

ОТЗЫВ

официального оппонента Гурина Сергея Александровича на диссертацию Кузнецова Виталия Анатольевича на тему «Электронные транспортные и тензорезистивные свойства композитов с углеродными наноструктурированными материалами и халькогенидов переходных металлов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Актуальность темы диссертации

На сегодняшний день развитие электронной промышленности непрерывно связано с созданием новых преобразователей физических величин (сенсоров), базирующихся на применении перспективных функциональных материалов, а также совершенствованием уже имеющихся изделий. Их область применения неуклонно расширяется. Одной из таких областей является гибкая электроника, где активно развивается направление по созданию тензорезистивных элементов. Требования, предъявляемые к тензорезистивным элементам гибкой электроники, не в состоянии обеспечить классические металлические и полупроводниковые тензорезисторы. Материалы чувствительных элементов должны иметь высокие значения предельной деформации на линейном участке зависимости напряжение-деформация и другие механические характеристики.

Диссертационная работа Кузнецова В.А. посвящена созданию и исследованию электронных транспортных и тензорезистивных свойств композитов на основе наноструктурированных слоистых материалов – углеродных материалов и халькогенидов переходных металлов, где в качестве матрицы выступает полибензимидазол. Основная цель исследований направлена на выработку научно обоснованного подхода создания элементов сенсорной электроники с применением таких композиционных материалов.

Помимо безусловной актуальности связанной с расширением механических характеристик, благодаря применению исследуемых материалов, актуальность работе придает использование полибензимидазола отличающегося максимальными температурами устойчивости выходных характеристик, что позволит расширить область применения в область высоких температур.

Научная новизна, достоверность основных выводов, рекомендаций и результатов работы

Научная новизна результатов, полученных в диссертационной работе, заключается в следующем.

1. Определен электронный транспорт в композитах полибензимидазол – малослойный графен от 0,25 до 2,00 % (масс.) и полибензимидазол – графитовые нанопластины от 17 до 45 % (масс), который имеет один и тот же механизм, связанный с туннелированием между полуметаллическими частицами наполнителя через диэлектрические полимерные прослойки.

2. Изучен тензорезистивный эффект в полученных экспериментальных образцах композиционных материалов на основе матрицы полибензимидазола с малослойным графеном и графитовыми нанопластинами. Выявлено, тензочувствительность таких композитов не зависит от размеров частиц проводящей фазы в исследованных диапазонах концентраций.

3. Исследован тензорезистивный эффект в пленках, представляющих собой неупорядоченные массивы одностенных углеродных нанотрубок на подложках на основе полиэтилентерефталата. В диапазоне деформаций $\pm 0,14$ % экспериментальные образцы проявляют отрицательную тензочувствительность.

4. Определены условия получения дисперсий частиц халькогенидов переходных металлов $\text{Mo}_{0,95}\text{Re}_{0,05}\text{S}_2$ для формирования из них поликристаллических образцов. Установлен вклад межзёренных границ в удельное электросопротивление поликристаллических образцов халькогенидов переходных металлов $\text{Mo}_{0,95}\text{Re}_{0,05}\text{S}_2$, который изменяется в зависимости от метода их получения.

Ценность для науки и практики

В диссертационной работе получены следующие практически значимые результаты:

- Определены условия создания электропроводящих композитов на основе частиц малослойного графена и графитовых нанопластин в матрице полибензимидазола. Установлены диапазоны концентраций содержания данных частиц, которые составили от 0,25 до 2,00 % (масс.) для малослойного графена и от 17 до 45 % для графитовых нанопластин.

- Определены значения ТКС композитов полибензимидазол – малослойный графен (ОПБИ-МСГ) от 0,25 до 2,00 % (масс.) и полибензимидазол – графитовые нанопластины (ОПБИ-ГНП) от 17 до 45 % (масс.). Для композитов ОПБИ-МСГ-2,00 и ОПБИ-ГНП-45 в диапазоне температур от -50 до 100 °C величина ТКС не превышает $0,0010 \text{ K}^{-1}$ и $0,0007 \text{ K}^{-1}$ соответственно; при комнатной температуре ТКС соответственно равны $-0,0006 \text{ K}^{-1}$ и $-0,0004 \text{ K}^{-1}$.

- Установлены коэффициенты тензочувствительности исследуемых материалов и определены основные характеристики тензорезистивного эффекта. Для композитов ОПБИ-МСГ и ОПБИ-ГНП коэффициент тензочувствительности равен 15 и 13 соответственно и не меняется как минимум 100000 циклов знакопеременной нагрузки при деформации $\pm 0,14$ %. Коэффициент тензочувствительности пленок одностенных углеродных нанотрубок на подложках на основе полиэтилентерефталата отрицательный и равен -14 . Коэффициент тензочувствительности образцов халькогенидов переходных металлов $\text{Mo}_{0,95}\text{Re}_{0,05}\text{S}_2$ получаемых распылением дисперсией равен 12.

