**Зондирование смесей газов с помощью нелинейной интерферометрии**

***Сабанин А.С.1, Кривицкий Л.А.2, Патерова А.В.1,2***

*Лаборант1, старший научный сотрудник2, PhD2, старший научный сотрудник1,2, PhD1,2*

*1Южно-Уральский Государственный Университет, лаборатория «Квантовая инженерия света», Челябинск, Россия*

 *2Institute of Materials Research and Engineering (IMRE), Сингапур, Сингапур.*

*Е-mail: artem.sabanin@mail.ru*

Средний инфракрасный (ИК) диапазон длин волн представляет значительный интерес для исследований, так как в нем сосредоточено множество уникальных линий поглощений [3]. Однако существующие методы ИК-метрологии имеют ряд недостатков: узкий диапазон перестройки приборов, низкая эффективность ИК-детекторов и наличие существенных шумов. Хорошей альтернативой классическим методам может выступить метод нелинейной интерферометрии, в котором свойства среды в ИК-диапазоне возможно исследовать путем регистрации видимого света [2].

Для проведения измерений в нелинейном кристалле создаются пары коррелированных фотонов через процесс спонтанного параметрического рассеяния (СПР) света [1]. СПР генерируется в сильно невырожденном режиме, когда один из фотонов (сигнальный) находится в видимой области, а второй (холостой) в среднем ИК-диапазоне спектра. С помощью интерференционной схемы с несколькими нелинейными кристаллами можно производить ИК метрологию с высоким коэффициентом сигнал/шум.

В данной работе демонстрируется ИК-метрология в схеме интерферометра с общим оптическим путем (Рис.1). Первая и вторая пара фотонов появляются в результате прямого и обратного прохождения луча накачки через кристалл ниобата лития (LiNbO3). Интерференция коррелированных фотонов, возникает в результате выполнения условия «неразличимости» [4,5]. Отличительной особенностью нелинейной интерферометрии является тот факт, что информация о холостом ИК фотоне, отражается интерференционной картине сигнальный фотонов [4,5]. Таким образом, можно производить измерения характеристик, например показателя преломления или коэффициента пропускания в инфракрасном диапазоне, регистрируя при этом интерференцию сигнальных фотонов в оптической или ближней ИК области спектра.



*Рис.1 Оптическая схема интерферометра.*

Интерференционная картина для сигнальных фотонов описывается следующим выражением:

$I\_{s}\~sinc^{2}(∆kL/2)(1+\left|τ\_{i}\right|\cos((∆kL+∆k^{'}ε))) $, (1)

где $∆k$ и $∆k^{'}$ - волновые расстройки в кристалле и зазоре между кристаллами, соответственно. L – длина кристалла, а $ε$/2 – отстройка кристалла от фокусного расстояния параболической линзы. $\left|τ\_{i}\right|$ – является коэффициентом пропускания среды, который описывается законом Бугера-Ламберта: $\left|τ\_{i}\right|=exp⁡(-α\_{i}L^{'}/2)$. Таким образом, из выражения (1) следует, что форма и ширина спектра будет определяться функцией $sinc^{2}(∆kL/2)$, а видность и угол наклона интерференционных полос описываются членом $\left|τ\_{i}\right|\cos((∆kL+∆k^{'}ε))$.

 В качестве исследуемых газов в эксперименте использовались закись азота (N2O) и углекислый газ (CO2), с ярко выраженными линиями поглощений на 4.5 мкм и 4.27 мкм, соответственно. На рисунке 2 представлены спектры сигнальных фотонов: для воздуха Рис.2(а), воздуха с примесью углекислого газа Рис.2(b), а также воздуха, углекислого газа и закиси азота Рис.2(c).



*Рис.2 Частотно-угловой спектр сигнальных фотонов.*

На рисунке 2(б), на длине волны 608 нм, что соответствует длине волны холостых фотонов в 4.27 мкм, можно заметить ухудшение видности интерференционной картины, в виду характерной линии поглощения средой. Далее в камеру с углекислым газом была добавлена смесь закиси азота, на рисунке 2(в) отображен характер поведения интерференционной картины: видность интерференции ухудшилась на длине волны холостого фотона 4.5 мкм, что также соотносится с литературными данными характерной полосы поглощения закиси азота.

 В данной работе продемонстрирован метод ИК метрологии смесей газов на основе нелинейной интерферометрии в диапазоне от 4 мкм до 5.5 мкм. С помощью данного метода можно одновременно детектировать несколько различных газов с разрешением в 5.5 нм в ИК диапазоне.

**Литература**

[1] Клышко Д. Н., Пенин А. Н., Полковников Б. Ф. Параметрическая люминесценция и рассеяние света на поляритонах, Письма ЖЭТФ, том 11, стр. 11-14 (1970)

[2] Paterova A V, Yang H, An C, Kalashnikov D A and Krivitsky L A 2018 Tunable optical coherence tomography in the infrared range using visible photons Quantum Sci. Technol. 3 025008

[3] Stuart B H 2004 Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications (Wiley)

[4] Wang L J, Zou X Y and Mandel L 1991 Induced coherence without induced emission Phys. Rev. A 44 4614–22

[5] Zou X Y, Wang L J and Mandel L 1991 Induced coherence and indistinguishability in optical interference Phys. Rev. Lett. 67 318–21