

Отзыв
на автореферат диссертации Е.О. Попова
«Методика и результаты исследования
многоострийных полевых эмиттеров большой площади»
на соискание учёной степени доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.04 – физическая электроника

Углеродные нанотрубки занимают важное место в наноэлектронике. Они обладают множеством уникальных свойств, включая эффекты поглощения и испускания электромагнитного излучения в различных диапазонах. Это открывает перспективу создания устройств приема и передачи сигналов на основе УНТ в широком диапазоне длин волн, от радиочастотных до оптических. Явление автоэмиссии из УНТ активно исследуется и используется для создания холодных катодов с однородной энергией эмиттируемых электронов, микроволновых переключателей и катодов рентгеновских трубок. Для реализации этих устройств необходимо формирование вертикальных массивов углеродных нанотрубок с минимальным эффектом экранирования. Причем, чем больше аспектное отношение УНТ, тем большее усиление электрического поля наблюдается на конце нанотрубки, что приводит к увеличению плотности эмиссионных токов.

Стабильный синтез УНТ в приложении к полевой эмиссии является сложным комплексным процессом, на который влияют как факторы подготовки подложки и катализатора, так параметры процесса подготовки образца и непосредственно синтеза УНТ. После любого изменения в технологии необходим оперативный контроль результатов с получением характеристик эмиссионных свойств массива.

Поэтому диссертационная работа Попова Е.О., посвященная созданию аппаратно-программного научно-исследовательского комплекса для фундаментальных экспериментальных исследований и технологической оптимизации изготовления полевых эмиттеров, действительно является актуальной. Как следует из автореферата, к настоящему времени уже создан прототип подобной установки, причем с глубоко проработанными новыми методами исследования многоострийных полевых эмиттеров и развитой системой тестирования образцов.

Научная новизна результатов не вызывает сомнений. В работе реализован онлайн метод анализа полевых эмиттеров на соответствие базовой теории полевой эмиссии. Установлено, что значения безразмерного поля f , полученные для эмиттеров на основе УНТ, находятся в пределах полевого диапазона и соответствуют базовой теории полевой эмиссии. Разработана методика построения эмиссионного профиля многоострийных эмиттеров и анализа качества распределения эмиссионных центров. Получены вольт-амперные характеристики индивидуальных эмиссионных центров. Экспериментально подтверждена двухкомпонентная модель распределения коэффициентов усиления поля в нанокомпозитных LAFE. Дифференцирование ВАХ позволило выявить эмиссионные структуры с повышенным значением коэффициента усиления поля. Экспериментально применён метод оценки степени напряжения предэкспоненциального множителя в уравнении Фаулера-Нордгейма. Впервые применена обработка экспериментальных ВАХ в координатах Мерфи-Гуда. Выяснены причины возникновения гистерезиса в ВАХ полевых эмиттеров. Обнаружены условия перехода от «обратного» гистерезиса к «прямому». На основании анализа ВАХ и масс-спектрометрических данных предложена феноменологическая модель адсорбции-десорбции в эмиссионной системе.

Помимо расчетных и экспериментальных данных, стоит отметить проработку схемотехнических решений, высоковольтных вакуумных установок и методики масс-спектрометрии.

Следует отметить теоретическую главу диссертации, посвященную применению метода общего барьера, использованию безразмерного поля f и общего барьера

фактора. В результате теоретических разработок был получен набор уравнений для плотности эмиссионного тока, удобных для использования при обработке экспериментальных ВАХ, а также для 3D моделирования эмиссионной способности эмиттеров различной формы.

К замечаниям можно отнести следующее. Несмотря на обширный опыт работы с различными эмиссионными материалами, в работе слабо представлена информация об ориентированных структурах, сформированных селективным синтезом либо полученных иным технологическим способом, обладающих заданной геометрией. Основной упор делается на исследование стохастических эмиссионных массивов, безусловно наиболее сложных в изучении объектов. Также все исследования выполнены в диодном режиме, хотя многие структуры формируют в триодном исполнении с целью управления током. Возникает резонный вопрос по применимости методики и математического аппарата как к ориентированным и топологическим массивам, так и к триодным структурам.

В целом работа выполнена на высоком профессиональном уровне, основная часть работы выполнена соискателем лично, по материалам диссертации опубликовано 58 научных публикаций, входящих в перечень Web of Science. Результаты работы докладывались на тематических международных конференциях.

Из автореферата можно сделать вывод о том, что работа удовлетворяет всем требованиям ВАК к докторским диссертациям, изложенным в пунктах «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, «Положения о присуждении учёных степеней в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН» от 19 августа 2019 г., а ее автор, Попов Евгений Олегович, несомненно заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.04 - физическая электроника.

Доктор физико-математических наук по специальности

01.04.10- Физика полупроводников,
профессор

директор федерального государственного
бюджетного научного учреждения
«Научно-производственный комплекс
«Технологический центр»



Светухин Вячеслав Викторович

Научно-производственный комплекс "Технологический центр"
124498, г. Москва, Зеленоград, пл. Шокина, д. 1 стр.7, комн. 7237

Телефон: + 7 (499) 734-45-21
E-mail: tc@tcen.ru

«18» февраля 2021 г.