

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА РЕЗУЛЬТАТ ОБРАБОТКИ ИСЛАНДСКОГО ШПАТА МЕТОДОМ ЛИМП

Нестеров Н. А.<sup>1</sup>, Петров А. А.<sup>1</sup>

Научный руководитель – кандидат технических наук, Костюк Г. К.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

### Введение

Исландский шпат ( $\text{CaCO}_3$ ) – прозрачный кристалл, обладающий наибольшей двулучепреломляющей способностью ( $|\Delta n| \approx 0,23-0,16$  в диапазоне длин волн 257–1497 нм) и высокой оптической прозрачностью в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах оптического спектра (от 400 до 1900 нм) [1] среди известных доступных двулучепреломляющих материалов [2, 3]. Это делает его перспективным, однако сложным в обработке из-за хрупкости и анизотропии свойств материалом. Основной проблемой на сегодняшний день остается то, что управляемое формирование таких структур с помощью плазмы на кристаллических материалах исследовано недостаточно. Метод лазерно-индуцированной микроплазмы (ЛИМП) позволяет проводить микрообработку материала с использованием лазерного излучения, для которого обрабатываемый материал прозрачен, генерируя плазму на поверхности высокопоглощающей мишени для локального удаления материала [4, 5].

В этой работе исследовалось влияние различных временных параметров лазерного излучения, таких как: длительность импульса, частота следования импульсов, а также степень перекрытия лазерных импульсов в процессе обработки, на результат обработки, качество получаемых поверхностей, глубину получаемого рельефа и целостность кристаллической пластины.

### Основная часть

Исследования проводились на двух лазерных установках с иттербиевым волоконным лазером ( $\lambda = 1,06$  мкм и энергией в импульсе 0,1–1 мДж). Импульсы длительностью 8 и 50 нс получались на установке «МиниМаркер 2», с максимальной средней мощностью до 20 Вт, а импульсы длительностью 5 нс рассматривались на другом типе установки «МиниМаркер 2», использующей другой активный элемент и позволяющей получать импульсы с длительностью единиц наносекунд с выходной средней мощностью в 30 Вт. Вторую установку было решено использовать для оценки возможности работы с более короткими длительностями импульсов, использование которых должно повысить как качество обработки, так и воспроизводимость результатов обработки прозрачных кристаллических материалов в методе ЛИМП в рамках стандартной лазерной установки.

Образцы исландского шпата (размером 20x20 мм и толщиной 800 мкм) обрабатывались в режиме сканирования (скорость сканирования 0,3–10 м/с). Основной упор был сделан на сравнение режимов с длительностями импульсов 50 и 8 нс. Частоты сканирования 30 и 200 кГц были выбраны исходя из результатов экспериментов и данных в работах [5, 6], а также расчетов, показывающих, что на частоте 200 кГц при длительности импульса 8 нс на данной установке достигается аналогичная импульсная мощность, а также энергия в импульсе, как и при импульсе в 50 нс и частоте следования импульсов в 30 кГц.

Изучение полученных результатов обработки проводилось с использованием оптического микроскопа Carl Zeiss Axio Imager A1.m, оптического профилометра на базе интерферометра Линика и атомно-силового микроскопа AIST-NT Smart SPM/AFM,

позволяющего получить данные латеральных размеров образцов с точностью до 0,5 нм и высоты ступенек профиля с точностью 0,1 нм.

### **Выводы**

Импульсы короткой длительности с перекрытием минимизируют термические эффекты, сохраняя целостность пластинки, однако позволяют вытравливать меньшие глубины. Следовательно, для достижения необходимого профиля поверхности потребуется большее количество сканирований. Таким образом, для микрообработки оптически прозрачных кристаллов в методе ЛИМП рекомендуется использовать импульсы длительностью в единицы наносекунд, перекрывающие друг друга на 50% и более, а необходимую глубину травления достигать путем повышения количества сканирований.

### **Литература**

1. Скоморовский В. И., Кушталъ Г. И., Токарева Л. С. Исландский шпат и разработка интерференционно-поляризационных фильтров (ИПФ) //Солнечно-земная физика. – 2022. – Т. 8. – №. 1. – С. 70-86.
2. Skropyshev A. V., Atabaev K. K., Ostrovskii Y. I. Перспективы использования исландского шпата оптико-механической промышленностью //Journal of Mining Institute. – 1970. – Т. 51. – №. 3. – С. 53-53.
3. Федоров В. А., Плужникова Т. Н., Кириллов Р. А. Влияние электромагнитного излучения на дефектную структуру и свойства исландского шпата //Вестник российских университетов. Математика. – 2008. – Т. 13. – №. 1. – С. 57-59.
4. Вейко В. П. и др. Лазерно-индуцированная микроплазма как инструмент микроструктурирования прозрачных сред //Квантовая электроника. – 2017. – Т. 47. – №. 9. – С. 842-848.
5. Shkuratova V. et al. Laser-induced microplasma as effective tool for phase elements fabrication on amorphous and crystalline materials //Journal of Laser Micro Nanoengineering. – 2018. – Т. 13. – №. 3. – С. 211-215.
6. Kostyuk G. et al. Optimization of fabrication technology of phase-polarization optical elements on Iceland spar by laser-induced microplasma: G. Kostyuk et al //Optical and Quantum Electronics. – 2025. – Т. 57. – №. 7. – С. 426.