

## ОТЗЫВ

На автореферат диссертационной работы Смердова Ростислава Сергеевича на тему «Повышение разрешающей способности и снижение порога детектирования систем электронно-зондовой спектроскопии за счет разработки и применения низкопороговых автоэмиссионных катодов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

На сегодняшний день, одним из наиболее эффективных методов локального анализа и диагностики тонкопленочных наноматериалов с использованием систем электронно-зондовой микроскопии является спектроскопия характеристических потерь энергии электронов (EELS), основанная на возможности детектирования и использования различий в физике взаимодействия упруго и неупруго рассеянных электронов с веществом. Упруго рассеянные электроны в методе EELS не учитываются, а электроны, испытывающие неупругие потери, практически не меняют направление своей траектории, в связи с чем их сбор и регистрация происходит из локальной области, по размерам сравнимой с диаметром электронного пучка, что способствует росту пространственного разрешения системы. Дальнейшее развитие катодов, применяющихся в качестве источников носителей заряда в электронных микроскопах, позволило проводить количественный анализ в нано-, а не в микрообластях.

Развитие метода спектроскопии характеристических потерь определяется необходимостью преодоления ряда его недостатков, в том числе сложности идентификации тяжелых элементов (с атомным номером более  $Z = 25$ ), а также трудоемкости проведения исследований динамических систем и сред с повышенной чувствительностью к воздействию электронных пучков высокой интенсивности (в частности, полимерных сред), что требует решения ряда задач, включающих обеспечение стабильности поступающих к образцу электронов по энергии, увеличение энергетической и временной разрешающей способности метода.

В своей работе соискатель выполнил анализ современного состояния приборной базы и особенностей спектроскопии характеристических потерь энергии электронов, в том числе параметров системы формирования электронного зонда, стабильности тока линз, сферической aberrации. Были рассмотрены основные недостатки применения монохроматоров для уменьшения ширины пика нулевых потерь на полувысоте с целью увеличения разрешающей способности метода по энергии и выявлены пути преодоления его фундаментальных ограничений.

В качестве новых научных результатов, полученных автором в ходе выполнения работы, следует отметить следующее:

- выполнено теоретическое, расчетное и экспериментальное обоснование увеличения разрешающей способности метода EELS и снижения порога детектирования следовых концентраций химических элементов с использованием приборных систем на его основе;

- на базе физического явления низкопороговой эмиссии электронов предложен новый прототип автоэмиссионного катода с узким энергетическим спектром, низким пороговым напряжением и высокой плотностью тока для решения задачи увеличения разрешающей способности метода;

- проведены исследования структуры и свойств материала, использованного при создании катода с применением ряда современных экспериментальных техник, в том числе энергодисперсионной спектроскопии, растровой электронной микроскопии, рамановской спектроскопии.

Научное и практическое значение полученных результатов состоит в разработке новой модели связи регистрируемых сигналов полевой эмиссии с параметрами физических процессов, происходящих в материалах с отклонениями от идеальной структуры монокристалла, использованных при разработке и синтезе прототипа катода. Предложенная автором модель может применяться при описании явления низкопороговой эмиссии как из структур, характеризующихся наличием дефектов, так и из аморфных материалов.

ОТЗЫВ

вх. № 9-173 от 20.05.20  
АУУС

Проведенный Смердовым Р.С. анализ результатов исследования структуры и свойств матрицы из пористого кремния, использованной в качестве базы для функционализации при создании композиционных эмиссионных материалов и прототипов катодов на их основе, также обладает научной ценностью, поскольку позволяет получить новые данные о процессах ее перестройки, имеющих место в процессе функционализации.

Язык написания автореферата грамотен, научен, выверен. Структура автореферата логична, материал изложен ясно, содержание в достаточной степени отражает полученные в ходе выполнения работы результаты, диссертация представляет собой завершенный труд.

По тексту автореферата имеются следующие замечания:

1. Из текста автореферата не следует явно, почему в качестве функционализирующего агента автором были выбраны структуры на базе фуллерена C<sub>60</sub>, а не другие углеродные материалы (например, слой графена или аморфного углерода, также демонстрирующие достаточно высокие характеристики эмиссии).

2. В автореферате отсутствуют результаты анализа данных, полученных автором при исследовании композиционных материалов методом ЭПР, хотя в диссертации эти исследования представлены.

Отмеченные замечания носят частный характер и не снижают общей научной ценности работы.

Работа Смердова Р.С. содержит решение важной научно-технологической задачи увеличения разрешающей способности и снижения порога детектирования метода спектроскопии характеристических потерь энергии электронов за счет снижения ширины функции распределения электронов источника путем разработки и применения новых низкопороговых автоэмиссионных катодов.

Диссертация «Повышение разрешающей способности и снижение порога детектирования систем электронно-зондовой спектроскопии за счет разработки и применения низкопороговых автоэмиссионных катодов», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор – Смердов Ростислав Сергеевич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Шилова Ольга Алексеевна

Доктор химических наук, профессор

главный научный сотрудник лаборатории неорганического синтеза

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Ордена Трудового Красного Знамени

Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова

Российской академии наук (ИХС РАН)

ИХС РАН, наб. Макарова, 2, 199034, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: [olgashilova@bk.ru](mailto:olgashilova@bk.ru)

O. Shilova

18 мая 2022 г.

Городись  
Удостоверяю  
Директор ИХС РАН  
М. П. Кургаков

