

УДК 681.785.574

Особенности работы с многоканальным ИК фурье-спектрометром

Морозов А. Н.^{1,2,*}, Балашов А. А.²,

Вагин В. А.², Хорохорин А. И.²,

Голяк И. С.¹

* amor59@mail.ru

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

²Научно-технологический центр уникального
приборостроения РАН, Москва, Россия

В работе приведена система многоканальной регистрации спектров излучения, построенная на базе динамического фурье-спектрометра и нескольких оптических волокон. Описан ее принцип работы и особенности, которые возникают при одновременной работе с несколькими оптическими волокнами – относительный сдвиг по частотам и отличие в интенсивности спектральных линий для разных каналов. Для подтверждения правильности работы данной системы были проведены эксперименты по регистрации излучения от газоразрядной неоновой лампы на разных оптических каналах. Показано, что на основе динамического фурье-спектрометра с использованием нескольких оптоволоконных зондов может быть построена многоканальная измерительная система.

Ключевые слова: ИК фурье-спектрометр, интерферометр, многоканальный спектрометр, многозондовая регистрация

Одним из современных направлений развития спектральной техники является разработка и изготовление фурье-спектрометров, ориентированных на работу с оптоволоконными зондами [1-3]. Такие приборы позволяют проводить измерения различных объектов без пробоподготовки, а также объектов, расположенных в труднодоступных и удаленных от спектрометра местах. На основе таких фурье-спектрометров можно создавать многоканальные приборы, снабженные системой из нескольких оптоволоконных зондов. Такой спектрометр, например, фурье-спектрометр MATRIX-F (фирма Bruker, Германия), может проводить последовательные измерения нескольких исследуемых объектов просто переключаясь с одного зонда на другой. Но было бы полезно создать многоканальный спектрометр, который мог бы производить одновременные измерения сразу со всех подключенных зондов. Это можно сделать, если в фурье-спектрометре исследуемое излучение после интерферометра направить на опторазъем, к которому подключается волоконно-оптический жгут, состоящий из входных оптоволокон отдельных зондов. Каждый зонд

заканчивается своим приемником ИК излучения. Далее можно осуществлять последовательную или одновременную регистрацию интерферограмм с каждого отдельного зонда.

Для предварительного исследования возможностей работы с таким построением фурье-спектрометра были проведены некоторые измерения на макете фурье-спектрометра видимого и ближнего ИК диапазона (Рис.1), предназначенного для работы со слабыми источниками излучения [4]. Это особенно актуально в нашем случае, т.к. энергетику излучения, прошедшего через оптоволоконные зонды, сильно ограничивает малая светосила используемых оптоволокон, а также потери, связанные с поглощением излучения в материале оптоволокон.

Спектральное разрешение используемого макета спектрометра составляет 1 см^{-1} . В качестве отражателей в плечах интерферометра вместо плоских зеркал используются зеркальные уголкового отражатели. Подобная конструкция позволяет снизить требования к стабильности их пространственного положения, поскольку падающий луч отражается от них строго параллельно первоначальному [5].

