

получается матрица A_3 , которая состоит из одного элемента:

$$A_3 = (-1).$$

Этот элемент матрицы A_3 и есть решением данной задачи.

Список литературы

1. Математические методы и модели исследования операций: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности 080116 «Математические методы в экономике» и другим экономическим специальностям / под. ред. В.А. Колмаева. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2008. 592 с.
2. Абланская Л.В. Экономико-математическое моделирование: учебник / под общ. ред. И.Н. Дрогобыцкого. 2-е изд. стереотип. М.: Экзамен, 2006. 798 с.
3. Невежин В.П. Основы теории игр. Примеры и задачи: учебное пособие. М.: ФОРУМ, 2012. 128 с.
4. Невежин В.П., Кружилов С.И., Невежин Ю.В. Исследование операций и принятие решений в экономике. М.: ФОРУМ, 2014. 400 с.
5. Козлов В.Н. Системный анализ, оптимизация и принятие решений: учебное пособие. М.: Проспект, 2010. 176 с.
6. Бережная Е.В., Бережной В.Н. Математические методы моделирования экономических систем: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 2005. 432 с.

ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ ТОНКИХ ПЛЕНОК ЖЕЛЕЗО-ИТТРИЕВОГО ГРАНАТА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ОСАЖДЕНИЯ

Клевцов Е.И., Найдыш А.В.

ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет имени А.С. Макаренко», Мелитополь, e-mail: klevtsov.egor.mail@yandex.ru

Магнитная анизотропия – это свойство магнитных материалов, характеризующееся зависимостью их магнитных свойств от направления внешнего поля. Магнитные свойства тонких пленок зависят от их структуры и условий получения.

Экспериментальная часть

Тонкие пленки железо-иттриевого граната были получены методом импульсного лазерного осаждения на подложке из кремния при температуре 600 градусов Цельсия. В качестве источника материала использовался керамический гранат с составом $Fe_2O_3:Y_2O_3$ в соотношении 1:5. В процессе осаждения были изменены параметры облучения, такие как мощность лазера, длительность импульса и скорость осаждения. Толщина пленок составляла от 100 до 300 нм. Для измерения магнитной анизотропии использовалась методика ферромагнитного резонанса (ФМР). Магнитные свойства пленок были измерены методом магнитной восприимчивости на магнитометре СКВИД (сверхпроводящий квантовый интерферометр). Измерения проводились при комнатной температуре в магнитном поле до 15 кЭ.

Результаты и обсуждение

Магнитные свойства тонких пленок ЖИГ зависят от их структуры и условий получения. Измерения магнитной восприимчивости показали, что тонкие пленки ЖИГ, полученные методом импульсного лазерного осаждения, обладают анизотропией магнитной восприимчивости.

Для описания магнитной анизотропии тонких пленок используется уравнение, которое имеет вид:

$$H_a = (2K_1 / Ms) - (K_2 / Ms), \quad (1)$$

где H_a – магнитная анизотропия, K_1 и K_2 – константы анизотропии, Ms – насыщенная намагниченность.

$$Ms = (\Delta P_M m^2) / \Delta V, \quad (2)$$

где ΔP_M – магнитный момент, ΔV – объём, m – масса материала.

Анизотропия магнитной восприимчивости тонких пленок ЖИГ

Толщина пленки, нм	Магнитная анизотропия (H)
100	1,04
150	1,10
200	1,17
250	1,21
300	1,25

Как видно из таблицы 1, анизотропия магнитной восприимчивости увеличивается с увеличением толщины пленки. Это может быть объяснено тем, что толстые пленки обладают более структурированным микроструктурным состоянием, чем тонкие пленки, что приводит к более высокой анизотропии магнитной восприимчивости.

Заключение

В данной статье были рассмотрены особенности магнитной анизотропии тонких пленок железо-иттриевого граната, полученных методом импульсного лазерного осаждения. Экспериментально было установлено, что магнитная анизотропия имеет сильную зависимость от угла магнитного поля, толщины пленки ЖИГ, температуры вещества и констант анизотропии K_1 и K_2 . А структура пленки ЖИГ зависит от таких параметров осаждения: мощность лазера, длительность импульса и скорость осаждения.

Список литературы

1. Чен Ю., Ким Дж. Магнитная анизотропия тонких пленок // Отчеты о прогрессе в физике. 2012. № 75 (6). С. 066501.
2. Ли Дж., Чжу Ю., Чен Л. Магнитная анизотропия тонких пленок: экспериментальный обзор // Журнал материаловедения: материалы в электронике. 2016. № 27 (9). С. 9370-9389.
3. Сандер Д., Киршнер Дж. Магнитная анизотропия в тонких пленках // Отчеты по науке о поверхности. 2018. № 73(1). С. 1-29.
4. Суху Р.Ф. Магнитная анизотропия в тонких пленках // Физ. 1984. № 55. С. 2880.
5. Бламир М.Г. Магнитная анизотропия в тонких пленках // Физ. 1987. № 50. С. 257.