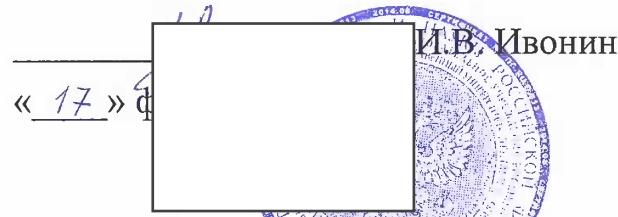


## УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
Национального исследовательского  
Томского государственного университета,  
доктор физико-математических наук



## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Соловьева Платона Николаевича «Магнитные свойства наклонно-осажденных и напыленных на текстурированные подложки тонких пленок пермаллоя», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений

### Актуальность:

Разработка новых функциональных материалов, а также модификация и усовершенствование уже существующих, являются актуальными задачами современной физики. Для промышленного применения, для устройств экспериментальной физики востребованы магнитные материалы с различными свойствами. Так, класс магнитных сред, обладающих магнитомягкими свойствами, находит широкое применение в радиофизике и радиоэлектронике. Магнитомягкие материалы перспективны для использования в качестве активных сред в электрически управляемых сверхвысокочастотных устройствах. В настоящее время тонким магнитомягким пленкам и наноструктурам на их основе уделяется особое внимание. Интерес обусловлен рядом уникальных физических свойств тонких пленок, выгодно отличающим их от своих массивных «собратьев».

Для эффективного практического использования необходимо синтезировать тонкопленочные структуры с заданными магнитными характеристиками, что сложно достичь, не имея установленной функциональной связи магнитных характеристик со структурой пленки. Задача изучения природы этой связи, выявления механизмов, ответственных за формирование требуемых магнитных свойств при синтезе материалов, является самостоятельной научной задачей, актуальность которой не вызывает сомнения.

Представленная диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, двух приложений, и списка цитированной литературы. Общий объем работы составляет 130 страниц, включая 41 рисунок, а также список литературы из 180 наименований.

### **Основные результаты рассматриваемой работы:**

1. Установлено, что наличие микрорельефа (системы параллельных канавок с периодом 5–80 мкм), сформированного на поверхности подложек тонких пленок NiFe, приводит к значительному уширению линии ферромагнитного резонанса и возникновению максимумов резонансного поля при небольшом отклонении ( $\sim 5^\circ$ ) внешнего планарного поля развертки от направления, ортогонального канавкам.

2. Микромагнитным анализом модели тонкой пленки пермаллоя с периодическими канавками на поверхностях показано, что наблюдаемые в эксперименте эффекты связаны с возбуждением двух нормальных мод колебаний намагниченности. Установлено, что для определенного (близкого к экспериментальному) направления поля развертки относительно канавок, амплитуды и резонансные поля этих мод принимают такие значения, что резонансное поле и ширина линии интегральной кривой поглощения достигают максимума.

3. Численным моделированием доказано, что основным механизмом, отвечающим за зависимость одноосной магнитной анизотропии пленок пермаллоя от угла их осаждения и за перестройку равновесной конфигурации намагниченности, является изменение магнитостатической энергии, связанное с эволюцией столбчатой микроструктуры пленок.

4. Продемонстрирована возможность определения с помощью модели Нетзельмана среднего наклона и отношения поперечных размеров столбцов тонких наклонноосажденных магнитных пленок пермаллоя из анализа компонент усредненного по объему образцов поля размагничивания. Предложенная модификация данной модели, учитывающая неоднородное распределение плотности упаковки по толщине наклонно-осажденных образцов, позволяет уточнить получаемые структурные характеристики.

5. Методом локального ФМР исследовано влияние наклонного осаждения на природу магнитных неоднородностей, а также их распределение по поверхности осаждаемых тонких пленок пермаллоя. Установлено, что даже небольшое отклонение луча атомов от нормали к подложке ( $\sim 1^\circ$ – $3^\circ$ ) оказывает сильное влияние на основные магнитные характеристики тонких пленок: эффективную намагниченность насыщения, магнитную одноосную анизотропию, ширину линии ФМР.

6. Обнаружены эффекты компенсации одноосной магнитной анизотропии, а также формирование анизотропии четвертого и шестого порядков в тонкой пермаллоевой пленке, полученной напылением при наклонном падении молекулярного луча в присутствии магнитного поля. Показано, что наблюдаемые эффекты связаны с существованием в таких образцах двух обменновзаимодействующих слоев с различными параметрами одноосной магнитной анизотропии.

