

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования “Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)”

д.г.н., доц. Шестопапов М.Ю.

« 4 » мая 2017 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования “Санкт-Петербургский Государственный Электротехнический Университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)” на диссертационную работу Молодых Анатолия Андреевича «Полупроводниковый сульфид самария и тензорезисторы на его основе», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Актуальность темы

Актуальность данного исследования связана с тем, что соединения на основе редкоземельных элементов (РЗЭ) представляют интерес - как с научной точки зрения, так и в связи с практическими применениями. Наличие внутренних 4f-оболочек РЗЭ с различной степенью заполнения электронами приводит к возникновению в этих материалах большого числа уникальных эффектов. Для полупроводниковых материалов на основе моносulfида самария характерно наличие, с одной стороны, ярко выраженных изоструктурных фазовых переходов полупроводник-металл, сопровождающихся изменением валентного состояния ионов самария, а с другой – большого по величине и изотропного тензорезистивного эффекта, а также термовольтаического эффекта, который активно изучается в настоящее время.

Тензо- и барорезисторы являются одними из наиболее широко применяемых на практике приборов для проведения прочностных исследований материалов и конструкций. Полупроводниковые тензорезисторы обладают наибольшей чувствительностью к деформации и давлениям. Тензорезисторы на основе сульфид самария (SmS) являются наиболее оптимальными среди полупроводниковых по своим эксплуатационным параметрам. Они превосходят все другие существующие материалы по чувствительности, линейности характеристик, радиационной

стойкости, восприимчивости к магнитным полям, а также обладают высокой термостойкостью (температура плавления сульфида самария составляет $\sim 2300^\circ\text{C}$). В последние годы эти материалы находят применение для изготовления чувствительных элементов датчиков физических величин резистивного типа. Изучаются возможности их использования в термоэлектрических устройствах и газоанализаторах.

Таким образом, тема работы, несомненно, является актуальной и тесно связанной с общероссийскими и отраслевыми комплексными программами развития науки и техники. В свете ориентации экономики на импортозамещение, особый интерес представляют тензорезисторы и тензодатчики на основе SmS.

Новизна исследований и полученных результатов, достоверность научных положений и выводов.

В диссертационной работе Молодых А.А. получены следующие новые результаты:

1. Показано, что основными примесными уровнями в тонких поликристаллических пленках SmS являются уровни, соответствующие локализованным состояниям вблизи дна зоны проводимости и примесные донорные уровни $E_i = 0,042\text{eV}$, соответствующие ионам Sm, находящимся в вакансиях подрешетки S. «Хвост» локализованных состояний при этом простирается от дна зоны проводимости до энергии этих примесных донорных уровней E_i .

2. Установлено, что в тонких поликристаллических пленках EuS структура примесных уровней вблизи дна зоны проводимости аналогична таковой у тонких поликристаллических пленок SmS. Разница заключается в значительно большей, чем у SmS, глубине их залегания ($E_i = 0,45\text{eV}$).

3. Впервые измерены величины барического сдвига примесных донорных уровней E_i в монокристалле и поликристаллической тонкой пленке при всестороннем сжатии. Различие в величинах барических сдвигов примесных уровней в тонких пленках и монокристаллах объясняется влиянием упругих свойств материала подложки.

4. Продемонстрировано, что уменьшение электросопротивления тонкопленочного тензорезистора на основе SmS полировкой сопровождается незначительным уменьшением коэффициента тензочувствительности.

5. Впервые показано, что при использовании твердого раствора $\text{Sm}_{1-x}\text{Eu}_x\text{S}$ в качестве чувствительного слоя тонкопленочного тензорезистора наибольшим значением коэффициента тензочувствительности обладают образцы с содержанием европия $x = 0,22 \div 0,50$.

6. Обнаружено, что термовольтаический эффект может возникать в образце SmS стехиометрического состава при наличии в нем деформации, созданной давлением сферического индентора.

