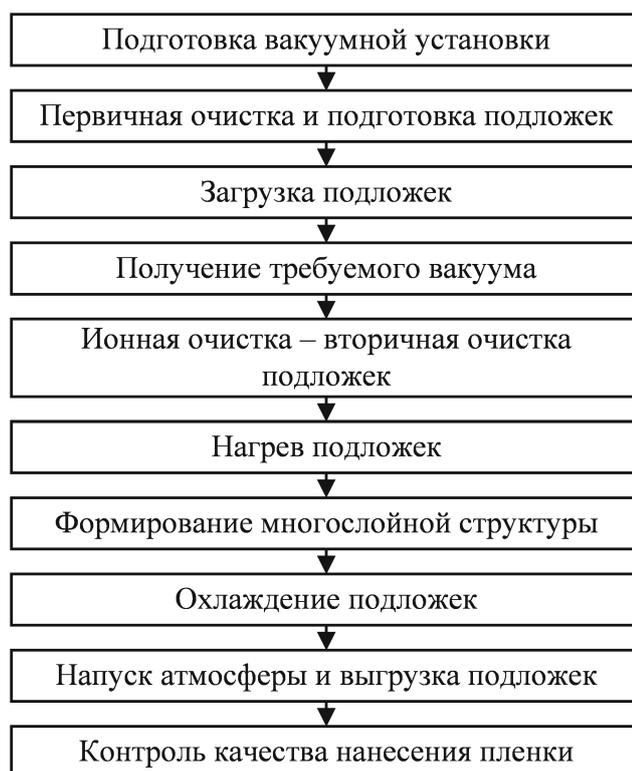


Рис. 2. Типовая схема технологического процесса

Многослойные структуры применяются во многих областях науки и техники [3]:

- микроэлектроника: тонкопленочные пассивные и активные элементы;
- материаловедение: пленки с реакцией самораспространяющегося высокотемпературного синтеза;
- криоэлектроника: различные детекторы, сверхпроводящие устройства [2];
- машиностроение: антифрикционные и износостойкие покрытия;
- оптика: антиотражательные покрытия, просветляющие покрытия, поляризаторы;
- энергетика: солнечные панели;
- военная промышленность: радиопоглощающие и маскирующие покрытия;
- космическая техника: солнечные паруса, радиационно-стойкие покрытия и теплозащитные экраны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, наиболее оптимальный метод напыления равномерных и высококачественных многослойных тонкопленочных структур является комбинированный метод, объединяющий в себе вращение подложек и использование заслонок, объединяющий все их преимущества, которые перекрывают единственный недостаток – технологическая сложность, заключающаяся в установке всего требуемого оборудования внутри вакуумной камеры, не всегда имеющая достаточно свободного пространства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология тонких пленок: Справочник / Под ред. Л. Майселла, Р. Глэнга. – Москва : Советское радио, 1977. – 664 с.

2. Никоненко, В.А. Математическое моделирование технологических процессов: Моделирование в среде MathCAD. Практикум / Под ред. Г.Д. Кузнецова. – Москва : МИСиС, 2001. – 48с.
3. Данилин, Б.С. Магнетронные распылительные системы. / Б. С. Данилин, В. К. Сырчин. — Москва : Радио и связь, 1982. — 72 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Романов Алексей Леонидович – студент-бакалавр 4-го курса направления «Электроника и наноэлектроника» (ORCID: 0009-0007-9981-511X). Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола р. Марий Эл. e-mail: romanov.tan2014@yandex.ru

Шашин Дмитрий Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры (ORCID – 0000-0002-8222-2824), Поволжский государственный технологический университет (Российская Федерация, Йошкар-Ола). Область научных интересов - напыление тонких пленок, автор более 50 публикаций. e-mail: ShashinDE@volgatech.net

Дьячков Алексей Дмитриевич – аспирант 1-го курса направления «Электроника, фотоника, приборостроение и связь» (ORCID: 0009-0007-6286-8330). Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола Республика Марий Эл. e-mail: addyachkov@gmail.com

Волков Кирилл Александрович – аспирант 2-го курса направления «Электроника, фотоника, приборостроение и связь» (ORCID: 0009-0004-2707-4824). Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола р. Марий Эл. e-mail: kirill_volkov_101@bk.ru