

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о диссертанте Мироновиче Андрее Юрьевиче, выполнившем диссертационную работу "Разработка основ технологии получения тонких анизотропных пленок $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ с высокой степенью кристаллографической текстуры", представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники»

Миронович Андрей Юрьевич, 08.12.1994 г. р., в 2018 г. закончил с красным дипломом кафедру Технологии Материалов Электроники (ТМЭ) НИТУ МИСиС по направлению 28.04.01 «нанотехнологии и микросистемная техника». После окончания магистратуры поступил в аспирантуру той же кафедры.

В аспирантуре Мироновичу А.Ю. были поставлены научно-технологические задачи по разработке методов получения анизотропных текстурированных тонких пленок гексаферрита бария $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ на разных подложках.

С 08 ноября 2019 г. Миронович А.Ю. успешно совмещает обучение в аспирантуре с преподавательской деятельностью, работая в должности ассистента кафедры ТМЭ на полную ставку.

Аспирант проявил неподдельный интерес к теме и подошел к вопросу серьезно. В процессе своей работы Миронович А.Ю. продемонстрировал свои способности к применению научного подхода в достижении поставленных целей. Сначала им был проведен полноценный анализ более 100 публикаций, посвященных синтезу и изучению пленок гексагональных ферритов. Результатом этой деятельности стала обзорная статья по соответствующей теме, в значительной части подготовленная непосредственно аспирантом. В этой публикации Миронович А.Ю. структурировал разрозненные данные по теме и нашел закономерности, позволившие ему по-новому взглянуть на проблему и поставить собственные эксперименты, характеризующиеся как научной новизной, так и практической ценностью.

Аспирант достаточно быстро установил, что требуется для решения поставленной задачи и проводил исследования, направленные на изучение возможности получения анизотропных ферритовых пленок на широкодоступном и относительно простом оборудовании. При этом, Миронович А.Ю. решал эту задачу комплексно, сразу с нескольких сторон. Во-первых, изучал возможность получения анизотропных пленок $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ на кремниевых пластинах с буферными слоями, в то время как основная масса исследователей используют для этого более дорогие монокристаллические пластины сапфира. Во-вторых, разрабатывался способ получения относительно толстых пленок с приемлемой степенью текстуры без использования высоких ($800\text{ }^{\circ}\text{C}$) температур подложки во время синтеза. В обоих направлениях были достигнуты определенные успехи, которые нашли отражение в заявке на патент и 5-ти печатных научных статьях, рецензируемых в журналах базы Scopus.

В результате работы А.Ю. Мироновича получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1. Исследована возможность получения текстурированных пленок гексаферрита бария на кремниевых подложках с использованием буферных слоев Ti , TiO_2 , Al_2O_3 , Si_3N_4 , $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ и $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}_3\text{N}_4$.

2. Изучено влияние предварительного высокотемпературного отжига буферных слоев Al_2O_3 и Si_3N_4 на микроструктуру пленок $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$.
3. Впервые продемонстрирована возможность улучшения степени кристаллографической текстуры пленок $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ на подложках Al_2O_3 (001) посредством периодического прерывания процесса напыления.
4. Впервые получены пленки $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ на подложках Al_2O_3 (102), изучены особенности их микроструктуры и ее зависимость от толщины пленки.
5. Разработан метод интервального напыления, позволяющий получать высокотекстурированные микронные пленки гексаферрита бария на подложках условно произвольной ориентации при относительно низких температурах напыления (300 °C).

Целый ряд результатов диссертанта обладает практической ценностью:

1. Разработаны основы технологии получения анизотропных пленок $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ с высокой степенью кристаллографической текстуры на подложках Si и Al_2O_3 .
2. Некоторые полученные в данной работе образцы $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}_3\text{N}_4$ наряду с наличием текстуры, характеризовались мелкозернистой однородной микроструктурой. Пленки гексаферрита с таким строением могут быть использованы в качестве магнитных носителей информации с высокой плотностью записи. Также представленный подход получения тонких анизотропных пленок $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ на аморфных поверхностях может быть использован для синтеза текстурированных пленок других веществ.
3. Представленный метод интервального напыления позволяет получать высокотекстурированные пленки $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ микронной толщины при температурах подложки во время нанесения всего около 300 °C, что на 500÷600 °C ниже, чем в существующих технологиях синтеза, обеспечивающих соизмеримую степень текстуры.

Миронович А.Ю. зарекомендовал себя в качестве достойного специалиста в области технологии материалов, способного к анализу научных проблем, поиску их решений, грамотному построению гипотез и их экспериментальной проверке. Диссертационная работа Мироновича А.Ю. является достойным продуктом его 4-летней работы и полноценно раскрывает ее суть.

