

# Оптический отклик атомов щелочных металлов, локализованных в нанопористом стекле<sup>\*,\*\*</sup>

А.Буркьянти, К.Маринелли, Э.Мариотти, А.Боджи, А.Мармуджи, С.Джоми, М.Маккари, С.Веронези, Л.Мои

*Исследовано влияние оптического излучения на процессы адсорбции и десорбции атомов щелочных металлов, локализованных в матрицах из нанопористого стекла. Воздействие на образец излучения ближней ИК или видимой области спектра изменяет распределение атомов внутри нанопор стекла, вынуждая всю систему переходить в другое состояние. Этот эффект вследствие как фотодесорбции, так и локализации атомов вызывает рост и испарение метастабильных наночастиц. Показано, что путем соответствующего выбора характеристик излучения и размера пор этими процессами можно управлять и видоизменять их, что открывает новые перспективы для изготовления наноструктурированных поверхностей.*

**Ключевые слова:** металлические наночастицы, пористое стекло, органическое покрытие, лазерно-индуцированная десорбция, поверхностный плазмон.

## 1. Введение

Взаимодействие излучения с веществом порождает очень много процессов, большая часть которых была широко изучена прежде всего благодаря появлению лазеров, а затем благодаря получению высоких интенсивностей когерентного излучения, приводящего к возникновению нелинейных эффектов. Напротив, интерес к явлениям, инициированным излучением с малой или очень малой интенсивностью, стал возрастать в основном в последние годы, когда появилась необходимость в новом глубоком понимании нерешенных вопросов, связанных с возможностью технологических применений этих явлений. Влияние излучения на процессы адсорбции и десорбции имеет большое значение при изучении взаимодействий атомов с поверхностью. Понимание основных механизмов и управление ими имело бы большое значение, поскольку способность управлять с помощью излучения скоростями адсорбции/десорбции атомов, а также выращиванием наночастиц на соответствующих подложках или в соответствующих средах в настоящее время признана перспективным методом в нанотехнологии [1].

Облучение поверхности инициирует множество явлений, происходящих на поверхности раздела и, вследствие диффузии атомов, в объеме. В настоящей работе представлен подробный анализ влияния лазерного излучения

на данные процессы. В связи с этим мы сосредоточим наше внимание на светоиндуцированной десорбции и формировании кластеров, а также на испарении атомов щелочных металлов в матрицах из пористого стекла.

## 2. Светоиндуцированная десорбция атомов

При попадании излучения на адсорбирующую поверхность атомы, предварительно адсорбированные на пористую подложку, выделяются в паровую фазу, что приводит в ограниченных объемах, например в герметичных стеклянных ячейках, к увеличению их концентрации. Это явление наблюдается также при воздействии малоинтенсивного (менее 1 мВт/см<sup>2</sup>), некогерентного и нерезонансного излучения и известно как светоиндуцированная десорбция атомов (СИДА) [2, 3].

СИДА – нетепловой процесс, который происходит в подложках из различных материалов, таких как органические пленки, кварц, стекло, сапфир и нержавеющая сталь, и с участием различных атомов, таких как атомы щелочных металлов и кальция (см. обзор [4] и приведенные там ссылки).

Хотя СИДА – универсальный эффект, который учитывался, например, при объяснении аномальной концентрации атомов щелочных металлов в атмосфере Луны [5], здесь мы имеем дело только с СИДА и связанными с ней явлениями в образцах из пористого стекла, подвергавшихся воздействию паров щелочных металлов, содержащихся в стеклянных ячейках.

Основную роль в явлении СИДА играет энергия адсорбции  $E_{ads}$ , которая определяет микроскопическое взаимодействие атомов с поверхностью. Стоит отметить, что этот процесс может быть описан как физическая сорбция, т. е. слабая связь атома с подложкой имеет место из-за возникновения индуцированного диполя, который не изменяет существенно электронную структуру адсорбированного атома, и атом может вернуться в исходное состояние в любой момент времени в результате соответствующих процессов.

\* Доложена на XIX Международной конференции по современным лазерным технологиям (ALT'11), Болгария, Золотые Пески, сентябрь 2011 г.

\*\* Перевод с англ. Е.А.Витовтовой.

