

«УТВЕРЖДАЮ»
Заместитель директора
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра
проблем химической физики
и медицинской химии

Российской академии наук
д.х.н. Бадамшина Э.Р.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра проблем химической физики
и медицинской химии Российской академии наук (ФИЦ ПХФ и МХ РАН)
(142432, Московская обл., г. Черноголовка, проспект Академика Семенова, д. 1,
адрес сайта: <https://www.icp.ac.ru/>)

Диссертация «Физико-химические основы создания эффективных водород-аккумулирующих материалов» на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.4. «Физическая химия (химические науки)» выполнена ведущим научным сотрудником Тарасовым Борисом Петровичем в Отделе функциональных материалов для химических источников энергии ФИЦ ПХФ и МХ РАН (ранее – ИПХФ РАН). Диссертационная работа содержит результаты исследований, полученных им лично и при руководстве Группой химии фуллеренов (1996-2004 гг.), Лабораторией водород-аккумулирующих материалов (2004-2022 гг.) и Комплексом лабораторий водородного материаловедения (с 2022 г. по н.в.).

Соискатель Тарасов Б.П. в 1978 г. окончил Химический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова по специальности «Химия». Им в 1985 году защищена диссертация «Синтез и физико-химические свойства гидридов интерметаллических соединений РЗМ структурных типов $PuNi_3$ и $CeNi_3$ » по специальности «Неорганическая химия», и решением Совета МГУ им. М.В. Ломоносова присвоена ученая степень кандидата химических наук.

По итогам обсуждения диссертации «Физико-химические основы создания эффективных водород-аккумулирующих материалов» на заседании секции № 6 Ученого совета ФИЦ ПХФ и МХ РАН принято следующее заключение:

Работа Б.П. Тарасова посвящена разработке физико-химических основ создания эффективных водород-аккумулирующих материалов, установлению закономерностей в процессах сорбции и десорбции водорода, поиску научно-обоснованных подходов к решению проблем компактного и безопасного хранения, компримирования и генерации водорода, а также проблем водородного аккумулирования электроэнергии.

Актуальность темы

В связи с изменением климата в интересах человечества необходимо произвести структурные изменения в энергетике, в промышленности и на транспорте. Основным вариантом изменения таких инфраструктур в настоящее время является применение водорода в качестве энергоносителя (концепция водородной энергетики) и восстановителя в металлургии и промышленности (концепция водородных технологий).

Выбор водорода в качестве ключевого инструмента «безуглеродной» энергетики обусловлен тем, что водород является универсальным, экологически чистым и самым эффективным энергоносителем (удельная энергоемкость в 3 раза выше бензина и 2.5 раза больше метана), может способствовать решению проблемы изменения климата (получение энергии окислением водорода сопровождается выделением чистой воды, производство металлов и сплавов восстановлением оксидов – без выделения CO_2), производится с использованием «безуглеродных» источников энергии (ВИЭ, ГЭС, АЭС и т.д.) и использоваться как накопитель энергии из возобновляемых источников (концепция солнечно-водородной, ветро-водородной, атомно-водородной энергетики).

Однако проблема безопасного хранения и транспортировки водорода как одной из составных частей водородных энерготехнологий и разработки водород-нейтральных конструкционных материалов (водородное материаловедение) остается нерешенной из-за высокой химической активности и диффузионной способности водорода.

Перспективным способом хранения водорода является металлогидридный (в соединениях с металлами) из-за высокой плотности водорода (в некоторых гидридах содержание атомов водорода в 1.5-2 раза выше, чем в жидком водороде), широкого интервала рабочих давлений и температур, высокой безопасности в работе металлогидридных систем хранения. Но для поиска и выбора перспективных металлогидридных материалов как эффективных аккумуляторов водорода необходимо решить целый ряд проблем. Разработка такого типа водород-аккумулирующих материалов

и компактных и безопасных систем обратимого хранения водорода и составляет актуальность данной работы.

Новизна и практическая значимость результатов работы

Теоретическая (научная) значимость и новизна работы заключаются в более глубоком понимании закономерностей в процессах взаимодействия в системах интерметаллид–водород, в фазовых переходах, в структурах металлической и гидридной фаз, в роли примесей в сплаве и в водороде, в явлениях деградации водород-аккумулирующих характеристик при многократном повторении циклов «гидрирование–дегидрирование», в создании высокоэффективных катализаторов гидрирования, в формировании композитных материалов, в разработке водород-генерирующих материалов на основе магния, в разработке научно-технических решений для создания металлгидридных аккумуляторов и компрессоров водорода многократного действия.

Практическая значимость и новизна работы заключаются в разработке различных устройств для водородных и металлгидридных технологий: металлгидридных аккумуляторов водорода многократного действия, термосорбционных и химических компрессоров водорода, водородных систем резервного электропитания и аккумуляирования электроэнергии. Ряд технических решений защищен 17 патентами, награжден 5 золотыми и серебряными медалями международного салона «Архимед».

