

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.015.15, СОЗДАННОГО НА
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», МИНИСТЕРСТВА
ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 18 октября 2018 г. №15

О присуждении Родригесу Веласкезу Гуни, гражданину Мексиканских Соединённых Штатов, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация на тему: «Однопереходные фотовольтаические гетероструктуры на основе нитрида и карбида кремния» по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния принята к защите 14 августа 2018 г. (протокол заседания № 9), диссертационным советом Д 212.015.15 на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Министерства образования и науки Российской Федерации, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85, приказ №310/нк от 11.03.2016 г.

Соискатель Родригес Веласкез Гуни, 1976 года рождения, после окончания магистратуры Белгородского государственного национального исследовательского университета (НИУ «БелГУ») Министерства образования и науки Российской Федерации по специальности «Материаловедение и технология материалов» в 2013 году поступил в очную аспирантуру по направлению подготовки 01.04.07 - физика конденсированного состояния. После окончания аспирантуры продолжил

свою научную деятельность в рамках платной стажировки на кафедре теоретической и математической физики НИУ «БелГУ» с целью завершения работы над диссертацией.

Диссертация выполнена на кафедре теоретической и математической физики НИУ «БелГУ».

Научный руководитель – Захвалинский Василий Сергеевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры общей и прикладной физики НИУ «БелГУ».

Официальные оппоненты:

Немов Сергей Александрович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры технологии и исследования материалов, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (СПбПУ).

Аронзон Борис Аронович, доктор физико-математических наук, Высоккоквалифицированный главный научный сотрудник, Отделение физики твёрдого тела, Физический Институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ) г. Курск, в своем положительном отзыве, подписанном доктором физико-математических наук, профессором, директором Регионального центра нанотехнологий, и утвержденном проректором по научной работе ЮЗГУ В.В. Бредихиным, указала, что диссертация Родригеса Веласкеза Гуни представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, позволяющие решить проблему создания однопереходных солнечных элементов на основе карбида и нитрида кремния.

Основные результаты исследования опубликованы в 4 работах в международной печати, в изданиях рекомендованных ВАК Министерства

образования и науки Российской Федерации, и содержат полный объем информации, касающейся темы диссертации.

Работы посвящены получению и исследованию наноразмерных плёнок SiC и Si₃N₄ методом вч-магнетронного распыления из твёрдотельных мишеней на подложки p-Si(100) и фотовольтаических гетероструктур на их основе. Основным результатом было получено при исследовании темновых и световых вольт-амперных характеристик на имитаторе солнечного излучения по стандартной методике AM 1.5, где были определены значения КПД солнечных элементов Cu(Ag)/SiC/p-Si(100)/Cu(Ag) и Cu(Ag)/Si₃N₄/p-Si(100)/Cu(Ag), 7.22% и 7.44%, соответственно.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты. Общий объем научных работ, посвященных тематике диссертации, составляет 1,5 усл. печ. л., в том числе в рецензируемых научных изданиях 1,2 усл. печ. л., при этом личный вклад автора составляет более 70%.

Наиболее значительные работы:

1). Zakhvalinskii V.S., Piliuk E.A., Goncharov I. Yu., Simashkevich A.V., Sherban D.A., Bruc L.I., Curmei N.N., Rusu M.I., Rodriguez G.V., Silicon Solar Cells based on pSi/nSi₃N₄ nanolayers, / V.S. Zakhvalinskii, E.A. Piliuk, I. Yu. Goncharov, A.V. Simashkevich, D.A. Sherban, L.I. Bruc, N.N. Curmei, M.I. Rusu, G.V. Rodriguez // Results in Physics. - 2016. – Vol. 6. - P. 39-40.

2). Zakhvalinskii V.S., Abakumov P.A., Kuzmenko A.P., Chekadanov A.S., Piljuk E.A., Rodrigues V. G., Goncharov I.J., Taran S.V. Temperature Influence on the Properties of Thin Si₃N₄ Films / V.S. Zakhvalinskii, P.A. Abakumov, A.P. Kuzmenko, A.S. Chekadanov, E.A. Piljuk, V. G. Rodrigues, I.J. Goncharov, S.V. Taran // Journal of Nano- and Electronic Physics. - 2015. - Vol. 7. - №4. - 04052(2pp).

