

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института химии им.  
В.И. Никитина Национальной  
академии наук Таджикистана

д.т.н., профессор

Сафаров А.М.

07.01.2021 г.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ИНСТИТУТА ХИМИИ ИМ. В.И. НИКИТИНА НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК ТАДЖИКИСТАНА

Диссертация Назарзода Хайрулло Холназар на тему «Твердые растворы антимонидов и висмутидов редкоземельных элементов» выполнена в лаборатории «Коррозионностойкие материалы» Института химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана.

Назаров Х.Х. в 1998 году окончил факультет химической технологии и металлургии Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими по специальности «Химическая технология неорганических веществ».

Свою трудовую деятельность начал в 1998 году в должности ассистента кафедры Бохтарского государственного университета им. Н. Хусрава.

С 1999 г. по 2006 г. работал в должности старшего преподавателя кафедры Курган-Тюбинского политехнического колледжа.

С 2006 г. по 2021 работал заведующий кафедрой, деканом факультета, ректором и доцентом кафедры Института энергетики Таджикистана.

В 2001 году он начал научную деятельность в качестве соискателя в лаборатории «Коррозионностойкие материалы» Института химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана.

В 2006 году защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Твердые растворы систем  $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$  ( $Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$ ) и  $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$ ».

### Научный консультант:

**Абулхаев Владимир Джалолович** – доктор химических наук, профессор, заместитель директора по науке и образованию Института химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана.

**По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение:**  
Диссертационная работа выполнена на высоком экспериментальном и теоретическом уровне. Основные выводы и положения диссертации достаточно обоснованы обширным экспериментальным материалом, а сама

диссертационная работа является законченным, логически обоснованным научным исследованием в области материаловедения.

Диссертантом впервые в изучено и построено 21 диаграмм состояния систем  $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$  ( $Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$ ),  $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$ ,  $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$  ( $Ln = Pr, Nd, Tb$ ),  $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$  ( $Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$ ),  $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$  ( $Ln = Pr, Nd$ ) и  $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$  ( $Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$ ); выявлены оптимальные условия синтеза твердых растворов указанных систем, а также сплавов систем  $Ln - Bi$  ( $Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$ ); разработаны материалы, проявляющие повышенные магнитные свойства, относительно антимонидов  $Ln_4Sb_3$  ( $Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$ ), висмутидов  $Ln_4Bi_3$  ( $Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Yb$ ) и  $Ln_5Bi_3$  ( $Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$ ).

В результате проведенных исследований Назарзода Х.Х. изучены также концентрационные зависимости электрофизических свойств (удельное электросопротивление, термо-э.д.с.) и микротвердости твердых растворов, соответствующих им системам, при комнатной температуре. Установлено, что твердые растворы и сплавы исследованных систем проявляют металлическую проводимость, относительно низкая их электропроводность объясняется вкладом магнитного удельного электросопротивления в общее удельное электросопротивление.

**Личный вклад соискателя** заключался в анализе научной литературы по тематике диссертационной работы, решение задач исследований, выполненных в соавторстве, определение путей решения поставленных задач, обработке экспериментальных данных, формулировке основных положений и выводов диссертации.

#### **Степень достоверности результатов проведенных исследований.**

Достоверность полученных результатов подтверждается их воспроизводимостью, привлечением современных апробированных методов физико-химического анализа и использованием в работе сертифицированных приборов.

#### **Новизна результатов проведенных исследований.**

Разработаны методы синтеза моноантимонидов  $LnSb$  ( $Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$ ), антимонидов  $Ln_4Sb_3$  ( $Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$ ), моновисмутидов  $LnBi$  ( $Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$ ), висмутидов  $Ln_4Bi_3$  ( $Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$ ),  $Ln_5Bi_3$  ( $Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Nd, Tm, Lu$ ), сплавов и соединений системы  $Ln - Bi$  ( $Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$ ), а также научно-обоснованные методы синтеза твердых растворов  $Gd_{4-x}Ln_xSb_3$  ( $Ln=Pr, Nd, Tb, Dy, Yb; x=0.4\div 3.6$ ),  $Tb_{4-x}Dy_xSb_3; x=0.4\div 3.6$ ),  $Gd_{4-x}Ln_xBi_3$  ( $Ln=Pr, Nd, Tb; x=0.4\div 3.6$ ),  $Gd_{4-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y$  ( $Ln=Pr, Nd, Tb, Yb; x=0.4\div 3.6, y=0.3\div 2.7$ ),  $Gd_5-$

$x\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$ ),  $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$  ( $\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}; x = 0.5 \div 4.5$ ), с воспроизводимыми свойствами, новизна которых отмечена пятью малыми патентами Республики Таджикистан.

По данным дифференциального термического, рентгенофазового и микроструктурного анализов построены диаграммы состояния систем:  $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$ ),  $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$ ,  $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$ ),  $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$ ),  $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$ ) и  $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$  ( $\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$ ), во всем диапазоне концентраций. Это позволило выявить закономерности в их строении, проявляющихся в образовании в них твердых растворов замещения  $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6$ ),  $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$ ;  $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}; x = 0.4 \div 3.6$ ),  $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6, y = 0.3 \div 2.7$ ),  $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$ ),  $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$  ( $\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}; x = 0.5 \div 4.5$ ), изоструктурных с исходными компонентами -  $\text{Ln}_4\text{Sb}_3$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$ ),  $\text{Ln}_4\text{Bi}_3$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$ ),  $\text{Ln}_5\text{Bi}_3$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Nd}, \text{Tm}, \text{Lu}$ ) и кристаллизующихся в кубической сингонии типа  $\text{anti-Th}_3\text{P}_4$ , в гексагональной сингонии типа  $\text{Mn}_5\text{Si}_3$  и ромбической сингонии типа  $\text{Y}_5\text{Bi}_3$ , в однотипности систем, а также определить пределы существования указанных твердых растворов.

