

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 002.034.01 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ АНАЛИТИЧЕСКОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИАП РАН),
Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «25» октября 2019 г. протокол № 14
о присуждении Шевцову Дмитрию Валентиновичу, гражданину Российской
Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка сверхвысоковакуумного комплекса для получения и *in situ* исследования наноструктур методом спектральной магнитооптической эллипсометрии в широком температурном диапазоне» по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики принята к защите 16.08.2019 г., протокол №7-2 диссертационным советом Д 002.034.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института аналитического приборостроения Российской академии наук (ИАП РАН), 190103, Санкт-Петербург, Рижский пр. 26, приказ 714/нк от 02.11.2012 г.

Диссертация выполнена в лаборатории физики магнитных явлений Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ИФ СО РАН).

Соискатель, Шевцов Дмитрий Валентинович, 1982 года рождения, гражданство РФ, в 2006 г. окончил Красноярский государственный университет по специальности «Физика». В 2009 г. окончил очную аспирантуру Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук. Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2016 г. Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН).

В период подготовки диссертации соискатель Шевцов Дмитрий Валентинович работал в Институте физики им. Л.В. Киренского Сибирского

отделения Российской академии наук – обособленном подразделении ФИЦ КНЦ СО РАН.

Научный руководитель: Варнаков Сергей Николаевич, доктор физико-математических наук, специальность 01.04.07, доцент, заместитель директора по научной работе Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук - обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН.

Официальные оппоненты:

1. Пронин Игорь Иванович, доктор физико-математических наук, специальность 01.04.04, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией Физики элементарных структур на поверхности Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург;
2. Семёнов Валентин Георгиевич, доктор физико-математических наук, специальность 01.04.01, профессор, заместитель заведующего кафедрой аналитической химии Института химии Санкт-Петербургского Государственного Университета, г. Санкт-Петербург.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, г. Томск, в своем **положительном заключении**, подписанном кандидатом технических наук, заведующим лабораторией пучково-плазменной инженерии Денисовым Владимиром Викторовичем, утвержденном директором института сильноточной электроники СО РАН академиком РАН, профессором Николаем Александровичем Ратахиным **отметила**, что диссертация Шевцова Дмитрия Валентиновича соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Министерства образования и науки РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а соискатель - достоин присвоения учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.01, **и указала на следующие замечания:**

1) Известно, что при учёте высокой чувствительности эллипсометрических измерений к состоянию поверхности, малейшие дефекты на поверхности, нарушающие ее плоскость, могут самым катастрофическим образом сказаться на результатах измерения оптических постоянных. В диссертации не говорится о состоянии поверхности – шероховатости и наличии тонких адсорбированных плёнок, которые могут возникать, в том числе при криогенных температурах. Не приведены оценки по скорости осаждения адсорбирующихся газов;

2) В диссертации указано, что при нагревании подложки до 600 К интенсивность её собственного теплового излучения на порядки превышает интенсивность зондирующего луча. Как обеспечивается точность эллипсометрических измерений при температурах (85-900) К, указанных как рабочий диапазон созданного сверхвысоковакуумного комплекса?

3) В работе не проведены сравнительные исследования и не обсуждается влияние протекания тока через кремниевую подложку на процессы роста пленки Fe, на структуру этой плёнки и результаты магнитоэллипсометрических измерений;

4) К замечаниям можно отнести то, что не были проведены *in situ* исследования формирования плёночных структур при предельно низких и высоких температурах в диапазоне (85-900) К.

