

Методы струйной печати для формирования оптических наноструктур

А. В. Виноградов, Т. Н. Погосян

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

Стремительное развитие струйной печати, достоинствами которой являются экономичность, скорость и масштабируемость, дает возможность для разработки перспективных оптических структур и элементов. Метод струйной печати заключается в покапельном нанесении чернил объемом несколько пиколитров на неограниченный набор подложек. В качестве чернил выступают коллоидные суспензии и растворы, которые обладают различными магнитными и электрооптическими свойствами, а для получения оптических наноструктур используют такие механизмы, как самосборка или кристаллизация из прекурсоров *in situ*. В докладе будут приведены примеры струйной печати различных видов голограмм и оптических наноструктур: в частности, радужных, зеркальных, фазовых и опаловых голограмм, а также примеры печати планарных волноводов и создания высокорефрактивных и низкорефрактивных дисперсий.

Ключевые слова: Струйная печать, Наноструктуры, Фотоника, Растворная химия.

Цитирование: Виноградов, А. В. Методы струйной печати для формирования оптических наноструктур / А. В. Виноградов, Т. Н. Погосян // HOLOEXPO 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 295–298.

Введение

Струйная печать — это время и ресурсоэффективная аддитивная технология, демонстрирующая перспективы создания оптических структур и элементов для разных областей применения. Разностороннее использование методов струйной печати при создании оптических структур достигается не только за счет параметров печати, но и за счет специфических свойств чернил и подложек.

Методы струйной печати

Чернила на основе наночастиц диоксида титана крайне перспективны и многофункциональны за счет своих уникальных свойств. Их нанесение на бумагу с микротеснением на основе полиэтилентерефталата с помощью офисного струйного принтера, с последующим покрытием прозрачным полимером, обеспечивает оптический эффект избирательного сохранения голографического тиснения, как показано на рис. 1а [1]. Чернила на основе диоксида титана нашли применение и в печати многоцветного изображения за счет дифракции в тонких пленках [2]. Согласно рис. 1б послойная печать позволяет точно контролировать толщину полученного слоя паттерна и, соответственно, цвет изображения. Для превышения видимости изображения было использовано покрытие на основе бёмита [3]. Нанесение противоотражающего слоя уменьшает «фоновое» отражение и, следовательно, улучшает эффективную видимость целевого луча (рис. 1в).

Они вызывают набухание голографической подложки, что приводит к изменению условий дифракции и к изменению цвета изображения, как показано на рис 1д. В последствии полученное изображение было дополнено люминесцентным паттерном (рис. 1е), видимым в УФ излучении [6]. Для его получения использовались чернила с прекурсором перовскитов. Еще один тип бесpigментных чернил основан на анизотропных нанокристаллах целлюлозы [7]. Как показано на рис. 1ж, изображение становится видным только в поляризованном свете, что так же переключается с применением такого типа изображение с идеей защиты от контрафакта.

Струйная печать позволяет получить не только тонкие пленки. Эффект «кофейного кольца» в струйной печати вызван капиллярными течениями при высыхании капли и некоторое время считался нежелательным. Однако он показал себя превосходным механизмом при создании скретч-голограмм [8]. Оптический принцип такой голограммы основан на эффектах блеска с искривленной поверхности. Используя эффект кофейного кольца и чернил на основе диоксида титана, печатают вогнутую структуру с ярким бликом (рис 1з). Паттерн такой голограммы рассчитывается на компьютере. Печатные образцы имеют высокую видимость, простоту применения и воспроизведения.

Помимо печати изображений с оптическими эффектами другим перспективным направлением струйной печати являются волноводы. В работе [9] представлена струйная печать оптических волноводов, предназначенных для одномодовой работы в ИК диапазоне (рис 1и). В качестве чернил используются чернила с наночастицами диоксида титана, а в качестве подложки – кварцевое стекло без предварительной обработки. Струйная печать так же используется для печати биосенсоров. В работе [10] демонстрируется определение концентрации ферментов глюкозы и холестерина путем обнаружения перекиси водорода, получения окисления субстрата ферментами оксидазы. Диоксид титана может быть использован для обнаружения перекиси водорода. Как показано на рис. 1к она реагирует с четырехвалентным титаном, содержащимся в чувствительном слое биосенсора, с образованием продукта желтого цвета.

