

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТАВКИ НАЛОГА В СРЕДЕ SIMULINK

Безруков М.Д., студент 4 курса, факультет математики и информатики
 Научный руководитель: Максимова Н.Н., канд. физ.-мат. наук, доцент,
 зав. кафедрой математического анализа и моделирования
 ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»
 knamursu@mail.ru

Ключевые слова: моделирование оптимальной ставки налога, SIMULINK

Аннотация: В работе представлена имитационная модель оптимальной ставки налога, проведен однофакторный имитационный эксперимент.

Рассмотрим непрерывную математическую модель [1]. Сумма налоговых поступлений от предприятий за моделируемый период накапливается на бюджетных счетах и представляется интегралом:

$$BD(t) = \int_{tb}^{tf} PRF(t) \cdot TXRT dt,$$

где $BD(t)$ – сумма, поступивших в бюджет средств от начала моделирования к моменту t , руб.; $PRF(t)$ – доналоговая прибыль (profit), получаемая предприятием в момент t , руб/год; $TXRT$ – ставка налога на прибыль (tax rate); t – текущее время, год; tb – начальный (begin) момент моделирования; f – последний (final) момент моделирования.

Капитализируемый предприятием за время моделирования остаток прибыли равен

$$CP(t) = \int_{tb}^{tf} PRF(t) \cdot (1 - TXRT) dt.$$

Прибыль в момент t вычисляется по формуле $PRF(t) = CP(t) \cdot RN$, где RN – рентабельность капитала предприятия. Задается как параметр предприятия, исходное данное.

В данной работе построим соответствующую дискретную модель задачи. Построение имитационной модели осуществим в подсистеме SIMULINK ППП MATLAB [2]. Результатом проделанной работы будет модель системы и пустые окна регистраторов (рис.1).

Запустив модель из меню Simulation, наблюдаем в окнах Scope изменение показателей предприятий и бюджета во времени: рост поступлений прибыли, отчислений по налогу в бюджет и капитализацию нераспределенной прибыли бизнесом.

Установим:

- 1) начальный капитал фирмы (в окне свойств блока «Business» значение для InitialCondition), равный 1;
- 2) ставку налога (поле ConstantValue блока «TaxRate»), равную 0.3;
- 3) рентабельность (поле ConstantValue блока «Rntb»), равную 0.5,
и «прогоним» модель.

В итоге в окне Display получаем значение 8.189 (это сумма налоговых поступлений за указанный период), в окне Display1 – значение 7.037 (это собственный капитал фирмы за указанный период). В окнах Scope и Scope1 получаем соответственно налоговые поступления в бюджет и прирост капитала фирмы за указанный промежуток времени (рис. 2).

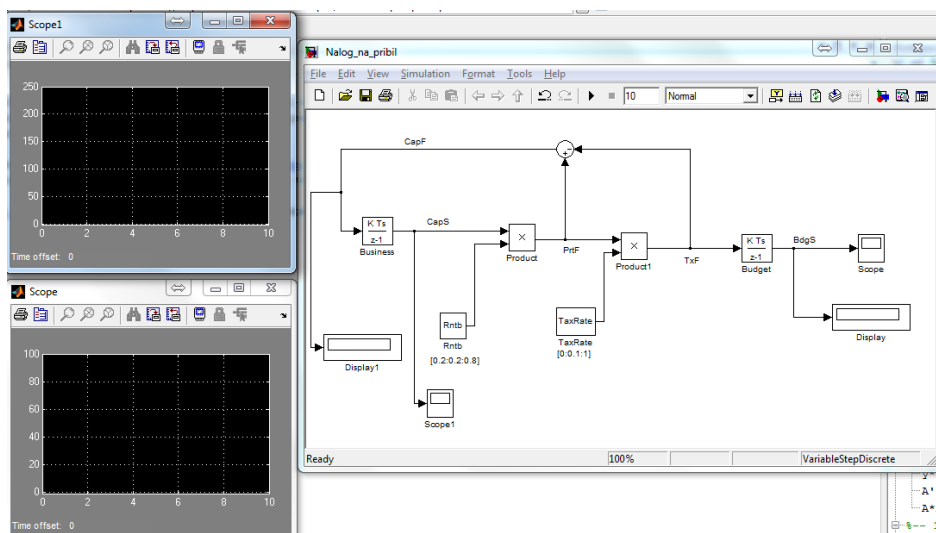
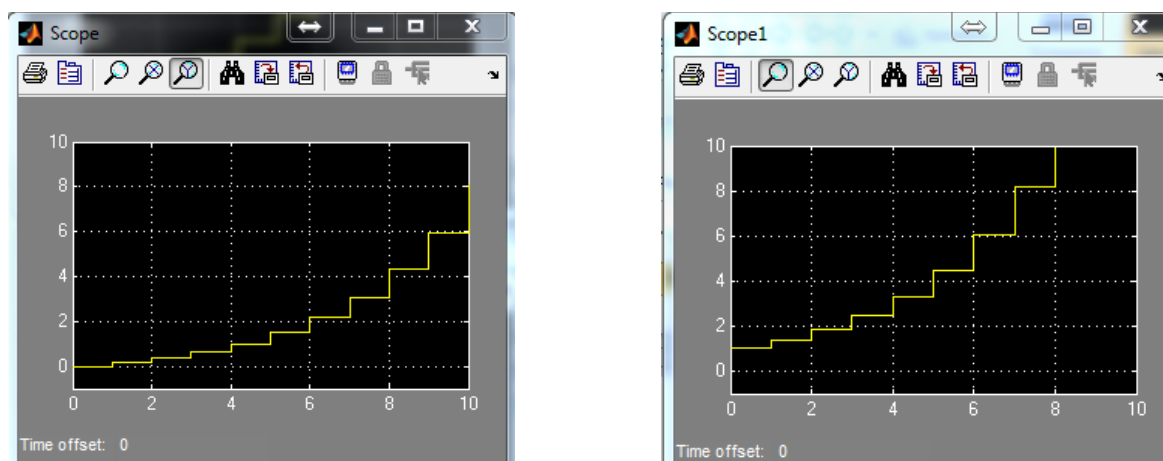


Рисунок 1 – Блок-схема имитационной модели налогообложения



а

б

Рисунок 2 – Графики поступления средств в бюджет (а) и роста капитала фирмы (б)

Зафиксируем значение рентабельности 0.5, будем изменять значение ставки налога от 0 до 1 с шагом 0.1; построим таблицу зависимости бюджета и капитала фирмы от ставки налога. Тогда наибольший капитал фирмы будет соответствовать нулевой налоговой ставке, однако наибольшая сумма налоговых поступлений будет не при максимальной налоговой ставке (в этом случае капитал фирмы будет равен нулю), а при оптимальной налоговой ставке. В нашем случае, оптимальной будет налоговая ставка, примерно равная 40 %.

Для того, чтобы выяснить значение оптимальной налоговой ставки при различных значениях рентабельности следует проводить двухфакторный имитационный эксперимент.

