

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.173.03,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА  
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 25 июня 2019 г., протокол № 2

О присуждении Чернову Артёму Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

**Диссертация** «Исследование и разработка оптоволоконного микро-оптоэлектромеханического кремниевого фотовольтаического датчика давления» по специальности 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах» принята к защите 22 апреля 2019 г., протокол № 3, диссертационным советом Д 212.173.03 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, создан на основании приказа № 766/нк от 05.11.2013 г.

**Соискатель** Чернов Артём Сергеевич 1988 года рождения, в 2012 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», выдан диплом магистра техники и технологии по направлению «Электроника и микроэлектроника со специализацией «Электронные приборы и устройства сбора, обработки и отображения информации». В 2015 году освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет». С 2011 года и по настоящее время работает инженером на предприятии микроэлектронного проектирования Общество с ограниченной ответственностью «СибИС» (ООО «СибИС»), деятельность которого посвящена разработке современных микроэлектронных изделий и микроэлектромеханических устройств (МЭМС).

Диссертация выполнена в компании ООО «СибИС» в рамках Федеральной Целевой Программы «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008-2015 годы озаглавленной «Исследование перспективных конструкций и технологических принципов формирования оптоэлектронных приборов нового поколения (кремниевый фотоэлектрический датчик давления)», по Государственному контракту №14.430.12.0005 от 30.09.2013 и предусматривала создание экспериментального образца нового типа датчика давления с использованием микро-, опто-, электромеханических эффектов.

**Научный руководитель** доктор технических наук, профессор Гридчин Виктор Алексеевич, профессор кафедры полупроводниковых приборов и микроэлектроники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

**Научный консультант** доктор химических наук, Васильев Владислав Юрьевич, профессор кафедры полупроводниковых приборов и микроэлектроники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

**Официальные оппоненты:**

1) Корляков Андрей Владимирович, доктор технических наук, директор Научно-образовательного центра "Нанотехнологии" Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»;

2) Нестеренко Тамара Георгиевна, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, доцент отделения электронной инженерии, Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности, Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский Томский политехнический университет";

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ), г. Омск, **в своем положительном отзыве**, подписанном Левченко Валерием Ивановичем, кандидатом технических наук, заместителем заведующего кафедры радиотехнических устройств и систем диагностики ОмГТУ, Козловым Александром Геннадьевичем, доктором технических наук, доцентом,

профессором кафедры радиотехнических устройств и систем диагностики, и утвержденном Косых Анатолием Владимировичем, доктором технических наук, профессором, ректором ФГБОУ ВО ОмГТУ, указала, что диссертация А. С. Чернова «Исследование и разработка оптоволоконного микрооптоэлектромеханического кремниевого фотовольтаического датчика давления» является завершённой самостоятельной научно-квалификационной работой, выполненной на достаточно высоком уровне. Диссертация полностью соответствует паспорту специальности 05.27.01 «Твёрдотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах» (пункты 2, 3, 4 из паспорта специальности). Автором самостоятельно проведена трудоёмкая и обширная работа, затрагивающая несколько областей знаний, среди которых теория упругости, технология микропрофилирования, фотоника, оптика, сенсорика, технологии МЭМС и КМОП. Представленные в работе результаты исследований достоверны, рекомендации по их применению и выводы обоснованы, публикации достаточно полно отражают основные положения и содержание работы. Результаты работы внедрены и в достаточной степени апробированы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Диссертация соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», а её автор А. С. Чернов, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 «Твёрдотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Соискатель имеет 11 опубликованных работ по теме диссертации в том числе: 5 статей - в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендуемых ВАК РФ, 6 статей - в материалах научно-технических конференций, 2 патента РФ на изобретение и 1 патент РФ на полезную модель.

#### **Наиболее значимые работы:**

1. Гридчин В.А. Численное моделирование элементов фотовольтаического волоконно-оптического сенсора давления [Текст] / В. А. Гридчин, В. Ю. Васильев, М. А. Чебанов, А. Д. Бялик, А. С. Чернов // Нано- и микросистемная техника. - 2014. - № 6. - С. 3-7.

2. Бялик А.Д. Экспериментальное исследование осевой составляющей диаграммы направленности излучения многомодового оптоволоконного [Текст] / А. Д. Бялик, В. А. Гридчин, В. Ю. Васильев, А. Н. Игнатов, А. С. Чернов // Вестник СибГУТИ. - 2015. - № 2. - С. 191-197.

3. Чернов А.С. Исследование закономерностей формирования 3D островковых структур Si(100) при травлении в водном растворе КОН [Текст] / А. С. Чернов, М. А. Чебанов, В. А. Гридчин, В. Ю. Васильев // Нано- и

микросистемная техника. - 2015. – № 9 (182). – С. 34–38.

