



УТВЕРЖДАЮ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ

Уральского отделения Российской академии наук

(ИМЕТ УрО РАН)

Амундсена ул., д. 101, г. Екатеринбург, 620016

Тел. (343) 267-91-24, факс (343) 232-91-89

E-mail: admin@imet.mplik.ru

http://www.imet-uran.ru

ОКПО 04683415, ОГРН 1026605246766

ИНН/КПП 6661004301/667101001

Директор Института металлургии УрО РАН
академик РАН, профессор

А.А. Ремпель

«13» декабря 2019 г.

13.12.2019 № 16352-01-6212/686

На _____ от _____

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о диссертационной работе Пискунова Юрия Владимировича «Ядерный магнитный резонанс в сверхпроводящих оксидных соединениях с лестничной и перовскитоподобной структурами», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Ю.В. Пискунова посвящена исследованию методом ядерного магнитного резонанса особенностей зарядовых и спиновых состояний в оксидных сверхпроводниках с лестничной и перовскитоподобной кристаллическими структурами в зависимости от температуры, катионного замещения и внешнего гидростатического давления. Основной акцент в работе сделан на выяснении роли высокого давления и локальных спиновых и зарядовых неоднородностей в формировании сверхпроводящего состояния в квазиодномерных купратах $\text{Sr}_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ и металлооксидах $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}(\text{Sb})_x\text{O}_3$.

Актуальность исследования соединений $(\text{Sr},\text{La})_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ и $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}(\text{Sb})_x\text{O}_3$ обусловлена так до сих пор и нерешенной проблемой высокотемпературной сверхпроводимости в двумерных купратах. Для вышеназванных объектов характерно более простое по сравнению с ВТСП купратами кристаллическое и электронное строение, но в то же время они имеют ряд сходств с последними. Поэтому спиновые лестницы $(\text{Sr},\text{La})_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ и металлооксиды $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}(\text{Sb})_x\text{O}_3$ можно рассматривать как модельные объекты, исследование которых может помочь понять особенности электронного строения ВТСП купратов. К тому же соединения $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}(\text{Sb})_x\text{O}_3$ принадлежат к сверхпроводникам, не содержащим атомы переходных элементов, но обладающих достаточно высокими значениями критической температуры T_c , что также представляет несомненный интерес для исследования.

Практическая значимость работы. В диссертационной работе получило дальнейшее развитие направление ЯМР исследований под предельно высокими для существующих на сегодняшний день сверхпрочных материалов гидростатическими давлениями. Реализован двухчастотный режим работы импульсного спектрометра ЯМР, делающий возможным выполнять исследования с применением метода двойного ядерно-ядерного магнитного резонанса. Данные методики позволяют значительно увеличить объем извлекаемой информации о кристаллической и электронной структуре твердых тел и могут быть применены при исследовании самых разнообразных веществ. Полученные в работе результаты могут быть использованы при построении микроскопических моделей, описывающих природу сверх-

проводимости в ВТСП купратах и в веществах с выраженной зарядовой и спиновой неоднородностью.

Достоверность полученных результатов обеспечивается надежной аттестацией образцов, применением широко апробированных методов записи спектров ЯМР и измерения параметров магнитной релаксации, последующим воспроизведением в ведущих лабораториях мира. По теме диссертации автором опубликовано 20 статей в ведущих рецензируемых зарубежных и российских научных журналах, определенных Перечнем ВАК.

Научная новизна. В качестве новых и наиболее важных результатов можно отметить следующие.