Библиографический список

1. Кугаенко, А.А. Основы теории и практики динамического моделирования социально-экономических объектов и прогнозирования их развития / А.А. Кугаенко. – 2-е изд. – М.: Вузовская книга, 2005. – 392 с.
2. Работа с MATLAB и Simulink: метод. указания к лабораторным работам / сост.: В.В. Регада, О.Н. Регада. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2014. – 72 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЧАСТИЦУ ДВУХСЛОЙНОЙ СФЕРЫ ZnO/SiO₂ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ GEANT4

Дудин А.Н., аспирант 3 года обучения, инженерно-физический факультет
Научный руководитель: Нещименко В.В., д-р физ.-мат. наук,
доцент, доцент кафедры физики
ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»
andrew.n.dudin@gmail.com

Ключевые слова: оксид цинка, диоксид кремния, моделирование, дефекты, GEANT4

Аннотация: Представлены результаты физико-математического моделирования радиационного воздействия пучка протонов на частицу двухслойной сферы ZnO/SiO₂, в программном пакете GEANT4. Рассчитана концентрация образовавшихся первичных дефектов, установлена зависимость концентрации дефектов от числа налетающих протонов.

В настоящее время все больше времени уделяется вопросам радиационной стойкости космических летательных аппаратов. Это связано с увеличением числа и внутренней сложности вычислительных компонент, а также с временем эксплуатации. Порошки на основе оксида цинка (ZnO) традиционно применяются в качестве пигмента терморегулирующих покрытий космических аппаратов. По фото- и радиационной стойкости они занимают одно из первых мест среди таких пигментов, как TiO₂, ZrO₂, Al₂O₃, Zn₂TiO₄, MgAl₂O₄, BaTiO₃ [1]. Поэтому разработка способов повышения стойкости ZnO к действию излучений различных видов представляет научный интерес и практическую ценность.

Модифицирование порошка ZnO приводит к увеличению радиационной стойкости отражающих покрытий, изготовленных на его основе с полимерным лаком. Выполненные исследования [2] показали, что модифицирование порошка оксида цинка наночастицами диоксида кремния приводит к уменьшению коэффициента отражения по всему спектру с характерными признаками в трех областях, определяемых поглощением собственными точечными дефектами, меньшим рассеянием на наночастицах по сравнению с микрочастицами и меньшей концентрацией свободных электронов.

Целью представленной работы являлось моделирование воздействия радиационного излучения, в виде низкоэнергетических протонов, на частицу представляющую собой двухслойную сферу ZnO/SiO₂, с расчетом концентрации образовавшихся первичных дефектов.

Объектом исследования являлась двухслойная сферически-полая частица ZnO/SiO₂, смоделированная в программном пакете GEANT4. Заданные геометрические характеристики имели следующий вид: внешняя сфера ZnO диаметром 1000 нм, внутренняя сфера SiO₂ диаметром 950 нм. Толщина стенки у обеих сфер имело значение равное – 50 нм.

Построенная исследуемая геометрическая форма находилась в объеме моделируемой области в 2 мкм, заполненной вакуумом 5×10^{-5} Па. Генерация пучков частиц носило моноэнергетический характер. Профиль интенсивности пучка описывается гауссовым распределением. Частицы (протоны) с энергией 150 кэВ падали под прямым углом относительно нормали к поверхности. Пороговая энергия смещения в соединении ZnO для атома цинка была выбрана 52 эВ, для кислорода – 57 эВ [3]; в соединении SiO₂ для кремния – 40 эВ, для кислорода – 15 эВ [4]. Регистрация рожденных частиц осуществлялась на всем протяжении моделируемого объема. При моделировании учитывались процессы используемые в наборе физики QGSP_BIG_EMY.

Концентрация первичных дефектов рассчитывалась с использованием модифицированной формулы Кинчина-Пиза [5]:

$$N_{fr} = \sum_{i=1}^n \frac{0.8E_{dis,i}(\varepsilon)}{E_{d,i}},$$

(1)

где E_d – пороговая энергия смещения, $E_{dis}(\varepsilon)$ – диссипируемая энергия в ядерных столкновениях, $i = 1(\text{Zn} | \text{ZnO}), 2(\text{O} | \text{ZnO}), 3(\text{Si} | \text{SiO}_2), 4(\text{O} | \text{SiO}_2)$.

Результаты моделирования прохождения пучка из 100 протонов с энергиями 150 кэВ через двухслойную сферу ZnO/SiO₂, а также график зависимости образовавшихся дефектов от флюенса протонов представлены на рисунке 1.

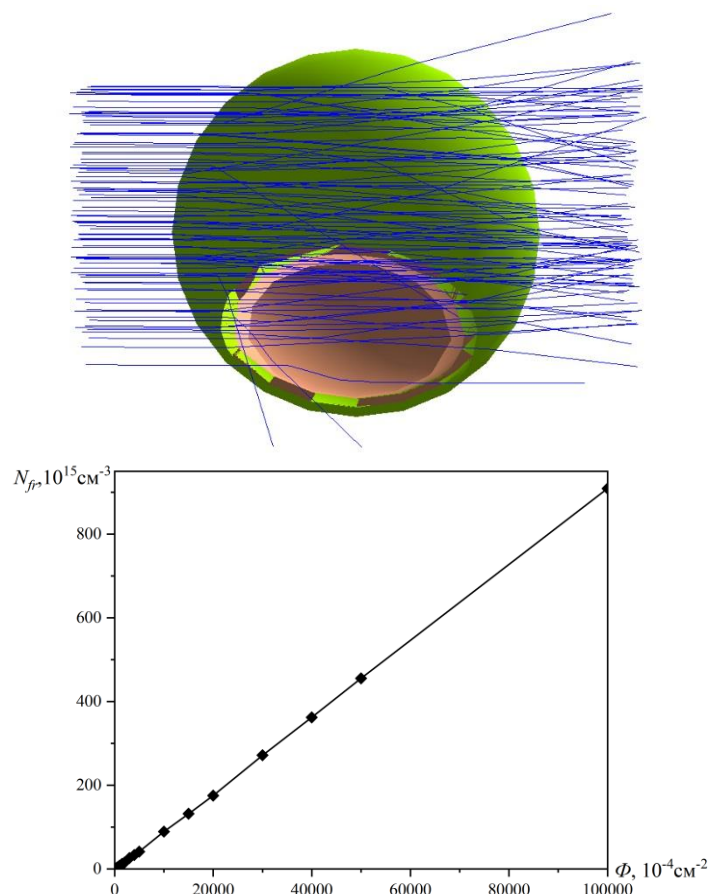


Рисунок 1 – Моделирование прохождения пучка протонов с энергией 150 кэВ через двухслойную сферу ZnO/SiO₂, график зависимости образовавшихся дефектов от флюенса протонов

Из полученных данных видно, что рассеивание протонов незначительное и происходит лишь в стенке толщиной 100 нм. Численные результаты демонстрируют возрастающую зависимость накопления дефектов в тонком слое микросферы с увеличением флюенса частиц. При сравнении полученных данных с аналогичными расчетами, представленными в [6], можно сделать вывод, что эффективность радиационной стойкости двухслойной сферы ZnO/SiO₂ оказывается меньше, чем в полной сфере ZnO.

Библиографический список

1. Михайлов М.М. Фотостойкость терморегулирующих покрытий космических аппаратов / М.М. Михайлов. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2007. – 380 с.
2. Михайлов М.М., Нецименко В.В., Юрьев С.А. Отличительные особенности спектров отражения и радиационной стойкости покрытий, изготовленных на основе порошков ZnO, модифицированных наночастицами SiO₂ // Поверхность. Рентгеновские,

синхротронные и нейтронные исследования. – 2013. – № 96. – С. 78–82.

