

УДК 620.22:53

Моделирование физических характеристик островковых тонких пленок

Щербак Екатерина Сергеевна(*)

scherbakes@student.bmstu.ru

SPIN-код: 8626-6620

Наумова Анастасия Михайловна

naumovaam@student.bmstu.ru

SPIN-код: 1610-0730

Сидорова Светлана Владимировна

sidorova@bmstu.ru

SPIN-код: 5780-4905

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Описано преимущество внедрения островковых тонких пленок (ОТП) в устройства измерения полей и сред в качестве чувствительного слоя. Описана методика проведения физического моделирования проводимости и физических параметров ОТП. Разработаны расчетные модели фрагментов газового сенсора и СТМР-датчика магнитного поля на основе ОТП. Представлены результаты моделирования магнитных свойств многослойной ОТП кобальта и никеля и электрических свойств ОТП алюминия. Проведено сравнение величины проводимости сплошных и островковых пленок алюминия. Определено необходимое количество ферромагнитных слоев для наибольшей чувствительности СТМР-датчика к воздействию магнитного поля.

Ключевые слова: островковая тонкая пленка, физическое моделирование, газовый сенсор, СТМР-датчик, туннельная проводимость

Modeling of physical characteristics of island thin films

Shcherbak Ekaterina Sergeevna(*)

scherbakes@student.bmstu.ru

SPIN-code: 1234-5678

Naumova Anastasia Mikhailovna

naumovaam@student.bmstu.ru

SPIN-code: 1610-0730

Sidorova Svetlana Vladimirovna

sidorova@bmstu.ru

SPIN-code: 5780-4905

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The advantage of introducing island thin films (ITF) into devices measuring fields and environments as a sensitive layer is described. The technique for physical modeling of the conductivity and physical parameters of ITF is described. Calculation models of fragments of a gas sensor and a STMR magnetic field sensor based on ITF are developed. The results of modeling the magnetic properties of a multilayer ITF of cobalt and nickel and the electrical properties of an aluminum ITF are presented. The conductivity of solid and island aluminum films is compared. The required number of ferromagnetic layers for the greatest sensitivity of the STMR sensor to the effect of a magnetic field is determined.

Keywords: island thin film, physical modeling, gas sensor, STMR sensor, tunnel conductivity

Введение. Островковые тонкие пленки становятся все более востребованы в сфере измерительных приборов [1]. Особенностью ОТП является наличие туннельной электрической и магнитной проводимостей, что способствует уменьшению энергопотребления и увеличению КПД приборов на их основе [2]. Получение устройств с необходимыми характеристиками требует анализа морфологии островковых пленок, поскольку геометрические параметры ОТП напрямую связаны с их физическими свойствами.

Целью данной работы является изучение магнитных и электрических характеристик островковых металлических пленок с помощью физического моделирования.

Материалы и методы. Моделирование и оценка свойств ОТП-структуры в зависимости от ее геометрических параметров проведены с помощью программного пакета физического моделирования [3]. Методика моделирования включает в себя несколько этапов: построение модели, выбор материалов функциональных слоев, задание начальных условий, построение сетки, расчет (рис. 1).

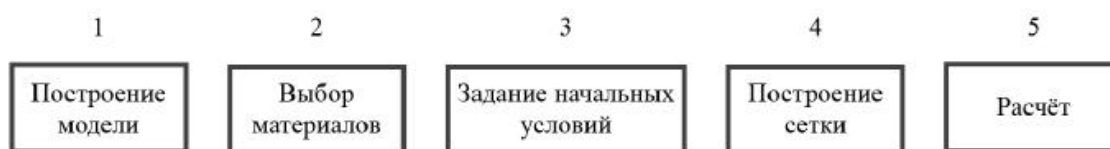


Рис. 1. Этапы моделирования

При открытии программы можно выбрать физическую характеристику, по которой будет проводиться расчет модели, и ее временную характеристику.

Для изучения физических характеристик предоставлены следующие панели: Geometry — построение 2D или 3D модели (1), Materials — выбор материалов (2), выбор расчетной физической величины (3), Mesh — выбор сетки разбиения модели (4), Study — запуск расчета (5). Панель Results используется для просмотра и графического редактирования результатов расчета.

В меню с выбором материалов были рассмотрены островковые структуры из алюминия, кобальта и никеля. Для подложки использовались диэлектрики (стекло, керамика). Диэлектрический слой для промежутков между ОТП — оксид титана; для поверхности алюминиевой ОТП — оксид алюминия. Материал контактных площадок — медь.

