



УДК 535.417

## ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ НА ФОТОПОЛИМЕРИЗУЮЩЕМСЯ НАНОКОМПОЗИТЕ С НАНОКРИСТАЛЛАМИ DAST

Т.Н. Погосян<sup>а</sup>, И.Ю. Денисюк<sup>а</sup>, И. Ледо-Рак<sup>б</sup>, Лай Нгок Дьеп<sup>б</sup><sup>а</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация<sup>б</sup> ENS Paris-Saclay, LPQM, Кашан, 94235, Франция

Адрес для переписки: tamara.pogosian@hotmail.com

### Информация о статье

Поступила в редакцию 23.01.19, принята к печати 21.02.19

doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-2-374-376

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Погосян Т.Н., Денисюк И.Ю., Ледо-Рак И., Дьеп Лай Нгок. Голографическая запись на фотополимеризующемся нанокompозите с нанокристаллами DAST // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 2. С. 374–376. doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-2-374-376

### Аннотация

Рассмотрена запись периодической решетки в фотополимеризующемся нанокompозите с наночастицами нелинейно-оптического кристалла DAST (4-dimethylamino-N-methyl-4-stilbazolium tosylate) голографическим методом. Нанокompозит состоял из смеси двух мономеров IDA (Isodecyl acrylate) и TMP (Trimethylolpropane ethoxylate (1 EO/OH) methyl ether diacrylate) с растворенными в метаноле молекулами DAST. Для фотополимеризации использован инициатор In2 (2,2-Dimethoxy-2-phenylacetophenone). При центрифугировании раствора начинается испарение растворителя и формирование кристаллов. Показано, что с использованием двухлучевой интерференции в нанокompозите происходит запись объемной голограммы. При этом на микрофотографиях заметно перемещение наночастиц DAST в объеме, что обеспечивает создание нелинейно-оптической решетки, которую можно использовать для фазового согласования нелинейных эффектов.

### Ключевые слова

нанокompозит, наночастица, акрилат, голография, DAST, молекулярный кристалл, нелинейная оптика

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке по гранту Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) (проект № 18-52-16014).

## HOLOGRAPHIC RECORDING IN PHOTOPOLYMERIZED NANOCOMPOSITE WITH DAST NANOCRYSTALS

T.N. Pogosian<sup>а</sup>, I.Yu. Denisjuk<sup>а</sup>, I. Ledoux-Rak<sup>б</sup>, Lai Ngoc Diep<sup>б</sup><sup>а</sup>ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation<sup>б</sup>ENS Paris-Saclay, LPQM, Cachan, 94235, France

Corresponding author: tamara.pogosian@hotmail.com

### Article info

Received 23.01.19, accepted 21.02.19

doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-2-374-376

Article in Russian

**For citation:** Pogosian T.N., Denisjuk I.Yu., Ledoux-Rak Isabelle, Diep Lai Ngoc Holographic recording in photopolymerized nanocomposite with DAST nanocrystals. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 374–376 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-2-374-376

### Abstract

This paper is devoted to recording of a periodic lattice in the photopolymerized nanocomposite with nanoparticles of nonlinear optical DAST crystal (4-dimethylamino-N-methyl-4-stilbazolium tosylate) by holographic method. Nanocomposite consists of the mixture of two monomers: IDA (Isodecyl acrylate) and TMP (Trimethylolpropane ethoxylate (1 EO/OH) methyl ether diacrylate) with molecules of DAST dissolved in methanol. Initiator In2 (2,2-Dimethoxy-2-phenylacetophenone) provides photopolymerization. At solution centrifugal separation solvent evaporation and crystal formation start. It is shown that there is a record of the volume hologram when two-beam interference is used. Micro photos prove the movement of DAST nanoparticles in volume that provides creation of nonlinear grating, which can be used for quasi-phase matching of nonlinear effects.

**Keywords**

nanocomposite, nanoparticles, acrylate, holography, DAST, molecular crystals, nonlinear optics

**Acknowledgements**

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research RFBR (project No. 18-52-16014).

Одной из важных регистрирующих сред для голографии являются голографические фотополимеры, обладающие рядом преимуществ, такими как высокая скорость записи, отсутствие необходимости в химической обработке после экспонирования, стабильность. Запись изображения в таких материалах обусловлена фотостимулированной модуляцией показателя преломления. Последнее обычно достигается за счет перемещения компонентов фотополимеризующей композиции под действием излучения.