4. Чернов А.С. Фоточувствительный элемент для сенсора давления с оптической пространственной модуляцией [Текст] / А. С. Чернов, А. Л. Самородов, С. П. Хабаров, В. А. Гридчин // Нано- и микросистемная техника - 2016. – Т. 18, № 7. – С. 416–423.

5. Чернов А.С. Моделирование оптомеханического узла фотовольтаического сенсора давлений [Текст] / А. С. Чернов, В. А. Гридчин, А. Д. Бялик // Омский научный вестник. – 2017. – № 1. – С. 96–100.

6. Chernov A.S. A numerical simulation of the photoelectric pressure sensor optomechanical unit [Текст] / A. S. Chernov, V. A. Gridchin // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2018) = Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2018): тр. 14 междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 2–6 окт. 2018 г. : в 8 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – Т. 1, ч. 1. – С. 58-61. - ISBN (NSTU) 978-5-7782-3614-1.

7. Chernov A.S. 2D Modeling of photoelectric part of silicon pressure sensor [Текст] / A. S. Chernov, M. A. Chebanov, A. D. Byalik, V. A. Gridchin, V. Y. Vasilyev // The 15th international conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM 2014) : proc., Altai, Erlagol, 30 June – 4 July 2014, IEEE, 2014. – P. 67-71. – DOI: 10.1109/EDM.2014.6882479.

8. Chernov A.S. A study of 3D boss structure formation in anisotropic etching of Si (100) in aqueous KOH [Текст] / A. S. Chernov, M. A. Chebanov, V. A. Gridchin, V. Y. Vasilyev, A. D. Byalik // 16th International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM) : [proc.], Altai, Erlagol, 29 June – 3 July 2015. – IEEE, 2015. – P. 83-86. - DOI: 10.1109/EDM.2015.7184494.

9. Чернов А.С. Физическая верификация сенсора давления с оптической модуляцией сигнала [Текст] / А. С. Чернов, В. А. Гридчин // 1 Annual Russian national conference on nanotechnologies, nanomaterials and microsystems technologies, NMST–2016 = 1 ежегодная Российская национальная конференция с международным участием по нанотехнологиям, наноматериалам и микросистемной технике, НМСТ–2016: conf. proc., Novosibirsk, Sedova Zaimka, 26–29 June 2016. – Novosibirsk: NSTU, 2016. – P. 211–214. - ISBN 978-5-7782-2849-8.

10. Chernov A.S. Verification of Pressure Sensor With Optical Spatial Modulation [Текст] / A. S. Chernov, V. A. Gridchin // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2016): тр. 13 междунар. конф., Новосибирск, 3–6 окт. 2016 г. : в 12 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. –

Т. 1. - С. 34–37. - (Электронно-физическая). - ISBN 978-5-7782-2991-4 978-5-7782-2992-5 (т.

11. Chernov A.S. Analytical model of photoelectric pressure sensor [Текст] / A. S. Chernov, V.A. Gridchin // The 18 International conference on micro/nanotechnologies and electron devices, EDM 2017: proc., Altai, Erlagol, 29 June – 3 July 2017. – Novosibirsk: NSTU, 2017. – P. 37-40. - ISBN 978-1-5090-6687-2.

12. Фотовольтаический сенсор давления [Текст]: пат. 167677 U1 Рос. Федерация МПК G01L 11/02 / Чебанов М. А., Чернов А. С., Гридчин В. А., Васильев В. Ю.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "СибИС" (ООО "СибИС") (RU). – № 2016134647; заявл. 24.08.2016; опубл. 10.01.2017, Бюл. № 1. – 5 с.: ил.,

13. Амплитудный волоконно-оптический сенсор давления [Текст]: пат. 2589946 C1 Рос. Федерация МПК G01L 11/00 / Бялик А.Д., Чернов А. С., Чебанов М. А., Гридчин В. А., Васильев В. Ю.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "РАМИТ" (ООО "РАМИТ") (RU). – № 2015113564/28; заявл. 13.04.2015; опубл. 10.07.2016, Бюл. № 19. – 7 с.: ил.

14. Амплитудный волоконно-оптический сенсор давления [Текст]: пат. 2573708 C1 Рос. Федерация МПК G01L 11/02 / Бялик А.Д., Чернов А. С., Чебанов М. А., Гридчин В. А., Васильев В. Ю.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "РАМИТ" (ООО "РАМИТ") (RU). – № 2014130309/28; заявл. 22.07.2014; опубл. 27.01.2016, Бюл. № 3. – 5 с.: ил.

**На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы (все положительные):**

1. Шевченко Вадима Петровича, кандидата технических наук, "Научно-исследовательского и конструкторского института радиоэлектронной техники" - филиала Акционерного общества "Федеральное научно-производственный центр "Производственное объединение "Старт" имени М.В. Проценко", начальника отдела специальных измерительных преобразователей.