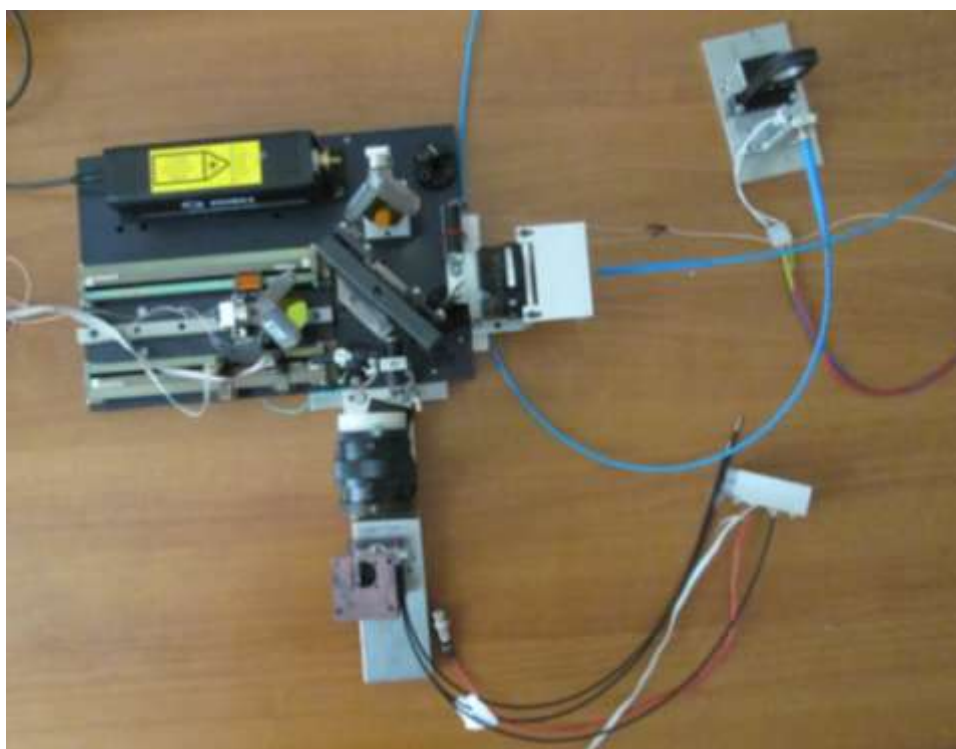


Рис. 1 Макет фурье-спектрометра

Для исследования работы спектрометра в многоканальном режиме был разработан и изготовлен оптоволоконный кабель (Рис.2), состоящий из трех оптических волокон с диаметром отдельного волокна порядка 0,6 – 0,8 мм (волокно типа ОКК800/880/1200Т с числовой апертурой $NA = 0,22$). Три входных конца этих световодов с одной стороны объединяются в один оптический жгут и крепятся в соответствующем опторазъеме на выходе интерферометра. С использованием оптического конденсора, установленного на выходе интерферометра, промодулированное излучение поступает на вышеуказанный опторазъем

и соответственно на вход каждого оптического световода. Таким образом, предлагаемый макет фурье-спектрометра становится многоканальным прибором и установив приемник на выход любого световода мы зарегистрируем спектр попавшего на этот приемник излучения.

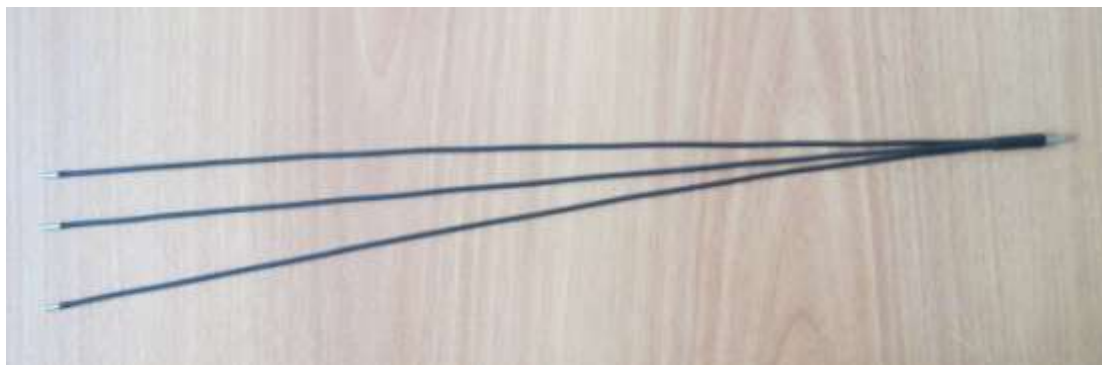


Рис. 2 Оптоволоконный кабель (жгут) для настройки и калибровки многозондового фурье-спектрометра видимого и ближнего ИК диапазона

Для проверки режима работы спектрометра одновременно с несколькими каналами на вход спектрометра подается излучение от газоразрядной неоновой лампы. Так как в эксперименте использовался единичный детектор, то для моделирования многоканального режима каждое оптическое волокно поочередно подключалось к фотоприемнику и регистрировался спектр излучения данного канала. Зарегистрированные спектры излучения показаны на рис.3, где спектру излучения первого канала соответствует кривая (а), второму каналу – (б).

