

## Отзыв

официального оппонента кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры общей и технической физики Санкт-Петербургского горного университета

**Иванова Алексея Сергеевича**

на диссертационную работу

**Молодых Анатолия Андреевича**

**«Полупроводниковый сульфид самария и тензорезисторы на его основе»,**

представленную в диссертационный совет Д 002.205.02 при Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников

Полупроводниковые материалы, в состав которых входят редкоземельные элементы, обладают уникальными свойствами, и занимают особое место в исследованиях фундаментальных закономерностей физики твердого тела. Кроме того, в последнее время, в связи с развитием технологии получения высококачественных материалов, соединения на основе редкоземельных элементов находят применение в многочисленных прикладных областях. Одним из таких соединений является сульфид самария и твердые растворы на его основе. Исследуемые материалы обладают рядом уникальных свойств и нашли применение в производстве тензорезисторных датчиков всевозможных механических величин, разработке термоэлектрических преобразователей и газоанализаторов.

Изучение диссертантом свойств SmS под действием различных по характеру механических воздействий (всестороннее сжатие, одноосная деформация, механическая полировка, давление сферического индентора), в широком диапазоне температур, а также их комбинации, расширило представление об особенностях поведения электрических свойств этого материала. Таким образом, рецензируемая работа является актуальной, она соответствует общему направлению исследований в области физики редкоземельных полупроводников в России и за рубежом.

Работа соискателя состоит из введения, пяти глав и выводов. Она содержит 128 страниц, включая 44 рисунка, 8 таблиц.

Во введении диссертант чётко сформулировал цели и задачи исследования и обосновал выдвигаемые на защиту научные положения.

В литературном обзоре проанализированы основные источники, посвящённые особенностям редкоземельных полупроводников в целом и сульфиду самария, в частности, зонной структуре, электрическим свойствам, а также фазовым переходам в сульфиде самария. Приведены общие сведения о тензорезисторах и современном состоянии дел в этой отрасли. Конец данной главы посвящен современному состоянию дел в исследованиях термоэлектрических свойств SmS.

Глава 2 достаточно полно описывает методику изготовления экспериментальных образцов, а также описывает методику эксперимента

В Главах 3-5 излагаются результаты, полученные диссертантом в процессе выполнения работы. Отметим наиболее **значимые из них**:

1. Показано, что основными примесными уровнями в тонких поликристаллических пленках SmS являются уровни, соответствующие локализованным состояниям вблизи дна зоны проводимости и примесные донорные уровни  $E_i = 0,042 eV$ , 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. Обнаружено, что в тонких поликристаллических пленках EuS структура примесных уровней вблизи дна зоны проводимости аналогична таковой у тонких поликристаллических пленок SmS. Разница заключается в глубине их залегания ( $E_i = 0,45 eV$ ).

3. Показано, что при использовании твердого раствора  $Sm_{1-x}Eu_xS$  в качестве чувствительного слоя тонкопленочного тензорезистора, наибольшим значением коэффициента тензочувствительности обладают образцы с содержанием европия  $x = 0,22 \div 0,50$ .

4. Впервые экспериментально доказано, что различие в величинах барических сдвигов примесных уровней в тонких пленках и монокристаллах объясняется влиянием упругих свойств материала подложки.

5. Доказано, что при нагреве образца SmS стехиометрического состава, один край которого подвергается деформации, созданной давлением сферического индентора, может возникать термовольтаический эффект.

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

7. Продемонстрировано, что при тестировании тензорезисторов на основе SmS имеется возможность замены измерения коэффициента тензочувствительности путем приклеивания их на деформируемую балку измерением барического коэффициента всестороннего сжатия в жидкой или газообразной среде с последующим расчетом величины  $K$ . Последнее позволяет сохранить тензорезистор для последующих исследований.

Всё выше сказанное говорит о **большой научной и практической значимости** рецензируемой работы. Выдвигаемые А.А. Молодых на защиту научные положения являются новыми. Диссертант впервые получил ряд интересных результатов.

Однако имеются следующие **замечания** по содержанию и оформлению диссертационной работы:

- Как схематически выглядят экспериментальные тонкопленочные образцы § 4.2.
- В диссертации достаточно подробно отражено изготовление образцов, однако, остается неясным, кто именно их делал.
- Чем технологически отличается изготовление тонкопленочных структур на константане и стекле.
- При чтении диссертации некоторые утверждения автора не всегда сформулированы доходчиво и лаконично. Например, формулировка пункта «Цель и основные задачи» на стр. 6 требует некоторых пояснений.

Сделанные замечания не являются принципиальными и не снижают общего хорошего впечатления о работе. Диссертантом проведена серьезная экспериментальная работа, основные результаты которой прошли апробацию на конференциях и опубликованы в ведущих научных журналах, получен грант и премия губернатора Санкт-Петербурга.

Считаю, что по актуальности темы, новизне полученных результатов, научной и практической значимости диссертация как научно-

квалификационная работа полностью отвечает требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата технических наук, в том числе критериям II раздела Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, № 842, а ее автор, **Молодых Анатолий Андреевич**, заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Доцент кафедры общей и технической физики  
Санкт-Петербургского горного университета,  
кандидат технических наук, доцент

  
Иванов А.С.

3 мая 2017