3. Lorenz K., Alves E., Wendler E., et al. Damage formation and annealing at low temperatures in ion implanted ZnO // Applied Physics Letters. – 2005. – V.87. – P. 191904–191907.

4. Mota F., Caturla M. J., Perlado J.M. et al. Threshold energy of formation of an oxygen vacancy defect in SiO₂ by atomic displacements using molecular dynamics // Fusion Engineering and Design. – 2005. – V.75 – 79. P. 1027–1030.

5. Leroy C., Rancoita P. Principles of Radiation Interaction in Matter and Detection / C. Leroy, P. Rancoita. – Singapore: World Scientific Publishing Company, 2016. – 1344 p.

6. Дудин А.Н., Нецименко В.В. Радиационные дефекты в полых частицах оксида цинка, индуцированные воздействием низкоэнергетических протонов // В сборнике: Физика: фундаментальные и прикладные исследования, образование. – 2019. – С. 82–86.

ВЛИЯНИЕ ТИТАНАТА БАРИЯ НА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ
МУЛЬТФЕРРОИКА ОКСИДА МЕДИ В КОМПОЗИТЕ $(\text{CuO})_{0,8}/(\text{BaTiO}_3)_{0,2}$

Жежель С.А., студент 2 курса магистратуры, инженерно-физический факультет
Научный руководитель: Стукова Е.В., д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор кафедры
физики
ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»
gegell981@mail.ru

Ключевые слова: мультиферроик, сегнетоэлектрик, композит, фазовый переход

Аннотация: Исследовано влияние частиц титаната бария на сегнетоэлектрическое состояние оксида меди в композите $(\text{CuO})_{0,8}/(\text{BaTiO}_3)_{0,2}$. Показано, что в композите, по сравнению с чистым оксидом меди, под влиянием частиц титаната бария наблюдается расширение температурного интервала сегнетоэлектрического состояния.

В современных реалиях развития твердотельной электроники все более актуальной становится проблема разработки и исследования активных материалов, которыми можно управлять с помощью внешних воздействий. К числу таких материалов относятся вещества сегнетоэлектрики, мультиферроики. Интерес обусловлен возможностью использования электромагнитных взаимодействий и поляризации для создания устройств с изменяемыми емкостями, электропроводности и магнитоэлектрических коэффициентами. Спектр практических применений делает актуальным исследование в этом направлении.

В данной работе представлены результаты исследований влияния частиц титаната бария на сегнетоэлектрическое состояние в мультиферроике оксид меди.

В последние годы объектом интенсивных исследований среди мультиферроиков является оксид меди CuO . Окись меди имеет магнитное упорядочение с температурами Низеля $T_{N1} = 213 \text{ K}$ и $T_{N2} = 230 \text{ K}$. При охлаждении ниже 230 K происходит переход из парамагнитной фазы в несоразмерную с геликоидальным антиферромагнитным упорядочением, которая устойчива примерно до $T_{N1} = 213 \text{ K}$. При T_{N1} окись меди переходит в антиферромагнитное состояние с коллинеарным соразмерным упорядочением. В интервале температур между T_{N1} и T_{N2} CuO является сегнетоэлектриком [1].

В кристаллах титаната бария наблюдаются три фазовых перехода, сопровождающихся изменением структуры и свойств. При температурах выше 293 K титанат бария имеет кубическую кристаллическую структуру типа перовскита. Эта параэлектрическая модификация относится к пространственной группе $Pm\bar{3}m$. Ниже температуры 393 K , являющейся для титаната бария температурой Кюри, происходит фазовый переход, и в интервале температур до температуры 278 K BaTiO_3 является сегнетоэлектриком, имеющим тетрагональную симметрию класса $P4mm$. При искажении формы ячейки скачком возникает спонтанная поляризация, величина которой плавно нарастает от $P_s = 18 \text{ мкКл/см}^2$ при точке Кюри до примерно 26 мкКл/см^2 при комнатной температуре [2].

Для получения композита $(\text{CuO})_{0,8}/(\text{BaTiO}_3)_{0,2}$ использовались порошки химически чистых CuO и BaTiO_3 , которые тщательно смешивались и прессовались при давлении $6000\text{--}7000 \text{ кг/см}^2$, после чего спекались при температуре $1250 \text{ }^\circ\text{C}$. Образцы имели форму таблеток диаметром 12 мм и толщиной $1\text{--}2 \text{ мм}$. В качестве электродов использовалась индий-галлиевая паста. Для измерения диэлектрической проницаемости ϵ использовался широкополосный спектрометр Novocontrol в частотном диапазоне $0.1 \text{ Гц} - 10 \text{ МГц}$ и температурном интервале от 125 K до 300 K . Измерения проводились в режиме нагрев-охлаждение с точностью до 0.01 градуса. Скорость изменения температуры составляла 1

градус в минуту.

Как показали исследования диэлектрических свойств на разных частотах, для образца композита $(\text{CuO})_{0,8}/(\text{BaTiO}_3)_{0,2}$ наблюдается сильная низкочастотная дисперсия (рис. 1). Максимум диэлектрической проницаемости существенно размывается и смещается в сторону более высоких температур. Это означает, что расширяется температурный интервал существования сегнетоэлектрического состояния в оксиде меди, входящем в состав композита. При этом значения диэлектрической проницаемости увеличиваются на порядок.

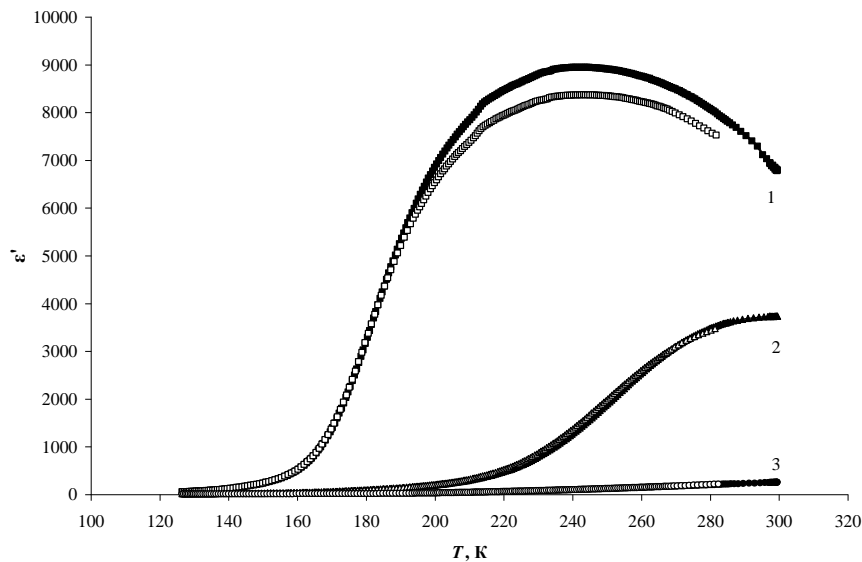


Рисунок 1 – Температурные зависимости ϵ' для образца $(\text{CuO})_{0,8}/(\text{BaTiO}_3)_{0,2}$ на частотах: 1 - 635 Гц; 2 - 70 кГц; 3 - 3 МГц (темные маркеры - нагрев, светлые маркеры - охлаждение)

Таким образом, добавление частиц титаната бария к оксиду меди оказывает влияние на расширение сегнетофазы в композите и приводит к значительному увеличению значений диэлектрической проницаемости.