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность полученных результатов базируется на использовании современных химических и физико-химических методов исследования с применением высокоточного оборудования, в том числе в АЦКП ФИЦ ПХФ и МХ РАН, высокой воспроизводимости экспериментальных данных в пределах заданной точности; согласованности результатов экспериментальных исследований с результатами, полученными в ведущих лабораториях аналогичного профиля в развитых странах мира.

Достоверность и новизна научных результатов подтверждаются также публикациями в высокорейтинговых научных рецензируемых журналах, индексируемых в Scopus, Web of Science, RSCI, их цитируемостью и индексом Хирша (на 15.04.2024 г. в базе РИНЦ – 389 публ., 5010 цит., ИХ 34, Scopus – 189/2770/28), а также приглашенными докладами на российских и международных конференциях и наградами за научные достижения. За последние 10 лет опубликовано 59 публикаций в журналах из списка ВАК категории К1 и К2, из них – 50 в журналах категории К1.

Плановый характер работы

Исследования по теме диссертации выполнены в рамках Государственных заданий (госрегистрации № 124013000692-4, № 0089-2019-0007 и № 0089-2014-0030), а также при

финансовой поддержке Мегагранта под руководством ведущего ученого Министерства науки и образования РФ (Соглашение № 075-15-2022-1126), Федеральных целевых программ (госконтракты № 14.613.21.0087, № 05.574.21.0209, № 14.604.21.0124, № 14.740.11.1103), Российского фонда фундаментальных исследований (№ 19-03-01069а, № 18-03-01156а, № 16-29-06197-офи_м, № 14-43-03660р_центр_а, № 13-08-00642-а, № 12-03-91676-ЭРА) и Российского научного фонда (№ 23-13-00418).

Полнота опубликования результатов и ценность научных работ соискателя ученой степени

Всего за 2014–2023 гг. по материалам диссертации соискателем совместно с соавторами опубликовано 59 статей в журналах, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ для защиты диссертаций на соискание ученой степени доктора химических наук по научному докладу, и 5 глав в коллективных монографиях, представлено более 50 приглашенных и пленарных докладов на отечественных и зарубежных конференциях разного уровня, результаты работы защищены 11 патентами РФ.

Статьи по результатам работы:

1. Lototsky M.V., **Tarasov B.P.**, Yartys V.A. Gas-phase applications of metal hydrides. // Journal of Energy Storage. 2023. Article 108165. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108165>
2. **Tarasov B.P.**, Arbuzov A.A., Volodin A.A., Fursikov P.V., Mozhzhuhin S.A., Lototsky M.V., Yartys V.A. Metal hydride – graphene composites for hydrogen based energy storage. // Journal of Alloys and Compounds. 2022. V. 896. Article 162881. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.162881>
3. **Tarasov B.P.**, Fursikov P.V., Volodin A.A., Bocharnikov M.S., Shinkus Yu.Ya., Kashin A.M., Yartys V.A., Chidziva Stanford, Pasupathi Sivakumar, Lototsky M.V. Metal hydride hydrogen storage and compression systems for energy storage technologies. // International Journal of Hydrogen Energy. 2021. V. 46. P. 13647–13657. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.07.085>
4. Lototsky M.V., Yartys V.A., **Tarasov B.P.**, Davids M.W., Denys R.V., Tai S. Modelling of metal hydride hydrogen compressors from thermodynamics of hydrogen – metal interactions viewpoint: Part I. Assessment of the performance of metal hydride materials. // International Journal of Hydrogen Energy. 2021. V. 46, No. 2. P. 2330–2338. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.10.090>
5. Lototsky M.V., Yartys V.A., **Tarasov B.P.**, Denys R.V., Eriksen J., Bocharnikov M.S., Tai S., Linkov V. Modelling of metal hydride hydrogen compressors from thermodynamics of hydrogen – metal interactions viewpoint: Part II. Assessment of the performance of metal hydride compressors. // International Journal of Hydrogen Energy. 2021. V. 46, No. 2. P. 2339–2350. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.10.080>
6. **Tarasov B.P.**, Bocharnikov M.S., Yanenko Yu.B., Fursikov P.V., Minko K.B., Lototsky M.V. Metal hydride hydrogen compressors for energy storage systems: Layout features and results of long-term tests. // IOP Publishing. Journal of Physics: Energy. 2020. V. 2. Article 024005. <https://doi.org/10.1088/2515-7655/ab6465>
7. Fashu Simbarashe, Lototsky M., Davids M., Pickering L., Linkov V., Tai S., Renheng T., Fangming X., **Tarasov B.**, Fursikov P. A review on crucibles for induction melting of titanium alloys. // Materials and Design. 2020. V. 186, Article 108295. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108295>
8. **Tarasov B.P.**, Arbuzov A.A., Mozhzhuhin S.A., Volodin A.A., Fursikov P.V., Lototsky M.V., Yartys V.A. Hydrogen storage behavior of magnesium catalyzed by nickel-graphene nanocomposites. // International Journal of Hydrogen Energy. 2019. V. 44, No. 55. P. 29212–29223. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.02.033>
9. Volodin A.A., Denys R.V., ChuBin Wan, Ika Dewi Wijayant, Suwarno, **Tarasov B.P.**, Antonov V.E., Yartys V.A. Study of hydrogen storage and electrochemical properties of the AB₂-type Ti_{0.15}Zr_{0.85}La_{0.03}Ni_{1.2}Mn_{0.7}V_{0.12}Fe_{0.12} alloy. // Journal of Alloys and Compounds. 2019. V. 793. P. 564–575. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.03.134>

