

ОТЗЫВ

Научного руководителя о диссертационной работе Мироновича К.В. «Механизмы роста, структурные и функциональные свойства плазмохимически осажденных наноструктурированных графеноподобных пленок» представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.15 «физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика».

Научную работу Миронович К.В. начал еще студентом в 2009 году. Эта работа после окончания с отличием физического факультета МГУ переросла в работу над темой представленной диссертации в аспирантуре физического факультета МГУ в 2012 - 2016 годах и далее после окончания аспирантуры. Данная работа успешно завершена к настоящему времени. За время работы над диссертацией, Мироновичем К.В. выполнен большой объем исследований, результаты которых опубликованы в ведущих зарубежных и отечественных журналах и представлены на международных и российских конференциях.

Диссертационная работа посвящена исследованию механизмов роста наноструктурированных графеноподобных пленок (углеродных наностенок, УНС) в углеводородной плазме разряда постоянного тока, а также изучению их структурных и функциональных (электрохимических и оптических) свойств. Мироновичем К.В. был предложен оригинальный комбинированный экспериментально-теоретический подход к изучению механизмов роста УНС с применением численного моделирования плазмы. Это существенно отличает его работу от имеющейся по данной теме научной литературы, т.к. в ней впервые непосредственно показано возможное влияние радикального состава плазмы на рост УНС. Кроме того, важной частью диссертационной работы является исследование структуры УНС на их функциональные свойства и поиск возможных приложений УНС. В частности, были проведены экспериментальные исследования электрохимических свойств УНС применительно к созданию на их основе электродов для литий-ионных аккумуляторов и суперконденсаторов.

В результате исследований, проведенных Мироновичем К.В.:

1) Предложен метод резкого изменения параметров плазмохимического осаждения, позволяющий модифицировать поверхность растущих УНС путем травления и/или вторичной нуклеации. Данный метод позволяет в наиболее яркой степени выявить различные поверхностные процессы.

2) Показано, что нуклеация вторичных наностенок происходит в результате адсорбции углеводородных радикалов на поверхности первичных УНС, образования новых внешних графеновых слоев и их столкновения друг с другом, или в результате изменения направления роста внешних графеновых слоев при столкновении с дефектами на поверхности наностенки.

3) Апробирована пространственно двумерная модель плазмы разряда постоянного тока, позволяющая по набору входных параметров (ток, давление, скорости подачи газов, температуры анода и катода, площадь катодного пятна) получать пространственные распределения компонент плазмы и температуры газа.

4) Показано, что линейный рост УНС происходит в основном за счет расходования CН_3 радикалов, тогда как другие углеводородные радикалы могут быть ответственны за образование дефектов на поверхности растущих УНС и т.н. «залечивание» протравленных областей.

5) Обнаружено, что осаждаемые на поверхности УНС металлические и полупроводниковые наночастицы самоорганизуются путем поверхностной диффузии в линейные квазипериодические структуры, форма которых определяется границами внешних графеновых слоев УНС (моноатомных ступеней) и складками на их поверхности.

6) На УНС, покрытых наночастицами серебра, обнаружено усиление сигнала комбинационного рассеяния родамина и оксигенированного гемоглобина, позволяющее регистрировать данные вещества в растворах с концентрациями 10^{-8} М и 10^{-6} М, соответственно. Это позволяет использовать УНС в качестве подложек для проведения исследований методом гигантского комбинационного рассеяния. Причем важным положительным качеством УНС является их совместимость с биологическими объектами.

7) Показано, что степень поглощения видимого излучения УНС может достигать 99.88%, ключевую роль при этом играют граничные электронные состояния на поверхности УНС. Это делает УНС перспективным материалом для создания антиотражающих покрытий в различных приборах (например, болометрах).

8) Разработана методика создания стабильного многослойного материала отрицательного электрода на основе УНС и кремния (германия) для тонкопленочных литий-ионных батарей с высокой электрохимической емкостью (около 500 мАч/г и 2 мАч/см²).

Результаты проведенной Мироновичем К.В. работы существенно расширяют теоретическое представление о механизмах роста УНС в процессе взаимодействия плазмы с поверхностью углеродных структур. Это позволяет реализовывать синтез УНС с заданными структурными и функциональными свойствами. Работа имеет и практическую значимость, которая обусловлена тем, что результаты исследований открывают возможность использования УНС в качестве подложек для проведения анализа различных веществ методом гигантского комбинационного рассеяния, при создании антиотражающих покрытий с высокой степенью оптического поглощения, а также композитных анодных материалов для литий-ионных аккумуляторов.

Мироновичу К.В. принадлежит основная идея диссертационной работы, заключающаяся в исследовании механизмов плазмохимического осаждения УНС с использованием комбинированного экспериментально-теоретического подхода с применением пространственно разрешенной модели плазмы. Миронович К.В. самостоятельно разрабатывал и совершенствовал экспериментальный стенд для плазмохимического осаждения УНС и оптической диагностики плазмы. Им были выполнены все измерения экспериментальных параметров разряда и сопоставление их с теоретически рассчитанными значениями для проверки численной модели. Были синтезированы УНС различной морфологии для исследования механизмов их роста и различных функциональных свойств. Установлена и исследована корреляция между структурой осаждаемых УНС, которая была исследована методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии (СЭМ и ПЭМ) и спектроскопии комбинационного рассеяния, и радикальным составом плазмы, определенным на основе результатов численного моделирования, а также их функциональными свойствами. Мироновичем К.В. было изучено влияние структуры пленок на основе УНС на их электрохимические характеристики, для чего им собирались электрохимические ячейки с изготовленными электродами, и проводилось их гальваностатическое циклирование.

В целом, представленная Мироновичем К.В. диссертационная работа содержит богатый и разнообразный материал, получены новые результаты, представляющие существенный теоретический и практический интерес. В процессе работы над диссертацией Миронович К.В. зарекомендовал себя, как инициативный, творческий, разносторонний исследователь, являющийся квалифицированным специалистом, способным к самостоятельным научным исследованиям. Его характеризуют чуть экспериментатора, аккуратность при проведении исследований, умение работать с научной литературой, настойчивость в достижении цели.

Считаю, что Миронович К.В. вполне заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.15 – «Физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика».

Научный руководитель

Доктор физико-математических наук,
Заведующий отделом микроэлектроники
НИИЯФ МГУ, профессор

Подпись заведующего отделом микроэлектроники
НИИЯФ МГУ профессора Рахимова А.Т. заверяю.

Ученый секретарь Ученого совета НИИЯФ МГУ



Рахимов А.Т.

Сигаева Е.А.