

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

УДК 681.785.5

**РАСЧЕТ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ
ИНТЕРФЕРОМЕТРА С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ
ПЛАСТИНКОЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ
ВОЗМОЖНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ФОРМЫ ЛИНИЙ
В ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ СПЕКТРАХ**

© Авторы, 2015

Башкин С. В. — ассистент каф. «Физика», Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва. E-mail: nrom1986@mail.ru

Голяк Иг. С. — ассистент каф. «Физика», Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана. E-mail: igorgolyak@yandex.ru

Лельков М. В. — ассистент каф. «Физика», Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана. E-mail: maximl2007@gmail.com

Морозов А. Н. — д.ф.-м.н., проф., зав. каф. «Физика» Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, E-Mail: amor59@mail.ru

Светличный С. И. — к.ф.-м.н., директор Филиала Института энергетических проблем химической физики им. В. Л. Тальрозе РАН, Черноголовка. E-Mail: svetl@binep.ac.ru

Табалин С. Е. — н.с., каф. «Физика» Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана. E-Mail: tabalin@mail.ru

Фуфурин И. Л. — к.ф.-м.н., зав. отд., ЗАО «Центр прикладной физики МГТУ им. Н. Э. Баумана». E-mail: igfil@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена принципиальная оптическая схема и технические параметры отдельных конструктивных элементов интерферометра с вращающейся пластинкой. Проведен расчет оптической схемы с помощью программного продукта «ZEMAX». При вычислениях параметров оптических элементов оптимизировались значения сферических аберраций, а также эффективность сбора энергии на фотоприемнике (fraction of encircled energy). Исследован характер искажений формы спектральных линий в восстанавливаемых спектрах, вызванных нелинейной зависимостью разности оптического хода лучей в интерферометре от угла поворота пластинки. Для пластинки из ZnSe приведены результаты математического моделирования вносимых в восстанавливаемый спектр искажений, исследованы возможности цифровой фильтрации спектров путем свертки интерферограмм с функцией аподизации. Настоящая статья ставит перед собой задачу предложить оптическую схему, принципиально реализуемую на практике, указать возможности предлагаемого прибора, а также описать возможные искажения спектральных данных.

Ключевые слова: фурье-спектрометр, интерферометр, оптическая схема, система сканирования, цифровая фильтрация, аподизация

Abstract

Optical scheme and technical parameters of individual structural elements of the interferometer with a rotating plate is considered. The calculation of the optical scheme carried out using software «ZEMAX». In calculating have been optimized the parameters of the optical elements, values of spherical aberration and the energy collection efficiency on photodetector (fraction of encircled energy). The distortion pattern shape of instrumental function in the spectra due to the nonlinear dependence of the optical path difference in the interferometer beam from the angle of rotation of the plate was investigated. For a plate of ZnSe results of mathematical modeling of distortion in restoring data are represented, the possibilities of digital filtering by convolution of the spectra of interferograms with apodization function are investigated. This article is aimed to provide an optical scheme, principally realized in practice, specify the capabilities of the proposed device, as well as describe the possible distortion of the spectral data.

Key words: Fourier spectrometer, interferometer, optical scheme, scanning system, digital filtering, apodization

Введение

В настоящее время фурье-спектрометры получили широкое распространение как средства спектрального анализа и идентификации веществ в воздушной среде и на поверхностях [1, 2]. Фурье-спектрометры динамического типа при всей своей идейной простоте обладают рядом сложных элементов конструкции, в частности, к ним можно отнести узел подвижного зеркала со строго прямолинейным движением последнего и точностью ориентации зеркал в пространстве в пределах нескольких секунд. Дополнительные сложности представляет задача создания системы управления линейным двигателем. Отдельным ответственным элементом является референтный лазерный канал (отдельный или совмещенный с основным интерферометром и однододовым He/Ne-лазером в качестве опорного источника), существенно влияющий на конструктивные и эксплуатационные характеристики фурье-спектрометров [1]. Подобные обязательные элементы характерны при реализации классических схем интерферометра Майкельсона. Необходимо отметить, что существует конструкция, наиболее широко применяемая в наземных мобильных комплексах фурье-спектрорадиометров и в аппаратуре космического базирования, где линейное перемещение зеркал заменено на колебательное с маятниковым подвесом [1, 3–5].

В последние годы в зарубежной литературе появились работы описывающие принципиальную конструкцию фурье-спектрорадиометра с использованием оптической схемы с вращающейся плоскопараллельной пластинкой (см. рис. 1). Представленные результаты [6, 7] заставляют обратить на данный спектрометр пристальное внимание из-за высокой частоты сканирования, достаточного спектрального разрешения, но главное преимущество — технически простая система сканирования.