Замечания: В тексте автореферата отсутствуют разъяснения обозначений в ряде аналитических выражений. Встречаются стилистические опечатки и неточности.

2. Пай Владимира Васильевича, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института гидродинамики им. М.А.

Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук, исполняющего обязанности заведующего Лаборатории динамических воздействий.

Замечаний нет.

3. Шестерикова Евгения Викторовича, кандидата технических наук, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук, заместителя директора по инновационному направлению "Радиофотоника".

Замечания. Проведенная оценка нелинейности преобразовательной характеристики для образцов датчиков в диапазоне измеряемых давлений от 0 до 6.5 атм. не охватывает весь диапазон давления, обозначенный от 0 до 20 атм. Не приведены сравнительные параметры разработанного оптоволоконного микро-оптоэлектромеханического кремниевого фотовольтаического датчика давления с характеристиками подобных преобразователей давления в России и за рубежом. Нет публикаций автора по теме диссертации в зарубежных рецензируемых изданиях.

4. Камаева Геннадия Николаевича, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук.

Замечания. На стр.13 автореферата не совсем корректно проведено описание для аналитических выражений по определению отклонения свободного конца оптоволоконна для одноточечной и двухточечной схем. Так, для случая одноточечной схемы приведено описание параметра «L», которого нет в формуле, но отсутствует описание присутствующего в этой же формуле параметра «l». Для случая двухточечной схемы параметр «l» определяется как «вторая точка приложения силы». Параметр «l» для случая одноточечной схемы и параметр «l» для случая двухточечной схемы – это одна и та же величина? В работе используются разные единицы измерения. Если давление в тексте и на осях рисунков дано в кПа, то чувствительность в тексте на стр. 17 и по оси Y на рис. 7 дана в мВ/атм. Целесообразно, все – таки представлять единицы измерения в единой системе единиц СИ. На стр. 17 некорректно дана ссылка на рис. 6. Из текста автореферата не совсем ясно, на какой диапазон рабочих давлений рассчитаны разрабатываемые датчики давления. В тексте имеется незначительное количество орфографических и пунктуационных ошибок.

5. Чеснокова Дмитрия Владимировича, кандидата технических наук, доцента кафедры физики Федерального государственного бюджетного

учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Институт оптики и оптических технологий.

Замечания: небрежности в оформлении и отличающиеся от требований стандарта написание обозначений единиц измерений.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** их широкой известностью в области исследования полупроводниковых приборов и создания различных сенсорных систем на их основе, близостью решаемых ими научных и прикладных задач к тематике диссертационной работы и способностью оценить научную и практическую ценность диссертации.

Доктор технических наук, директор Научно-образовательного центра "Нанотехнологии" Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» Корляков Андрей Владимирович и кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, доцент отделения электронной инженерии, Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности, Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский Томский политехнический университет" Нестеренко Тамара Георгиевна, известны своими работами по разработке и исследованию полупроводниковых приборов и различных датчиков, применению фотодиодов и оптоволоконных элементов, исследованием электромеханических сенсоров, актюаторов и микро-электромеханических систем, их конструктивных элементов и материалов, включая технологические аспекты, математическое моделирование и условий эксплуатации; имеют большое количество публикаций по тематике, близкой к тематике диссертационной работы Чернова А.С., и могут оценить актуальность выбранной темы, обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизну (перечень последних публикаций см. на сайте [https://www.nstu.ru/files/dissertations/svedeniyapublikacii\\_korlyakovav\\_bez\\_pechati\\_156051451148.pdf](https://www.nstu.ru/files/dissertations/svedeniyapublikacii_korlyakovav_bez_pechati_156051451148.pdf) и [https://www.nstu.ru/files/dissertations/svedeniya\\_ob\\_opponente\\_nesterenko\\_bez\\_pechati\\_156051481651.pdf](https://www.nstu.ru/files/dissertations/svedeniya_ob_opponente_nesterenko_bez_pechati_156051481651.pdf)).

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет» является одним из ведущих университетов физико-технического профиля в России. Направления исследований его включают прикладные и фундаментальные разработки в области микроэлектроники, оптики и

сенсорики. Коллектив кафедры радиотехнических устройств и систем диагностики ФГБОУ ВО ОмГТУ, возглавляемый доктором технических наук Козловым Александром Геннадьевичем, хорошо известен в научном сообществе своими научными и практическими результатами в области разработки различных датчиков, применения фотодиодов и оптоволоконных элементов, моделирования характеристик оптомеханических сенсоров.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработаны** образцы оптоволоконных микро-оптоэлектромеханических кремниевых фотовольтаических датчиков давления с двухточечной схемой нагружения на базе отечественной микроэлектронной технологии. Проведены базовые измерения преобразовательных характеристик образцов датчиков в диапазоне давлений от 0 до 6,5 атм. в интервале температур – 40 до 85 °С. Показано, что возможно построить оптоволоконные микро-оптоэлектромеханические кремниевые фотовольтаические датчики давления с линейной зависимостью температурного коэффициента чувствительности.

