

Препринт №

Ю.П. Войнов, В.С. Горелик, В.Д. Зворыкин, И.Г. Лебо, А.О. Левченко,
Н.Н. Устиновский.

**ЛАЗЕРНАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ
КТИРО₄ В ПОРЫ ИСКУССТВЕННОГО ОПАЛА, ПОМЕЩЕННОГО В
ВОДУ**

МОСКВА 2011

ЛАЗЕРНАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ КТРО₄ В ПОРЫ ИСКУССТВЕННОГО ОПАЛА, ПОМЕЩЕННОГО В ВОДУ.

Ю.П. Войнов, В.С. Горелик, В.Д. Зворыкин, И.Г. Лебо, А.О. Левченко,
Н.Н. Устиновский.

Аннотация.

Представлены результаты экспериментов по введению (имплантации) наночастиц сегнетоэлектрика КТП (КТiPO₄) в поры искусственного опала, а также спектрального анализа коэффициентов отражения излучения от полученных образцов. Порошок КТП облучался ультрафиолетовым КгF-лазером в воде, что повышало эффективность заполнения пор опала.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект №09-02-00582

Ключевые слова: лазерная имплантация, сегнетоэлектрик, фотонный кристалл

1. Введение

В нашей стране и за рубежом ведутся исследования физических свойств новых оптических материалов (метаматериалов), на основе фотонных кристаллов, с различными функциональными добавками. Особый интерес для современной оптики представляют трёхмерные фотонные кристаллы (ФК) построенные на основе искусственных опалов [1]. Фундаментальным свойством фотонных кристаллов является наличие диапазонов частот (так называемых стоп-зон), характеризующихся аномально большим коэффициентом отражения электромагнитного излучения. Внедрение в поры искусственных опалов определенных функциональных веществ (благородных металлов и сегнетоэлектриков) позволяет создавать новые материалы с заданными оптическими свойствами [2,3].

Перспективным направлением для решения такой задачи является использование мощных лазерных импульсов. Лазерное излучение создает кратковременный импульс давления и порождает волны сжатия (а в пределе – ударные волны), распространяющиеся вглубь образца, что способствует внедрению сегнетоэлектрика в ФК [3]. Быстрое изменение интенсивности излучения в наносекундных лазерных импульсах позволяет управлять температурным режимом и профилем давления, возникающими в процессе импульсного нагрева образца.

В предыдущей работе [3] тонкий слой нитрита натрия (NaNO_2) был прижат кварцевым стеклом к образцу опала и облучался импульсами эксимерного KrF-лазера. Это позволило внедрить сегнетоэлектрик (нитрит натрия) в поры опала. Однако в том случае, если твердость имплантированного вещества превосходит твердость кварцевого стекла, вблизи границы раздела стекло-образец могут возникнуть дефекты и трещины, что может повлиять на исследуемые нами процессы имплантации. Одним из перспективных способов формирования наночастиц, их ускорения и внедрения в пористую мишень является облучение образцов, помещенных в жидкость (смотри, например, [4,5]).

Ниже представлены предварительные результаты экспериментов по лазерной имплантации в жидкости сегнетоэлектрика КТП в поры искусственных опалов, а также анализ оптических свойств полученного метаматериала.

2. Эксперименты по лазерной имплантации.

Эксперименты по лазерно-индуцированной имплантации КТП (KTiPO_4) в опал выполнялись в Физическом Институте им. П.Н. Лебедева (ФИАН) в лаборатории газовых лазеров. Порошок КТП (гранулы размером от $\sim 0.5 \text{ мкм}^3$ до $\sim 10 \text{ мкм}^3$) помещался в дистиллированную воду и облучался импульсно-периодическим УФ лазером с целью создать взвесь наночастиц КТП в воде с последующей ее диффузией в опал. Использовалось излучение эксимерного

KrF-лазера (модель “Lambda Physik EMG150”) с длительностью импульса по полувысоте 25 нс и энергией в импульсе до 150 мДж (длина волны 248 нм). Лазерное излучение фокусировалось линзой из кварца КУ-1 с фокусным расстоянием $f = 25$ см в кювету (диаметр 2 см) с водой, на дне которой находился порошок КТП. Пластика размером $\sim 7 \times 10 \times 1$ мм из искусственного опала с диаметром глобул 240 нм помещалась вертикально в непосредственной близости от порошка (смотри рис.1).

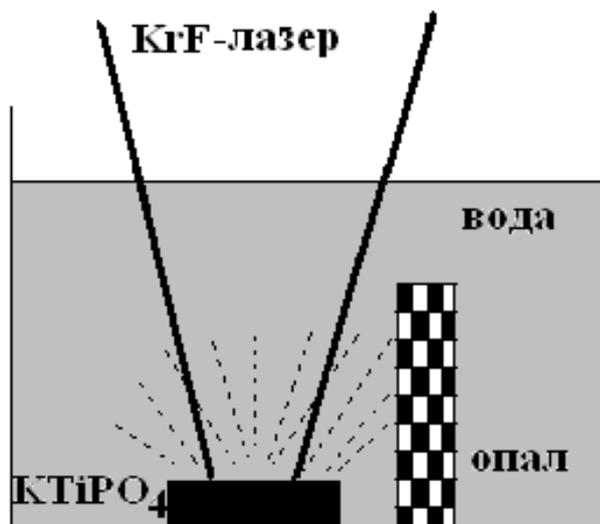


Рис.1. Схема эксперимента по имплантации наночастиц сегнетоэлектрика в поры искусственного опала в жидкости.