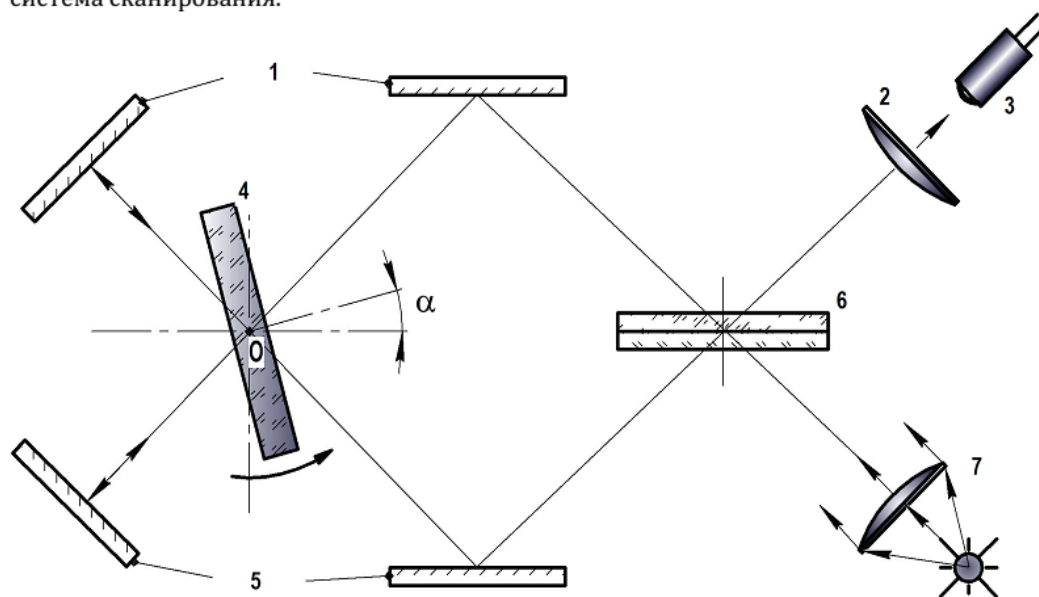


Рис. 1. Схема интерферометра с вращающейся пластинкой. 1, 5 — зеркала ($R100\%$); 2 — собирающий коллектив; 3 — фотоприемник; 4 — вращающаяся пластинка; 6 — светоделитель/компенсатор; 7 — источник излучения.

Выбор материала для расчета оптической схемы. В работе [8] получены зависимости разности оптического хода лучей в интерферометре в зависимости от углов поворота пластинки, рассчитанные для нескольких вариантов оптических материалов. На рис. 2 приведены указанные зависимости для длины волны $\lambda = 10$ мкм и для четырех наиболее распространенных материалов ИК оптики.

В диапазоне от $-20^\circ \dots +20^\circ$ с абсолютной ошибкой линейаризации менее 2 мкм, что лучше, чем $\lambda/4$ при относительной точности 0.056 %, представленные на рис. 2 зависимости можно представить в виде линейных графиков. В указанном диапазоне углов поворота пластинки с высокой точностью возможно оптическую разность хода лучей определять по углу поворота пла-

стинки, тем самым отказавшись от необходимости применения референтного лазерного канала, что упрощает и облегчает конструкцию фурье-спектрометра. Применение энкодеров с выходным сигналом в форме кода Грея позволит определять угол поворота пластинки, что даст возможность определить и разность оптического хода лучей в интерферометре без применения референтного лазерного канала.

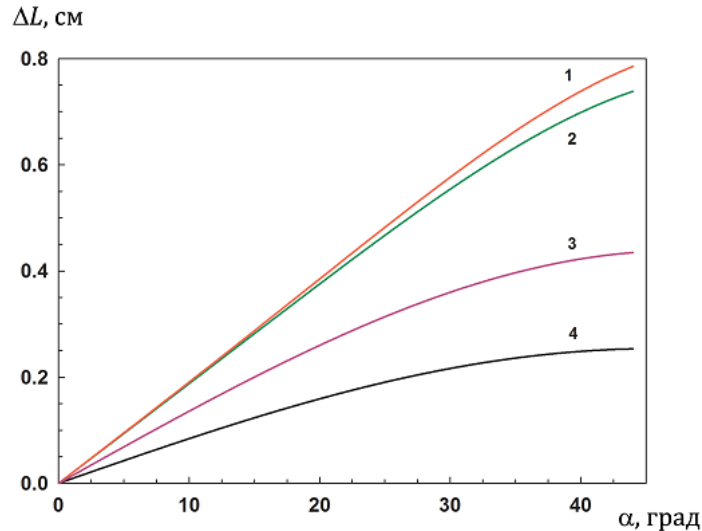


Рис. 2. Зависимость разности оптического хода лучей для $\lambda = 10$ мкм в интерферометре для различных оптических материалов в зависимости от угла поворота пластинки толщиной 10 мм: 1 — KCl, 2 — KBr, 3 — ZnSe, 4 — Ge.