Результаты. В качестве варьируемых параметров для СТМР-датчика [4] выступают расстояние между островками и количество слоев для определения напряженности магнитного поля и магнитного скалярного потенциала (МСП) в островках. Построены зависимости выходных параметров в верхней точке островков кобальта от расстояния между островками (рис. 2).

Одной из ключевых составляющих газового сенсора [5] является наличие оксидного слоя, который влияет на туннельную проводимость. В результате проведения моделирования получена зависимость плотности тока от расстояния между островками для двух газовых сенсоров: с оксидным слоем и без (рис. 3).

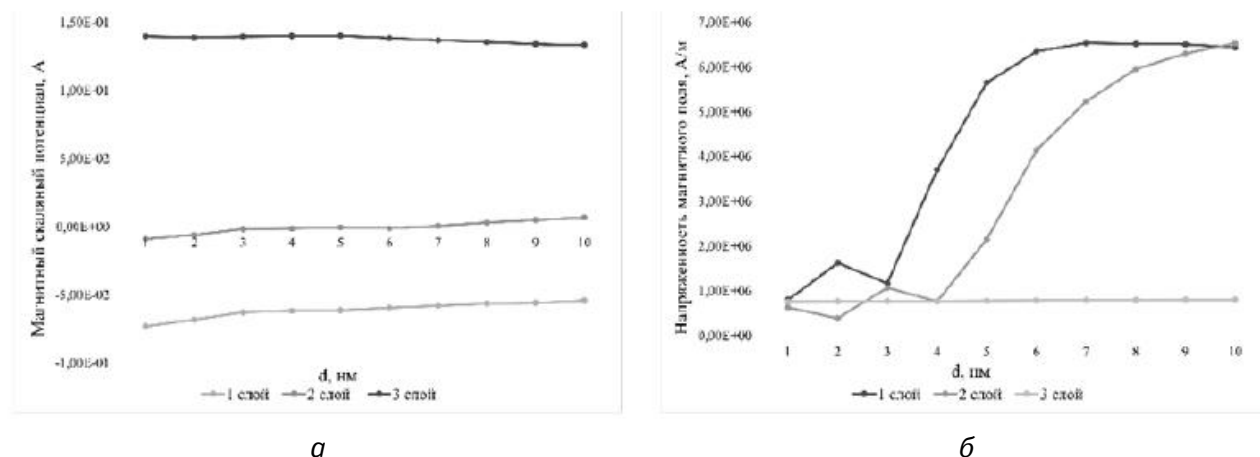


Рис. 2. Зависимость распределения скалярного магнитного потенциала (а) и напряженности (б) в слоях кобальта от расстояния между островками в пятислойном датчике

