

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Шевелева Виктора Олеговича на тему: «Влияние температуры и кислорода на монослой графена и h-BN, сформированные на металлических поверхностях с близким периодом решетки», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

В последнее десятилетие графен – один из наиболее изучаемых материалов. Популярность графена связана с его уникальными свойствами, среди которых можно отметить не только аномально высокую подвижность носителей заряда и теплопроводность, но и, например, его выраженные антибактериальные характеристики. Совокупность свойств графена открывает уникальные возможности для его применения в нанoeлектронике, спинтронике, наномедицине и других инновационных технологиях создания nano- и биоматериалов. С учетом всего вышесказанного актуальность проведенного Шевелевым В. О. исследования не вызывает сомнений.

Свойства графена зависят от совершенства его электронной и атомной структуры, которая тесно связана с совершенством подложки, на которой размещен графен, и ее воздействием на электронную и атомную структуру исходного графена. Одним из идеальных вариантов такой подложки является гексагональный нитрид бора (h-BN), имеющий близкий период решетки и проявляющий отчетливые диэлектрические свойства. Основной целью диссертационной работы Шевелева В. О. было проведение комплексного исследования кристаллической и электронной структуры графена и h-BN на монокристаллических поверхностях металлов с близкими параметрами решетки, под действием термической обработки и под влиянием кислорода. Вторая цель представленной работы: изучение возможностей применения спектроскопии комбинационного рассеяния СКР к изучаемым системам. Обе цели данного исследования тесно взаимосвязаны, поскольку метод СКР дает широкие возможности для использования достаточно хорошо разработанной методики для изучения и диагностики неоднородностей наносистем на основе графена и h-BN.

В представленной работе выполнен большой объем экспериментальных исследований и расчетов. Решены важные методические и материаловедческие задачи, получены достоверные результаты, которые имеют высокую научную и практическую значимость для различных фундаментальных и прикладных материаловедческих исследований. Проведены новаторские методические разработки, среди которых отмечу, демонстрацию возможности характеристики графена на металлических подложках с помощью СКР. Анализ полученных результатов, позволил автору найти величины деформации графеновых доменов. Для достижения поставленных целей Шевелев В. О. использовал комбинацию различных экспериментальных методов, а именно, помимо СКР, им применялась фотоэлектронная спектроскопия, в том числе с угловым разрешением, рентгеновская абсорбционная спектроскопия вблизи К-краев непрерывного поглощения атомов С, N и O, дифракция медленных электронов и фотоэлектронная микроскопия.

Диссертация Шевелева Виктора Олеговича состоит из введения, четырех глав и заключения, изложена на 104 страницах, включает 36 рисунков и список литературы из 100 наименований. Первая глава носит обзорный характер. Во второй главе описаны экспериментальные методы, используемые для решения поставленных задач и методы, которые используются для получения образцов. В третьей и четвертой главах изложены результаты характеризации изучаемых интерфейсов и проведен детальный анализ влияния термической обработки и кислорода с монослоями графена и h-BN, сформированных на металлических поверхностях Ni(1,1,1) и Co(0001). В заключении резюмированы основные результаты, проведенного исследования.

По материалам диссертации опубликовано 4 статьи в журналах, включенных в базы данных РИНЦ, Web of Science и Scopus. Результаты диссертации были представлены и обсуждены на международных конференциях.

Среди положений, выносимых на защиту, следует особо отметить (а) определение степени сжатия решетки поликристаллического и монокристаллического графена синтезированного на поверхности Co(0001), (б) обнаружение G зоны в спектрах КРС ориентированного графена на подложке Co(0001), природа которой связывается автором с нерезонансным рассеянием, в отличие от резонансного рассеяния в свободном графене, (в) развитие метода повышения степени рекристаллизации графена на поверхности Co(0001) и (г) выявление связи механизма рекристаллизации с понижением величины барьера на пути отрыва атома углерода от графена в присутствии подложки. Хочется особо отметить 1) последовательный анализ применимости СКР для изучения кристаллической структуры интерфейсов на основе графена и успешное комбинирование СКР с рентгеноспектральными методами и с методом дифракции медленных электронов, 2) аккуратное сопоставление экспериментальных результатов с данными расчетов. Комбинирование СКР с рентгеновскими фотоэмиссионными методами представляется перспективной технологией для изучения и визуализации наноразмерных (квазимолекулярных) образований различной природы не только на межфазовых границах графеноподобных систем, но и также в наноструктурированной и иерархически организованной материи.

При знакомстве с диссертационной работой возникли следующие замечания и вопросы.

Во-первых. При расчете фононной дисперсии в растянутом графене атомы углерода смещены из равновесных положений под влиянием внешней силы и, как следствие, первая производная потенциальной энергии по смещениям атомов из равновесных положений не может считаться равной нулю. (Как это предполагается в теории гармонических колебаний кристаллической решетки). Как учитывалась эта особенность при анализе колебаний атомов углерода в изучаемых системах?

2) Во-вторых, в главе 3 на рис. 3.7 приведены В 1s фотоэлектронные спектры (ФЭС) измеренные при разных энергиях ионизируемого излучения от 305 эВ и выше. Если принять во внимание, что энергия связи 1s электронов в атоме бора около 195 эВ, то кинетические энергии фотоэлектронов при поглощении фотонов с энергиями порядка 305 эВ, не настолько малы, чтобы описывать их как плоские волны без учета однократного

рассеяния на соседних атомах. В этом случае, аппроксимация формы В 1s ФЭ линии как свертки двух функций распределения Гаусса и Лоренца становится весьма приближенной. Это может повлиять на определяемое отношение интенсивности компонент C_{t} и C_{h} как функции от энергии ионизируемого излучения. В частности, осцилляции этого отношения на рис.3.7(б) могут быть обусловлены именно этим рассеянием. Возникает вопрос: как автор объясняет природу осцилляции на рис. 3.7 (б)?

В-третьих, заметно ли влияние послестолкновительного взаимодействия (post collision interaction), которое обусловлено Оже-распадом основной вакансии в исследуемых системах? PCI может вызывать асимметрию и спектральный сдвиг ФЭ линий, особенно, в режиме малых кинетических энергий фотоэлектронов.

В-четвертых. Хотелось бы услышать, почему полоса c не наблюдается в С 1s NEXAFS спектре поликристаллического графена на рис 3.8?

Замечу также, что при интерпретации и анализе NEXAFS спектров графена и графеноподобных систем следует учитывать процессы неупругого рассеяние фотоэлектрона. Чем выше подвижность носителей заряда в системе, тем большее влияние оказывают эти процессы на NEXAFS спектры.

Сделанные замечания не снижают яркого и целостного впечатления от представленной к защите диссертационной работы Шевелева Виктора Олеговича. Автор достиг поставленных целей, им решена важная задача научного материаловедения, получены значимые научные результаты, которые способствуют более глубокому пониманию особенностей формирования электронной и атомной структуры графена и графеноподобных систем, и открывают широкие перспективы для их использования при решении прикладных задач современного материаловедения.

Диссертация Шевелева Виктора Олеговича на тему: «Влияние температуры и кислорода на монослой графена и h-BN, сформированные на металлических поверхностях с близким периодом решетки» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Шевелев Виктор Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Член диссертационного совета

Доктор физ.-мат. наук, профессор



Павлычев А.А.

05 марта 2021 г.