

## ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Тарасова Ивана Анатольевича «Развитие методики эллипсометрического контроля параметров наноструктур Fe/Si в процессе роста», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

Развитие современных технологий получения функциональных материалов и, в частности, на основе тонкопленочных структур тесно связано с совершенствованием аналитических средств контроля, позволяющих не только паспортизировать параметры полученных изделий, но и осуществлять их контроль в процессе изготовления и принимать необходимые операционные действия в случае их отклонения от заданных значений.

Отметим, что среди известных экспериментальных методов, позволяющих *in situ* осуществлять контроль параметров при высоковакуумном напылении (метод кварцевых резонаторов, дифракции отраженных быстрых электронов и др.) значительное внимание отводится эллипсометрии. Являясь высокочувствительным, этот метод позволяет практически непрерывно получать информацию с поверхности напыляемого материала, не оказывая при этом влияния на формирующуюся структуру. Это дает возможность на основе анализа экспериментальных результатов решать обратную задачу по эллипсометрическим параметрам определять толщину и оптические постоянные синтезируемой пленки.

Однако отсутствие надежных экспериментальных зависимостей эллипсометрических параметров от толщины пленки напыляемого материала существенно ограничивает возможности этого метода. Поэтому создание алгоритма с оптической моделью и программного обеспечения, позволяющего проводить анализ оптико-геометрических параметров формирующейся пленки в реальном времени представляется весьма актуальной задачей.

Рассмотрим теперь обоснованность сформированных в диссертации основных выводов и научных положений.

1. Разработана и реализована методика анализа эллипсометрических данных на основе нового алгоритма обработки экспериментальных результатов, позволяющая проводить экспресс-контроль толщины и оптических постоянных формирующихся структур в процессе их роста. Обоснованность и достоверность методических разработок подтверждается рядом численных экспериментов – соотношение расчетного профиля с исходным. Кроме того, были проведены сравнения значений оптических постоянных напыляемых структур Fe/Si с результатами измерений другими методами: дифракция отраженных быстрых электронов, просвечивающая электронная микроскопия, многоугольная спектральная

эллипсометрия и др., показавшие хорошее совпадение (отклонения не более 6,5% - рентгенофлюоресцентный анализ).

2. Получены профили изменения комплексного показателя преломления и толщины в процессе синтеза тонких пленок Fe-Si ферромагнитного силицида  $Fe_3Si$  и полупроводникового дисилицида  $\beta$ - $FeSi_2$ . Эти данные методом экспресс-контроля получены впервые, а их сравнение с результатами дифракции отраженных быстрых электронов и многолучевой спектральной эллипсометрии указывают на достоверность полученных результатов.

3. Получение и исследование профилей коэффициентов преломления и поглощения  $n$  и  $k$  формирующихся пленок при совместном осаждении железа и кремния на кремниевую подложку показало, что пленки силицида  $Fe_3Si/Si(III)$  растут однородными начиная с толщины 5 нм (температура подложки 150 °C), а дисилицида  $\beta$ - $FeSi_2/Si(100)$  по достижению 20 нм (температура подложки 450 °C). Эти результаты являются оригинальными и их достоверность подтверждается серией дополнительно проведенных сравнительных экспериментов (раздел 5.2).

Научная новизна работы заключается в разработке и реализации алгоритма расчета профилей оптических постоянных структур *in situ* в масштабе реального времени, то есть в процессе напыления. Получены профили и значения комплексного показателя преломления в процессе синтеза пленок ферромагнитного силицида  $Fe_3Si$  и полупроводникового дисилицида  $\beta$ - $FeSi_2$ .

Отметим возникшие в процессе рассмотрения работы замечания.

1. В работе не дана оценка принятых допущений и упрощений при постановке задачи. Непонятно, как они будут влиять на конечный результат. Какие действия необходимы для получения оптимальных результатов? Если это заложено в Программе, то каким образом?

2. Отсутствуют критериальные оценки использования в конкретном эксперименте алгоритма расчета оптических постоянных для статического (неизменные оптические константы) и динамического (изменяющиеся в процессе роста оптические константы) случаев.

3. Имеется некоторая небрежность в формулировках и оформлении работы. Так, в названии диссертации непонятно, к чему отнести сочетание в процессе роста. Либо это параметры, либо наноструктуры, либо сама пленка Fe/Si? Аналогичная ситуация и в постановке цели работы.

В задаче 3 сформулирована необходимость сравнения результатов толщины с результатами рентгеноспектрального анализа. Возникает вопрос, какими?