10. Minko K.B., Bocharnikov M.S., Yanenko Yu.B., Lototsky M.V., Kolesnikov A., **Tarasov B.P.** Numerical and experimental study of heat-and-mass transfer processes in two-stage metal hydride hydrogen compressor. // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2018. V. 43. P. 21874–21885. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.09.211>
11. **Tarasov B.P.**, Bocharnikov M.S., Yanenko Y.B., Fursikov P.V., Lototsky M.V. Cycling stability of RNi_5 ($R = La, La+Ce$) hydrides during the operation of metal hydride hydrogen compressor. // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2018. V. 43, No. 9. P. 4415–4427. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.01.086>
12. Volodin A.A., Wan ChuBin, Denys R.V., Tsirlina G.A., **Tarasov B.P.**, Fichtner M., Ulmer U., Yu Yingda, Nwakwuo C.C., Yartys V.A. Phase-structural transformations in a metal hydride battery anode $La_{1.5}Nd_{0.5}MgNi_9$ alloy and its electrochemical performance. // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2016. V. 41. P. 9954–9967. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.01.089>
13. Volodin A.A., Denys R.V., Tsirlina G.A., **Tarasov B.P.**, Fichtner M., Yartys V.A. Hydrogen diffusion in $La_{1.5}Nd_{0.5}MgNi_9$ alloy electrodes of the Ni/MH battery. // *Journal of Alloys and Compounds*. 2015. V. 645, Supplement 1. P. S288–S291. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.12.201>
14. **Tarasov B.P.**, Fokin V.N., Fokina E.E., Yartys V.A. Synthesis of hydrides by interaction of intermetallic compounds with ammonia. // *Journal of Alloys and Compounds*. 2015. V. 645, Supplement 1. P. S261–S266. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.01.007>
15. Satya Sekhar B., Lototsky M., Kolesnikov A., Moropeng M.L., **Tarasov B.P.**, Pollet B.G. Performance analysis of cylindrical metal hydride beds with various heat exchange options. // *Journal of Alloys and Compounds*. 2015. V. 645, Supplement 1. P. S89–S95. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.12.272>
16. Gabis I.E., Chernov I.A., Dobrotvorskiy M.A., Kuznetsov V.G., Voyt A.P., **Tarasov B.P.**, Yafyasov A.M. Influence of kinetics of hydrogen transport in a metal hydride anode on the ischarge properties of the Ni-MH batteries. // *Journal of Alloys and Compounds*. 2015. V. 629. P. 242–246. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.12.111>
17. Yartys V.A., Antonov V.E., Beskrovnyy A.I., Crivello J.-C., Denys R.V., Fedotov V.K., Gupta M., Kulakov V.I., Kuzovnikov M.A., Latroche M., Morozov Yu.G., Sheverev S.G., **Tarasov B.P.** Hydrogen assisted phase transition in a trihydride $MgNi_2H_3$ synthesised at high H_2 pressures: thermodynamics, crystallographic and electronic structures. // *Acta Materialia*. 2015. V. 82. P. 316–327. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2014.09.012>
18. Gabis I.E., Evard E.A., Voyt A.P., Kuznetsov V.G., **Tarasov B.P.**, Crivello J.-C., Latroche M., Denis R.V., Hu Weikang, Yartys V.A. Modeling of metal hydride battery anodes at high discharge current densities and constant discharge currents. // *Electrochimica Acta*. 2014. V. 147. P. 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.08.107>
19. Lototsky M.V., Davids M.W., Sekgobela T.K., Arbuzov A.A., Mozhzhukhin S.A., Zhu Y., Tang R., **Tarasov B.P.** Tailoring of hydrogen generation by hydrolysis of magnesium hydride in organic acids solutions and development of generator of the pressurized H_2 based on this process. // *Inorganics*. 2023. V. 11. Article 319. <https://doi.org/10.3390/inorganics11080319>
20. **Tarasov B.**, Arbuzov A., Mozhzhukhin S., Volodin A., Fursikov P., Davids M., Adeniran J., Lototsky M. Metal hydride hydrogen storage (compression) units operating at near-atmospheric pressure of the feed H_2 . // *Inorganics*. 2023. V. 11. Article 290. <https://doi.org/10.3390/inorganics11070290>
21. Лотоцкий М.В., Фокина Э.Э., Бессарабская И.Э., **Тарасов Б.П.** Расчет двухступенчатых металлогидридных компрессоров водорода с помощью модели фазовых равновесий интерметаллид–водород. // *Неорганические материалы*. 2022. Т. 58, № 11. С. 1268–1276. <https://doi.org/10.31857/S0002337X22110094>
22. Фокин В.Н., Фурсиков П.В., Фокина Э.Э., **Тарасов Б.П.** Гидрирование магния в присутствии интерметаллического соединения Mg_2Ni . // *Неорганические материалы*. 2022. Т. 58, № 11. С. 1163–1169. <https://doi.org/10.31857/S0002337X22110033>
23. Фокин В.Н., Фурсиков П.В., Фокина Э.Э., **Тарасов Б.П.** Гидрирование эвтектического сплава системы $Mg-Al$. // *Неорганические материалы*. 2021. Т. 57, № 3. С. 250–256.
24. Фокин В.Н., Фокина Э.Э., **Тарасов Б.П.** Гидрирование сплава Y_2Fe . // *Неорганические материалы*. 2015. Т. 51, № 6. С. 640–644. <https://doi.org/10.7868/s0002337x15060044>
25. Володин А.А., Фурсиков П.В., Бельмесов А.А., Шульга Ю.М., Ходос И.И., Абдусалымова М.Н., **Тарасов Б.П.** Электропроводность композитов на основе оксида лантана с добавками углеродных нановолокон. // *Неорганические материалы*. 2014. Т. 50, № 7. С. 726–734. <https://doi.org/10.7868/S0002337X14070161>