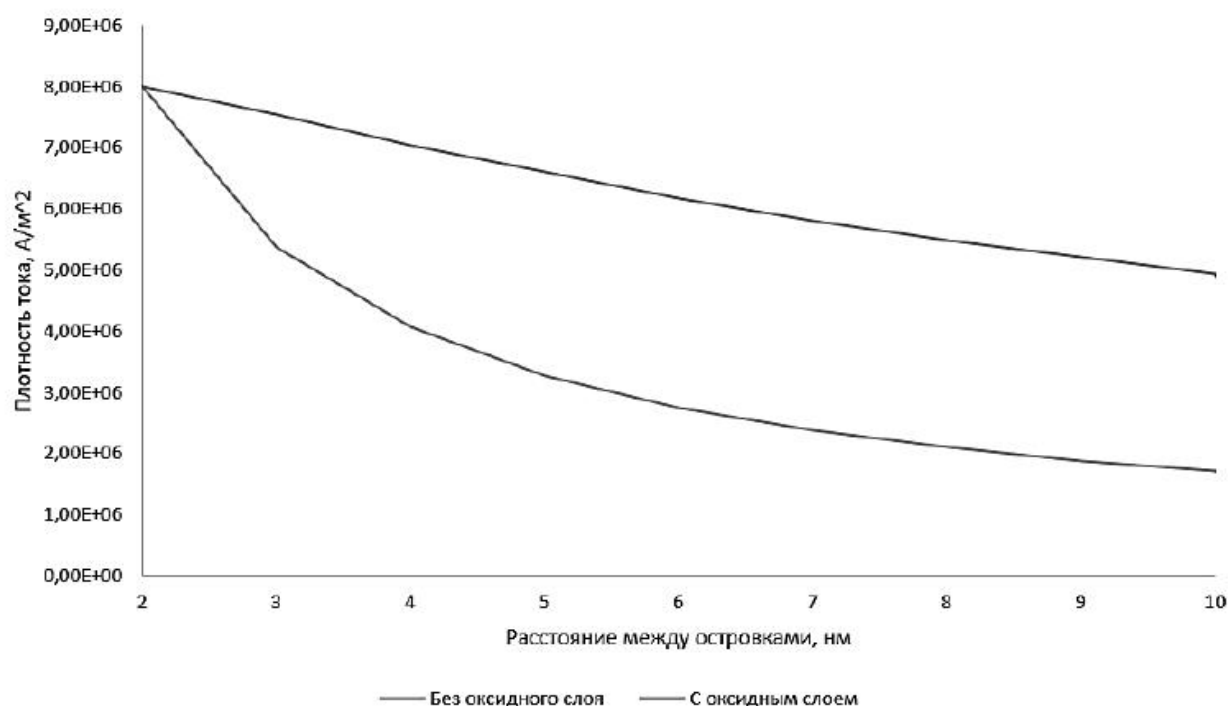


Рис. 3. Зависимость плотности тока в островковом слое от расстояния между островками

Обсуждение. Магнитный скалярный потенциал имеет тем большие значения, чем ближе к магниту находится слой кобальта. В двухслойной структуре величина МСП имеет экстремум при расстоянии между островками $r = 4$ нм ($\psi = -0,03661$ А), в остальных случаях МСП изменяется практически по линейной зависимости.

Графики напряженности магнитного поля имеют скачкообразный характер в диапазоне расстояний между островками 1...3 нм и при дальнейшем увеличении расстояния резко возрастают; максимальное значение достигается в островках четырехслойной структуры ($H = 6,67 \cdot 10^6$ А/м).

При отсутствии ОТП никеля над верхним слоем кобальта напряженность верхнего слоя кобальта изменяется незначительно при варьировании расстояния между островками, что говорит о необходимости формирования четного количества ферромагнитных островковых пленок для наиболее равномерного распределения напряженности.

После построения зависимости для газового сенсора, где варьировалась толщина оксидного слоя от 0,5 до 5,0 нм, можно заметить, что при увеличении оксидного слоя расстояние между островками возрастает, а концентрация уменьшается, т. е. чем больше оксидный слой, тем меньше концентрация электронов и вероятность туннелирования. Можно сделать вывод, что необходима наибольшая толщина оксидного слоя, при котором происходит туннелирование, ведь при взаимодействии с газом-аналитом в оксидном слое возникают вакансии (толщина уменьшается), и, следовательно, увеличивается концентрация и вероятность туннелирования.

При сравнении кривых с оксидным слоем и без него заметно, что плотность распределения при наличии оксидного слоя выше. Это говорит о возможности увеличения допуска на расстояние между островками, что облегчит контроль за процессом получения островковой структуры.

Заключение. Использование программ мультифизического моделирования позволяет оценивать основные величины, характеризующие качество приборов на основе ОТП. Полученные данные могут использоваться для определения оптимальной топологии чувствительного слоя, что в свою очередь влияет на выбор режимов формирования ОТП. Данные моделирования позволяют прогнозировать фактические значения, которые могут быть обеспечены с помощью ОТП в изделиях на их основе. Используя результаты геометрических параметров ОТП, можно подобрать необходимые режимы формирования, сократив количество экспериментов.

Список источников

- [1] Кирьянов С.В., Щербак Е.С., Наумова А.М., Сидорова С.В. Интегрирование островковых тонких пленок в датчики полей и сред. *Вестник РВО*, 2024, № 2 (4). URL: <https://www.vestnik-rvo.ru/issues/2024-06/6099/> (дата обращения 12.08.2025).
- [2] Щербак Е.С., Наумова А.М., Сидорова С.В. Способ внедрения островковых тонких пленок в измерительные приборы. *Необратимые процессы в природе и технике. 13-я Всерос. конф.: сб. ст.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025, т. 1, с. 271-275.
- [3] *Comsol Multiphysics. User's guide*. URL: https://blogs.ethz.ch/ps_comsol/files/2020/05/COMSOLMultiphysicsUsersGuide.pdf (accessed 12.08.2025).
- [4] Щербак Е.С., Сидорова С.В. Моделирование геометрии многослойной островковой тонкой пленки для СТМР-датчика. *Вакуумная техника, материалы и технология. XIX Междунар. науч.-техн. конф.: тез.* Москва, Электровакуумные технологии, 2025, 160 с.
- [5] Наумова А.М., Сидорова С.В. Островковые наноструктуры для газовых сенсоров. *Вакуумная техника, материалы и технология. XIX Междунар. науч.-техн. конф.: тез.* Москва, Электровакуумные технологии, 2025, 160 с.

A12

Лазерные технологии в машиностроении

