Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОФИЗИКИ
Уральского отделения
Российской академии наук
(ИЭФ УрО РАН)
620016, г.Екатеринбург, ул.Амундсена, д.106
Тел. (343) 267-87-96 Факс (343) 267-87-94
ОКПО 04839716 ОГРН 1026604936929
ИНН/КПП 6660007557/667101001

_____ № 16346_____
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИЭФ УрО РАН

член-корреспондент РАН

_____ Валерий Григорьевич Шпак

«5» ноября 2014 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Штанг Татьяны Владимировны «Моделирование процессов заряжения и люминесценции при облучении электронами наноструктурных оксидов кремния и алюминия», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Штанг Татьяны Владимировны посвящена изучению методом компьютерного моделирования процессов заряжения наноструктурных оксидов кремния и алюминия при их облучении слабо- и сильноточными электронными пучками, а также изучению методом люминесцентной спектроскопии спектрально-кинетических характеристик катодо- и фотолюминесценции этих же объектов.

Актуальность темы диссертации

Заряжение приповерхностных слоев диэлектриков, в том числе и наноструктурных оксидов, при их облучении электронными пучками оказывает влияние на физические свойства облучаемых диэлектриков.

Вх. №05-19/1-199
от 06.11.14 г.

Изучение этого влияния является актуальной задачей физики конденсированного состояния, т.к. наноструктурные оксиды кремния и алюминия широко применяются в науке и технике, а облучение их электронными пучками используется для изучения их люминесцентных свойств (катодолюминесценция). В то же время размеры частиц наноструктурных объектов оказывают влияние на люминесцентные свойства, изучение которого также является актуальной задачей.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 114 наименований. Объем диссертации составляет 140 страниц машинописного текста, включая 24 таблицы и 67 рисунков. В каждой главе сформулированы выводы. Содержание диссертации изложено грамотно, ясно и последовательно, выводы логичны.

В первой главе дано описание механизмов возникновения токов, процессы заряжения поверхности диэлектриков при их облучении электронными пучками и фотонами, возникновение катодо- и фотолюминесценции в условиях электрон-фононного взаимодействия. Приводится краткий анализ известных моделей заряжения для кристаллического оксида кремния, рассмотрены особенности люминесцентных свойств наноструктурных диэлектриков.

Во второй главе приведены физические модели и алгоритмы расчета заряжения кристаллических и наноструктурных оксидов кремния и алюминия при их электронной бомбардировке, модели кинетики затухания катодо- и фотолюминесценции в наноструктурных оксидах. Приводятся оценки воспроизводимости результатов расчетов. Заряжение поверхности диэлектриков рассмотрено для двух случаев: при облучении электронами со средней энергией 1-10 кэВ, плотностью тока порядка 10 мкА/см^2 длительностью от 5 до 1000 мс, используемых для возбуждения

классической катодолюминесценции, и с энергией 130 кэВ, плотностью тока 60 А/см^2 и длительностью 1 нс, используемого для возбуждения импульсной катодолюминесценции. В моделях учтены многократные столкновения электронов с границами наноразмерных частиц, стоки зарядов на подложку, влияние потенциала тормозящей (ускоряющей) сетки, устанавливаемой на пути инжектируемых электронов перед облучаемым образцом. В модели кинетики люминесценции наноструктурных оксидов учтены изменение ширины запрещенной зоны и уширение полос люминесценции за счет рассеяния электронов на дефектах, в том числе на границах наночастиц, и электрон-фононного взаимодействия.

В третьей главе приводятся результаты расчетов заряжения поверхности кристаллических и наноструктурных оксидов кремния и алюминия электронными пучками. Показано, что при облучении электронами в этих объектах формируется объемный электрический заряд на глубине, соответствующей пробегу инжектируемых электронов, создающий электрическое поле внутри диэлектрика. Причем, в случае облучения электронами со средней энергией 1 кэВ без отбора вторичного тока (потенциал на управляющей сетке отрицательный) формируется отрицательные объемный заряд и электрическое поле, а при отборе вторичного тока (на сетке положительный потенциал) – положительные заряд и поле. При облучении электронами высокой энергии 130 кэВ (сетка отсутствует) формируются объемный заряд и электрическое поле отрицательной полярности. Показано, что плотность заряда и напряженность электрического поля в наноструктурных оксидах алюминия и кремния меньше по сравнению с кристаллическими образцами, что связано с увеличением ширины запрещенной зоны в наночастицах.

