

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ОСТРОВКОВЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК КОБАЛЬТА ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ В УСТРОЙСТВА НАНОЭЛЕКТРОНИКИ**

С.В. Кирьянов, С.В. Сидорова

## **АННОТАЦИЯ**

В работе представлены результаты исследований влияния режимов нанесения островковых тонких пленок кобальта 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.

## **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

ОСТРОВКОВЫЕ ПЛЕНКИ, ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ, МНОГОСЛОЙНЫЕ  
ОСТРОВКОВЫЕ СТРУКТУРЫ, ДАТЧИКИ ПОЛЕЙ, МАГНИТНЫЕ ДАТЧИКИ,  
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ТОНКИЕ ПЛЕНКИ

## **INVESTIGATION OF THE COBALT ISLET THIN FILMS FORMATION FEATURES FOR INTEGRATION INTO NANOELECTRONICS DEVICES**

S.V. Kiryanov, S.V. Sidorova

## **ABSTRACT**

The paper presents the results of studies of the influence of the modes of deposition of insular thin films of cobalt by thermal evaporation. Graphical dependences of the tunnel current on the application time are given. The time of formation at different values of the current on the power supply of the thermal evaporation module is presented. Physical processes occurring at different stages of coating formation are described.

## **KEYWORDS**

ISLET FILMS, THIN-FILM COATINGS, MULTILAYER ISLET STRUCTURES, FIELD SENSORS,  
MAGNETIC SENSORS, METAL THIN FILMS

## **ВВЕДЕНИЕ**

В современном мире интенсивное развитие электронной промышленности требует улучшения характеристик приборов и устройств, а также уменьшение их габаритов. Для реализации данного запроса подходят несплошные металлические покрытия на стадии формирования островков, которые обладают уникальными свойствами проводимости.

Одним из перспективных материалов для формирования островковых тонких пленок (ОТП), благодаря уникальным свойствам в области проводимости, является кобальт. Это практически единственный чистый магнитотвердый материал, который обладает коэрцитивной силой 50...70 кА/м, что позволяет применять его в спин-туннельных магниторезистивных датчиках.

Для того, чтобы покрытия обладали особыми свойствами, необходима отработка режимов их формирования. При разных методах и режимах нанесения наблюдаются

разные свойства. Свойства ОТП зависят от нескольких факторов, таких как температура подложки, рабочее давление, энергия осаждаемых частиц и других.

Целью работы является отработка режимов формирования в вакууме ОТП Co для дальнейшего внедрения в устройства микро- и нанoeлектроники.

## ПРОВОДИМОСТЬ В ОСТРОВКОВЫХ ТОНКИХ ПЛЕНКАХ

Островковая тонкая пленка – это одна из стадий роста сплошных тонкопленочных покрытий, которое состоит из большого числа чередующихся островков, имеющих сферическую форму. Выделяют 6 основных этапов формирования тонких пленок (рис. 1) [1].

А) появление одиночных атомов наносимого материала (из-за маленьких размеров, их нельзя увидеть в микроскоп);

Б) слияние атомов в субкритические кластеры (процесс происходит под действием сил взаимного притяжения частиц друг к другу);

В) образование зародышей при слиянии кластеров с последующим ростом до критического размера (размеры зародышей на этом этапе колеблются в диапазоне от 20 до 30 Å);

Г) срастание зародышей критического размера в островки – коалесценция (размеры и форма островков зависят от наносимого материала и реализуемого механизма роста);

Д) срастание островков в лабиринты и каналы (образование лабиринтной пленки);

Е) заполнение пустых областей за счет вторичного образования зародышей.

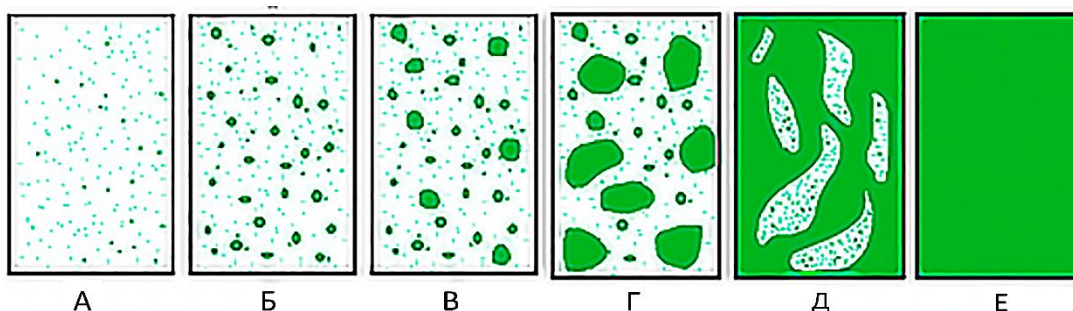


Рис.1. Этапы роста островковой пленки

Формирование ОТП заканчивается на этапе «Г», когда происходит коалесценция зародышей критического размера в островки. Физические процессы электропроводности, происходящие в ОТП, отличаются от процессов в сплошных структурах, благодаря размерным эффектам, которые показывают влияние размеров островковых наноструктур на термодинамические, механические, электрические и магнитные свойства.

