

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.063.02,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ  
ИМ. А.М. ПРОХОРОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 29 ноября 2021 г. № 156.

О присуждении Коваленко Станиславу Леонидовичу, гражданину Белоруссии, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Синтез, легирование и интеркаляция монокристаллического графена на поверхности Ni(111)» по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния принята к защите 13 сентября 2021 года (протокол заседания № 150) диссертационным советом Д 002.063.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (119991 Москва, ул. Вавилова, 38, совет создан приказом Рособнадзора № 2048-1308 от 19 октября 2007 г.).

Соискатель Коваленко Станислав Леонидович 1990 года рождения. В 2014 году соискатель окончил Московский физико-технический институт (государственный университет). В 2019 году соискатель окончил аспирантуру ИОФ РАН по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния. Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано ИОФ РАН в 2021 г. В настоящее время работает на факультете физики НИУ ВШЭ в должности доцента.

Диссертация выполнена в Отделе технологий и измерений атомного масштаба ЦЕНИ ИОФ РАН.

Научный руководитель – Андриюшечкин Борис Владимирович, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией физики поверхности ЦЕНИ ИОФ РАН.

Официальные оппоненты:

Чернозатонский Леонид Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук;

Чайка Александр Николаевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики твердого тела Российской академии наук (ИФТТ РАН).

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», в своем положительном заключении, подписанном Пановым Владимиром Ивановичем, доктором физико-математических наук, заведующим кафедрой квантовой электроники и Орешкиным Андреем Ивановичем, доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником кафедры квантовой электроники, и утвержденном Проректором Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, доктором физико-математических наук, профессором Федяниным Андреем Анатольевичем указала, что диссертация Коваленко С.Л. «Синтез, легирование и интеркаляция монокристаллического графена на поверхности Ni(111)», являясь законченным научным исследованием, полностью удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Коваленко Станислав Леонидович, заслуживает присуждения ученой

степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07-Физика конденсированного состояния.

В отзыве указаны следующие замечания:

1. При описании процесса адсорбции пропилена на поверхность Ni(111) при комнатной температуре, утверждается, что линейные объекты на поверхности состоят из углерода, однако зависимость интенсивности оже-линии углерода от дозы пропилена не представлена.
2. Чем обусловлена температура 500°C для ТПР-синтеза нелегированного графена и 400°C для синтеза графена, легированного азотом?
3. На странице 80 обсуждаются одиночные дефекты в слое графена. На каком основании полагается, что одиночные дефекты связаны с внедрением отдельных атомов Ni в графен, и как они образуются? К сожалению, в работе не приведены таблицы расчетных СТМ-изображений для различных моделей Ni-дефектов.
4. При описании параметров травления ионами аргона на стр. 67 указаны только энергия ионов и время травления, а плотность тока не указана.
5. Не ясна процедура определения дозы адсорбции для различных газов.
6. В работе имеются опечатки:

-стр. 87 (в стыковки→в стыковке)

-стр. 107 (начинаются→встречаться)

-стр. 11 (не смотря на то→несмотря на то)

-стр.114 (по мимо→прмимо)

-стр. 115 пропущена скобка»)»после» см. работу [163]

Стр. 115 (при чём→причем)

-В гамильтониане (1.1) в члене под знаком второй суммы пропущен множитель  $b_{\sigma,j}$

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 10 работ, из них в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК опубликовано 5 работ.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Kovalenko S.L., Pavlova T. V., Andryushechkin B.V., Zhidomirov G.M., Eltsov K.N., Ni-doped Epitaxial Graphene Monolayer on the Ni(111) Surface // Phys. Wave Phenom. — 2020. — Vol. 28. — P. 293-298.
2. Коваленко С.Л., Павлова Т.В., Андриющечкин Б.В., Ельцов К.Н., Термопрограммируемый синтез монокристаллов квазисвободного N-графена из молекул ацетонитрила // Письма в ЖЭТФ. — 2020. — Vol. 111. — P. 697-704.
3. Kovalenko S.L., Andryushechkin B.V., Eltsov K.N., STM study of oxygen intercalation at the graphene/Ni(111) interface // Carbon. — 2020. — Vol. 164. — P. 198-206.
4. Pavlova T.V., Kovalenko S.L., Eltsov K.N., Room Temperature Propylene Dehydrogenation and Linear Atomic Chain Formation on Ni(111) // J. Phys. Chem. C. — 2020. — Vol. 124. — P. 8218-8224.
5. Коваленко С.Л., Павлова Т.В., Андриющечкин Б.В., Канищева О.И., Ельцов К.Н., Эпитаксиальный рост монокристалла графена на поверхности Ni(111) // Письма в ЖЭТФ. — 2017. — Vol. 105. — P. 170-174.

