

ИНТЕГРИРОВАНИЕ ОСТРОВКОВЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК В ДАТЧИКИ ПОЛЕЙ И СРЕД

С.В. Кирьянов, Е.С. Щербак, А.М. Наумова, С.В. Сидорова

АННОТАЦИЯ

В работе представлены результаты исследований влияния режимов нанесения островковых тонких пленок кобальта, никеля и алюминия методом термического испарения. Приведены графические зависимости туннельного тока от времени нанесения. Представлено время формирования при различных значениях тока на блоке питания модуля термического испарения. Описаны физические процессы, происходящие на разных этапах формирования покрытий. Представлен анализ возможности внедрения островковых тонких пленок в датчики полей и сред.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ДАТЧИКИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ, МАГНИТОРЕЗИСТИВНОСТЬ, ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СЕНСОРЫ, ОСТРОВКОВАЯ ТОНКАЯ ПЛЕНКА

ISLAND THIN FILMS INTEGRATION IN FIELD AND ENVIRONMENT SENSORS

S.V. Kiryanov, E.S. Scherbak, A.M. Naumova, S.V. Sidorova

ABSTRACT

The paper presents the results of studies of the effect of the modes of deposition of insular thin films of cobalt, nickel and aluminum by thermal evaporation. Graphical dependences of the tunnel current on the application time are given. The formation time is presented at different current values on the power supply of the thermal evaporation module. The physical processes occurring at different stages of coating formation are described. The analysis of the possibility of introducing insular thin films into sensors of fields and media is presented.

KEYWORDS

MAGNETIC FIELD SENSORS, MAGNETORESISTANCE, GAS-SENSITIVE SENSORS, INSULAR THIN FILM

ВВЕДЕНИЕ

В рамках современных технологических требований, постоянно возрастающего развития электронной промышленности, существует неотложная потребность в усовершенствовании функциональных характеристик устройств при одновременном снижении их размеров. В этом контексте значительное внимание уделяется исследованию несплошных металлических покрытий, особенно на этапе формирования островкового роста, так как они обладают уникальными свойствами проводимости, благодаря размерным эффектам.

В процессе туннелирования в островковой тонкой пленке поведение электрона описывается волновой функцией. В таком состоянии носитель наиболее подвержен влиянию внешних силовых полей (в том числе и магнитному полю) и газовых сред. Этот

эффект обуславливает возможность применения островковых пленок в спин-туннельных магниторезистивных датчиках и газовых сенсорах.

Благодаря таким свойствам островковая тонкая пленка (ОТП) может использоваться в различных устройствах в качестве функционального слоя. Наиболее перспективными устройствами для внедрения ОТП являются датчики полей и сред.

В качестве одних из перспективных материалов для создания функциональных тонких слоев в вышеуказанных сенсорах выделяются Co, Ni и Al благодаря своим свойствам в области электропроводности, оптики и магнетизма.

Кобальт является единственным чистым металлом, который принадлежит к классу жестких ферромагнетиков. Его коэрцитивная сила достигает значений 50...70 кА/м. Никель, напротив, является практически единственным чистым металлом, который обладает коэрцитивной силой 30...800 А/м. Благодаря таким свойствам данные материалы могут применяться в области спинтроники для магниторезистивных датчиков. Их чистота позволяет без лишних затруднений формировать покрытия в вакууме, а высокая разность коэрцитивных сил обеспечит эффект спин-туннелирования в магниточувствительных устройствах.

Алюминий является перспективным материалом для области электроники и наноэлектроники по причине его химической активности. Таким образом, вступая в обменную реакцию с газовой средой, данный материал изменяет свою поверхностную проводимость, что позволяет применять его для детектирования различных газовой смеси. Это свойство является чрезвычайно полезным для газочувствительных сенсоров.

Спин-туннельный магниторезистивный (СТМР) датчик может детектировать величину внешнего магнитного поля при помощи изменения своего электрического сопротивления. На данный момент стандартная структура такого датчика представляет из себя чередующиеся тонкопленочные слои магнитомягких и магнито жестких ферромагнетиков, разделенных друг с другом диэлектрической прослойкой для предотвращения смешивания и создания специального спинового клапана. Предлагается улучшение структуры путем замены сплошных слоев на островковые (Рис.1).

