

О Т З Ы В

официального оппонента, доктора технических наук, доцента Пронина Игоря Александровича на диссертацию Смердова Ростислава Сергеевича на тему: «Повышение разрешающей способности и снижение порога детектирования систем электронно-зондовой спектроскопии за счет разработки и применения низкопороговых автоэмиссионных катодов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

1. Актуальность темы диссертации

Хотя процесс полевой эмиссии из катодов, обладающих остриями малого радиуса, до сих пор изучен достаточно слабо, большое внимание уделяется разработке теоретического описания процесса туннелирования, в основном, направленной на расширение современных представлений об эмиссии из трехмерных материалов для проведения количественного и качественного анализа этого процесса из низкоразмерных катодов, а также выявления связи экспериментальных результатов с существующими моделями. Поля близко расположенных полевых катодов острийного типа (так называемые массивы автоэмиссионных катодов, FEA), в основном, используются в качестве источников носителей заряда (электронов) в устройствах вакуумной наноэлектроники, включая источники терагерцового излучения, источники рентгеновского излучения, нанотранзисторы с вакуумным каналом, а также в двигателях космических аппаратов. В диссертации Смердова Р.С. предложено решение актуальной проблемы разработки перспективных прототипов катодов с узким энергетическим спектром на базе пористого кремния для увеличения разрешающей способности и снижения минимальной детектируемой атомной доли химических элементов в следовых концентрациях приборов локального неразрушающего контроля фазового состава поверхностей в областях протяженностью несколько нанометров с использованием характеристических потерь энергии неупруго рассеянных электронов.

2. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их новизна

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается изученным

ОТЗЫВ

вх. № 9-111 от 11.05.22
АУ УС

значительным объемом научной литературы, проведенным анализом широкого диапазона источников по теме исследований, наличием расчетного, теоретического и экспериментального обоснования содержащихся в работе реализованных научных идей, а также проведением сравнительного анализа полученных экспериментальных данных с результатами отечественных и зарубежных авторов.

3. Научные результаты, их ценность

В диссертации Смердова Р.С. подробно раскрыты вопросы применения наноструктурированных материалов для создания компонентов систем электронно-зондового анализа и диагностики, представлена теоретическая база для описания механизма увеличения разрешающей способности и снижения порога детектирования следовых концентраций химических элементов. Особое внимание уделяется перспективе развития таких систем в контексте решения современных задач локальной диагностики и анализа.

В работе представлены результаты исследования разработанных и реализованных полевых катодов на базе эффекта низкопороговой автоэлектронной эмиссии методами электронно-абсорбционной, рамановской, ЭПР спектроскопии. Проведенный автором анализ прототипов приборов и использованных при их создании синтезированных материалов позволяет получить углубленное представление как об их структуре и свойствах, так и о механизмах связи регистрируемых сигналов эмиссии с параметрами происходящих на физическом уровне процессов.

Идеи автора об общности эффекта низкопороговой эмиссии для широкого ряда углеродных материалов с различными отклонениями от непрерывной бездефектной решетки монокристалла, а также для аморфных структур, лежащие в основе предложенной модели явления, базирующейся на теории Андерсона по формированию двухзарядовых локализованных состояний с отрицательной корреляционной энергией Хаббарда, способствуют углубленному пониманию физики процессов, происходящих в модифицированных наноразмерных структурах и могут быть применены при дальнейшей разработке новых и совершенствовании характеристик существующих систем спектроскопии характеристических потерь энергии электронов (EELS).

Проведенный автором диссертации теоретический, расчетный и экспериментальный анализ повышения характеристик систем спектроскопии EEL в достаточной мере обоснован. Полученные результаты позволяют заключить, что разработка и применение низкопороговых катодов для увеличения энергетической и временной разрешающей способности EELS, а также снижения

порога детектирования следовых концентраций химических элементов возможно и целесообразно.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 16 печатных работах, в том числе в 2 статьях - изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты докторской на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук* (далее – Перечень ВАК), в 14 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования (Scopus); получено 1 свидетельство о государственной регистрации программного обеспечения для ЭВМ.