Такое строение ОТП обеспечивает наличие в ней сразу двух типов проводимости: классическая и прыжковая проводимость. Классическая проводимость наблюдается, когда электрон ведет себя как свободная частица, то есть распространяется в островках. Прыжковая проводимость – когда частица туннелирует между островками. Именно такое строение обуславливает электрические и магнитные свойства таких пленок.

Островковая тонкая пленка кобальта при криогенных температурах может изменять свою проводимость при наложении внешнего магнитного поля (рис. 2).

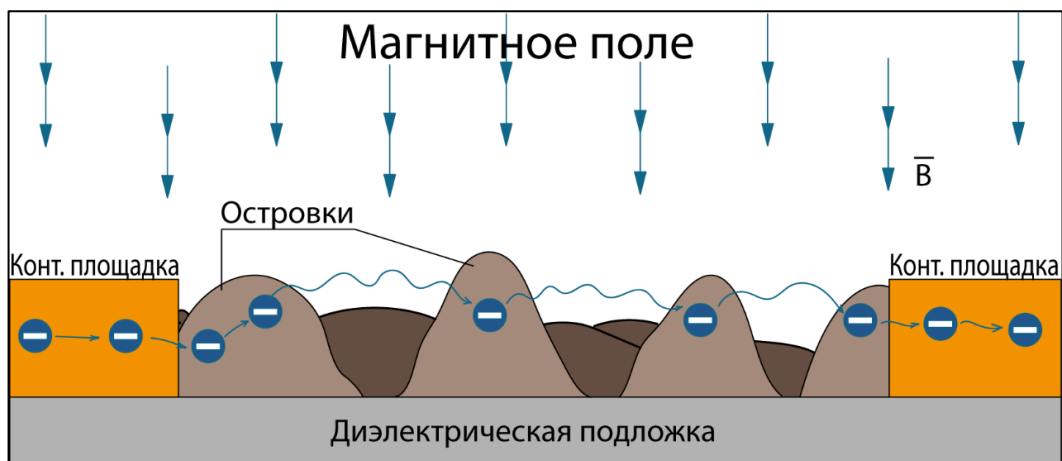


Рис. 2. Схема туннелирования электронов между островками кобальта

Во время туннелирования между островками электрон в большей степени подвержен влиянию внешнего магнитного поля. Поле может либо уменьшать, либо увеличивать энергию частицы, в зависимости от его направления и величины.

### ПОСТАНОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Нанесение островковых пленок Co осуществлялось методом термического испарения в вакууме на лабораторном стенде, организованном на базе установки МВТУ-11-1МС на кафедре «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им.Н.Э. Баумана, на заранее подготовленные подложки из ситалла с медными контактными площадками. Испарение гранул Co массой 25мг производилось путем стабилизации по току с максимальным напряжением  $U_{max}=30В$  и мощностью  $P_{max}=3кВт$ . При этом активное испарение наблюдалось при токе на испарителе  $I=7,5...8А$ . В качестве испарителя использовалась конусная спираль из вольфрамовой проволоки диаметром 0,3 мм, средний диаметр витков составлял 4 мм.

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 присоединительные провода с измерительными обкладками. Схема подключения представлена на рис. 3.

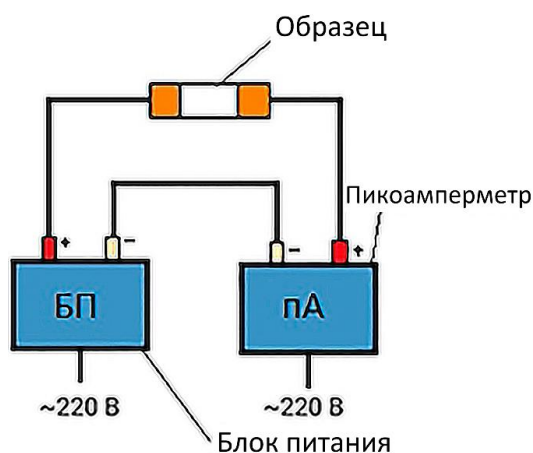


Рис. 3. Подключение измерительного стенда туннельного тока к образцу

Измерение значений электропроводности покрытия в процессе формирования проводилось на режиме Slow, что соответствует 50 измерениям в секунду. Данные выгружались сначала в буфер памяти пикоамперметра, а затем – в таблицу Excel при помощи сборки Excel Link. Чувствительность пикоамперметра Keithley 6485 позволяет фиксировать токи от  $10^{-12}$  А, что подходит для фиксации токов  $10^{-9}...10^{-8}$  А на начальных стадиях роста покрытий.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате проведения экспериментальных исследований была получена серия зависимостей туннельного тока от времени формирования покрытия (рис. 4). Измерения проводились на режиме SLOW, что соответствует 10 измерениям в секунду.

