

Сорбция водорода кремнийоксидным аэрогелем при низких температурах

А.В. Долбин, М.В. Хлыстюк, В.Б. Есельсон, В.Г. Гаврилко, Н.А. Винников,
Р.М. Баснукаева

*Физико-технический институт низких температур им. Б.И. Веркина НАН Украины
пр. Науки, 47, г. Харьков, 61103, Украина
E-mail: dolbin@ilt.kharkov.ua*

В.Е. Марценюк, Н.В. Веселова, И.А. Калюжный

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
ул. Кирпичева, 2, г. Харьков, 61002, Украина*

А.В. Сторожко

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, пл. Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина

Статья поступила в редакцию 10 июля 2017 г., опубликована онлайн 26 декабря 2017 г.

Методом термопрограммированной десорбции в температурном интервале 7–95 К исследована сорбция и последующая десорбция водорода образцом кремнийоксидного аэрогеля. Во всем температурном интервале исследований наблюдалась физическая сорбция водорода образцом, обусловленная слабым ван-дер-ваальсовым взаимодействием молекул водорода с кремнийоксидными стенками пор образца. Суммарная емкость образца аэрогеля по отношению к водороду составила ~1,5 мас.%. Определено, что при убывании температуры образца от 95 до 60 К характеристические времена сорбции водорода кремнийоксидным аэрогелем возрастают, что характерно для термически активированной диффузии ($E_a \approx 408$ К). В температурном интервале 15–45 К характеристические времена сорбции H_2 слабо зависели от температуры, что предположительно обусловлено преобладанием туннельного механизма диффузии над термоактивационным. Ниже 15 К характеристические времена сорбции несколько возрастают при понижении температуры, что может быть объяснено образованием монослоя молекул H_2 на поверхности зерен аэрогеля.

Методом термопрограмованої десорбції в температурному інтервалі 7–95 К досліджено сорбцію та подальшу десорбцію водню зразком кремнійоксидного аерогелю. У всьому температурному інтервалі досліджень спостерігалася фізична сорбція водню зразком, яка обумовлена слабкою ван-дер-ваальсовою взаємодією молекул водню з кремнійоксидними стінками пор зразка. Сумарна ємність зразка аерогелю відносно до водню складала ~ 1,5 мас.%. Визначено, що при зменшенні температури зразка від 95 до 60 К характеристичні часи сорбції водню кремнійоксидним аерогелем зростають, що характерно для термічно активованої дифузії ($E_a \approx 408$ К). В температурному інтервалі 15–45 К характеристичні часи сорбції H_2 слабо залежали від температури, що імовірно обумовлено переважанням тунельного механізму дифузії над термоактиваційним. Нижче 15 К характеристичні часи сорбції зростають зі зниженням температури, що може бути пояснено утворенням моношару молекул H_2 на поверхні зерен аерогелю.

PACS: 61.43.Gt Порошки, пористые материалы;
82.70.Gg Гели и золи;
88.30.R– Хранение водорода.

Ключевые слова: кремнийоксидный аэрогель, сорбционная емкость, хранение водорода, адсорбция.

