

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра физики твердого тела и нанотехнологий

ДЕМЕНЧУК

Наталья Олеговна

**СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СПЛАВЕ Zr-Nb,
ОБРАБОТАННОМ КОМПРЕССИОННЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ
ПОТОКАМИ И ОБЛУЧЕННОМ ИОНАМИ ГЕЛИЯ**

Дипломная работа

Научный руководитель:
кандидат физ.-мат. наук, доцент
В.И. Шиманский

«Допустить к защите»

« ____ » _____ 2024 г.

Зав. кафедрой физики твердого тела и нанотехнологий,
Доктор физ.-мат. наук, профессор
В.В. Углов

Минск, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	3
РЕФЕРАТ	4
РЭФЕРАТ	5
ABSTRACT	6
ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА 1. Структура и свойства циркония	8
1.1 Структура циркония	8
1.2 Сплавы циркония	9
1.2 Влияние легирования на свойства циркония	10
1.3 Влияние облучения на свойства сплавов Zr	13
ГЛАВА 2. Объект и методы исследования	18
2.1 Объект исследования	18
2.3 Методы исследования	20
2.3.1 Рентгеноструктурный анализ	20
2.3.2 Измерение микротвердости	24
2.3.3 Расчет деформаций с помощью метода аппроксимаций	25
ГЛАВА 3. Структура и фазовый состав сплавов Zr-7Nb и Zr-10Nb-6Cu подвергнутых плазменному воздействию и ионному облучению	27
3.1 Структура Zr после облучения ионами гелия	27
3.2 Структура сплава Zr-7Nb, подвергнутого плазменному воздействию и ионному облучению	33
3.3 Структура сплава Zr-10Nb-6Cu подвергнутого плазменному воздействию и ионному облучению	37
3.4 Зависимость деформаций кристаллической решетки от дозы облучения	41
3.5 Микротвердость облученных образцов циркония	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	46
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	48
ПРИЛОЖЕНИЕ	50

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ГПУ – гексагональная плотноупакованная кристаллическая решетка,
ИРТ – ионитронный разрядник,
МПК-КГ – магнито-плазменный компрессор компактной геометрии,
ОЦК – объёмно-центрированная кубическая кристаллическая решетка,
РБМК – реактор большой мощности канальный,
ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент.

РЕФЕРАТ

Дипломная работа 57 с., 17 рис., 15 табл., 15 источников.

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СПЛАВЕ Zr-Nb, ОБРАБОТАННОМ КОМПРЕССИОННЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ И ОБЛУЧЕННОМ ИОНАМИ ГЕЛИЯ

Объектом исследования являлись образцы технически чистого циркония, на которые наносились однослойное покрытие ниобия и двухслойное покрытие ниобия и меди методом вакуумно-дугового осаждения. Толщина покрытий составила около 2 мкм. Данные системы обрабатывались плазменными потоками, которые формировались в условиях остаточной атмосферы азота при давлении 400 Па, длительность импульса 100 мкс. После обработки происходило плавление покрытий и части циркония и были сформированы сплавы: Zr-7Nb и Zr-10Nb-6Cu. Затем исследуемые образцы подвергались ионному облучению, со следующими параметрами: ионы: He⁺⁺, энергия: 40 кэВ, доза облучения: $0,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2} - 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$.

Цель работы – изучить влияние плазменного воздействия на цирконий, приводящего к модифицированию его структуры и легированию дополнительными атомами ниобия и меди, на радиационные эффекты при облучении ионами гелия, а также на величину микроискажений кристаллической решетки. Провести исследование фазового состава сплава на основе циркония с легирующими элементами. Провести исследование физико-механических свойств данного сплава. Установить закономерности изменения фазового состава и физико-механических свойств сплава после плазменного воздействия и ионного облучения.

Методы исследования – рентгеноструктурный анализ, теоретические расчеты параметров решетки, измерение твердости методом Виккерса, расчет микронапряжений кристаллической решетки методом аппроксимаций.

