

Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского

**IX Всероссийская конференция  
и школа молодых ученых и специалистов**

**ФИЗИЧЕСКИЕ  
И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ**

22-25 октября 2024 года  
Нижний Новгород

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**



Нижний Новгород  
2024

УДК 539.2(06)+621.315.592(06)+669.53(06)

ББК В371ю27я43+В378я43

**Физические и физико-химические основы ионной имплантации:** Тезисы докладов IX Всероссийской конференции и школы молодых ученых и специалистов (Нижний Новгород, 22–25 октября 2024 г.). – Н. Новгород, 2024. – 70 с.

В данном сборнике представлены тезисы пленарных, устных и стендовых докладов, вошедших в программу IX Всероссийской конференции и школы молодых ученых и специалистов «Физические и физико-химические основы ионной имплантации» (Нижний Новгород, 22–25 октября 2024 г.).

Организаторами конференции являются Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (Н. Новгород) при финансовой поддержке в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

УДК 539.2(06)+621.315.592(06)+669.53(06)

ББК В371ю27я43+В378я43

© Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского, 2024

## **Микроструктура, магнитооптика и ферромагнетизм рутила (TiO<sub>2</sub>), имплантированного ионами кобальта при повышенной температуре подложки**

Е.М. Бегишев<sup>1)</sup>, В.В. Базаров<sup>1)</sup>, И.Р. Вахитов<sup>2)</sup>, Н.М. Лядов<sup>1)</sup>, В.И. Нуждин<sup>1)</sup>, Ю.Э. Самошкина<sup>3)</sup>, Д.А. Петров<sup>3)</sup>, А.А. Суханов<sup>1)</sup>, Р.И. Хайбуллин<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Казанский физико-технический институт ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

<sup>2)</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

<sup>3)</sup>Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ РАН, Красноярск, Россия

Рутил (TiO<sub>2</sub>), легированный примесью магнитных 3d металлов проявляет ферромагнитные свойства с высоким значением температуры Кюри ( $T_c > 700$  К). Однако, истинная природа ферромагнетизма в нем до сих пор не установлена. В данной работе ионы кобальта с энергией 40 кэВ и дозой  $1.5 \times 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup> были имплантированы в (001)-ориентированную монокристаллическую пластинку рутила при высокой (900 К) температуре облучаемой мишени для изучения структурных и магнитных свойств. Полученный образец был подвержен серии отжигов в условиях воздуха и вакуума, а также травлению поверхности пучком ионов аргона для измерения глубинных профилей распределения примеси. Каждый этап отжига проводился при температуре 600°C в течение 30 минут. Данная пластинка рутила была исследована методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), вибрационной магнитометрии, магнитного кругового дихроизма (МКД) и ферромагнитного резонанса (ФМР) на каждом этапе ее модификации.

В результате исследований показано, что имплантация кобальтом приводит к появлению в рутиле ферромагнитного отклика при комнатной температуре, что подтверждается как вибрационной магнитометрией, так и сигналом ФМР. Высокотемпературный отжиг в условиях воздуха приводит к подавлению ферромагнетизма, а последующий отжиг в вакууме – к его восстановлению. Измеренный глубинный профиль распределения примеси методом РФЭС с травлением поверхности пластинки рутила показал, что в слое 50 нм кобальт находится в металлическом состоянии в форме магнитных наночастиц. МКД подтверждает наличие магнитных наночастиц кобальта в рутиле, как до серии отжига на воздухе и в вакууме, так и после. Однако отметим, что величина дозы, полученная путем интегрирования глубинного профиля распределения кобальта в поверхностном слое, равна  $0.38 \times 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>, что в четыре раза меньше значения технической дозы имплантации. Последнее, подразумевает, что значительная часть примеси кобальта находится в объеме матрицы рутила в форме твердого раствора атомов или ионов. После ионного травления поверхностного слоя рутила с наночастицами кобальта в рутиле наблюдается слабый ферромагнитный отклик, который возрастает в несколько раз после проведения высокотемпературного отжига в вакууме. Методом РФЭС на поверхности образца не удалось обнаружить линии, соответствующие примеси кобальта. Наблюдаемый ферромагнетизм твердого раствора обсуждается в рамках модели непрямого обмена между магнитными Co<sup>2+</sup> ионами через кислородные вакансии, порождаемые в объеме рутила в результате вакуумного отжига.

Исследование выполнено в рамках гранта РНФ № 22-19-00712, <https://rscf.ru/project/22-19-00712/>, ФИЦ КазНЦ РАН.