A.Burchianti, C.Marinelli, E.Mariotti, A.Bogi, L.Marmugi, S.Giomi, M.Maccari, L.Moi. CNISM and DSFTA, University of Siena, via Roma 56, 53100 Siena, Italy; e-mail: mariotti@unisi.it  
S.Veronesi. CNISM and DSFTA, University of Siena, via Roma 56, 53100 Siena, Italy; NEST and Physics Department, University of Pisa, Largo Bruno Pontecorvo 3, 56127 Pisa, Italy

Поступила в редакцию 4 ноября 2011 г., после доработки – 18 ноября 2013 г.

Большинство материалов, подобных обычному стеклу, имеет энергию адсорбции  $\sim 1$  эВ. Это означает, что многие атомы фактически «захватываются» поверхностью с низкой вероятностью десорбции: из-за относительно большой энергии десорбции лишь немногие атомы могут быть действительно удалены и перейти в паровую фазу. Напротив, органические пленки, такие как полидиметилсилоксан (ПДМС), имеют энергию  $E_{\text{ads}} \sim 0.1$  эВ, которая обеспечивает большую эффективность фотоэжекции атомов. В результате для получения одного и того же количества десорбированных атомов нужно облучить поверхность площадью во много квадратных метров в случае большинства твердых материалов и площадью всего в несколько квадратных сантиметров в случае органических пленок. С другой стороны, пористые подложки на основе кварца обладают многими преимуществами с точки зрения стабильности и повторяемости характеристик и вообще могут быть лучше обработаны, чем органические соединения. Чтобы найти компромиссное решение, мы предложили использовать нанопористое стекло с внутренней поверхностью  $100 \text{ м}^2/\text{г}$  [6]. В этом случае эффективная облучаемая поверхность достаточно велика, чтобы компенсировать более высокую энергию адсорбции; в результате образец «выдает» значительное количество десорбированных атомов.

### 3. Процессы в пористом стекле, управляемые излучением

Пористый кварц, общеизвестный также как пористое стекло, получается путем химического удаления части стекольной шихты, при этом остается каркас из пористого кварца (концентрация  $\text{SiO}_2$  свыше 96%). Получающиеся образцы содержат произвольную связанную сеть узких туннелей, где атомы диффундируют и могут адсорбироваться. В наших экспериментах мы использовали образцы двух типов. Образцы первого типа имеют поры со средним диаметром 17 нм, свободный объем 50% и общую поверхность пор  $100 \text{ м}^2/\text{г}$ . Эти образцы из пористого стекла представляют собой пластинки размером  $30 \times 15 \times 1$  мм с эквивалентной поверхностью около  $40 \text{ м}^2$ . В дальнейшем такие образцы мы будем называть ПС. Второй тип образцов из пористого стекла – образцы из вайкора 7930, поставляемые фирмой Corning, которые обозначены здесь как ВПС. Испытуемые образцы ВПС представляют собой диски диаметром 11 мм и толщиной 1 мм. В этом случае средний диаметр пор составляет примерно 4 нм, свободный объем – 28% и эквивалентная поверхность – около  $30 \text{ м}^2$ .

В отличие от покрытий из ПДМС, ПС и ВПС не проявляют антирелаксационных свойств, характерных для органических полимеров [7], но в них также имеют место хаотическое распределение и взаимосвязь полостей. Кроме того, в образцах из пористого стекла атомы паровой фазы локализируются в небольшом объеме с поперечным размером, лишь в сто раз превышающим размер атома. Геометрия и интенсивное облучение поверхности являются основными причинами необычного поведения матриц из ПС/ВПС по сравнению с органическими покрытиями. Кроме того, прямое сравнение двух различных образцов из пористого стекла полезно для более полного выявления роли размеров пор в светоиндуцированных явлениях.

Образцы из пористого стекла помещаются внутрь ячеек из пирекса, содержащих резервуар с твердым щелочным металлом, затем вся ячейка выдерживается при комнатной температуре. Образцы механически прикрепляются к телу ячейки с помощью кольца из пирекса.

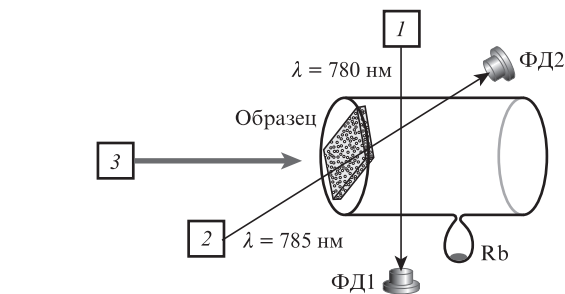


Рис.1. Схема эксперимента по исследованию СИДА для образцов из пористого стекла (ПС или ВПС):

1 – зондирующий лазер для регистрации концентрации атомов, настроенный на линию  $D_2$  атома Rb с  $\lambda = 780 \text{ нм}$ ; 2 – лазерный диод для контроля прозрачности образца с  $\lambda = 785 \text{ нм}$ ; 3 – источник десорбирующего излучения (лазерные диоды ближнего ИК и видимого диапазонов или непрерывный YAG: Nd-лазер с удвоением частоты); ФД1 и ФД2 – фотодиоды.

