

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Бокай Кирилла Андреевича «Кристаллическая и электронная структура функционализированных слоев графена, h-BN и гетероструктур на их основе», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

### 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

В диссертационной работе перед Бокай К. А. стоял ряд задач, направленных на синтез новых двумерных систем на основе графена и гексагонального нитрида бора (h-BN) на поверхностях никеля и кобальта, определение особенностей их кристаллической и электронной структуры, а также изучение структуры примесей и дефектов в таких системах.

Среди наиболее интересных результатов работы можно выделить создание идеально ориентированных латеральных гетероструктур из графена и h-BN моноатомной толщины и определение структуры границ между доменами h-BN и графена. Следует отметить, что идея формирования и исследования подобных латеральных гетероструктур на поверхности кобальта принадлежит Бокай К. А. Его заслугой во многом является также и успешная реализация этой идеи с получением данных высочайшего качества и публикацией результатов в высокорейтинговом журнале *Chemistry of Materials*. Еще одним интересным результатом является определение влияния плотности атомарных ступеней поверхности никеля на внедрение примесей азота в графен, синтезируемый на поверхности. Для этого применен оригинальный подход с использованием в качестве подложки монокристалла с искривленной поверхностью.

Для проведения экспериментальных исследований Бокай К. А. использовал возможности ресурсных центров СПбГУ, а также подавал заявки и выигрывал конкурсы на проведение исследований в международном центре синхротронного излучения BESSY II в г. Берлине. Он также выигрывал конкурсы на финансирование исследований в рамках программы академического обмена G-RISC. Для получения финансирования исследований он самостоятельно сформировал заявку на конкурс РФФИ для аспирантов и выиграл грант.

Говоря о личном вкладе автора в диссертационную работу, следует отметить, что Бокай К. А. принимал личное участие во всех экспериментах, результаты которых представлены диссертации. В частности, он освоил методы формирования тонкопленочных систем в сверхвысоком вакууме и синтезировал исследованные системы, содержащие слои чистого и легированного графена, а также гексагонального нитрида бора. Он успешно провел оптимизацию условий синтеза для получения структур высокого качества. Им получены фотоэлектронные спектры и спектры поглощения рентгеновских лучей, а также данные электронной и фотоэлектронной дифракции. В ходе работы он глубоко



проанализировал полученные данные и сформулировал весомые выводы. Для максимальной достоверности выводов, проводимые экспериментальные исследования он дополнял теоретическими расчетами методами теории функционала плотности. Для этого им освоен программный пакет FPLO для расчета электронной структуры кристаллов методами теории функционала плотности. Им были проведены расчеты валентной зоны, краевых состояний, а также химических сдвигов основных уровней в гетероструктурах графена и h-BN. Следует отметить достаточно высокий уровень самостоятельного анализа. Использование современного оборудования на источниках синхротронного излучения позволило получить достоверные данные высокого качества. Результаты исследований были представлены на международных конференциях и опубликованы в пяти научных статьях в рецензируемых журналах. Необходимо отметить значительный вклад соискателя в написание текстов статей. Он является первым автором двух статей, опубликованных в международных рецензируемых журналах по результатам диссертационной работы.

Считаю, что Бокай К. А. в высшей мере успешно справился с поставленными перед ним научными задачами.

Оценивая текст диссертационной работы, следует отметить, что текст диссертации приятно читать. Он хорошо структурирован, написан грамотным языком и хорошо иллюстрирован. Обзор литературы является достаточно полным. Автор не поленился кратко изложить принципы использованных экспериментальных методов и привел исчерпывающее описание экспериментального оборудования. Сделанные выводы в полной мере обоснованы, четко сформулированы и не вызывают сомнений. Тем не менее, работа не лишена грамматических ошибок, которые, однако, не затрудняют чтения.

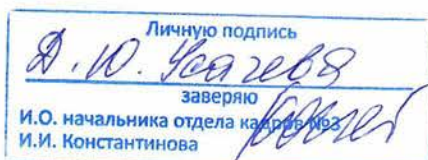
Оценивая работу в целом, считаю, что диссертация Бокай Кирилла Андреевича удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, а ее автор заслуживает присвоения искомой степени.

14 февраля 2022

Д. ф.-м. н., профессор кафедры  
электроники твердого тела



Усачев Д. Ю.



14.02.2022