РЭФЕРАТ

Дыпломная работа 57 с., 17 мал., 15 табл., 15 крыніц.

СТРУКТУРНЫЯ ЗМЭНЫ Ў СПЛАВЕ Zr-Nb, АПРАЦАВАНЫМ КАМПРЭСІЙНЫМІ ПЛАЗМЕННЫМІ ПАТОКАМІ І АПРАМЕНЕННЫМ ІЁНАМІ ГЕЛІЯ

Аб'ектам даследавання з'яўляліся ўзоры тэхнічна чыстага цырконія, на якія наносіліся аднаслаёвае пакрыццё ніёбія і двухслаёвае пакрыццё ніёбія і медзі метадам вакуумна-дугавага асаджэння. Таўшчыня пакрыццяў складала каля 2 мкм. Дадзеныя сістэмы апрацоўваліся плазменнымі патокамі, якія фармаваліся ва ўмовах атмасферы азоту пры ціску 400 Па, працягласць імпульсу 100 мкс. Пасля апрацоўкі адбывалася плаўленне пакрыццяў і часткі цырконія і былі сфармаваныя сплавы: Zr-7Nb і Zr-10Nb-6Cu. Затым доследныя ўзоры падвяргаліся іённаму апрамяненню, з наступнымі параметрамі: іёны: He⁺⁺, энергія: 40 кэВ, доза апраменьвання $0,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2} - 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$.

Мэта працы - вывучыць уплыў плазменнага ўздзеяння на цырконій, які прыводзіць да мадыфікавання яго структуры і легіравання дадатковымі атамамі ніёбія і медзі, на радыяцыйныя эфекты пры апрамяненні іёнамі гелія, а таксама на велічыню мікрадэфармацыі крышталічнай рашоткі. Правесці даследаванне фазавага складу сплаву на аснове цырконія з легіруючых элементаў. Правесці даследаванне фізіка-механічных уласцівасцяў дадзенага сплаву. Усталяваць заканамернасці змены фазавага складу і фізіка-механічных уласцівасцяў сплаву пасля плазменнага ўздзеяння і іённага апраменьвання.

Метады даследавання – рэнтгенаструктурны аналіз, тэарэтычныя разлікі параметраў рашоткі, вымярэнне цвёрдасці метадам Вікерса, разлік мікрадэфармацый крышталічнай рашоткі метадам апраксімацый.

ABSTRACT

Thesis 57 p., 17 fig., 15 tables, 15 sources.

STRUCTURAL CHANGES IN THE Zr-Nb ALLOY TREATED WITH COMPRESSION PLASMA STREAMS AND IRRADIATED WITH HELIUM IONS

The object of the study were samples of technically pure zirconium, on which a single-layer coating of niobium and a two-layer coating of niobium and copper were applied by vacuum arc deposition. The thickness of the coatings was about 2 microns. These systems were processed by plasma streams, which were formed under conditions of a residual nitrogen atmosphere at a pressure of 400 Pa, with a pulse duration of 100 microseconds. After processing, the coatings and parts of zirconium were melted and alloys were formed: Zr-7Nb and Zr-10Nb-6Cu. Then the studied samples were exposed to ion irradiation, with the following parameters: ions: He⁺⁺, energy: 40 keV, radiation dose: $0,5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-2} - 5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-2}$.

The aim of the work is to study the effect of plasma exposure to zirconium, leading to modification of its structure and doping with additional niobium and copper atoms, on radiation effects during irradiation with helium ions, as well as on the magnitude of micro-distortions of the crystal lattice. To conduct a study of the phase composition of a zirconium-based alloy with alloying elements. To conduct a study of the physical and mechanical properties of this alloy. To establish the patterns of changes in the phase composition and physico-mechanical properties of the alloy after plasma exposure and ion irradiation.

Research methods – X-ray diffraction analysis, theoretical calculations of lattice parameters, hardness measurement by the Vickers method, calculation of microstresses of the crystal lattice by the approximation method.