

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук

Международная зимняя школа по физике полупроводников

2020

Научная программа и тезисы докладов

С.-Петербург – Зеленогорск
27 февраля – 2 марта 2020 года

Организатор

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук
Соорганизатор «Гелиос-отель»

Программный комитет

П.С. Копьев (*председатель*)

Е.Л. Ивченко

Р.А. Сурис

В.И. Козуб

О.М. Сресели

А.Ю. Маслов

С.А. Тарасенко

Е.В. Куницына

П.А. Дементьев

П.А. Алексеев

Организационный комитет

А.Г. Забродский (*председатель*)

Р.В. Парфеньев (*зам. председателя*)

Л.Ф. Гребеновская

Е.В. Куницына

П.А. Дементьев

Е.В. Иванова

Финансовая поддержка

Российский фонд фундаментальных исследований
проект № 20-02-20024

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук
ООО «ИоффеЛЕД»

Техническая поддержка

ООО «АНДЕРС»

ванных РЗ ионами, существенные для применения в ОКП. Будет дан краткий обзор некоторых результатов по исследованию СТС и формы линий в спектрах РЗ ионов в различных кристаллах [2–8]. Также будет рассмотрено недавнее первое наблюдение антипересечения сверхтонких уровней в оптических спектрах в магнитном поле. Явление наблюдалось в спектрах моноизотопного кристалла ${}^7\text{LiYF}_4:\text{Ho}$. На антипересечениях могут быть построены Λ (или V) системы с равной вероятностью переходов в обоих плечах системы.

Работа поддержана РФФИ (грант №18-52-52001 МНТ).

Литература

- [1] Ph. Goldner, A. Ferrier, O. Guillot-Noël. Rare-earth-doped crystals for quantum information processing. In: *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*, **46**, Ch. 267. Elsevier, 2015.
- [2] E.P. Chukalina, M.N. Popova, S.L. Korableva, *et al*, *Phys. Lett. A* **269**, 348 (2000).
- [3] M.N. Popova, E.P. Chukalina, B.Z. Malkin, *et al*, *Phys. Rev. B* **61**, 7421 (2000).
- [4] D.S. Pytalev, E.P. Chukalina, M.N. Popova, *et al*, *Phys. Rev. B* **86**, 115124 (2012).
- [5] M.N. Popova, *Optical Materials*, **35**, 1842 (2013).
- [6] G.S. Shakurov, E.P. Chukalina, M.N. Popova, *et al*, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **16** (45), 24727 (2014).
- [7] M.N. Popova, K.N. Boldyrev, *Optical Materials*, **63**, 101 (2017).
- [8] M.N. Popova, S.A. Klimin, S.A. Moiseev, *et al*, *Phys. Rev. B* **99**, 235151 (2019)
- [9] K.N. Boldyrev, M.N. Popova, B.Z. Malkin, *et al*, *Phys. Rev. B* **99**, 041105(R) (2019)

Электрофизика границы полупроводник–водяной пар

Н.А. Поклонский

Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

В лекции кратко излагаются электрические свойства водяного пара и жидкой воды. Обсуждаются явления при физической и химической адсорбции воды и углекислого газа на поверхности изоляторов, полупроводников и металлов, а также приборных структур (см., например, [1–5] и приведенные там ссылки).

Солнце, вода и полупроводниковые материалы предопределили процесс зарождения и эволюции жизни на Земле [6,7]. Ключевую роль в этом определенно сыграли фотокаталитические процессы на поверхности оксидных полупроводников [8], а также разделение электрических зарядов на фронте испарения (конденсации) воды и льда [9] и при фотосинтезе в растениях [10]. Ныне пришло время электрохимии низкоразмерных полупроводниковых си-

стем [11,12] частично минимизировать все еще существующий дефицит электроэнергии [13] в масштабах от портативного до регионального [14].

Воду можно «разобрать» на водород и кислород, а затем «сложить» обратно (Г. Кавендиш и др.). Важным для гидро- и биосферы является свойство воды уменьшать свою плотность при замерзании (это свойство впервые отмечено Г. Галилеем). Гипотеза о том, что вода обладает долговременной (сутки и более) памятью о прошлых механических, электрических, магнитных и оптических воздействиях на нее, не находит подтверждения в эксперименте [15].