3). Zakhvalinskii V.S., Piljuk E.A., Goncharov I.Yu., Rodrigues V.G., Kuzmenko A.P., Taran S.V., Abakumov P.A.. RF Magnetron Sputtering of Silicon

Carbide and Silicon Nitride Films for Solar Cells / V.S. Zakhvalinskii, E.A. Piljuk, I.Yu. Goncharov, V.G. Rodrigues, A.P. Kuzmenko, S.V. Taran, P.A. Abakumov // Journal of Nano- and Electronic Physics. - 2014. - Vol. 6. - №3. - 03062(3pp).

4). Zakhvalinskii V. S., Goncharov I. Yu., Kudryavtsev E. A., Piluk E. A., Kolesnikov D. A., Rodrigues V. G., Kabilov Z. A., Taran S. V., and Kuzmenko A. P. RF-Magnetron Sputtering of Si_3N_4 and Study of $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{p-Si}$ Heterostructures / V. S. Zakhvalinskii, I. Yu. Goncharov, E. A. Kudryavtsev, E. A. Piluk, D. A. Kolesnikov, V. G. Rodrigues, Z. A. Kabilov, S. V. Taran, and A. P. Kuzmenko // Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics. - 2014. - Vol. 9. - P.570-575.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Анкудинова Александра Витальевича, д.ф.-м.н., старшего научного сотрудника, лаборатории физико-химических свойств полупроводников, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук. **Отзыв положительный.** Имеется 2 замечания:

- 1) Автореферат содержит некоторое количество опечаток в тексте.
- 2) В первой главе следовало больше внимания уделить принципам работы и различным конструкциям солнечных элементов.

2. Соболева Валентина Валентиновича, д.ф.-м.н., декана факультета «Математика и естественные науки» ФГБОУ ВО Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова. **Отзыв положительный.** Имеется 2 замечания:

- 1) Автореферат содержит некоторое количество опечаток в тексте.
- 2) Результаты, представленные в главе 4 и посвящённые карботермическому восстановлению диоксида кремния и получению тонких плёнок SiC, требуют дальнейших исследований и углублённого анализа.

3. Арушанова Эрнеста Константиновича, д.ф.-м.н., профессора, академика АН Молдовы, Зав. Лабораторией Материалов для Фотовольтаики и Фотоники, Института Прикладной Физики Академии Наук Молдовы. **Отзыв положительный.** Имеются замечания:

1) Автореферат содержит некоторое количество опечаток в тексте, в частности в главе 4.

2) Результаты, посвящённые карботермическому восстановлению диоксида кремния, представленные в главе 4, и получению тонких плёнок SiC этим методом, требуют дальнейших исследований.

4. Маренкина Сергея Федоровича, д.х.н., профессора, Главного научного сотрудника ИОНХ РАН. **Отзыв положительный.** Имеются замечания:

В качестве замечаний данной работы следует отметить наличие опечаток и не точных определений. Например, в «основных задачах» п.4 и п. 5 карбид кремния перепутан с нитридом, п.6 и п.9 идентичны. В «научной новизне» п.5 «тонкая плёнка Si_3N_4 состоит из аморфного и микрокристаллического состояния...» и в этом же предложении «расчеты... показывают, что Si_3N_4 нанокристаллиты...». На ТЭМ изображении отсутствует масштаб. Ссылки на рисунки 4 и 5 идут после самих рисунков, разрядность на рисунках отличается и т.д.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью и высокой квалификацией в широком круге научных вопросов по теме диссертационной работы, подтверждаемой наличием научных публикаций.

Официальный оппонент **Немов С.А.** – ведущий специалист в области физики конденсированного состояния, в области исследования кинетических и оптических свойств полупроводниковых материалов.