**Научная новизна исследования обоснована тем, что:**

**проведена** разработка оптоволоконного микро-оптоэлектромеханического кремниевое фотовольтаического датчика давления, исследованы одноточечная и двухточечные схемы нагружения оптоволокна, а также возникающие в процессе создания датчика проблемы и предложены варианты их решения;

**на основании** совокупности конструктивно-технологических решений, результатов моделирования и отечественных технологических процессов впервые созданы экспериментальные образцы малогабаритного самогенерирующего составного оптоволоконного микро-оптоэлектромеханического кремниевое фотовольтаического датчика давления с двухточечной схемой нагружения, включающего кремниевые кристаллы – оптомеханический и фотовольтаический узлы, соединяемые перпендикулярно друг с другом с помощью направляющих во вспомогательных V-канавках и сквозных отверстий, на конструкцию которых получен патент на полезную модель;

**аналитически и экспериментально показано,** что температурная зависимость функции преобразования фотовольтаического узла с дифференциальным включением может быть различной при работе в режимах холостого хода и короткого замыкания. Предпочтительным является режим короткого замыкания, как имеющий слабую зависимость от



температуры. Предложена и реализована соответствующая измерительная схема;

**проведено** исследование характеристик фоточувствительных элементов фотовольтаического узла и кремниевого фотовольтаического датчика давления в интервале температур от  $-40$  до  $85$  °С. Установлено, что знак температурной зависимости чувствительности разработанных кремниевого фотовольтаического датчика давления положителен в интервале температур от  $-40$  до  $+85$  °С и может быть близок к нулю без применения специальных схем компенсации. Проведенные исследования показали соответствие результатов моделирования оптомеханического узла и экспериментальных результатов образцов датчиков давления.

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

**определена** совокупность алгоритмов, конструктивных, технологических и топологических решений необходимых для последующего проектирования оптоволоконных микро-оптоэлектромеханических кремниевых фотовольтаических датчиков давления по отечественным микроэлектронным технологиям, с использованием специфических для МЭМС технологических операций, являющихся основой для проведения дальнейших разработок и опытно-конструкторских работ;

результаты работы нашли свое **практическое применение** при выполнении научно-исследовательской работы «Исследование перспективных конструкций и технологических принципов формирования оптоэлектронных приборов нового поколения (кремниевый фотоэлектрический датчик давления)», по лоту шифр «2013-132-14-426-0006», 2013-2015, шифр заявки «2013-132-14-426-0006-001» в обществе с ограниченной ответственностью «СибИС» (Новосибирск);

результаты, полученные в диссертации, **внедрены** на предприятии Акционерное общество «НЗПП с ОКБ», и будут использованы при выполнении научно исследовательских опытно-конструкторских разработок в области МЭМС-технологий; и также нашли свое применение в учебном процессе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на кафедре ППиМЭ, что подтверждается актами внедрения;

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**  
**для экспериментальных работ:**

результаты получены с применением стандартного поверенного измерительного оборудования, характеризуются высокой

воспроизводимостью производственных технологических процессов, применяемых для изготовления кристаллов, и повторяемостью полученных результатов на десятках образцов. Данные измерений и исследований многократно воспроизводились и анализировались. При экспериментальных исследованиях использована современная измерительная аппаратура и современные методы анализа с применением стандартных методик;

параметры чувствительного элемента согласуются с теоретическими представлениями теории упругости и сопротивления материалов; идея базируется на обобщении передового опыта отечественных и зарубежных исследований в области создания датчиков рефлекторного типа, датчиков давления с волоконно-оптическими решетками Брэгга, и датчиков с использованием фотовольтаического эффекта.

**Личный вклад соискателя** состоит в разработке конструкций и создании лабораторных образцов датчиков, проведении математического моделирования, разработке маршрута и фотошаблонов, участия в изготовлении, в подготовке и проведении экспериментов, обработке и анализе получаемых результатов, формулировании выводов и положений, выносимых на защиту, в подготовке совместно с соавторами публикаций по выполненной работе.

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития микросистемной техники, а также изложены новые научно обоснованные технологические решения, и соответствует п. 9. Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 25 июня 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Чернову А.С. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.27.01, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту нет человек, проголосовали: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – 1.

Заместитель пред  
диссертационног  
Ученый секретар  
диссертационног



Драгунов Валерий Павлович

Остертак Дмитрий Иванович

25 июня 2019 г.