26. Фокин В.Н., Фокина Э.Э., Тарасов Б.П. Гидрирование интерметаллического соединения Zr_2Ni . // Неорганические материалы. 2014. Т. 50, № 1. С. 24–27. <https://doi.org/10.7868/S0002337X14010060>
27. Арбузов А. А., Можжухин С.А., Лотоцкий М.В., Тарасов Б.П. Магниево-водород-генерирующие материалы и устройство для генерации водорода. // Журнал прикладной химии. 2023. Т. 96, № 2. С. 217–224. <https://elibrary.ru/item.asp?id=54661775>
28. Фурсиков П.В., Фокин В.Н., Фокина Э.Э., Можжухин С.А., Арбузов А.А., Лапшин А.Н., Ходос И.И., Тарасов Б.П. Микроструктура водородсорбирующих композитов на основе эвтектического сплава магния с никелем. // Журнал прикладной химии. 2022. Т. 95, № 8. С. 1006–1010. <https://doi.org/10.31857/S0044461822080072>
29. Фокин В.Н., Фурсиков П.В., Фокина Э.Э., Тарасов Б.П. Гидрирование смеси магния с ванадием. // Журнал прикладной химии. 2022. Т. 95, № 7. С. 919–923. <https://doi.org/10.31857/S0044461822070118>
30. Фокин В.Н., Фурсиков П.В., Фокина Э.Э., Тарасов Б.П. Гидрирование смесей магния с титаном. // Журнал неорганической химии. 2022. Т. 67, № 4. С. 450–456. <https://doi.org/10.31857/S0044457X22040055>
31. Volodin A.A., Arbuzov A.A., Fursikov P.V., Tarasov B.P. Nickel-graphene nanostructures: Synthesis, study and applications. // Macroheterocycles. 2021. V. 14, No. 2. P. 180–184. <https://doi.org/10.6060/mhc201129v>
32. Фокин В.Н., Сон В.Б., Фокина Э.Э., Тарасов Б.П. Гидрирование интерметаллических соединений ACo_3 ($A = Ce, Y$) водородом и аммиаком. // Журнал прикладной химии. 2020. Т. 93, № 12. С. 1734–1739. <https://doi.org/10.31857/S004446182012004X>
33. Сон В.Б., Шимкус Ю.Я., Можжухин С.А., Бочарников М.С., Фокина Э.Э., Тарасов Б.П. Применение интерметаллидов $(La,Ce)Ni_5$ в системах водородного аккумулирования энергии. // Журнал прикладной химии. 2020. Т. 93, № 9. С. 1332–1339. <https://doi.org/10.31857/S0044461820090108>
34. Сон В.Б., Тарасов Б.П. Водородсорбционные свойства интерметаллидов $La_{3-x}Mg_xCo_9$ ($x = 1.2, 1.5, 2$). // Журнал неорганической химии. 2020. Т. 65, № 2. С. 147–153. <https://doi.org/10.31857/S0044457X20020191>
35. Фокин В.Н., Фурсиков П.В., Фокина Э.Э., Коробов И.И., Фаттахова А.М., Тарасов Б.П. Гидрирование интерметаллического соединения $Mg_{17}Al_{12}$. // Журнал неорганической химии. 2019. Т. 64, № 9. С. 909–915. <https://doi.org/10.1134/S0044457X19090125>
36. Фокин В.Н., Фокина Э.Э., Тарасов Б.П. Исследование взаимодействия титана и его сплавов с железом с водородом и аммиаком. // Журнал прикладной химии. 2019. Т. 92, № 1. С. 39–48. <https://doi.org/10.1134/S0044461819010055>
37. Фокин В.Н., Фокина Э.Э., Тарасов Б.П. Гидрирование сплава магния с Mg_2Yb . // Журнал неорганической химии. 2018. Т. 63, № 12. С. 1589–1594. <https://doi.org/10.1134/S0044457X18120085>
38. Тарасов Б.П., Арбузов А.А., Можжухин С.А., Володин А.А., Фурсиков П.В. Композиты с 2D-графеновыми структурами для водородной энергетики и катализа процессов с участием водорода. // Журнал структурной химии. 2018. Т. 59, № 4. С. 867–875. <https://doi.org/10.26902/JSC20180411>
39. Фурсиков П.В., Тарасов Б.П. Водородсорбирующие магниево-железные сплавы и композиты. // Известия АН, серия Химическая. 2018. № 2. С. 193–199. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32383213>
40. Сон В.Б., Володин А.А., Денис Р.В., Яртысь В.А., Тарасов Б.П. Водородсорбционные и электрохимические свойства интерметаллических соединений La_2MgNi_9 и $La_{1.9}Mg_{1.1}Ni_9$. // Известия АН, Серия химическая. 2016. № 8. С. 1971–1976. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26569429>
41. Арбузов А.А., Можжухин С.А., Володин А.А., Фурсиков П.В., Тарасов Б.П. Синтез графеноподобных наноструктур и формирование на их основе катализаторов и водород-аккумулирующих композитов. // Известия АН, Серия химическая. 2016. № 8. С. 1893–1901. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26569421>
42. Тарасов Б.П., Фокина Э.Э., Фокин В.Н. Диспергирование и фазовые превращения при взаимодействии с аммиаком интерметаллических соединений и сплавов Ti, Zr и Y с железом и никелем. // Известия АН, Серия химическая. 2016. № 8. С. 1887–1892. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26569420>
43. Фокин В.Н., Фокина Э.Э., Коробов И.И., Тарасов Б.П. Фазовые превращения в системах Ti_2Fe-H_2 и Ti_2Fe-NH_3 . // Журнал неорганической химии. 2016. Т. 61, № 7. С. 931–935.