Библиографический список

1. Esbrink S. A refinement of crystal structure of copper(2) oxide with a discussion of some exceptional e.s.d.'s / S. Esbrink, L.-J. Norrby // Acta Crystallographica. В. – 1970. – V. 26. – P. 8-15.
2. Лайнс М., Гласс А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы / Лайнс М., Гласс А. / Перевод с английского под редакцией В.В. Леманова, Г.А. Смоленского – М.: Мир, 1981. – 736 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРЯМОТОЧНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА ТИПА «ТРУБА В ТРУБЕ»

Коротков Д.О., студент, 4 курс, факультет математики и информатики
 Научный руководитель: Максимова Н.Н., канд. физ.-мат. наук, доцент,
 зав. кафедрой математического анализа и моделирования
 ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»
 knamursu@mail.ru

Ключевые слова: моделирование теплообменного аппарата, задача Коши для системы ОДУ первого порядка, метод Рунге-Кутты

Аннотация: В работе проводится исследование математической модели прямоточного теплообменника типа «труба в трубе».

Теплообменная аппаратура составляет весьма значительную часть технологического оборудования в химической и смежных отраслях промышленности. Рассмотрим моделирование широко распространенного в химической технологии теплообменника «труба в трубе», структура потоков которого соответствует модели «вытеснение-вытеснение». Будем рассматривать прямоточный теплообменник (движение сред происходит в одном направлении).

Рассмотрим вычислительный пример. В прямоточном теплообменнике длиной 2 м охлаждается толуол с начальной температурой 105 °С. Охлаждающая вода имеет начальную температуру 13 °С. Внутренний диаметр трубы 0,01 м. Расход толуола 0,005 м³/ч, воды – 0,012 м³/ч. Теплоемкость, плотность воды и толуола при средней температуре 65 °С соответственно 4183 Дж/(кг·°С) и 1889 Дж/(кг·°С), 998 кг/м³ и 866 кг/м³. Коэффициент теплопередачи от горячего потока хладогенту равен 220 ккал / (м²·час · °С).

Математическое описание теплообменника состоит из уравнений теплового баланса по обоим потокам. Для прямотока имеем систему дифференциальных уравнений [1]:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} = a \cdot (T_x - T), \\ \frac{dT_x}{dx} = a_x \cdot (T - T_x), \end{cases}$$

где $a = \frac{K_T \cdot F}{V \cdot C_p \cdot \rho}$, $a_x = \frac{K_T \cdot F}{V_x \cdot C_{px} \cdot \rho_x}$.

Начальные условия: $T(x=0) = 105$ °С, $T_x(x=0) = 13$ °С.

Согласно условиям задачи имеем:

$K_T = 220$ – коэффициент теплопередачи, ккал / (м²·час · °С); $\rho = 866$, $\rho_x = 998$ – плотность толуола и воды соответственно, кг/м³; $C_p = 1889$ (Дж / (кг · °С)) = 1889 / (1000 · 4,1868) = 0,451 (ккал / (кг · °С)) – теплоемкость толуола; $C_{px} = 4183$ (Дж / (кг · °С)) = 4183 / (1000 · 4,1868) = 0,999 (ккал / (кг · °С)) – теплоемкость воды; $V = 0,005$, $V_x = 0,012$ – объемные скорости толуола и воды соответственно, м³/ч; $d = 0,01$ – диаметр внутренней трубы, м; $L = 2$ – длина теплообменника, м.

Тогда вычисляем площадь поверхности теплообмена:

$$F = \pi \cdot d = 3,14 \cdot 0,001 = 0,0314 \text{ м}^2.$$

Далее находим коэффициенты системы дифференциальных уравнений:

$$a = 3,5392, \quad a_x = 0,5777.$$

Аналитическое решение имеет вид:

$$\begin{cases} T(x) = \frac{105a_x + 13}{a + a_x + 1} + \frac{105a_x + 92}{a + a_x + 1} e^{-(a+a_x)x} \\ T_x(x) = \frac{105a_x + 13}{a + a_x + 1} \cdot \left(1 + \frac{1}{a}\right) - \frac{105a_x + 92}{a + a_x + 1} \cdot \frac{a_x}{a} \cdot e^{-(a+a_x)x}. \end{cases}$$

Найдем численное решение исследуемой задачи классическим методом Рунге-Кутты четвертого порядка [2]. Реализацию метода и построение графиков выполним в ППП MATLAB.

На рисунке 1 представлены графики аналитических и численных решений задачи.

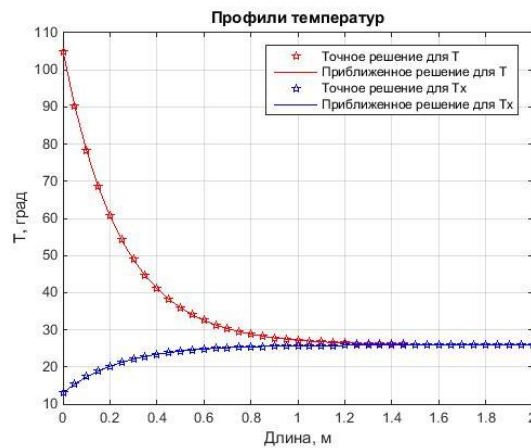


Рисунок 1 – Профиль изменения температур горячего (T) и холодного (T_x) потоков

Оценим **абсолютную погрешность** полученных приближенных решений:

$$\text{для внутренней трубы } \Delta T = \max_{x_i} |T(x_i) - \tilde{T}(x_i)| = 5,1679 \cdot 10^{-4}, \text{ где } T(x_i) \text{ и } \tilde{T}(x_i)$$

– значение точного и приближенного значения температур для внутренней трубы в расчетных узлах сетки;

$$\text{для внешней трубы } \Delta T_x = \max_{x_i} |T_x(x_i) - \tilde{T}_x(x_i)| = 8,4353 \cdot 10^{-5}, \text{ где } T_x(x_i) \text{ и}$$

$\tilde{T}_x(x_i)$ – значение точного и приближенного значения температур для внешней трубы в расчетных узлах сетки. Полученные значения свидетельствуют о высокой точности применяемого численного алгоритма.

Библиографический список

1. Фролов В.Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» / В.Ф. Фролов. – СПб.: Химиздат, 2003. – 608 с.

2. Заусаев, А.Ф. Дискретные численные методы решения обычно-венных дифференциальных уравнений: учебное пособие / А.Ф. Заусаев, М.А. Романюк. – Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2018. – 116 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СЖИМАЮЩЕМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Лобурец М.А., студент 4 курса бакалавриата, факультет математики и информатики
 Научный руководитель: Труфанова Т.В., канд. тех. наук, доцент
 ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»
 loburecmaksim@mail.ru

Ключевые слова: дифференциальное уравнение, колебание упругой балки, аналитический метод, метод конечных разностей.

Аннотация: Данная работа посвящена математическому моделированию поперечных колебаний упругой балки. В статье рассмотрены краевые задачи для обыкновенных дифференциальных уравнений колебательных процессов, проведено их математическое моделирование.

Говоря о колебаниях, мы имеем ввиду движения, явления, процессы, обладающие свойством хотя бы приблизительной повторяемости во времени. Объект той или иной физической природы, в котором реализуется колебательный процесс, называют колебательной системой.

