

Отзыв

на автореферат диссертации Савостьянова Георгия Васильевича «Закономерности протекания электрического тока в оксидированных графеновых нанолентах типа «зигзаг» и разветвлённых структурах на основе нанотрубок типа «кресло», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.04 — «Физическая электроника» и 05.13.18 — «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Исследование углеродных наноматериалов (углеродные нанотрубки, графен и оксид графена) получило широкое распространение благодаря их электрическим, прочностным и оптическим свойствам, а также высокой стабильности в большом интервале температур. В частности, проводящие сетки на основе углеродных нанотрубок (УНТ) по своим характеристикам уже сравнялись с плёнками оксида индия-олова. Дальнейшее уменьшение контактного сопротивления трубка-трубка способно существенно увеличить проводимость получаемых покрытий на основе УНТ. Диссертант исследует удельную проводимость материала с разветвлёнными твердотельными структурами, где все УНТ соединены посредством ковалентных связей. Результаты представляют интерес для сравнения с сеткой отдельно лежащих УНТ. Упрощение процедуры получения графеновых нанолент, обладающих запрещённой зоной, и исследование влияния дефектов и примесей на их электронные свойства способно улучшить технологию создания полевых транзисторов на основе графена, а также повысить селективность при создании сенсорных структур. Поэтому исследование влияния краевых состояний, а также сорбции атомов кислорода на транспорт в графеновых нанолентах является актуальной задачей.

Научная новизна работы состоит в установлении новых закономерностей электрофизических явлений в структурах на основе одностенных УНТ и в оксидированных графеновых нанолентах.

Практическая ценность работы заключается в перспективности использования шовных соединений между УНТ для увеличения электропроводности сеток нанотрубок, а также в возможности реализации переключателя на основе графеновых нанолент за счёт создания участков с нулевой плотностью состояний вблизи уровня Ферми.

К достоинствам работы можно отнести качественное исследование влияния упорядоченного расположения кислород содержащих групп, сорбированных на поверхности графена, на перенос заряда в канале, что может найти применение при создании транзисторных структур на основе УНТ и графена с большим отношением I_{ON}/I_{OFF} . Материалы диссертации в достаточной мере опубликованы автором в авторитетных научных изданиях.

К работе имеется ряд замечаний:

- 1) На стр. 13 автореферата автор исследует влияние различного сращивания УНТ на сопротивление материала на основе Т-образных УНТ со «швом». Однако при проведении эксперимента при нормальных условиях ввиду наличия в углеродной решётке дефектов неизбежно формирование С-Н, а также кислород содержащих групп, что будет вносить существенные дефекты при сращивании УНТ. Таким образом, разработанная модель сращивания двух УНТ со «швом», приведённая как в автореферате, так и в тексте диссертации, имеет слишком высокий уровень упрощения и может оказаться малоприменимой на практике.
- 2) Приведённые диссертантом результаты по расчёту удельной проводимости материала из ветвящихся УНТ сделаны лишь в диапазоне 6-60 кг/м³. При пересчёте данной плотности УНТ на слой толщиной около 10 нм, типичный для тонких плёнок, можно оценить площадь заполнения поверхности, которая составляет от 2 до 20%. Из литературы известно [1,2], что порог перколяции по проводимости для УНТ составляет величину в диапазоне 0,2-2% по массе. Поэтому утверждение, выносимое на защиту, о близкой к линейной зависимости проводимости от плотности УНТ находится в области, где, согласно литературным данным, и не должно быть резких изменений. При переходе к практическим задачам и для определения качества предлагаемой модели необходимо рассматривать как раз диапазон, включающий низкие плотности УНТ (0.1-3% по массе), что в работе

1. Li J. et al. Correlations between percolation threshold, dispersion state, and aspect ratio of carbon nanotubes //Advanced Functional Materials. – 2007. – Т. 17. – №. 16. – С. 3207-3215.

2. Zeng X. et al. Characteristics of the electrical percolation in carbon nanotubes/polymer nanocomposites //The Journal of Physical Chemistry C. – 2011. – Т. 115. – №. 44. – С. 21685-21690.

сделано не было. В работе не приводятся данных о зависимости удельного сопротивления от средней длины линейного участка УНТ. Отсутствие этих данных также не позволяет оценить границы применимости и достоверности предлагаемой модели.

- 3) В тексте автореферата не уточняется, какие именно функциональные кислородсодержащие группы рассматриваются при исследовании модифицированного графена. Из текста публикаций автора становится понятно, что в рассмотрении участвуют лишь эпоксидные группы. При этом без внимания осталось рассмотрение влияния гидроксильных и карбоксильных групп, которые довольно часто формируются на дефектах и краях графенового листа, и которые оказывают не меньший эффект на перенос носителей в канале. Кроме того, автором не рассматриваются механизмы формирования областей с низкой плотностью состояний при введении упорядоченных кислородсодержащих групп.

Указанные недостатки не уменьшают общего положительного впечатления от диссертации. На основании вышеизложенного считаю, что диссертация удовлетворяет требованиям, изложенным в пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», а её автор, Савостьянов Г. В., заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.04 - «Физическая электроника» и 05.13.18 - «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Я, Ромашкин Алексей Валентинович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

14 сентября 2018 г.

Научный сотрудник научно-образовательного
центра «Зондовая микроскопия и нанотехнология» НИУ МИЭТ,

Кандидат технических наук



Ромашкин А.В.

Полное наименование организации: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники».

Адрес: 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1.

Рабочий телефон: +7 (499) 720-89-22

E-mail: vkn@miee.ru

Подпись заверяю

Начальник отдела кадров НИУ МИЭТ



Заболотный С.В.