Водяной пар составляет менее 0.5% массы земной атмосферы, но обуславливает $\approx 70\%$ атмосферного поглощения солнечного излучения в диапазоне от микроволнового до ультрафиолетового [16]. Влажность воздуха над сушей и перепады температуры суши в течение суток связаны отрицательной обратной связью (проявление принципа Ле Шателье–Брауна), т.е. суточные перепады температуры на суше тем меньше, чем больше влажность воздуха [17,18]. Грозовые облака содержат воду в виде отдельных молекул, жидких капель, льдинок и снежинок. В восходящих и нисходящих потоках воздуха происходит их биполярное заряджение, что в итоге порождает молнии (см., например, [19,20]). Отметим, что на принципе разделения зарядов двух потоков капель воды в гравитационном поле Земли работает капельница Кельвина — генератор статического электричества (см., например [21]). Наблюдается также заряджение капель воды, скользящих по наклонной поверхности аморфного кремния [22].

В последнее время было установлено необычное поведение деионизованной воды во внешнем электрическом поле при лабораторных условиях [23,24]. Конкретно, обнаружено образование «водяного мостика», когда в рядом стоящие два тефлоновых стакана с водой погружают платиновые электроды и создают между ними постоянное электрическое напряжение ≈ 15 кВ. Вначале в стакане с анодом, а затем и в стакане с катодом на поверхности воды возникают возвышения, которые, сливаясь, образуют водяную перемычку (мостик) с диаметром поперечного сечения ≈ 3 мм. После этого стаканы можно отодвинуть один от другого и увеличить длину мостика до 3 см. Из-за разогрева мостика ионным током время его существования ограничено (≈ 45 мин), а при температуре воды выше 75°C он не возникает. По гипотезе [25] элементами мостика являются ассоциаты шаровидной формы из молекул воды (т.н. эмулоны диаметром до 100 мкм).

Полупроводники открыл М. Фарадей, установивший, что электрическая проводимость сернистого серебра в твердом агрегатном состоянии увеличивается как при внешнем нагревании (теплом от руки или свечи), так и при нагревании возбуждаемым в нем током (см. эссе [26]). Исследования полу-

проводниковых материалов и приборов привели к созданию микро-, опто- и акустоэлектроники, во многом обусловивших прогресс во всей техносфере [27,28]. Именно полупроводники оказались повсеместно востребованными благодаря возможности формировать на их основе одновременно и чувствительные, и стабильные компактные приборные структуры [29].

В работе [30] указано на возможность прямого преобразования в темноте химической энергии рекомбинации акцепторно- и донорноподобных газов на двойном электрическом слое полупроводникового $p-n$ -перехода в энергию электрического тока. Схема генерации электрической энергии при каталитической диссоциации молекулярных газов на поверхности гетероструктуры металл-полупроводник со стороны металла предложена и реализована в [31–33]. В работе [34] получена генерация хемотока на селеновом $p-n$ -переходе под действием на переход потока атомарного водорода. (По расчетам [35] энергия ионизации атома водорода на поверхности металла, когда расстояние между протоном и атомами металла оказывается несколько меньше боровского радиуса, обращается в нуль.)

В обзоре [36] обсуждаются актуальные вопросы очистки сточных вод. Как пример рассматривается электрохимическое окисление органики на поверхности электродов из легированных бором пленок поликристаллического алмаза. Такие пленки алмаза p -типа обычно получают химическим осаждением углеводородного пара на инженерные поверхности [37].

В заключение обозначаются перспективы исследований по тематике лекции и ассоциированные с ними гипотезы.

Работа поддержана государственной программой научных исследований «Физматтех» Республики Беларусь, БРФФИ (грант № Ф18Р-253) и проектом H2020-MSCA-RISE-2019-871284 SSHARE.