Четвертая глава посвящена изучению особенностей катодо- и фотолюминесценции в наноструктурных оксидах кремния и алюминия. Показано, что в этих объектах, по сравнению с кристаллами, имеет место

снижение интенсивности и уширение полос люминесценции, которые зависят от размеров частиц. Показано, что индуцированный заряд и наведенное им электрическое поле оказывает влияние на кинетику полос катодолюминесценции. Зависимость времени затухания импульсной катодолюминесценции от размеров частиц немонотонная, но для наночастиц оксида алюминия время затухания почти на 5 порядков меньше чем для монокристаллов.

В заключении приводятся обоснованные выводы по всем результатам исследования.

Список литературы достаточный для представления о состоянии исследований в области диссертационной работы и вкладе автора в развитие этих исследований.

Научная новизна результатов работы состоит в компьютерном моделировании заряжения поверхности облучаемых электронами наноструктурных и кристаллических оксидов кремния и алюминия при возбуждении катодолюминесценции, а также в обнаружении влияния размеров частиц на ширину полос люминесценции и кинетику их затухания.

Практическая ценность результатов заключается в создании программных комплексов для расчета заряжения поверхности инжектируемыми электронами, в необходимости учета заряжения поверхности при проектировании радиационно-стойких электронных приборов, в необходимости учета размеров частиц при создании светоизлучающих устройств

Защищаемые положения отражают научную новизну и практическую ценность и подтверждены представленными результатами исследований.

Достоверность. Результаты расчетов подтверждены анализом оценки воспроизводимости. Эксперименты проведены с использованием современных методов исследования на аттестованном оборудовании.

Результаты диссертации представляют интерес для специалистов в области катодолюминесценции, электронной микроскопии, в области изучения и использования наноструктурных диэлектриков и целесообразны для использования научно-техническими учреждениями, в которых ведутся работы по указанным направлениям: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Южно-Уралький госуниверситет, Институт электрофизики УрО РАН, Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Институт общей физики им. А.М. Прохорова, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, и других организациях, занимающихся исследованием, разработкой и применением наноструктурных диэлектриков и катодолюминесценцией.

Замечание к диссертации и автореферату

1. Вызывает сомнение корректность граничного условия – на облучаемой электронами поверхности диэлектрика напряженность электрического поля равна нулю (уравнение (1.11) в диссертации, (2) в автореферате).

2. В расчетах глубины проникновения заряда (стр.66-67 диссертации) для наноструктурных оксидов принимаются пониженные, по сравнению с монокристаллами, плотности вещества. В диссертации не определен их физический смысл. Если эти величины есть плотности наночастиц (что сомнительно), то этот факт надо подтвердить строгим измерением. Если это средние плотности наноструктурных керамик или прессовок, то корректность их использования при расчетах требует дополнительных доказательств, т.к. в пористых телах, плотность изменяется дискретно, на что указывает фотография рис. 4.9 на стр.116 диссертации. Эта фотография противоречит модели, используемой для расчета, представленной на рис. 3.3 (стр.65 диссертации)

3. Влияние рассеяния электронов на границах наночастиц на уменьшение плотности заряда, напряженности индуцированного этим зарядом электрического поля и, особенно, на время затухания импульсной катодолюминесценции не доказано. В принципе непонятно, как такое рассеяние приводит к уменьшению времени затухания люминесценции.

4. В тексте диссертации и автореферата имеются опечатки, в том числе в формулах и цифрах, не все символы формул и аббревиатуры описаны, что затрудняет чтение текста.

Общее заключение по диссертации Т.В. Штанг

Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния. Автореферат диссертации соответствует ее содержанию и адекватно отражает полученные результаты.

Диссертационная работа Штанг Татьяны Владимировны «Моделирование процессов заряжения и люминесценции при облучении электронами наноструктурных оксидов кремния и алюминия», является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся решения задач заряжения кристаллических и наноструктурных оксидов кремния и алюминия при возбуждении в них катодолюминесценции и влияния этого эффекта на характеристики люминесценции. Выводы диссертации достаточно обоснованы. Замеченные недостатки не умаляют общей научной значимости. Работа написана грамотно и отвечает критериям Положения о присуждении ученых степеней (пункт 9), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Штанг Т.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук, по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Диссертация и отзыв на нее обсуждены и приняты на семинаре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института

электрофизики Уральского Отделения Российской академии наук 5 ноября 2014 г.

Отзыв составлен заведующим лабораторией квантовой электроники, доктором физико-математических наук, профессором Владимиром Васильевичем Осиповым, телефон: (343) 2678773, электронная почта: osipov@iep.uran.ru

Заведующий лабораторией квантовой электроники,

доктор физико-математических наук,

профессор В.В. Осипов

Подпись Осипова В.В. заверяю.

Ученый секретарь Института,

кандидат технических наук Е.Е. Кокорина