

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию

Городецкого Дмитрия Владимировича

«МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАССИВЫ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ

АВТОЭМИССИОННЫХ КАТОДОВ», представленную на соискание

ученой степени кандидата физико-математических наук

по специальности 02.00.04. – физическая химия

Катоды на основе массивов вертикально ориентированных углеродных нанотрубок (УНТ), способных значительно усиливать электрическое поле и приводить к низковольтной автоэлектронной эмиссии, могут использоваться в разнообразных экспериментальных устройствах, таких как ионизаторы, дисплеи, рентгеновские трубки и др. Создание разреженной структуры из островков вертикально ориентированных УНТ позволяет получать катоды с высоким коэффициентом усиления электрического поля, высокой однородностью эмиссии электронов и высокой эффективностью. При этом важной задачей является установление взаимосвязи микро- и макроструктурных параметров катодов и степени их влияния на эффективность и долговременность работы в разных вакуумных условиях. В этой связи тема исследования диссертационной работы Городецкого Д.В., посвященной созданию и исследованию структурированных автоэмиссионных катодов на основе массивов ориентированных УНТ и определению влияния микро- и макроструктуры катода на автоэмиссионные свойства, является актуальной.

Диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, списка из 164 использованных литературных источников, изложена на 134 страницах и содержит 64 рисунка и 6 таблиц.

Во введении приведена актуальность работы, сформулированы основные цели и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы.

Первая глава (Литературный обзор) посвящена анализу опубликованных литературных данных по теме диссертационной работы. Литературный обзор представляет собой достаточно глубокое рассмотрение опубликованных источников с анализом методов синтеза массивов УНТ, методов модификации массивов УНТ и описанием принципа автоэлектронной эмиссии. Уделено внимание литературным данным, ориентированным на проведение модификации катодов на основе массивов УНТ литографическими методами, лазерным профилированием и плазменной обработки.

Описаны основные параметры катодов, влияющие на их автоэмиссионные свойства, факторы, влияющие на деградацию эмиттеров, и возможные сферы применения низковольтных автоэмиссионных катодов. Литературный обзор подытожен заключением и постановкой задачи исследования.

Положительным качеством литературного обзора является точность изложения, описания подходов и методик, опубликованных в литературе. Структура литературного обзора логически связана со структурой экспериментальной части.

Во второй главе (Экспериментальная часть) описаны используемые экспериментальные установки. CVD синтез массивов УНТ проводился на модернизированном реакторе с постоянным контролем их высоты. Представлено описание двух установок измерения автоэлектронной эмиссии, одна из которых ориентирована на оценку однородности автоэмиссии с образца, а вторая позволяет в более широком диапазоне напряжённостей поля проводить измерения с частотами порядка сотни герц. Синтезируемые и в дальнейшем модифицированные образцы исследовались широким набором физико-химических методов исследования. Также во второй части описаны установки и методы, используемые для проведения модификации автоэмиссионных катодов.

Третья глава (Результаты и обсуждение) занимает основной объем диссертации и посвящена исследованию влияния модификаций массивов УНТ для применения в качестве автоэммиттеров. Автор уделил внимание как принципам синтеза УНТ на подложках, так и особенностям измерения автоэлектронной эмиссии с подобных планарных структур. Подробно показаны используемые методы модификации катодов. Модификация исходных массивов УНТ методом лазерного профилирования показала хорошие результаты при проведении профилирования с размером столбиков порядка 150 мкм. Показано, что таким образом структурированные массивы могут работать длительное время в условиях технического вакуума. Также в главе продемонстрирована методика плазменного модифицирования торцов УНТ, что приводит к понижению порога включения автоэлектронной эмиссии до значения 0,8 В/мкм.

Новизна результатов хорошо отмечается при обширном анализе мировой литературы, в которой отсутствуют подробные и систематизированные сведения по созданию микроструктурированных катодов на основе УНТ, способных работать в условиях низкого вакуума. Применение лазерного профилирования, теневой литографии и плазменной обработки могут найти свое применение при создании низковольтных автоэмиссионных катодов, способных работать в условиях недостаточного вакуума.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Эксперименты выполнены на высоком уровне с использованием современных исследовательских методов, таких как оптическая и электронная микроскопии, спектроскопия комбинационного рассеяния света, рентгеновские методы исследования.

Полученные результаты могут быть использованы при создании автоэмиссионных катодов, адаптированных к техническому вакууму. Подобные эмиттеры могут упростить требования к вакууму у электровакуумных устройств и позволят расширить сферы возможных применений.

Важность работы и полученных результатов для науки подтверждается публикациями в высокорейтинговых журналах, входящих в базу цитирования Web of Science. По результатам диссертационной работы было опубликовано 5 статей. Результаты диссертации были апробированы на всероссийских и международных конференциях. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы. Оформление диссертации и автореферата соответствует установленным требованиям.

Положения, выносимые на защиту, не вызывают возражений, обладают научной новизной, обоснованы и экспериментально доказаны. Выводы по работе соответствуют содержанию диссертации, не противоречат литературным данным. Поставленная цель была достигнута, а задачи исследования выполнены в полном объеме.

Работа выполнена на высоком научном уровне, однако по материалу диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Раздел “Выводы” следовало бы озаглавить как “Основные результаты и выводы”, поскольку он кроме выводов содержит и результаты.

2. В работе выносятся на защиту 5 Положений, а выводов, хотя и более емких по объему, только 4. Имело бы смысл каждому Положению поставить в соответствие хотя бы один основной результат.

3. В тексте имеется ряд опечаток, которые, впрочем, не затрудняют понимание текста.

4. На стр. 60 приведена зависимость высоты массива УНТ от расхода газаносителя, которая автором связывается с изменением профиля температуры в месте расположения подложки и в конечном итоге объясняется зависимостью скорости распада прекурсоров углерода и катализатора от температуры. В этой связи возникает вопрос, оценивалась ли автором полнота разложения прекурсоров (толуола и ферроцена) с момента их введения до достижения места расположения подложки (центра реактора)? И

оценивалась ли зависимость высоты массива УНТ от скорости роста УНТ, которая также зависит от температуры?

Сделанные замечания не являются принципиальными и не снижают значимости, полученных Городецким Д.В. результатов.

По объему, актуальности, уровню научных и практических результатов, представленная к защите диссертационная работа «МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАССИВЫ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ АВТОЭМИССИОННЫХ КАТОДОВ» соответствует критериям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Городецкий Дмитрий Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия.

Официальный оппонент

ФИО: Шандаков Сергей Дмитриевич

Ученая степень: доктор физико-математических наук

Специальность: 02.00.04. – физическая химия

Ученое звание: доцент

Должность: профессор кафедры общей и экспериментальной физики

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Кемеровский государственный университет»

Адрес: ул. Красная, 6, Кемерово, Россия, 650000

Тел.: +7 9617086875

e-mail: sergey.shandakov@gmail.com

Шандаков Сергей Дмитриевич

25 февраля 2019 г.

Подпись Шандакова С.Д. удостоверяю
кандидат химических наук,
ученый секретарь Ученого совета КемГУ



Е.А. Баннова