Большинство современных технических сооружений, различных приборов, инструментов, различных механизмов представляют собой сложные системы, основу которых представляют колебательные конструкции, скомпонованные из стержневых и тонкостенных элементов, изготовленных из материалов, которые в пределах достаточно малых деформаций могут рассматриваться как упругие.

При создании конструкций, нагруженных сжимающими усилиями, часто возникает необходимость расчета сжатых прямолинейных стержней. Впервые подобная задача была рассмотрена Л. Эйлером.

Требуется найти решение линейного однородного уравнения, удовлетворяющее граничным условиям:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 y}{dx^2} + \omega^2 y &= 0, \\ y(0) = y(l) &= 0, \end{aligned} \tag{1}$$

где $\omega^2 = P/(EJ)$; l – длина стержня; E – модуль упругости материала; J – геометрический момент инерции сечения стержня; P – сжимающая сила; $y(x)$ – функция, характеризующая искривление первоначально прямолинейной оси стержня;

Сначала решаем эту задачу аналитически. Поскольку, соответствующее (1) характеристическое уравнение $\lambda^2 + \omega^2 = 0$ имеет комплексно сопряженные чисто мнимые корни $\lambda_{1,2}^* = \pm i\omega$, будем искать нетривиальное решение уравнения в виде

$$y(x) = C_1^* \cos \omega x + C_2^* \sin \omega x, \tag{2}$$

где C_1^* и C_2^* произвольные постоянные.

Подставляя (2) в краевые условия задачи (1), находим $C_1^* = 0$ и $C_2^* \sin \omega l = 0$. Полагаем, что $\sin \omega l = 0$, т.е. $\omega_k l = k\pi$ ($k \in Z$). Тогда каждому значению ω_k как собственному значению данной краевой задачи будет с учетом (2) соответствовать ее собственная функция

$$y_k = C_2^* \sin \frac{k\pi x}{l} \quad (3)$$

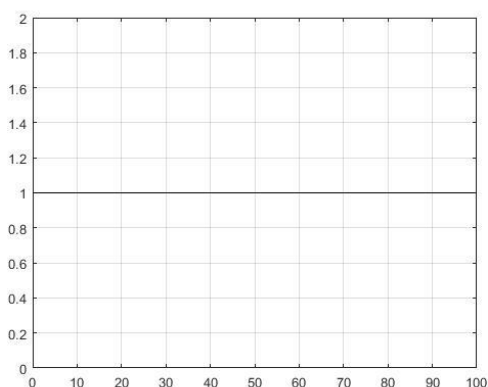
которую можно задать с точностью до произвольного множителя C_2^* . Итак, бесконечное множество решений данной краевой задачи, отличных от тривиального, можно описать при помощи (3), считая, что $k \in \mathbb{N}$. Каждому из таких решений соответствует значение сжимающей силы

$$P_k^* = \omega_k^2 EJ = k^2 \pi^2 \frac{EJ}{l^2}, \quad k \in \mathbb{N}, \quad (4)$$

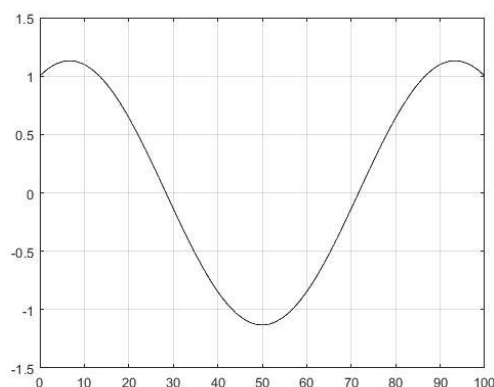
при котором может существовать форма равновесия стержня, отличная от прямолинейной.

Рассмотрим численную реализацию краевой задачи (1) методом конечных разностей в ППП Matlab с граничными условиями 1-го рода.

1. Преобразование дифференциального уравнения второго порядка к системе двух уравнений первого порядка;
2. Написание функции для вычисления правой части системы;
3. Написание функции, определяющей граничные условия;
4. Формирование начального приближения при помощи специальной функции `bvpinit`;
5. Вызов функции `solvers bvp4c` для решения граничной задачи;
6. Визуализация результата.



а)



б)

Рисунок 1 – а) Прямолинейное состояние балки при отсутствии сжимающей силы; б) отклонение при сжимающем воздействии силы

В данной работе представлены методы решения краевой задачи для обыкновенного дифференциального уравнения на примере поперечных колебаний упругой балки и представлена графическая визуализация полученного решения.

Библиографический список

1. Агафонов С.А., Герман А.Д., Муратова Т.В. Дифференциальные уравнения: учеб. для вузов / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. - 3-е изд, стереотип. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. - 352 с. (Сер. Математика в техническом университете; Вып. VIII).
2. Агошков, В.И. Методы решения задач математической физики: учеб. Пособие / В.И. Агошков, П.Б. Дубовский, В.П. Шутяев. - М.:Физматлит, 2002. - 320 с.

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДОМ ТФЭ ПЛЁНОК ДИСИЛИЦИДА БАРИЯ НА КРЕМНИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ МЕТОДОМ РЭМ

Новгородцев Н.С., студент 3 курса бакалавриата, инженерно-физический факультет,
Попов А.А., студент 4 курса бакалавриата, инженерно-физический факультет,
Дубов В.Л., младший научный сотрудник НОЦ
Научный руководитель: Фомин Д.В., канд. физ.-мат. наук, доцент, директор НОЦ
ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»
nnc19991999@gmail.com

Ключевые слова: фотоэлектрические преобразователи, дисилицид бария, твёрдофазная эпитаксия, растровая электронная микроскопия

Аннотация: Дисилицид бария является перспективным материалом для получения фотоэлектрических преобразователей. В работе представлен анализ изображений полученных с помощью растровой электронной микроскопии плёнок дисилицида бария сформированных методом ТФЭ. Полученные плёнки состоят из гранул разного размера, огранённых зёрен, размер которых колеблется от 1 до 10 мкм, присутствует сетка трещин.

Материалом, из которого создаются промышленные фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) с наибольшим КПД (30 %) является арсенид галлия [1], однако формирующие его вещества дороги и их концентрация на планете невысока, поэтому экономичнее изготавливать ФЭП из кремния, который распространён повсеместно, однако теоретический предел КПД которого составляет 25 % [2]. Ряд статей [3-5] показывает перспективность плёнок дисилицида бария как материала для создания солнечных элементов, КПД которых может теоретически достигать значений арсенид-галлиевых ФЭП при более низкой стоимости.

В лаборатории физики поверхности НОЦ АмГУ осаждение в настоящий момент происходит методом твёрдофазной эпитаксии. Одновременное соосаждение бария и кремния позволяет исключить время на перемешивание слоев бария и кремния в процессе формирования пленки по сравнению с послойной ТФЭ [6].

Полученные образцы формировались в СВВ камере с базовым давлением 10^{-7} Па методом твердофазной эпитаксии по следующей методике:

- 1) Формирование 20 нм затравочного слоя дисилицида бария, соосаждением бария и кремния со скоростями 0,6 и 0,4 нм/мин соответственно при температуре подложки 600°C.
- 2) Осаждение пленки до 100 нм путем соосаждения бария и кремния с теми же скоростями при комнатной температуре.
- 3) Двухэтапная рекристаллизация при 600°C и 800 °C в течении часа при каждой температуре.
- 4) Медленное охлаждение образца в течении 10 минут до комнатной температуры.

