

6. Влияние СВЧ-излучения на термическую стабильность нанопорошка алюминия. А.В. Мостовщиков, А.П. Ильин, П.Ю. Чумерин, Ю.Г. Юшков, В.А. Ваулин, Б.А. Алексеев - Письма в ЖТФ, 2016, Т 42, В 7, с 17-22.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛАНАРНЫХ НАНОСТРУКТУР

Е.А. ЛЕВЧЕНКО¹

¹Томский политехнический университет

E-mail: levchenkoa@tpu.ru

Система уравнений, состоящая из динамического уравнения Гинзбурга-Ландау (1) для параметра порядка и уравнения на вектор-потенциал магнитного поля (2) [1] применена для математического моделирования сверхпроводящей фазы в магнитном поле в трехмерных Nb планарных наноструктурах:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = - \left(\frac{i}{k} \nabla + \vec{A} \right)^2 \cdot \Psi + \Psi - |\Psi|^2 \cdot \Psi \quad (1)$$

$$\sigma \cdot \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = \frac{1}{2 \cdot i \cdot k} \cdot (\Psi^* \cdot \nabla \Psi - \Psi \cdot \nabla \Psi^*) - |\Psi|^2 \cdot \vec{A} - \nabla \times \nabla \times \vec{A} \quad (2)$$

с граничными условиями

$$\begin{aligned} (\nabla \Psi, \vec{n}) &= 0, \\ \nabla \times \vec{A} &= \vec{B}_a, \\ (\vec{A}, \vec{n}) &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь k – параметр Гинзбурга-Ландау, \vec{B}_a - приложенное к системе магнитное поле.

Моделирование двумя способами проведено в COMSOL Multiphysics. Первый способ заключается в записи исходной задачи в слабой форме. При этом граничные условия вводятся в систему с помощью вспомогательной переменной [2].

При моделировании вторым способом выделяется несколько областей. Первая область – область внутри сверхпроводника. В ней совместно решается система уравнений (1), (2). Вторая область – область, окружающая сверхпроводник. Размеры этой области определяются с учетом того, что на внешней границе области магнитное поле равно \vec{B}_a . В этой области решается только уравнение (2), при этом полагается, что $\Psi = 0$ (т.к. в данной области отсутствуют куперовские пары). На границе двух областей учитывается непрерывность вектора-потенциала.

Оба способа моделирования дают одинаковые результаты, и могут быть использованы для разных целей. В первом подходе моделирование занимает меньше времени, второй способ позволяет построить картину магнитного поля как внутри сверхпроводника, так и в области, его окружающей.

На рисунке 1 показано распределение квадрата модуля параметра порядка для планарной структуры размерами $5 \times 5 \times 0.5$ безразмерных единиц в сечении плоскостью $z=0.5$, $k=4$. Шаг по времени от 0 до 300 безразмерных единиц равен 0.1, с 300 до 1500 – 1. Внешнее магнитное поле $B_a=0.6$.

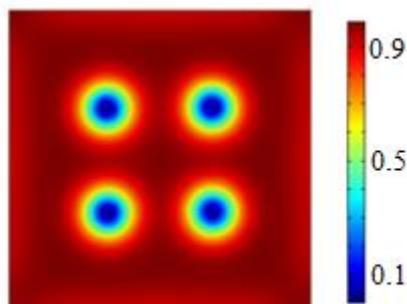


Рисунок 1 – Модуль квадрата параметра порядка при $V_a=0.6$

Исследованы эффекты перенормировки магнитного поля в трехмерных структурах, исследованы полное и индуцированное сверхпроводником магнитные поля. Для разных значений внешнего магнитного поля получено распределение вихрей Абрикосова. Найдены критические значения магнитного поля.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00228.

Список литературы

1. Introduction to Superconductivity / M. Tinkham. - McGraw-Hill: New York, 1996.
2. Alstrøm, T. S., Sørensen, M. P., Pedersen, N. F., & Madsen, S. Magnetic Flux Lines in Complex Geometry Type-II Superconductors Studied by the Time Dependent Ginzburg-Landau Equation // Acta Applicandae Mathematicae. 2010. - 115(1). – pp. 63-74.

УПРОЧНЕНИЕ ЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ МНОГОСТЕННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

А.А. ЛЕОНОВ^{1,2}, ХАОЦЕ ЛЮ^{1,3}, ЦЗИН ЛИ^{1,3}, В.Д. ПАЙГИН¹

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

²Институт сильноточной электроники СО РАН

³Чунцинский университет искусств и науки

E-mail: laa91@tpu.ru

Углеродные нанотрубки (УНТ) широко используются в качестве упрочняющих агентов в различных керамических матрицах для повышения вязкости разрушения (трещиностойкости). Существуют одностенные (ОУНТ) и многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ), которые различаются по структурным характеристикам и по свойствам [1]. ОУНТ обладают более высокими механическими свойствами, чем МУНТ и являются предпочтительным упрочняющим материалом. Композит на основе ZrO_2 с 1 мас.% ОУНТ проявляет повышение трещиностойкости на 36 % по сравнению с керамикой ZrO_2 без добавок [2]. Композит Al_2O_3 содержащий 3 об.% ОУНТ имел повышенные значения трещиностойкости (на 12 %) по сравнению с неармированной керамикой Al_2O_3 [3, 4]. Однако композиты, упрочненные МУНТ, также обладают достаточно высокой трещиностойкостью. Увеличение трещиностойкости на 102 % наблюдалось для композита ZrO_2 с добавкой 12 об.% МУНТ [5], что объяснялось механизмами упрочнения УНТ, которые включали в себя разрыв УНТ, отклонение трещин на УНТ и т.д. Композит Al_2O_3 с 3 об.% МУНТ имел значение трещиностойкости равное $4,93 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ [6, 7], что более чем в два раза выше значений трещиностойкости ($2,41 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$) керамики Al_2O_3 [8]. Целью настоящей работы являлось исследовать влияние МУНТ на физико-механические свойства композитов на основе ZrO_2 .