Соискатель имеет 9 (девять) научных публикаций, из них по теме диссертации 7 (семь), входящих в перечень ВАК РФ, причем в Международных базах SCOPUS и WoS индексируется 6 (шесть) статей. Кроме того, соискатель имеет: 9 (девять) тезисов в сборниках трудов всероссийских и международных конференций и симпозиумов, 2 (два) патента РФ, 2 (два) свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

К наиболее значительным работам, отражающим основное содержание диссертации, относятся:

1. **Shevtsov, D.V.** Ultrahigh vacuum holder-positioner for *in situ* studies of conductive nanostructures in a wide temperature range / D.V. Shevtsov, S.A. Lyaschenko, S.N. Varнаков // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 155. – Issue 1. – P. 012028.
2. **Шевцов, Д.В.** Сверхвысоковакуумная многофункциональная установка для синтеза низкоразмерных структур и их *insitu* исследований методом спектральной магнитоэллипсометрии в температурном диапазоне 85–900 К / Д.В. Шевцов, С.А. Лященко, С.Н. Варнаков // Приборы и техника эксперимента. – 2017. – № 5. – С. 146–150.
3. Рыхлицкий, С.В. Измерительно-ростовой комплекс для синтеза и исследования *insitu* материалов спинтроники / С.В. Рыхлицкий, В.А. Швец, Е.В. Спесивцев, В.Ю. Прокопьев, С.Г. Овчинников, В.Н. Заблуда, Н.Н. Косырев, С.Н. Варнаков, **Д.В. Шевцов** // Приборы и техника эксперимента. – 2012. – № 2. – С. 165.
4. Лященко, С.А. Исследования магнитооптических свойств тонких слоёв Fe *in situ* методами / С.А. Лященко, И.А. Тарасов, С.Н. Варнаков, **Д.В. Шевцов**,

- В.А. Швец, В.Н. Заблуда, С.Г. Овчинников // Журнал технической физики. – 2013. – Т. 83. – Вып. 10. – С. 139–142.
5. Лященко, С.А. Автоматизация магнитоэллипсометрических *in situ* измерений на сверхвысоко-вакуумном комплексе для синтеза и исследования материалов спинтроники / С.Н. Варнаков, И.А. Тарасов, **Д.В. Шевцов**, С.Г. Овчинников // Вестник СибГАУ. – 2012. – Вып. 4(44). – С. 162–167.
 6. Maximova, O.A. *In situ* magneto-optical ellipsometry data analysis for films growth control / O.A. Maximova, N.N. Kosyrev, S.N. Varnakov, S.A. Lyaschenko, I.A. Yakovlev, I.A. Tarasov, **D.V. Shevtsov**, O.M. Maximova, S.G. Ovchinnikov // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2017. Vol. 440. – P. 196–198.
 7. Maximova, O. Magneto-ellipsometry as a powerful technique for investigating magneto-optical structures properties / O. Maximova, N. Kosyrev, I. Yakovlev, **D. Shevtsov**, S. Lyaschenko, S. Varnakov, S. Ovchinnikov // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2017. – Vol. 440. – P. 153–156.
 8. Система регистрации и анализа магнитоэллипсометрических данных (Valnadin) / С.А. Лященко, И.А. Тарасов, Н.Н. Косырев, С.Н. Варнаков, В.Н. Заблуда, С.Г. Овчинников, **Д.В. Шевцов** // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2012618677. – Зарегистрировано 24 сентября 2012 г.
 9. Автоматизированный комплекс для управления технологическими процессами получения тонких структур металла на полупроводнике, используя измерение и анализ магнитоэллипсометрических данных (ValnadinAuto) / С.А. Лященко, И.А. Тарасов, **Д.В. Шевцов**, С.Н. Варнаков, С.Г. Овчинников // Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2013617818. – Зарегистрировано 23 августа 2013 г.
 10. Способ измерения магнитооптических эффектов *insitu* / Н.Н. Косырев, В.Н. Заблуда, И.А. Тарасов, С.А. Лященко, **Д.В. Шевцов**, С.Н. Варнаков, С.Г. Овчинников // **Изобретение** № 2560148RU от 20.08.2015 г.
 11. Способ бесконтактного измерения температуры *insitu* / Н.Н. Косырев, С.А. Лященко, **Д.В. Шевцов**, С.Н. Варнаков, И.А. Яковлев, И.А. Тарасов, В.Н. Заблуда // **Изобретение** № 2660765RU от 09.07.2018 г.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Пронина Игоря Ивановича**, доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника, заведующего лабораторией Физики элементарных структур на поверхности Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН.
- Замечания:

- 1) В работе не проанализировано влияние процессов охлаждения и нагрева образца на точность оптических измерений, хотя, как известно, изменение температуры способно менять показатели преломления и поглощения вещества;
- 2) В диссертации, в отличие от автореферата, отсутствует единый список публикаций автора по теме диссертационной работы;
- 3) Автором не рассмотрено влияние электрического поля, возникающего вблизи подложки при нагреве образца, а также прикладываемого магнитного поля на начальные стадии роста магнитных пленок.

