

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Лященко Сергея Александровича «Морфология, магнитные и магнитооптические свойства низкоразмерных структур Fe-Si», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния)

**Актуальность** диссертационной работы Лященко С.А. обусловлена развитием такой важной области знаний как спинtronика, которая может дать значительный толчок в повышении быстродействия, надежности и эффективности новых электронных устройств. Одним из перспективных комплексов материалов, способных найти применение в спинtronике – является система «железо – кремний». Использование в качестве магнитного материала в гибридных наноструктурах тонких плёнок силицидов железа  $Fe_3Si$  или  $Fe_5Si_3$ , позволит обеспечить высокую степень спиновой поляризации при инжекции электронов в объём полупроводника, например в кремний. Многие исследовательские группы заняты вопросами создания и исследования таких материалов. Причем всё ещё малоизученными остаются оптические и магнитооптические свойства силицидов  $Fe_3Si$  или  $Fe_5Si_3$  в зависимости от технологии их синтеза. Также интересным является вопрос влияния технологических условий получения плёнок силицидов на их морфологию. Таким образом, диссертационная работа Лященко С.А. представляет несомненный интерес, так как посвящена развитию технологии создания плёнок метастабильной фазы  $Fe_5Si_3$  и исследованию оптических и магнитооптических свойств силицидов  $Fe_3Si$  или  $Fe_5Si_3$ , дающих ключ к анализу электронной структуры данных силицидов.

**Целью** работы являлось получение плёнок метастабильной при комнатной температуре фазы силицида  $Fe_5Si_3$ , исследование оптических и магнитооптических свойств ферромагнитных силицидов  $Fe_5Si_3$  и  $Fe_3Si$ .

**Научная новизна** диссертационной работы соискателя состоит в разработке технологического регламента получения плёнок метастабильной фазы  $Fe_5Si_3$  различной морфологии, и в сравнении результатов спектральных оптических и магнитооптических

свойств плёнок ферромагнитных силицидов с данными *ab initio* расчётов плотности электронных состояний.

**При этом впервые:**

Методом термического испарения в сверхвысоком вакууме получены сплошные и островковые плёнки  $Fe_5Si_3$ . Для поликристаллической плёнки  $Fe_5Si_3$  исследованы структурные свойства и измерена дисперсия оптических постоянных.

Разработана оптическая модель дисков на поглощающей подложке, которая позволяет методом спектральной эллипсометрии контролировать морфологию островковых структур.

Также важным и новым результатом являются измеренные методом магнитоэллипсометрии спектральные зависимости магнитного кругового дихроизма для плёнок  $Fe_5Si_3$  и  $Fe_3Si$ .

**Научная и практическая значимость.**

Представленные в диссертации результаты исследований являются важным продвижением в понимании процессов формирования метастабильной фазы  $Fe_5Si_3$ . Они расширяют технологические возможности формирования новых устройств спинtronики на основе силицидов железа. Полученные результаты могут быть также использованы при разработке методов и технологий создания наноструктур.

**Достоверность результатов** подтверждается использованием различных экспериментальных методик, сравнением их результатов с теоретическими расчётами и данными, полученными другими авторами. Все основные результаты диссертационной работы представлены на различных международных и всероссийских конференциях и опубликованы в ведущих научных журналах.

**Общий взгляд на содержание** диссертации Лященко Сергея Александровича даёт впечатление целостности изложения, творческого подхода в разработке экспериментальных методов синтеза образцов и интерпретации результатов эллипсометрических измерений.

Работа выполнена на высоком научном уровне, с использованием современных методов физических исследований.

Диссертация написана в соответствии с ГОСТ 7.0.11-2011 и содержит введение, с обоснованием актуальности и цели исследований, четыре главы, заключение и список использованной литературы.

Первая глава диссертации является обзорной, в ней приведено рассмотрение теоретических основ метода эллипсометрии и магнитоэллипсометрии применительно к исследованию ферромагнитных плёнок системы Fe-Si. Показаны традиционные эллипсометрические модели и методы их оптимизации.

Вторая глава содержит описание основных аппаратных средств и методов исследования экспериментальных образцов, кратко изложены преимущества и недостатки используемых оптических, микроскопических и дифракционных методов. Приводятся результаты разработки эллипсометрической модели случайно-распределённых дисков на проводящей подложке, имеющей признаки научной новизны. В основе модели лежит статистический метод описания двумерных распределений островков. Разработанная оптическая модель имеет преимущества перед моделями эффективной среды при анализе островковых плёнок, так как не использует электростатическое приближение. Приведены результаты модификации алгоритма расчёта магнитооптических свойств ферромагнетика по данным отражательной магнитно-модулированной эллипсометрии. В целом, разработанные методы и подходы для исследования магнитооптических свойств ферромагнитных плёнок представляют большой прикладной интерес.

Третья глава целиком посвящена разработке технологии получения метастабильной фазы силицида  $Fe_5Si_3$  методом послойного осаждения субнанометровых слоёв железа и кремния с последующим отжигом в сверхвысоком вакууме. Попытка создания плёнок  $Fe_5Si_3$  методом соосаждения приводила к образованию фазы  $Fe_3Si$ , определяемой методом рентгеноструктурного анализа. Достаточно подробно исследуется морфология островковых

плёнок  $Fe_5Si_3$  различной толщины методами атомно-силовой микроскопии, сканирующей электронной микроскопии. Для поликристаллической плёнки  $Fe_5Si_3$  впервые измерены дисперсии оптических постоянных в диапазоне длин волн 250-1000 нм методом спектральной эллипсометрии.

