

УДК 544.032.65

**Исследование структурного состава поверхностного слоя титана с лазерно-индуцированными поверхностными периодическими структурами.**

**Рудь Д.А. (ИТМО)**

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

**Введение.** Регулярные поверхностные рельефы с субмикронными значениями периода представляют интерес для решения проблем фотоники и сенсорики, к примеру в качестве дифракционных оптических элементов и сенсорных площадок [1]. Такие рельефы могут быть получены под лазерным воздействием на широком круге тонкопленочных и массивных материалов. Лазерно-индуцированные поверхностные периодические структуры (ЛИППС) находят широкое применение, а особый интерес представляют ЛИППС, образующиеся по термохимическому (окислительному) механизму (ТЛИППС). Анализ механизмов возбуждения ТЛИППС и управление их пространственными характеристиками затруднен обширностью классификации соединений массивного титана.

Полиморфизм соединений титана с кислородом представляет значительный научный интерес благодаря широкому спектру возможных применений в областях материаловедения и функционализации поверхности конструкционных материалов для повышения их резистивных свойств к внешним факторам воздействия. На настоящий момент в мире экспериментально получены: менее 10 из известных полиморфных модификаций диоксида титана ( $\text{TiO}_2$ ) в кристаллических формах колумбита, брукита, котуннита, баделлита, анатаза и рутила, которым соответствуют пространственные группы симметрии:  $Pbcn$ ,  $Pbca$ ,  $Pnma$ ,  $P2_1/c$ ,  $Cmca$ ,  $I4_1/amd$ ,  $P4_2/mnm$ ; а также менее 5 модификаций монооксида титана ( $\text{TiO}$ ) – гексагональной ( $P-62m$ ), моноклинной ( $C2/m$ ) и кубической ( $Fm-3m$ ) сингоний. Настоящее исследование направлено на изучение химического состава поверхностного слоя титанового сплава ВТ1-0 после обработки его лазерным излучением в режиме формирования лазерно-индуцированных поверхностных периодических структур (ЛИППС) для анализа механизмов формирования периодических микроструктур.

**Основная часть.** В настоящей работе исследуются образцы титана ВТ-1-0 ( $\text{Ti}$ : 99.58%,  $\text{Fe}$ : 0.15%,  $\text{O}$ : 0.1%,  $\text{Si}$ : 0.08%,  $\text{C}$ : 0.05%,  $\text{N}$ : 0.04%,  $\text{H}$ : 0.008%) толщиной ( $1.5 \pm 0.15$ ) мм, на поверхности которых при помощи коммерчески доступной установки «МиниМаркер 2» на базе  $\text{Yb-ps}$ -волоконного источника излучения  $\text{YLPm-1-4x200-20-20}$  НТО «ИРЭ-Полус», излучающего в ближнем ИК-диапазоне  $\lambda_l = 1.064$  мкм индуцированы ЛИППС.

В ранних исследованиях были уже получены результаты по получению ЛИППС на массивных образцах титана в случае с использованием расфокусированного линейно-поляризованного лазерного излучения, ширина трека сканирования в плоскости обработки составляла приблизительно 60–65 мкм. В настоящем исследовании используется ранее полученный режим формирования микроструктур: мощность  $P = 2.2$  Вт, частота следования импульсов  $f = 24$  кГц, длительность импульса  $\tau = 100$  нс, скорость сканирования  $v = 5$  мм/с, разрешение записи  $\delta = 20$  лин/мм. Для исследования химического состава поверхностного слоя титанового образца с ЛИППС используется метод анализа HRTEM (High Resolution Transmission Electron Microscopy) с последующей идентификацией элементного состава по максимумам спектра дифракционного рассеяния кристаллической структуры образца.

**Выводы.** В результате анализа двух изображений, полученных методом просвечивающей электронной микроскопии обнаружен следующий набор соединений, наличие которых подтверждено совпадением пиков интенсивности дифракционного отклика решеток с теоретически известными: первое изображение -  $\text{TiO}_2$  ( $Pbcn$ ,  $P2_1/c$ ,  $P4_2/mnm$ ,  $Pnma$ ),  $\text{TiO}$  ( $C2/m$ ),  $\text{Ti}(\text{NO}_3)_4$  ( $P2_1/c$ ), второе изображение -  $\text{TiO}_2$  ( $P2_1/c$ ,  $Pbcn$ ,  $Pbca$ ,

P4\_2/mnm), TiO (C2/m), Ti(NO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> (P2\_1/c). Полученные результаты могут представлять интерес для решения задач в областях фотокаталитических применений [5], а также SERS (surface-enhanced Raman scattering) спектроскопии [6].

Финансирование исследования выполнено за счет НИРСИИ Университета ИТМО (проект №640114 Метод синтеза параметров обработки материалов на основе строгих (математических) и нестрогих (машинных) предсказаний)

Автор благодарит Андрееву Я. М. за ценные обсуждения результатов исследования и помощь в проведении экспериментов. Автор благодарит ЦКП "Структурная диагностика материалов КККиФ НИЦ "КИ" на базе НИЦ "Курчатовский институт" за помощь в получении данных просвечивающей электронной микроскопии.

#### **Список использованных источников:**

- [1] - Bonse Jörn; Höhm Sandra; Kirner Sabrina V.; Rosenfeld Arkadi; Krüger Jörg. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 23, 3, (2017).posium (PIERS), (2017).
- [2] - Kitano M. et al. Recent developments in titanium oxide-based photocatalysts //Applied Catalysis A: General. – 2007. – Т. 325. – №. 1. – С. 1-14.
- [3] - Jing M. et al. Difference of SERS ability from titanium oxide films by Ti<sup>3+</sup> self-doping /Optical Materials. – 2017. – Т. 73. – С. 371-376.