

**РАДИАЦИОННАЯ МОДИФИКАЦИЯ FeNi НАНОСТРУКТУР****Боргеков Дарын Боранбаевич***borgekov@mail.ru*

Докторант 3го курса специальности 6D060500 "Ядерная физика"  
физико-технического факультета ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан  
Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Здоровец М.В.

**Введение**

Как известно данных о стабильности и устойчивости к внешним воздействиям наноструктурных материалов на сегодняшний день не так много, при этом большинство из них являются разрозненными исследованиями касающимися изучению воздействия внешних факторов на определенные свойства наноматериалов [1-3]. При этом практически все наноструктурные материалы, полученные различными методами являются в той или иной степени неравновесными структуры, обладающие наличием неравновесными фазами, сильными искажениями и деформациями структуры, высокой пористостью или степенью разупорядочения. Наиболее распространенными методами направленной модификации являются термический отжиг дефектов в различных средах, а также применение облучения наноструктур различными видами ионизирующего излучения. При этом, в случае применения термического отжига, процессы аннигиляции дефектов в результате изменения величины тепловых колебаний атомов и последующей перекристаллизации наноструктур, как правило, при больших температурах отжига приводят не только к отжигу дефектов, но и процессам фазовых превращений, что ведет за собой не только изменение структуры, но и проводящих и магнитных свойств наноматериалов. В свою очередь изменение фазового состава для железосодержащих наноструктур может сопровождаться окислением и образованием оксидных фаз, которые в большинстве случаев играют двоякую роль и проводят к укрупнению или увеличению размеров наноструктур. В отличие от термического отжига, воздействие различными видами излучения, в частности, электронами или гамма-квантами, которые обладают малыми размерами, все структурные изменения связаны с воздействием на электронную структуру наноматериалов и точечные дефекты, возникшие в процессе получения [4,5]. При этом большие энергии электронов или гамма-квантов (более 1-5 МэВ) приводят к образованию в структуре электронных каскадов, способных привести к существенному изменению в электронной плотности наноструктур, что приводит к упорядочению структуры и изменению ориентации текстурных плоскостей. В то же время при облучении электронным и гамма-излучением вероятность увеличения геометрических размеров наноструктур крайне мала, что свидетельствует о большой перспективности данных видов излучения для направленной модификации и снижения неравновесности структурных параметров в наноматериалах.

**Экспериментальная часть**

Наноструктуры были получены с применением метода электрохимического восстановления ионов металлов из раствора электролита под действием электрического тока. В качестве раствора электролита использовались соли железа и никеля –  $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NiSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  в молярном соотношении 1:10. Использование данного соотношения растворенных компонент и разности прикладываемых потенциалов 1.5 В приводит к возможности получения двухкомпонентных наноструктур близких по составу к пермаллоидным соединениям.

Для снижения дефектности структуры, а также переориентации кристаллитов было использовано гамма-излучение с энергией 1.35 МэВ полученное с применением линейного ускорителя ЭЛВ-4. Дозы облучения составили 100-500 кГр с шагом 100 кГр. Использование гамма-квантов с такой энергией при взаимодействии с электромагнитными полями атомов

мишени может привести к формированию электрон-позитронных пар с последующей трансформацией энергии гамма-квантов в кинетическую энергию образующихся частиц. Формирование электрон-позитронных пар может привести к частичному отжигу точечных дефектов, изменению ориентации кристаллитов, а также снижению степени разупорядочения структуры нанотрубок.

### Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлены рентгеновские дифрактограммы нанотрубок до и после облучения. Стоит отметить, что рентгенографирование наноструктур проводилось в полимерных матрицах, в которой сохраняется ориентация наноструктур. Как видно из представленных данных для исходных наноструктур наблюдается уширение дифракционных пиков, а также наличие двух малоинтенсивных пиков с индексами Миллера (200) и (220), что свидетельствует о наличии в структуре кристаллитов ориентированных в данных направлениях. Асимметричная уширенная форма дифракционных пиков для исходных нанотрубок свидетельствует о влиянии, как размерного фактора, так и деформационного фактора на изменение структурных свойств.

