

## НАПРАВЛЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ НАНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПУТЕМ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

К.Ш. Жумадилов<sup>1)</sup>, А.Л. Козловский<sup>1, 2)</sup>, М.В. Здоровец<sup>1, 2)</sup>

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

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

Электронное облучение металлических наноструктур является эффективным инструментом для стимулирования контролируемой модификации структурных и проводящих свойств материала. Использование электронного облучения с энергиями менее 500 кэВ позволяет проводить контролируемый отжиг дефектов нанотрубок, что приводит к улучшению проводящих свойств за счет уменьшения сопротивления. В этом случае использование радиационных доз выше 150 кГр индуцирует разрушение образцов, вызванное термическим нагревом нанотрубок, что приводит к разрушению кристаллической решетки и аморфизации образца.

### Введение

Одной из актуальных задач, стоящих перед разработчиками специализированной техники (авиационная и ракетно-космическая техника), является обеспечение высоких показателей эксплуатационной надежности приборов и аппаратуры в условиях повышенного уровня радиационных воздействий различного типа (электроны, протоны и тяжелые заряженные частицы, рентгеновское и гамма излучения). Как известно, для наступления необратимых изменений в полупроводниковых приборах микроэлектроники поглощенные дозы радиации должны составлять или превышать 105-106 рад, в интегральных микросхемах – 104-105 рад. Данные уровни радиационной стойкости элементной базы не обеспечивают требуемого временного ресурса (особенно в случае космических аппаратов, даже при работе в условиях ряда околоземных орбитах, не говоря уже о полетах на другие планеты солнечной системы).

В данной работе рассматривается направленная модификация ионизирующим излучением структурных свойств наноматериалов на основе никеля.

### Основная часть

Электрохимический синтез в треки шаблонной матрицы проводился в потенциостатическом режиме при напряжении 1.75 В. Контроль за процессом роста наноструктур осуществлялся методом хроноамперометрии мультиметром «Agilent 34410А». Так как шаблонная ПЭТФ матрица является 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 наноструктур проводилось на импульсном электронном ускорителе ТЭУ – 500. Основные параметры импульсного электронного ускорителя ТЭУ-500: ускоряющее напряжение до 500 кВ, длительность импульса тока 100 нс, выведенный ток электронного пучка 4 кА, плотность тока пучка на мишени 50 А/см<sup>2</sup>, энергия в пучке 100 Дж. Поглощенная доза в образцах составила порядка 12 кГр за импульс. Обработка образцов производилась в атмосфере воздуха. При облучении варьировалось количество импульсов электронного пучка: 5, 9, 12, 15, 18 импульсов. Частота следования импульсов 0.3 имп/с. Максимальное количество импульсов было определено изменением прочностных свойств матриц при данной частоте следования импульсов: при более 20 импульсах образцы становились хрупкими. В результате проведенного исследования установлена зависимость изменения структурных и проводящих свойств Ni нанотрубок от дозы облучения электронами. Применение электронного облучения с энергиями менее 500 кэВ позволяет проводить контролируемый отжиг дефектов нанотрубок, что приводит к улучшению проводящих свойств за счет снижения сопротивления. При этом использование доз облучения выше 150 кГр приводит к деструкции образцов, вызванной локальным термическим нагревом нанотрубок, приводящим к разрушению кристаллической решетки и аморфизации образцов.

Полученные данные представляют большой интерес для потенциального применения контролируемой модификации структурных и проводящих свойств нанотрубок путем электронного облучения.

### DIRECTED MODIFICATION OF NANOSTRUCTURAL MATERIALS BY IONIZING RADIATION

K.Sh. Zhumadilov<sup>1)</sup>, A.L. Kozlovsky<sup>1, 2)</sup>, M.V. Zdorovets<sup>1, 2)</sup>

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

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

Electron irradiation of metal nanostructures is an effective tool for stimulating a controlled modification of the structural and conductive material properties. Use of the electron irradiation with energies less than 500 keV allows conducting controlled annealing of nanotube defects, which leads to the improvement of the conductive properties due to decreasing resistance. In this case, the use of radiation doses above 150 kGy induces the samples destruction, caused by the thermal heating of nanotubes, leading to the crystal lattice destruction and the sample amorphization.