На автореферат диссертации поступил один отзыв:

1. Из Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Башкирский государственный университет», подписанный профессором кафедры физической электроники и нанофизики, доктором физико-математических наук, Заслуженным работником Высшей школы РФ, профессором Бахтизиным Рауфом Загидовичем. Отзыв положительный, замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации широко известны своими достижениями в соответствующей области науки и способны оценить научную и практическую значимость рассматриваемой в диссертации проблемы.

Диссертационный совет отмечает, что основными результатами работы являются следующие:

1. На атомном уровне получены исчерпывающие данные о процессе формирования монокристаллического графена на поверхности Ni(111) при термопрограммируемом синтезе.
2. Предложены и теоретически обоснованы структурные модели для атомных дефектов в графене, синтезированном на поверхности Ni(111).
3. Определены на атомном уровне структуры, возникающие при интеркаляции золота и кислорода в интерфейс Gr/Ni(111), идентифицированы каналы интеркаляции и температурные границы устойчивости структур.

*Теоретическая значимость* проведенного исследования определяется тем, что полученные в работе результаты вносят новый вклад в понимание процессов взаимодействия углеводородов с поверхностью Ni(111), приводящих в конечном счете к росту графена. Определение атомных структур, возникающих в результате интеркаляции золота и кислорода в интерфейс Gr/Ni(111), важно для теоретических расчетов электронной дисперсии в полученных системах, исследуемых интегральными методами.

Значение полученных соискателем результатов исследования *для практики* определяется разработанными и подтвержденными на атомном уровне методиками синтеза монокристаллов однослойного графена, нелегированного и легированного азотом, миллиметрового размера на грани (111) монокристалла никеля, а также возможностью создания квазисвободных бездефектных монокристаллов нелегированного и легированного азотом графена миллиметрового размера путем интеркаляции монослоя золота. Разработанные методики могут быть востребованы в промышленных технологиях, использующих графен в качестве материала для электронных приборов. Наличие одиночных атомов никеля или азота в решетке графена открывает возможности применения данного материала в катализе на одиночных атомах.

Научная новизна диссертации определяется следующими достижениями.

- 1) Реализован метод термопрограммируемого роста монокристаллов нелегированного и легированного атомами азота графена миллиметрового размера на поверхности Ni(111).
- 2) Идентифицированы атомные дефекты нелегированного графена и определены структуры азотных центров в случае легированного графена, возникающие в процессе термопрограммируемого роста на поверхности Ni(111).
- 3) Установлены на атомном уровне структуры, возникающие в результате интеркаляции кислорода в интерфейс Gr/Ni(111).
- 4) Определены каналы интеркаляции атомов золота в интерфейс Gr/Ni(111).

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что все экспериментальные данные получены с применением современного оборудования, позволяющего изучать структуру поверхности с атомной точностью; результаты работы хорошо согласуются с теоретическими расчетами из первых принципов и не противоречат данным других исследователей, полученным интегральными методами.

Личный вклад соискателя состоит в планировании экспериментов, получении данных, их анализе и сопоставлении с теоретическими расчетами. Соискатель принимал непосредственное участие в представлении результатов на конференциях и написании научных статей.

На заседании 29 ноября 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Коваленко Станиславу Леонидовичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек,

входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за « 18 », против « 0 », недействительных бюллетеней « 0 ».

Председатель диссертационного совета  
член-корреспондент РАН

Ученый секретарь диссертационного совета  
канд. физ.-мат. наук

30 ноября 2021 г.



С.В. Гарнов

А.А. Ушаков