


УТВЕРЖДАЮ

И.о. заместителя декана
Физического факультета СПбГУ

(должность)


(подпись)

А. В. ТИТОВ

(инициалы, фамилия)

« 02 » 04 2024

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

По итогам рассмотрения и обсуждения
Диссертации Нефедова Дениса Юрьевича
(ф.и.о. соискателя ученой степени)

представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Ученая степень

по теме «ЯМР сплавов Ga-In и Ga-In-Sn в условиях наноконфайнмента»
(тема диссертации)

по научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния
шифр и наименование научной специальности (научных специальностей)

и выполненной в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», кафедра физики твердого тела, год представления 2024
наименование организации и год представления

а также представленных соискателем научных публикаций, в которых излагаются основные научные результаты диссертации, приняты следующие решения, замечания и рекомендации:

Представленная работа является актуальной в виду того, что изучение нанокompозитных материалов является одним из приоритетных направлений исследований в современной физике конденсированного состояния. Интерес к нанокompозитам обусловлен растущим применением этих материалов в микроэлектронике, биотехнологиях, инженерии, оптике, электрохимии и многих других областях науки и техники. Нанокompозитные материалы характеризуются рядом новых свойств и преимуществ по сравнению с их макрокомпозитными аналогами, что обусловлено в первую очередь проявлением размерных эффектов и большой площадью поверхности компонент. На передовом рубеже современной прикладной физики и технологии находятся разработка и использование устройств микро- и наноэлектроники, элементная база которых включает наноструктурированные металлические сплавы в жидком и твердом состоянии, в том числе и галлийсодержащие сплавы.

Основной целью работы являлось исследование особенностей физических свойств галлийсодержащих сплавов в условиях наноконфайнмента методом ЯМР: фазового перехода жидкость-жидкость в бинарном сплаве Ga-In, введенном в поры опаловой матрицы, замедление атомной подвижности в жидком тройном сплаве Ga-In-Sn в нанопористых матрицах и влияние наноконфайнмента на величину сдвига резонансных линий ЯМР, формирование в твердом эвтектическом сплаве Ga-In в порах опаловой матрицы кристаллической фазы со структурой β -Ga.

Научная новизна работы состоит в том, что автором диссертации:

1. Впервые был обнаружен и детально исследован фазовый переход жидкость-жидкость в бинарном расплаве Ga-In, введенном в поры искусственного опала. Фазовый переход был найден в переохлажденном расплаве по аномалиям температурной зависимости сдвига Найта линий ЯМР для изотопов галлия. Впервые выявлено, что фазовая диаграмма бинарного сплава Ga-In в условиях наноконфайнмента имеет существенные отличия от фазовой диаграммы объемного сплава Ga-In. Наблюдалось смещение по концентрации положения эвтектической точки.
2. Впервые было исследовано изменение сдвига Найта линий ЯМР изотопов галлия ^{69}Ga и ^{71}Ga и изотопа индия ^{115}In для тройного жидкого сплава Ga-In-Sn, введенного в поры искусственного опала с диаметром шаров из аморфного кремнезема, равным 210 нм, и пористых стекол с диаметром пор 7, 18 и 25 нм. Было обнаружено уменьшения сдвига Найта для расплава Ga-In-Sn, введенного в поры нанопористых матриц, по сравнению с объемным расплавом. Показано, что уменьшение сдвига Найта коррелирует с размером пор.
3. Впервые для тройного расплава Ga-In-Sn, введенного в нанопористые стекла с размером пор 7 нм, наблюдалось различие частотного сдвига резонансной линии ЯМР для двух изотопов галлия и зависимость частотного сдвига от величины постоянного магнитного поля. Впервые данные особенности были интерпретированы в рамках модели динамического квадрупольного сдвига линии ЯМР.
4. Впервые было исследовано влияние наноконфайнмента на атомную подвижность в расплаве Ga-In-Sn, введенном в нанопористые матрицы с различным размером и геометрией пор. При помощи измерений скорости спин-решеточной релаксации было найдено, что для сплава Ga-In-Sn, введенного в поры искусственного опала с характерным размером силикатных шаров 210 нм и в пористые стекла с диаметром пор 7 и 18 нм, значительно замедляется атомная диффузия и ее замедление усиливается с уменьшением характерного размера пор. Продемонстрирована самосогласованность данных о подвижности, полученных из исследования спиновой релаксации и сдвигов резонансных линий.
5. Впервые были получены прямые доказательства формирования в твердом бинарном сплаве Ga-In, введенном в опаловую матрицу, кристаллической фазы со структурой β -Ga и продемонстрирована стабильность этой фазы в условиях наноконфайнмента. Выявлена температурная область ее существования в порах опаловой матрицы и найдены значения квадрупольной константы в этой области температур.