- ♦ Методами ЯМР, включая двойной ядерно-ядерный магнитный резонанс и ЯМР под рекордно высокими гидростатическими давлениями вплоть до $P = 36$ кбар, получены новые данные об особенностях зарядовых и спиновых состояний в оксидных сверхпроводниках с лестничной и перовскитоподобной кристаллическими структурами.
- ♦ Экспериментально установлено наличие в спин-лестничной системе $\text{Sr}_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ кроме триплетных спиновых возбуждений, также квазичастичных возбуждений, обладающих щелью Δ_{qp} .
- ♦ Выяснена роль внешнего давления и катионного замещения в формировании сверхпроводящего состояния в оксидах $\text{Sr}_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ и $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}(\text{Sb})_x\text{O}_3$. Установлена зависимость перераспределения носителей заряда внутри купрата $\text{Sr}_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ от температуры, содержания кальция и давления.
- ♦ Выяснено, что в сверхпроводящем спин-лестничном соединении $\text{Sr}_2\text{Ca}_{12}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ существуют пространственные области, в которых высокая спиновая плотность сосуществует с высокой зарядовой плотностью.
- ♦ Определен механизм фазового перехода металл – сверхпроводник – полупроводник в перовскитах $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}(\text{Sb})_x\text{O}_3$. Развито направление экспериментальных исследований оксидных систем методом двойного резонанса спинового эха с использованием ядер кислорода ^{17}O .

Структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы. Полный объем диссертации составляет 275 страниц, включая 123 рисунка, 7 таблиц и список цитируемой литературы из 256 наименований.

В первой главе приводится краткий литературный обзор кристаллических, электронных и магнитных свойств различных спиновых лестниц. Рассматриваются как экспериментальные факты, так и теоретические представления, касающиеся природы основного состояния этих низкоразмерных соединений в зависимости от катионного легирования и внешнего давления.

Во второй главе дан краткий обзор результатов основных экспериментальных и теоретических исследований, посвященных особенностям кристаллической структуры и электронного строения оксидов $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ и $\text{BaPb}_{1-y}\text{Sb}_y\text{O}_3$. Рассмотрены проблемы, возникшие при определении кристаллической структуры $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ в рентгеноструктурных и нейтронографических исследованиях. Приведены данные измерений параметров, характеризующих электронную структуру металлооксидов $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}(\text{Sb})_x\text{O}_3$ в различных участках их фазовой диаграммы, таких как плотность состояний на уровне Ферми, плотность носителей заряда, величина сверхпроводящей энергетической щели.

В третьей главе приведены сведения о синтезе, обогащении изотопом кислорода ^{17}O и аттестации образцов, использованных в работе. Сообщается об их решеточных параметрах и температурах перехода в сверхпроводящее состояние T_c . Описан способ реализации двухчастотного режима работы импульсного спектрометра ЯМР, позволяющий выполнять эксперименты по двойному ядерно-ядерному магнитному резонансу. Описаны особенности получения высокого гидростатического давления в камерах высокого давления, а также специфика ЯМР-измерений в широком диапазоне температур с использованием этих камер.

Четвертая глава посвящена изучению особенностей зарядовых и спиновых состояний в оксидных сверхпроводниках с лестничной структурой в зависимости от температуры, катионного замещения и внешнего гидростатического давления.

Методом ЯМР подтверждено, что в спин-лестничной системе $\text{Sr}_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ имеется два типа спиновых возбуждений: триплонные и квазичастичные возбуждения, каждое из которых характеризуется энергетической щелью Δ_s и Δ_{qp} соответственно.

Показано, что исчезновение квазичастичной щели Δ_{qp} вызвано индуцированным давлением увеличением подвижности носителей в лестничном слое Cu_2O_3 и, как следствие, диссоциацией квазичастичных пар в спиновой лестнице.

Было установлено распределение носителей заряда внутри купрата $\text{Sr}_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ в зависимости от температуры, содержания кальция и давления. Выяснено, что основная роль высокого гидростатического давления в формировании сверхпроводящего состояния в $\text{Sr}_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ заключается в дополнительном допировании слоя Cu_2O_3 дырками, в диссоциации квазичастичных пар и делокализации носителей.

Было определено, что в сверхпроводящем спин-лестничном соединении $\text{Sr}_2\text{Ca}_{12}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ имеются пространственные области, в которых высокая спиновая плотность сосуществует с высокой зарядовой плотностью.

В результате исследования низкочастотной спиновой динамики оксидов $(\text{Sr},\text{La})_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ выяснен механизм спин-решеточной релаксации ядерных моментов ^{63}Cu и ^{17}O в лестничных слоях этих соединений.

