

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра физики твёрдого тела и нанотехнологий

УДК 539.21

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА
РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ АМОРФНЫХ
ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ

студента 6 курса 1 группы
специальности «Ядерные физика и
технологии»
Горошко Всеслава
Александровича

Научный руководитель
Зав. кафедрой физики твердого тела
и нанотехнологий
д.ф.-м.н., профессор
Углов Владимир Васильевич

«ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ»

«__» _____ 20__ г.

Зав. кафедрой физики твердого тела и нанотехнологий
д.ф.-м.н., профессор Углов Владимир Васильевич

МИНСК, 2025

Содержание

Реферат	3
Рэферат	4
Abstract	5
1. Введение.....	6
1.1. Литературный обзор. Аморфные металлические сплавы.....	7
1.2. Описание образцов	16
2. Рентгеноструктурный анализ.....	17
2.1. Анализ дифрактограмм аморфных и аморфно-кристаллических сплавов.....	17
2.2. Сравнение дифрактограмм сплавов до и после облучения	24
2.3. Анализ дифрактограмм аморфных сплавов после отжига	36
3. Ближний порядок	39
4. Компьютерное моделирование облучения.....	41
Заключение	44
Список литературы	45
Приложение А. Дифрактограммы в увеличенном масштабе	47

Реферат

Дипломная работа: 48 с., 28 рис., 21 табл., 13 источников.

ЦИРКОНИЙ, АМОРФНЫЕ СПЛАВЫ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ, РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ, ОБЛУЧЕНИЕ, ИОНЫ ГЕЛИЯ, ОТЖИГ, БЛИЖНИЙ ПОРЯДОК.

Цель работы – изучить влияние облучения аморфных циркониевых сплавов ионами гелия.

Методы исследования – рентгеноструктурный анализ, компьютерное моделирование аморфной структуры.

В ходе проведенного эксперимента был произведен фазовый анализ аморфных циркониевых сплавов составов $Zr_{88.32}Fe_{8.11}Sn_{2.15}Ni_{1.43}$, $Zr_{51.32}Ti_{17.54}Ni_{15.18}Cu_{14.61}In_{1.35}$, $Zr_{47.63}Ti_{19.60}Ni_{17.41}Cu_{15.37}$, $Ti_{65.23}Zr_{34.77}$ до и после облучения ионами гелия. Сплавы были сформированы путем сверхскоростной закалки и облучены ионами гелия с энергией 40 кэВ дозой $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$, после этого были отождены при температурах 250 °С, 300 °С и 320 °С на воздухе в течение одного часа. С помощью метода рентгеновской дифракции были получены значения изменения ближнего порядка и свободного объема, которые показывают влияние облучения. Сделаны выводы о радиационной стойкости каждого состава.

Практическая значимость работы заключается в исследовании радиационной стойкости перспективных аморфных циркониевых сплавов, которые используются в качестве припоев в космической индустрии, для повышения надежности конструкций.

Рэферат

Дыпломная работа: 48 с., 28 мал., 21 табл., 13 рэсурсаў.

ЦЫРКОНІЙ, АМОΡФНЫЯ СПЛАВЫ, ФАЗАВЫ СКЛАД, РАДЫЯЦЫЙНАЯ ЎСТОЙЛІВАСЦЬ, АПРАМЯНЕННЕ, ІЁНЫ ГЕЛІЯ, АДПАЛ, БЛІЗКІ ПАРАДАК.

Мэта працы – вывучыць уплыў апраменьвання аморфных цырконіевых сплаваў іёнамі гелія.

Метады даследавання – рэнтгенаструктурны аналіз, камп'ютэрнае мадэляванне аморфнай структуры.

У ходзе праведзенага эксперыменту быў выраблены фазавы аналіз аморфных цырконіевых сплаваў складаў $Zr_{88.32}Fe_{8.11}Sn_{2.15}Ni_{1.43}$, $Zr_{51.32}Ti_{17.54}Ni_{15.18}Cu_{14.61}In_{1.35}$, $Zr_{47.63}Ti_{19.60}Ni_{17.41}Cu_{15.37}$, $Ti_{65.23}Zr_{34.77}$ да і пасля апрамянення іёнамі гелія. Сплавы былі сфармаваныя шляхам звышхуткаснай загартоўкі і апрамененыя іёнамі гелія з энергіяй 40 кэВ дозай $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Пасля гэтага былі адпаленыя пры тэмпературах 250 °C, 300 °C і 320 °C на паветры на працягу адной гадзіны. З дапамогай метаду рэнтгенаўскай дыфракцыі былі атрыманы значэння змены блізкага парадку і вольнага аб'ёму, якія паказваюць уплыў апраменьвання. Зроблены высновы аб радыяцыйнай стойкасці кожнага складу.

Практычная значнасць работы заключаецца ў даследаванні радыяцыйнай стойкасці перспектыўных аморфных цырконіевых сплаваў, якія выкарыстоўваюцца ў якасці прыпоя ў касмічнай індустрыі, для павышэння надзейнасці канструкцый.

Abstract

Thesis: 48 p., 28 fig., 21 tables, 13 sources.

ZIRCONIUM, AMORPHOUS ALLOYS, PHASE COMPOSITION, RADIATION RESISTANCE, IRRADIATION, HELIUM IONS, ANNEALING, SHORT-RANGE ORDER.

The aim of the work – study the effect of irradiation of amorphous zirconium alloys with helium ions.

The research methods – X-ray diffraction analysis, computer modeling of an amorphous structure.

During the experiment, a phase analysis of amorphous zirconium alloys of compositions $\text{Zr}_{88.32}\text{Fe}_{8.11}\text{Sn}_{2.15}\text{Ni}_{1.43}$, $\text{Zr}_{51.32}\text{Ti}_{17.54}\text{Ni}_{15.18}\text{Cu}_{14.61}\text{In}_{1.35}$, $\text{Zr}_{47.63}\text{Ti}_{19.60}\text{Ni}_{17.41}\text{Cu}_{15.37}$, $\text{Ti}_{65.23}\text{Zr}_{34.77}$ was performed before and after irradiation with helium ions. The alloys were formed by ultra-high-speed quenching and irradiated with helium ions with an energy of 40 keV at a dose of $5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-2}$, after which they were annealed at temperatures of 250 °C, 300 °C and 320 °C in air for one hour. Using the X-ray diffraction method, the values of the change in the short-range order and free volume were obtained, which show the effect of irradiation. Conclusions are drawn about the radiation resistance of each compound.

The practical significance of the work lies in the study of the radiation resistance of promising amorphous zirconium alloys, which are used as solders in the space industry, to increase the reliability of structures.