Морфология поверхности образцов была изучена с помощью растрового электронного микроскопа HITACHI TM1000 с разрешением 100 нм/пиксель, результат показан на рисунке 1. Из РЭМ-изображений видно, что образцы N1 (а) и N2 (б) состоят из гранул разного размера. Также на поверхности наблюдаются зёрна размерами 200-300 нм с редкими кристаллитами до 2 микрометров и сетка трещин, которая образуется из-за несовпадения эпитаксиальных соотношений пленки дисилицида бария и подложки кремния, а также по причине разных коэффициентов термического расширения дисилицида бария и кремния.

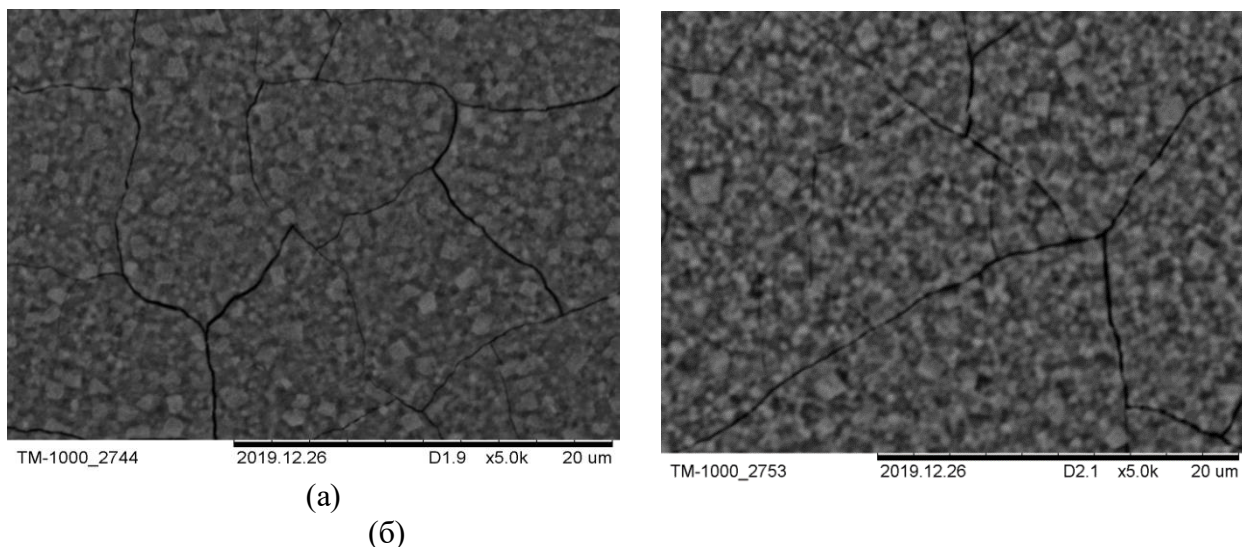


Рисунок 1 – РЭМ изображения образцов N1 (а) и N2 (б), сформированных методом твердофазной эпитаксии при соосаждении Ва и Si на подложку Si(111)

Таким образом, анализ РЭМ изображений показал, что полученные плёнки дисилицида бария не обладают достаточной адгезией к подложке кремния. Возможно, для большей адгезии необходимо увеличить время охлаждения образцов после их рекристаллизации, так как при этом, времени будет достаточно для перестройки гетерограницы при сжатии с разной скоростью пленки бария и подложки кремния.

Библиографический список

1. Кирилаш А.И. Фотоэлектронные преобразователи на основе пористого арсенида галлия/ А.И. Кирилаш, С.В. Симченко, В.В. Кидалов// Физическая инженерия поверхности. – 2012. – Т. 10. – № 2. – С. 217-220.
2. Имамов Э.З. Уникальная возможность создания дешевого, но эффективного кремниевого солнечного элемента / Т.А. Джалалов, Р.А. Муминов, Р.Х. Рахимов // Computational nanotechnology. – 2017. – №1. – С. 56-60.
3. Olindo I. Thin-film silicon-based quadruple junction solar cells approaching 20 % conversion efficiency / I. Olindo, A. Hendrikus, M. Smets, M. Zeman // Solar Energy Materials & Solar Cells. – 2014. – P. 76-84.
4. Ajmal Khan, M. Al- and Cu-doped BaSi₂ films on Si(111) substrate by molecular beam epitaxy and evaluation of depth profiles of Al and Cu atoms / M. Ajmal Khan, M. Takeishi, Y. Matsumoto, T. Saito, T. Suemasu // Institute of Applied Physics. – 2011. – P. 11-14.
5. Morita K. Optical and electrical properties of semiconducting BaSi₂ thin films on Si substrates grown by molecular beam epitaxy / K. Morita, Y. Inomata, T. Suemasu // Institute of Applied Physics. – 2005. – P. 363-366.
6. Дубов В.Л. Твердофазный рост и структура пленок дисилицида бария на Si (111) / В.Л. Дубов, Д.В. Фомин, Н.Г. Галкин // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2016. – № 2. – С. 114-119.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ИОДАТА АММОНИЯ И ТИТАНАТА БАРИЯ

Павлов А.В., студент 2 курса магистратуры, инженерно-физический факультет
Научный руководитель: Стукова Е.В., д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор кафедры физики
ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»
katal75@mail.ru

Ключевые слова: композит, сегнетоэлектрик, диэлектрическая проницаемость

Аннотация: Исследованы диэлектрические свойства сегнетоэлектрического композита $(\text{NH}_4\text{IO}_3)_{1-x}/(\text{BaTiO}_3)_x$ при $x = 0,05$ и $0,15$. Показано, что в композите температура фазового перехода при охлаждении повышается на 3 градуса. Увеличение объемной доли частиц титаната бария до 15 % приводит к размытию температурного максимума диэлектрической проницаемости.

Актуальность исследования сегнетоэлектриков обусловлена, прежде всего тем, что в настоящее время сегнетоэлектрические материалы находят все более широкое практическое применение в различных областях техники. Высокая восприимчивость к электрическим полям ведет к применениям, в которых необходимо концентрировать энергию. Высокая диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектриков используется в нелинейных конденсаторах большой емкости, высокоэффективных приемниках и преобразователях электромагнитного излучения в видимой и инфракрасной части спектра, энергонезависимых элементах памяти, сенсорах, аудиодатчиках. Композиты на основе сегнетоэлектриков, состоящие из различных по своим свойствам компонентов или фаз, становятся более перспективными для таких применений.

Целью данной работы является определение изменений диэлектрических свойств сегнетоэлектрического композита на основе иодата аммония и титаната бария по сравнению с чистым иодатом аммония.

Сегнетоэлектрические свойства иодата аммония NH_4IO_3 были открыты в 1976 году [1]. При температуре выше 120°C иодат аммония находится в кубической α -фазе. Ниже этой температуры кристалл переходит в орторомбическую пьезоэлектрическую β -фазу ($Pc2_1n$) с постоянными решетки $a = 6,426 \text{ \AA}$, $b = 9,104 \text{ \AA}$, $c = 6,466 \text{ \AA}$. При дальнейшем понижении температуры, в области около 85°C , происходит трансформация в сегнетоэлектрическую γ -фазу ($Pm2_1b$), которая тоже является орторомбической, с постоянными решетки $a = 6,413 \text{ \AA}$, $b = 9,156 \text{ \AA}$, $c = 6,411 \text{ \AA}$. Структурная трансформация вблизи 85°C между неполярной пьезоэлектрической β -фазой и сегнетоэлектрической γ -фазой обусловлена изменением наклона октаэдров IO_6^- в перовскитоподобной структуре. Фазовый переход относится к переходу первого рода с аномалиями диэлектрических, пьезоэлектрических и упругих констант.