1. Введение

На сегодняшний день множество исследований посвящено новому типу пористых стекол, одними из ярчайших представителей которых являются кремнийоксидные аэрогели [1]. В семействе гелей кремнийоксидный аэрогель вызывает все больший интерес как с точки зрения фундаментальных исследований, так и для практического применения. Кремнийоксидный аэрогель — это аморфный пористый полупрозрачный материал, который имеет целый набор уникальных свойств, таких как высокая внутренняя площадь поверхности (может достигать $1000 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$), низкая скорость звука, низкая теплопроводность. Аэрогель имеет фракталоподобную структуру, которая зависит от строения и характера связей, соединяющих кремнийоксидные мостики (O–Si–O–Si–O) в единый материал [2–5]. Необычные свойства аэрогеля обусловлены очень высоким удельным объемом пор (обычно 90–99% объема) [6]. Размеры пор кремнийоксидного аэрогеля варьируются от 5 до 100 нм, а средний диаметр зерен составляет от 20 до 40 нм [7]. Как правило, аэрогели синтезируют золь-гель методом [8]. Наноструктурная сеть формируется в жидком реакционном растворе в результате полимеризации, в процессе которой создаются кремнийоксидные мосты между атомами кремния [7]. Изменяя условия синтеза, можно контролировать некоторые свойства аэрогеля, такие как гидрофобность или гидрофильность. Достаточно широко известны исследования морфологии аэрогелей (размеры и распределение пор, объем пор) при помощи адсорбции азота [9]. Адсорбцию газов в мезопористых материалах принято описывать в терминах капиллярной конденсации, причем процессы десорбции могут отличаться от адсорбционных, например проходить при более низком давлении [10,11]. В настоящее время существуют проблемы, в частности, правильной физической интерпретации результатов исследований сорбционных свойств высокопористых аэрогелей ввиду сложной структуры этих веществ и различных механизмов заполнения пор [12]. Иными словами, сорбционные исследования не могут дать точных данных об объеме пор образца, так как размеры пор в аэрогеле варьируются в широком диапазоне. Наиболее известны работы по характеристике образцов аэрогеля различными сорбционными методиками, например определение эффективной сорбционной площади поверхности методом БЭТ [13], исследования адсорбции сложных химических соединений и жидкостей [14] (с точки зрения очистки воды от нефти и других загрязнителей), однако исследования сорбционных свойств по отношению к различным газовым примесям, в том числе водороду, практически отсутствуют. Целью данной работы являлось установление влияния особенностей структуры на сорбционные свойства и кинетику насыщения кремнийоксидного аэрогеля молекулярным водородом

при низких температурах. Реверсивная низкотемпературная сорбция водорода кремнийоксидным аэрогелем может быть использована для создания криогенных накопителей водорода большой емкости.

2. Методика исследований

Сорбция водорода образцом кремнийоксидного аэрогеля была исследована в температурном интервале 7–290 К при помощи лабораторного стенда, конструкция и принцип действия которого подробно описаны [15–17].

В исследованиях был использован образец кремнийоксидного аэрогеля фирмы «Active Aerogels», Lda, масса образца 0,08465 г, плотность 160 кг/м^3 . Морфология образца и методика его приготовления подробно описаны в работе [18].

Перед проведением исследований образец был вакуумирован в течение десяти суток непосредственно в измерительной ячейке стенда для удаления возможных газообразных примесей. С целью удаления остатков влаги ячейку периодически промывали чистым азотом. Для насыщения образца был использован нормальный водород чистотой 99,98% (примеси: $\text{O}_2 \leq 0,01\%$ и $\text{N}_2 \leq 0,01\%$). Насыщение образца аэрогеля водородом выполнялось при давлениях ~ 1 Торр. Наименьшая температура исследований была обусловлена минимальным давлением насыщенных паров водорода, доступным для измерений: при 7 К равновесное давление водорода составляет $\sim 1,3 \cdot 10^{-3}$ Торр, минимальное измеряемое давление $1 \cdot 10^{-4}$ Торр. В процессе насыщения давление H_2 поддерживалось в 2,5–3 раза меньшим, чем равновесное давление паров H_2 при данной температуре. По мере сорбции водорода образцом в ячейку добавляли дополнительные порции H_2 . Такой режим насыщения образца позволил избежать конденсации паров водорода и образования пленки на поверхности образца и стенках ячейки. Подача H_2 прекращалась при достижении в ячейке равновесного давления 10^{-2} Торр. Затем ячейку герметизировали и регистрировали изменение давления в процессе десорбции водорода из порошка при ступенчатом нагревании. Газообразный водород, выделяющийся при нагревании, собирался в вакуумированный термостатированный калиброванный объем, давление в котором определялось при помощи двух емкостных датчиков давления MKS-627, позволявших измерять давления от 10^{-3} до 10^3 Торр с погрешностью $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ Торр. Отбор газа из образцов длился до тех пор, пока давление газа над образцом не уменьшалось до 10^{-2} Торр, после чего выполнялся переход к следующему значению температуры. Величина ступени нагрева составляла 1 К. Продолжительность выдержки образца при стабильном значении температуры определялась в основном скоростью десорбции водорода из образца, а также количеством десорбированного при данной температуре водорода. В температурном ин-

тервале 6,8–40 К среднее время выдержки образца при стабильном значении температуры составляло 180 мин.

