



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ИСТОК» ИМЕНИ А.И.ШОКИНА»



Вокзальная ул., д.2а, г.Фрязино, Московская область, Россия, 141190, тел.:+7 (495) 465-86-66; факс:+7 (495) 465-86-86
www.istokmw.ru; E-mail:info@istokmw.ru, ОГРН 1135050007400, ИНН 5050108496

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации К.Р. Израэльянца
«Эмиссионные характеристики углеродных нанотрубок в постоянном и
слабом высокочастотном электрических полях»,
представленной к защите на соискание ученой степени кандидата
технических наук.

Современность и актуальность диссертационной работы Израэльянца К.Р., посвященной исследованию и анализу эмиссионных характеристик планарных автоэлектронных эмиттеров с углеродными нанотрубками разной структуры в различных режимах работы, не вызывает сомнений. Разработка и исследование автоэлектронных катодов с высокой плотностью тока эмиссии электронов и проблемы, связанные с обеспечением надежной их работы, находятся в центре внимания разработчиков электронных приборов СВЧ, поскольку они не требуют потерь мощности на нагрев катодов и обеспечивают мгновенный запуск электронных приборов в работу.

Основной проблемой, возникающей при создании автоэлектронных катодов для электронных приборов, является обеспечение их стабильности и долговечности при работе в условиях электронной и ионной бомбардировки, адсорбции и десорбции остаточных газов, пондеромоторных нагрузок, воздействие которых может привести к изменению геометрии и эмиссионных свойств катода. Изменение эмиссионных свойств автоэлектронных катодов влияет на стабильность работы электронных приборов, приводит к изменению частоты генерируемых колебаний, к падению мощности и к уменьшению их долговечности.

В настоящее время исследованию углеродных наноструктурированных материалов и разработке автоэлектронных катодов на их основе уделяется повышенное внимание благодаря их технологичности и способности устойчиво работать в условиях технического вакуума. Среди различных модификаций углеродных наноструктур (фуллерены, углеродные нити, однослойные и многослойные нанотрубки, графеновые нановолокна) автор диссертации выбрал в качестве перспективных объектов исследований однослойные и многослойные нанотрубки, так как благодаря большому отношению длины к диаметру вблизи концов нанотрубок возникает большая напряженность приложенного электрического поля, приводящая к появлению автоэлектронной эмиссии.

Необходимо отметить, что исследования эмиссионных характеристик планарных автоэлектронных эмиттеров с углеродными нанотрубками разной структуры в различных режимах работы проведены автором в установке, обеспечивающей сверхвысокий вакуум ($p \sim 10^{-9}$ Торр). При этом измерения проводились с использованием специальной программы управления приборами на базе программы Test Point, что повышает достоверность полученных результатов исследований.

В диссертационной работе показано, что планарные автоэлектронные эмиттеры с множеством углеродных нанотрубок обеспечивают стабильную эмиссию с высокой плотностью тока до 1.4 A/cm^2 при средней флуктуации эмиссионного тока в диапазоне 0,1-0,7%. При проведении этих исследований установлено, что углеродные нанотрубки при протекании тока в десятые доли A/cm^2 и более нагреваются до яркого свечения. Изучение интенсивности светового излучения по поверхности эмиттера позволяет определить области максимального эмиссионного тока.

Создание стабильных низковольтных автоэлектронных катодов связывается с разработкой и исследованием планарных слоёв с очень длинными и редкими нанотрубками. В диссертации установлено, что на планарных слоях с очень длинными и редкими углеродными

нанотрубками получен очень высокий коэффициент усиления электрического поля $\beta=45000$. Следует отметить, что полученное экспериментальное значение близко к расчетной величине.

Одним из путей повышения эмиссионной способности автоэлектронных катодов и снижения их порогового электрического поля является интеркаляция атомов щелочных металлов в одностенные и многостенные углеродные нанотрубки. Исследованию влияния субмоноатомных и моноатомных слоев атомов щелочных металлов на автоэлектронную эмиссию одностенных и многостенных углеродных нанотрубок в диссертации уделено значительное внимание.

В диссертации установлено, что вольтамперные характеристики автоэлектронной эмиссии из одностенных углеродных нанотрубок после нанесения на них атомов цезия или калия сохраняют прямолинейность в координатах Фаулера-Нордгейма, то есть подчиняются этой теории. Работа выхода углеродных нанотрубок после нанесения атомов цезия уменьшается от 4,7 эВ до 3 эВ, а после нанесения атомов калия уменьшается до значения 3,95 эВ. Показано также, что нанесение атомов цезия на многостенные углеродные нанотрубки приводит к уменьшению их работы выхода до значения 2,1-2,3 эВ, а также порогового электрического поля от 2,4 В/мкм до 0,8 В/мкм. Следует отметить, что в автореферате диссертации не представлен анализ полученных результатов по отличию значений работы выхода одностенных и многостенных углеродных нанотрубок с субмоноатомным или моноатомным слоем атомов цезия.

В диссертации обнаружено также, что нанесение атомов цезия на слои с одностенными углеродными нанотрубками после нанесения на них атомов калия не только увеличивает величину эмиссионного тока, но и приводит к сильной нелинейности вольтамперной характеристики в координатах Фаулера-Нордгейма. Автор диссертации полагает, что этот эффект объясняется возникновением полупроводниковой проводимости

p-типа вследствие интеркаляции атомов калия и цезия в углеродные нанотрубки и образования p-n перехода вблизи кончиков нанотрубок.

При проведении исследований, по влиянию слабого высокочастотного поля на автоэлектронную эмиссию образцов эмиттеров с отдельными углеродными нанотрубками на частотной зависимости эмиссионного тока, обнаружена серия узких пиков в диапазоне f – 50-1200 МГц. Автором диссертации сделан вывод, что эти пики связаны с резонансом 1-ой и 2-ой гармоник вынужденных механических колебаний углеродных нанотрубок.

Следует отметить, что в настоящее время автоэлектронные катоды на основе углеродных наноструктурированных материалов всё шире применяются в рентгеновских трубках. В диссертационной работе автор показал, что автоэлектронные катоды на основе углеродных нанотрубок также стабильно работают в режиме постоянного тока в макетах малогабаритных рентгеновских трубок.

К недостаткам диссертационной работы Израэльянца К.Р. можно отнести некоторый формализм в изложении результатов исследований и слишком общие формулировки научных положений.

Однако эти замечания несколько не умаляют достоинства диссертационной работы, которая выполнена на высоком современном уровне, соответствует требованиям ВАК по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», а ее автор Израэльянец К.Р. достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Начальник сектора катодного отдела,
кандидат технических наук

Подпись Макарова А.П. заверяю
ученый секретарь диссертационного
совета 403.001.01, к.ф.- м.н.

« 18 » ноября 2014 г.

Макаров Анатолий Павлович, кандидат технических наук,
нач. сектора катодного отдела О АО «НПП Исток им А.И.Шохина»
Тел.(495)965 8689; e-mail info@istokmw.ru,
141190, Фрязино, Моск.обл,ул.Вокзальная, д.2-а



А.П.Макаров

Э.В. Погорелова