Практическая значимость полученных результатов в полной мере соответствует поставленной цели и задачам работы и заключается в использовании созданной эллипсометрической экспресс-методики для получения информации об изменении оптических и структурных характеристик растущих пленок и контролируемого напыления аморфных,

поликристаллических и эпитаксиальных наноструктур в условиях сверхвысокого вакуума.

Диссертация представляет законченную научно-исследовательскую работу, основные выводы которой соответствуют поставленной цели и задачам.

Отмеченные недостатки не влияют на новизну и достоверность полученных результатов и могут послужить основой для дискуссии. Содержание автореферата соответствует основным идеям и выводам диссертации. Результаты проведенных исследований достаточно полно опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК России.

На основе вышеизложенного следует считать, что в диссертации проведено обоснование, реализован алгоритм и создана эллипсометрическая экспресс-методика, позволяющая осуществлять контроль толщины и оптических постоянных структуры в процессе напыления наноразмерных пленок системы Fe/Si, имеющая важное значение для осуществления автоматизированного управляемого синтеза материалов в сверхвысоком вакууме.

Содержание диссертации, ее объем и уровень изложения результатов научных исследований соответствует требованиям ВАК России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Тарасов Иван Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий НОЦ ЮНЕСКО  
«Новые материалы и технологии»,  
Сибирский федеральный университет  
660074 Красноярск, ул. Киренского, 26  
Тел. 2 912 119, sfu-unesco@mail.ru

А.А. Лепешев

<b>ФГАОУ ВПО СФУ</b>	
Подпись <u>Лепешев</u>	заверяю
Начальник общего отдела _____	
«22» 09	2014 г.

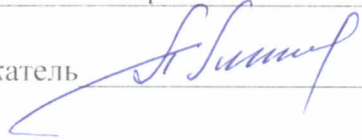


**СПИСОК**  
**опубликованных научных и учебно-методических работ**  
**Лепешев Анатолий Александрович**  
*Фамилия, имя, отчество*

№ п/п	Наименование работы	Вид работы	Выходные данные	Соавторы
1	Плазменное напыление аморфных и нанокристаллических материалов	монография	Красноярск, СФУ.- ISBN 978-5-7638-2803-0.-2013.-280 с.	Лепешев, А.А.
2	Плазмохимический синтез нанодисперсных порошков и полимерных нанокомпозитов	монография	Красноярск.-ISBN 978-5-7638-2502-02.-СФУ,2012.-328 с.	Лепешев, А.А., Ушаков А.В., Карпов И.В.
3	Устройство для осаждения наночастиц на полимерные порошковые материалы	статья	Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2014. Т. 80. № 4. С. 47-50	Карпов И.В., Ушаков А.В., Федоров Л.Ю., Лепешев А.А.
4	Разработка эффективных путей управления структурой и свойствами твердосплавных композитов, модифицированных наночастицами	статья	Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2014. Т. 7. № 3. С. 270-289	Гордеев Ю.И., Лбкарян А.К., Бинчуров А.С., Ясинский В.Б., Карпов И.В., Лепешев А.А., Хасанов О.Л., Двигин Э.С.
5	Оксид меди плазмохимического синтеза для допирования сверхпроводящих материалов	статья	Материаловедение. 2013. № 7. С. 29-32	Ушаков А.В., Карпов И.В., Лепешев А.А., Федоров Л.Ю., Шайхадинов А.А.
6	Физико-механические и трибологические свойства квазикристаллических покрытий Al-Cu-Fe, полученных плазменным напылением	статья	Физика твердого тела. 2013. Т. 55. № 12. С. 2406-2411	Лепешев А.А., Рожкова Е.А., Карпов И.В., Ушаков А.В., Федоров Л.Ю.
7	Теплофизические свойства нанокомпозиционного материала на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена и нанопорошка TiO <sub>2</sub> плазмохимического	статья	Материаловедение. 2013. № 1. С. 40-42	Федоров Л.Ю., Ушаков А.В., Карпов И.В., Лепешев А.А.

	синтеза			
8	Исследование технологических свойств нанопорошка TiN, синтезированного в плазме дугового разряда низкого давления	статья	Технология машиностроения. 2013. № 2. С. 39-42	Карнов И.В., Ушаков А.В., Лепешев А.А.
9	Magnetic properties of nanostructured co-based alloys produced by dynamic compaction and plasma spray deposition	статья	Diffusion and Defect Data Pt.B: Solid State Phenomena. 2012. Т. 190. С. 192-195	Kuzovnikova I., Denisova E., Iskhakov R., Kuzovnikov A., Lepeshev A.

Соискатель



Ученый секретарь учёного совета СФУ




Быкова Г.С.

*Подпись с расшифровкой*

Печать организации