3. Результаты и обсуждение

Процессы сорбции и десорбции водорода образцом кремнийоксидного аэрогеля оказались полностью обратимыми, т.е. количество сорбированного водорода совпадало с количеством десорбированного в пределах погрешности эксперимента. Весь сорбированный образец при низких температурах водород был удален из образца при нагреве до 75 К. Таким образом, во всем температурном интервале исследований наблюдалась только физическая сорбция водорода образцом, обусловленная слабым ван-дер-ваальсовым взаимодействием молекул водорода с кремнийоксидными стенками пор образца. Температурная зависимость количества десорбированного из образца кремнийоксидного аэрогеля водорода представлена на рис. 1. Для сравнения на рисунке приведены зависимости, полученные при десорбции водорода из одностенных углеродных нанотрубок: закрытых на концах [19], подвергнутых термической обработке с целью раскрытия торцов [20], а также углеродных нанотрубок, облученных γ -квантами (1,2 МэВ) в среде водорода [21].

На рис. 1 пунктирной линией нанесена температура образования монослоя молекул водорода на внутренней поверхности каналов MCM-41 [22]. Однако ввиду существенного различия характерного размера пор MCM-41 и аэрогеля (2,5 нм и 5–100 нм соответственно) эту температуру, очевидно, нельзя считать одинаковой для данных структур. Обращает внимание отсутствие четко вы-

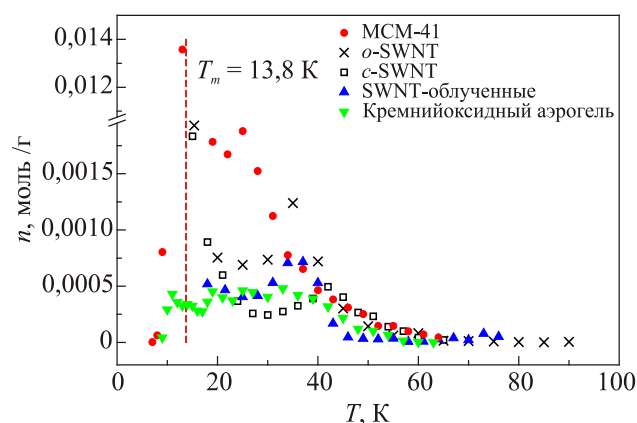


Рис. 1. (Онлайн в цвете) Температурные зависимости относительного количества водорода (моль H₂ на грамм), десорбированного из образца: кремнийоксидного аэрогеля (▼), образца c-SWNT (□) [19], o-SWNT (×) [20], образца SWNT, облученного γ -квантами в среде водорода (▲) [21], и образца наноструктурного кремнийоксидного материала MCM-41 (●) [22]. Пунктирной линией нанесена температура образования монослоя водорода на внутренней поверхности каналов MCM-41 [22].

раженных максимумов в десорбционной диаграмме для образца кремнийоксидного аэрогеля по сравнению с углеродными нанотрубками, десорбционные диаграммы которых имели, по крайней мере, два выраженных максимума. Это, по всей видимости, объясняется тем, что жгуты углеродных нанотрубок имеют несколько систематически локализованных участков поверхности, предпочтительных с точки зрения сорбции молекул водорода — канавки на поверхности нанотрубок, каналы между трубками в жгуте, внешняя поверхность жгутов, а также внутренние поверхности трубок, в случае, если молекулы водорода имели доступ внутрь трубок через дефекты стенок и торцов после окислительной обработки или радиационного облучения. Структура кремнийоксидного аэрогеля имеет стохастический или фрактальный характер [5], что обеспечивает «размытость» максимумов десорбционной диаграммы.

