

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА НАНОТРУБОК

А.Л. Козловский^{1, 2)}

¹⁾Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
пр. Сатпаева 2, 010008 Астана, Казахстан

²⁾Астанинский филиал Института ядерной физики МЭ РК,
пр. Абылай хана 2/1, 010008 Астана, Казахстан, artem88sddt@mail.ru

В работе представлены результаты изучения влияния ионизирующего излучения на структурные свойства нанотрубок на основе меди. Методами рентгеновской дифракции изучена динамика изменения формы кристаллитов, плотности дислокаций и ориентации медных нанотрубок до и после облучения. Показано, что облучение ускоренными ионами оказывает существенное влияние на изменение текстурных коэффициентов и плотности дислокаций. При этом при дозах $1 \cdot 10^{10}$ см⁻² и выше наблюдается накопление кислорода в структуре нанотрубок, что приводит к появлению оксидных соединений

Введение

В процессе ионной имплантации происходит внедрение примесных атомов. Налетающие частицы в результате многократных столкновений с кристаллической решеткой мишени постепенно теряют энергию, рассеиваются и, в конечном итоге, останавливаются, распределяясь по глубине образца. Энергетические потери обусловлены не только неупругими столкновениями (взаимодействие с электронами мишени), но и упругими парными ядерными столкновениями, при которых энергия передается атомам мишени и резко изменяется траектория движения частиц. При этом траектория иона представляет сложную ломаную линию, которая состоит из отрезков пути между актами рассеяния. Одним из важных явлений при ионном облучении является процесс аморфизации. При этом на сегодняшний день до сих пор ведутся споры о природе данных процессов как в объемных материалах, так и наноструктурах.

На сегодняшний день сведений о природе радиационных дефектов в наноструктурах не так много, как для массивных материалов. Анализ литературных данных выявил ряд комплексных исследований по изучению влияния ускоренных легких и тяжелых ионов на транспортные свойства наноструктур, синтезированных в каналах полимерных трековых мембран [1-4].

В данной работе рассматривается изменение структурных и проводящих свойств нанотрубок на основе меди под действием ускоренных ионов O^{3+} с различным флюенсом.

Методика эксперимента

Электрохимический синтез в треки шаблонной матрицы проводился в потенциостатическом режиме при напряжении 1.0 В. Состав раствора электролита: $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (238г/л), H_2SO_4 (21г/л). Выход меди по току из сернокислых растворов электролитов составляет 100%. Контроль за процессом роста наноструктур осуществлялся методом хроноамперометрии мультиметром «Agilent 34410А». Так как шаблонные ПЭТФ матрицы являются диэлектриком, для создания проводящего слоя, методом магнетронного напыления в вакууме, наносился слой золота толщиной не более 10 нм, являющийся в дальнейшем рабочим электродом (катодом) при электрохимическом осаждении.

Облучение образцов нанотрубок в полимерных матрицах проводилось на ускорителе тяжелых ионов «ДЦ-60» Астанинского филиала Института Ядерной Физики ионами O^{3+} и с флюенсом от $1 \cdot 10^8$ до $5 \cdot 10^{11}$ см⁻². Для определения длины пробега ускоренных ионов в металлических наноструктурах проведен теоретический расчет потерь энергии на электронах и ядрах исследуемых наноструктур с помощью программы «SRIM 2013 Pro». В качестве налетающих пучков рассматривались ускоренные ионы O^{3+} , с диапазоном энергий 1.0-1.75 МэВ/нуклон с шагом 0.25 МэВ/нуклон.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 представлены РЭМ изображения полученных исходных образцов.

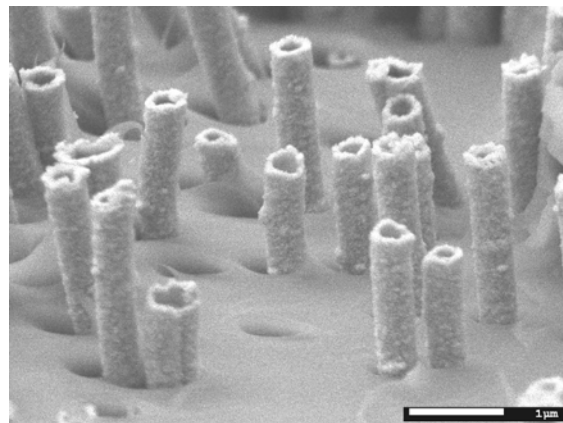


Рис. 1. РЭМ – изображение исходных нанотрубок

Из РЭМ-микрофотографий видно, что трубки являются изотропными и цилиндрическими, с длиной 12 мкм и внешним диаметром 380 нм, что соответствует размерам пор исходной шаблонной матрицы. Толщина стенок составила 110 нм.

