

ОТЗЫВ

официального оппонента, д.ф.-м.н., заведующего лабораторией «Диффузия и дефектообразование в полупроводниках» Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук Заморянской Марии Владимировны на диссертационную работу Широковой Екатерины Васильевны «Моделирование процессов возбуждения рентгеновского излучения при взаимодействии киловольтных электронов с конденсированным веществом» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Актуальность. Количественный рентгеноспектральный микроанализ (КРСМА) остается одним из самых востребованных неразрушающих методов анализа, позволяющих определять состав микрообъема твердых тел на количественном уровне. Метод является относительным, он основан на сравнении интенсивностей характеристических рентгеновских полос образца и эталона. Однако, в связи с тем, что состав анализируемого образца и эталона могут существенно отличаться, для расчёта весовых концентраций анализируемых элементов необходимо вводить ряд поправок для учета влияния поглощения, атомного номера и вторичной флюоресценции. Метод расчет этих поправок определяет точность полученных экспериментальных результатов. В настоящее время существует несколько различных моделей, позволяющих рассчитать поправки. Эти модели основаны на понимании процессов, происходящих в твердом теле при облучении их электронным пучком средних энергий (от 1 до 50 кэВ). Тем не менее, для некоторых систем ошибка определения весовых содержаний элементов может существенно превышать 2% относительных. Это связано со сложностью моделирования процессов взаимодействия электронного пучка с веществом. В связи с этим усовершенствование и развитие метода количественного рентгеноспектрального микроанализа продолжает оставаться очень важной и актуальной задачей.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций. Достоверность полученных результатов обоснована тем, что полученные теоретические результаты и выводы соответствуют современным представлениям физики твердого тела. Моделирование процессов взаимодействия электронных пучков с твердым телом проводилось с использованием современных методов расчета. Достоверность полученных результатов подтверждается также тем, что они были опубликованы в 19

статьях, 7 из них в рецензируемых журналах из Перечня ВАК Минобрнауки РФ и обсуждены на всероссийских и международных конференциях.

Научная новизна работы. В результате проведенной работы были получены следующие новые научные результаты:

-разработан единый подход расчета поправок для элементов от бора до урана, получены новые выражения для функции распределения характеристического рентгеновского излучения по массовой толщине $\varphi(\rho z)$ с учетом обратно рассеянных первичных электронов.

-впервые предложена функция распределения $\varphi(\rho z)$, включающая такие параметры как: атомный номер, атомный вес, плотность, коэффициент обратного рассеяния электронов, пробег первичных электронов, транспортный пробег, сечение упругого и неупругого рассеяния, средний потенциал ионизации и начальную энергию электронов.

-полученное автором аналитическое выражение распределения характеристического рентгеновского излучения по массовой толщине $\varphi(\rho z)$ впервые позволяет учитывать такие физические процессы, происходящие в веществе при облучении электронами, как: обратно рассеянные электроны, влияние неупругого рассеяния электронов первичного электронного пучка на распределение интенсивности характеристического излучения с низким средним атомным номером, пространственную симметрию формирования сигнала многократно рассеянными электронами.

Практическая значимость работы. Результаты работы могут быть использованы для расчета поправок при проведении количественного рентгеноспектрального микроанализа на электронно-зондовых анализаторах и растровых электронных микроскопах, снабженных волновыми рентгеновскими спектрометрами

При прочтении диссертации у оппонента возникло несколько вопросов и замечаний.

1. В качестве экспериментальных данных в работе использовались экспериментальные результаты из работ, опубликованных в семидесятых и восьмидесятых годах прошлого века. Гораздо больший практический интерес представляли ли бы результаты, полученные на современных приборах.
2. Автором показано, что использование известных ранее поправок КРСМА в некоторых случаях для легких элементов приводит к ошибкам анализа до 10-20% отн. На основании приведённых результатов не ясно какова возможна относительная ошибка определения

содержания элементов для любых образцов сложного состава, в том числе содержащие легкие элементы, такие как кислород.

Отмеченные вопросы и замечания не снижают общего хорошего впечатления от работы.

Текст автореферата достаточно полно отражает содержание диссертации.

Изучение материалов кандидатской диссертации Широковой Е.В. показало, что диссертационная работа является законченным и оригинальным исследованием. Результаты работы могут иметь теоретическую и практическую ценность. Представленная к защите диссертация полностью отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Широкова Екатерина Васильевна, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

д.ф.-м.н. по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»,
заведующий лабораторией «Диффузия и дефектообразование в полупроводниках»
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук
194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 26
Тел. (812) 297-2245, e-mail: zam@mail.ioffe.ru

Заморянская Мария Владимировна

03.11.2016

Заморянской М.В.
Подпись _____ удостоверяю
Зав канцелярией *03.11.2016*
ФТИ РАН _____