

Создание лазерно-индуцированных поверхностных периодических структур на массивном титане.

Рудь Д.А. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Синева Д.А. (ИТМО)

Введение. Лазерно-индуцированные поверхностные периодические структуры (ЛИППС), возникающие на поверхности различных материалов, в настоящий момент являются важным направлением исследований с возможностью применения в различных областях, например, в оптике для создания сложных дифракционных оптических элементов, в приборостроении для создания тензометрических датчиков, а также применение в области защиты данных и предотвращения фальсификации продукции и т.д. [1-4]. Тем не менее, изучение тенденции формирования ЛИППС на различных материалах, включая тонкие пленки металлов и массивные образцы различной природы (проводники, полупроводники и диэлектрики) имеет и фундаментальное значение, которое и составляет цель данного исследования [5,6]. В настоящий момент известны несколько типов ЛИППС: LSFL (low-spatial-frequency) для которых характерно формирование на поверхностях массивных материалов с периодом $\Delta_{LSF} > \lambda_l/2$, где λ_l – длина волны возбуждающего излучения, а также HSFL (high-spatial-frequency) с периодом $\Delta_{HSF} < \lambda_l/2$.

В настоящем исследовании проверяется ранее выдвинутая в процессе изучения данной темы гипотеза о том, что ЛИППС могут самоорганизовываться на поверхности массивных образцов титана ВТ-1-0 при воздействии наносекундных импульсов не только в случае с облучением поверхности образца линейно-поляризованным лазерным излучением, но и при использовании случайно или частично поляризованного излучения.

В настоящей работе изучаются тенденции формирования LSFL с периодом $\Delta_L \approx 1$ мкм, индуцируемые на поверхность массивных образцов титана.

Основная часть. В ранних исследованиях были уже получены результаты по получению ЛИППС на массивных образцах титана в случае с использованием расфокусированного линейно-поляризованного лазерного излучения, или же ширина трека сканирования в плоскости обработки составляла приблизительно 60–65 мкм. В настоящем исследовании используются ранее исследованные диапазоны параметров мощности (3 ± 2.2) Вт и частоты следования импульсов (30 ± 15) кГц [7]. Эти данные несут опорную функцию для получения диапазона параметров излучения, необходимого для индуцирования на поверхность образца периодических микроструктур при использовании случайно или частично поляризованного излучения.

В настоящей работе использованы образцы титана ВТ-1-0 толщиной (1.5 ± 0.15) мм, на поверхности которых при помощи коммерчески доступной установки «МиниМаркер 2» на базе Yb-волоконного источника излучения «НТО ИРЭ Полус», излучающего в ближнем ИК-диапазоне $\lambda_l = 1.064$ мкм индуцируются ЛИППС.

При проведении исследования применяется лазерное излучение с следующими характеристиками: диаметр пучка в перетяжке составляет $d = 50$ мкм, длительность импульса $t = 100$ нс, скорость сканирования $v = 5$ мм/с в плоскости совпадающей с поверхностью образца, которая также является плоскостью фокусировки лазерного излучения, плотность заполнения элементов с ЛИППС составляет $\delta = 20$ лин/мм, или же коэффициент перекрытия по оси перпендикулярной направлению заполнения составляет $\zeta \approx 0 - 0.1$. Средняя мощность лазерного излучения P варьируется в пределах 0.9 - 2.7 Вт, частота следования импульсов f также изменяется в диапазоне 17 – 22 кГц. Помимо всего прочего, используется призма Тейлора-Глана для выделения линейной компоненты поляризации лазерного излучения в случае с записью микроструктур с линейно-поляризованным излучением.

Выводы. В результате данного исследования получены значения плотности мощности $q = 6 - 7.2 \text{ Вт/м}^2$, а также плотности энергии $\xi = 6 - 7.2 \text{ Дж/см}^2$, в диапазоне которых формируются развитые лазерно-индуцированные микроструктуры случае использования случайно поляризованного излучения. Также посчитаны коэффициенты перекрытия при записи по двум осям, а также проведено сравнение с вышеупомянутыми энергетическими характеристиками, которые характерны для диапазона формирования ЛИППС с использованием линейно-поляризованного излучения.

Проект поддержан грантом РФФ №21-79-10241.

Список использованных источников:

1. Синев Д.А., Южакова Д.С., Москвин М.К., Вейко В.П. Formation of the Submicron Oxidative LIPSS on Thin Titanium Films During Nanosecond Laser Recording // *Nanomaterials*. – 2020. – 10(11). – 2161
2. Gräf S. et al. Mechano-responsive colour change of laser-induced periodic surface structures // *Applied Surface Science*. – 2019. – Т. 471. – С. 645-651.
3. Москвин М.К., Щедрина Н.Н., Долгополов А.Г., Прокофьев Е.В., Романов В.В., Синев Д.А., Вейк В.П. и Одинцова Г.В. Laser-based formation of periodic structures as a method for the one-stage production of security holograms // *Journal of Optical Technology*. - 2023. - Vol. 90. - № 4. - С. 170-178
4. Агеев Е.И., Вейко В.П., Власова Е.А., Карлагина Ю.Ю., Кривоносов А.С., Москвин М.К., Одинцова Г.В., Пшеничнов Е.В., Романов Е.В., Яцук Р.М. Controlled nanostructures formation on stainless steel by short laser pulses for products protection against falsification // *Optics express*. - 2018. - Vol. 26. - № 2. - С. 2117-2122
5. Ibrahim Q., Andreeva Y., Suvorov A., Khmelenin D., Evgeniy E., Shcherbakov A., Sinev D. Laser fabrication of 1D and 2D periodic subwavelength gratings on titanium films // *Optics and Laser Technology* - 2024, Vol. 174, P.110642.
6. Bonse J., Krüger J., Höhm S., Rosenfeld A. Femtosecond Laser-Induced Periodic Surface Structures // *Journal of Laser Applications*. - 2012. - 24(4):042006
7. Васильев М.Д., Суворов А.Р., Рудь Д.А., Синев Д.А. Особенности формирования термохимических лазерно- индуцированных периодических поверхностных структур на образцах титана различной толщины // *Сборник научных трудов Международной научно-технической молодежной конференции "Перспективные материалы конструкционного и функционального назначения"* - 2022. - С. 333–336