2. **Семёнова Валентина Георгиевича**, доктора физико-математических наук, профессора, заместителя заведующего кафедрой аналитической химии Института химии Санкт-Петербургского Государственного Университета. Замечания:

- 1) В диссертации не полностью раскрыты преимущества разработанного комплекса перед существующими аналогами;
- 2) Из диссертации ясно, что разработанный комплекс позволяет получать наноструктуры при температурах подложки в диапазоне 85-900К, однако результатов экспериментов (*in situ*) по получению структур при различных температурах не приведено;
- 3) Из текста диссертации не совсем понятно, низкие (криогенные) температуры нужны только для исследований или также для проведения экспериментов по напылению?
- 4) Не раскрыто влияния процесса пропускания тока через подложку при нагреве на рост пленок, как учитывается данный процесс, как анализируется?

3. **Балашева Вячеслава Владимировича**, старшего научного сотрудника лаборатории гибридных структур, кандидата физико-математических наук, Института Автоматики и Процессов Управления ДВО РАН.

Без замечаний.

4. **Галкина Николая Геннадьевича**, доктора физико-математических наук, профессора, заместителя директора по научно-образовательной и инновационной деятельности Института Автоматики и Процессов Управления ДВО РАН. Замечание:

К недостаткам автореферата можно отнести замеченные грамматические ошибки. На стр.4: «...только возможность проведение...» (нужно «я»), «...таких как начальную («ая») температуру («а») и величину («а) магнитного поля...» и «таких как,... температуры («а») движения доменных стенок...».

5. **Жигалова Виктора Степановича**, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН.

Без замечаний.

6. **Миляева Михаила Анатольевича**, доктора физико-математических наук, заведующего лабораторией квантовой наноспинтроники, главный научный сотрудник, Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения РАН (ИФМ УрО РАН).

Без замечаний.

7. **Терещенко Олега Евгеньевича**, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лабораторией Института Физики Полупроводников Сибирского Отделения РАН. Замечание:

В качестве мелкого замечания можно указать на отсутствие прямоугольной петли гистерезиса в системе Fe/SiO₂/Si(100), представленной на рисунке 8, и объяснения причин такого поведения.

8. **Пчелякова Олега Петровича**, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего отделом роста и структуры полупроводниковых материалов Института Физики Полупроводников Сибирского Отделения РАН. Замечание:

Неудачно выбрано название работы, в котором читается приборная направленность диссертации на разработку, но несмотря на многословность остаётся нераскрытым самый важный момент практического создания экспериментального оборудования. Эта неточность исправлена в первом выводе работы.

9. **Швеца Василия Александровича**, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Института Физики Полупроводников Сибирского Отделения РАН. Замечания:

1) Несколько аморфно и расплывчато сформулированы защищаемые положения. Третье и четвёртое положение во многом дублируют друг друга;

2) В автореферате не отмечен личный вклад соискателя в проделанной масштабной работе;

3) При описании температурных измерений нигде не указан метод измерения температуры, а такие измерения в условиях вакуума являются отдельной технической задачей;

4) Приведённая точность измерения толщины плёнки Fe, равная ± 0.1 нм, на мой взгляд, завышена. Это скорее чувствительность аппаратуры, воспроизводимость измерений, но не абсолютная точность;

5) Есть замечания по части стилистики и лексики. Например, используется новый термин «спектрограмма комплексной диэлектрической проницаемости», понять который можно только из контекста. В тексте встречается путаница в терминах «метод» и «методика». Номограммой на рис.6 называется экспериментальная зависимость, что не соответствует понятию данного термина.