### **Научная и практическая значимость:**

Полученные в ходе исследований результаты несомненно заключают в себе научную новизну и имеют существенное научное и практическое значение. Значимость результатов исследования для науки заключается в том,

что теоретические выводы и результаты моделирования позволяют расширить представления о физических процессах, происходящих в тонких магнитных пленках. Практическая ценность результатов работы определяется тем, что они могут использоваться для создания пленок с контролируемой одноосной анизотропией, для совершенствования технологии получения магнитных пленок, обладающих высокой однородностью магнитных характеристик по площади.

Полученные результаты обладают достоверностью, поскольку обеспечены методологической обоснованностью и непротиворечивостью исходных теоретических положений, применением надежных и апробированных экспериментальных методов, развитых в Институте физики им. Л.В.Киренского СО РАН. Выводы и научные положения обоснованы метрологическим обеспечением экспериментальных исследований, публикациями основных результатов в рецензируемых центральных изданиях.

Полнота решения проблемы достигнута непротиворечивостью экспериментальных данных, полученным соискателем, с данными других авторов.

### **Замечания.**

1. В разделе «Личный вклад автора» сказано: «Образцы были изготовлены Киреем Д.В., а текстурированные подложки были получены д.т.н. Лексиковым А.А. Скоморохов Г.В. проводил исследования образцов методом рентгено-флуоресцентного анализа. Исследование образцов наклонно-осажденных пленок методом просвечивающей электронной микроскопии было проведено к.ф.м.н. Жарковым С.М.». Не понятно, в чем здесь заключается вклад автора.

2. В разделе «Научная новизна» автором как свое достижение предлагается модернизированная модель Нетзельмана. По тексту диссертации выходит, что автором модернизирована эта модель.

3. В первом защищаемом положении используются слова: «значительное уширение», «при небольшом отклонении», что не позволяет оценить реальный физический эффект.

Тем не менее, перечисленные недостатки не могут повлиять на общую положительную оценку диссертационной работы Соловьева П.Н. Работа выполнена на достаточно высоком научном уровне. Результаты работы обсуждались на всероссийских и международных научных конференциях. Основные результаты диссертации опубликованы в статьях в журналах, включенных в Перечень ВАК, а также в зарубежных изданиях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

### **Заключение:**

Диссертация Соловьева П.Н. является самостоятельным и законченным исследованием, на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссидентом, имеют существенное значение для физики магнитных явлений, радиофизики и электроники. В целом диссертационная работа «Магнитные свойства наклонно-осажденных и напыленных на текстурированные подложки тонких пленок пермаллоя» удовлетворяет всем требованиям Положения о

присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Соловьев Платон Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений.

Отзыв на диссертацию Соловьева П.Н. обсужден на заседании кафедры радиоэлектроники радиофизического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета 10 февраля 2017 года, протокол № 172.

Заведующий кафедрой радиоэлектроники  
Национального исследовательского  
Томского государственного университета,  
доктор технических наук (01.04.03 – Радиофизика),  
профессор



Дунаевский Григорий Ефимович  
тел.+79138278380,

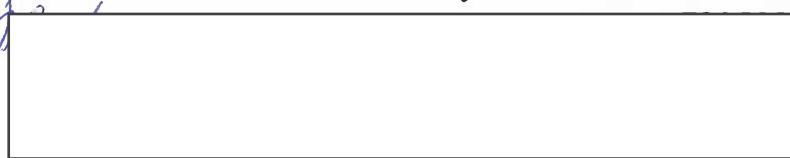
Доцент кафедры радиоэлектроники  
Национального исследовательского  
Томского государственного университета,  
кандидат физико-математических наук  
(01.04.03 – Радиофизика), доцент



Суляев Валентин Иванович

0610,  
.tsu.ru

14.03.2017 г.



Сведения об организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»

Почтовый адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина 36.

Телефон: (3822) 529-852.

E-mail: rector@tsu.ru.

Адрес сайта: www.tsu.ru



к отзыву ведущей организации  
на диссертацию Соловьева Платона Николаевича  
«Магнитные свойства наклонно-осажденных и напыленных  
на текстурированные подложки тонких пленок пермаллоя»  
по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений  
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Список основных публикаций работников ведущей организации по тематикам, смежным теме рассматриваемой диссертации, в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций):

