

рование «шероховатых» доменных стенок обусловлено появлением отдельных нанодоменов перед движущейся доменной стенкой за счет коррелированного зародышеобразования [2,3].

Также исследовалась доменная структура в объеме кристалла после охлаждения в постоянном поле и быстрого выключения поля в конце процесса. Заряженные доменные стенки и квазипериодическая доменная структура были визуализированы при помощи СМПО на неполярном X-срезе. Стабильность доменной структуры изучалась при помощи многократной визуализации методом СМПО.

В работе было использовано оборудование Уральского центра коллективного пользования "Современные нанотехнологии», УрФУ. Исследование выполнено при поддержке Правительства Российской Федерации (постановление № 211, контракт 02.А03.21.0006) и РФФИ (грант 16-02-00821-а).

1. Shur V.Ya., Shikhova V.A., Pelegov D.V., Ievlev A.V., Ivleva L.I., Phys. Sol. State., 53, 2311 (2011).
2. Shur V., Shikhova V., Ievlev A., Zelenovskiy P., Neradovskiy, Pelegov D., Ivleva L., J. Appl. Phys., 112, 064117 (2012).
3. Shur V.Ya., J. Mat. Sci., 41, 199 (2006).

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ НАНОТРУБОК ДИФЕНИЛАЛАНИНА МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЙЯНИЯ СВЕТА

Давыдов А.О. *, Зеленовский П.С, Васильев С.Г.,
Южаков В.В., Шур В.Я., Холкин А.Л.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: blackhole.ck@gmail.com

MICRO-RAMAN INVESTIGATION OF ELASTIC PROPERTIES OF DIPHENYLALANINE NANOTUBES

Davydov A.O. *, Zelenovskiy P.S., Vasilev. S.G., Yuzakov V.V., Shur V.Ya., Kholkin A.L.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Elastic properties of diphenylalanine nanotubes were studied by micro-Raman spectroscopy. Dynamic model of the nanotube and analysis of Raman spectra allowed to determine 4 independent components of the tubes' effective elastic tensor and to estimate values of Young moduli that consist with direct measurements by nanoindentation.

Пьезоэлектрические микро- и нанотрубки дифенилаланина ($C_{18}H_{20}N_2O_3$, FF) обладают важными пьезоэлектрическими и нелинейно оптическими свойствами и являются перспективным материалом для создания новых биосовместимых

сенсоров, пьезоэлектрических элементов и т.п. [1-2]. Особый интерес вызывает большая жесткость их структуры (модуль Юнга от 19 до 27 ГПа [3,4]). В данной работе компоненты тензора упругости и модуль Юнга определены с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС). Полученное значение модуля Юнга согласуется с прямыми измерениями методом наноиндентации.

Микротрубки выращивались из раствора порошка FF (Bachem AG) в 1,1,1,3,3,3-гексафлюоро-2-пропанолe с добавлением деионизованной воды [5]. Спектры КРС измерялись с помощью конфокального микроскопа комбинационного рассеяния Alpha 300AR, экспериментальное измерение модуля Юнга производилось сканирующим нанотвердомером NanoScan 4D.

Микротрубки FF представляют собой пучок нанотрубок, состоящих из двух подсистем: кольца из 6 молекул FF и воды внутри этих колец. Типичный спектр КР микротрубок FF состоит из низкочастотных линий решеточных колебаний ($50\text{-}250\text{ см}^{-1}$) и линий характеристических колебаний различных функциональных групп (более 250 см^{-1}). Эффективная жесткость микротрубок связана с эффективной частотой решеточных колебаний, которая вычисляется как средне-взвешенное значение по спектральной области $50\text{-}250\text{ см}^{-1}$. С помощью простой динамической модели нанотрубки и изменения направления поляризации лазера относительно оси нанотрубки были определены 4 независимые компоненты тензора упругости трубок FF, которые согласуются с первопринципными расчетами [6].

Полученные значения упругих констант использовались для расчета модуля Юнга и согласуются с величинами, измеренными напрямую методом наноиндентации, и определенными из первопринципных расчетов (Таблица 1).

Таблица 1. Определенные в работе значения модуля Юнга нанотрубок FF

Трубки	КРС	Расчет [6]	Наноиндентация
Заполненные	$E_{\text{крс}} = 16,77\text{ ГПа}$	–	$E_{\text{ни}} = 23 \pm 7\text{ ГПа}$
Незаполненные	–	$E_{\text{т}} = 8,75\text{ ГПа}$	$E_{\text{ни}} = 9 \pm 1\text{ ГПа}$

Исследование выполнено с использованием оборудования УЦКП «Современные нанотехнологии» УрФУ за счет гранта Президента РФ для молодых ученых-кандидатов наук (14.Y30.15.6554-МК) и при финансовой поддержке Правительства РФ (постановление 211, контракт 02.A03.21.0006).

1. Tayi A.S., Kaeser A. et al. Nature Chem. 7, 281 (2015).
2. Horiuchi S., Tokura Y. Nature Mater. 7, 357 (2008).
3. Kol N., Gazit E. et al. Nano Lett. 5, 1343 (2005).
4. Niu L., Chen X., Allen S., Tandler S.J.B. Langmuir 23, 7443 (2007).
5. Zelenovskiy P.S., Shur V.Ya., Vasilev S.G. et al. Ferroelectrics 475, 127 (2015).
6. Azuri I., Adler-Abramovich L., Gazit E. et al. J. Am. Chem. Soc. 136, 963 (2014).