лочным металлом, затем вся ячейка выдерживается при комнатной температуре. Образцы механически прикрепляются к телу ячейки с помощью кольца из пирекса.

На рис.1 показана типичная упрощенная схема эксперимента по исследованию СИДА для образцов ПС в присутствии паров Rb. Контроль концентрации атомов и прозрачности твердого образца осуществлялся с использованием излучений лазерных диодов с  $\lambda = 780$  и  $785 \text{ нм}$  соответственно. Десорбирующее излучение третьего лазерного источника направлялось через телескоп на образец для получения его равномерного облучения.

При облучении образца излучением видимой области спектра атомы щелочных металлов быстро десорбируются с поверхности пор, т. е. переходят в паровую фазу вследствие эффекта СИДА. В результате этого концентрация атомов увеличивается и становится выше ее равновесного значения при комнатной температуре. Подобная картина без каких-либо существенных отличий наблюдается для атомов Rb и Cs и для образцов ПС и ВПС.

На рис.2 представлена относительная концентрация атомов Rb как функция времени при облучении образца ВПС видимым десорбирующим излучением. В момент времени  $t = 0$  включается десорбирующее излучение с длиной волны  $532 \text{ нм}$  и интенсивностью  $50 \text{ мВт}/\text{см}^2$ . За несколько

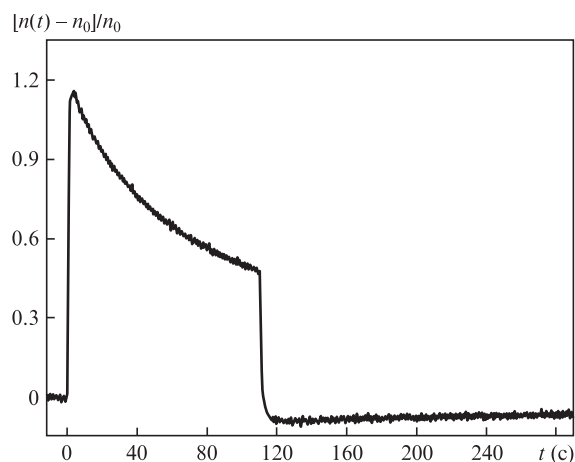


Рис.2. Временная зависимость относительной концентрации атомов Rb. Источник десорбирующего излучения – YAG: Nd-лазер с удвоением частоты ( $\lambda = 532 \text{ нм}$ ), время облучения 115 с, интенсивность лазерного излучения равна  $50 \text{ мВт}/\text{см}^2$  и одинакова на всей поверхности образца ВПС с размером пор 4 нм;  $n_0 \approx 1.3 \times 10^9 \text{ см}^{-3}$  – равновесная концентрация атомов Rb.

ко десятков миллисекунд атомы Rb десорбируются из пористого образца, и их концентрация увеличивается на ~120%. При  $t = 115$  с десорбирующее излучение выключается, и концентрация атомов Rb быстро уменьшается до более низкого, чем равновесное, значения, что демонстрирует истощение образца из пористого стекла. Исходная равновесная концентрация восстановится через несколько часов.

Мы определяем относительную скорость  $R_n$  увеличения концентрации атомов сразу после включения десорбирующего излучения в момент времени  $t = t_0$  следующим образом:

$$R_n = \frac{1}{n_0} \left. \frac{dn}{dt} \right|_{t=t_0}$$

Скорость десорбции  $R_n$  обусловлена главным образом десорбцией атомов из пор, находящихся вблизи внешней поверхности образца. На рис.3 представлена зависимость  $R_n$  от энергии десорбирующих фотонов в случае образца ПС, находящегося в парах Rb. Эту зависимость можно объяснить существованием двух различных процессов десорбции. Один из них характеризуется монотонным увеличением скорости  $R_n$  с увеличением энергии фотонов (кривая 2 на рис.3), другой, напротив, четко демонстрирует резонанс гауссовой формы (кривая 3) в ближней ИК области. Нерезонансный вклад обусловлен эффектом СИДА с пористой поверхности, а резонансный – десорбцией, индуцированной поверхностными плазмонами (ДИПП), из металлических кластеров, которые формируются внутри нанополостей при диффузии пара в темновых условиях [8, 9].