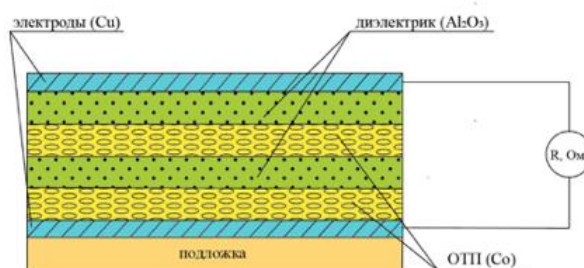


Рис. 1. Структура СТМР датчика

Таким образом, островки, достигая критических диаметров однодоменности будут обладать намного большей коэрцитивной силой, чем сплошные слои, что благоприятно скажется на чувствительности датчика в целом. Кроме того, увеличится время пребывания носителей в состоянии туннелирования, а значит, и влияние магнитного поля на них будет выше. На выходе получается увеличение чувствительности и расширение диапазона измеряемых полей.

Еще одним применением островковых тонких пленок является газочувствительный сенсор, стандартная компоновка которого подразумевает наличие чувствительного

элемента в качестве оксида металла, который вступает в химическое взаимодействие с газовой средой и изменяет свою проводимость.

Предлагается модернизация структуры – замена слоя оксида олова на островковую ОТП алюминия (Рис.2). Данный металл является химически активным, значит он будет активно взаимодействовать со средой, изменяя свою проводимость. Кроме того, островковый слой будет иметь большую площадь контакта со средой, нежели чем сплошной. Наличие механизма прыжковой проводимости тоже будет сказываться на взаимодействии. Все описанные факты приведут к увеличению чувствительность сенсора.

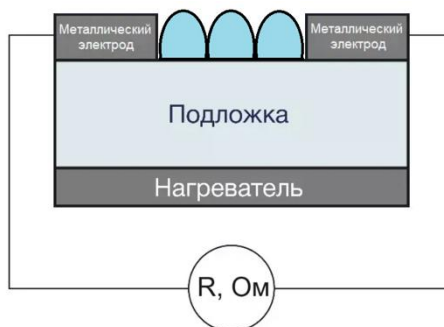


Рис. 2. Структура газочувствительного сенсора

Таким образом, применение ОТП приведет к улучшению характеристик устройств, обеспечивая их миниатюризацию и низкое энергопотребление. Стоит отметить, что параметры устройств в таком случае будут напрямую зависеть от латерального размера островков, а функциональные характеристики – от расстояния между островками. Поэтому необходима отработка режимов формирования ОТП материалов для магниторезистивных и газовых сенсоров.

Целью работы является отработка режимов вакуумного формирования островковых тонких пленок Ni, Co и Al для дальнейшего внедрения в структуру датчиков полей и сред.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Формирование островковых пленок Ni, Co и Al осуществлялось методом термического испарения в вакууме на лабораторном стенде, организованном на базе установки МВТУ-11-1МС на кафедре МТ11 МГТУ им. Н.Э. Баумана. Осаждение покрытий осуществляли на заранее подготовленные подложки из ситалла с медными контактами на краях. В качестве испарителя использовали конусную спираль W, изготовленную из проволоки диаметром 0,3 мм, средний диаметр витков составлял 5 мм. Испарение всех материалов проводили путем стабилизации по току с максимальным напряжением $U_{max}=30В$ и мощностью $P_{max}=3кВт$ на блоке питания.

При отработке режимов формирования Ni, Co и Al использовали фольгу и гранулы указанных материалов.

Контроль стадий роста покрытий в процессе нанесения осуществлялся специальным измерительным стендом, в состав которого входит пикоамперметр Keithley 6485, источник питания постоянного тока Б5-44 и соединительные провода с измерительными обкладками. Схема подключения представлена на Рис.3.

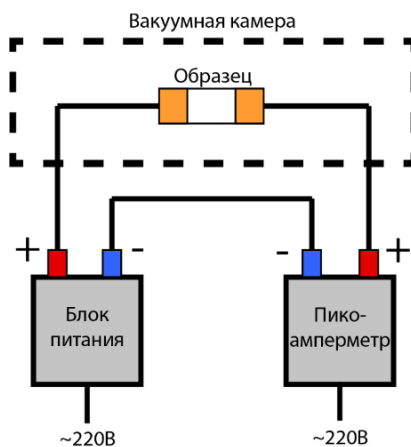


Рис. 3. Принципиальная схема стенда контроля начальных стадий роста покрытий

Измерения проводились на режиме Slow, что соответствует 10 измерениям в секунду. Как показала практика, такой частоты достаточно, чтобы уловить зону островкового роста и проконтролировать этапы коалесценции. Этапы коалесценции важно отслеживать, так как активная коалесценция приводит к быстрому росту размеров островков, меняя расстояния между островками.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведения экспериментальных исследований был получен ряд графических зависимостей туннельного тока от времени формирования покрытия для Ni, Co и Al (Рис.4).