В четвертой главе представлены результаты исследований магнитооптических свойств образцов, предположительно содержащих  $Fe_5Si_3/SiO_2(14\text{ нм})/Si(100)$  и ранее полученного эпитаксиально  $Fe_3Si/Si(111)$  в конфигурации экваториального магнитооптического эффекта Керра. Были впервые измерены энергетические зависимости магнитооптического параметра Фогта и магнитного кругового дихроизма для  $Fe_5Si_3$  и  $Fe_3Si$ . Кроме того, важным результатом является полученная автором работы дисперсия оптических постоянных такого актуального для спинtronики материала, как ферромагнитный силицид железа  $Fe_5Si_3$ .

В заключении представлены основные результаты, полученные в диссертационной работе.

**Соответствие диссертации паспорту специальности.** Содержание диссертационной работы Лященко С.А. соответствует формуле Паспорта специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния, пункту № 2 «Теоретическое и экспериментальное исследование физических свойств неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и квантовые жидкости, стекла различной природы и дисперсные системы» и пункту № 6 «Разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами».

**Основные результаты диссертации опубликованы** в 4 статьях в журналах из перечня ВАК, 1 международном рецензируемом журнале. На основные вычислительные алгоритмы, используемые в диссертации, получены 3 свидетельства о государственной регистрации авторских прав.

Диссертация С.А. Лященко не лишена некоторых недостатков. В качестве **замечаний по работе** следует отметить следующее:

1. В работе следовало бы подробно обсудить применение разработанной модели пересекающихся дисков для случая островков произвольной формы. Тем более что распределение по размерам пересекающихся дисков в модели не учитывается и некоторая доля этих дисков может иметь диаметр меньше, чем допускает теория эффективной среды.

2. Для доказательства существования метастабильной фазы  $Fe_5Si_3$  в полученных образцах в диссертации используется рентгеноструктурный анализ, который позволяет оценить объёмную долю фазы  $Fe_5Si_3$  в образце. Тем не менее в диссертации этих данных нет, по неясной причине.

3. Можно привести ряд замечаний стилистического характера. Так, на странице 60 использован термин «машинное моделирование». На странице 59 не очень понятно, какое отношение имеет требование квазистационарности к разработке модели случайно-распределённых дисков. На странице 74 в одном предложении пять раз используется слово «симплекс» и т.д.

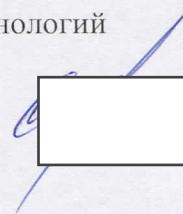
Однако приведенные замечания не снижают значимости полученных соискателем результатов диссертационной работы.

**Заключение.** Научные положения и результаты диссертации Лященко Сергея Александровича хорошо аргументированы. Тема диссертации удовлетворяет паспорту специальности. Содержание изложено доступным языком. Автореферат правильно передает содержание диссертации. Совокупность результатов диссертационной работы можно охарактеризовать как новое научное достижение в понимании физических свойств ферромагнитных силицидов железа и в развитии эллипсометрических методов анализа поверхности.

Таким образом, диссертационная работа содержит достоверные результаты и полностью удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по

специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, а Лященко Сергей Александрович, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Профессор кафедры Фотоники и лазерных технологий  
Сибирского федерального университета  
Доктор физико-математических наук



В. В. Слабко

Шифр специальности: 01.04.05 - Оптика

Адрес: 660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 26  
Тел.: +7(913)5176747

e-mail: vslabko49@mail.ru

Подпись В. В. Слабко удостоверяю

Учёный секретарь СФУ



Г.С. Быкова

**Список основных публикаций Слабко Виталия Васильевича**  
**по теме диссертации Лященко С.А.**  
**за последние пять лет**

№ п/п	Наименование работы	Вид работы	Выходные данные	Соавторы
1	Dynamics of self-organized aggregation of resonant nanoparticles in a laser field	статья	Appl. Phys. B- Lasers And Optics, 2014, V. 117, Is. 1. – P. 271-278	Tsipotan A.S., Aleksandrovsky A.S. et al.
2	Unidirectional amplification and shaping of optical pulses by three-wave mixing with negative phonons	статья	Appl. Phys. A- Materials Science & Processing, 2014, V. 115, Is. 2, - P. 523-529	Popov A.K., Shalaev M.I., Myslivets S.A., et al.
3	Self-organised aggregation of a pair of particles with different resonant frequencies and electric dipole moments of transitions, controlled by an external quasi-resonant field	статья	Quantum Electronics, 2013, V.43, Is. 5, - P. 458-462	Tsipotan A.S., Aleksandrovsky A.S.
4	On the Possibility of Inversion-free Amplification of Light by Dichroic Molecules in an External Orienting Field	статья	Technical Physics, 2012, V. 57, Is. 2, - P. 214-219	Kuzovatov I.A., Shamshurin A.V.
5	Random quasi-phase-matched conversion of broadband radiation in a nonlinear photonic crystal	статья	Phys. Rev. A, 2010, V. 82, Is. 5, - Article Num. 055806	Aleksandrovsky A.S., Vyurishev A.M., Zaitsev A.I. et al.
6	Nonlinear photonic crystals of strontium tetraborate: properties and conversion of radiation	статья	Nonlinear Optics And Appl. IV Book Series: Proceed. of SPIE, 2010, V. 7728, Article N. 772819	Aleksandrovsky A.S., Vyurishev A.M., Zaitsev A.I. et al.

Профессор кафедры Фотоники и лазерных технологий  
Сибирского федерального университета  
Доктор физико-математических наук

В. В. Слабко

Список публикаций В.В. Слабко завер

Учёный секретарь СФУ

Г.С. Быкова