В титанате бария присутствуют три фазовых перехода, при которых происходит изменение структуры и свойств кристалла. При температурах выше 120°C титанат бария имеет кубическую кристаллическую структуру типа перовскита, находящуюся в параэлектрической фазе. Ниже этой температуры, являющейся для титаната бария температурой фазового перехода, происходит фазовый переход в сегнетоэлектрическую фазу, длящуюся до температуры 5°C BaTiO_3 . При искажении формы ячейки скачком возникает спонтанная поляризация, величина которой плавно нарастает от $P_s = 18 \text{ мкКл/см}^2$ при точке Кюри до примерно 26 мкКл/см^2 при комнатной температуре [2].

Для получения композита $(\text{NH}_4\text{IO}_3)_{1-x}/(\text{BaTiO}_3)_x$ при $x = 0,05$ и $0,15$ (x – объемная доля) использовались порошки химически чистых NH_4IO_3 и BaTiO_3 , которые тщательно смешивались в соответствующих пропорциях и прессовались при давлении 6000-7000 кг/см². Образцы имели форму таблеток диаметром 12 мм и толщиной 1-2 мм. В качестве электродов использовалась индий-галлиевая паста. Для измерения комплексной диэлектрической проницаемости применялся цифровой измеритель LCR-meter Hioki 3532 – 50 на частоте 100 кГц. В качестве электродов использовалась индий-галлиевая паста. Температура определялась с помощью электронного термометра Hioki с хромель-алюмелевой термопарой. Исследования проводились в температурном интервале от 60 до 130 °С в автоматическом режиме со скоростью нагрева 1 °С/мин. Точность определения температуры составляла 0,1 °С. Погрешность измерения диэлектрической проницаемости исследуемых образцов не превышала 5 %.

На рисунке 1 представлены температурные зависимости диэлектрической проницаемости образцов композита в сравнении с чистым иодатом аммония. Из графиков следует, что для образцов композита ($x = 0,05$ и $0,15$) температура фазового перехода при охлаждении на 3 градуса выше по сравнению с чистым иодатом аммония.

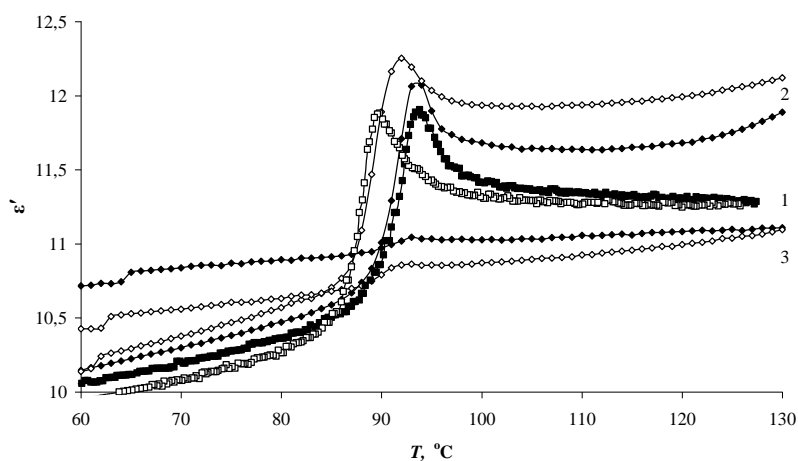


Рисунок 1 – Температурные зависимости ϵ' для образцов композита $(\text{NH}_4\text{IO}_3)_{1-x}/(\text{BaTiO}_3)_x$ на частоте 100 кГц: 1) $x = 0$; 2) $x = 0,05$; 3) $x = 0,15$ (темные маркеры - нагрев, светлые маркеры - охлаждение)

Для композита $(\text{NH}_4\text{IO}_3)_{0,85}/(\text{BaTiO}_3)_{0,15}$ происходит существенное размытие максимума, соответствующего фазовому переходу, и незначительное снижение значений диэлектрической проницаемости. Таким образом, в композите (при $x = 0,05$ и $0,15$) температура фазового перехода при охлаждении повышается. Увеличение объемной доли частиц титаната бария до 15 % приводит к размытию температурного максимума диэлектрической проницаемости

Библиографический список

1. Ока Т. Ferroelectricity in NH_4IO_3 / Т. Ока, Т. Mitsui, Y. Shiroishi, Sh. Sawada // J. Phys. Soc. Japan. – 1976. – V. 40 (3). – P. 913-914.
2. Лайнс М. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы / М. Лайнс, А. Гласс / Перевод с английского под редакцией В.В. Леманова, Г.А. Смоленского – М.: Мир, 1981. – 736 с.

АНТАГОНИСТИЧЕСКИЕ ИГРЫ В ВОЕННОМ ДЕЛЕ

Тимошенко Н.С., курсант 1 курса, Салифу И.З., курсант 1 курса СФ
Научный руководитель: Трюхан Т. А. кандидат физ.– мат. наук
Дальневосточное высшее общевойсковое командное ордена Жукова училище имени
Маршала Советского Союза К.К. Рокоссовского

Ключевые слова: антагонистические игры, платёжная матрица, цена игры.

Аннотация: В работе сделан анализ основных понятий по теме исследования и рассмотрено ряд задач военного содержания.

При решении ряда военных задач приходится анализировать ситуации, в которых сталкиваются две (или более) враждующие стороны, преследующие различные цели, причём результат любого мероприятия каждой из сторон зависит от того, каков образ действий, который выберет противник.

Например, две роты полка, встретив опорные пункты противника, вступили с ним в соприкосновение. Командир полка знает, что решительный успех, может быть достигнут, если имеет по меньшей мере двойное превосходство в силах. Из донесения разведки ему стало известно, что у противника пять рот, а его полк насчитывает на роту больше, но в боях уже давно, сильно потрепан. Внимательно обдумав и взвесив обстановку, командир решил, что в этих условиях исход боя будет хорошим, если противнику будут нанесены максимально возможные потери, а свои собственные сведены к минимуму. Возникает вопрос: как же лучше, использовать оставшиеся четыре роты, те, что ещё не вступили в бой? Решением такой задачи и подобным им занимается математическая дисциплина – теория конфликтных ситуаций или теория игр.

Антагонистической игрой называется некооперативная игра, в которой участвуют два и более игроков, выигрыши которых противоположны [1].

Рассмотрим игру «Вооружение и самолёты».

Пусть в распоряжении стороны A имеется три вида вооружения: A_1, A_2, A_3 , а в распоряжении стороны B – три вида самолётов: B_1, B_2, B_3 .

Задача стороны A – сбить самолёт; задача стороны B – оставить самолёт непоражённым.

Личный ход стороны A – выбор типа вооружений; личный ход стороны B – выбор самолёта для боевых действий.

Построить матрицу игры, если вооружением A_1 , самолёты B_1, B_2, B_3 поражаются соответственно с вероятностями 0,5; 0,6; 0,8; вооружением A_2 – с вероятностями 0,9; 0,7; 0,8; вооружением A_3 – с вероятностями 0,7; 0,5; 0,6. Задача игрока A – поразить как можно больше самолётов, задача – сохранить самолёт непоражённым.