Заключение

Данная работа демонстрирует разностороннее применение метода струйной печати путем тонкого варьирования состава чернил, параметров печати и типа подложки. В результате получены голографические изображения на основе разных оптических эффектов, волноводы и даже биосенсоры с визуальным окрашиванием.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ 21-79-10202).

Список источников

- [1] **Yakovlev, A. V.** Sol-gel assisted inkjet hologram patterning / A. V. Yakovlev, V. A. Milichko, V. V. Vinogradov, A. V. Vinogradov // *Advanced Functional Materials*. – 2015. — Vol 25. — № 47. — P. 7375-7380.

- [2] **Yakovlev, A. V.** Inkjet Color Printing by Interference Nanostructures / A. V. Yakovlev, V. A. Milichko, V. V. Vinogradov, A. V. Vinogradov // *ACS Nano*. – 2016. – Vol 10. – № 3. – P. 3078-3086.
- [3] **Yakovlev, A. V.** Inkjet printing of TiO₂/AlOOH heterostructures for the formation of interference color images with high optical visibility / A. V. Yakovlev, V. A. Milichko, E. A. Pidko, V. V. Vinogradov, A. V. Vinogradov // *Scientific Reports*. – 2016. – Vol 6. – P. 37090.
- [4] **Keller, K.** Inkjet Printing of Multicolor Daylight Visible Opal Holography / K. Keller, A. V. Yakovlev, E. V. Grachova, A. V. Vinogradov // *Advanced Functional Materials*. – 2018. – Vol 28. – P. 1706903.
- [5] **Pogolian, T.** Inkjet assisted patterning of Bragg grating towards multiple color imaging / T. Pogolian, T. Statsenko, A. Mukhtudinova, M. Masharin, D. Bugakova, A. Sergienko, S. Makarov, A. Vinogradov // *Applied Materials Today*. – 2022. – Vol 26. – P. 101289.
- [6] **Smirnov, A.** Structural color image augmented by inkjet printed perovskite patterning / A. Smirnov, T. Pogolian, L. Zelenkov, S. Butonova, S. Makarov, A. Vinogradov // *Applied Materials Today*. – 2022. – Vol 28. – P. 101545.
- [7] **Eremeeva, E.** Printing of Colorful Cellulose Nanocrystalline Patterns Visible in Linearly Polarized Light / E. Eremeeva, E. Sergeeva, V. Neterebskaia, S. Morozova, D. Kolchanov, M. Morozov, I. Chernyshov, V. Milichko, A. Vinogradov // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2020. – Vol 12. – № 40. – C. 45145-45154.
- [8] **Slabov, V.** Inkjet printing of specular holograms based on a coffee-ring effect concave structure / V. Slabov, A. V. Vinogradov, A. V. Yakovlev // *Journal of Materials Chemistry C*. – 2018. – Vol 6. – P. 5269-5277.
- [7] **Klestova, A.** Inkjet Printing of Optical Waveguides for Single-Mode Operation / A. Klestova, N. Cheplagin, K. Keller, V. Slabov, G. Zaretskaya, A. V. Vinogradov // *Advanced Optical Materials*. – 2019. – Vol 7. – № 2. – P. 1801113.
- [8] **Safaryan, S. M.** Inkjet printing of the chromogen free oxidase based optical biosensors / S. M. Safaryan, A. V. Yakovlev, A. V. Vinogradov, V. V. Vinogradov // *Sensors and Actuators B*. – 2017. – Vol 251. – P. 746–752.

Inkjet printing methods for developing optical nanostructures

A. V. Vinogradov, T. N. Pogolian

ITMO University, Saint-Petersburg, Russia

The rapid development of inkjet printing, the advantages of which are cost-effectiveness, speed and scalability, provides an opportunity for the development of promising optical structures and elements. The inkjet printing method consists of dropping a few picolitres of ink onto an unlimited set of substrates. The inks are colloidal suspensions and solutions that have various magnetic and electro-optical properties, and mechanisms such as self-assembly or crystallization from precursors in situ are used to produce optical nanostructures. The presentation will include examples of inkjet printing of various types of holograms and optical nanostructures: in particular, rainbow, mirror, phase and opal holograms, as well as examples of printing planar waveguides and creating high-refractive and low-refractive dispersions.

Keywords: Inkjet printing, Nanostructures, Photonics, Solution chemistry