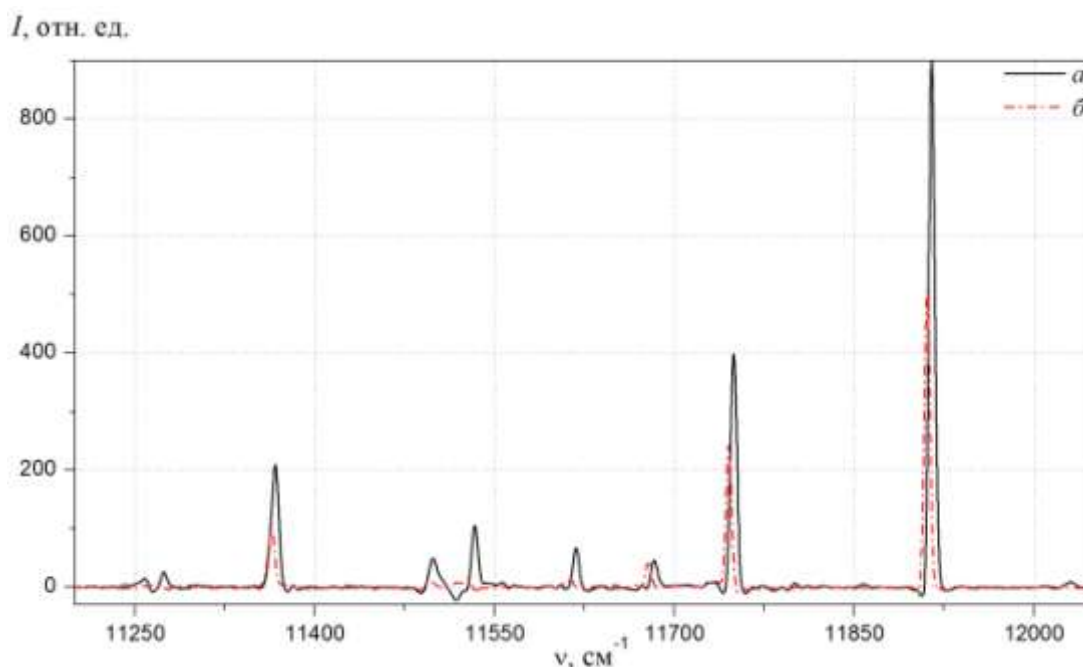


Рис. 3 Фрагмент спектра излучения газоразрядной неоновой лампы (оптоволоконно – 1 (а), оптоволоконно – 2 (б))

Спектры излучения газоразрядной лампы, полученные с использованием разных оптических волокон имеют схожую форму. Есть небольшое отличие по положению максимумов излучения по частотам и их интенсивности. Отличие в положении пиков по частотам объясняется наличием небольшого угла между оптическими осями световых пучков оптоволоконных зондов. Отличие в интенсивности максимумов связано с неодинаковой освещенностью оптоволокон и их оптическими характеристиками. Для большей наглядности на рис. 4 приведена увеличенная область спектра излучения (рис.3), содержащая спектр излучения отдельной линии газоразрядной неоновой лампы для двух разных оптических волокон. Относительный сдвиг между пиками по частотам $\Delta\nu = 5 \text{ см}^{-1}$, интенсивность отличается в 1,6 раза.