Таблица 1. Общее количество десорбированного водорода (в мольных долях и массовых процентах) для образца аэрогеля, а также образцов углеродных нанотрубок [19,21] и кремнийоксидного наноструктурного материала MCM-41 [22]

Образец	Q_{\max}	
	ммоль/г	мас. %
Кремнийоксидный аэрогель	7,7	1,5
SWNT-с [19,21]	6,9	1,18
SWNT-о [19,21]	6,7	1,17
SWNT-облученные [19,21]	7,1	1,22
MCM-41 [22]	35,5	7,0

Необходимо отметить, что превышение суммарного количества водорода образцом кремнийоксидного аэрогеля над образцами углеродных нанотрубок (см. табл. 1) достигается в основном за счет наличия в образце аэрогеля большого количества пор с характерным размером около 100 нм [7], которые обеспечивают сорбцию водорода только при самых низких температурах (ниже 10 К).

Кинетика сорбции и десорбции водорода образцом кремнийоксидного аэрогеля была исследована методом измерения временной зависимости давления газа над образцом в замкнутом объеме. Методика исследований и описание экспериментального оборудования подробно изложены в работах [15–17]. Экспериментальные временные зависимости изменения давления ΔP при сорбции (либо десорбции) водорода образцом кремнийоксидного аэрогеля описывались экспоненциальной функцией с одним параметром экспоненты (τ) (рис. 2).

$$\Delta P = A (1 - \exp(-t / \tau)). \quad (1)$$

Поскольку десорбция водорода имела место из пор аэрогеля, имеющих сложную геометрию, и, соответственно, различные скорости заполнения и десорбции молекул водорода с участков с различными характеристическими размерами, о пригодности однопараметри-

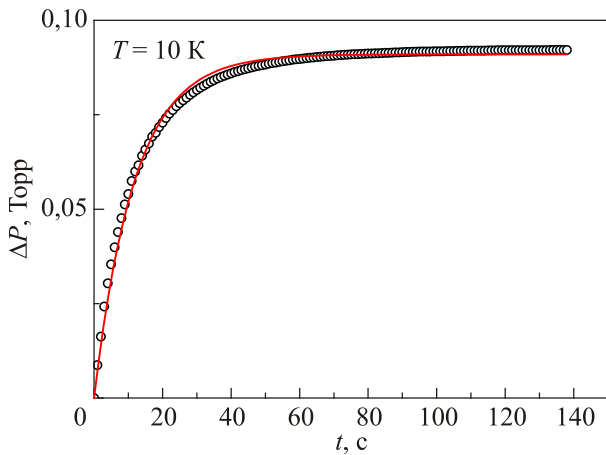


Рис. 2. (Онлайн в цвете) Изменение давления в процессе десорбции H_2 из образца кремнийоксидного аэрогеля (\circ) и аппроксимация $\Delta P(t)$ при помощи выражения (1) (сплошная линия) (в качестве примера приведены данные, полученные при температуре образца 10 К).

ческой экспоненциальной функции для описания процесса десорбции можно говорить только в виде допущения.

Значения параметра экспоненты τ (характеристическое время диффузии), а также параметра A находились путем подгонки к экспериментальным данным.

Временные зависимости изменения давления, полученные при сорбции и десорбции водорода для одного и того же значения температуры образца, отличались незначительно, и их характеристические времена совпадали в пределах погрешности методики эксперимента. Температурная зависимость характеристических времен диффузии водорода в образце кремнийоксидного аэрогеля имеет ярко выраженный немонокотный характер (рис. 3), по всей видимости, обусловленный сложной морфологией образца аэрогеля, а также несколькими конкурирующими механизмами, определяющими характер сорбционных процессов. При понижении температуры от 95 К до ≈ 60 К времена сорбции водорода

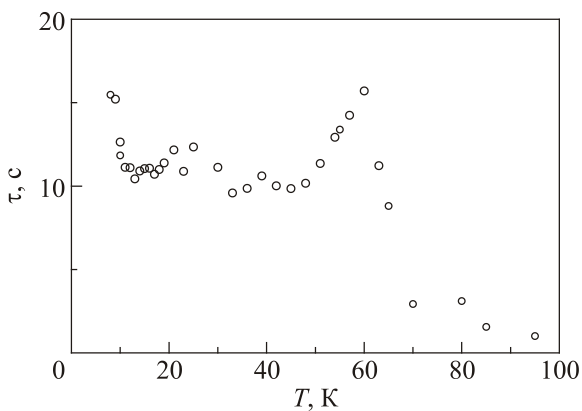


Рис. 3. Температурная зависимость характеристических времен диффузии водорода в образце кремнийоксидного аэрогеля.

