

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Израэльянца Карена Рубеновича «Эмиссионные характеристики углеродных нанотрубок в постоянном и слабом высокочастотном электрических полях», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Целью данной работы являлось исследование углеродных нанотрубок (УНТ) для их применения в качестве перспективных низковольтных автоэлектронных эмиттеров тока. Потенциальное преимущество эмиттеров с углеродными нанотрубками – это возможность получения эмиссионного тока при низких значениях падения напряжения между эмиттером и анодом. Такая возможность обусловлена высоким аспектным отношением для нанотрубок, типично составляющим несколько сотен, и, вследствие этого, многократным увеличением локальной напряженности электрического поля вблизи эмитирующего кончика нанотрубки. Кроме этого, известные в литературе теоретические оценки показывают, что углеродные нанотрубки могут выдерживать плотности тока до  $10^{12}$  А/см<sup>2</sup>, что позволяет рассчитывать на возможность создания на основе УНТ эмиттеров с высокой плотностью тока. В практическом плане, представляют интерес планарные эмиттеры тока с плотностью тока в 1 А/см<sup>2</sup> и более. Эмиттеры на УНТ именно с такими параметрами были целью исследования в данной работе.

Выполненные автором экспериментальные исследования эмиттеров тока на УНТ проведены на специально созданном для таких работ многофункциональном стенде, оснащение которого дополнительными возможностями проводилось при активном участии самого автора данной работы. Стенд снабжен современным измерительным оборудованием, которое обеспечивает высокую надежность проведенных измерений.

В работе получен целый ряд интересных результатов, из которых отмечу особо следующие два.

1. На образцах многослойных углеродных нанотрубок (МСУНТ) получены плотности эмиссионного тока более 1 А/см<sup>2</sup>, что делает такие эмиттеры представляющими практический интерес. Отмечено также, что при эмиссионном токе в десятые доли А/см<sup>2</sup> наблюдалось интенсивное излучение видимого света нанотрубками. К сожалению, температура нанотрубки, излучающей свет, не определялась. В связи с этим возникают вопросы: «Сможет ли работать такой эмиттер тока достаточно продолжительное время, сохраняя стабильность своих характеристик?»

2. Интересные результаты получены при исследовании эмиттеров на основе углеродных нановолокон специальной структуры, представляющих собой однослойную углеродную нанотрубку, покрытую оболочкой из углеродного пиролитического материала. Длина таких нановолокон, полученных в ИПХФ РАН, могла достигать 2-3 мм при диаметре в 50 – 200 нм. На эмиттере с такими нановолокнами автору удалось получить коэффициент усиления поля рекордной величины в 45 000. Интересно, что на пластинах кремния с выращенными на них нановолокнами, из-за своей большой длины они не сохраняют вертикального положения, а сгибаются под своим весом и находятся в горизонтальном

положении на расстоянии в несколько сот микрон от поверхности пластины, обычно ориентируясь в одном направлении приблизительно так как высокая трава на лугу ложится под росой. Но под действием электрического поля нанотрубки поднимаются в вертикальное положение, вытягиваются к аноду и начинают эмитировать электроны при очень низких средних значениях поля. Несмотря на свой малый диаметр, который не позволяет различить нановолокна невооруженным глазом, отдельные нановолокна становятся видимыми при эмиссии тока из-за разогрева Джоулевым теплом и свечения белым светом. Таким образом, кажется, не обязательным иметь планарный эмиттер изначально в виде вертикально ориентированного массива нанотрубок. Интересно было бы понять, насколько реально создание эмиттеров тока на основе таких сверхдлинных нановолокон, расположенных достаточно редко на плоскости. Какие плотности тока можно было бы достичь на таких эмиттерах? Что выгодней с точки зрения практической реализации: короткие часто посаженные на плоскости нанотрубки-эмиттеры либо длинные и более редкие?

Таким образом, в данной работе изучены эмиттеры тока на разных типах УНТ, включая однослойные углеродные нанотрубки, многослойные углеродные нанотрубки, нановолокна специальной структуры. В этом большое достоинство данной работы. Естественно было бы увидеть анализ результатов с перечислением основных проблем, которые необходимо решить при практической разработке планарного эмиттера тока на УНТ, если такая задача кажется реальной, и какого типа УНТ или УНВ кажутся автору работы наиболее перспективными для практического применения? К сожалению, такие выводы из своей работы в автореферате автором не представлены.

В целом результаты, приведенные в автореферате диссертации Израэльянца К.Р. «Эмиссионные характеристики углеродных нанотрубок в постоянном и слабом высокочастотном электрических полях», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, являются научной работой, отвечающей требованиям, предъявляемым к авторефератам диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук. Основные результаты работы, изложенные в автореферате, опубликованы. Диссертант заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

6 ноября 2014 г.

Зав. лабораторией «Дисперсных углеродных материалов»  
Института Проблем Химической Физики РАН д.ф.-м.н.

А.В. Крестинин

Крестинин Анатолий Васильевич  
Доктор физ.-мат. наук  
01.04.17 –химическая физика, горение и взрыв  
142432 Моск. обл. Ногинский р-н  
г.Черноголовка, пр-кт ак. Семенова, д.1  
Тел. (49652) 21319  
e-mail: kresti@cp.ac.ru  
Ин-т проблем хим. физики РАН (ИПХФ РАН)  
Старший научный сотрудник  
Зав. лаб. дисперсных углеродных материалов ИПХФ РАН