<https://doi.org/10.7868/S0044457X16070047>

44. Фокин В.Н., Фокина Э.Э., Коробов И.И., **Тарасов Б.П.** Гидрирование интерметаллического соединения Ti_2Ni . // Журнал неорганической химии. 2014. Т. 59, № 10. С. 1308–1311. <https://doi.org/10.7868/S0044457X14100079>

45. **Тарасов Б.П.**, Фокина Э.Э., Фокин В.Н. Синтез гидридов интерметаллических соединений. // Журнал общей химии. 2014. Т. 84, № 2. С. 199–203. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21315129>

46. Kalmykov P.A., Arbuzov A.A., Magdalinova N.A., **Tarasov B.P.**, Klyuev M.V. Palladium-containing graphene-like materials: preparation and application as hydrogenation catalysts. // Petroleum Chemistry. 2016. V. 56, No. 6. P. 503–509. <https://doi.org/10.1134/S0965544116060025>

47. **Tarasov B.P.**, Lototsky M.V. Hydrogen and metal hydride energy technologies: Current state and problems of commercialization. // High Energy Chemistry. 2023. V. 57, Suppl. 2. P. S355–S365. <https://doi.org/10.1134/S0018143923080222>

48. Volodin A.A., Lapshin A.N., Yakushin I.O., **Tarasov B.P.** Advanced materials for metal hydride power sources. // High Energy Chemistry. 2023. V. 57, Suppl. 2. P. S370–S374. <https://doi.org/10.1134/S0018143923080246>

49. Fokin V.N., Fursikov P.V., Fokina E.E., **Tarasov B.P.** Hydrogenation of magnesium in the presence of the Ti_2Ni intermetallide. // High Energy Chemistry. 2023. V. 57, Suppl. 2. P. S304–S309. <https://doi.org/10.1134/S001814392308009X>

50. Fursikov P.V., Fokin V.N., Fokina E.E., Arbuzov A.A., Khodos I.I., Lototsky M.V., **Tarasov B.P.** Microstructure of hydrogenated magnesium–nickel eutectic alloy-based composites and its changes during hydrogen absorption/desorption cycling. // High Energy Chemistry. 2023. V. 57, Suppl. 2. P. S310–S315. <https://doi.org/10.1134/S0018143923080106>

51. Володин А.А., Фурсиков П.В., Фокина Э.Э., **Тарасов Б.П.** Корреляция между характеристиками процессов газофазного и электрохимического гидрирования интерметаллических соединений. // Журнал физической химии. 2020. Т. 94, № 5. С. 796–802. <https://doi.org/10.31857/S0044453720050258>

52. Фурсиков П.В., Слепцова А.М., Можжухин С.А., Арбузов А.А., Фокин В.Н., Фокина Э.Э., Ходос И.И., **Тарасов Б.П.** Фазовый состав и микроструктура водородсорбирующих композитов эвтектического сплава Mg–Ni с графеноподобным материалом. // Журнал физической химии. 2020. Т. 94, № 5. С. 789–795. <https://doi.org/10.31857/S0044453720050076>

