

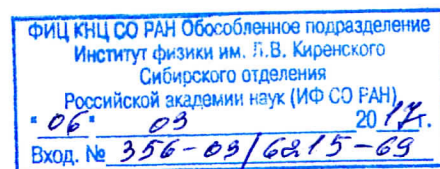
ОТЗЫВ

официального оппонента 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»

Диссертационная работа Соловьева П.Н., посвящена исследованию связи между микроструктурой и магнитными свойствами наклонно-осажденных и осажденных на текстурированные подложки тонких пленок пермаллоя. Известно, что магнитные свойства тонких магнитных пленок во многом определяются их микроструктурой. Для практических применений требуются образцы с высокой степенью структурной однородности, что гарантирует качество устройств, построенных на основе таких пленок. Более того, связь между структурой и магнитными свойствами может быть использована для целенаправленного формирования в пленках неоднородной микроструктуры с заданными магнитными характеристиками. В частности, такой способ позволяет с высокой точностью управлять величиной и направлением одноосной магнитной анизотропии в тонких пленках. При этом одной из центральных проблем является установление механизмов, ответственных за влияние структурно-морфологических характеристик на магнитные свойства образцов. Поэтому диссертационная работа Соловьева П.Н., несомненно, является весьма **актуальной**.

Новизна полученных диссертантом результатов заключается в том, что установлена природа уширения линии ФМР в пленке пермаллоя, осажденных на подложки с искусственным микрорельефом, сформированном на их поверхности. Теоретически и экспериментально изучена связь между микроструктурой тонких наклонно-осажденных пленок и их магнитными свойствами. Впервые обнаружено возникновение анизотропии четвертого и шестого порядка в пленке пермаллоя, наклонно-осажденной во внешнем магнитном поле.

Представленная диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и двух приложений. **Первая глава** представляет собой обзор литературных источников, посвященных теме диссертации. В первой части главы рассматриваются тонкие магнитные пленки, осажденные на подложки, у которых на поверхности был сформирован микрорельеф. Во второй части главы содержится описание тонких пленок, изготовленных методом наклонного осаждения магнитного материала на подложку.



Обсуждается возможность управления магнитными свойствами тонкопленочных образцов путем формирования в них неоднородной микроструктуры.

Во второй главе рассмотрены основные методы, используемые диссертантом для экспериментального и теоретического исследования тонких пленок пермаллоя. Описан сканирующий спектрометр ферромагнитного резонанса (ФМР) и выделены его особенности, благодаря которым и стало возможным изучение формы и ширины линии ФМР, а также магнитной анизотропии в исследуемых образцах. Рассмотрена методика определения магнитных параметров пленок из измерений ФМР. Описывается метод численного микромагнитного анализа, позволяющий моделировать статические и динамические свойства магнитных наноструктур.

В третьей главе выполнено исследование тонких пленок пермаллоя, термически осажденных на стеклянные подложки с параллельными микроканавками на поверхности. Было установлено, что в случае, когда магнитное поле развертки почти ортогонально канавкам, наблюдается заметное уширение линии ФМР. Микромагнитный анализ модели пленки с микроканавками позволил объяснить обнаруженные эффекты. Отмечается, что данное уширение линии ФМР можно интерпретировать в рамках теории несобственных релаксационных процессов.

В четвертой главе анализируется связь между микроструктурой и статическими магнитными свойствами тонких пленок пермаллоя с использованием методов микромагнитного моделирования и моделирования осаждения пленок. Показано, что подход Нетцельмана, в принципе, позволяет определять структурные характеристики наклонно-осажденных магнитных пленок, зная их магнитные свойства. Продемонстрировано хорошее согласие результатов моделирования с экспериментом.

В пятой главе изучается влияние малого отклонения направления потока атомов от нормали к подложке при термическом осаждении пленок пермаллоя. В ходе этих исследований был обнаружен эффект компенсации магнитной одноосной анизотропии и возникновение анизотропии более высокого порядка в определенной области наклонно-осажденного образца, к которому в процессе осаждения было приложено магнитное поле, направленное ортогонально плоскости осаждения.

В конце каждой главы приводятся краткие выводы. В **заключении** диссертационной работы представлены основные результаты исследований. Объем полученных результатов, их надежность вполне достаточны для кандидатской диссертационной работы.

Замечания по работе:

1. На с.58 говорится: “Таким образом, экспериментально наблюдаемые особенности в угловых зависимостях резонансного поля и ширины линии ФМР пленок, осажденных на текстурированные подложки, связаны с возбуждением дополнительных нормальных мод колебаний намагниченности.” То, что дополнительные моды – нормальные, не доказано.
2. В главе 5 анализируется влияние малых отклонений угла наклона потока атомов от нормали к плоскости подложки при напылении пленки. Отмечается, что на свойства пленки оказывают влияние даже небольшие отклонения в 1^0 - 3^0 . Не была, однако выполнена оценка разброса угла наклона, возникающего, например, из-за конечного поперечного размера испарителя.
3. Напряжения – тензорная величина. Странно выглядит выражение “анизотропия внутренних напряжений” на с.12.
4. Используются термины, не являющиеся общепринятыми, например, “планарное магнитное поле”. Не все аббревиатуры расшифрованы (ЭДСВЧЭ). В тексте присутствует небольшое количество опечаток.

Однако отмеченные недостатки не снижают ценности работы. В целом, работа П.Н. Соловьева выполнена на высоком научном уровне.

Обоснованность и достоверность результатов подтверждаются применением современных методов исследования, сопоставлением результатов численного расчета и данных эксперимента, сравнением с результатами других авторов. Достоверность основных выводов не вызывает сомнений.

Практическая значимость работы состоит в том, что ее результаты могут быть использованы при разработке рекомендаций для изготовления тонких магнитных пленок и тонкопленочных структур с требуемыми магнитными свойствами.