Официальный оппонент **Аронзон Б.А.** – ведущий специалист в области исследования свойств полупроводниковых монокристаллических и композитных материалов, тонких плёнок и гетероструктур.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ) г. Курск, имеет в своём составе Региональный центр нанотехнологий и располагает квалифицированным составом сотрудников, занимающихся исследованиями по тематике рассматриваемой диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан новый подход к созданию однопереходных солнечных элементов на основе карбида и нитрида кремния на подложках p-Si (100);

предложены способы создания однопереходных солнечных элементов методом ВЧ-магнетронного неактивного напыления на основе наноразмерных плёнок Si_3N_4 и SiC;

доказана перспективность использования ВЧ-магнетронной технологии для создания фотовольтаических приборных гетероструктур.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что область пространственного заряда в гетероструктурах $\text{Cu}(\text{Ag})/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{p-Si}(100)/\text{Cu}(\text{Ag})$ и $\text{Cu}(\text{Ag})/\text{SiC}/\text{p-Si}(100)/\text{Cu}(\text{Ag})$ расположена преимущественно в Si, наличие барьера на границе Si / Si_3N_4 и Si / SiC составило 0.9÷1.0 эВ, а эффективность преобразования солнечной энергии превысила 7 %.

применительно к проблематике диссертации результативно и эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов, **использован** комплекс существующих базовых методов исследования морфологии и фазового состава тонких плёнок, темновых и световых вольт-амперных характеристик, а так же метод АМ 1.5 исследования на имитаторе солнечного излучения;

изложены способы повышения относительной площади поверхности плёнок карбида и нитрида кремния и, следовательно, улучшения поглощения солнечного света плёнками карбида и нитрида кремния;

раскрыты особенности получения гетероструктур на основе тонких плёнок карбида и нитрида кремния методом ВЧ-магнетронного напыления;

изучено влияние температуры подложки в процессе ВЧ-магнетронного напыления на свойства плёнок карбида и нитрида кремния.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

определены возможности практического использования ВЧ-магнетронного напыления для получения однопереходных солнечных элементов на основе смешанных аморфных и нано и/или микрокристаллических плёнок, полученных методом ВЧ-магнетронного напыления;

представлены результаты разработки солнечного элемента на основе гетероструктуры $\text{Cu(Ag)/Si}_3\text{N}_4/\text{p-Si(100)/Cu(Ag)}$, защищённые патентом на изобретение.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены с использованием современного сертифицированного и поверенного оборудования; исследования по методике АМ 1.5 были проведены на имитаторе ST 1000; результаты обладают воспроизводимостью и подтверждены большой статистической выборкой;

идея базируется на анализе практики и обобщении передового промышленно-экспериментального опыта в области создания солнечных элементов и фотовольтаических гетероструктур;

использованы сравнения данных фотовольтаических свойств разработанных в диссертационной работе гетероструктур с результатами известных аналогов и показано, что полученные солнечные элементы имеют перспективы повышения эффективности;

установлено, что результаты диссертационной работы не противоречат основным положениям полупроводникового материаловедения, согласуются с данными, представленными в независимых источниках, и развивают их;

использованы современные методики сбора и обработки информации, средства математической обработки экспериментальных результатов.

Личный вклад соискателя состоит в:

постановке цели и задач исследования, непосредственном участии в получении экспериментальных данных, их обработке и интерпретации,

формулировке выводов и рекомендаций, личном участии в апробации результатов исследования, участии в подготовке публикаций по выполненной работе.

Диссертация Родригеса В.Г. является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения, имеющие существенное значение для развития солнечной энергетики, представляет научный и практический интерес и полностью соответствует требованиям п. 9 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатской диссертации.

На заседании 18 октября 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Родригесу Веласкесу Гуни ученую степень кандидата физико-математических наук.


При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 8 докторов наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния» (физико-математические науки), участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 18, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного совета,
д. ф.-м. н., профессор

 Колобов Ю. Р.

Ученый секретарь диссертационного совета,
д. ф.-м. н.



 Внуков И. Е.

18.10.2018 г.