Доказательством формирования металлических кластеров внутри нанопор стекла в условиях теплового равновесия служит появление полос поглощения поверхностных плазмонов в образцах из пористого стекла, подвергнутых воздействию паров щелочных металлов. Эта особенность наблюдается в образцах ПС, и ВПС, как показано на рис.4 и 5 (кривые 1), где представлены спектры поглощения образцов. Кроме того, при облучении видимым или УФ излучением происходит обратимое изменение оптических свойств обоих образцов: после облучения ртутной лампой интенсивность пиков поглощения в ближней ИК

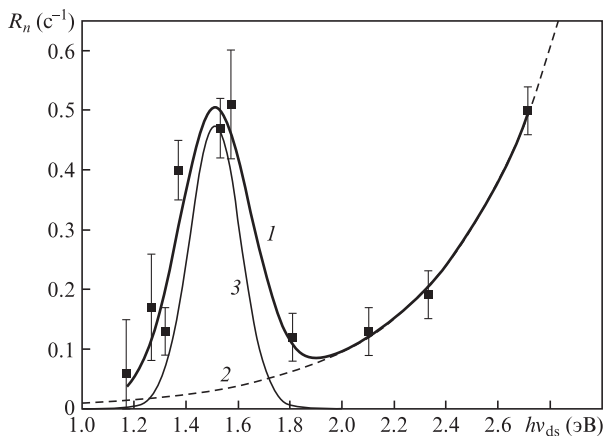


Рис.3. Скорость десорбции атомов Rb из образца ПС с размером пор 17 нм как функция энергии десорбирующих фотонов  $h\nu_{ds}$  при интенсивности излучения  $5 \text{ мВт/см}^2$ . Кривая 1 – результат наилучшей аппроксимации экспериментальных данных, определяемый суммой двух вкладов, обусловленных эффектом СИДА (2) и эффектом ДИПП из металлических кластеров (3).

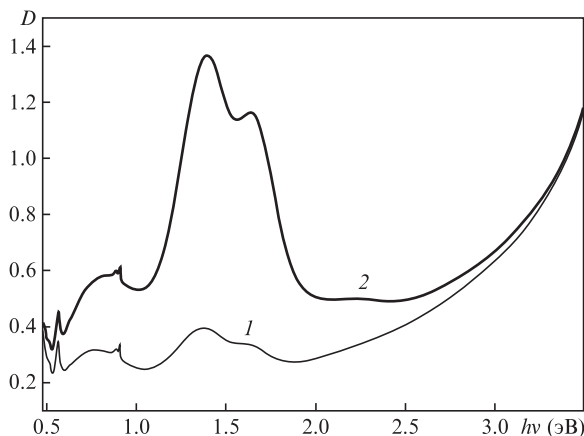


Рис.4. Спектры поглощения образца ПС с размером пор 17 нм, полученные в присутствии паров рубидия при тепловом равновесии (1) и после облучения ртутной лампой высокого давления в течение 2 мин (2) при интенсивности излучения  $10 \text{ мВт/см}^2$ .

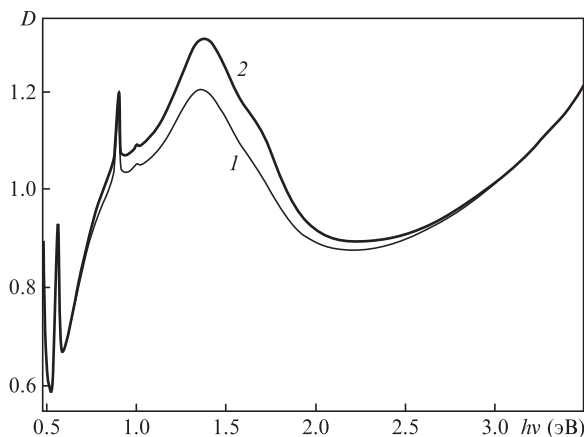


Рис.5. Спектры поглощения образца ВПС с размером пор 4 нм, полученные в присутствии паров рубидия при тепловом равновесии (1) и после облучения ртутной лампой высокого давления в течение 2 мин (2) при интенсивности излучения  $10 \text{ мВт/см}^2$ .

