

## Отзыв

на автореферат диссертации Городецкого Дмитрия Владимировича «МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАССИВЫ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ АВТОЭМИССИОННЫХ КАТОДОВ», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 02.00.04. – физическая химия

Работа Городецкого Дмитрия Владимировича посвящена исследованию автоэмиссионных свойств катодных материалов на основе структурированных и модифицированных массивов многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ). Автор концентрирует внимание на изучении влияния структуры МУНТ и параметров структурированных массивов МУНТ таких, как высота и диаметр столбиков МУНТ, расстояние между столбиками профилированных массивов на эмиссионные характеристики катодов. В качестве отличительной особенности работы можно выделить систематическое исследование синтезированных с заданными параметрами массивов МУНТ с последующей их модификацией методами теневой литографии, профилированием ИК-лазером и обработкой водородной плазмой.

Используя метод теневой литографии, автор показывает улучшение автоэмиссионных свойств образцов за счёт структурирования массива МУНТ, не смотря на уменьшение высоты столбиков (до 80 мкм) по сравнению с исходными МУНТ с высотой 500 нм. Таким образом, автор подчеркивает перспективность данной методики. Однако, возможности теневой литографии ограничены из-за размерных эффектов, связанных с выбором маски. В работе отмечено, что применение метода лазерного профилирования могут снять такие ограничения. В работе показано, что уменьшение размеров столбиков и увеличение расстояния между ними приводит к повышению однородности автоэмиссионных центров на поверхности образца, уменьшению порога включения и повышению стабильности автоэлектронной эмиссии при длительном тестировании.

Автором были получены важные результаты по изменению формы эмиссионных концов МУНТ методом направленного формирования структурных параметров массивов.

Несмотря на то, что технической точки зрения был выбран не самый простой способ травления МУНТ, он оказался достаточно эффективным. В результате травления происходит разрушение целостности внешних слоёв, которые частично разворачиваются и представляют собой подобие графеновых листов. Порог включения автоэлектронной эмиссии таких образцов уменьшается за счёт появления графеновых монослоёв, которые способствуют повышению коэффициента усиления внешнего электрического поля на торце МУНТ. Полученные результаты испытаний автоэмиссионных катодов свидетельствуют о надёжности данных и правильной оценки параметров эмиссии.

Степень характеристики углеродных материалов проведена на высоком уровне с применением таких методов как: электронная микроскопия, КРС, рентгеновская спектроскопия. Таким образом, достоверность полученных результатов не вызывает сомнений.

По автореферату имеются некоторые замечания:

1. В методе теневой литографии в качестве маски был выбран полистирол, благодаря его незначительной плотности. В тоже время использование микросфер полистирола меньшего размера весьма проблематично. В связи с этим возникает вопрос, а существуют ли другие возможные материалы в качестве вариантов использования для изготовления маски? Анализировались ли другие



- маскирующие материалы способные дать более положительный эффект при использовании теневой литографии в данном диссертационном исследовании?
2. В работе представлены данные по изменению функционального состава поверхности массивов МУНТ и содержания Fe при лазерном профилировании. Автору следовало бы дать объяснение, каким образом лазерное профилирование влияет на автоэмиссионные свойства катодов?
  3. Автору следовало бы сделать анализ об эффективности использования других маскирующих покрытий вместо кобальта, например железа или биметаллических сплавов с железом, эффективность которых описана в литературе?
  4. Что подразумевается под «эффективностью автоэмиссионных свойств катодов», применительно к структурированным массивам МУНТ? Можно ли получить идеальный катод на основе структурированных массивов и как можно его изготовить в рамках проведенного исследования ?
  5. В автореферате автор упоминает о стабильности автоэлектронной эмиссии при длительном тестировании, однако в тексте отсутствуют конкретные данные о временной стабильности образцов и деградации эмиссионных свойств при действии высокой напряженности электрического поля.
  6. На странице 4 «необработанные» следует писать слитно. На странице 17 оборот «главным образом» необходимо выделять запятыми.

Указанные недостатки ни в коей мере не снижают ценности диссертации, значимости и сути полученных результатов.

По совокупности исследований и результатов, диссертация является законченной работой, выполненной на высоком научном уровне.

Считаем, что диссертационная работа Городецкого Д.В. удовлетворяет требованиям ВАК РФ (п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», от 24 сентября 2013 года) предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Городецкий Дмитрий Владимирович, заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 02.00.04- физическая химия.

Заведующий кафедрой Полупроводниковых приборов и микроэлектроники, Новосибирского государственного технического университета, кандидат технических наук,  
доцент

Остертак Дмитрий Иванович

Доцент кафедры Полупроводниковых приборов и микроэлектроники, Новосибирского государственного технического университета, кандидат технических наук,  
доцент

Бердинский Александр Серафимович

Адрес: 630073, Российская Федерация, г. Новосибирск,  
Пр. К. Маркса, 20, Новосибирский государственный  
технический университет, Телефон: (383) 346-08-75,  
e-mail: berdinskij@corp.nstu.ru

Ученый секретарь ИГТУ  
Д.Т.Н., профессор



М. Шуршин