Рекомендации по использованию результатов работы.

Результаты работы могут быть использованы при изготовлении полупроводниковых тензорезисторов и датчиков различных механических величин в ФТИ им. А.Ф.Иоффе, НПО им. С.А.Лавочкина, ИФТПС СО РАН, ИАЭ им. И.В.Курчатова, ЦКТИ им. Ползунова ООО «СмС тензотерм Рус», ООО «ВЕС-Т», а также других учреждениях, занимающихся этими проблемами.

Достоверность.

Достоверность и надежность результатов обеспечивается сопоставлением теоретических выводов и модельных расчетов с экспериментальными результатами и высоким качеством анализируемых в работе экспериментальных данных, полученных с помощью стандартных методики. Таким образом, основные выводы и результаты, полученные в диссертационной работе, научно обоснованы и их следует считать достоверными.

Научная и практическая значимость результатов

Работа является законченным научным исследованием и выполнена автором самостоятельно на достаточно высоком уровне. Проведённое исследование можно характеризовать как законченное и обоснованное. Полученные научные данные обеспечивают решение важных прикладных задач в области создания высокочувствительных датчиков механических величин.

Практическое значение проведенных исследований подтверждено внедрением разработанных технологий в ООО «СмС тензотерм Рус» и ИФТПС СО РАН.

По теме диссертации имеется 7 печатных работ в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, и материалах двух конференций, 1 патент на изобретение РФ.

Общая оценка диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. На основе литературного обзора, изложенного в первой главе, автором сформулированы основные задачи диссертационной работы, полностью решенные в последующих главах. Работа является логически связанной и написана языком, доступным широкому кругу специалистов, оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ к оформлению диссертаций, содержит достаточное число иллюстраций и таблиц.

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания, касающиеся полноты и четкости изложения материала по отдельным вопросам.

1. Научные положения, выносимые на защиту, сформулированы не совсем удачно: слишком длинны, содержат избыточную информацию, что затрудняет восприятие основной идеи.

2. В качестве экспериментальных образцов были выбраны тонкие поликристаллические пленки SmS, напыленные на стеклянную подложку. Однако нет данных для сравнения с другими подложками, хотя в параграфах 4.2 и 5.4 это было бы уместно.

3. Хотелось бы увидеть прямое сопоставление тензорезисторов на основе сульфида самария с аналогичными приборами на основе кремния (рабочие параметры и стоимость).

4. Желательна более подробная теоретическая интерпретация зависимости величины тензочувствительности от состава твердого раствора $\text{Sm}_{1-x}\text{Eu}_x\text{S}$, приведенной в работе.

Перечисленные замечания ни в коей мере не снижают новизну и качество проведённой работы, а диссертационная работа Молодых А.А. в целом оставляет благоприятное впечатление.

Заключение

Диссертационная работа Молодых А.А. является законченным научным исследованием, имеющим важное научное и практическое значение для развития нового поколения датчиков физических величин и разработок для создания термоэлектрических преобразователей на основе сульфида самария и материалов на его основе. Основные результаты работы достаточно полно отражены в публикациях, докладывались на научных конференциях и хорошо известны специалистам. Сделан доклад на заседании кафедры Микро- и наноэлектроники СПбГЭТУ “ЛЭТИ” им. В.И. Ульянова (Ленина) (протокол № 4 заседания от 24 апреля 2017 года, присутствовало 47 сотрудников из 53 человек списочного состава). Диссертационная работа одобрена. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Считаем, что диссертационная работа Молодых А.А. соответствует требованиям п.9 положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 (ред. от 30.07.2014), а её автор, Молодых Анатолий Андреевич, достоин присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.10 - физика полупроводников.

Зав. каф. Микро- и наноэлектроники.
д.т.н., профессор

В.В.Лучинин

Ученый секретарь кафедры,
к.ф.-м.н., доцент

О.А.Александрова