области возрастает, а затем в темновых условиях оптическая плотность образцов за несколько часов релаксирует к своему первоначальному значению. Спектры поглощения пористого кварца регистрировались с помощью спектрофотометра, причем оптическая плотность образцов измерялась до и после их облучения без удаления ячейки из спектрофотометра. Это позволяло нам оценивать светоиндуцированное изменение спектров образцов, избегав случайных изменений в результате регулировки положения ячейки.

Светоиндуцированные изменения оптических свойств образцов ПС и ВПС могут быть обусловлены эффектом СИДА. Из-за большого количества адсорбированных атомов и относительно малых объемов, в которых локализуется паровая фаза, высока вероятность накопления поверхностных дефектов. Она далее увеличивается при облучении видимым излучением, которое усиливает подвижность адсорбированных атомов. В результате СИДА может индуцировать систематическое формирование металлических скопления атомов щелочных металлов, которые в среднем остаются стабильными в течение нескольких часов после воздействия десорбирующего излучения.

Результаты, представленные на рис.4 и 5, показывают присутствие металлических наночастиц, сформировавшихся

ся в темновых условиях или под действием десорбирующего излучения: типичные полосы поглощения в ближней ИК области являются характерным признаком металлических агломератов, геометрия и взаимодействие которых с диэлектрической подложкой [10] определяют характеристики спектра. В случае образца ПС в присутствии паров рубидия (рис.4) два поверхностных плазмонных резонанса, расположенные вблизи  $h\nu = 1.5$  эВ, обусловлены квазисферическими кластерами со средним радиусом  $\sim 3$  нм, что согласуется с размером пор. Другие наблюдаемые полосы поглощения, охватывающие весь оптический спектр, вероятно, обусловлены формированием более крупных металлических скоплений различной формы. Главный эффект облучения видимым и УФ излучениями в этом случае – увеличение количества наноразмерных сфероидов внутри пор (рис.4). Следовательно, излучение в образцах ПС «выращивает» частицы четко определенных размеров и форм.

На рис.5 приведены спектры поглощения образца ВПС в присутствии паров Rb в равновесных темновых условиях и сразу после облучения ртутной лампой высокого давления. В этом случае оптическая плотность образца в темновых условиях выше, чем образца ПС (рис.4), что указывает на более высокую плотность металлической фазы вследствие меньшего свободного пространства внутри пористой матрицы. Кроме того, полосы поглощения, обусловленные квазисферическими наночастицами, также присутствуют в спектре образца этого типа, хотя их пики меньше спектрально разделены, чем в предыдущем случае (рис.4). Такое резонансное уширение полос вызвано как меньшим средним размером частиц, так и более широким их распределением по форме. Нужно также отметить, что положения резонансов немного смещены в красную область: максимальная резонансная энергия составляет 1.2 эВ в случае образца ВПС и 1.37 эВ в случае образца ПС. Возможное объяснение этого – более сильное взаимодействие между отдельными наночастицами: размер пор в случае образца ВПС составляет только 4 нм, поэтому щелочные кластеры сильнее взаимодействуют друг с другом вследствие меньшего среднего расстояния между ними. Изменение оптической плотности в результате облучения образца (кривая 2 на рис.5) на один порядок меньше, чем в случае образца ПС с размером пор 17 нм, из-за меньшего количества наночастиц, «выращенных» при облучении, вследствие меньшего свободного объема в образце.

Оптические отклики на облучение этих двух типов пористого стекла показаны на рис.6. Изменения оптических плотностей образцов ВПС с размером пор 4 нм и ПС с размером пор 17 нм имеют схожий характер. Этот результат показывает, что микроскопические механизмы роста кластера при облучении одинаковы для обоих образцов из пористого стекла, а различия обусловлены только геометрией локализации кластеров. Положения максимумов оптической плотности, наблюдаемых после воздействия десорбирующего излучения, совпадают, и оба они смещены в синюю область относительно максимумов, за которые ответственны наночастицы, сформировавшиеся в темновых условиях. Стоит отметить, что величины этих смещений для двух стеклянных образцов различны: для образца ВПС плазмонный резонанс смещен на 0.1 эВ, а для образца ПС – только на 0.02 эВ. Все эти факты говорят о том, что механизм светоиндуцированной генерации наночастиц в двух образцах одинаков и что излучение