53. Арбузов А.А., Володин А.А., **Тарасов Б.П.** Каталитический синтез и исследование углерод-графеновых структур. // Журнал физической химии. 2020. Т. 94, № 5. С. 760–765. <https://doi.org/10.31857/S0044453720050039>

54. **Тарасов Б.П.**, Можжухин С.А., Арбузов А.А., Володин А.А., Фокина Э.Э., Фурсиков П.В., Лотоцкий М.В., Яртысь В.А. Особенности гидрирования магния с Ni-графеновым покрытием. // Журнал физической химии. 2020. Т. 94, № 5. С. 772–777. <https://doi.org/10.31857/S0044453720050234>

55. Клюев М.В., Арбузов А.А., Магдалинова Н.А., Калмыков П.А., **Тарасов Б.П.** Палладийсодержащий графеноподобный материал: синтез и каталитическая активность. // Журнал физической химии. 2016. Т. 90, № 9. – С. 1331–1335. <https://doi.org/10.7868/S0044453716090144>

56. Арбузов А.А., Мурадян В.Е., **Тарасов Б.П.**, Соколов Е.А., Бабенко С.Д., Эпоксидные композиты с термически восстановленным оксидом графита и их свойства. // Журнал физической химии. 2016. Т. 90, № 5. С. 663–667. <https://doi.org/10.7868/S0044453716050071>

57. Колобов Ю.Р., Дударев Е.Ф., Почивалова Г.П., Торганчук В.И., Голосов Е.В., **Тарасов Б.П.** Влияние водородной обработки на механические свойства наноструктурированного титана. // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т. 58, № 8. С. 145–147. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24169428>

58. Kolobov Yu.R., Torganchuk V.I., Fokin V.N., **Tarasov B.P.** Structural features of the hydride phase formation in nanostructured α -titanium. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. V. 81. № 012053. DOI: 10.1088/1757-899X/81/1/012053

59. **Тарасов Б.П.**, Арбузов А.А., Володин А.А., Можжухин С.А., Клюев М.В. Никель-графеновый катализатор гидрирования магния и синтеза углеродных наноструктур. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2017. Т. 60, № 8. С. 43–46. <https://doi.org/10.6060/tcct.2017608.5645>

Патенты РФ:

1. Патент RU 2551673 С1 «Палладийсодержащий катализатор гидрирования и способ его получения» (Арбузов А.А., Клюев М.В., Калмыков П.А., **Тарасов Б.П.**, Магдалинова Н.А.,

Мурадян В.Е.), приоритет от 27.12.2013 г., дата госрегистрации 23.04.2015 г., Бюлл. № 15, 2015.

2. Патент РФ № 167781 на полезную модель «Металлогидридный аккумулятор водорода многократного действия с улучшенным теплообменом» (Тарасов Б.П., Каган К.Л., Фурсиков П.В., Фокин В.Н., Арбузов А.А., Володин А.А.), приоритет от 27.11.2015 г., дата госрегистрации 30.12.2016 г., Бюлл. № 1, 2017.

3. Патент RU 2646530 «Портативный водородный источник электропитания» (Володин А.А., Кашин А.М., Левченко А.В., Сивак А.В., Тарасов Б.П., Чуб А.В.), приоритет от 16.07.2015, дата госрегистрации 06.03.2018. Бюлл. № 7, 2018.

4. Патент RU № 2660232 «Никель-графеновый катализатор гидрирования и способ его получения» (Арбузов А.А., Можжухин С.А., Володин А.А., Фурсиков П.В., Тарасов Б.П.), приоритет от 15.06.2016 г., дата госрегистрации 10.07.2018 г. Бюлл. № 19, 2018.

5. Патент RU № 2675882 «Водород-аккумулирующие материалы и способ их получения» (Арбузов А.А., Можжухин С.А., Володин А.А., Фурсиков П.В., Тарасов Б.П.), приоритет от 21.12.2016 г., дата госрегистрации 25.12.2018 г. Бюлл. № 36, 2018.

6. Патент RU № 2729567 «Способ повышения эффективности металлогидридных теплообменников» (Тарасов Б.П., Фурсиков П.В., Фокин В.Н., Арбузов А.А., Володин А.А., Можжухин С.А., Шимкус Ю.Я.), приоритет от 18.12.2019 г., дата госрегистрации 07.08.2020 г. Бюлл. № 22, 2020.

7. Патент RU № 2735285 «Способ получения компримированного водорода и устройство для его осуществления» (Арбузов А.А., Шимкус Ю.Я., Можжухин С.А., Сон В.Б., Тарасов Б.П.), приоритет от 18.12.2019 г., дата госрегистрации 29.10.2020 г. Бюлл. № 31, 2020.

8. Патент RU № 2748480 «Способ улучшения водородсорбционных характеристик порошковой засыпки металлогидридного аккумулятора водорода» (Фурсиков П.В., Можжухин С.А., Слепцова А.М., Фокин В.Н., Фокина Э.Э., Арбузов А.А., Володин А.А., Тарасов Б.П.), приоритет от 24.09.2020 г., дата госрегистрации 26.05.2021 г. Бюлл. № 15, 2021.

