

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 № 3

О присуждении Кузнецову Виталию Анатольевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Электронные транспортные и тензорезистивные свойства композитов с углеродными наноструктурированными материалами и халькогенидов переходных металлов» 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 Кузнецов Виталий Анатольевич 1990 года рождения, в 2011 году окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет», получив степень бакалавра техники и технологии по направлению «Нанотехнология». В 2013 году окончил очную магистратуру в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет», получив степень магистра по направлению подготовки 210100 – Электроника и нанoeлектроника, и специальное звание

Магистр-инженер. В 2016 году завершил обучение по программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на кафедре Полупроводниковых приборов и микроэлектроники по специальности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах». В настоящее время работает в должности инженера I категории в Лаборатории физики низких температур Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института неорганической химии им. А. В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук.

Диссертация выполнена на кафедре Полупроводниковых приборов и микроэлектроники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» и в Лаборатории физики низких температур и Лаборатории синтеза кластерных соединений и материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института неорганической химии им. А. В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Бердинский Александр Серафимович, кафедра Полупроводниковых приборов и микроэлектроники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», доцент.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, профессор Романенко Анатолий Иванович, Лаборатория физики низких температур Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института неорганической химии им. А. В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук, главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

- 1) Кульбачинский Владимир Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва, физический факультет, кафедра физики низких температур и сверхпроводимости, профессор;

- 2) Гурин Сергей Александрович, кандидат технических наук, Закрытое акционерное общество «Медтехника», г. Пенза, отдел метрологии, заместитель начальника отдела;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное унитарное предприятие «Сибирский научно-исследовательский институт авиации имени С. А. Чаплыгина» (ФГУП «СибНИА им. С. А. Чаплыгина»), г. Новосибирск, **в своем положительном отзыве**, подписанном Серьёзным Алексеем Николаевичем, доктором технических наук, профессором, председателем Научно-технического совета ФГУП «СибНИА им. С. А. Чаплыгина», Николаевым Владимиром Николаевичем, доктором технических наук, ученым секретарем Научно-технического совета ФГУП «СибНИА им. С. А. Чаплыгина», и утвержденном Барсуком Владимиром Евгеньевичем, кандидатом технических наук, директором ФГУП «СибНИА им. С. А. Чаплыгина», **указала, что** диссертационная работа Кузнецова Виталия Анатольевича «...содержит решение важной научно-практической задачи по разработке физических и технических основ создания новых композиционных сенсорных элементов на основе наноструктурированных материалов. Диссертация по своему содержанию соответствует специальности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах» (по техническим наукам – пункты 3 и 5 паспорта специальности) и пунктам 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Диссертационная работа «Электронные транспортные и тензорезистивные свойства композитов с углеродными наноструктурированными материалами и халькогенидов переходных металлов» является завершенным самостоятельным научным квалификационным исследованием, а ее автор Кузнецов Виталий Анатольевич

заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Соискатель по теме диссертации имеет 12 публикаций в научных изданиях, из них 3 работы в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ, и 9 работ в сборниках статей и тезисов научных конференций.

Наиболее значимые работы:

1. Kuznetsov, V. A. Film $\text{Mo}_{0.95}\text{Re}_{0.05}\text{S}_2$ as a strain-sensing element / V. A. Kuznetsov [et al.] // Sensors and Actuators A-Physical. – 2015. – Vol. 226. – P. 5-10.
2. Кузнецов, В. А. Электронный транспорт и тензорезистивный эффект в пленках разупорядоченных одностенных углеродных нанотрубок на подложках из полиэтилентерефталата / В. А. Кузнецов [и др.] // Журнал Структурной Химии. – 2018. – Т. 59. – № 4. – С. 943-950.

В переводной версии журнала:

- Kuznetsov, V. A. Electron Transport and Piezoresistive Effect in Single-Walled Carbon Nanotube Films on Polyethylene Terephthalate Substrates / V. A. Kuznetsov [et al.] // Journal of Structural Chemistry. – 2018. – Vol. 59, N 4. – P. 905-912.
3. Кузнецов, В. А. Композиционные тензорезистивные материалы на основе матрицы полибензимидазола / В. А. Кузнецов [и др.] // НАНОИНДУСТРИЯ. – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 48-58.
 4. Kuznetsov, V. A. Strain-sensing Element Based on Layered Sulfide $\text{Mo}_{0.95}\text{Re}_{0.05}\text{S}_2$ / V. A. Kuznetsov [et al.] // Microelectronics, Electronics and Electronic Technology MEET / Ed. P. Biljanović – Opatija, Croatia: IEEE, 2015. – P. 15-18.
 5. Кузнецов, В. А. Тензочувствительность Массива Разупорядоченных Одностенных УНТ на Полимерной Подложке / В. А. Кузнецов [и др.] // First Annual Russian National Conference on Nanotechnologies, Nanomaterials and Microsystems Technologies NMST-2016 / под ред. А. V. Gridchin – Sedova Zaimka, Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University, 2016. – С. 47-49.