Литература

- [1] C.W. Extrand, *Langmuir*, **32**, 7697–7706 (2016).
- [2] M. Zubair, H. Kim, A. Razzaq, *et al*, *J. CO₂ Util.*, **26**, 70–79 (2018).
- [3] Y. Wang, Z. Zhang, L. Zhang, *et al*, *J. Am. Chem. Soc.*, **140**, 14595–14598 (2018).
- [4] N.A. Poklonski, S.V. Ratkevich, S.A. Vyrko, *et al*, *Int. J. Nanosci.*, **18**, 1940008 (2019).
- [5] В.М. Арутюнян, *УФН*, **158**, 255–291 (1989).
- [6] М.-В. Но, *Int. J. Des. Nat. Ecodyn.*, **9**, 1–12 (2014).
- [7] А.А. Красновский, В.В. Никандров, *Природа*, **12**, 39–41 (1988).
- [8] Photocatalysis and Water Purification: From *Fundamentals to Recent Applications*, ed. by P. Pichat (Wiley, Weinheim, 2013).
- [9] А.В. Шавлов, В.А. Джуманджи, А.А. Яковенко, *ЖТФ*, **88**, 498–506 (2018).
- [10] А.Г. Яковлев, В.А. Шувалов, *УФН*, **186**, 597–625 (2016).
- [11] R.M. Penner, Yu. Gogotsi, *ACS Nano*, **10**, 3875–3876 (2016).

- [12] Y. He, Q. He, L. Wang, *et al*, *Nat. Mater.*, **18**, 1098–1104 (2019).
- [13] П.Л. Капица, *УФН*, **118**, 307–314 (1976).
- [14] А.Г. Забродский, *УФН*, **176**, 444–449 (2006).
- [15] Г.Р. Иваницкий, А.А. Деев, Е.П. Хижняк, *УФН*, **184**, 43–74 (2014).
- [16] М.Ю. Третьяков, М.А. Кошелев, Е.А. Серов, и др., *УФН*, **184**, 1199–1215 (2014).
- [17] Б.М. Смирнов, *УФН*, **184**, 1153–1176 (2014).
- [18] А.В. Бялко, *УФН*, **182**, 111–116 (2012).
- [19] А.И. Григорьев, О.А. Синкевич, *ЖТФ*, **54**, 1276–1283 (1984).
- [20] В.А. Саранин, *ЖТФ*, **68**, 16–21 (1998).
- [21] M. Zahn, *Am. J. Phys.*, **41**, 196–202 (1973).
- [22] A.Z. Stetten, D.S. Golovko, S.A.L. Weber, *et al*, *Soft Matter*, **15**, 8667–8679 (2019).
- [23] E.C. Fuchs, K. Gatterer, G. Holler, *et al*, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **41**, 185502 (2008).
- [24] A.D. Wexler, E.C. Fuchs, J. Woissetschlager, *et al*, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **21**, 18541–18550 (2019).
- [25] А.Н. Смирнов, *Наука и жизнь*, **10**, 64–67 (2011).
- [26] Б.В. Царенков, *ФТП*, **17**, 2113–2115 (1983).
- [27] В.С. Вавилов, *УФН*, **165**, 591–594 (1995).
- [28] Ю.В. Гуляев, *УФН*, **175**, 887–895 (2005).
- [29] Н.А. Поклонский, *Наука и инновации*, **8**, 64–69 (2016).
- [30] В.Н. Маслов, *ФТП*, **11**, 1510–1514 (1977).
- [31] V. Gergen, H. Nienhaus, W.H. Weinberg, *et al*, *Science*, **294**, 2521–2523 (2001).
- [32] В.Ф. Харламов, А.В. Костин, М.В. Кубышкина, и др., *ФТП*, **42**, 60–67 (2008).
- [33] В.П. Гранкин, Д.В. Гранкин, *Письма в ЖТФ*, **41**, 29–36 (2015).
- [34] В.В. Стыров, С.В. Симченко, *Письма в ЖЭТФ*, **96**, 343–346 (2012).
- [35] О.В. Константинов, В.Д. Дымников, М.А. Митцев, *ФТП*, **42**, 947–949 (2008).
- [36] Y. He, H. Lin, Z. Guo, *et al*, *Sep. Purif. Technol.*, **212**, 802–821 (2019).
- [37] А.К. Ребров, *УФН*, **187**, 193–200 (2017).