Пятая глава посвящена исследованию искажений кристаллической структуры в $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ в зависимости от Pb-Bi-замещения, локальных зарядовых и спиновых неоднородностей и их роли в формировании сверхпроводящего состояния в соединениях $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ и $\text{BaPb}_{1-y}\text{Sb}_y\text{O}_3$.

Методом ЯМР показано, что в металлооксидах $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ имеют место локальные искажения кристаллической структуры, связанные с поворотами октаэдров $\text{Bi}(\text{Pb})\text{O}_6$ вокруг осей кубической решетки [100] и [110]. Установлено, что в сверхпроводящих и полупроводниковых оксидах $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ тетрагональная и орторомбическая фазы сосуществуют, причем относительные доли этих фаз обратимым образом изменяются с температурой.

Показано как с помощью метода двойного резонанса спинового эха преодолеть принципиальные ограничения, возникающие при исследовании быстрорелаксирующих ядер ^{207}Pb в сверхпроводящих оксидах $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ традиционными одночастотными импульсными методами ЯМР-спектроскопии. В результате установлено, что величина плотности состояний вблизи энергии Ферми, $N(E_F)$, в оксидах $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}(\text{Sb})_x\text{O}_3$ достигает максимума в составах, имеющих близкие к максимальному значения T_c .

Был сделан вывод о том, что в оксидах $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}(\text{Sb})_x\text{O}_3$ при частичном замещении свинца висмутом или сурьмой развивается локально неоднородное по кристаллу состояние электронной системы, заключающееся в том, что в пределах трех первых координационных

сфер вокруг ионов Bi(Sb) формируется повышенная спиновая плотность. Перекрывание этих областей приводит к концентрационным переходам металл – сверхпроводник, сверхпроводник – полупроводник.

В каждой главе диссертации указаны работы, в которых опубликованы результаты исследования, и дано достаточно подробное заключение. В конце диссертации сформулированы общие выводы, которые отражают наиболее важные результаты работы в целом.

По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания.

1. В работе использовались сложные оксиды. Хорошо известно, что физико-химические свойства таких оксидов часто достаточно сильно зависят от кислородной нестехиометрии. В диссертации этот вопрос не обсуждается, хотя на наш взгляд он является весьма важным.
2. В главах 4 и 5 при анализе спин-решеточной релаксации ядер ^{63}Cu , ^{17}O , ^{137}Ba и ^{207}Pb не приведены характерные кривые восстановления намагниченности, что не позволяет судить о качестве их соответствия формулам (3.2) – (3.7).
3. В разделе 5.1 спектр ЯМР ^{137}Ba в $\text{BaPb}_{0.91}\text{Bi}_{0.09}\text{O}_3$ во всем диапазоне температур описывается одиночной линией с параметром асимметрии $\eta = 1$. Из этого, по мнению автора следует, что в диапазоне температур $T = 5 - 500$ К данное соединение имеет кристаллическую решетку тетрагональной симметрии. Однако на фазовой диаграмме в разделе 2.1 (рис. 2.2) соединение $\text{BaPb}_{0.91}\text{Bi}_{0.09}\text{O}_3$ соответствует орторомбической фазе.
4. В работе использовались образцы, обогащенные изотопом кислорода ^{17}O . Концентрация изотопа в них варьировалась в пределах 10 – 15 %. Каким образом автор определял эту концентрацию?
5. В работе утверждается, что сверхпроводимость в металлооксидах $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ возникает в микрообластях, содержащих ионы висмута. Из текста диссертации не вполне ясно электронное состояние этих ионов. Непонятно, каким образом электроны ионов висмута участвуют в образовании повышенной плотности состояний на уровне Ферми.