1. Найден Е. П. Влияние радиационно-термической обработки на фазовый состав и структурные параметры СВС-продукта на основе гексаферрита W типа / Е. П. Найден, В. А. Журавлев, Р. В. Минин, В. И. Итин // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013. – Т. 56, № 6. – С. 63–68.  
*в переводной версии журнала:*  
Naiden E. P. Influence of radiation-thermal treatment on the phase composition and structural parameters of the SHS product based on W-type hexaferrite / E. P. Naiden, V. A. Zhuravlev, R. V. Minin, V. I. Itin // Russian Physics Journal. – 2013. –Vol. 56, № 6. – P. 674–680.
2. Журавлев В. А. Тензор магнитной восприимчивости анизотропных ферромагнитных намагниченных сред / В. А. Журавлев, В. А. Мещеряков // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013. – Т. 56, № 12. – С. 62–69.  
*в переводной версии журнала:*  
Zhuravlev V. A. Magnetic Susceptibility Tensor of Anisotropic Ferromagnetic Magnetized Media / V. A. Zhuravlev, V. A. Meshcheryakov // Russian Physics Journal. – 2014. – Vol. 56, № 12. – P. 1387–1397.
3. Суржиков А. П. Исследование радиопоглощающих свойств композита на основе литий-цинкового феррита / А. П. Суржиков, Е. Н. Лысенко, А. В. Малышев, В. А. Власов, В. И. Суслыев, В. А. Журавлев, Е. Ю. Коровин, О. А. Доценко // Известия высших учебных заведений. Физика. –2014. – Т. 57, № 5.– С. 51–55.  
*в переводной версии журнала:*  
Surzhikov A. P. Study of the Radio-Wave Absorbing Properties of a Lithium-Zinc Ferrite Based Composite / A. P. Surzhikov, E. N. Lysenko, A. V. Malyshev, V. A. Vlasov, V. I. Suslyaeve, V.A. Zhuravlev, E. Yu. Korovin, O. A. Dotsenko // Russian Physics Journal. – 2014. – Vol. 57, is. 5. – P. 621–626.
4. Zhuravlev V. A. Electromagnetic Waves Absorbing Characteristics of Composite Material Containing Carbonyl Iron Particles / V. A. Zhuravlev, V. I. Suslyaeve, E. Yu. Korovin, K. V. Dorozhkin // Materials Sciences and Applications. – 2014. – Vol. 5, № 11. – P. 803–811.

5. Suslyae V. Effective magnetic permeability of composite material based on nanoscale hexaferrite particles / V. Suslyae, E. Korovin, V. Zhuralev // Int. J. Nanotechnol. – 2015. – Vol. 12, № 3/4. – P. 192–199.
6. Найден Е. П. Статические и динамические магнитные свойства полученных методом золь-гель горения наноразмерных порошков гексаферрита бария / Е. П. Найден, В. А. Журавлев, Р. В. Минин, В. И. Итин, Е. Ю. Коровин // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58, № 1. – С. 112–118.  
*в переводной версии журнала:*  
Naiden E. P. Magnetic Properties of Nanosized Barium Hexaferrite Powders Prepared by the Sol–Gel Combustion Method / E. P. Naiden, V. A. Zhuravlev, R. V. Minin, V. I. Itin, E. Y. Korovin // Russian Physics Journal. – 2015. – Vol. 58, is.1. – P. 125–132.
7. Naiden E. P. Structural and Magnetic Properties of SHS-Produced Multiphase W-Type Hexaferrites: Influence of Radiation-Thermal Treatment / E. P. Naiden, V.A. Zhuravlev, R. V. Minin, V. I. Suslyae, V. I. Itin, E. Yu. Korovin // Intern. J. of Self-Propagating High-Temperature Synthesis. – 2015. – Vol. 24, № 3. – P. 148–151.
8. Найден Е. П. Структурные и магнитные свойства медной феррошпинели, синтезированной методом золь-гель горения / Е. П. Найден, В. А. Журавлев, Р. В. Минин, В. И. Итин, А. В. Журавлев, М. Р. Уфимцев // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58, № 8/3. – С. 97–99.
9. Naiden E. P. SHS-Produced  $\text{Co}^{2+}\text{Ti}^{4+}$ -Doped Barium and Strontium Hexaferrites: Static and Dynamic Magnetic Properties / E. P. Naiden, V. A. Zhuravlev, V. I. Itin, R. V. Minin, V. I. Suslyae, O. A. Dotsenko // International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis. – 2016. – Vol. 25, № 4. – P. 203–209.
10. Родионов В. А. Моделирование спиновой конфигурации наноразмерных частиц марганцевого феррита методом Монте-Карло / В. А. Родионов, Е. П. Найден, В. А. Журавлев // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2016. – Т. 59, № 6. – С. 57–61.  
*в переводной версии журнала:*  
Rodionov V. A. A Monte Carlo Simulation of the Spin Configuration of Manganese Ferrite Nanoparticles / V. A. Rodionov, E. P. Naiden, V. A. Zhuravlev // Russian Physics Journal. – 2016. – Vol. 59, № 6. – P. 818–823.

Проректор по научной работе



И.В. Ивонин