

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по науке

Национального

исследовательского Томского

политехнического университета



М.С. Юсубов

27.07 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»
(ФГАОУ ВО НИ ТПУ)**

Диссертация «Люминесцентные методы изучения взаимодействия атомарных газов с поверхностью твердых тел» выполнена в Отделении экспериментальной физики Инженерной школы ядерных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Ван Яомин обучался в очной аспирантуре по специальности 01.04.07.

В 2016 г. закончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по специальности «Физика» с присуждением квалификации магистр по профилю «Физика конденсированного состояния вещества».

Справка об окончании аспирантуры и сдаче кандидатских экзаменов выдана Национальным исследовательским Томским политехническим университетом в 2020 г.

Научный руководитель – Тюрин Юрий Иванович, доктор физ.-мат. наук, профессор Отделения экспериментальной физики Инженерной школы ядерных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Актуальность и степень разработанности темы. Методы исследований, основанные на явлении ГХЛ, привлекают к себе внимание новыми механизмами аккомодации, конденсированными средами энергии гетерогенных физико-химических реакций и процессов неупругого рассеяния атомных частиц поверхностью, простотой реализации, селективностью и отсутствием возмущений, вносимых в исследуемую систему процессом измерения.

Важным результатом проводимых в настоящее время исследований, является наблюдение адсорбции и десорбции колебательно-возбужденных молекул на поверхности металла. Наличие долгоживущих колебательно-возбужденных молекул, (1×10^{-10} с) поставило вопрос о возможных моделях переноса энергии молекул, адсорбированных и на металлических поверхностях, для адсорбированных молекул с высокоэнергетическими, в масштабе энергии фононов, колебательными квантам адсорбата. Долгоживущие колебательно-возбужденные водородосодержащие связи на поверхности и в объеме конденсированных сред открывают чрезвычайно интересные перспективы не только для поверхностной химии и для динамики поведения подсистемы адсорбированных изотопов водорода.

В этой связи представляется актуальным и проведение исследований стимуляции выхода изотопов водорода из металлов насыщенных водородом под воздействием пучка ускоренных электронов.

ГХЛ реакции обладают селективностью и высокой чувствительностью к типу поверхности и сорту возбуждающего газа, использование оптических методов для изучения неравновесных систем «газ – твердое тело» открывает новые возможности в физике поверхности твердых тел, плазмохимии, технологии полупроводников и люминофоров, химической физике поверхности и в решении экологических проблем. Основу явления ГХЛ составляет процесс «высокоэнергетической» (4,5-9эВ) аккомодации электронной подсистемой твердого тела энергии экзотермических реакций рекомбинации свободных атомов, протекающих на поверхности.

Личный вклад автора Постановка цели и задач исследования были выполнены совместно с научным руководителем, профессором Ю.И. Тюриным. Расчёты, измерения, экспериментальные работы были выполнены лично или при непосредственном участии автора на базе лабораторий отделения экспериментальной физики ИЯТШ НИ ТПУ.

Обработка, анализ экспериментальных данных исследований люминесцентных, спектрально-кинетических, энергетических характеристик люминесценции исследуемых люминофоров были выполнены лично автором.

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием большого числа современных методов исследования, согласованием экспериментальных данных, полученных разными методами, сравнением с литературными данными.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что:

1. В нестационарных условиях проведения экспериментов выявлены оптимальные режимы возбуждения и стимуляции люминесценции кристаллофосфоров атомарным водородом в высоковакуумной установке с безмаслянной откачкой особо чистым водородом (99,999%).

2. Выявлено, что при длительных режимах заполнения поверхности

люминофоров адсорбатов, наблюдаются переходные нестационарные и неравновесные процессы в системах газ-твёрдое тело, в том числе автоколебательные режимы.

3. Предложена модель автоколебательных механизмов рекомбинации атомов водорода при участии колебательно-возбуждённых адсорбированных молекул.

4. Разработана вычислительная программа для определения параметров взаимодействия газ-поверхность с использованием численных методов решения систем кинетических дифференциальных уравнений для определения интенсивности гетерогенной хемилюминесценции и плотности потока водорода из металлов и их сопоставления с экспериментальными данными.

5. Установлены особенности спектральных и кинетических характеристик люминесценции кристаллофосфоров ZnS-Tm^{3+} , ZnS-Mn^{2+} , ZnS-Eu^{3+} и AlN-Eu^{3+} ГХЛ_н, раскрытые с использованием нестационарных люминесцентных методов темновых пауз и скачков концентрации атомов, сравнительных исследований фотолюминесценции и ГХЛ.

6. Предложены методы, основанные на явлении ГХЛ_н, для определения констант скоростей адсорбции, ударной и диффузионной рекомбинации атомов H, скорости десорбции молекул H₂, теплоты десорбции атомов водорода с поверхности сульфида цинка с различными активаторами, нитрада алюминия, построения градуировочных кривых концентрация атомов водорода-интенсивность ГХЛ на основе только люминесцентных измерений.

7. Развита феноменологическая модель обратной задачи: неравновесной диффузии и выделения водорода из металлов под действием ускоренных электронов в допороговой области и выполнена её экспериментальная проверка.