В [1] рассмотрены основные процессы формирования модуляции показателя преломления в фотополимерах. Голографические нанокomпозиционные материалы основаны на тех же принципах формирования решетки, записанной в объеме и базирующейся на разделении компонентов композиции, что и традиционные фотополимеры. Однако транспортируемым компонентом являются введенные наночастицы, которые и изменяют показатель преломления, а точнее его модуляцию, при фотоиндуцированном перемещении в материале. В [2] рассмотрено создание голографического материала на базе наночастиц  $\text{TiO}_2$  в полимере. Несомненно, тем же способом можно формировать трехмерные распределения наночастиц других типов, введенных в фотополимеризующую матрицу, в том числе и нелинейно-оптических.

В настоящей работе рассмотрен процесс формирования трехмерного распределения нелинейно-оптических нанокристаллов DAST (4-dimethylamino-N-methyl-4-stilbazolium tosylate) в фотополимеризующемся нанокomпозите голографическим методом. Записанные таким образом решетки представляют интерес при формировании периодических структур, которые можно использовать для фазового согласования нелинейных эффектов с целью генерации гармоник, терагерцового излучения, оптического переключения. Методы создания полимерного нанокomпозита с нанокристаллами DAST описаны в [3, 4].

Для изготовления образца использована смесь мономеров Isodecyl acrylate (408956 ALDRICH, IDA) и Trimethylolpropane ethoxylate (1 EO/OH) methyl ether diacrylate (415871 ALDRICH, TMP), в пропорции 1:1. DAST (CAS: 80969-52-4 Genolite biotek) растворен в метаноле и смешан с мономерами. Содержание DAST в смеси мономеров 2 вес.%. Количество метанола рассчитывалось исходя из предела растворимости DAST в нем при комнатной температуре [5]. Для полимеризации мономеров использован инициатор 2,2-Dimethoxy-2-phenylacetophenone (196118 ALDRICH, In2). С помощью центрифугирования образец наносился на подложку. Толщина пленки в среднем равнялась 3 мкм.

Полимеризация образцов производилась в поле интерференционной картины двух когерентных лучей. Установка состояла из лазера Cobolt Zouk™ (непрерывный режим, длина волны 355 нм, мощность  $\leq 20$  мВт), системы линз, расширяющих и формирующих параллельный пучок, призмы, разделяющей пучок на два, и зеркала. Используя зеркало и изменяя расстояние до образца, возможно варьировать угол схождения пучков и, следовательно, период решетки. В работе использовался фиксированный период решетки 5,5 мкм. Экспозиция 10 мин. После экспонирования визуально наблюдалось появление дифракции от записанной решетки. Для полной полимеризации образец дополнительно экспонировался 10 мин в однородном параллельном пучке света того же лазера. Дифракция сохранялась.

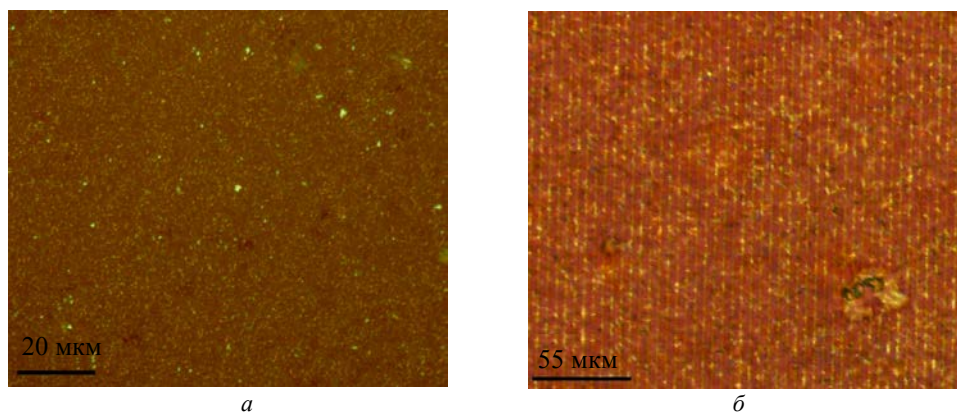


Рисунок. Микрофотография: а) образца, полимеризованного в однородном параллельном пучке; б) периодической решетки, записанной в нанокomпозите, период 5,5 мкм

Полученные образцы анализировались с помощью оптического микроскопа Nikon Eclipse Ci-S на пропускание и Leica DM2700 M (см. рисунок) на отражение с поляризационным фильтром. Как видно из

рисунка, при записи периодической решетки наблюдается перемещение субмикронных молекулярных кристаллов DAST в фотополимере так же, как это имеет место при записи в нанокompозите с неорганическими наночастицами. Следовательно, метод пригоден для создания двумерных и трехмерных нелинейно-оптических решеток с периодической модуляцией нелинейно-оптического коэффициента в объеме.