9. Патент RU № 2748974 «Никельсодержащий углерод-графеновый катализатор гидрирования и способ его получения» (Арбузов А.А., Володин А.А., Можжухин С.А., Фурсиков П.В., Тарасов Б.П.), приоритет от 28.07.2020 г., дата госрегистрации 02.06.2021 г. Бюлл. № 16, 2021.

10. Патент RU № 2758442 «Композитный катодный материал и способ его получения» (Володин А.А., Слепцов А.В., Арбузов А.А., Фурсиков П.В., Тарасов Б.П.), приоритет от 08.12.2020 г., дата госрегистрации 28.10.2022 г. Бюлл. № 31, 2021.

11. Патент на полезную модель № 220568 «Металлогидридный аккумулятор водорода низкого давления многократного действия» (Тарасов Б.П., Арбузов А.А., Можжухин С.А., Володин А.А., Фурсиков П.В., Лотоцкий М.В.), приоритет от 05.04.2023 г., дата госрегистрации 21.09.2023 г. Бюлл. № 27, 2023.

Главы в монографиях:

1. Тарасов Б.П., Лотоцкий М.В. Водородные и металлогидридные энерготехнологии: современное состояние и проблемы коммерциализации (глава 1, с. 5–30) // Органические и гибридные наноматериалы: получение, исследование, применение: монография / под ред. В. Ф. Разумова, М. В. Ключева. – Иваново: Иван. гос. ун-т, 2023. – 404 с. 500 экз. ISBN 978-5-7807-1432-3.

2. Лотоцкий М.В., Дэвидс М.В., Фокин В.Н., Фокина Э.Э., Тарасов Б.П. Разработка водород-аккумулирующих материалов на основе сплавов титана с железом: проблемы и решения (глава 2, с. 31–62) // Органические и гибридные наноматериалы: получение, исследование, применение: монография / под ред. В. Ф. Разумова, М. В. Ключева. – Иваново: Иван. гос. ун-т, 2023. – 404 с. 500 экз. ISBN 978-5-7807-1432-3.

3. Арбузов А.А., Тарасов Б.П. Графен и композиционные материалы на его основе (глава 1, с. 5–36). // Органические и гибридные наноматериалы: получение и перспективы применения: монография / под ред. В.Ф. Разумова, М.В. Ключева. – Иваново: Иван. гос. ун-т, 2017. – 516 с. 500 экз. ISBN 978-5-7807-1226-8.

4. Володин А.А., Тарасов Б.П. Наноматериалы для никель–металлогидридных аккумуляторов (глава 2, с. 37–59). // Органические и гибридные наноматериалы: получение и перспективы применения: монография / под ред. В.Ф. Разумова, М.В. Ключева. – Иваново: Иван. гос. ун-т, 2017. – 516 с. 500 экз. ISBN 978-5-7807-1226-8.

5. Можжухин С.А., Арбузов А.А., Ключев М.В., Тарасов Б.П. Водород-аккумулирующие материалы на основе магния (глава 4, с. 79–103). // Органические и гибридные наноматериалы:

получение и перспективы применения: монография / под ред. В.Ф. Разумова, М.В. Ключева. – Иваново: Иван. гос. ун-т, 2017. – 516 с. 500 экз. ISBN 978-5-7807-1226-8.

Все статьи, выполненные в соавторстве, процитированы в диссертации в соответствии с п. 14 критериев Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.04.2013 г., с учетом всех последующих изменений. Результаты, описанные в диссертационной работе, являются оригинальными, заимствованные материалы без ссылки на источник заимствования отсутствуют.

Часть результатов представленной работы опубликована в предыдущие годы (до 2014 г.), но по условиям защиты диссертации на соискание степени доктора химических наук по научному докладу такие работы не вошли в приведенный перечень публикаций. В представленном списке публикаций довольно полно изложены основные результаты работы. Публикации [16, 24, 32, 39, 53] содержат результаты, приведенные в главе 1 диссертации по исследованию водород-аккумулирующих интерметаллидов типа AB_5 (рассмотрены вопросы легирования интерметаллидов, проблемы гидрогенолиза, гистерезиса, примесей в водороде и др.). Аналогичные работы, касающиеся интерметаллидов AB_3 (глава 2), приведены и обсуждены в публикациях [например, 14, 53]. Особое внимание уделено рассмотрению вопросов оптимизации условий гидрирования интерметаллида $TiFe$ и сплавов на его основе (глава 3) как перспективных водород-аккумулирующих материалов [31, 53]. Исследованы особенности гидрирования наноструктурированных сплавов Mg с Ni и La [27, 47, 57], $MgLa_{12}$, $MgLa_{11}Ni$ и замещенных интерметаллидов на основе $LaNi_3$ [14, 21, 34, 40, 53] (главы 4–5). Значительная часть диссертационной работы (главы 6–9) посвящена исследованию углеродных материалов – фуллерену, углеродным нанотрубкам и нановолокнам, графеноподобным наноструктурам и формированию катализаторов гидрирования на их основе [15, 19, 26, 36, 55]. Глава 10 диссертации посвящена водород-аккумулирующим материалам на основе магния с целью нахождения методов и условий повышения скорости его гидрирования [26, 28, 46, 49]. В качестве эффективных водород-генерирующих материалов в главе 11 рассмотрены гидриды AlH_3 и MgH_2 [52, 58]. В работах [23, 32, 43, 45, 58] и в приведенных патентах описаны (глава 12) разработанные на основе исследованных водород-аккумулирующих материалов металлгидридные устройства для различных применений: аккумуляторы, генераторы и компрессоры водорода, водородные системы резервного электропитания и аккумулялирования электроэнергии. Большая часть материала диссертации обобщена в главах монографий и в обзорных статьях [26–28, 32, 36, 41, 43–46, 52–55, 58, 59].