Отмеченные недостатки не являются принципиальными и не влияют на общую высокую оценку представленной работы. Если оценивать диссертацию по полученным физическим результатам в области физики конденсированного состояния, следует признать, что с этой точки зрения она полностью отвечает квалификационным требованиям к диссертационным исследованиям докторского уровня. К несомненным достоинствам диссертации следует отнести то, что автор в работе использовал широчайший спектр возможностей метода ЯМР в исследовании конденсированного состояния вещества. Кроме «традиционного» ЯМР в работе были использованы некоторые «экзотические» методы магнитного резонанса, а именно: двойной резонанс спинового эха (ДРСЭ) и ЯМР под высоким гидростатическим давлением. Эти методы были впервые применены к исследованным в данной работе веществам. Их использование потребовало нетривиальных аппаратных и технических решений. Все это указывает на высокую квалификацию автора. Работу отличают внутреннее единство, логическая выверенность. Все выводы в достаточной степени обоснованы и соответствуют поставленным задачам. Автореферат полностью отражает содержание и основные научные положения работы.

Работа имеет хорошую апробацию - полученные в диссертации результаты и выводы обсуждались на многочисленных конференциях, совещаниях и семинарах, по результатам исследований опубликовано 20 статей в отечественных и международных журналах, включённых ВАК в Перечень ведущих рецензируемых журналов.

Содержание диссертации Ю.В. Пискунова полностью соответствует пункту 1 «Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, неорганических и органических соединений, диэлектриков и в том числе материалов световодов как в твердом, так и в аморфном состоянии в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления», пункту 3 «Изучение экспериментального состояния конденсированных веществ (сильное сжатие, ударные воздействия, изменение гравитационных полей, низкие температуры), фазовых переходов в них и их фазовые диаграммы состояния» и пункту 6 «Разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами» Паспорта научной специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Диссертация Пискунова Юрия Владимировича «Ядерный магнитный резонанс в сверхпроводящих оксидных соединениях с лестничной и перовскитоподобной структурами» представляет собой научно-квалификационную работу, в которой получены новые результаты. По актуальности темы исследования, научной новизне, практической значимости и достоверности полученных результатов, обоснованности выводов и положений, представленная диссертационная работа соответствует требованиям пункта 9 Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. N 842 "О порядке присуждения ученых степеней" (с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ от 21 апреля 2016г. № 335), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Пискунов Юрий Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Отзыв подготовлен главным научным сотрудником, доктором физ.-мат. наук Светланой Геннадьевной Титовой и ведущим научным сотрудником, доктором физ.-мат. наук Митрофановым Валентином Яковлевичем лаборатории статистики и кинетики процессов ИМЕТ УрО РАН.

Диссертационная работа обсуждена на заседании объединенного научного семинара лаборатории статистики и кинетики процессов ИМЕТ УрО РАН (протокол N8 (235) от 28. 12. 2019.

Главный научный сотрудник,
доктор физ.-мат. наук

Титова С.Г.

Ведущий научный сотрудник
доктор физ.-мат. наук

Митрофанов В.Я.

Тел.: +7(343) 232-91-56

Подписи доктора физ.-мат.наук Титовой С.Г. и доктора физ.-мат.наук Митрофанова В.Я
заверяю:

Ученый секретарь Института металлургии УрО РАН
кандидат химических наук

Долматов А.В.

13.12.2019

С отзывом ознакомлен

17.01.2020

/Пискунов Ю.В./

Сведения о ведущей организации

Полное наименование: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук

Краткое наименование: ИМЕТ УрО РАН

Адрес: 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 101

Телефон: (343) 267-91-24, факс: 267-91-86

E-mail: admin@imet.mplik.ru

Основные научные направления:

- строение и физико-химические свойства металлических и оксидных расплавов и твердых растворов, разработка теории конденсированного состояния вещества;
- теоретические основы пирометаллургических, электротермических, гидрометаллургических, газофазных процессов производства металлов, сплавов металлических порошков композиционных материалов и покрытий, в том числе наноразмерных и объемно наноструктурированных;

Публикации в сфере исследований, которым посвящена диссертация:

1. V. Ya. Mitrofanov, A. Ya. Fishman, D.S. Tsukerblat. Mechanism for nonuniform broadening of the NMR spectrum of orbitally degenerate centers in crystals with mixed-valence ions. JETP Lett.–1994. –V. 59.–P. 45-49.
2. В.Я. Митрофанов, А. Я. Фишман, А. А. Шемяков. Эффект динамического сужения спектра ЯМР ян-теллеровских ионов Mn^{3+} в литиевом феррите. Письма в ЖЭТФ. –1995.–Т. 61.– С. 570-574.
3. В.Я. Митрофанов, В. П. Пашенко, В. К. Прокопенко, А. Я. Фишман, А. А. Шемяков. Спектр ЯМР ян-теллеровских ионов Cu^{2+} в феррошпинелях. ФТТ.–1995. –Т. 37.–С. 1220-1224.
4. M. A. Ivanov, V. Ya. Mitrofanov, A. Ya. Fishman. The NMR Spectrum of Quadrupole Centers in an Antiferromagnet. Appl. Magn. Reson. –1999. –V. 16.–P. 493-498.
5. V. Ya. Mitrofanov, A. Ya. Fishman, A.A. Shemyakov. Dynamic contraction of the NMR spectrum of Jahn-Teller Mn^{3+} ions in a lithium ferrite. JETP Lett.–1995. –V. 81.–P. 581-585.
6. S.A. Uporov, V. Ya. Mitrofanov, O.M. Fedorova, A.M. Yankin. Influence of thermal processing on magnetotransport characteristics of $NdSr_2Mn_2O_{7+\delta}$. Materials Research Bulletin, 2015, V.7; p. 67.
7. A. M. Yankin, A.V. Fetisov, O. M. Fedorova, S.A. Uporov, V.Ya. Mitrofanov, Influence of oxygen non-stoichiometry on physical properties of $NdSr_2Mn_2O_{7+\delta}$. Journal of Rare Earths, 2015, V. 33, p. 282-288.
8. S. A. Uporov, V. Ya. Mitrofanov, O. M. Fedorova, A. Ya. Fishman, Magnetic properties of mechanically activated $SmMnO_3$ powders // Journal of materials science, 2013, V. 48, Issue: 21, p. 7673-7678.T.A.
9. A.Y. Fishman, T.E. Kurennykh, V.Y. Mitrofanov, E.A. Pastukhov, S.A. Petrova, S.A. Uporov, V.B. Vykhodets, R.G. Zakharov, Mechanical Activation of Mn-O Oxides: Structural Phase Transitions, Magnetism and Oxygen Isotope Exchange, Diffusion Foundations 1 (2014) 175-197.
10. S. A. Uporov, V. Ya. Mitrofanov, O. M. Fedorova, A. Ya. Fishman, Magnetic properties of mechanically activated $SmMnO_3$ powders // Journal of materials science, 2013, V. 48, Issue: 21, p. 7673-7678.T.A.
11. S. A. Uporov, V. Ya. Mitrofanov, O. M. Fedorova, A. Ya. Fishman, Magnetic properties of mechanically activated $SmMnO_3$ powders // Journal of materials science, 2013, V. 48, Issue: 21, p. 7673-7678
12. V. Mitrofanov, S. Estemirova, G. Kozhina Effect of oxygen content on structural, magnetic and magnetocaloric properties of $(La_{0.7}Pr_{0.3})_{0.8}Sr_{0.2}Mn_{0.9}Co_{0.1}O_{3+\delta}$ // Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2019, V. 476, P. 199-206.
13. Uporov S., Estemirova S., Bykov V., Mitrofanov V. Magnetic Properties of Al-Gd-TM Glass-Forming Alloys// Metallurgical and Materials Transactions A-Physical Metallurgy and Materials Science. V. 47A. N 1. P. 39-47. 2016.

