

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор

Федерального государственного
бюджетного образовательного

учреждения высшего образования

«МИРЭА – Российский технологический
университет»

Н.И. Прокопов



» декабря 2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Джумъазода Абдукарима

«Разработка методов оптимизации терромагнитных свойств аморфных микропроводов и построение миниатюрных сенсоров на их основе»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

Актуальность темы

Аморфные ферромагнитные микропровода с магнитомягкими свойствами имеют широкий спектр применений, что обусловлено рядом специфических эффектов. Например, провода на основе сплавов Со, в которых наблюдается эффект магнитоимпеданса (МИ), представляют большой интерес для использования в миниатюрных сенсорных устройствах для измерения различных физических величин, включая сверхмалые магнитные поля. Поведение МИ определяется в значительной степени магнитной микроструктурой, которая может быть модифицирована не только с помощью внешнего магнитного поля, но и при воздействии механических напряжений. То есть, такие провода могут использоваться как миниатюрные сенсоры напряжений. Провода на основе сплавов с низкой температурой Кюри ($T_c = 40 - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$) представляют интерес для использования в качестве миниатюрных термочувствительных элементов, работающих в промышленном температурном диапазоне. Работа таких датчиков основана на изменении магнитных

свойств вблизи T_c . При этом остаются задачи разработки низкотемпературных сплавов и методов «подстройки» температуры Кюри.

Одной из основных проблем устойчивого и надежного функционирования сенсорных элементов является обеспечение температурной стабильности магнитных свойств материала. Этому вопросу в настоящей работе уделено значительное внимание.

Таким образом, исследование поведения импеданса вблизи температуры Кюри в аморфных проводках с низкой T_c , условий плавного изменения T_c , а также разработка методов температурной стабилизации МИ при сохранении определенных магнитных свойств являются актуальными задачами.

Основные проблемы, рассмотренные в диссертационной работе

В данной работе развиваются методы оптимизации термомагнитных свойств аморфных микропроводов и построения миниатюрных сенсоров на их основе. Основными объектами исследований являются аморфные ферромагнитные микропровода на основе сплавов FeCo с добавлением Cr и Ni. Добавки используются для значительного уменьшения температуры Кюри. Проведены детальные структурные и магнитные исследования для выбранных микропроводов. На основе полученных результатов по изменению кривых намагничивания и высокочастотного импеданса вблизи температуры Кюри разработаны температурные датчики.

Приведем наиболее важные полученные результаты:

- Большое внимание уделено проблемам температурной стабилизации поведения магнитоимпеданса. Для этого необходимо устранить внутренние напряжения с помощью отжига. Однако зачастую это приводит к изменению магнитной структуры и уменьшению чувствительности импеданса по отношению к измеряемому полю. В работе предложена оригинальная методика токового отжига, с помощью которой магнитоупругая анизотропия заменяется наведенной термостабильной анизотропией. При этом сохраняется высокая чувствительность на уровне 100%/Э.
- Определение режимов термического отжига с целью тонкой подстройки температуры Кюри в аморфных микропроводах на основе сплавов FeCo с добавлением Cr и Ni, в которых возможно реализовать низкие T_c в температурном интервале 40 - 80 С.
- Исследование процессов намагничивания и МИ в аморфных микропроводах на основе сплавов FeCo с добавлением Cr и Ni вблизи температуры Кюри. Было продемонстрировано различное поведение МИ вблизи T_c при низких и более

высоких частотах (по сравнению с частотой ферромагнитного резонанса). При высоких частотах (более 100-300 МГц для исследуемых сплавов) наблюдается монотонное уменьшение импеданса при подходе к T_c , что может быть использовано для разработки температурных датчиков.

- Разработка сенсоров температуры на основе изменения гармонического спектра, индуцированного при перемангничивании аморфных микропроводов, вблизи T_c .

Теоретическая и практическая значимость

Комплексное исследование структуры и термомагнитных свойств исследуемых образцов, а также методов их модификации обуславливает фундаментальную значимость работы. Впервые были получены температурные зависимости магнитоимпеданса вблизи T_c в микропроводах на основе сплавов FeCo с добавлением Cr. При увеличении частоты (более 100 МГц) наблюдается монотонное уменьшение импеданса в нулевом поле при приближении к T_c . Такое поведение было объяснено теоретически, используя модель магнитной восприимчивости в проводах с осевой анизотропией. Также были проведены исследования температурных зависимостей гармонического спектра, генерируемого при перемангничивании аморфных микропроводов с низкой температурой Кюри (вблизи T_c) и продемонстрировано значительное изменение амплитуд высших гармоник вблизи T_c .

Проведенные исследования непосредственно связаны с практическими приложениями и могут быть внедрены при создании датчиков температуры, работающих в промышленном диапазоне температур. Например, возможна реализация миниатюрного датчика температуры, основанного на изменении амплитуд высших гармоник.

Достоверность полученных результатов

Для обоснования полученных результатов в работе проведен широкий комплекс исследований, включающий структурные и магнитные исследования: рентгеновская дифракция, дифференциальная сканирующая калориметрия, температурные измерения дифференциальной восприимчивости и высокочастотного импеданса.

Представленные результаты соответствуют мировому уровню, что подтверждается публикациями в журналах с высоким импакт-фактором и входящих в базу данных WOS, а также выступлениями на международных конференциях.

Замечания по работе

Между тем по работе имеется ряд замечаний:

1. Не достаточно глубоко исследованы механизмы, ответственные за изменение температуры Кюри при термическом отжиге.
2. Имеется достаточное количество замечаний к оформлению работы. Многие рисунки и физические величины содержат англоязычные обозначения. Некоторые физические величины даны в системе сгс (магнитное поле), другие - в системе Си (ток). Имеются грамматические ошибки и стилевые неточности.
3. В главе 4 не рассмотрены вопросы устойчивости термостабильного состояния во времени.

Автореферат диссертации полностью соответствует основному содержанию диссертационной работы.

Заключение

Сделанные замечания имеют рекомендательный характер и не влияют на высокую оценку диссертационной работы Джумъазода А. Работа выполнена на высоком теоретическом и экспериментальном уровне, полученные результаты являются новыми и имеют научную и практическую значимости. Достоверность результатов работы не вызывает сомнений и подтверждается их согласованностью с данными из литературных источников. Это позволяет утверждать, что обозначенные в работе цели достигнуты, задачи исследования выполнены, а положения, выносимые на защиту, экспериментально доказаны.

Диссертационная работа «Разработка методов оптимизации термомагнитных свойств аморфных микропроводов и построение миниатюрных сенсоров на их основе», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете "МИСиС".

Соискатель, Джумъазода Абдукарим, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на заседании кафедры наноэлектроники «19» ноября 2019 г., протокол № 11

Отзыв составлен Юрасовым А.Н.

доктор физико-математических наук, доцент, зам. заведующего и профессор кафедры наноэлектроники Физико-технологического института МИРЭА — Российского технологического университета
Юрасов Алексей Николаевич



119454, г. Москва, пр-т Вернадского, д. 78
Телефон: +79169141393, e-mail: yurasov@mirea.ru