

**Отзыв официального оппонента**  
 на диссертационную работу  
 Степанова Николая Николаевича  
**«Электрические свойства и фазовые переходы в редкоземельных соединениях при высоких давлениях»**,  
 представленную на соискание ученой степени  
 доктора физико-математических наук  
 по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Николая Николаевича Степанова посвящена изучению барических зависимостей электрических характеристик (электропроводности, термоЭДС, тензорезистивного эффекта) и фазовых превращений в халькогенидах, пниктидах и боридах лантаноидов.

Выбор объектов исследования объединяет тот факт, что в этих материалах *4f*-оболочки редкоземельных элементов не перекрываются и формируют в запрещённой зоне соединений систему «легирующих» локализованных состояний.

Различная степень заполнения *4f*-оболочек электронами обеспечивает ряд эффектов, связанных с магнитными, электронными, изоструктурными фазовыми превращениями, инициируемыми воздействием температуры, давления и степенью легирования, в них наблюдаются процессы, характерные для Кондо-систем или состояний с промежуточной валентностью катионов.

Можно уверенно утверждать, что научные исследования, проведенные Н.Н.Степановым, интересны с научной точки зрения и имеют современное значение.

Автор исследования поставил перед собой обширные задачи. В их числе уточнение моделей строения электронных спектров рассматриваемых материалов при всестороннем сжатии. Изучение в широком интервале температур барических зависимостей электропроводности и термоэдс. Выявление возможности получения полупроводникового пниктида *LaBi* и анализ особенностей его электронного транспорта в широких термическом и барическом диапазонах.

Изучение устойчивости валентных состояний ионов  $SmS$  и твердых растворах на его основе при воздействиях давлением.

Важной частью работы является разработка аппаратного и метрологического обеспечения экспериментальных исследований при высоких давлениях.

Поставлены и решены задачи исследования эксплуатационных характеристик и разработка методов контроля тонкопленочных тензо- и барорезисторов из моносulfида самария и твердых растворов на его основе.

Диссертация имеет объем 379 страниц, включая 130 рисунков, 7 таблиц, состоит из введения, шести глав, заключения и списка цитируемой литературы из 306 наименований.

Во введении продемонстрирована актуальность темы исследований, сформулированы цели и основные задачи работы, перечислены основные положения, выносимые на защиту, обоснована достоверность полученных результатов.

*Первая глава* имеет обзорный характер: рассматриваются известные экспериментальные данные по изучению процессов электропереноса и фазовых превращений при температурном и барическом воздействиях, приведены теоретические обоснования строения электронных зонных спектров редкоземельных соединений и их эволюции под воздействием давления.

Приведенное в первой главе описание известных свойств исследуемых материалов вызывает двойственное ощущение. С одной стороны - автор указывает на важное современное значение проводимых исследований, с другой - из почти 190 ссылок только десятков отсылает к работам, сделанным в последнее десятилетие.

На мой взгляд следовало критически оценить рассматриваемые в обзорной главе материалы и сформулировать выводы, обосновывающие развитие исследований и их актуальность.

*Во второй главе* описаны технологии синтеза объемных моно- и поликристаллических и пленочных образцов, методов контроля структуры,

представлено описание аппаратуры высокого давления, разработанной и примененной при проведении экспериментальных исследований.

Наиболее интересные и важные с практической точки зрения результаты связаны с созданием аппаратов высокого давления, перекрывающих при комнатной температуре диапазон гидростатических давлений до 9 ГПа и квазигидростатических – до 35 ГПа. Существенным является вклад автора в создание реперов давления, в частности - на основе монотеллурида самария, испытывающего структурный фазовый переход при 10-12 ГПа.

Вместе с тем за пределами текста работы остались экспериментальные обоснования гидростатичности условий деформирования, не указано влияние скорости деформирования на наблюдаемые эффекты, не анализируются вопросы, связанные с обратимостью наблюдаемых фазовых превращений.