4. Теоретическая и практическая значимость работы

1. Разработаны, синтезированы и исследованы прототипы автоэмиссионных катодов, применение которых позволит обеспечить снижение значений пороговой напряженности поля на три порядка по сравнению с катодами на основе монокристаллического кремния р- или н- типа, рост энергетической (на 20 % по сравнению с классическими системами на базе золотых катодов) и временной разрешающей способности систем спектроскопии EEL, а также снижение порога детектирования следовых концентраций химических элементов на 17 % и 9 % соответственно (по сравнению с системами на базе углеродных нанотрубок).

2. На основе теоретических представлений Андерсона о формировании двухзарядовых состояний с отрицательной корреляционной энергией предложена новая модель связи регистрируемых сигналов низкопороговой эмиссии из катодов на базе углеродных материалов, характеризующихся наличием дефектов кристаллической структуры (в том числе аморфных) с параметрами физических процессов, происходящих в них.

3. Представлены результаты исследования устойчивости пористой функционализированной матрицы из диоксида кремния к воздействию γ-излучения, согласно которым в анализируемой структуре происходят необратимые изменения, сопровождающиеся полными и частичными радиационно-индукциями фазовыми переходами.

4. Проведенные методом спектроскопии усиленного поверхностью рамановского рассеяния с последующим анализом по теории квантовой локализации исследования структуры, использованной при создании низкопорогового катода пористой матрицы до и после ее функционализации, позволили получить новые данные об особенностях свойств поверхности разработанных прототипов автоэмиссионных катодов.

5. Замечания и вопросы по работе

1. Из текста работы неясно, как именно осуществлялся выбор параметров для синтеза матрицы острыйного типа из пористого кремния, подвергавшейся в дальнейшем функционализации с использованием углеродных структур на базе допированных фуллеренов C_{60} .

2. Требует дополнительного подтверждения природа низкоэнергетических рамановских полос, обнаруженных при проведении анализа спектров комбинационного рассеяния в схеме SERS диагностики, рассматриваемой в работе.

3. Из содержания диссертации не до конца ясно, какая сенсорная структура (форма электродов и их размеры) использовалась при исследовании эмиссионных характеристик прототипов полевого катода на основе функционализированного пористого кремния.

4. Не вполне понятно, чем обусловлен выбор тонкостенной структуры пористого кремния, использованной при реализации прототипа низкопорогового автоэмиссионного катода.

Указанные замечания и недостатки не влияют на общую ценность полученных автором научных результатов, носят частный характер и не являются принципиальными с точки зрения основных поставленных и решенных в диссертации задач.

6. Заключение по диссертации

Диссертация Смердова Ростислава Сергеевича «Повышение разрешающей способности и снижение порога детектирования систем электронно-зондовой спектроскопии за счет разработки и применения низкопороговых автоэмиссионных катодов» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-технические решения задачи дальнейшего увеличения эффективности систем электронно-зондовой диагностики.

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 полностью отвечает 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

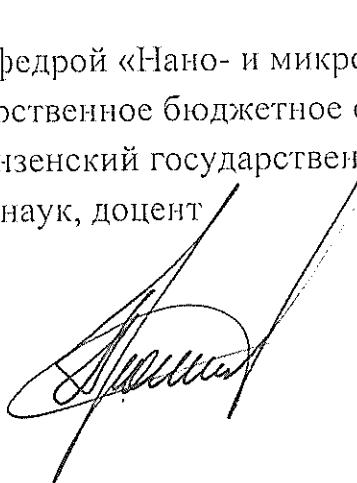
степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

и.о. заведующего кафедрой «Нано- и микроэлектроника»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Пензенский государственный университет»

доктор технических наук, доцент

26.04.2022



Пронин Игорь Александрович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Пензенский государственный университет»

Почтовый адрес: 440026, Пензенская область, г. Пенза, ул. Красная, д.40

Официальный сайт в сети Интернет: <https://pnzgu.ru/>

e-mail: pronin.nanolab@gmail.com

Телефон: +7(8412) 20-83-93