Практическая значимость работы состоит в применении высокочувствительных люминесцентных методов для изучения процессов взаимодействия атомарного водорода с поверхностью твердых тел:

– в нестационарных и неравновесных условиях выполнено систематическое изучение возбуждения, стимуляции и тушения люминесценции твердых тел атомарным водородом. Получены параметры атомно–молекулярных и электронных процессов на границе атомарный водород – поверхность твердого тела;

– использование нестационарных характеристик гетерогенной хемилюминесценции фосфоров, обладающей высокой чувствительностью и избирательностью к составу поверхности и сорту возбуждающего газа в качестве эффективного инструмента исследований в области физики поверхности твердого тела, гетерогенного катализа, низкотемпературной плазмы, технологий водородной энергетики.

Апробация результатов работы. Основные результаты и положения диссертации докладывались на следующих конференциях: Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 2017 г.); 2018 3rd International Conference on Materials Science and Nanotechnology (ICMSNT) (Chengdu 2018); Spring International Conference on Material Sciences and Technology (MST-S) (Chengdu 2017); XIV Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук» (Томск, 2017 г.); IX Всероссийская научно-практическая конференция "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов" (Томск, 2019 г.) X Всероссийская научно-практическая конференция "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов" (Томск, 2020 г.).

По результатам исследования опубликовано 9 статей в рецензируемых журналах: 3 статьи в журналах из перечня ВАК, 6 статей в журналах из базы данных SCOPUS, 4 статей в журналах из списка SCI.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **Yaomin Van** Generation of excited electronic states at the nonmetal surface by the hydrogen atoms beam. / Yu.I. Tyurin, N.N. Nikitenkov, I.T. Sigfusson, A. Hashhash, Yaomin Van, N.D. Tolmacheva // International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – V. 42(17), – P. 12448–12457.

2. **V. Yaomin** Diffusion and release of hydrogen from metals under the effect of ionizing radiation. / Y.I. Tyurin, N.N. Nikitenkov, I.T. Sigfusson, A. Hashhash, V. Yaomin, A.S. Dolgov, & L.I. Semkina // Vacuum. – 2016. – V. 131, – P. 73–80. DOI: 10.1016/j.vacuum.2016.06.001

3. **Yaoming Wang** Non-stationary luminescent methods for studying the interaction of hydrogen atomic with ZnS:Tm³⁺ surface. / Yu.I. Tyurin, Yaoming Wang, N.N. Nikitenkov, S.H. Shigalugov // International Journal of Hydrogen Energy. – 2020. – V. 45(18), – P. 10826–10839.

4. **Яомин Ван** Водородопроницаемость и адгезия покрытий TiN/Ti на сплаве Zr-1%Nb, полученных вакуумными ионно-плазменными методами. / Ле Чжан, Н.Н. Никитенков, В.С. Сыпченко, О.С. Корнева, Е.Б. Кашкаров, Яомин Ван. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2020.

5. **Yaoming Wang** Hydrogen permeability and adhesion of TiN / Ti coatings on Zr-1% Nb alloy produced by vacuum ion-plasma methods. / Le Zhang, N.N. Nikitenkov, O.C. Korneva, V.S. Sypchenko, E.B. Kashkarov, Yaoming Wang //Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques.2020.

6. **Ван Яомин** Установка для исследования люминесценции фосфоров при возбуждении атомно - молекулярными пучками. /Ван Яомин, Ю.И. Тюрин, Н.Н. Никитенков, В.С. Сыпченко, А.Н. Никитенков, Чжан Ле. // Приборы и техника эксперимента. – 2020. – № 2, – С. 87–94. DOI: 10.31857/S0032816220020184

7. **Wang Yaoming** An Apparatus for Studying Phosphor Luminescence upon Excitation by Atomic–Molecular Beams. / Wang Yaoming, Yu. I. Tyurin, N. N.

Nikitenkov, V. S. Sypchenko, A. N. Nikitenkov, and Zhang Le. // Instruments and Experimental Techniques. – 2020. – V. 63(2), – P. 214–220. doi:10.1134/s0020441220020165

8. **Ван Яомин** Изучение in situ взаимодействия атомарного водород с поверхностью твердых тел люминесцентными методами. /Ван Яомин, Н.Д. Толмачева, Н.Н. Никитенков // сборник научных трудов XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск : Изд-во ТПУ. 2017. – Т. 1. – С. 78–80.

9. **Я. Ван** Развитие метода люминесцентного контроля состава плазмы и обрабатываемой поверхности в технологии антикоррозионной защиты нефтегазового оборудования. /Ю.И. Тюрин, Я. Ван, В.С. Сыпченко, А.Н. Никитенков // Известия ТПУ. 2019. – Т. 330(12). – С. 189–201.

Диссертация «Люминесцентные методы изучения взаимодействия атомарных газов с поверхностью твердых тел», автор Ван Яомин, рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Заключение принято на заседании научного семинара Отделения экспериментальной физики Инженерной школы ядерных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Присутствовало на заседании 15 чел. Результаты голосования: «за» - 15 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол № 1 от «26» июня 2020 г.



председатель научного семинара,
Крючков Юрий Юрьевич, д.ф.-м.н.,
профессор отделения экспериментальной



(подпись лица оформившего
заключение)

физики Национальный исследовательский
Томский политехнический университет,
профессор
секретарь научного семинара, Степанова
Екатерина Николаевна, к.т.н., доцент
отделения экспериментальной физики
Национальный исследовательский
Томский политехнический университет

