

Использование оптических эффектов для современных защитных технологий с применением метода струйной печати

А. В. Виноградов, Т. Н. Погосян, А. А. Смирнов, Ш. Ф. Мустафин, М. И. Морозов
Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

Струйная печать обладает неоспоримыми достоинствами: экономичность, скорость и масштабируемость. Простое покапельное нанесение чернил объемом в несколько пиколитров на подложку может привести к многообразию получаемых оптических эффектов, связанных с микро- и наноструктурированием из-за химических особенностей состава чернил, условий печати, предварительной и постобработки поверхности, а также ее химических и физических параметров. В докладе будут представлены реальные исследования нашей группы, и на их примере продемонстрированы различные виды голограмм (радужные, зеркальные, фазовые, опаловые, скретч-голограммы), оптические микро- и наноструктуры, планарные волноводы, микрорезонаторы, высокорепрактивные и низкорепрактивные дисперсии, полученные методом струйной печати.

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

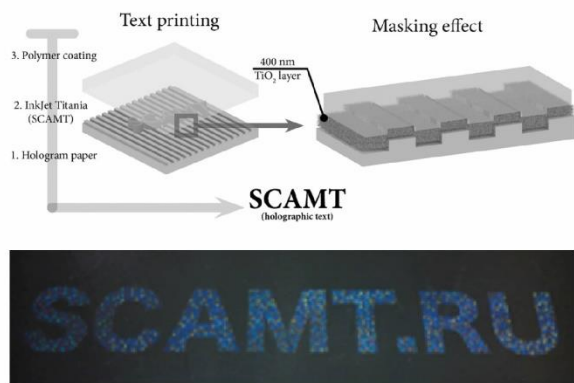
Цитирование: Виноградов, А. В. Использование оптических эффектов для современных защитных технологий с применением метода струйной печати / А. В. Виноградов, Т. Н. Погосян, А. А. Смирнов, Ш. Ф. Мустафин, М. И. Морозов // HOLOEXPO 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 191–195.

Введение

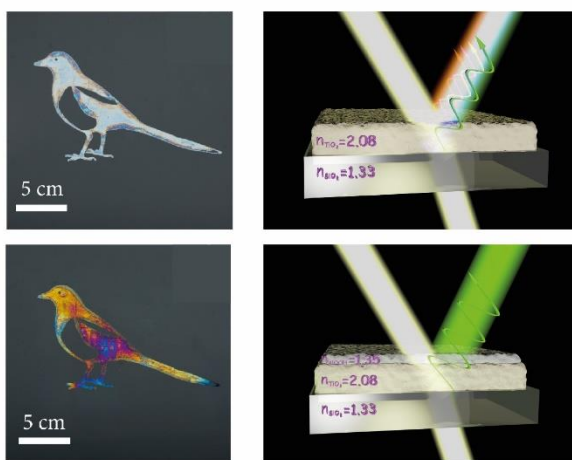
За последние десятилетия струйная печать превратилась из способа печати документов и изображений в технологию, которая может быть использована для создания сложных структур и даже устройств. Функциональные материалы со специфичными электрическими, оптическими, химическими, биологическими или структурными свойствами расширили возможности струйной печати, как время- и ресурсоэффективной аддитивной технологии, в том числе в области защитных технологий. Идеальный способ борьбы с подделкой должен быть недорогим, серийно производимым, неразрушимым и не клонируемым, а также удобным для аутентификации. Хотя было разработано много технологий по борьбе с подделкой, очень немногие из них удовлетворяли всем вышеперечисленным требованиям. Со своей стороны при поддержке коммерческих партнеров мы исследуем технологии струйной печати, совмещая их с функциональными материалами, обладающими специфичными свойствами для получения визуальных оптических эффектов.

Оптические эффекты методом струйной печати

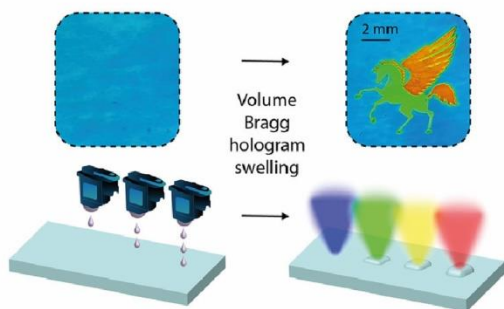
В основе финального результата защитного элемента лежит сочетание особенных свойств чернил, подложки и параметров печати. Например, бесцветные чернила с наночастицами диоксида титана обладают высоким показателем преломления.



