

3. Гурцев, А. И. Фрактальная структура ветви дерева / А. И. Гурцев, Ю. Л. Цельникер // Сибирский экологический журнал. – 1999. – Т. 4. – С. 431 – 441.
4. Денис, Дж. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений / Дж. Дэннис, Р. Шнабель. – М.: Мир, – 1988. – 440 с.

©ГГТУ

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ КРУГЛЫХ ТОНКИХ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПЛАСТИН

*О.В. РОГОВЦОВА, К.С. КУРОЧКА*

It seems a mathematical model of a thin circular sandwich plate under the vertical load on the basis of the finite element method using an axisymmetric finite element advantage is the small dimension of the resulting stiffness matrix in sufficient accuracy for practical use calculations

Ключевые слова: математическое моделирование, метод конечных элементов, прогиб трехслойных пластин

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все большее применение находят трехслойные элементы конструкций. Совместное использование материалов с существенно различающимися термомеханическими характеристиками позволяет получать в рамках конструкции новые полезные свойства, недостижимые при применении однородных элементов. Прочные и жесткие несущие слои обеспечивают необходимые значения деформаций, а внутренние слои, перераспределяя усилия между несущими слоями, могут также выполнять и ряд других функций [1].

### 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривается тонкая круглая трехслойная пластинка под действием вертикальной поперечной нагрузки в цилиндрической системе координат. Пластина состоит из внешних несущих слоев 1 и 2 соответственно толщиной  $h_1$  и  $h_2$  и жесткого заполнителя толщиной  $h_0$ , воспринимающего нагрузку в тангенциальном направлении. На контуре пластины предполагается наличие жесткой диафрагмы, препятствующей относительному сдвигу слоев, при этом пластина может быть свободно оперта, шарнирно оперта или защемлена. Перемещения в каждом слое будут определяться из уравнения Софи Жермен – Лагранжа. Для слоев пластины принимаются гипотезы Кирхгофа [1].

### 3. ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Для построения математической модели воспользуемся методом конечных элементов на основе вариационного принципа Лагранжа [1, 2]. Будем использовать осесимметричный конечный элемент [2]. В качестве искомой функции принимается прогиб. Для тонкой круглой пластины будут отсутствовать сдвиговые деформации, т.е. векторы деформаций и напряжений будут содержать только прогиб.

### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате были получены соотношения для аналитического вычисления локальных матриц жесткости, что минимизирует погрешность при нахождении глобальной матрицы жесткости и позволяет ускорить процесс ее формирования.

Достоинством предлагаемой математической модели и методики ее применения является использование осесимметричных конечных элементов, позволяющих для дискретизации исследуемой пластины применять меньшее число узлов, чем при использовании элементов других типов.

#### Литература

1. Старовойтов, Э.И. Деформирование трехслойных элементов конструкций на упругом основании [монография] / Э.И. Старовойтов, А.В. Яровая, Д.В. Леоненко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 379 с.
2. Zienkiewicz, O.C. The finite element method for solid and structural mechanics. Sixth edition / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor. – Oxford : Elsevier, 2005. – 631 p.

©БГТУ

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРЫЖКОВОЙ ПРОВОДИМОСТИ В КОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНКАХ ФТАЛОЦИАНИН МЕДИ-ПОЛИСТИРОЛ

*Л.Д. РУСАК, А.Е. ПОЧТЕННЫЙ*

The effect of adsorbed oxygen on the conductivity of laser evaporated copper phthalocyanines – poly-styrene films of with variable surface topography was studied using the method of cyclic thermodesorption. The results are interpreted in terms of a two-level hopping conductivity model. Microscopic parameters of the electron hopping transport (the radius of electron localization in the intrinsic and impurity states and the concentration of localization centers) are evaluated. The region of oxygen concentration in which the electron transport proceeds by hopping via intrinsic states, or impurity localized electron states, or a combined system involving the states of both types are determined

Ключевые слова: органический полупроводник, прыжковая проводимость

Пленки фталоцианинов широко применяются при разработке газовых сенсоров, солнечных батарей, светоизлучающих диодов. На функционирование всех этих устройств существенное влияние оказывает адсорбированный из атмосферы кислород.