образцом кремнийоксидного аэрогеля увеличивались (рис. 3 и 4). Такая зависимость свидетельствует о том, что в данном температурном интервале характер поведения сорбции определяется, главным образом, термически активированной диффузией молекул H_2 . При дальнейшем понижении температуры времена сорбции начинали уменьшаться. В температурном интервале 15–45 К характеристические времена сорбции H_2 слабо зависели от температуры. Такие особенности температурной зависимости времен сорбции 4He позволяют предположить, что при температурах ниже 45 К доминирующим процессом диффузии, определяющим скорость сорбции (десорбции), является туннелирование молекул H_2 вдоль кремнийоксидной поверхности зерен аэрогеля. Таким образом, немонотонность температурных зависимостей характеристических времен сорбции водорода образцом кремнийоксидного аэрогеля, по всей видимости, объясняется конкуренцией термоактивационного механизма диффузии, доминирующего при температурах выше 60 К, и туннельного механизма, вклад которого преобладает при низких температурах.

Возрастание в температурном интервале 8–10 К характеристических времен сорбции водорода образцом кремнийоксидного аэрогеля, по всей видимости, объясняется образованием при сорбции либо разрушением при десорбции монослоя молекул H_2 на кремнийоксидной поверхности зерен аэрогеля. Этот процесс является термоактивационным и сопровождается изменением подвижности молекул водорода. Оценка энергии активации этого процесса составила $E_{am} = 11,2$ К.

На основании характеристических времен τ была выполнена оценка коэффициентов диффузии водорода в образце кремнийоксидного аэрогеля:

$$D \approx \frac{\bar{\ell}^2}{6\tau}, \quad (2)$$

где $\bar{\ell}$ — среднее значение размера полостей кремнийоксидного аэрогеля, для оценок коэффициента диф-

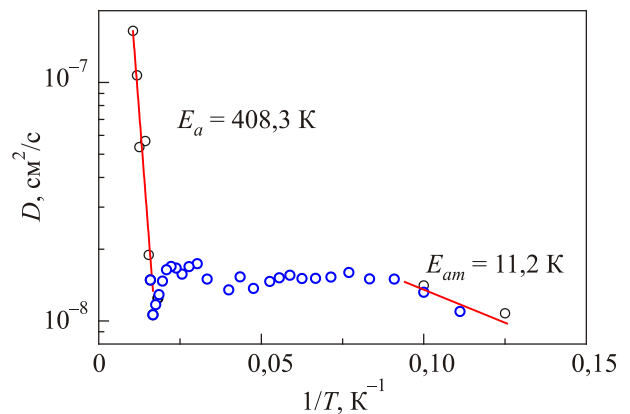


Рис. 4. (Онлайн в цвете) Зависимость коэффициента диффузии от обратной температуры. Линейная аппроксимация соответствует температурному интервалу доминирования термоактивационного механизма.

фузии было использовано усредненное значение $\sim 0,1$ мкм [7], τ — характеристическое время диффузии.

Заполнение образца аэрогеля молекулами H_2 происходило преимущественно вдоль поверхности зерен аэрогеля, имеющих сложную (фрактальную [5]) пространственную конфигурацию. Ввиду этого находящийся в знаменателе формулы (2) коэффициент пропорциональности для близкой к трехмерному случаю диффузии считался приблизительно равным 6.

Для определения энергии активации E_a диффузии водорода в кремнийоксидном аэрогеле температурная зависимость коэффициентов диффузии была построена в координатах $\ln(D)$ от $1/T$ (см. рис. 4). Энергия активации определялась линейным приближением экспериментальных данных выражением (3) для термоактивационного участка (60–95 К):

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{k_B T}\right), \quad (3)$$

где D_0 — энтропийный фактор, зависящий от частоты соударений молекул матрицы и примеси; k_B — постоянная Больцмана.

Оценочное значение энергии активации для кремнийоксидного аэрогеля составило $E_a \approx 408$ К. Данное значение сопоставимо с энергией активации диффузии водорода в сотовых каналах кварцевой наноструктуры MCM-41 (диаметр канала $\approx 2,5$ нм) [22], а также с энергией активации водорода в жгутах закрытых, открытых и содержащих дефекты после облучения γ -квантами одностенных углеродных нанотрубок [19,21,23] (табл. 2).