Тема диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений. Основные результаты опубликованы в рецензируемых научных журналах, докладывались на российских и международных научных конференциях. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Закключение. В целом, диссертация Соловьева П.Н. удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

Официальный оппонент

Заместитель директора по научной работе

Института физики металлов УрО РАН

доктор физико-математических наук,

член-корреспондент РАН

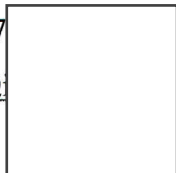
А.Б. Ринкевич



г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д.18, 620137

Телефон: (343) 3744331

+7
e-mail: rin@



Список трудов Ринкевича А.Б.

1. A.B. Rinkevich, D.V. Perov, M.I. Samoilovich, S.M. Klescheva. Magnetic antiresonance in metamaterial based on opal matrix with metallic cobalt nanoparticles embedded // *Metamaterials*. 2012. V.6. No.1-2, p.27-36
2. А.Б.Ринкевич, А.М.Бурханов, М.И.Самойлович, А.Ф.Белянин, С.М.Клещева, Е.А.Кузнецов. 3D-нанокompозитные металлодиэлектрические материалы на основе опаловых матриц // *Росс. Хим. Журн. (журн. Росс. Хим. Общества им.Д.И.Менделеева)*. 2012. Т.LVI. №1-2. С.26-35
3. A.B.Rinkevich, D.V.Perov. Shape of magnetic resonance line in electromagnetic wave transmission through permalloy films. In: *Recent Research Development in Material Sciences*, Ed. By S.G.Pandalai, Research Signpost, India. 2012. V.9. P.157-176, ISBN: 978-81-308-0466-8
4. G. S. Makeeva, O. A. Golovanov, M. Pardavi-Horvath, and A. B. Rinkevich. A probabilistic model for the interaction of microwaves with 3-dimensional magnetic opal nanocomposites. // *Journ. Appl.Phys.* 2013. V.113(17). P.173901(1-6)
5. Ринкевич А.Б., Устинов В.В., Ромашев Л.Н., Миляев М.А., Сидун Н.Н., Кузнецов Е.А. Высоочастотные свойства сверхрешеток Fe/Cr с тонкими слоями Cr на волнах миллиметрового диапазона // *ЖТФ*. 2013. Т.83. №7.С.146-152
6. В.В. Устинов, А.Б. Ринкевич, Д.В. Перов, А.М. Бурханов, М.И. Самойлович, С.М. Клещева, Е.А. Кузнецов. Гигантский антирезонанс в отражении электромагнитных волн от 3D-структуры с наночастицами ферритов-шпинелей // *Журнал технической физики*. 2013. Т. 83, №. 4. С. 104-112
7. Г.С. Макеева, О.А. Голованов, А.Б. Ринкевич. Электродинамический расчет тензора эффективной магнитной проницаемости магнитных 3d-нанокompозитов в микроволновом диапазоне // *Радиотехника и электроника*. 2014. Т.59. №1. С.16-26
8. A.B. Rinkevich, M.I. Samoilovich, S.M. Klescheva, D.V. Perov, A.M. Burkhanov, E.A. Kuznetsov. Millimeter-Wave Properties and Structure of Gradient Co-Ir Films Deposited on Opal Matrix // *IEEE Trans. on Nanotechnology*. 2014. V.13. No.1, P.3-9
9. V.E. Demidov, S. Urazhdin, A.B. Rinkevich, G. Reiss, S.O. Demokritov. Spin Hall controlled magnonic microwaveguides // *Appl. Phys. Lett.* 2014. V.104, No.15. P.152402 (1-4)
10. A.B. Rinkevich, A.M. Burkhanov, D.V. Perov, M.I. Samoilovich, S.M. Klesheva, E.A. Kuznetsov. Electromagnetic and magnetic properties of magnetophotonic crystal based on opal matrix with Co and CoO nanoparticles // *Photonics and Nanostructures – Fundamentals and Applications*. 2014. V.12. P.144–151
11. Rinkevich, A.B., Kuznetsov, E.A., Perov, D.V., Yu. Ryabkov, M. Samoylovich, S. Klescheva. Microwave Dielectric Properties of Ceramic and Nanocomposite Titanates of Transition Metal // *Journal of Infrared Millimeter and Terahertz Waves*. 2014. V. 35. No. 10. P.860-870
12. A.B. Rinkevich, E.A. Kuznetsov, D.V. Perov, V. Bovtun, M. Kempa, M. Savinov, M.I. Samoilovich, S.M. Klescheva, Yu.I. Ryabkov, E.V. Tsvetkova. High-Frequency Dielectric Properties of Nanocomposite and Ceramic Titanates // *IEEE Transactions on Nanotechnology*. 2015. V.14(3):1-1
13. V. E. Demidov, S. Urazhdin, B. Divinskiy, A. B. Rinkevich, S. O. Demokritov. Spectral linewidth of spin-current nano-oscillators driven by nonlocal spin injection // *Appl.Phys.Lett.* 2015. V.107. No.20. P.202402(1-4)

14. О.А. Голованов, Г.С. Макеева, А.Б. Ринкевич. Взаимодействие электромагнитных волн с периодическими решетками микро- и нанолент графена в терагерцовом диапазоне // Журнал технической физики. 2016. Т. 86, № 2
15. D.V. Perov, A.B. Rinkevich, S.O. Demokritov. Eigenmodes in thin ferromagnetic film under ferromagnetic resonance and spin-wave resonance conditions at different spin pinning // Physica Scripta. 2016. V. 91. P. 25802—25815.

Ученый секретарь ИФМ УрО РАН
к.ф.-м.н.



Т.П.Суркова