Была проведена оптимизация положения порошка-мишени по отношению к фокусу линзы и толщины слоя покрывающей его воды, поскольку плотность излучения должна быть меньше порога оптического пробоя воды но достаточно высокой, чтобы обеспечить формирование мелкодисперсной смеси вблизи мишени. Выбраны следующие условия эксперимента: мишень располагалась на расстоянии $\sim 2,8$ см выше фокуса линзы, размер пятна облучения на мишени $\sim 2,5 \times 0,8$ мм, плотность энергии излучения ~ 5 Дж/см². Толщина слоя покрывающей воды ~ 1 см. При одноимпульсном облучении в области взаимодействия образовывались пузырьки газа, которые всплывали на поверхность через $\leq 0,5$ секунд, и, таким образом, не влияли на процесс абляции при частоте следования лазерных импульсов 2 Гц. Наблюдалось также разбрызгивание воды, обусловленное выходом ударной волны от зоны абляции к поверхности. Облучение проводилось в течение 50 мин и соответствовало суммарной плотности энергии на КТП 30 кДж/см².

3. Анализ спектров отражения от фотонного образцов.

Исследование спектров отражения от поверхности образца проводилось с помощью миниспектрографа FSD8 и волоконно-оптической схемы (смотри например [6]) в лаборатории комбинационного рассеяния света ФИАН. На рис.2

показана схема измерительной аппаратуры. Образцы могли облучаться галогенной и дейтериевой лампами, а также с помощью набора светодиодов. Галогенная лампа позволяла аккуратно измерить спектр отражения от образца в диапазоне длин волн 400-650 нм, дейтериевая лампа давала возможность расширить диапазон измеряемых длин волн от 200 до 800 нм (подробнее смотри [7]).

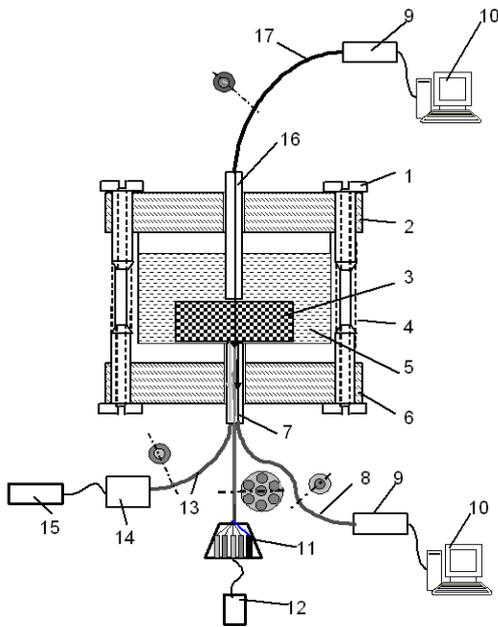


Рис. 2. Схема экспериментов по измерению коэффициентов отражения излучения от опалов, помещенных в жидкость. 1 – винты; 2 – верхняя тефлоновая крышка; 3 – фотонный кристалл; 4 – кювета; 5 – жидкость; 6 – нижняя тефлоновая крышка; 7 – световолоконный зонд; 8, 13, 17 – световоды; 9 – спектрометр; 10 – компьютер; 11 – блок светодиодов; 12 – блок питания светодиодов; 14 – галогенная лампа; 15 – блок питания лампы; 16 – зонд "на пропускание"

На рис.3 представлены результаты измерения коэффициента отражения от поверхности чистого опала; опала, заполненного водой; и опала в воде с внедренными в него в воде наночастицами сегнетоэлектрика КТП. Образцы облучались галогенной лампой.

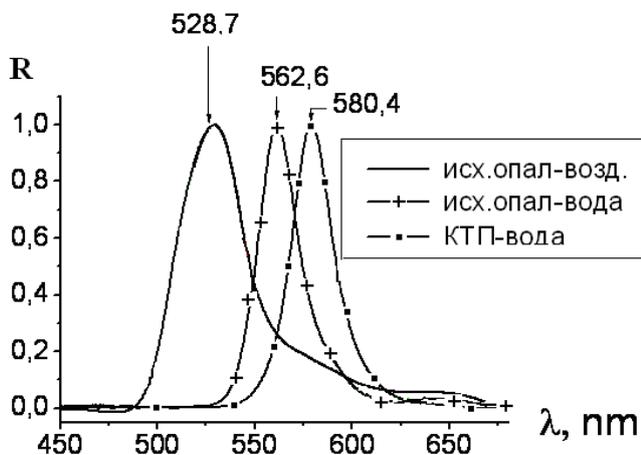


Рис.3. Коэффициенты отражения (R) от образцов исходного опала, опала с заполненными водой порами и опала с имплантированными наночастицами КТП в воде. На рисунке отмечены значения длин волн, при которых наблюдались максимумы коэффициентов отражения.