### Литература

1. Gleeson M.R., Sheridan J.T. A review of the modelling of free-radical photopolymerization in the formation of holographic gratings // *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*. 2009. V. 11. N 2. P. 024008. doi: 10.1088/1464-4258/11/2/024008
2. Suzuki N., Tomita Y., Kojima T. Holographic recording in TiO<sub>2</sub> nanoparticle-dispersed methacrylate photopolymer films // *Applied Physics Letters*. 2002. V. 81. N 22. P. 4121–4123. doi: 10.1063/1.1525391
3. Pogolian T., Mai T.N.A., Denisyuk I., Lai N.D. Synthesis and nonlinear optics characterization of DAST submicron crystals in polymerized thin films // *Micro-Structured and Specialty Optical Fibres V*. 2018. V. 10681. doi: 10.1117/12.2306686
4. Burunkova J.A., Denisyuk I.Yu., Fokina M.I. Polymer composite based on DAST submicron crystals: technology and properties // *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. 2014. V. 589. P. 178–182. doi: 10.1080/15421406.2013.872819
5. Thomas T., Ramaclaus J. V., Mena F. P., Mosquera E., Sagayaraja P., Michaelb E.A. Influence of oleic acid on the nucleation and growth of 4-N,N-dimethylamino-4-N-methylstilbazoliumtosylate (DAST) crystals // *CrystEngComm*. 2015. V. 17. N 9. P. 1989–1996. doi: 10.1039/c4ce02470b

### Авторы

**Погосян Тамара Николаевна** – аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Scopus ID: 56401112800, ORCID ID: 0000-0002-8757-8600, tamara.pogolian@hotmail.com

**Денисюк Игорь Юрьевич** – доктор физико-математических наук, профессор, профессор, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Scopus ID: 7004060393, ORCID ID: 0000-0002-9933-0469, denisyuk@mail.ifmo.ru

**Ледо-Рак Изабель** – доктор наук, профессор, директор LPQM, ENS Paris-Saclay, LPQM, Кашан, 94235, Франция, Scopus ID: 6603475993, ORCID ID: 0000-0003-3192-6431, isabelle.ledoux@lpqm.ens-cachan.fr

**Лай Нгок Дьеп** – доктор наук, профессор, ENS Paris-Saclay, Кашан, 94235, Франция, Scopus ID: 7005033870, ORCID ID: 0000-0002-1429-683X, ngoc-diep.lai@ens-paris-saclay.fr

### References

1. Gleeson M.R., Sheridan J.T. A review of the modelling of free-radical photopolymerization in the formation of holographic gratings. *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*, 2009, vol. 11, no. 2, pp. 024008. doi: 10.1088/1464-4258/11/2/024008
2. Suzuki N., Tomita Y., Kojima T. Holographic recording in TiO<sub>2</sub> nanoparticle-dispersed methacrylate photopolymer films. *Applied Physics Letters*, 2002, vol. 81, no. 22, pp. 4121–4123. doi: 10.1063/1.1525391
3. Pogolian T., Mai T.N.A., Denisyuk I., Lai N.D. Synthesis and nonlinear optics characterization of DAST submicron crystals in polymerized thin films. *Micro-Structured and Specialty Optical Fibres V*, 2018, vol. 10681. doi: 10.1117/12.2306686
4. Burunkova J.A., Denisyuk I.Yu., Fokina M.I. Polymer composite based on DAST submicron crystals: technology and properties. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 2014, vol. 589, pp. 178–182. doi: 10.1080/15421406.2013.872819
5. Thomas T., Ramaclaus J. V., Mena F. P., Mosquera E., Sagayaraja P., Michaelb E.A. Influence of oleic acid on the nucleation and growth of 4-N,N-dimethylamino-4-N-methylstilbazoliumtosylate (DAST) crystals. *CrystEngComm*, 2015, vol. 17, no. 9, pp. 1989–1996. doi: 10.1039/c4ce02470b

### Authors

**Tamara N. Pogolian** – postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, Scopus ID: 56401112800, ORCID ID: 0000-0002-8757-8600, tamara.pogolian@hotmail.com

**Igor Yu. Denisyuk** – D.Sc., Full Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, Scopus ID: 7004060393, ORCID ID: 0000-0002-9933-0469, denisyuk@mail.ifmo.ru

**Isabelle Ledoux-Rak** – D.Sc., Professor, Head of LPQM, ENS Paris-Saclay, LPQM, Cachan, 94235, France, Scopus ID: 6603475993, ORCID ID: 0000-0003-3192-6431, isabelle.ledoux@lpqm.ens-cachan.fr

**Ngoc Diep Lai** – D.Sc., Professor, ENS Paris-Saclay, LPQM, Cachan, 94235, France, Scopus ID: 7005033870, ORCID ID: 0000-0002-1429-683X, ngoc-diep.lai@ens-paris-saclay.fr