Установлена корреляция концентрационных зависимостей электрофизических свойств (удельного электросопротивления и термо-э.д.с.) твердых растворов  $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6$ ),  $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$ ;  $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}; x = 0.4 \div 3.6$ ),  $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6, y = 0.3 \div 2.7$ ),  $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$ ),  $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$  ( $\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}; x = 0.5 \div 4.5$ ) с исследованными диаграммами состояния. Определено, что эти твердые растворы и сплавы системы  $\text{Ln} - \text{Bi}$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$ ) проявляют металлическую проводимость. При этом относительно низкая их электропроводность объясняется вкладом магнитного удельного электросопротивления в общее удельное электросопротивление.

Исследованием магнитных свойств указанных твердых растворов, антимонидов  $\text{Ln}_4\text{Sb}_3$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$ ), висмутидов  $\text{Ln}_4\text{Bi}_3$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$ ),  $\text{Ln}_5\text{Bi}_3$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Nd}, \text{Tm}, \text{Lu}$ ) и сплавов системы  $\text{Ln} - \text{Bi}$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$ ) выявлено, что им свойственна парамагнитная природа. Магнитный порядок как в РЗЭ, так и в антимонидах, висмутидах, твердых растворах и в сплавах систем  $\text{Ln} - \text{Bi}$  ( $\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$ ) устанавливается под действием косвенного обменного взаимодействия через

электроны проводимости, взаимодействием Рудермана-Киттеля-Касуи-Иосиды (РККИ).

Определены парамагнитные температуры Кюри антимонидов, висмутидов, твердых растворов и сплавов систем  $L_n - Bi$  ( $L_n = Pr, Nd, Gd, Tb$ ), эффективные магнитные моменты ионов РЗЭ и оценен тип их магнитного упорядочения.

#### **Практическая значимость работы.**

-антимониды, висмутиды, твердые растворы, сплавы и соединения систем  $L_n - Bi$  ( $L_n = Pr, Nd, Gd, Tb$ ), по электрической проводимости, занимают промежуточное положение между проводниками и полупроводниками, поэтому они могут представить интерес для электронной техники при создании термоэлементов и резисторов;

-для установления влияния f- и d - элементов на физико-химические свойства полупроводников типа  $A^{III}B^V$  (AlSb, GaSb, InSb) определённый интерес представляет использование антимонидов, висмутидов и твердых растворов в качестве добавок в указанные соединения;

- в качестве наконечников для магнитных сверхпроводящих соленоидов;  
- в криогенной технике для повышения магнитного потока в устройствах, работающих не только при температурах жидкого азота, но и при гелиевых температурах;

- антимониды, висмутиды и твердые растворы можно использовать и как добавки в магнитные материалы для повышения магнитной индукции.

Данные по физико-химическим, электрофизическим, магнитным свойствам антимонидов, висмутидов, твердых растворов и диаграммам состояния являются справочным материалом. Этими данными могут пользоваться аспиранты и научные сотрудники в процессе выполнения научных работ. Кроме того, материалы данной диссертационной работы могут использоваться и в учебном процессе при чтении лекций по физической, неорганической химии, физико-химическому анализу и материаловедению.

Акты испытания и подтверждения к диссертационной работе прилагаются, где указывается, что твердые растворы  $Gd_{5-x}Tb_xBi_3$ ,  $Gd_{5-x}Dy_xBi_3$ , ( $x = 0.5 \div 4.5$ ) и  $Gd_{4-x}Tb_xSb_3$  ( $x = 0.4 \div 3.6$ ) являются перспективными магнитными материалами для практического использования их в криогенной технике.

**Оценка выполненной соискателем работы:** Выводы диссертационной работы и опубликованные научные статьи по теме диссертации свидетельствуют о соответствии научной квалификации соискателя Назарзода Х. Х. на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.01 – «Материаловедение (в электротехнике)».

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.** Основное содержание диссертационной работы отражено в 79 публикациях, которые достаточно полно отражают ее содержание, из них 17 в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан.

Диссертационная работа Назарзода Х.Х. на тему «Твердые растворы антимолибидов и висмутидов редкоземельных элементов» соответствует требованиям ВАК при Президенте Республики Таджикистан, а её автор достоин присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.01 – «Материаловедение (в электротехнике)».

Заключение принято на заседании секции Учёного совета по неорганической, органической, физической и прикладной химии Института химии В.И. Никитина НАНТ.

Присутствовало на заседании 22 человек из 33 членов секции. Результаты голосования «за» - 22 чел., «против - нет, «воздержалось» - нет, протокол № 1 от 06 января 2021 г.

Председатель заседания,  
д.т.н., профессор



Сафаров А.М.

Учёный секретарь



Зоидова М.Т.