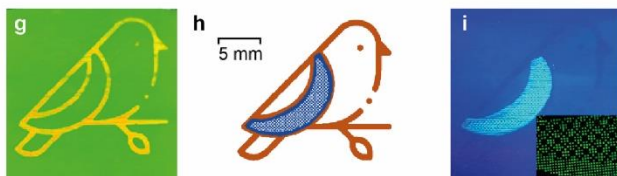
а) радужная голограмма на бумаге [1]



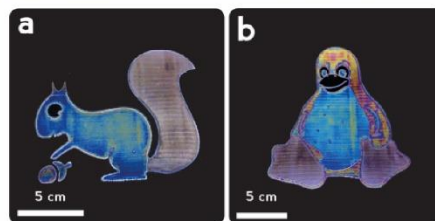
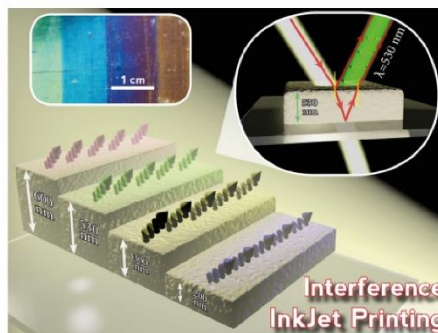
в) противотражающее покрытие [3]



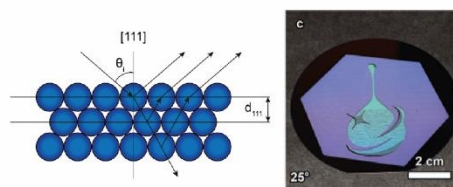
е) печатная голограмма на объемной брэгговской решетке [6]



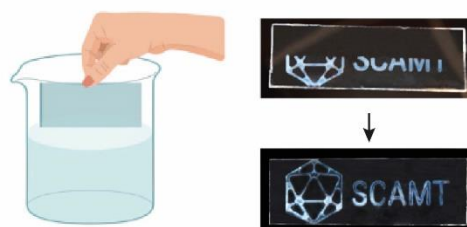
ж) дифракционное и люминесцентное изображение [7]



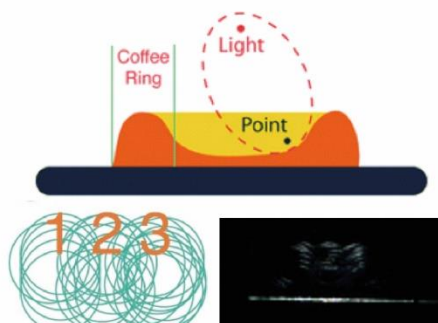
б) цветное изображение в тонких пленках [2]



г) опаловая голограмма [4]



д) опаловая голограмма в геле [5]



з) скретч-голограмма [9]

Рис. 1. Примеры печати оптических структур для различного применения.

Используя в качестве подложки бумагу на основе полиэтилентерефталата с микротеснением, можно обеспечить голографический эффект путем нанесения высоко рефрактивных чернил

с помощью офисного принтера с последующим нанесением защитного полимерного слоя (рис. 1а) [1]. Чернила на основе диоксида титана также нашли применение и в печати многоцветного изображения [2]. В основе полученного эффекта лежит дифракция в тонких пленках, толщину которых можно контролировать послойной печатью, как показано на рис. 1б. Для повышения видимости изображения было использовано противоотражающее покрытие на основе бёмита, которое снижало «фоновое» отражение и повышало видимость целевого изображения (рис. 1в) [3].

Использование беспигментных чернил со сложной для копирования структурной упорядоченностью является перспективным методом изготовления элементов защиты от подделок. В работе [4] цветопередача обеспечена разницей диаметра полистирольных сфер, которыми напечатаны элементы изображения. Оптический эффект возникает в результате изменения условий дифракции (рис. 1г). На основе полистирольных сфер были синтезированы другие чернила, включенные в хитозановые гидрогели, которые позволяли делать видимым изображение при погружении в воду (рис. 1д) [5].

В работе [6] снова демонстрируется сочетание беспигментных фотоотверждаемых чернил на основе акрилатов с голографической коммерческой подложкой. Дозированное нанесение чернил методом струйной печати позволяло контролировать физическое набухание подложки, что визуально сопровождалось изменением цвета голограммы, вызванное изменением условий дифракции (рис. 1е). Последующее дополнение изображения люминесцентным паттерном на основе перовскитных кристаллов [7] привело к получению комбинированного изображения на основе двух оптических эффектов – дифракции и люминесценции (рис. 1ж). Еще один оптический эффект доступный для реализации беспигментными чернилами – это проявление изображения в поляризованном свете. В работе [8] для получения такого изображения использовались анизотропные нанокристаллы целлюлозы (рис. 2а)

К параметрам печати так же относятся условия сушки чернил. Эффект «кофейного кольца» вызван капиллярными течениями при высыхании капли и во многих исследованиях считается нежелательным. Однако этот механизм был использован при получении скретч-голограмм, представленных в работе [9]. Объемное изображение достигалось путем управления движением зеркальных бликов на поверхности напечатанных вогнутых структур (рис. 1з).

Полученные в ходе исследований результаты были применены и в других направлениях. В работе [10] чернила с наночастицами диоксида титана использовались для управляемой печати оптических волноводов для одномодовой работы в ИК диапазоне (рис. 2б). Эти же чернила были использованы для разработки биосенсоров определяющих концентрацию ферментов глюкозы и холестерина. Диоксид титана был использован для обнаружения перекиси водорода, которая получается при окислении субстрата ферментами оксидазы (рис. 2в). Исследованные перовскитные чернила были использованы для создания лазирующих структур – резонаторов на модах шепчущей галереи (рис. 2г), - которые в сочетании с

волноводами на диоксиде титана позволили получить оптический элемент. Полученные результаты приняты к публикации.

