

Экспериментальное исследование многопроходной газовой ячейки с изменяемой длиной оптического пути для абсорбционного ТГц-спектрометра*

Г.К. Распопин¹, А.Г. Паулиш², Ю.М. Михайлов¹,
А.П. Шкуринов^{1,3}, Ю.В. Кистенев¹

¹ *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

² *Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия*

³ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

Проведено экспериментальное исследование прототипа компактной многопроходной ячейки с изменяемой длиной оптического пути. Механизм изменения длины оптического пути в диапазоне от 0.51 до 2.46 м реализован с использованием набора внеосевых параболических зеркал. Для апробации прототипа выбрана методика сравнения формы профилей поперечного сечения экспериментального и теоретического ТГц-пучков при значениях длин оптического пути 0.51 и 2.46 м. Экспериментальные результаты подтверждают работоспособность разработанной многопроходной ячейки.

Ключевые слова: абсорбционная спектроскопия, газовая измерительная ячейка, многопроходная ячейка, ТГц-спектрометр, сканирование ТГц-пучка.

Введение

Применение ТГц-абсорбционных спектрометров, основанных на использовании традиционных однопроходных газовых ячеек, в условиях измерений вне исследовательских лабораторий осложняется их габаритными размерами, весом и фиксированной длиной оптического пути (Optical Path Length, OPL) [1, 2]. Также регистрируемый спектр таких ячеек подвержен влиянию интерференционных эффектов Фабри – Перо [3, 4].

Эффективным решением проблемы габаритных размеров и фиксированного значения OPL является применение многопроходных ячеек (MultiPass Cell, MPC), таких как ячейка оптической схемы Херриотта [5]. При сравнимых с однопроходными газовыми измерительными ячейками значениях OPL последние обладают существенно меньшими геометрическими размерами и возможностью изменения OPL [6, 7].

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования разработанного прототипа многопроходной газовой ячейки оптической схемы Херриотта с изменяемой длиной оптического пути. Конструкция ячейки и элементы оптической схемы изготовлены с использованием 3D-печати по технологии послойного наплавления (Fused Deposition Modelling, FDM) из PETG-пластика, которая обеспечивает субволновую точность, малый вес и возможность изготовления ячейки сложной геометрической формы. Механизм изменения OPL реализован за счет использования набора внеосевых параболических зеркал с фиксированными значениями угла поворота оптической оси одного из параболических зеркал относительно оптической оси MPC. Изготовленный прототип MPC при сравнительно небольших габаритах (30×30 см) с учетом системы генерации и детектирования ТГц-излучения имеет возможность дискретного изменения OPL в диапазоне от 0.51 до 2.46 м.

Проверка работоспособности прототипа проводилась путем сравнения экспериментальных и теоретически рассчитанных профилей поперечного сечения ТГц-пучка при различных OPL. Для этого была разработана автоматизированная трехосевая система линейного перемещения на базе контроллера Arduino и однопиксельного пиродетектора. Проверка показала корректность работы предложенной конструкции MPC и ее пригодность для использования в качестве измерительной ячейки компактного абсорбционного ТГц-спектрометра, что важно для полевых измерений.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (грант № 075-15-2024-557 от 25.04.2024 г.).