

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки Института
физики полупроводников
им. А. В. Ржанова Сибирского
отделения Российской академии
наук, академик РАН

А.В. Латышев

2016 г



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Игуменова Александра Юрьевича
«Электронная спектроскопия структур на основе кремния и
переходных металлов», представленную на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по
специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Актуальность работы

Диссертация Игуменова А.Ю. «Электронная спектроскопия структур на основе кремния и переходных металлов» посвящена актуальной проблеме исследования спектров потерь энергии отраженных электронов. Актуальность работы определяется необходимостью контроля физико-химических свойств материалов, используемых при создании новых устройств нано- и опто-электроники. Стандартный контроль в настоящее время наиболее часто обеспечивается такими методами электронной спектроскопии как фотоэлектронная спектроскопия и электронная Оже-спектроскопия. Однако традиционные методы не всегда дают однозначные результаты относительно элементного состава, ярким примером чего служить система Fe-Si, исследуемая в диссертационной работе. В то же время количественный анализ спектров потерь энергии отраженных низкоэнергетических электронов в настоящее время активно развивается.

Одним из значительных успехов в данном направлении стала разработка метода спектроскопии сечения неупругого рассеяния электронов, позволившего количественно измерять интенсивность потерь энергии. Фундаментальное значение исследования поверхности твердых тел методом спектроскопии сечения неупругого рассеяния электронов заключается в дополнительной, по сравнению с традиционными методами, возможности изучения процессов неупругого рассеяния электронов.

Наиболее значимыми научными результатами диссертационной работы А.Ю.Игуменова являются следующие:

1. Исследованы спектры сечения неупругого рассеяния электронов элементарных веществ Si, Fe, Mn и силицидов FeSi_2 , FeSi , Fe_5Si_3 . Проведено их сравнение со стандартными спектрами характеристических потерь энергии электронов.

2. Показано, что спектры сечения неупругого рассеяния электронов более чувствительны к изменению энергии первичных электронов, чем спектры потерь энергии рассеянных электронов.

3. Амплитуда спектров сечения неупругого рассеяния электронов значительно чувствительнее к содержанию железа в силицидах разного состава, чем энергия объемного плазмона в спектрах характеристических потерь энергии электронов и химические сдвиги в рентгеновских фотоэлектронных спектрах.

4. Разработана методика разложения спектров сечения неупругого рассеяния электронов на пики потерь, которая позволяет:

а) минимизировать влияние наложения пиков от разных процессов на результирующие положения максимумов на спектрах;

б) определять энергию неразрешенных на исходных спектрах пиков потерь. Это особенно актуально для анализа спектров силицидов железа, в которых поверхностный плазмон неразрешен даже на дифференциальных спектрах;

в) определять природу пиков потерь по зависимости амплитуд пиков от энергии первичных электронов. Для объемных возбуждений амплитуда пика возрастает с увеличением энергии первичных электронов, для поверхностных – уменьшается;

г) проводить расчет вероятности потери энергии электроном на поверхностные возбуждения при единичном акте взаимодействия с поверхностью в случае неразрешенного объемного плазмона;

д) использовать амплитуду пика, описывающего потери энергии на возбуждение объемного плазмона, для идентификации силицидов железа разного состава.

Достоверность и обоснованность полученных результатов и выводов работы достигаются использованием современного научного оборудования, физической обоснованностью используемых автором новых подходов. Достоверность также достигается согласованностью полученных данных с известными результатами в области электронной спектроскопии.

Материалы диссертации прошли апробацию на ряде конференций и опубликованы в рецензируемых научных журналах из перечня, утвержденного ВАК. Имеются, также, статьи в рецензируемых международных журналах.

Научная ценность работы состоит в развитии метода анализа тонкой структуры спектров сечения неупругого рассеяния электронов, открывающей новые возможности для изучения процессов потерь энергии электронов. Показано, что из разложения спектров на элементарные пики возможно определение таких важных величин, как параметр поверхностных возбуждений, а амплитуды пиков чувствительны к элементному составу.

Практическая значимость результатов работы заключается в первую очередь в положении о том, что спектры сечения неупругого рассеяния электронов более чувствительны к элементному составу, чем спектры характеристических потерь энергии электронов. Это наглядно

продемонстрировано на силицидах железа FeSi_2 , FeSi , Fe_5Si_3 , элементный анализ которых традиционными методами электронной спектроскопии затруднителен, и может использоваться при создании многокомпонентных наноструктур, где важен строгий контроль элементного состава.

Результаты диссертационной работы можно рекомендовать для использования в исследованиях, когда применяется метод анализа спектров характеристических потерь энергии электронов. В частности, в Институте автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Удмуртском государственном университете, Ижевск, Физико-технический институт им. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород.

К работе имеются следующие замечания:

В автореферате, в формуле, описывающей потери энергии электроном при данной энергии, использован научный жаргон. В частности, функция $j(E)$ определена как «экспериментальный спектр», а не как интенсивность зарегистрированных электронов с энергией E , величина s – как «площадь упругого пика», а не как интегральная интенсивность пика упругого рассеяния, λ – как средняя длина «неупругого пробега» электронов, а не как средняя длина свободного пробега для неупругого рассеяния. Такие же определения даны в тексте диссертации (формула 1.5).

1. Учет многократного возбуждения плазмонов указывается как достоинство развиваемого метода, хотя эта функция заложена в коммерческом пакете программного обеспечения для обработки спектров.
2. Отсутствует оценка вклада шероховатости поверхности, а также рассеяния на дефектах, возникающих после очистки исследуемой поверхности ионным пучком, в спектры неупругого рассеяния.
3. В диссертации не полностью раскрыта заявленная ценность метода для синтеза наноразмерных гетероструктур.

В целом, диссертационная работа А.Ю.Игуменова является законченным научным исследованием, содержит новые результаты, имеющие большую научную значимость и практическую ценность. Основные результаты работы опубликованы в 4 научных изданиях, входящих в перечень ВАК, в 4 статьях в рецензируемых международных журналах и в 7 докладах научных трудов международных и российских конференций.

Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

Доклад по материалам диссертации был заслушан и обсужден на институтском семинаре ИФП СО РАН на базе лаборатории «Физических основ материаловедения кремния» **23 ноября 2016 года протокол №7.**

Отзыв на диссертационную работу А.Ю.Игуменова одобрен Ученым советом ФГУН ИФП СО РАН протокол № 8 от 28 ноября 2016 г.

Работа А.Ю.Игуменова на тему «Электронная спектроскопия структур на основе кремния и переходных металлов» является логически завершенным исследованием и удовлетворяет требованиям пункта №9 Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, утвержденных постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., № 842, а ее автор Игуменов Александр Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «физика конденсированного состояния».

Отзыв составили:

Ведущий научный сотрудник лаборатории №16 молекулярно-лучевой эпитаксии элементарных полупроводников и соединений A_3B_5 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук, кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.07- физика конденсированного состояния

Соколов Леонид Валентинович

Заведующий лабораторией физических основ материаловедения кремния Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.10- физика полупроводников и диэлектриков

Попов Владимир Павлович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИФП СО РАН), Россия, 630090 г. Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13, тел.(383)330-90-55, факс 8(383)333-27-71, <http://www.isp.nsc.ru/>; IFP@isp.nsc.ru