14. Estemirova S., Mitrofanov V., Kozhina G., Fetisov A. Phase relationship, structural and magnetic properties of Nd-deficient $\text{Nd}_{0.95-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_{2.93}$ (+/-) (δ) Journal of Magnetism and Magnetic Materials. V. 399. P. 32-40. 2016.
15. Merkulov D., Badelin A., Karpasyuk V., Estemirova S. Mechanisms of substituting quadrivalent ions influence on the properties of La-Sr Manganites // Acta Physica Polonica A. 2015. T. 127. № 2. C. 248-250.
16. A.V. Fetisov, G.A. Kozhina, S.Kh. Estemirova, V.Ya. Mitrofanov On the room-temperature aging effects in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ // Physica C: Superconductivity and its Applications, 2015, V. 515, pp. 54-61.
17. S.G. Titova, O.M. Fyodorova, V.F. Balakirev, T.I. Arbuzova, P.P. Pal-Val, L.N. Pal-Val. Structural and Magnetic Study of HTSC with Cu-O Structural Fragments // Physica C: Superconductivity and its Applications, 1994. V. 235-240, pp.2088-2089.
18. S.G. Titova, V.F. Balakirev, P.P. Pal-Val, L.N. Pal-Val and J.T.S.Irvine. Phase transitions and structural instability in HTSC compounds and related phases // Czechoslovak Journal of Physics, 1996, V. 46, Suppl. S3, pp. 1417-1418.
19. S.G. Titova, S.G. Sludnov, V.F. Balakirev, O.M. Fyodorova, T.I. Arbuzova, O.V. Morozova. Phase Diagram of Oxygen Ordering in High Temperature Superconductor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ // Ceramics International, 1996, V. 22, pp.471-475.
20. D.P. Tunstall, S.G. Titova, J.T.S. Irvine and B.J. Mitchell. Yttrium and lead nuclear magnetic resonance investigation of a 1212 superconductor, $\text{Pb}_{(1+x)/2}\text{Cu}_{(1-x)/2}\text{Sr}_2\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_2\text{O}_{7+\delta}$. // Phys.:Condens.Matter., 1998, V. 10, pp. 2539-2550.
21. S.G. Titova, A.N. Titov, D. O. Shorikov, D. I. Kochubez, S. G. Nikitenko, V. F. Balakirev, P. P. Pal'-Val', L. N. Pal'-Val', and T. I. Arbuzova. Phase Separation in High- T_c Superconductors, Copper Oxides, and Related Antiferromagnetic Phases CuO and Y_2BaCuO_5 // Кристаллография, 2002, T. 47, с. 934-938.
22. С.В. Пряничников, С.Г. Титова, Г.А. Калужная, Ю.И. Горина, П.А. Слепухин. Отрицательный коэффициент теплового расширения в высокотемпературном сверхпроводнике $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ // ЖЭТФ. 2008, Т. 134, с. 89-94.
23. Svetlana G. Titova, John T.S. Irvine "Superconductivity Research Developments. 2008, ISBN: 1-60021-848-2, Ed. by James R. Tobin, 240 p.; Chapter 4 - Perspectives of Superconducting Temperature Increase in HTSC Copper Oxides; pp. 93-123.
24. С.В. Пряничников, С.Г. Титова, Л.А. Черепанова, Г.А. Дорогина. Аномалии кристаллической структуры $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ в области температур 80-300 К // Физика твердого тела, 2011, т. 53, с. 1889 – 1894.
25. С.В. Пряничников, С.Г. Титова, Я.В. Зубавичус, А.А. Велигжанин, А.М. Янкин, С.С. Агафонов, Е.В. Яковенко. Немонотонные структурные изменения в ВТСП-керамике Bi-2201 при изменении кислородной нестехиометрии. // ФММ, 2012, Т. 113, с. 821-826.
26. S.G. Titova, A.V. Lukoyanov, S.V. Pryanichnikov, L.A. Cherepanova, A.N. Titov. Crystal and electronic structure of high temperature superconducting compound $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ in the temperature interval 80-300 K. // Journal of Alloys and Comp. 2016. V. 658. p. 891-897.
27. S.G. Titova, A.V. Lukoyanov. Crystal and electronic structure of high-temperature superconductive layered cuprates in temperature interval 100-300 K. // Journal of Superconductivity and Novel Magnetism. V. 31. pp. 1999-2002.

Ученый секретарь Института металлургии УрО РАН,
кандидат химических наук

Долматов А.В.