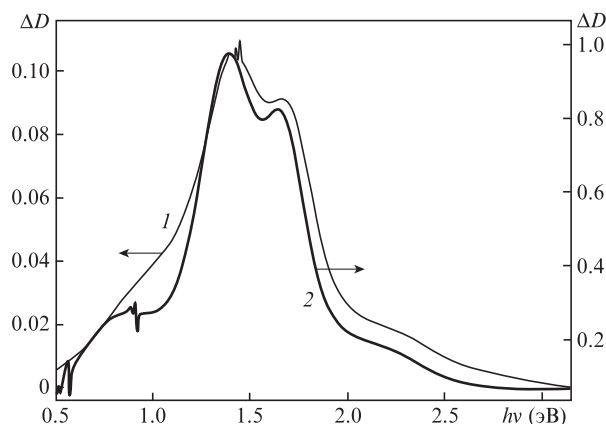


Рис.6. Спектры изменения оптических плотностей образцов ВПС с размером пор 4 нм (1) и ПС с размером пор 17 нм (2) в присутствии паров Rb после облучения ртутной лампой.

создает кластеры одинакового вида в обеих матрицах, и подтверждают, что основной вклад в оптическую плотность Rb, поглощенного пористым кварцем, вносят наночастицы, размер которых меньше размера пор. Однако нужно отметить, что наночастицы, «выращенные» под действием излучения в образце ВПС, немного меньше наночастиц, «выращенных» в образце ПС, поскольку два плазмонных пика в спектре образца ВПС разделены меньше. Это соответствует различным размерам пор в двух образцах.

#### 4. Стираемые оптические запоминающие устройства

Данные, представленные в предыдущем разделе, дают возможность реализовать устройство с управляемым откликом на резонансное излучение, которое может быть модифицировано путем соответствующего выбора длины волны десорбирующего излучения. Совместимость эффектов СИДА и ДИПП может использоваться для создания стираемых оптических запоминающих устройств, управляемых излучением.

Как уже обсуждалось, облучение образцов ПС/ВПС в присутствии паров щелочных металлов УФ (или) видимым излучением индуцирует генерацию сфероидальных наночастиц и таким образом делает образец непрозрачным для излучения красной или ближней ИК области спектра. С другой стороны, облучая образцы ПС/ВПС резонансным излучением ближней ИК области, можно разрушить щелочные кластеры и, следовательно, снова сделать образец прозрачным для зондирующего излучения. В этом случае, как показано на рис.1, зондирующий пучок является фактически «считывающим», а десорбирующее излучение – «записывающим», когда индуцируется СИДА, или «стирающим», когда возбуждается ДИПП.

На рис.7 показано, как образец ПС с адсорбированными атомами Rb может применяться для реверсивного запоминания изображений при использовании соответствующей последовательности воздействий десорбирующего излучения и оптических свойств образца [9]. После воздействия в течение 2 мин излучения с  $\lambda = 532$  нм и интенсивностью  $20$  мВт/см<sup>2</sup> облученные области становятся синими в результате увеличения количества наночастиц Rb, поглощающих излучение красной части видимой области спектра. После этой фазы «записи», если образец



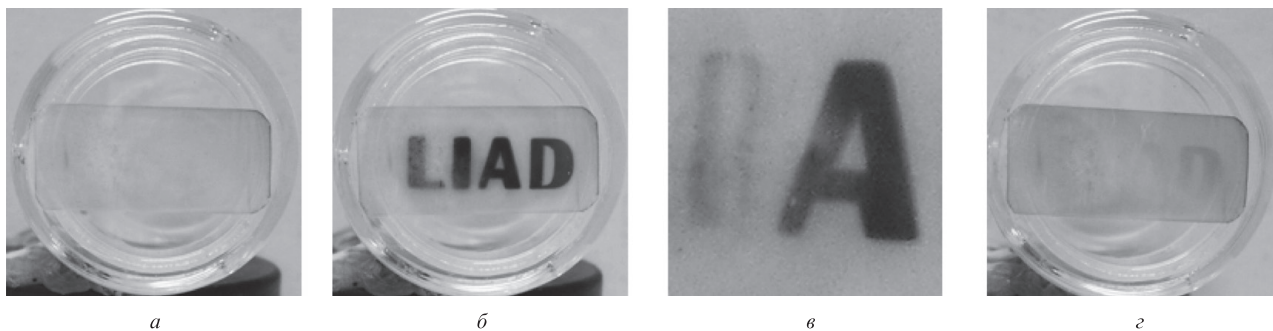


Рис.7. Управляемые излучением регистрация и запоминание изображений в образце ПС. Фотографии образца ПС с адсорбированными атомами Rb на различных стадиях процесса записи/стирания: образец в условиях теплового равновесия (а), после воздействия в течение 2 мин излучения с  $\lambda = 532$  нм и интенсивностью  $20 \text{ мВт/см}^2$  (б), обесцвечивание центральной части буквы I излучением с  $\lambda = 808$  нм и интенсивностью  $2.7 \text{ Вт/см}^2$  в течение 40 с (в) и возвращение образца к равновесному состоянию в результате релаксации в темновых условиях (фотография сделана через 3 ч после воздействия излучения (б)) [9] (z).

