

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

Колосова Дмитрия Андреевича

### «ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО ТРАНСПОРТА И ПЕРЕТЕКАНИЯ ЗАРЯДА В ТОНКИХ ПЛЁНКАХ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА С ВЕРТИКАЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ ПРИ МОДИФИКАЦИИ НАНОПОЛОСТЕЙ ПЛЁНОК МОЛЕКУЛЯРНЫМИ КЛАСТЕРАМИ БОРА И КРЕМНИЯ»,

представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5 – Физическая электроника

Диссертационная работа Колосова Дмитрия Андреевича посвящена выявлению физических закономерностей электронных и электрофизических свойств графен/ОУНТ композитных тонких пленок, как чистых, так и модифицированных различными добавками, такими как литий и натрий, а также кластерами кремния и бора, используемых для повышения электропроводности и/или удельной ёмкости в случае атомов лития/натрия и кластеров кремния, и для повышения квантовой ёмкости в случае кластеров бора. Актуальность данного направления обусловлена в первую очередь тем, что графен и композиты на его основе обладают высокой механической прочностью, тепло- и электропроводностью, а ионисторы с электродами на их основе обладают высокой удельной ёмкостью, прочностью и стабильностью ёмкости даже после сотни циклов заряда-разряда.

Научная новизна работы состоит в установлении новых закономерностей электрофизических свойств композитных тонких пленок на основе графена и вертикально ориентированных ОУНТ, модифицированных кластерами кремния или бора.

Практическая ценность работы заключается в перспективности использования данных композитов с кластерами кремния для формирования электродов портативных источников энергии за счёт высокой электропроводности и удельной емкости, а с кластерами бора – для формирования электродов суперконденсаторов и сенсорных устройств за счёт высокой квантовой ёмкости композита.

К достоинствам работы можно отнести качественное исследование влияния модификации композита графен/ОУНТ различным количеством кластеров кремния или бора, а также определение электрофизических характеристик данного композита в случае заполнения нанополостей атомами лития и натрия. Была определена оптимальная массовая доля кремния в композите для обеспечения наивысшей удельной ёмкости и бора – для квантовой ёмкости, и предельные концентрации до разрушения каркаса. Кроме того, исследованы функции пропускания электронов и

влияние на сопротивление данных композитов при модификации исследуемыми добавками. Также интерес представляет влияние модификации ОУНТ различным количеством кластеров бора  $B_{12}$  на её удельное сопротивление и квантовую ёмкость. Материалы диссертации в достаточной мере опубликованы автором в авторитетных научных изданиях.

В качестве замечаний следует отметить следующее:

1. Неясно, исходя из каких соображений при моделировании длина углеродных нанотрубок (УНТ) ограничена 3 нанометрами и диаметром 1,2 нм, в то время как при синтезировании представленных композитов длина УНТ составляет не менее нескольких десятков нанометров при диаметрах не менее 5 нм (особенно учитывая диаметр частицы катализатора) [1]. Кроме того, неясно использование в моделировании УНТ с индексами хиральности (5,5), (6,0) и (6,6), учитывая то, что при синтезировании гораздо большую долю составляют ОУНТ с углами хиральности  $20-30^\circ$  [2, 3], соответствующим полупроводниковым УНТ, которые автором не рассматриваются. Таким образом, представленная модель недостаточно хорошо может отражать свойства экспериментально формируемых структур, что снижает практическую значимость.
2. Не представлены границы применимости модели, используемой в работе. Неясно, была ли проведена проверка корректности описания модели реальной структуры в крайних случаях, например, в случае формирования ультракоротких УНТ на поверхности графена (структура с УНТ длиной менее двух периодов кристаллической решетки должна приближаться по свойствам к графену с определённой концентрацией дефектов (негексагональные элементы) и нанопор, некоторые свойства которого известны из литературы). Подобные, даже более простые структуры в работе не были рассмотрены, что затрудняет сравнение с известными в литературе результатами. В связи с этим, оценки изменения емкостных характеристик при модификации кластерами бора и кремния могут потребовать существенной корректировки для получения практически значимых количественных оценок.
3. Кроме того, авторы не рассматривают возможное наличие в таких структурах (исходя из данных по многослойным УНТ)  $sp^3$  дефектов в структуре, которые практически всегда присутствуют в реальных структурах и существенно влияют на свойства графена и УНТ, что не позволяет оценить вклад различного рода дефектов на свойства рассматриваемых структур (например, наличие  $sp^3$

<sup>1</sup> Xu J. et al. Synthesis and electrochemical performance of vertical carbon nanotubes on few-layer graphene as an anode material for Li-ion batteries //Materials Chemistry and Physics. – 2018. – Т. 205. – С. 359-365.

<sup>2</sup> Zhang S. et al. Arrays of horizontal carbon nanotubes of controlled chirality grown using designed catalysts //Nature. – 2017. – Т. 543. – №. 7644. – С. 234-238.

<sup>3</sup> He M. et al. Growth modes and chiral selectivity of single-walled carbon nanotubes //Nanoscale. – 2018. – Т. 10. – №. 14. – С. 6744-6750.

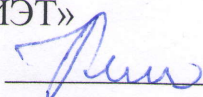
дефектов и функциональных групп может оказаться более значимым, чем рассмотренные автором).

Вместе с тем, отмеченные замечания не умаляют достоинства работы. Содержание автореферата позволяет сделать вывод о том, что диссертационная работа Колосова Д.А. «Закономерности электронного транспорта и перетекания заряда в тонких плёнках на основе графена с вертикально ориентированными углеродными нанотрубками при модификации нанополостей плёнок молекулярными кластерами бора и кремния» является самостоятельным, обоснованным и цельным исследованием. Представленные в ней результаты обладают научной новизной и представляют собой существенный вклад в понимание закономерностей электронных и электрофизических свойств композитных тонких плёнок графен/ОУНТ при модификации атомами лития и натрия, а также кластерами кремния и бора, а автор диссертации заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5 – Физическая электроника.

Я, Неволин Владимир Кириллович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

6 декабря 2021 г.

доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры квантовой физики  
и нанoeлектроники Национального  
исследовательского университета «МИЭТ»

 Неволин Владимир Кириллович

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 д.ф.-м.н. Неволина В. К. заверяю,

начальник отдела кадров НИУ МИЭТ



  
Данилова Е.И.

07.12.2021