6. Kuznetsov, V. A. Piezoresistive Effect in Composite Films Based on Polybenzimidazole and Few-Layered Graphene / V. A. Kuznetsov [et al.] // Microelectronics, Electronics and Electronic Technology / Ed. P. Biljanović – Opatija, Croatia: Croatian Society for Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics - MIPRO, 2017. – P. 27-30.
7. Kuznetsov, V. A. Composite Films of Polybenzimidazole Matrix with Graphene Filler as Strain-Sensing Elements / V. A. Kuznetsov [et al.] // 12th International Forum on Strategic Technology (IFOST) / Ed. C.-M. Park – Vol. 1 – Ulsan, S.Korea: University of Ulsan, 2017. – P. 63-66.
8. Кузнецов, В. А. Тензорезистивный эффект в композитах малослойный графен – полибензимидазол / В. А. Кузнецов [и др.] // Вторая российская конференция Графен: молекула и 2D-кристалл / под ред. А. В. Окотруб – Новосибирск, 2017. – С. 126.
9. Кузнецов, В. А. Электронный транспорт в композитах малослойный графен – полибензимидазол / В. А. Кузнецов [и др.] // III Байкальский материаловедческий форум / под ред. Е. Г. Хайкина – Т. 2 – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2018. – С. 77-79.

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

1. Мельниковой Наталии Васильевны, доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории новых материалов и перспективных технологий Сибирского физико-технического института имени академика В. Д. Кузнецова федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Замечания. К незначительному недостатку автореферата можно отнести некоторую неуверенность в интерпретации экспериментальных результатов. Например, во фразе «...для всех композиционных образцов наблюдается прыжковая проводимость с переменной длиной прыжка, которая, в частности, может быть описана, например, в рамках теории Эфроса-Шкловского...» я считаю лишними употреблять слова «в частности» и «например», поскольку наблюдаемые эффекты хорошо описываются этой моделью.

2. Пономарева Александра Николаевича, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории физики нелинейных сред Федерального государственного бюджетного учреждения науки ИФПМ СО РАН. Замечаний нет.

3. Антонова Андрея Андреевича, кандидата технических наук, инженера-конструктора 2 категории Общества с ограниченной ответственностью "СибИС".

Замечания. К недостаткам данной работы можно отнести утверждение об отсутствии «значительной» деградации тензорезистивных характеристик при 100000 циклов деформации. В заключении указано, что электросопротивление при нулевой деформации изменяется менее чем на 4%, но для одного типа образцов, для остальных не приведено числовых значений. Также, несмотря на большой объём проведённых исследований, не определены параметры материалов в расширенных диапазонах нагрузок для оценки границ применимости данных материалов для создания тензочувствительных элементов.

4. Кузнецова Владимира Львовича, кандидата химических наук, главного научного сотрудника, руководителя Лаборатории наноструктурированных углеродных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук». Замечаний нет.

5. Балаева Дмитрия Александровича, доктора физико-математических наук, директора Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения Федерального исследовательского центра Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук и Шайхутдинова Кирилла Александровича, кандидата физико-математических наук, заведующего лабораторией сильных магнитных полей Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения Федерального исследовательского центра

Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук. Замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью в областях создания и исследования новых функциональных материалов, тензорезисторов и датчиков на их основе, в области физики низкоразмерных систем, близостью решаемых научных и прикладных задач к задачам, решаемым в диссертации, а также способностью оценить научную и практическую значимость диссертации.

Область научных интересов и направления исследований Кульбачинского Владимира Анатольевича связаны с электронными транспортными свойствами объектов различной морфологии и структуры в области низких и высоких температур, в том числе с исследованиями локализации электронов в системах пониженной размерности.

Сфера научных интересов и тематика исследований Гурина Сергея Александровича связаны с разработкой тензорезисторов и датчиков на их основе, исследованиями их эксплуатационных характеристик и измерениями метрологических параметров, а также с вопросами использования датчиков в жестких условиях эксплуатации.