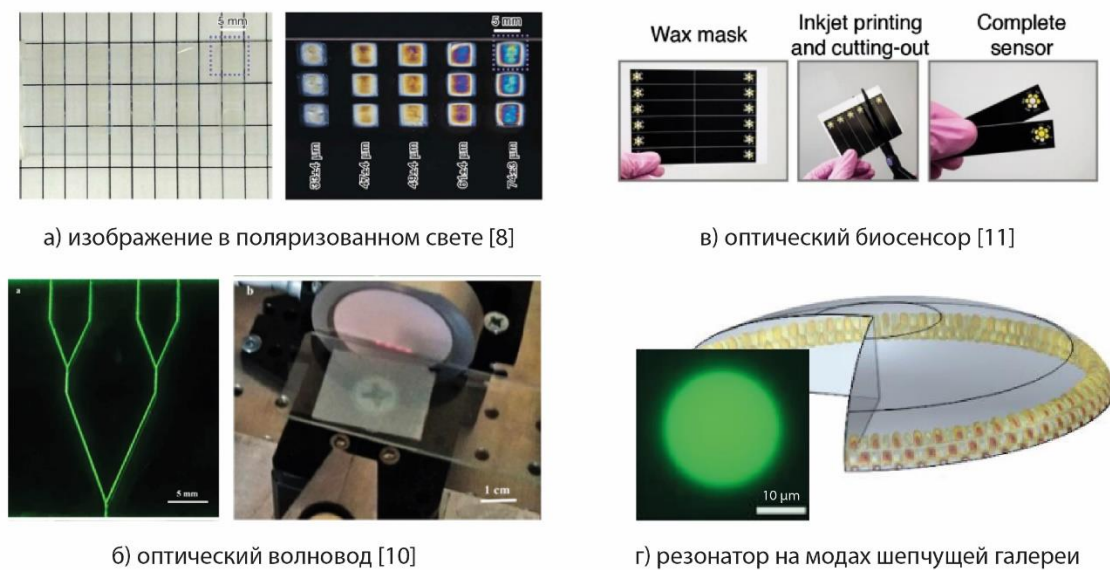


Рис. 2. Примеры печати оптических структур для различного применения.

Заключение

Данная работа демонстрирует многообразие применения метода струйной печати с учетом варьирования параметров печати, типа подложки и функциональных материалов, которые представлены в широком диапазоне от простого раствора полимера до современных дисперсий наночастиц. В результате представлен ряд голографических изображений (радужные, зеркальные, фазовые, опаловые), а также волноводы, лазерующие структуры и 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] **Neterebskaia, V.** Inkjet Printing Humidity Sensing Pattern Based on Self-Organizing Polystyrene Spheres / V. O. Neterebskaia, A. O. Goncharenko, S. M. Morozova, D. S. Kolchanov, A. V. Vinogradov // *Nanomaterials*. – 2020. – Vol 10. – № 8. – P. 1538.

- [6] **Pogosian, T.** Inkjet assisted patterning of Bragg grating towards multiple color imaging / T. Pogosian, T. Statsenko, A. Mukhtudinova, M. Masharin, D. Bugakova, A. Sergienko, S. Makarov, A. Vinogradov // *Applied Materials Today*. – 2022. – Vol 26. – P. 101289.
- [7] **Smirnov, A.** Structural color image augmented by inkjet printed perovskite patterning / A. Smirnov, T. Pogosian, L. Zelenkov, S. Butonova, S. Makarov, A. Vinogradov // *Applied Materials Today*. – 2022. – Vol. 28. – P. 101545.
- [8] **Eremeeva, E.** Printing of Colorful Cellulose Nanocrystalline Patterns Visible in Linearly Polarized Light / E. Eremeeva, E. Sergeeva, V. Neterenskaia, S. Morozova, D. Kolchanov, M. Morozov, I. Chernyshov, V. Milichko, A. Vinogradov // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2020. – Vol 12. – № 40. – C. 45145-45154.
- [9] **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.
- [10] **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.
- [11] **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.

Using optical effects obtained by the inkjet printing method toward modern security technologies

A. V. Vinogradov, T. N. Pogosian, A. A. Smirnov, S. F. Mustafin, M. I. Morozov
ITMO University, Saint-Petersburg, Russia

Inkjet printing has undeniable advantages: economy, speed and scalability. Simple deposition of a few picolitres of ink onto a substrate can lead to a variety of optical effects associated with micro- and nanostructuring due to ink chemistry, printing conditions, surface pre- and post-treatment, and its chemical and physical parameters. The report will present real studies of our group. Using them as an example, we will demonstrate the fabrication of various types of holograms (rainbow, mirror, phase, opal, scratch holograms), optical micro- and nanostructures, planar waveguides, microresonators, high-refractive and low-refractive dispersions obtained by the inkjet printing method.

Keywords: Inkjet printing, Nanostructures, Photonics, Solution chemistry.