Научная и практическая значимость данной работы заключается в следующем. Полученная в данной работе научная информация может быть полезной в проектировании новых и улучшении существующих технических устройств, в которых применяются сплавы Ga-In и Ga-In-Sn. В частности, при усовершенствовании простых нетоксичных термометров, солнечных батарей, улучшении качеств жидких хладагентов и теплоносителей, а также при разработке

гибких и деформируемых электронных элементов в таких ультрасовременных областях применения, как создание искусственных мышц и тактильных сенсоров, в жидкой робототехнике, в 3d-печати, наномедицине и многом другом. Результаты данной работы расширяют знания о влиянии наноконфайнмента на физические свойства жидких и твердых металлических эвтектических сплавов и их можно применять в учебном процессе при подготовке специалистов в области нанофизики.

Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждаются использованием проверенных методов получения экспериментальных данных на современном высокоточном оборудовании и методов их обработки, доказавших свою надежность в предыдущих исследованиях, а также воспроизводимостью и согласованностью экспериментальных результатов. Там, где это возможно, достоверность результатов проверяется сравнением с данными других авторов.

Личное участие автора в получении результатов заключается в самостоятельном изучении необходимой литературы по теме диссертации, проведении этапа пробоподготовки непосредственно перед экспериментом, выполнении экспериментальной части работы, обработке экспериментальных результатов, анализе полученных результатов и формулировании выводов исследования. Все основные научные результаты были получены автором самостоятельно.

Полнота изложения материалов диссертации в публикациях и апробация работы. По материалам диссертации опубликованы 6 статей в ведущих международных рецензируемых физических журналах, входящих в перечень ВАК и базы данных РИНЦ, Web of Science и Scopus. Все положения, выносимые на защиту, нашли отражение в публикациях. Результаты работы были доложены на 4 всероссийских и международных конференциях.

Диссертационное исследование Нефедова Дениса Юрьевича «ЯМР сплавов Ga-In и Ga-In-Sn в условиях наноконфайнмента» соответствует паспорту по научной специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния» и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Нарушения со стороны Нефедова Дениса Юрьевича

ФИО соискателя

п. 11 Приказа СПбГУ от «19» ноября 2021 г. №11181/1

не выявлены

не выявлены, выявлены

и Приказа СПбГУ от 03.07.2023 № 9287/1

не выявлены

не выявлены, выявлены

Все основные выносимые на защиту научные материалы диссертации опубликованы в предложенных соискателем статьях.

Коллектив сотрудников кафедры физики твердого тела Физического факультета
СПбГУ

наименование подразделения

рекомендовал

рекомендовал / не рекомендовал / рекомендовал при условии устранения замечаний

диссертацию Нефедова Дениса Юрьевича

ф.и.о. соискателя

по теме «ЯМР сплавов Ga-In и Ga-In-Sn в условиях наноконфайнмента»

тема диссертации

к защите на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

ученая степень

по научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

шифр и наименование научной специальности (научных специальностей)

При проведении голосования коллектива сотрудников кафедры квантовой механики (протокол заседания № 44/12/15-02-8 от 22 декабря 2023 г.) в количестве 14 человек, участвовавших в заседании из 15 человек штатного состава:

Проголосовали «за»: 14,

«против»: 0,

«воздержались»: 0.

Профессор, заведующий кафедрой
физики твердого тела

(должность)

Физический факультет СПбГУ

(наименование структурного подразделения)

доктор физ.-мат. наук

(ученая степень)

профессор

(ученое звание)

С. Ю. Вербин

02.04.2024

(подпись)

Расшифровка подписи, дата