В Федеральном государственном унитарном предприятии «Сибирский научно-исследовательский институт авиации имени С. А. Чаплыгина» занимаются проблематикой по теме диссертационной работы Кузнецова Виталия Анатольевича, а именно: разработкой и созданием тензорезисторов; использованием методов тензометрии для исследований статической и усталостной прочности и устойчивости материалов и образцов авиационных конструкций; стандартными статическими и циклическими испытаниями образцов материалов на растяжение, сжатие и изгиб при нормальной и повышенной температуре; испытаниями образцов материалов и элементов конструкций в условиях, моделирующих реальные эксплуатационные воздействия.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны подходы к созданию тензорезистивных элементов на основе электропроводящих композиционных материалов, представляющих собой полимерную матрицу полибензимидазола с малослойным графеном и графитовыми нанопластинами в качестве наполнителей, неупорядоченные массивы одностенных углеродных нанотрубок на подложках полиэтилентерефталата, а также поликристаллические пленочные образцы халькогенида переходного металла;

установлены оптимальные с точки зрения функциональных тензорезистивных свойств условия получения композиционных материалов, а также определены их основные эксплуатационные характеристики.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

изучены температурные зависимости электросопротивления исследуемых объектов, и на основании их анализа **установлены** механизмы электронного транспорта в них, а также **получена** дополнительная информация об их морфологии;

выявлена природа тензорезистивного эффекта в композитах с углеродными наноструктурированными материалами и халькогенидов переходных металлов.

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

установлен ряд положительных свойств тензорезистивных элементов на основе электропроводящих композиционных материалов, представляющих собой полимерную матрицу полибензимидазола с углеродными наноструктурированными наполнителями, что наряду с относительной простотой получения таких материалов делает их перспективными для создания конкурентоспособных тензорезисторов на их основе;

определены эксплуатационные характеристики данных композитов: коэффициент тензочувствительности композитов с малослойным графеном и графитовыми нанопластинами – соответственно 15 и 13; относительно малые величины механического гистерезиса; слабая температурная зависимость электросопротивления; большое сопротивление ползучести;

показана устойчивость тензорезистивных элементов на основе данных композитов к длительным циклическим знакопеременным нагрузкам –

коэффициент тензочувствительности не изменяется как минимум до 100 000 циклов нагрузки при деформации $\pm 0,14\%$;

установлена независимость тензочувствительности данных тензорезистивных элементов от влажности воздуха вплоть до 100% относительной влажности при комнатной температуре;

установлена независимость коэффициента тензочувствительности данных тензорезистивных элементов от концентрации проводящей фазы в исследованном диапазоне концентраций – от 0,25 до 2,00% (масс.) малослойного графена и от 17 до 45% (масс.) графитовых нанопластин – что позволит варьировать электросопротивление композитов и получать значения электросопротивления тензорезисторов сопрягаемые с измерительной аппаратурой;

результаты работы **использованы** в рамках научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ Федерального государственного унитарного предприятия «Сибирский государственный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт метрологии» (ФГУП «СНИИМ») и в рамках научно-исследовательской деятельности Общества с ограниченной ответственностью «Карбон Тех».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ:

результаты получены с использованием систематизированного подхода с привлечением зарекомендовавших себя стандартных экспериментальных методов и с применением метрологически аттестованных контрольно-измерительных приборов высокого класса точности, а также с учетом стандарта по определению характеристик приклеиваемых тензорезисторов VDI/VDE/GESA 2635.

электронные транспортные свойства всех объектов исследования находятся в согласии с теоретическими представлениями и опубликованными в литературе экспериментальными работами;

результаты исследования тензорезистивных свойств находятся в согласии с теоретическими представлениями об эффекте в подобных объектах и с опубликованными в литературе экспериментальными работами, а также

находятся в согласии с установленными механизмами электронного транспорта;

полученные результаты многократно воспроизводились и анализировались.

Личный вклад соискателя состоит в создании экспериментальных образцов халькогенида переходного металла состава $\text{Mo}_{0,95}\text{Re}_{0,05}\text{S}_2$, подготовке и проведении экспериментов по характеристике объектов исследования, разработке конструкций и изготовлении экспериментальных установок, подготовке и проведении экспериментов, обработке и анализе полученных экспериментальных данных, формулировке выводов и положений, выносимых на защиту, а также в подготовке совместно с соавторами материалов и написании публикаций по теме диссертации.

На заседании 25 июня 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Кузнецову Виталию Анатольевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 8 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 – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – 2.

Заместитель председателя

диссертационного совета

Валерий Павлович Драгунов

Ученый секретарь

диссертационного

Дмитрий Иванович Остертак

25 июня 2019 г.