По материалам диссертации опубликовано 8 научных работ, в том числе 5 статей в журналах, индексируемых в Scopus, WoS и 1 публикация в журнале, рекомендованном в ВАК РФ по специальности. На разработанный метод интервального напыления пленок $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ подана заявка на патент.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- XXIV Международная конференция «Новое в магнетизме и магнитных материалах». Секция «Магнитные пленки и многослойные структуры». Доклад «Получение пленок гексагонального феррита бария на монокристаллических подложках $\text{Al}_2\text{O}_3(001)$ с *ex situ* отжигом», Москва, РТУ МИРЭА, 1 - 8 Июля 2021.
- Пятый Российско-Белорусский семинар-конференция «Новые наноматериалы и их электромагнитные свойства». Доклад «Синтез текстурированных пленок гексагонального феррита бария на аморфной структуре $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}_3\text{N}_4$ », Томск, ТГУ, 4-6 апреля 2021.

Результаты проведенных в диссертации исследований могут найти применение на таких предприятиях РФ, как АО «НПП «Исток им. Шокина» (г. Фрязино Моск. обл.), НИИ «Феррит-Домен» (г. Санкт-Петербург), НИИ радиотехники и электроники им. Котельникова РАН (г. Москва).

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Мироновича Андрея Юрьевича "Разработка основ технологии получения тонких анизотропных пленок $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ с высокой степенью кристаллографической текстуры" является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, имеет важное научное и практическое значение и соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС».

Считаю, что диссертант Миронович А.Ю. достоин присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности **2.2.3 «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники».**

Научный руководитель, кандидат технических наук,
доцент кафедры Технологии Материалов Электроники
НИТУ «МИСиС»

Исаев Игорь Магомедович

31.08.2022



Подпись Исаева И.М. заверяю

М.П.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

119049, г. Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1.,

тел.: +7 (495) 638 4591, +7 903 771 8832; E-mail: isa@misis.ru

ОТЗЫВ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

о диссертанте Мироновиче Андрее Юрьевиче, выполнившем диссертационную работу "Разработка основ технологии получения тонких анизотропных пленок $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ с высокой степенью кристаллографической текстуры", представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники»

Миронович Андрей Юрьевич родился 08.12.1994 года рождения. В 2018 г. закончил с красным дипломом кафедру Технологии Материалов Электроники (ТМЭ) НИТУ МИСиС по направлению 28.04.01 «нанотехнологии и микросистемная техника» и сразу же поступил в аспирантуру при названной кафедре. Аспиранту Мироновичу А.Ю. была поставлена задача разработать основы технологии получения тонких пленок гексаферрита бария $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ с высокой степенью кристаллографической текстуры. В таких материалах высокую потребность ощущают современная СВЧ-микроэлектроника, ТГц-спектроскопия и ТГц-техника.

С 08 ноября 2019 г. Миронович А.Ю. успешно совмещает обучение в аспирантуре с преподавательской деятельностью, работая в должности ассистента кафедры ТМЭ на полную ставку.

За время обучения в аспирантуре (с 01.09.2018 по 31.08.2022) в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», кафедра «Технологии материалов электроники», диссертант успешно работал над диссертационной работой, которую подготовил в срок.

В результате работы А.Ю. Мироновича разработаны основы технологии получения в вакууме методом ионного распыления мишени качественных пленок $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ на подложках кремния и сапфира. Следует отметить, что полученные диссертантом результаты обладают научной новизной и существенной практической ценностью. До настоящего диссертационного исследования как в России, так и за рубежом не было завершенных комплексных материаловедческих и технологических исследований по получению пленок гексаферрита бария. Из научной новизны следовало бы отметить еще и следующие результаты:

1. Исследована возможность получения текстурированных пленок гексаферрита бария на кремниевых подложках с использованием буферных слоев Ti , TiO_2 , Al_2O_3 , Si_3N_4 , $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ и $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}_3\text{N}_4$.
2. Изучено влияние предварительного высокотемпературного отжига буферных слоев Al_2O_3 и Si_3N_4 на микроструктуру пленок $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$.
3. Впервые продемонстрирована возможность улучшения степени кристаллографической текстуры пленок $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ на подложках Al_2O_3 (001) посредством периодического прерывания процесса напыления.
4. Впервые получены пленки $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ на подложках Al_2O_3 (102), изучены особенности их микроструктуры и ее зависимость от толщины пленки.

5. Разработан метод интервального напыления, позволяющий получать высокотекстурированные микронные пленки гексаферрита бария на подложках условно произвольной ориентации при относительно низких температурах напыления (300 °С).

