

# Эффекты визуальной динамики на металле: защитные голограммы на основе ЛИППС

*М. К. Москвин, Е. В. Прокофьев, Д. Д. Учанова, Д. А. Синев, Г. В. Одинцова, В. П. Вейко*  
Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

В работе рассматриваются особенности и возможности прямого метода записи защитных голограмм на основе формирования лазерно-индуцированных периодических поверхностных структур (ЛИППС) на металлических поверхностях. Метод предоставляет возможности создания как высокорегулярных, так и сложных иерархических структур. Метод основан на динамическом изменении поляризации лазерного излучения, что позволяет создавать разнообразные визуальные и структурные признаки. В работе рассматриваются физически неклонируемые иерархические структуры на основе ЛИППС, динамические визуальные эффекты, включая псевдодвижения цвета и изображения (кинеграммный эффект), а также эффект переключения изображения и стереоизображения (эффект объема).

*Ключевые слова:* Радужная голограмма, Лазерно-индуцированные поверхностные периодические структуры (ЛИППС), Неклонируемые метки, Иерархические структуры.

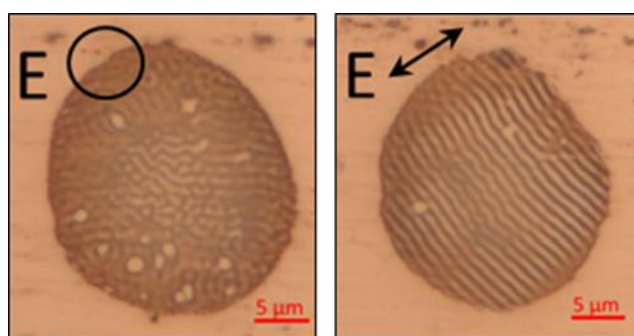
*Цитирование:* **Москвин, М. К.** Эффекты визуальной динамики на металле: защитные голограммы на основе ЛИППС / М. К. Москвин, Е. В. Прокофьев, Д. Д. Учанова, Д. А. Синев, Г. В. Одинцова, В. П. Вейко // НОЛОEXPO 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 204–206.

В основе реализации метода записи защитных голограмм лежит дифракция белого света на матрице ЛИППС с различными пространственными направлениями. В работе представлен новый метод, который позволяет достичь управления ориентацией ЛИППС путем согласованного динамического изменения направления и типа поляризации с траекторией сканирования лазерного пучка. Согласованное изменение параметров позволяет формировать сложные конфигурации дифракционных решёток. Предлагаемый метод формирования дифракционных решеток основан на всесторонне апробированном механизме формирования ЛИППС, основанного на возбуждении ПЭВ для частного случая длинных импульсов, а именно наносекундной длительности [1,2,3,4]. В таком случае полученные структуры можно охарактеризовать как периодом сравнимые с длиной волны воздействующего излучения  $\lambda$ .

Запись структур производилась при помощи волоконного наносекундного лазера (IPG-Photonics) с максимальной средней мощностью 20 Вт и длиной волны 1064 нм, частотой повторения импульсов от 20 до 99 кГц. Плотность мощности выбиралась таким образом, чтобы формирование структур происходило до порогов испарения обрабатываемых материалов. Для селекции линейной поляризации лазерного излучения после коллимирующей системы установлена призма Глана-Тейлора. Перемещение по полю обработки X/Y осуществлялось с помощью гальванометрической сканирующей системы,

после которой пучок фокусировался объективом плоского поля с фокусным расстоянием 216 мм. Диаметр сфокусированного пучка составлял 50 мкм на уровне  $1/e^2$ .

В результате за счет согласованного изменения направления и типа поляризации лазерного излучения с траекторией сканирования в защитных голограммах были реализованы структурные и визуальные признаки. Структурными признаками являются пространственная ориентация и регулярность ЛИППС, зависящие от поляризации лазерного излучения. При круговой поляризации были сформированы иерархические структуры, которые могут выступать как физически неклонированные элементы и предоставляют перспективы для создания уникальных защитных маркировок. На рисунке 1 показаны микрофотографии регулярных и иерархических ЛИППС.



**Рис. 1.** Микрофотографии ЛИППС на стали 08X18N10: а) иерархический тип; б) регулярный тип

Визуальные признаки включают динамические эффекты такие как псевдодвижения цвета и изображения (кинеграммный эффект), эффект переключения изображения и эффект объема. На рисунке 2 представлена защитная голограмма на поверхности нержавеющей 08X18N10 стали, с эффектом переключения изображения.



**Рис. 2.** Микрофотографии ЛИППС на стали 08X18N10: а) иерархический тип; б) регулярный тип

### **Благодарность**

Работа выполнена при поддержке программы «Приоритет 2030».

### **Список источников**

- [1] Akhmanov S. A. et al. Interaction of powerful laser radiation with the surfaces of semiconductors and metals: nonlinear optical effects and nonlinear optical diagnostics //Soviet Physics Uspekhi. – 1985. – Т. 28. – №. 12. – С. 1084.

- [2] Bonse J., Gräf S. Maxwell meets Marangoni—A review of theories on laser-induced periodic surface structures //Laser & Photonics Reviews. – 2020. – T. 14. – №. 10. – C. 2000215.
- [3] Ionin A. A. et al. Femtosecond laser color marking of metal and semiconductor surfaces //Applied Physics A. – 2012. – T. 107. – C. 301-305. [4] Ivanov A. Composition of scientific book / A. Ivanov, V. Petrov, D. Sidorov. — Moscow: Publisher, 2017. — 321 p.
- [4] Teubner U. et al. Ripple formation with intense Gaussian femtosecond laser pulses close to the damage threshold //Journal of Physics Communications. – 2022. – T. 6. – №. 11. – C. 115003.

## **Effects of visual dynamics on metal surface: security holograms based on LIPSS**

*M. K. Moskvina, E. V. Prokofiev, D. D. Uchanova, D. A. Sinev, G. V. Odintsova, V. P. Veiko*  
ITMO University, Saint Petersburg, Russia

In this work the features and possibilities of the direct method of recording protective holograms based on the formation of laser-induced periodic surface structures (LIPSS) on metal surfaces are considered. This method provides opportunities to create both highly regular and complex hierarchical structures. This method is based on dynamic modulation in the polarization of laser radiation, which allows the creation of a variety of visual and structural features. In this work we consider physically unclonable hierarchical structures based on LIPSS, dynamic visual effects including movements of colour and image (kinegram effect), as well as the image switching and stereoscopic effects (illusion of depth in an image).

*Keywords:* Rainbow hologram, Laser-induced periodic surface structures (LIPSS), Non-cloneable labels, Hierarchical structures.