

Отзыв на диссертацию
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

Диссертация Д. ГОРОДЕЦКОГО посвящена исследованию оптимизации эмиттирующих структур, сделанных на основе углеродных нанотрубок. Тема работы, несомненно, **актуальна**, так как ни на одном из материалов, интенсивно изучаемых для задач холодной эмиссии – CNT, графеновых стенок, Si-C игл, алмазных игл и т.д. получить приемлемый долгоживущий эмиттер не удалось.

Несмотря на ряд серьезных проблем с внедрением нанотрубок, тенденция роста числа работ, как фундаментальных, так и прикладных, сохраняется. Роль России в наноуглеродной науке достаточно велика, что подтверждается организацией в Новосибирске самостоятельной российской конференции, посвященной графену и нанотрубкам.

Практическая значимость работы состоит в том, что

- автор приобрёл уникальный опыт работы, связанный с производством CNT, ориентированных на задачи эмиссионной электроники и чувствует особенности полученного материала;
- физическая по своей направленности работа естественным образом выходит на актуальное приложение: сфера применения холодных эмиттеров может быть очень широка;
- проанализированы возможности работы эмиттера в условиях технического вакуума; это существенно в связи с тем, что на пике интереса к нанотрубкам обсуждалась возможность использовать нанотрубочный эмиттер в режиме ионного источника.

Новина работы состоит в том, что

автор освоил технологию получения автоэмиссионных катодов с высоким коэффициентом усиления электрического поля, высокой однородностью эмиссии электронов и высокой эффективностью. Эта структура не оптимальна с точки зрения интегральной эмиссии – здесь был бы идеальны отдельные нанотрубки с отношением межтрубочного расстояния к длине порядка 2/1 (для трубок с длиной порядка $1\mu\text{m}$) – см. работы А.Елецкого, но обеспечивает неплохую комбинацию плотности тока и ресурса работы.

найден литографическая технология, позволяющая добиваться необходимого результата без чрезмерных технологических и финансовых затрат - теневого литография с нестандартным масочным материалом, который, казалось бы, относится к совершенно другой области - полистирольным шарикам prior to CVD.

Интересным и нестандартным решением представляется и лазерное профилирование массива вертикально ориентированных CNT ИК- излучением. Не очевидно, однако, нельзя ли выжечь канавки между островками за счёт организации локальной эмиссии с участков, предназначенных к удалению – нечто подобное делается в процессе измерений.

Замечания к работе

1. Основные положения, выносимые на защиту, сформулированы весьма неудачно. По самому смыслу понятия «положения» они должны иметь характер чёткого утверждения, если угодно, аналога математической теоремы. Вместо этого написаны некие «существительные без глагола», уяснить которые почти невозможно, не прочтя диссертации полностью.

2. Эмиссионные системы, полученные в комплексе работ с участием автора, включают полный производственный цикл вместе с получением нанотрубок, которые «чуть-чуть лучше, чем были». Это, с одной стороны, хорошо, с другой – не очевидно, что CVD с ферроценом на кремнии – оптимальные

условия синтеза нанотрубок. Был бы интересен анализ того, работает ли комплекс методов паттернирования в сочетании с другими возможными методами синтеза, например, с коммерческими нанотрубками или одностенными выстроенными нанотрубками, получаемыми с использованием спирта как носителя.

3. Работа сформулирована как физико-математическая, однако в связи с очевидной практической направленностью естествен вопрос ресурса. В особенности, для нанотрубок, получаемые при тепловом CVD и считающихся одними из самых «слабых».

4. Нанотрубки, получаемые при тепловом CVD на ферроцене как носителе катализатора и углерода одновременно, характеризуются, судя по литературе, вершинным ростом, когда частица катализатора находится на кончике. При этом частицу надо удалять. Но вопрос, как проводилась очистка или, быть может, она не нужна, остаётся из текста автореферата не слишком понятным. Ясно, что при использовании нанотрубок "in situ" чистить трубки почти невозможно. С другой стороны, из необходимости пополнять катализатор (в диссертации) можно думать, что рост – корневой. Что происходит на самом деле?

Сделанные замечания не снижают научной ценности работы.

Диссертационная работа ГОРОДЕЦКОГО Дмитрия Владимировича МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАССИВЫ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ АВТОЭМИССИОННЫХ КАТОДОВ представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия,

является **завершенным научным исследованием**, в нем внесен существенный вклад в решение проблемы

достижения высокой и стабильной автоэмиссии в холодных катодах.

Считаю, что работа удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор по своей квалификации и по результатам проведенного исследования заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия

Николай Игоревич Алексеев
Д.ф.-м.н., В.н.с. Центра
Микротехнологии и Диагностики
С-Пб. Электротехнического
Университета ЛЭТИ
Тел. 911 943 56 24
NIAlexseyev@yandex.ru
3 февраля 2019