Таблица 2. Энергия активации диффузии водорода в различных наноструктурах

Образец	Энергия активации, E_a , К
Кремнийоксидный аэрогель	408
MCM-41 [22]	466
SWNT-с [19,21]	230
SWNT-о [19,21]	212
SWNT-облученные [19,23]	480

4. Выводы

При помощи метода термопрограммированной десорбции в температурном интервале 7–95 К была исследована сорбция и последующая десорбция водорода образцом кремнийоксидного аэрогеля. В полученных десорбционных спектрах отсутствуют ярко выраженные максимумы, присущие системам, имеющим упорядоченную структуру пор, что подтверждает стохастический характер морфологии пор кремнийоксидного аэрогеля. Суммарная емкость образца аэрогеля по отношению к водороду составила 1,5 мас.%, что несколько выше сорбционной емкости одностенных углеродных нанотрубок, насыщаемых водородом в тех же условиях.

Однако необходимо учитывать, что превышение суммарного количества водорода образцом кремнийоксидного аэрогеля над образцами углеродных нанотрубок достигается в основном за счет наличия в образце аэрогеля большого количества пор большого размера (более 100 нм), сорбция водорода в которые имеет место только при температурах менее 10 К.

Характеристические времена сорбции водорода кремнийоксидным аэрогелем возрастали при понижении температуры образца от 95 до 60 К, что характерно для термически активированной диффузии. Полученная оценка энергии активации этого процесса $E_a \approx 408$ К. В температурном интервале 15–45 К характеристические времена сорбции H_2 слабо зависят от температуры, что может быть объяснено преобладанием туннельного механизма диффузии над термоактивационным. Ниже 10 К наблюдалось небольшое увеличение характеристических времен с понижением температуры, что, по всей видимости, объясняется образованием монослоя молекул H_2 на кремнийоксидной поверхности зерен аэрогеля.

Авторы работы выражают признательность В.К. Чаговцу за плодотворное обсуждение результатов работы.

1. T. Woignier, J. Primera, A. Alaoui, P. Etienne, F. Despeyris and S. Calas, *Gels* **1**, 256 (2015).
2. J. Gross and J. Fricke, *J. Non-Cryst. Solids* **145**, 217 (1992).
3. G.A. Nicolaon and S.J. Teichner, *Bull. Soc. Chim. Fr.* **5**, 1900 (1968).
4. J. Fricke, *J. Non-Cryst. Solids* **147–148**, 356 (1992).
5. T. Woignier, J. Phalippou, J. Pelous, and E. Courtens, *J. Non-Cryst. Solids* **121**, 198 (1990).
6. P.B. Wagh, R. Begag, G.M. Pajonk, A. Venkateswara Rao, and D. Haranath, *Mater. Chem. Phys.* **57**, 214 (1999).
7. *Aerogels Handbook, Advances in Sol-Gel Derived Materials and Technologies*, M.A. Aegerter, Alain C. Pierre, and Arnaud Rigacci (eds.), Springer Science+Business Media, LLC (2011).
8. J. Brinker and G.W. Scherer, *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*, Academic Press Inc.: San Diego, CA, USA (1990).
9. P. Sarawade, D.V. Quang, A. Hilonga, S.J. Jeon, and H.T. Kim, *Mater. Lett.* **81**, 37 (2012).
10. S.J. Gregg and K.S.W. Sing, *Adsorption, Surface Area and Porosity*, Academic Press, London (1982).
11. F. Rouquerol, J. Rouquerol, and K. Sing, *Adsorption by Powders and Porous Solids*, Academic Press, London (1999).
12. F. Detcheverry, E. Kierlik, M.L. Rosinberg, and G. Tarjus, *Langmuir* **20**, 8006 (2004).
13. A. Tadjarodi, M. Haghverdib, V. Mohammadib, and M. Rajabic, *JNS* **3**, 181 (2013).
14. P.O. Abiodun, O.D. Adewunmi, and A.A. Olusola, *JEAS* **4**, 122 (2014).
15. A.V. Dolbin, V.B. Esel'son, V.G. Gavrilko, V.G. Manzhelii, N.A. Vinnikov, S.N. Popov, N.I. Danilenko, and B. Sundqvist,