Выигрышем игры является поражение самолёта. Сторона A стремится его максимизировать, а сторона B – минимизировать.

Рассмотрим поведение игрока A . Предположим, что игрок A выбрал стратегию A_1 . но на неё игрок B выберет стратегию B_1 , и в результате игрок A получит выигрыш с вероятностью 0,5. На стратегию A_2 игрок B выберет стратегию B_2 и выигрыш игрока A составит 0,7; на стратегию A_3 игрок B ответит стратегией B_2 . В этом случае выигрыш игрока A составит 0,5.

Очевидно, что некоторое преимущество имеет стратегия A_2 , и выигрыш игрока A составит 0,7.

Аналогично ведёт себя игрок B . При выборе стратегии B_1 игрок A ответит стратегией A_2 и выигрыш игрока B составит 0,9; на стратегию B_2 игрок A ответит стратегией A_2 и снова выигрыш игрока B составит 0,7; на стратегию B_3 игрока A ответит стратегией A_2 . Выигрыш игрока B составит 0,8. Так как игрок A стремится поразить как можно больше самолётов, то для него некоторое преимущество перед другими стратегиями будет иметь стратегия A_2 . Выигрыш составит 0,7. Так как игрок B стремится потерять как можно меньше самолётов, то для него, очевидно, более выигрышной является стратегия B_2 . Выигрыш составит 0,7.

На этом примере можно убедиться в том, что стратегии A_2 и B_2 являются наивыгоднейшими стратегиями для обоих игроков. Достигнуто как бы положение равновесия; если игрок A выберет стратегию A_2 , то для игрока B наилучшей является стратегия B_2 и наоборот.

В таблице 1 представлены нижние и верхние цены игры «Вооружение и самолёты».

Таблица 1 – Игра «Вооружение и самолёты»

| $A \backslash B$ | B_1 | B_2 | B_3 | α_i |
|------------------|-------|------------|-------|------------|
| A_1 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,5 |
| A_2 | 0,9 | 0,7 | 0,8 | 0,7 |
| A_3 | 0,7 | 0,5 | 0,6 | 0,5 |
| β_j | 0,9 | 0,7 | 0,8 | |

Таким образом, получили, что игра имеет решение в чистых стратегиях. Так как нижние и верхние цены игры совпадают, т.е. $\alpha = \beta = \gamma$, то величина γ называется ценой игры в чистых стратегиях. Пара стратегий, отвечающих седловой точке, называются оптимальными стратегиями.

Рассмотрев задачу, в которой противник строит действия своей группировки войск ПВО так, что налет может быть осуществлен тремя различными способами. Необходимо найти способ, который обеспечит наибольшую вероятность достижения цели. В таблице 2 представлены вероятности достижения цели для каждого способа налета.

Таблица 2 – Вероятности достижения цели

| Способы налета | Вероятность достижения цели |
|----------------|-----------------------------|
| 1 | 0,7 |
| 2 | 0,6 |
| 3 | 0,4 |

Вычеркивая заведомо невыгодные для противника столбцы и строки, применяя принцип доминирования и отклонив невыгодные варианты, получим результат, представленный в таблице 3.

Таблица 3 – Варианты действий противника

| | |
|-----|-----|
| 2 | 3 |
| 0,2 | 0,3 |
| 0,7 | 0,4 |

Теория игр совместно с теорией оптимального управления позволяют принимать оптимальные решения в разнообразных конфликтных и неконфликтных ситуациях.

Библиографический список

1. Оуэн Г. Теория игр: – М.: Вузовская книга, 2016. – 216 с.

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ПРОТОНАМИ НА ДЕГРАДАЦИЮ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИИМИДНЫХ ПЛЕНОК

Тяжелкова К.К., магистрант 2 курса, инженерно-физический факультет
 Научный руководитель: Нещименко В.В., д-р физ.-мат. наук,
 доцент, профессор кафедры физики
 ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»
tyzhelkova1970@mail.ru

Ключевые слова: полиимид, облучение, протоны, оптические свойства

Аннотация: Представлены результаты исследования влияние облучения протонами на деградацию оптических свойств полиимидных пленок.

Развитие космической техники ставит задачи по созданию новых полимерных материалов, которые обладают большой прочностью, высокой радиационной стойкостью и малым весом, что определяет перспективу их использования. В условиях открытого космоса такие материалы подвержены действию высокого вакуума, набегающих потоков атомарного кислорода, протонов, электронов, а также резким перепадам температур. Как правило, в таких условия в полимерных материалах происходят процессы радиационной деструкции.

Настоящая работа посвящена определению изменения оптических свойств в УФ, видимом и ближнем ИК-диапазонах полиимидной пленки до и после облучения протонами с энергией 100 кэВ флюенсом $5 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$.

Анализ спектров пропускания показал (рисунок 1. (а)), что воздействие протонов приводит к образованию интегральной полосы наведенного поглощения в области от 511-1122 нм. Это обусловлено образованием свободных радикалов из-за процессов радиационной деструкции пиромеллитовых диангидридов и ароматических диаминов с образованием радикалов цианатов ($-\text{N}=\text{C}=\text{O}$), иминов ($\text{C}=\text{C}=\text{N}$) и амидов ($\text{C}-\text{O}-\text{N}$).

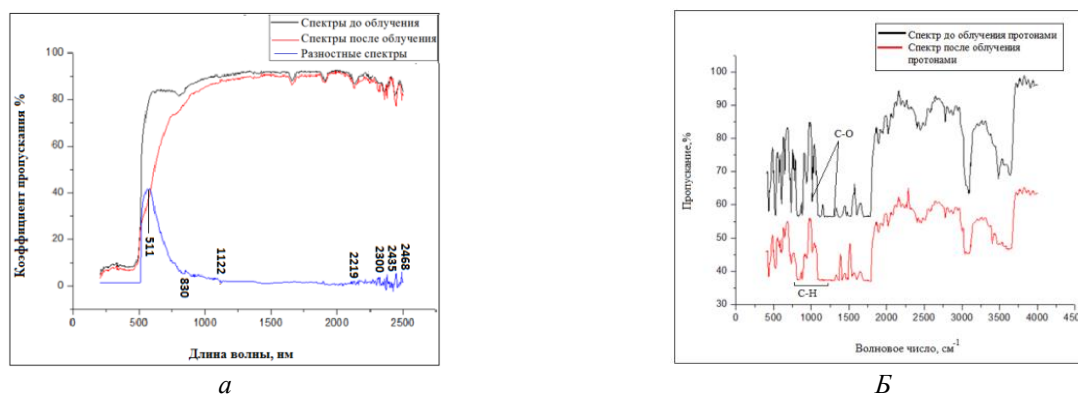


Рисунок 1 – Спектр пропускания (а) и ИК-спектры (б) полиимидной пленки до и после воздействия протонами

После облучения протонами в ИК-спектрах регистрируется уменьшение интенсивности от 500 до 1120 см^{-1} , и увеличение интенсивности пиков поглощения в области от 1900 до 3650 см^{-1} в полиимидной пленки после облучения протонами. Это связано с увеличением концентрации связи $\text{C}-\text{C}$, $\text{C}=\text{O}$, $\text{C}-\text{N}$, которые обуславливают данные пики, что подтверждает образование радикалов цианатов, иминов и амидов после облучения протонами.