

Исследование возможности управления цветом лазерно-индуцированного покрытия за счет изменения угла падения лазерного пучка

Домакова В.А.¹, Евграфов К.С.², Синева Д.А.¹

Научный руководитель – кандидат технических наук, Синева Д.А.

1 – Университет ИТМО

2 – ГБОУ «ИТШ № 777»

Введение.

Лазерно-индуцированные поверхностные периодические структуры (ЛИПЭС), создаваемые на пленках металлов на стекле, уже нашли свое применение в волоконной оптике [1], газовом анализе [2] и изготовлении поляризационных элементов [3]. Лазерно-индуцированный обратный перенос (ЛИОП) является альтернативным методом маркировки стекла, который заключается в переносе металлической пленки на его поверхность с помощью сканирования мишени-донора лазерным излучением. В сочетании с ЛИПЭС, оба метода представляют собой новый способ создания регулярного рельефа на прозрачных подложках, действуя в процессе лишь одну лазерную установку. Однако возможности управления структурным цветом покрытия, сформированного при комбинировании двух методов, остаются недостаточно хорошо изученными.

Основная часть.

Рабочий спектральный диапазон поляризационных элементов [3], наблюдаемый цвет дифракции света для защиты продукции [4] могут регулироваться изменением периода ЛИПЭС, что является перспективным направлением [5]. Контроль периода поверхностных структур может осуществляться путем изменения угла падения луча α , направления его поляризации ϕ и вектора сканирования, что позволяет, согласно феноменологической модели, варьировать период структур от субволновых значений (менее 0,6 от длины волны) до величин, в несколько раз превышающих длину волны лазерного излучения [6]:

$$\Lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{\cos^2 \phi + \sin^2 \phi (1 + \sin \alpha)^2}} \quad (1)$$

где

λ — длина волны лазерного излучения,

ϕ — угол между направлением линейной поляризации луча и плоскостью падения

α — угол падения луча относительно нормали к поверхности, знак которого зависит от направления сканирования.

Целью настоящей работы было исследование того, как угол падения лазерного излучения будет влиять на колориметрические характеристики ЛИПЭС, включая наблюдаемый цвет при фиксированном угле падения света. Экспериментальная часть была проведена на лазерной установке «Минимаркер-2» с $\lambda = 1064$ нм и длительностью импульса 4-200 нс. Выделение и контроль линейной поляризации лазерного излучения осуществлялось призмой Глана-Тейлора и полуволновой пластинкой. В методе ЛИОП использовалась мишень из титана марки ВТ0-1, облучаемая лазерным излучением без оптического блока поляризации в режиме: $P = 5,96$ Вт, $V = 210$ мм/с, $f = 60$ кГц, $t = 100$ нс, разрешение записи 20 линий/мм. В прямой контакт с мишенью накладывалось предметное стекло Levenhuk G50, которое служило акцептором металлической пленки. При повторном

экспонировании с целью создания ЛИППС для придания узору структурных цветов использовались параметры: $P=42$ мВт, $f=40$ кГц, $V=1$ мм/с, $t=4$ нс, разрешение записи 50 линий/мм. Микрофотографии были получены на оптическом микроскопе Carl Zeiss Axio Imager A1m. Наклон лазерного луча менялся опосредованно через наклон образца на моторизованном модуле и не превышал 20° .

В результате были получены металлические пленки на поверхности стекла, структурированные при различном угле наклона, которые давали отличный друг от друга цветовой отклик при фиксированных углах наблюдения и падения света. Этот результат показывает перспективность объединения методов ЛИОП и ЛИППС для контроля спектральных характеристик, что открывает новые применения в сфере функционализации поверхности прозрачных материалов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-79-10230, <https://rscf.ru/project/24-79-10230/>.

Список использованных источников:

1. Bronnikov K. et al. Highly regular laser-induced periodic surface structures on titanium thin films for photonics and fiber optics //ACS Applied Materials & Interfaces. – 2024. – Т. 16. – №. 50. – С. 70047-70056.
2. Zehetner J. et al. Laser-induced periodic surface structures and their application for gas sensing //Micromachines. – 2024. – Т. 15. – №. 9. – С. 1161.
3. Skoulas E. et al. Laser induced periodic surface structures as polarizing optical elements //Applied Surface Science. – 2021. – Т. 541. – С. 148470.
4. Xu O. et al. Laser-induced periodic surface structure for microscale anti-counterfeiting structural colors //Opto-Electronic Engineering. – 2025. – Т. 49. – №. 1. – С. 210320-1-210320-9.
5. Ma W. et al. Regulating LIPSS Period and Orientation via Multiaxis Laser Processing and Neural Network Guidance //ACS Applied Materials & Interfaces. – 2026.
6. Shvedov V. G., Izdebskaya Y. V., Shadrivov I. V. Control of Orientation and Periodicity of Laser-Induced Surface Structures on Metals //Advanced Materials Interfaces. – 2025. – Т. 12. – №. 5. – С. 2400589.