подвергается воздействию резонансного излучения ближней ИК области, происходит принудительное испарение кластеров, и таким образом образец обесцвечивается и его прозрачность восстанавливается. На рис.7,в показан результат облучения в течение 40 с центральной части буквы I излучением с  $\lambda = 808$  нм и интенсивностью  $2.7 \text{ Вт/см}^2$ . Стоит отметить, что образец со временем вернется в исходное состояние, если он будет выдерживаться в темновых условиях, в результате теплового испарения светоиндуцированных кластеров. На практике, как только десорбирующее излучение будет выключено, динамическое равновесие между испарением и формированием кластеров, установленное самим излучением, будет нарушено в пользу первого, и образец через несколько часов вернется в первоначальное состояние теплового равновесия (рис.7,з).

Вся система проявляет также «эффект памяти», что является дальнейшей демонстрацией взаимодействия эффектов СИДА, формирования кластеров и ДИПП. Из рис.8 видно, что на постепенное изменение концентрации наночастиц, а также на концентрацию десорбированных атомов Rb влияет предыдущее состояние образца, обусловленное предшествующим воздействием излучения.

Так, два последовательных импульса излучения ближней ИК области ( $\lambda = 808$  нм), следующих с интервалом 500 с, одинаково влияют на прозрачность образца и концентрацию пара атомов Rb. Однако если между двумя ИК импульсами образец подвергается воздействию «синего» излучения с  $\lambda = 488$  нм, то отклик на второй импульс излучения ближней ИК области значительно отличается от предыдущего случая: прозрачность образца ПС скорее существенно увеличивается, чем немного уменьшается, а концентрация пара увеличивается более чем на 30%.

Такое поведение снова объясняется взаимодействием инициированных излучением явлений на внутренних поверхностях пор: «синее» излучение может осуществлять эффективную десорбцию адсорбированных атомов посредством СИДА. Это, как уже обсуждалось, является причиной высокой вероятности агломерации атомов в паровой фазе и, следовательно, генерации металлических наночастиц внутри пористой матрицы. Таким образом, прозрачность образца на  $\lambda = 785$  нм постепенно уменьшается. Оптический отклик образца на воздействие второго импульса облучения излучением ближней ИК области сильно отличается от отклика на первый импульс: хотя концентрация атомов уже вернулась к равновесному значению, внутри образца ПС все еще находится вследствие

относительно медленного теплового испарения большое количество кластеров Rb, поглощающих в ближней ИК области. Таким образом, излучение с  $\lambda = 808$  нм этого второго импульса сильно поглощается кластерами, индуцированными «синим» излучением, которые затем вынуждены испаряться при ДИПП. В результате некоторые из кластеров быстро разрушаются, и атомы десорбируются в паровую фазу: прозрачность образца увеличивается и концентрация пара превышает значение, полученное при предыдущем облучении излучением ближней ИК области, что хорошо видно на рис.8,б.