Целью работы является установление механизма влияния адсорбированного кислорода на проводимость пленок фталоцианин меди–полистирол, выявление вклада собственных и примесных центров локализации в проводимость пленок, определение влияния ширины примесной зоны, по которой осуществляется электроперенос, на энергию активации проводимости.

Пленки CuPc-PS были получены методом лазерного распыления в вакууме порошкообразных мишеней. Проводимость пленок измерялась электрометром, при этом использовался метод циклической термодесорбции [1, с. 2593].

Качественное и количественное описание полученных результатов может быть осуществлено на основе двухуровневой модели прыжковой проводимости [1, с. 2594].

При расчетах использовались значения радиусов локализации электронов 45 пм и 42,7 пм, концентрации центров локализации в материале без примесей  $1,19 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$ , наилучшим образом описывающие экспериментальные данные. Поскольку соответствующая указанной концентрации центров локализации характерная длина прыжка составляет около 1 нм, при расчетах использовалось значение  $\varepsilon = 1$ .

При высоких начальных концентрациях адсорбированного кислорода проводимость и ее энергия активации обусловлены переносом электронов по собственным состояниям. Десорбция кислорода уменьшает количество примесных состояний и увеличивает количество собственных состояний, что приводит к росту энергии активации проводимости и предэкспоненциального множителя. При некоторой концентрации кислорода происходит перезахват уровня Ферми примесными состояниями, перенос электронов по которым и вносит основной вклад в проводимость при дальнейшем уменьшении концентрации адсорбированного кислорода. При этом дальнейшая десорбция кислорода увеличивает как энергию активации проводимости, так и величину предэкспоненциального множителя [2, с. 36].

Таким образом, сопоставление теоретических расчетов с экспериментом позволяет определять концентрацию центров локализации и радиусы локализации электронов в примесных и собственных состояниях, устанавливать, по каким состояниям – собственным или примесным – осуществляется перенос электронов, а также рассчитать ширину зоны по которой осуществляется электроперенос.

#### Литература

1. Почтенный А.Е. Физика твердого тела // БГТУ. 1996. Т. 38, № 8. С. 2592–2601.
2. Почтенный А.Е., Русак Л.Д. Сборник научных работ 64-й научно-технической конференции студентов и магистрантов 22-27 апреля 2013г. Сборник научных работ в 3-х частях. Часть 2 // БГТУ. 2013. С. 35–39.

©БГУ

### ЛИНЕЙНЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА С ОБОБЩЕННЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ В АЛГЕБРЕ МНЕМОФУНКЦИЙ

А.Ю. РУСЕЦКИЙ, Н.В. ЛАЗАКОВИЧ

In the work is described associated solutions of the Cauchy problem for equations in differentials in algebra of mnemo-functions corresponding to linear differential equations of the second order with generalized coefficients, and the study of their property

Ключевые слова: линейное дифференциальное уравнение второго порядка; алгебра мнемифункций; ассоциированные решения; ассоциированные фундаментальные матрицы

В работе рассматриваются задачи Коши для неоднородного дифференциального уравнения:

$$\begin{cases} Y''(t) + a'(t)Y'(t) + \sigma'(t)Y(t) + f'(t) = 0, \\ Y(0) = c_1, \\ Y'(0) = c_2, \end{cases} \quad (1)$$

где  $t \in T = [0, b]$ ,  $c_1, c_2 \in \mathbb{R}$ ,  $\sigma, a, f : T \rightarrow \mathbb{R}$  – непрерывные справа функции ограниченной вариации,  $\sigma', a', f'$  – их обобщённые производные. А также для соответствующего ему однородного дифференциального уравнения.

Дифференциальные уравнения второго порядка (1) с помощью замены  $X_1(t) = Y(t)$ , сводится к системам двух дифференциальных уравнения первого порядка. Полученным задачам Коши ставится в соответствие задача Коши в прямом произведении алгебр мнемифункций. В работе находятся ассоциированные решения исходных задач. При определенных связях между параметрами конечно-разностных задач с осреднением, решения этих задач сходятся в  $L^1(t)$ ,  $t \in T$  к решениям систем (см. [1, 2]):