Ценность научных работ соискателя для научной специальности 1.4.4. «Физическая химия (химические науки)» обусловлена развитым в работе более глубоким пониманием закономерностей в процессах взаимодействия в системах интерметаллид–водород, в фазовых переходах, в структурах металлической и гидридной фаз, в роли примесей в сплаве и в водороде, в явлениях деградации водород-аккумулирующих характеристик при многократном повторении циклов «гидрирование–дегидрирование», в создании высокоэффективных катализаторов гидрирования, в формировании композитных материалов, в разработке водород-генерирующих материалов на основе магния, в разработке научно-технических решений для создания металлогидридных аккумуляторов и компрессоров водорода многократного действия.

Личный вклад автора

Личный вклад автора заключается в проведении экспериментов и в научном руководстве работами Группы химии фуллеренов (1996-2004 гг.), Лаборатории водород-аккумулирующих материалов (2004-2022 гг.) и Комплекса лабораторий водородного материаловедения (с 2022 г. по н.в.), в анализе состояния работ в мире в области водородных и металлогидридных технологий, в постановке целей и задач исследований, в планировании и проведении экспериментальных исследований и разработок, в обработке и обобщении полученных результатов, в установлении физико-химических закономерностей и выявлении особенностей процессов, протекающих в системах металл–водород, в формулировке подходов к созданию новых материалов и устройств, в подготовке заявок на патенты и рукописей публикаций.

Содержание диссертационной работы полностью отражено в публикациях и патентах, написанных лично и в соавторстве. Основной вклад автора в совместных публикациях: обоснование актуальности, аналитический обзор литературы, постановка целей и задач, организация экспериментов и участие в их проведении, обсуждение результатов и формулирование выводов, подача заявок на патенты и научных статей.

Соответствие диссертации научным специальностям, отрасли науки

Диссертация Тарасова Б.П. на тему: «Физико-химические основы создания эффективных водород-аккумулирующих материалов» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой представлены закономерности в процессах взаимодействия в системах интерметаллид–водород и сопутствующих явлениях (фазовые переходы, роль примесей в сплаве и в водороде, деградации водород-аккумулирующих характеристик при многократном повторении циклов «гидрирование–дегидрирование»), созданы высокоэффективные катализаторы гидрирования, сформированы композитные материалы, разработаны водород-генерирующие материалы на основе магния,

подготовлены и разработаны научно-технические решения для создания металлгидридных аккумуляторов и компрессоров водорода многократного действия.

Работа соответствует паспорту специальности 1.4.4. «Физическая химия (химические науки)». Материалы диссертации вносят:

- научный вклад в область современной физической химии водород-аккумулирующих материалов, гидридов металлов и интерметаллических соединений, углеродных наноматериалов, металлгидрид-углеродных композиционных материалов;
- практический вклад в область металлгидридных технологий хранения, компримирования и генерации водорода и водородных систем резервного электропитания и аккумуляирования электроэнергии;
- соответствуют направлениям исследований: п.9. «Связь реакционной способности реагентов с их строением и условиями протекания химической реакции», п.12. «Физико-химические основы процессов химической технологии и синтеза новых материалов».

Решение о рекомендации работы к защите

Диссертация Тарасова Бориса Петровича «Физико-химические основы создания эффективных водород-аккумулирующих материалов» соответствует всем критериям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.04.2013 г., с учетом всех последующих изменений, применительно к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, и рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора химических наук в форме научного доклада на диссертационном совете 24.1.108.01 при ФИЦ ПХФ и МХ РАН по специальности 1.4.4. – Физическая химия (химические науки).

Заключение принято на заседании секции № 6 Ученого совета ФИЦ ПХФ и МХ РАН (протокол № 6 от 26.04.2024 г.). Присутствовали на заседании 16 членов совета из 21. Результаты голосования: «за» – 16, «против» – нет, «воздержались» – нет.

Председатель секции № 6
Ученого совета ФИЦ ПХФ и МХ РАН
кандидат химических наук


Н.В. Лысков

Секретарь секции № 6
Ученого совета ФИЦ ПХФ и МХ РАН
кандидат химических наук


А.В. Писарева