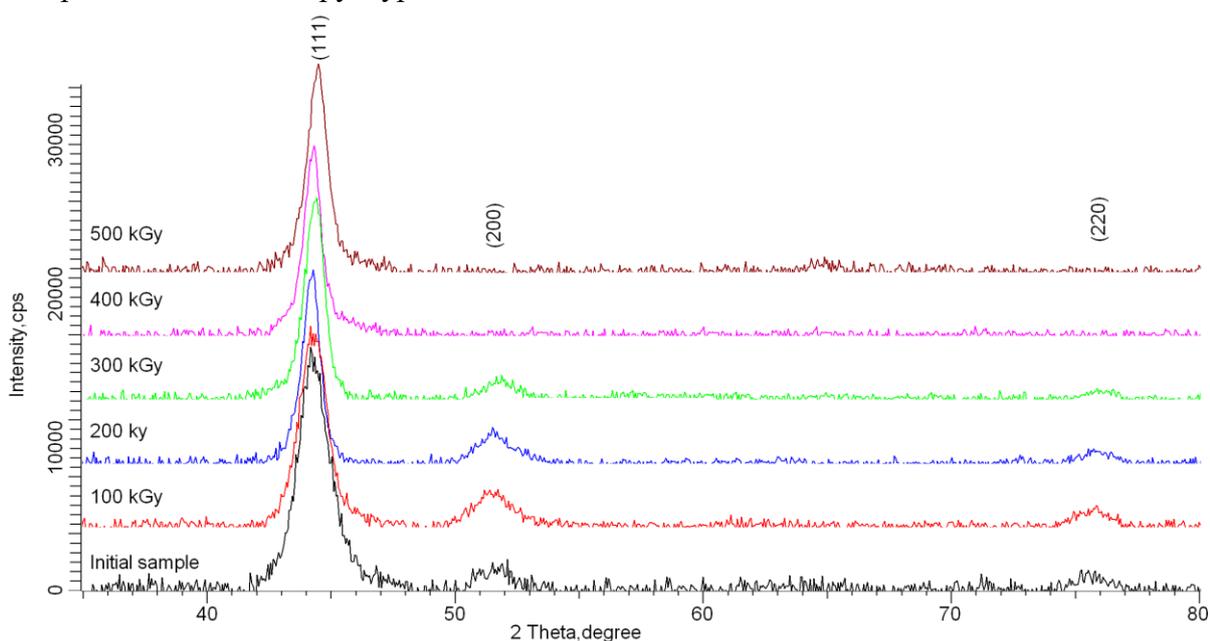


Рисунок 1. Рентгеновские дифрактограммы исследуемых образцов до и после облучения

Для облученных образцов наблюдается изменение интенсивностей дифракционных максимумов с полным доминированием дифракционного максимума (111) при дозе облучения 300 кГр и выше, при этом интенсивность дифракционных максимумов (200) и (220) для облученных образцов с дозой выше 300 кГр сравнима по величине с интенсивностью фонового излучения. Изменение интенсивностей дифракционных максимумов свидетельствует о переориентации текстуры, а также изменению ориентации кристаллитов. При этом отсутствие новых дифракционных максимумов для облученных образцов свидетельствует об отсутствии процессов связанных с фазовыми превращениями или переходами под действием облучения. В отличие от электронного воздействия при больших энергиях способного привести к фазовым перестройкам кристаллической структуры, гамма – излучение воздействует на кристаллическую структуру только путем полного поглощения энергии с образованием электрон-позитронных пар, дальнейшая миграция которых приводит к частичной аннигиляции точечных дефектов, что приводит к упорядочению структуры. О снижении деформации кристаллической структуры в результате отжига дефектов свидетельствует изменение формы дифракционных максимумов, а также изменение величин размерных и деформационных вкладов в изменение формы дифракционных максимумов.

В таблице 1 представлены данные изменения основных кристаллографических параметров, динамика изменения которых свидетельствует о структурном упорядочении и положительном влиянии гамма-излучения на изменение структурных характеристик.

Table 1. Данные изменения кристаллографических характеристик

Образец	Тип структуры	Параметр кристаллической решетки, Å	Межплоскостное расстояние, Å	Степень кристалличности
Исходный	FeNi <sub>3</sub> – кубическая Pm-3m(221)	3.5492±0.0013	2.04781	86.4
100 кГр		3.5415±0.0016	2.04318	87.3
200 кГр		3.5381±0.0021	2.04087	91.1
300 кГр		3.5367±0.0015	2.04085	93.5
400 кГр		3.5353±0.0011	2.04071	94.1
500 кГр		3.5221±0.0017	2.03632	94.5

### Заключение

В работе представлены результаты изменения структурных характеристик, а также степени текстурированности FeNi наноструктур близких по составу к пермаллоидным соединениям в результате направленной модификации гамма-излучением с энергией 1.35 МэВ и дозами от 100 до 500 кГр. Выбор энергии и доз облучения обусловлен необходимостью проведения модификации структурных свойств заключающихся в отжиге точечных дефектов возникших в процессе синтеза по всей длине нанотрубок. Исходные FeNi наноструктуры представляют собой поликристаллические нанотрубки анизотропной ориентацией кристаллитов, полученные методом электрохимического осаждения. В ходе исследования установлено, что облучение гамма-квантами приводит к снижению дефектов в структуре, а также переориентации кристаллитов и при дозах выше 300 кГр присутствием в структуре одного выделенного текстурного направления (111).

### Список литературы

1. Miller K. J. et al. Metastable  $\gamma$ -FeNi nanostructures with tunable Curie temperature //Journal of Applied Physics. – 2010. – Vol. 107. – №. 9. – P. 09A305.
2. Kurlyandskaya G. V. et al. FeNi-based magnetic layered nanostructures: Magnetic properties and giant magnetoimpedance //Journal of Applied Physics. – 2010. – Vol. 107. – №. 9. – P. 09C502.
3. Kozlovskiy A. L., Zdorovets M. V. The study of the structural characteristics and catalytic activity of Co/CoCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanowires //Composites Part B: Engineering. – 2020. – P. 107968.
4. Borgekov D. B. et al. The Study of the Applicability of Electron Irradiation for FeNi Microtubes Modification //Nanomaterials. – 2020. – Vol. 10. – №. 1. – P. 47.
5. Krashennnikov A. V., Nordlund K. Ion and electron irradiation-induced effects in nanostructured materials //Journal of applied physics. – 2010. – Vol. 107. – №. 7. – P. 3.