Все отзывы, как содержащие, так и не содержащие замечаний, положительны.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается большим опытом работы в областях, относящихся к проблематике диссертационной работы, таких как: методы экспериментальной физики, физика и технологии наногетероструктур, оптика, сверхвысоковакуумная техника, физика полупроводников.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

успешно **апробировано** предложенное оригинальное конструктивное решение сверхвысоковакуумной ростовой камеры, позволяющее в рамках одного эксперимента проводить *in situ* исследования оптических и магнитных свойств при формировании наноструктур в широком диапазоне температур, а также задавать начальную температуру и величину магнитного поля в области образца в диапазоне 85–900 К и –6 до +6 кЭ соответственно, при формировании этих структур;

реализовано оригинальное решение магнитной системы с размещением магнита снаружи вакуумного объёма, создающей внутри сверхвысоковакуумной камеры магнитное поле ($H_{\text{внеш}}$ до 6 кЭ) вблизи образца, позволяющая в автоматическом режиме проводить *in situ* магнитоэллипсометрические исследования;

обоснована оригинальная малогабаритная конструкция манипулятора-держателя с использованием пластины сапфира для отведения тепла при низких температурах и изоляции токов утечки при высоких температурах, что позволило проводить *in situ* магнитоэллипсометрические исследования в температурном диапазоне 85–900 К;

проведено успешное тестирование разработанных элементов и систем технологического оснащения, а также комплекса в целом;

предложена реализация методики неразрушающей *in situ* магнитоэллипсометрической диагностики наноразмерных структур в расширенном

температурном диапазоне 85–900 К и проведена ее апробация на наноструктуре Fe/SiO₂/Si(100);

установлено, что пленка Fe после отжига при высоких температурах модифицируется в островковую структуру, причем средний продольный размер островков сопоставим с длиной волны.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что применительно к проблематике диссертации **результативно, с получением обладающих новизной результатов:**

показана возможность определения значения коэрцитивной силы и температуры Кюри ультратонких пленок Fe при высоких температурах;

апробированы способы одновременного *in situ* определения толщины слоев и их магнитных характеристик на основе полученных спектральных зависимостей оптических постоянных ферромагнитных пленок.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработанный комплекс позволяет проводить одноволновые и спектральные эллипсометрические исследования в диапазоне длин волн от 300 до 900 нм, магнитооптические исследования в полях от –6 до +6 кЭ, в температурном диапазоне 85–900 К в условиях сверхвысокого вакуума. Созданная исследовательская аппаратура будет способствовать получению и исследованию новых объектов с уникальными физическими свойствами и развитию технологий получения новых функциональных материалов, представляющих интерес для спинтроники и магнитоэлектроники.

Достоверность результатов исследований обеспечивается воспроизводимостью условий *in situ* экспериментов, совпадением с данными *ex situ* исследований, использованием современного высокоточного оборудования, применением современных методов исследования, теоретическими расчетами и численным моделированием, а также качественным и количественным совпадением полученных результатов с независимыми литературными источниками, и успешной апробацией основных результатов работы на конференциях. В частности, показано, что температурная зависимость спектрограммы комплексной диэлектрической проницаемости для кремния, полученная *in situ* в вакуумной камере в температурном диапазоне 85–900 К, согласуется с известными данными других авторов.

Личный вклад соискателя заключается в постановке цели и задач исследования, формулировке выводов и положений, выносимых на защиту. Анализ экспериментальных и теоретических результатов диссертации проводился автором совместно с научным руководителем. Работа по внедрению оригинальных технических решений, связанных со способом подведения магнитного поля в область образца и реализации системы с возможностью охлаждения, и нагрева образцов, а также получению наноструктур Fe/Si и Fe/SiO₂/Si была проведена лично соискателем. Разработка и создание технологического оборудования, написание программного обеспечения для сверхвысоковакуумного комплекса, анализ и обсуждение представленных научных результатов проведены совместно с соавторами опубликованных работ при непосредственном участии автора.

На заседании 25.10.2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Шевцову Дмитрию Валентиновичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 16 докторов наук, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета,
д.т.н., проф.


В.Е. Курочкин

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.ф.-м.н.


А.Л. Буляница