- Fiz. Nizk. Temp.* **35**, 613 (2009) [*Low Temp. Phys.* **35**, 484 (2009)].
16. A.V. Dolbin, V.B. Esel'son, V.G. Gavrilko, V.G. Manzhelii, N.A. Vinnikov, and S.N. Popov, *JETP Lett.* **93**, 577 (2011), http://dx.doi.org/10.1134/S_0021364011100067.
 17. A.V. Dolbin, V.B. Esel'son, V.G. Gavrilko, V.G. Manzhelii, N.A. Vinnikov, and S.N. Popov, *Fiz. Nizk. Temp.* **36**, 1352 (2010) [*Low Temp. Phys.* **36**, 1091 (2010)].
 18. M. Ochoa, L. Duraes, A.M. Beja, and A. Portugal, *J. Sol-Gel Sci. Technol.* **61**, 151 (2012).
 19. A.V. Dolbin, V.B. Esel'son, V.G. Gavrilko, V.G. Manzhelii, N.A. Vinnikov, S.N. Popov, B.A. Danilchenko, and N.A. Tripachko, *Fiz. Nizk. Temp.* **37**, 744 (2011) [*Low Temp. Phys.* **37**, 589 (2011)].
 20. A.V. Dolbin, V.B. Esel'son, V.G. Gavrilko, V.G. Manzhelii, S.N. Popov, N.A. Vinnikov, and B. Sundqvist, *Fiz. Nizk. Temp.* **35**, 1209 (2009) [*Low Temp. Phys.* **35**, 939 (2009)].
 21. A.V. Dolbin, V.B. Esel'son, V.G. Gavrilko, V.G. Manzhelii, N.A. Vinnikov, I.I. Yaskovets, I.Yu. Uvarova, N.A. Tripachko, and B.A. Danilchenko, *Fiz. Nizk. Temp.* **39**, 790 (2013) [*Low Temp. Phys.* **39**, 610 (2013)].
 22. А.В. Долбин, М.В. Хлыстыук, В.Б. Есельсон, В.Г. Гаврилко, Н.А. Винников, Р.М. Баснукаева, *ФНТ* **42**, 1455 (2016) [*Low Temp. Phys.* **42**, 1139 (2016)].
 23. B.A. Danilchenko, I.I. Yaskovets, I.Y. Uvarova, A.V. Dolbin, V.B. Esel'son, R.M. Basnukaeva and N.A. Vinnikov, *Appl. Phys. Lett.* **104**, 173109 (2014).

Sorption of hydrogen by silica aerogel at low temperatures

A.V. Dolbin, M.V. Khlistyuck, V.B. Esel'son, V.G. Gavrilko, N.A. Vinnikov, R.M. Basnukaeva, V.E. Martsenuk, N.V. Veselova, I.A. Kaliuzhnyi, and A.V. Storozhko

By the TPD desorption method in the temperature interval of 7–95 K the sorption and subsequent desorption of hydrogen by sample of silicate aerogel was investigated. In all temperature range of investigations only physical adsorption of hydrogen by the sample was observed. The sorption processes were caused by van der Waals interaction of the hydrogen molecules with silicate walls of sample's pores. Total hydrogen capacity of the aerogel sample were ~1.5 wt.%. Was observed, that with decrease of the temperature of sample (from 95 to 60 K) the characteristic times of hydrogen sorption were increased, which is indicative for thermal activated diffusion ($E_a \approx 408$ K). In the temperature range of 15–45 K the characteristic times of H₂ sorption was weakly dependant on the temperature, which is, presumably for predominance of tunnel mechanism of diffusion over thermoactivation. Below 15 K the characteristic times of diffusion were slightly increased with lowering temperature, which could be explained by formation of H₂ molecular monolayer on the aerogel's granules surface.

PACS: 61.43.Gt Powders, porous materials;
82.70.Gg Gels and sols;
88.30.R– Hydrogen storage.

Keywords: silica aerogel, sorption capacity, hydrogen storage, adsorption.