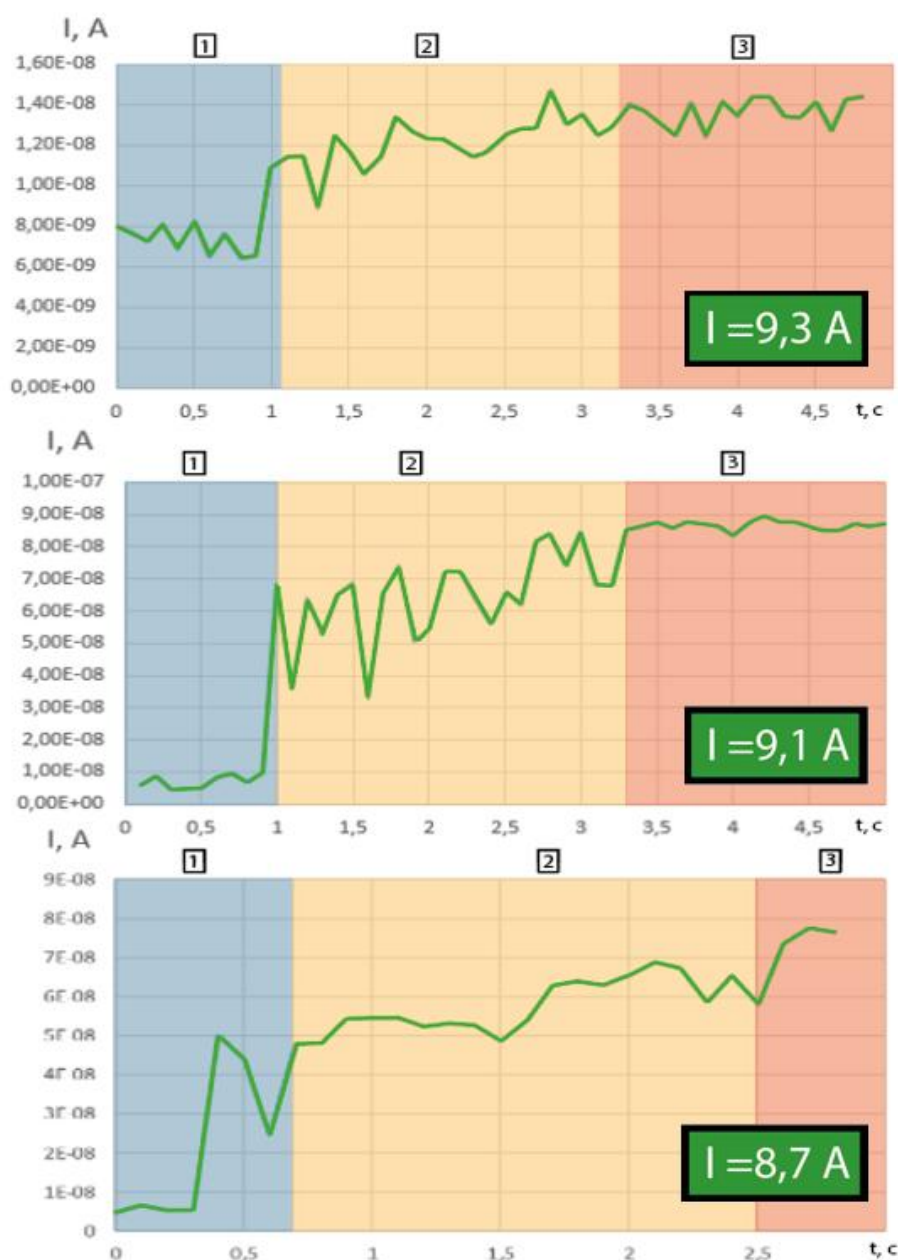


Рис. 4. Графические зависимости туннельного тока от времени нанесения  $\text{Co}$  с различными токами на блоке питания модуля термического испарения

Для формирования ОТП кобальта рекомендованы режимы: ток – 8,5...9,5 А, время – 3...4 с.

На представленных зависимостях туннельного тока от времени формирования пленки кобальта на поверхности диэлектрической подложки можно выделить три характерные области, которые показывают разные физические процессы, протекающие на поверхности подложки. Описание областей представлено в таблице 1.

Таблица 1. Описание графических зависимостей

№ области	Характерные токи	Физические процессы
1	< 10 нА	Образование субкритических кластеров, слияние в зародыши
2	> 10 нА	На данном промежутке имеются некоторые флуктуации, соответствующие слиянию зародышей и образованию островков
3	> 50 нА	Коалесценция островков, образование лабиринтной пленки

Следует отметить, что изменение значения тока на испарителе в пределах 0,5 А влечет за собой смещение рассмотренных областей. При увеличении тока флуктуации тока более частые, особенно в области активного образования островков, коалесценция проходит более интенсивно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

В дальнейшем планируется отработка режимов формирования ОТП никеля и формирование многослойной ОТП с чередующимися слоями Ni и Co, разделенных диэлектрической прослойкой для предотвращения смешивания. Такая структура реагирует на внешнее магнитное поле путем изменения своего электрического сопротивления и предположительно может выступать полноценным датчиком слабых магнитных полей, которая обладает чувствительностью, превышающей практически все существующие датчики.

## 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 наноэлектроники 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**

Кириянов Сергей Владимирович – студент 4 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