Несомненный практический интерес вызывает высокотемпературное применение исследуемых композитов, где прослеживается возможность замены полупроводниковых и металлических тензорезисторов, достигающих свои предельные параметры, в системах с критическими перегрузками, где имеют место разрушения тензорезисторов. Причем, основные характеристики тензорезистивного эффекта, полученные по результатам диссертационной работы, уже находятся на уровне с применяемыми аналогами.

В качестве практической ценности применения полимерных композиционных материалов необходимо отметить то, что такие материалы являются, пожалуй, единственно возможными вариантами элементов для гибкой электроники.

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы подтверждается корректным использованием известных аналитических методов, систематизированным подходом к исследованиям и воспроизводимостью полученных результатов. Автор критически подходит к изучению и анализу опубликованных экспериментальных и теоретических положений других авторов со схожими работами. Полученные данные не противоречат опубликованным в литературе экспериментальным исследованиям и теоретическим представлениям об изученных в работе эффектах.

Достоверность полученных экспериментальных результатов, обеспечена использованием современного аналитического оборудования и методик проведения исследований.

Результаты, полученные в диссертационной работе были использованы в научно-технической деятельности ООО «Карбон тех», а также запланированы к использованию в рамках НИОКР ФГУП «СНИИМ».

Общая характеристика диссертационной работы

Диссертационная работа Кузнецова В.А. изложена на 124 страницах машинописного текста, включает введение, четыре главы с выводами и заключение. Излагаемый материал содержит 70 рисунков, 6 формул и 4 таблицы. По теме диссертационной работы имеются 3 публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, в том числе 1 статья в зарубежном научном журнале, индексируемом Web of Science, и 1 статья в российском журнале, переводная версия которого индексируется Web of Science. Основные результаты обсуждались на 10 международных и Всероссийских научных конференциях.

Постановка задач, сравнительный анализ, выбранные критерии принятия решений и ограничения в должной степени аргументированы.

Материал диссертационной работы изложен логично, в грамотном научном стиле, аккуратно оформлен. Текстовый и графический материал носят информативный характер.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Замечания по работе

1. Во второй главе посвященной получению композитов на основе частиц малослойного графена и графитовых нанопластин в матрице полибензимидазола автор подробно описывает полученные характеристики образцов, но не затрагивает вопрос воспроизводимости этих характеристик по предложенным режимам.

2. В четвертой главе рассматривающей тензорезистивный эффект в композитах с наноструктурированными материалами, автор ограничился исследованием тензорезистивных свойств композитов на основе частиц малослойного графена.

3. Автор в диссертационной работе приводит значения коэффициента тензочувствительности, ТКС, а также усталостных характеристик. Между тем для более полной информации о работе тензорезисторов в условиях высоких температур нужны данные по температурному коэффициенту тензочувствительности (ТКЧ).

4. Тензорезистивные свойства композитов на основе частиц малослойного графена и графитовых нанопластин в матрице полибензимидазола исследованы в диапазоне деформаций $\pm 0,14$ %, однако интерес вызывают исследования тензорезистивных свойств указанных композитов при условиях предельных деформаций в рамках гибкой электроники.

Отмеченные недостатки не снижают общего благоприятного впечатления от полученных результатов диссертационной работы. Диссертация Кузнецова В.А. представляет собой законченный научно-исследовательский труд, в котором решена задача по исследованию электронных транспортных и тензорезистивных свойств композитов с углеродными наноструктурированными материалами и халькогенидов переходных металлов.

Заключение

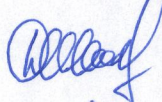

В целом представленная диссертационная работа «Электронные транспортные и тензорезистивные свойства композитов с углеродными наноструктурированными материалами и халькогенидов переходных металлов» соответствует пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, а соискатель, Кузнецов Виталий Анатольевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

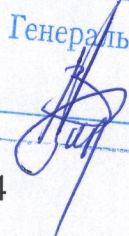
Официальный оппонент
Заместитель начальника отдела метрологии
Закрытого акционерного общества «Медтехника»,
кандидат технических наук
по специальности 05.27.01 –
«Твердотельная электроника,
радиоэлектронные компоненты,
микро- и нанoeлектроника,
приборы на квантовых эффектах»

Сергей Александрович Гурин

Адрес: 440018, Россия, г. Пенза, ул. Средняя, 9,
Закрытое акционерное общество «Медтехника»,
Отдел метрологии
Телефон: 8 (8412) 68-29-51
Адрес электронной почты: medteh58@yandex.ru

Подпись
кандидата технических наук С.А. Гурина
удостоверяю

Преступил в совет 07.06.2019 
Одновременно 07.06.2019 

Генеральный директор

В.В. Наумкин

4