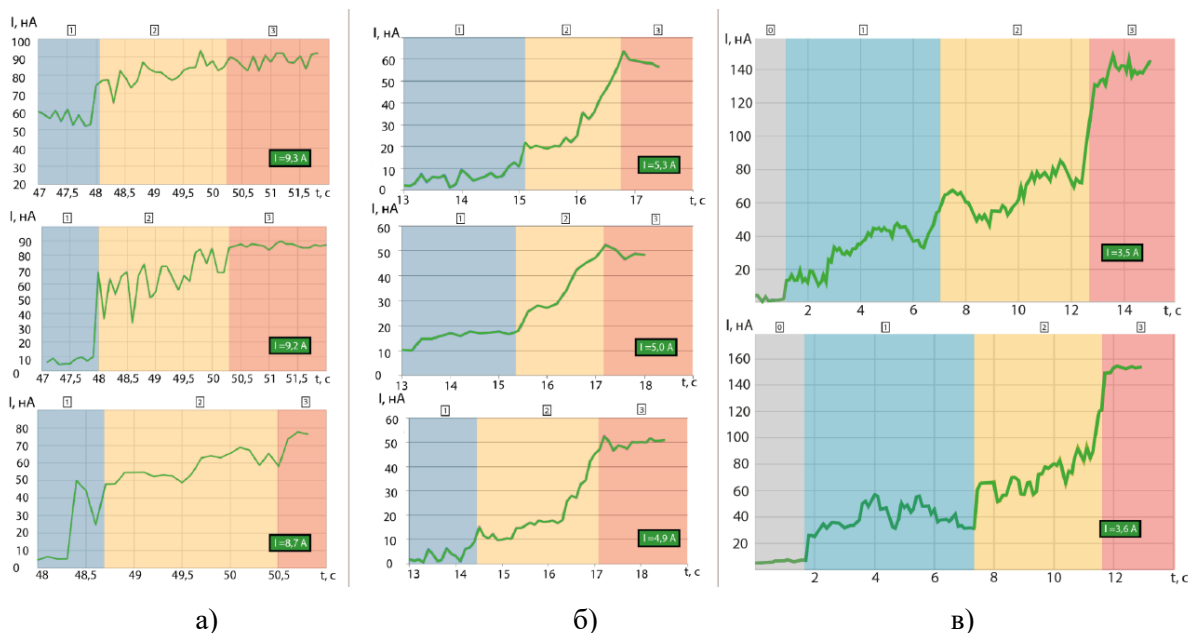


Рис. 4. Зависимости туннельного тока от времени формирования ОТП Co (а), Ni (б) и Al (в)

На графиках видны зоны формирования покрытия. Зона 1, соответствующая низким токам, описывает процесс формирования зародышей и субкритических кластеров. В зоне 2 происходит резкое повышение тока, это означает, что зародыши начали активно сливаться в островки. Наблюдаются перепады значение туннельного тока, то есть

описывается этап коалесценции. В зоне 3 колебания значений тока проводимости исчезает, покрытие становится сплошным, островки сливаются лабиринты и затем в сплошной слой.

Для формирования ОТП Со рекомендованы режимы ток – 8,5...9,5 А, время – 48...50,5 сек. Для Ni: ток – 4,9...5,5 А, время – 48...50,5 сек. Для Al: ток – 3,5...3,6 А, время – 7...12 сек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате апробации методики формирования тонкопленочных покрытий кобальта с контролем начальных стадий роста были получены и проанализированы зависимости электропроводности от времени процесса нанесения для Ni, Со и Al.

В дальнейшем планируется формирование СТМР образцов и газочувствительного сенсора на основе ОТП и проверка их функциональных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирьянов С.В., Юркин Н.О., Журавлева В.С., Гуляева П.С., Сидорова С.В. Исследования свойств металлических островковых тонких пленок для применения в изделиях нанoeлектроники 29-я научно-техническая конференция с участием зарубежных специалистов «Вакуумная наука и техника», 2022, 12с.
2. Шерстнев И.А. Электронный транспорт и магнитная структура систем nanoостровов из ферромагнитных материалов: автореф. дис. ... канд. физико-математических наук, 2014, 112 с.
3. Сидорова С.В. Расчёт технологических режимов и выбор параметров оборудования для формирования островковых тонких плёнок в вакууме: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.27.06. М., 2016, 16 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кирьянов Сергей Владимирович – студент 5 курса. МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail: makdrin@mail.ru

Сидорова Светлана Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры (ORCID: 0000-0002-3002-1246). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: sidorova_bmstu@mail.ru

Щербак Екатерина Сергеевна – студент 3 курса. МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail: icloudkatya@icloud.com

Наумова Анастасия Михайловна – студент 3 курса. МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail: anastasia-naumova2003@mail.ru