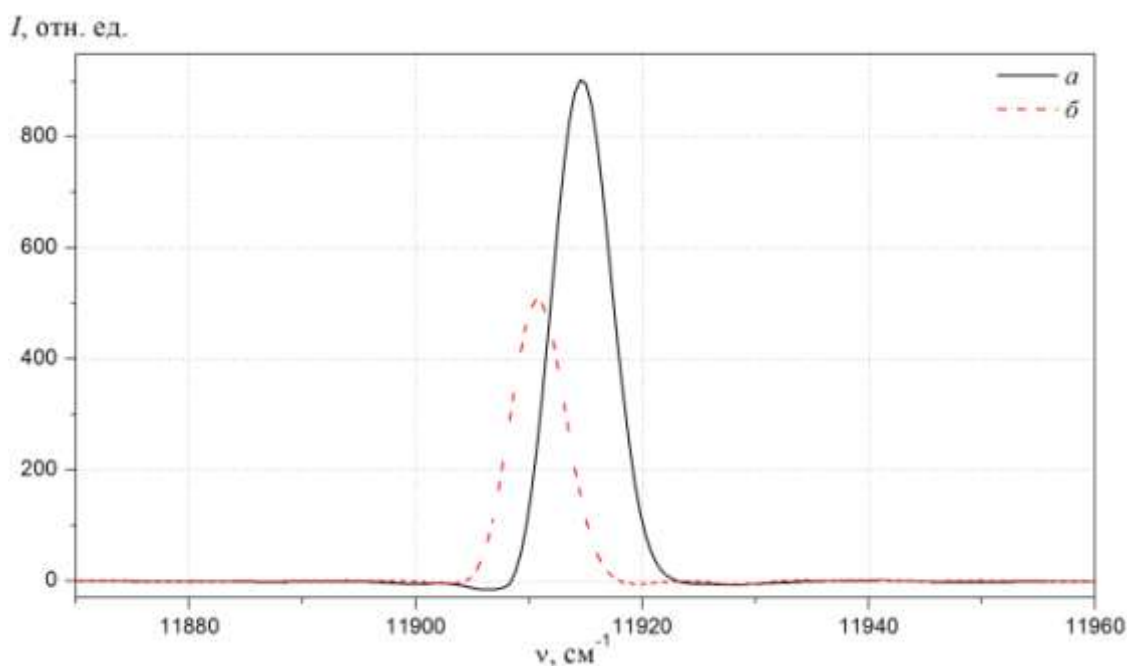


Рис. 4 Спектр излучения отдельной линии газоразрядной неоновой лампы (оптоволоконно – 1 (а), оптоволоконно – 2 (б))

При небольшом наклоне α оси светового луча к оптической оси интерферометра, оптическая разность хода δ , при перемещении подвижного зеркала на расстоянии d , будет изменяться по закону $\delta = 2d \cos \alpha$, что и объясняет вышеуказанные сдвиги по частоте в получаемых спектрах [6]. При многоканальной регистрации данная проблема может быть решена путем предварительной калибровки каждого канала по частоте и интенсивности.

Проведенные исследования и существование в настоящее время большого количества выпускаемых оптико-механических и электронных компонент позволяет говорить о возможности разработки портативного ИК фурье-спектрометра, который может работать в многоканальном режиме. На основе данного спектрометра может быть построена многофункциональная и высоко оптимизированная система, решающая задачи спектральной аналитики технологических процессов.

Настоящая работа выполнена в рамках госбюджетной работы 40.4 (Программы ФНИ государственных академий наук) «Исследование возможностей создания специализированного ИК Фурье-спектрометра с системой оптоволоконных зондов для on-line молекулярной спектроскопии».

