

## ЛАЗЕРНАЯ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТОВ

Бабкина А.А. (ИТМО), Романова Г.В. (ИТМО), Долгополов А.Д. (ИТМО)  
Научный руководитель – ассистент, м.н.с. Карлагина Ю.Ю.  
(ИТМО)

**Введение.** Полимерные биоразлагаемые имплантаты применяются в различных областях медицины. Они замещают мышечные ткани, ткани сердца (в том числе сердечные клапаны), кожу, могут использоваться в качестве раневых повязок и даже при регенерации нервных клеток [1]. Все это обусловлено большим числом достоинств данного материала, к тому же, его поверхность можно функционализировать – придавать ей заданные функциональные свойства. Так, например, создавая микроstructures определенных размеров и формы, можно управлять поведением клеток: влиять на их пролиферацию и адгезию [2]. На данный момент существуют разные способы модификации поверхности полимеров: плазменное и химическое травление, воздействие ультрафиолетовым и гамма-излучением, электроспиннинг. Однако их использование зачастую приводит к ухудшению важных характеристик материала: механические свойства, время деградации и другие. Большие перспективы открывают лазерные способы модификации поверхности. Лазерная обработка позволяет контролируемо изменять шероховатость поверхности полимеров [3], позволяет формировать макроскопические структуры (порядка сотен мкм) [4], однако, для биомедицинских применений особый интерес представляет формирование структур микро- (<100 мкм), субмикро- (<10 мкм) и наноразмеров.

**Основная часть.** Целью настоящей работы является исследование и разработка лазерного способа функционализации поверхности полигидроксиалканоатов (ПГА). Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач: 1) исследовать возможности прямой лазерной записи на поверхности ПГА; 2) разработать способ структурирования ПГА путем переноса рельефа со структурированной поверхности; 3) исследовать физико-химические свойства полученных материалов.

В работе для структурирования поверхности материалов используются наносекундный и фемтосекундный лазерные источники со следующими параметрами: параметры фемтосекундного источника - длина волны  $\lambda = 343$  нм, длительность импульса  $\tau = 250$  фс, частота следования  $f = 1$  МГц, скорость сканирования  $v = 0.1$  мм/с; параметры наносекундного источника -  $\tau = 4$  нс,  $f = 999$  кГц,  $v = 10$  мм/с. Проводилась обработка ПГА в виде пленок поли-3-гидроксибутирата и поверхности образцов из титанового сплава ВТ6. Исследование физико-химических характеристик материалов до и после лазерной обработки проводилось методами СЭМ и EDX (сканирующий электронный микроскоп Fei inspect), оптической микроскопии (микроскоп Микромед Полар-1), профилометрии (профилометр Hommel Tester T8000).

Проведена серия экспериментов по лазерному облучению поверхности ПГА. При обработке пленок лазерным излучением были получены канавки с неравномерными рельефом (на поверхности наблюдались “пузыри”), а также недостаточной глубиной.

Проведена серия экспериментов по лазерному формированию титановых шаблонов для структурирования поверхности ПГА. Изучено влияние следующих параметров лазерного излучения на морфологию треков на титане: длительности и плотности мощности лазерных импульсов; перекрытия лазерных импульсов; количества проходов лазерного луча. Определен оптимальный режим лазерной обработки (плотность мощности  $q = 170$  МВт/см<sup>2</sup>, скорость сканирования  $v = 10$  мм/с, частота следования импульсов  $f = 999$  кГц, количество проходов  $n = 6$ ), который был использован для записи титановых

шаблонов с квадратной и треугольной сеткой, а также сеткой Гильберта. По полученным экспериментальным результатам сформирована база данных для тренировки и обучения ИИ-системы, предназначенной для автоматизации производственных процессов.

**Выводы.** В ходе исследования лазерной функционализации поверхности полигидроксиалканоатов было разработано несколько способов структурирования полимерных пленок. На основе проведенных экспериментов фемто- и наносекундным излучением было разработано несколько типов функционализированных поверхностей прямым лазерным воздействием и разработкой титановых шаблонов для каст-метода.

Были проанализированы оптические снимки, профилограммы и результаты СЭМ и EDX исследований пленок, которые показали, что полученные структуры подходят для биомедицинских применений и соответствуют микрометрическим и субмикрометрическим размерам.

Проведена *in vitro* верификация функционализированных пленок, исследована адгезия и пролиферация клеток, показано, что характер их поведения напрямую зависит как от формы микроструктуры, так и от ее размеров.

Результаты данного исследования могут использоваться при разработке биоразлагаемых имплантатов с новыми улучшенными свойствами.

Финансирование исследования выполнено за счет НИРСИИ Университета ИТМО (проект №640115 "Разработка и интеграция систем мониторинга и управления для автоматизации производственных процессов на примере лазерной сварки").

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

1. Koller M. Biodegradable and biocompatible polyhydroxy-alkanoates (PHA): auspicious microbial macromolecules for pharmaceutical and therapeutic applications //Molecules. – 2018. – Т. 23. – №. 2. – С. 362.
2. Drobota M., Ursache S., Aflori M. Surface functionalities of polymers for biomaterial applications //Polymers. – 2022. – Т. 14. – №. 12. – С. 2307.
3. Kobielarz M. et al. Laser-modified PLGA for implants: In vitro degradation and mechanical properties //Acta of Bioengineering and Biomechanics. – 2020. – Т. 22. – №. 1.
4. Shishatskaya E. I. et al. Modification of polyhydroxyalkanoates polymer films surface of various compositions by laser processing //Polymers. – 2023. – Т. 15. – №. 3. – С. 531.