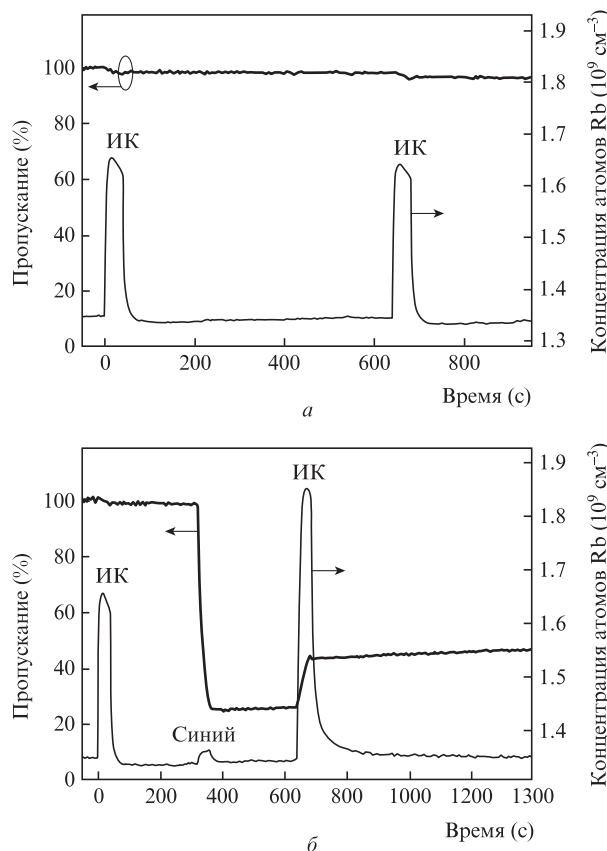


Рис.8. Эффект памяти образца ПС с адсорбированными атомами Rb. Различные отклики при различных последовательностях воздействия облучения: изменения пропускания образца на  $\lambda = 785$  нм и концентрации пара атомов Rb при двукратном воздействии излучения с  $\lambda = 808$  нм и интенсивностью  $2.2 \text{ Вт/см}^2$  (а) и при последовательности воздействий излучений с  $\lambda = 808$  нм ( $2.2 \text{ Вт/см}^2$ ),  $488$  нм ( $5.6 \text{ мВт/см}^2$ ) и  $808$  нм ( $2.2 \text{ Вт/см}^2$ ) [9] (б).

## 5. Заключение

Наше исследование процессов десорбции в образцах ПС и ВПС с адсорбированными атомами щелочных металлов продемонстрировало совместимость двух различных механизмов, управляемых излучением. Один из них – хорошо известный нерезонансный эффект СИДА, а другой механизм имеет резонансный характер и обусловлен возбуждением поверхностных плазмонов на границе раздела между кварцевой подложкой и металлическими наночастицами, сформировавшимися внутри пор благодаря их малому размеру (17 или 4 нм). Показано, как с помощью выбора последовательности воздействий излучения видимой или ближней ИК области спектра можно управлять концентрацией сферических наночастиц полностью обратимым способом; в результате оптические свойства системы можно изменить и управлять ими. Кроме того, продемонстрирован эффект памяти, зависящий от последовательности воздействий излучения. Он интерпретирован как результат взаимодействия двух механизмов десорбции – СИДА и ДИПП.

Итак, можно сказать, что уникальные характеристики матриц из пористого стекла обеспечивают не только эффективную десорбцию, индуцированную излучением, но и несколько неожиданное поведение, связанное с образованием, в свою очередь индуцированным излучением, металлических наночастиц внутри образца. Понятно, что размерность и геометрия системы играют ключевую роль

в возможности реализации этого явления. Кроме того, с помощью выбора последовательности воздействий излучения можно изменять характер взаимодействия нерезонансного эффекта СИДА с резонансным эффектом ДИПП, чтобы управлять оптическим откликом стеклянного образца. Это открывает новые перспективы для создания оптических запоминающих устройств, управляемых излучением, а также для манипулирования металлическими наночастицами в неупорядоченных средах.

1. Емельянов В.И. *Квантовая электроника*, **36** (6), 489 (2006); Тарасенко Н.В., Буцен А.В. *Квантовая электроника*, **40** (11), 986 (2010); Изгалиев А.Т., Симакин А.В., Шафеев Г.А. *Квантовая электроника*, **34** (1), 47 (2004).
2. Gozzini A., Mango F., Xu J.H., Maccarrone F., Bernheim R.A. *Nuovo Cimento Soc. Ital. Pis. D*, **15** (5), 709 (1993).
3. Meucci M., Mariotti E., Bicchi P., Marinelli C., Moi L. *Europhys. Lett.*, **25** (9), 639 (1994).
4. Burchianti A., Bogi A., Marinelli C., Mariotti E., Moi L. *Phys. Scr. T*, **135**, 014012 (2009).
5. Yakshinskiy B.V., Madey T.E. *Nature*, **400**, 642 (1999).
6. Burchianti A., Marinelli C., Bogi A., Brewer J., Rubahn K., Rubahn H.-G., della Valle F., Mariotti E., Biancalana V., Veronesi S., Moi L. *Europhys. Lett.*, **67**, 983 (2004).
7. Bouchiat M.A., Brossel J. *Phys. Rev.*, **147**, 41 (1966).
8. Burchianti A., Bogi A., Marinelli C., Maibohm C., Mariotti E., Sanguinetti S., Moi L. *Eur. Phys. J. D*, **49**, 201 (2008).
9. Burchianti A., Bogi A., Marinelli C., Mariotti E., Moi L. *Opt. Express*, **16** (2), 1377 (2008).
10. Gans R. *Ann. Phys.*, **47**, 270 (1915).