Видно, что при имплантации nano частиц КТП в поры опала максимум спектра смещается на 17,8 нм по сравнению с максимумом спектра в случае, когда образец заполнен только водой. Ясно, что смещение спектра отражения, вообще говоря, будет зависеть от коэффициента заполнения пор искусственного опала, размера его глобул и других физических величин.

При облучении образцов дейтериевой лампой были обнаружены пики в коэффициентах отражения при длинах волн в два раза меньше, чем в первом случае (смотри рис.4). Этот эффект является следствием отражения излучения от ФК на другой стоп-зоне. Видно, что сдвиг максимума отражения в кристалле, содержащем КТП, в этом случае составляет 36,4 нм, то есть приблизительно в два раза больше, чем для длинноволнового максимума.

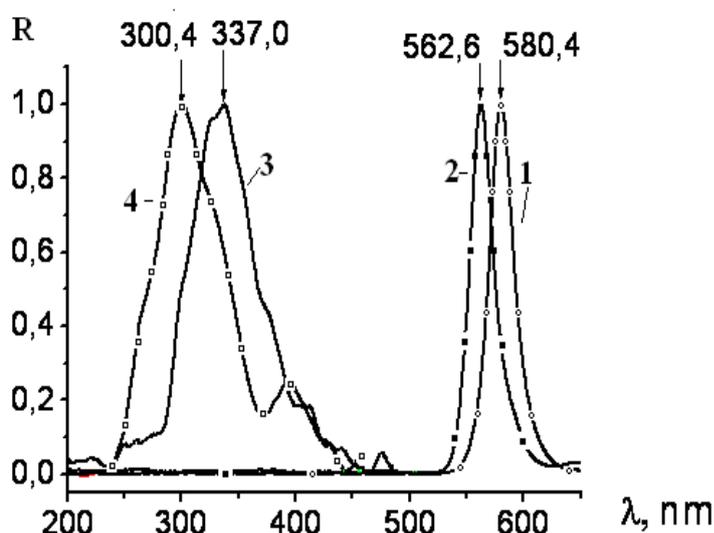


Рис.4. Зависимость коэффициентов отражения (R) от поверхности фотонных кристаллов из искусственных опалов, помещенных в воду от длины волны излучения (λ). Диаметр глобул опала равен 240 нм. Кривые 1,3 соответствуют случаю, когда поры опала были заполнены сегнетоэлектриком, случаи 2,4 - чистый опал в воде. Группы кривых 1,2 и 3,4 соответствуют коэффициенту отражения на разных стоп-зонах.

4. Выводы и основные результаты.

1. Экспериментально продемонстрирована возможность лазерной имплантации в воде наночастиц КТП в поры искусственного опала.

2. Проведен спектральный анализ коэффициентов отражения образцов из искусственного опала с сегнетоэлектриком КТП и водой, заполняющих его поры. Обнаружено смещение максимумов отражения света от опала в воде на длинах волн 562,6 и 300,4 нм, соответствующих различным стоп-зонам, при внедрении в него КТП, соответственно на 17,8 и 36,4 нм.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект №09-02-00582

ЛИТЕРАТУРА.

1. В.С. Горелик Квантовая электроника, 37, 5, 1-24, (2007)
2. В.С. Горелик ФТТ 51(7), 1252 (2009)
3. В.С. Горелик, Ю.П. Войнов, В.Д. Зворыкин, И.Г. Лебо, А.О. Левченко, Н.Н. Устиновский. Краткие сообщения по физике ФИАН, №3, 3-11, (2010)
4. С.Д. Захаров, М.А. Казарян, С.Е. Скипетров, С.С. Чесноков, В.А. Щеглов. Письма в ЖЭТФ, т.67, 611-615, (1998)
5. А.В. Симакин, В.В. Воронов, Г.А. Шафеев. Образование наночастиц при лазерной абляции твердых тел в жидкостях. Труды ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, т.60, 83-107, (2004)
6. V.S. Gorelik, Yu.P.Voinov, V.D. Zvorykin, A.I. Lebo, I.G. Lebo, A.O. Levchenko, N.N. Ustinovsky. Laser implantation of sodium nitrite ferroelectric into pores of synthetic opal. Journal of Russian Laser Research, Vol.31, N.1, 79-90, (2010)
7. В.С. Горелик, Ю.П. Войнов, Л.И. Злобина, М.И. Самойлович, П.П. Свербиль. Волоконно-оптическая отражательная спектроскопия стоп-зон в глобулярных фотонных кристаллах. Препринт ФИАН №12, Москва, 2010