По результатам картирования установлено, что с увеличением дозы облучения наблюдается увеличение концентрации кислорода в структуре, при этом при больших дозах облучения концентрация кислорода неравномерна по структуре: на краях стенок концентрация кислорода больше.

Увеличение концентрации на краях может быть обусловлено миграцией дефектов к внешней стороне стенок или формированию оксидных соединений в процессе взаимодействия стенок трубок с полимером в результате возникновения локальных областей нагрева при взаимодействии налетающих ионов с узлами кристаллической решетки.

Согласно проведенным расчетам в программном комплексе «SRIM 2013 Pro» максимальная длина пробега ионов O^{3+} в медных наноструктурах составляет 9.92 мкм. При взаимодействии налетающих ионов с атомами решетки возможно резкое зигзагообразное изменение траектории от первоначального направления. При этом при больших энергиях налетающих частиц начинает доминировать электронное торможение, при этом траектория движения налетающих частиц практически не отклоняется от первоначального направления.

Рентгеноструктурный анализ образцов Cu–НТ до и после облучения ионами O^{3+} показал, что исследуемые образцы представляют собой поликристаллические структуры, причем вид дифрактограмм свидетельствует о дифракции на наноразмерных объектах. При малых дозах облучения наблюдается незначительное изменение параметра элементарной ячейки Cu–НТ от стандартных значений. Однако при дозах выше $5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ наблюдается резкое увеличение значений a , возможно, это обусловлено имплантацией ионов O^{3+} в межузелье кристаллической решетки меди, что и приводит к ее увеличению. При этом при больших дозах облучения наблюдается аморфизация кристаллической структуры, а также уширение пиков, которое обусловлено увеличением степени тепловых колебаний, возникающих в процессе нагрева и имплантации. Уширение пиков и изменение параметров межплоскостных расстояний d

может быть обусловлено движением дефектов по кристаллической структуре.

С увеличением дозы облучения размер кристаллитов уменьшается, что может быть обусловлено перестройкой кристаллической структуры, а также изменением степени текстурирования нанотрубок. Увеличение плотности дислокаций может быть связано с уменьшением среднего размера кристаллитов, что приводит к увеличению числа границ зерен. Увеличение дозы облучения приводит к уменьшению среднего размера зерен и увеличению плотности дислокаций и, следовательно, деформации решетки, обусловленной увеличением тепловых колебаний и расщеплением зерен в результате взаимодействия налетающих ионов с кристаллической решеткой.

Заключение

Таким образом, на примере упорядоченных массивов Cu–НТ, синтезированных в матрице ПЭТФ ТМ, показана возможность проведения ионной имплантации ионов O^{3+} в кристаллическую структуру нанотрубок, в результате которой наблюдается изменение параметров кристаллической решетки за счет тепловых колебаний. При этом при дозах $1 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ и выше наблюдается накопление кислорода в структуре НТ, что приводит к появлению оксидных соединений.

Список литературы

1. Guo P., Martin C.R., Zhao Y., Ge J. // Nano Lett. 2010. V. 10. P. 2202.
2. Shen C., Wang X., Zhang W., Kang F. // Sci. Rep. 2013. V. 3. P. 2294.
3. Cultrera A., Boarino L., Amato G., and Lamberti C. // J. Phys. D. Appl. Phys. 2014. V. 47. P. 015102 (1–8).
4. Ritika Choudhary, Chauhan R.P. // J Mater Sci: Mater Electron. 2016. V. 27. P. 11674.

IONIZING RADIATION INFLUENCE ON STRUCTURAL PROPERTIES OF NANOTUBES

A.L. Kozlovsky^{1,2)}

¹⁾L.N. Gumilyov Eurasian National University,
2 Satpayev ave., 010008 Astana, Kazakhstan

²⁾Astana branch of the Institute of Nuclear Physics,
2/1 Abylai Khan ave., 010008 Astana, Kazakhstan, artem88sddt@mail.ru

The paper presents the results of studying the effect of ionizing radiation on the structural properties of nanotubes based on copper. The dynamics of changing the crystallite shape, the dislocation density, and the orientation of copper nanotubes before and after irradiation research has been studied by X-ray diffraction methods. The irradiation with accelerated ions is shown to have a great impact on changing texture coefficients and dislocation density. At doses of $1 \cdot 10^{10}$ and higher, oxygen accumulates in the nanotube structure, which leads to the appearance of oxide compounds.