Из результатов диссертации, обладающих существенной практической ценностью, я выделил бы следующие:

1. Разработаны основы технологии получения анизотропных пленок $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ с высокой степенью кристаллографической текстуры на подложках Si и Al_2O_3 .
2. Некоторые полученные в данной работе образцы $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}_3\text{N}_4$ наряду с наличием текстуры, характеризовались мелкозернистой однородной микроструктурой. Пленки гексаферрита с таким строением могут быть использованы в качестве магнитных носителей информации с высокой плотностью записи. Также представленный подход получения тонких анизотропных пленок $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ на аморфных поверхностях может быть использован для синтеза текстурированных пленок других веществ.
3. Представленный метод интервального напыления позволяет получать высокотекстурированные пленки $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ микронной толщины при температурах подложки во время нанесения всего около 300 °С, что на 500÷600 °С ниже, чем в существующих технологиях синтеза, обеспечивающих соизмеримую степень текстуры.

Миронович А.Ю. принимал активное участие в постановке задач и выборе объектов исследования и технологических режимов их получения. Им были разработаны концепции всех представленных экспериментов и осуществлен синтез соответствующих образцов, полностью произведена интерпретация результатов анализа объектов исследования.

По материалам диссертации опубликовано 8 научных работ, в том числе 5 статей в журналах, индексируемых в Scopus, WoS и 1 публикация в журнале, рекомендованном в ВАК РФ по специальности. На разработанный метод интервального напыления пленок $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ подана заявка на патент.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- XXIV Международная конференция «Новое в магнетизме и магнитных материалах». Секция «Магнитные пленки и многослойные структуры». Доклад «Получение пленок гексагонального феррита бария на монокристаллических подложках $\text{Al}_2\text{O}_3(001)$ с ex situ отжигом», Москва, РТУ МИРЭА, 1 - 8 Июля 2021.
- Пятый Российско-Белорусский семинар-конференция «Новые наноматериалы и их электромагнитные свойства». Доклад «Синтез текстурированных пленок гексагонального феррита бария на аморфной структуре $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}_3\text{N}_4$ », Томск, ТГУ, 4-6 апреля 2021.

Результаты проведенных в диссертации исследований могут найти применение на таких предприятиях РФ, как АО «НПП «Исток им. Шокина» (г. Фрязино Моск. обл.), НИИ «Феррит-Домен» (г. Санкт-Петербург), НИИ радиотехники и электроники им. Котельникова РАН (г. Москва).

Достоверность результатов диссертационной работы Мироновича А.Ю. не вызывает сомнений и подтверждается использованием современного технологического и

исследовательского оборудования, информативных методик, а также публикациями в высокорейтинговых научных журналах.

За время выполнения диссертационной работы Миронович А.Ю. проявил себя, как прекрасный исполнитель, грамотный и талантливый исследователь. Он хорошо владеет и технологическим оборудованием, и современными исследовательскими методиками. На сегодняшний день Андрей Юрьевич – полностью сформировавшийся исследователь и технолог, способный решать целый ряд важных научно-практических задач в области получения и исследования оксидных магнитных материалов.

А.Ю. Миронович подготовил диссертацию, удовлетворяющую требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности **2.2.3 «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники».**

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Мироновича Андрея Юрьевича "Разработка основ технологии получения тонких анизотропных пленок $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ с высокой степенью кристаллографической текстуры" является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, имеет важное научное и практическое значение и соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС».

Считаю, что диссертант Миронович А.Ю. достоин присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности **2.2.3 «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники».**

Научный консультант, доктор физ.-мат. наук, проф.,
действительный член Академии Инженерных Наук РФ,
заведующий кафедрой Технологии Материалов Электроники
НИТУ «МИСиС»



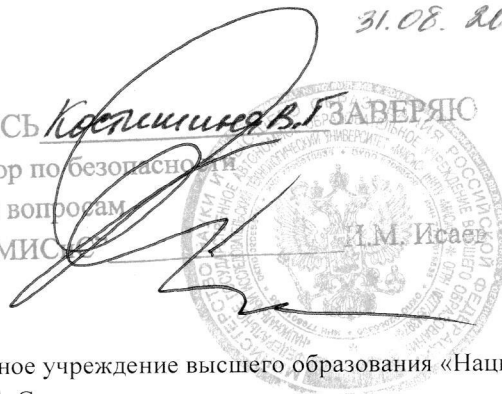
Костишин Владимир Григорьевич

31.08.2022

Подпись Костишина В.Г. заверяю

М.П.

ПОДПИСЬ Костишина В.Г. ЗАВЕРЯЮ
Проректор по безопасности
и общим вопросам
НИТУ «МИСиС»



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

119049, г. Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1.,

тел.: +7 (495) 638 4651, +7 965 297 9410; E-mail: kostishin@misis.ru

drvkgostishyn@mail.ru