Не понятно, с какой целью проводили измерения электропроводности на переменном токе. Искусственным, на мой взгляд, является и введение в текст раздела 2.5.4 (стр. 123–132) с описанием оценки неоднородности распределения напряженности электрического поля по сечению образца. При проведении исследований в рассматриваемой работе принципиальным является не значение электропроводности, а ее изменение при изменении давления и температуры.

*В третьей и четвертой главах* излагаются результаты исследований в широком интервале температур и давлений электросопротивления, термоэдс и, в отдельных случаях, энергий активации свободных носителей тока в монокристаллах  $LaX$ ,  $SmX$ ,  $TmX$  ( $X=S, Se, Te$ ),  $EuO$ ,  $YbS$ , гексаборидов  $La$ ,  $Sm$ ,  $Eu$ ,  $Yb$ , пниктида  $LaBi$ , металлического  $Yb$ . Полученные результаты позволяют сделать общие заключения о динамике структурных превращений и особенностях изменения электронной структуры в исследованных материалах в изученных диапазонах температур и давлений.

*Пятая глава посвящена* рассмотрению эффектов, обусловленных стабилизацией и сменой валентных состояний редкоземельных элементов под давлением в  $SmS$  и твердых растворах на его основе при комнатной температуре.

Сделано заключение, что фазовый переход в  $SmS$  под давлением обусловлен термической активацией электронов с  $4f$ -уровней самария в зону проводимости и в локализованные  $5d$ -состояния. Изучен процесс разрушения монокристаллов моносulfида самария в результате барического циклирования при фазовом переходе.

*Шестая глава* носит преимущественно прикладной характер и посвящена изучению при температурах 4.2-400 К и давлениях до 1 ГПа особенностей тензорезистивного эффекта, процессов электропереноса и зонной структуры сформированных на различных подложках тонких пленок  $SmS$  и  $EuS$ . Показано, что тензорезистивный эффект в пленках  $SmS$  определяется исходной концентрацией свободных носителей в чувствительном полупроводниковом слое и упругими свойствами подложки. Низкотемпературная граница применимости для тензодатчиков поликристаллических пленок моносulfида самария составляет 150 К.

Завершается работа выводами, в которых суммированы результаты исследования.

При знакомстве с диссертационным исследованием и авторефератом возник ряд замечаний.

1. Замечания, связанные со структурой текста и методиками исследований изложены в тексте отзыва при поглавном анализе работы.
2. Данные по аттестации исследованных образцов, следовало, вероятно, привести во второй главе, а не разбрасывать по тексту. Не ясно, сколько образцов каждой системы было исследовано, насколько велики были отличия между ними.
3. Заключение (22 пункта) содержит перечисление полученных результатов. При этом отсутствуют четко сформулированные выводы, позволяющие понять общие закономерности, выявленные при проведении исследований.

Указанные замечания не меняют общее благоприятное впечатление от диссертационной работы. Автор провел огромный объем экспериментальных исследований, получил важные новые результаты, находящиеся в согласии с опубликованными экспериментальными и теоретическими данными. Текст работы свидетельствует о высокой квалификации диссертанта.

Выводы опираются на анализ экспериментальных данных, корректное описание наблюдаемых явлений и являются обоснованными. Результаты, полученные при проведении исследований, доложены на российских и международных конференциях и опубликованы в печати.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям, представляемым на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а соискатель Николай Николаевич Степанов заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Официальный оппонент,  
директор Школы наук  
Института естественных наук и математики  
Уральского федерального университета им. первого Президента России  
Б.Н.Ельцина, профессор кафедры физики  
конденсированного состояния и наноразмерных систем,  
доктор физико-математических наук, профессор

Бабушкин Алексей Николаевич

620000, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, д.19, УрФУ

Тел./факс +7(343) 3899564

[Alexey.Babushkin@urfu.ru](mailto:Alexey.Babushkin@urfu.ru)

Научная специальность «Физика полупроводников и диэлектриков»