Список литературы

1. Балашов А.А., Вагин В.А., Висковатых А.В., Жижин Г.Н., Пустовойт В.И., Хорохорин А.И. Аналитический Фурье-спектрометр АФ-1 широкого применения // ПТЭ. – 2003. – № 2. – С.87-89.
2. Балашов А.А., Вагин В.А., Мошкин Б.Е., Хитров О.В., Хорохорин А.И. Оптоволоконный Фурье-спектрометр // ПТЭ. – 2009. – № 6. – С. 143.
3. Балашов А.А., Вагин В.А., Хорохорин А.И. Инфракрасный Фурье-спектрометр ФСВ// ПТЭ. – 2016. – № 1. – С. 158.
4. Морозов А. Н., Балашов А. А., Вагин В. А., Хорохорин А. И., Голяк И. С. Система регистрации и суммирования слабых сигналов в фурье-спектрометре // Радиооптика. 2016. №4.
5. Griffiths P.R., De Haseth J.A., Winefordner J.D. Fourier Transform Infrared Spectrometry. 2nd edition. Wiley, 2007. 560 p.
6. Морозов А.Н., Светличный С.И., Фуфурин И.Л. Коррекция волновых чисел в панорамном фурье-спектрорадиометре // Доклады академии наук. – 2015.– Т. 464.– № 2.– С. 156-159.

Operation Features of a Multi-Channel IR Fourier Spectrometer

A.N. Morozov^{1,2,*}, A.A. Balashov², V.A. Vagin²,
A.I. Khorokhorin², I.S. Golyak¹

* amor59@mail.ru

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

²Scientific and Technological Center of Unique Instrumentation
of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Keywords: IR fourier spectrometer, interferometer, multichannel spectrometer, multi-probe registration

Currently, one of the most promising trends of using Fourier transform spectrometer is a simultaneous multi-channel mode of object monitoring in its various points. Analysis of the current status shows that there are systems, which allow multi-channel recording in several points, but a record is carried out sequentially for each channel, rather than simultaneously from all channels.

A simultaneous recording system can be implemented in case the light after interferometer in the Fourier spectrometer is directed towards the opto-connector of the fiber optic bundle consisting of several separate probes. The interferometer in such scheme serves as a light modulator. Each fiber optic probe uses its radiation detector. Using such a system allows sequential or simultaneous recording of interferograms from each probe. The number of measurement points is determined by the used number of the fiber optic probes.

The described multi-channel recording system, which uses multiple optical fibers, is implemented in the layout of a dynamic Fourier spectrometer. This system was used to conduct experiments in recording the gas discharge lamp radiation in different optical channels. Recovered radiation spectra for different channels have a similar shape, but there is a difference in position of frequency peaks and their intensity, because of the misalignment of optical fibers and their different flare. To eliminate this effect there is a proposal to conduct a preliminary calibration of each individual fiber according to the reference source.

The studies show the effectiveness and capability of creating a multi-channel recording system based on a Fourier spectrometer and several optical fibers.

References

1. Balashov A.A., Vagin V.A., Viskovatykh A.V., Zhizhin G.N., Pustovoit V.I., Khorokhorin A.I. Analiticheskii Fur'e-spektrometr AF-1 shirokogo primeneniia. *PTE*. 2003. No. 2. P. 87-89.
2. Balashov A.A., Vagin V.A., Moshkin B.E., Khitrov O.V., Khorokhorin A.I. Optovolokonnyi Fur'e-spektrometr. *PTE*. 2009. No. 6. P. 143.
3. Balashov A.A., Vagin V.A., Khorokhorin A.I. Infrazrasnyi Fur'e-spektrometr FSV. *PTE*. 2016. No. 1. P. 158.
4. Morozov A. N., Balashov A. A., Vagin V. A., Khorokhorin A. I., Goliak I. S. Sistema registratsii i summirovaniia slabykh signalov v fur'e-spektrometre. *Radiooptika = Radiooptics*. 2016. No. 4.
5. Griffiths P.R., De Haseth J.A., Winefordner J.D. Fourier Transform Infrared Spectrometry. 2nd edition. *Wiley*, 2007. 560 p.
6. Morozov A.N., Svetlichnyi S.I., Fufurin I.L. Korrektsiia volnovykh chisel v panoramnom fur'e-spektroradiometre. *Doklady Akademii Nauk*. 2015. Vol. 464. No. 2. P. 156-159.