

## ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертационную работу

Козлова Ильи Владимировича

Разработка методов формирования и контроля структурно-фазовых состояний аморфных микропроводов для применений в магнитных сенсорах на основе эффекта гигантского магнитоимпеданса

представленную к защите по специальности

1.3.8 Физика конденсированного состояния

на ученую степень

Кандидата физико-математических наук

Илья Владимирович Козлов окончил магистратуру Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» в 2017 году по направлению «Материаловедение и технологии материалов». В 2024 году окончил аспирантуру Национального исследовательского технологического университет «МИСИС» по направлению «Технологии материалов» и получил квалификацию «Исследователь. Преподаватель-исследователь». За время обучения в аспирантуре активно занимался исследованиями в области структурных и магнитных свойств аморфных микропроводов и участвовал в выполнении гранта РФФИ и проекта «Материалы будущего» программы Минобрнауки России «Приоритет-2030».

Диссертационная работа И.В. Козлова посвящена исследованиям аморфных ферромагнитных микропроводов в стеклянной оболочке на основе кобальта с малым, порядка 20 микрометров, диаметром металлической жилы. Микропровода данного типа характеризуются уникальными магнитомягкими свойствами, в них может наблюдаться эффект гигантского магнитного импеданса (ГМИ-эффект). Их потенциальные применения в первую очередь связаны с разработкой новых миниатюрных высокочувствительных сенсоров для измерений различных физических величин.

Известно, что термическая обработка и связанные с ней релаксационные и структурно фазовые изменения, могут оказывать существенное влияние на свойства магнитно-мягких материалов. В связи с этим, исследование взаимосвязей между структурными, фазовыми и магнитными свойствами в микропроводах на основе кобальта, является актуальной задачей.

В представленной работе И.В. Козловым проведены комплексные исследования микропроводов из сплава  $\text{Co}_{69}\text{Fe}_4\text{Cr}_4\text{Si}_{12}\text{B}_{11}$ . Исследования проводились с использованием современных методов электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, атомно-зондовой томографии, вибрационной магнитометрии и специализированных систем для измерения ГМИ-эффекта и

динамических петель гистерезиса. Термо-магнитные исследования образцов микропроводов были выполнены на уникальном вибромагнитометре с химическим микрореактором. Изучение структуры и эволюции структурно-фазового состояния микропровода из сплава  $\text{Co}_{69}\text{Fe}_4\text{Cr}_4\text{Si}_{12}\text{B}_{11}$ , в режиме реального времени при резистивном нагреве, проводилось впервые с применением синхротронных методов исследования. Это позволило глубже понять процессы, происходящие в сплаве при его кристаллизации, и, в результате, добиться максимальной эффективности по стабилизации свойств, при сохранении высоких магнитных характеристик. Полученные в работе результаты являются оригинальными, имеют как фундаментальное значение, так и перспективы практического использования.

В ходе выполнения данной работы И.В. Козловым разработана методика контролируемого формирования в микропроводах термически-индуцированных кластерных структур двух типов. На основе таких микропроводов разработан прототип высокочувствительного ГМИ-сенсора магнитных полей, характеризующийся высоким, более 370 %, ГМИ-эффектом, линейной передаточной характеристикой, низким,  $\sim 35$  пТл /  $\sqrt{\text{Гц}}$ , уровнем шума на частоте 1 Гц и термической устойчивостью физических свойств. Необходимо особо подчеркнуть, что результаты, полученные И.В. Козловым использовались при подготовке 5 (пяти) статей в высокорейтинговых научных журналах первого квартиля из перечня ВАК и индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. Кроме того, им лично докладывались научные результаты на 12 (двенадцати) научных конференциях и семинарах всероссийского и международного уровня. И.В. Козловым получены 2 (два) свидетельства о регистрации ноу-хау зарегистрированные в Депозитарии ноу-хау НИТУ МИСИС.

Исходя из вышесказанного можно утверждать, что диссертационная работа И.В. Козлова «Разработка методов формирования и контроля структурно-фазовых состояний аморфных микропроводов для применений в магнитных сенсорах на основе эффекта гигантского магнитоимпеданса» выполнена на высоком научном уровне. А диссертант достоин присвоения ученой степени «Кандидат физико-математических наук» по специальности 1.3.8 «Физика конденсированного состояния».

Научный руководитель:

Доцент кафедры «Цветных металлов и золота»  
НИТУ МИСИС, к.ф.-м.н.,  
Гудошников Сергей Александрович



Подпись  
заверяю  
Зам. начальника  
отдела кадров

Подпись Тудомшикова С.А.

Подпись Кузнецова А.Е.

« 31 » 03 2025 г.

Подпись

«31» марта 2025 г.