Из рис. 2 видно, что наибольшая разность хода из представленных материалов достижима для KCl, KBr. В этом случае для указанного рабочего диапазона углов достижимо спектральное разрешение, не хуже чем $\Delta\nu = 1 / \Delta L = 3 \text{ см}^{-1}$, что является рабочим значением для фурье-спектрометрических систем дистанционного мониторинга. Однако необходимо отметить, что, несмотря на высокое спектральное разрешение, получаемое на пластинке, изготовленной на основе KBr, применение этого материала, из-за высокой гигроскопичности [9], предполагает наличие герметичного бокса для интерферометра с осушителем воздуха. Этот факт может быть лимитирующим во внелабораторных условиях работы, поэтому в настоящей работе предлагается рассмотреть следующие негигроскопичные материалы — Ge и ZnSe.

Для диапазона углов $-20^\circ \dots +20^\circ$ использование германиевой оптики позволит получить максимальную разность хода $\Delta L = 0.17$ см, что эквивалентно спектральному разрешению около 6 см^{-1} . Интерферометр с таким спектральным разрешением, может быть применен для разработки систем дистанционного мониторинга, оснащенных неохлаждаемыми фотоприемниками, для которых рабочим спектральным разрешением является величина порядка 8 см^{-1} .

Далее приведем основные расчетные характеристики интерферометра с вращающейся пластинкой, подробно рассмотренные в [8]:

1. Время скана одной двусторонней интерферограммы составит величину около $\tau = 0.017$ с.
2. Частотный диапазон ФПУ — $f_{\min} = 24$ КГц, $f_{\max} = 39$ КГц. Приведенные цифры указывают, что применение пироэлектрических и микроболометрических ФПУ нецелесообразно из-за ограниченности частотного диапазона последних и практически единственным кандидатом остается ФПУ на основе соединения Cd-Hg-Te, верхняя граница частотного диапазона которых для фотоспротивлений превышает 100 кГц.
3. Теоретически минимально необходимое число точек двусторонней интерферограммы $N = 2(2\Delta\nu) / \delta\nu = 450$. Процедура быстрого преобразования Фурье накладывает на число точек в рабочем массиве ограничение, при котором их число в интерферограмме должно

составлять величину $N = 2^m = 512$, где m — целое. Аналого-цифровой преобразователь должен обладать частотой дискретизации сигнала не менее $3f_{\max} = 120$ кГц.

- Угол расходимости пучка лучей света в интерферометре $\Omega = (2\pi\delta\nu)/\nu_{\max} = 0.015$ страд, что соответствует плоскому углу раствора конуса лучей около 6° .

Предлагаемая принципиальная схема интерферометра несомненно перспективна для создания спектрорадиометрических комплексов среднего спектрального разрешения. Переход от линейных перемещений подвижного зеркала, характерных для интерферометра Майкельсона, на вращение пластинки позволяет упростить конструкцию оптико-механического блока интерферометра и его систему управления, снизить массогабаритные характеристики и повысить быстродействие.

Расчет оптической схемы интерферометра. Исходные данные для расчета оптической схемы:

- Размер фотоприемного устройства составляет величину $\sim 1 \times 1$ мм. Данным размерам удовлетворяют, например, КРТ (Cd-Hg-Te) фоторезисторы, применяемые в ИК фурье-спектрокопии.
- Угол расходимости лучей в интерферометре не более 6° .
- Рабочий спектральный диапазон 7–14 мкм.
- Материал ИК оптики — Ge, который при должном просветлении удовлетворяет требованиям пропускания в диапазоне 7–14 мкм.

Для заданных рабочих параметров оптической системы с применением программного комплекса «ZEMAX», рассчитаны параметры двухлинзового собирающего коллектива из германия. Применение двухлинзового объектива обусловлено требованием минимизации потерь входящего излучения на отражение. При оптимизации объектива контролировались сферические aberrации, в результате чего получен наибольший рабочий диапазон расходимости лучей в интерферометре, составляющий значение 4.5° для указанных размеров фотоприемника.

Дальнейшая оптимизация объектива осуществлялась путем улучшения параметра эффективность сбора энергии на фотоприемнике σ (fraction of encircled energy) в зависимости от размера пятна r освещенности (см. рис. 3).

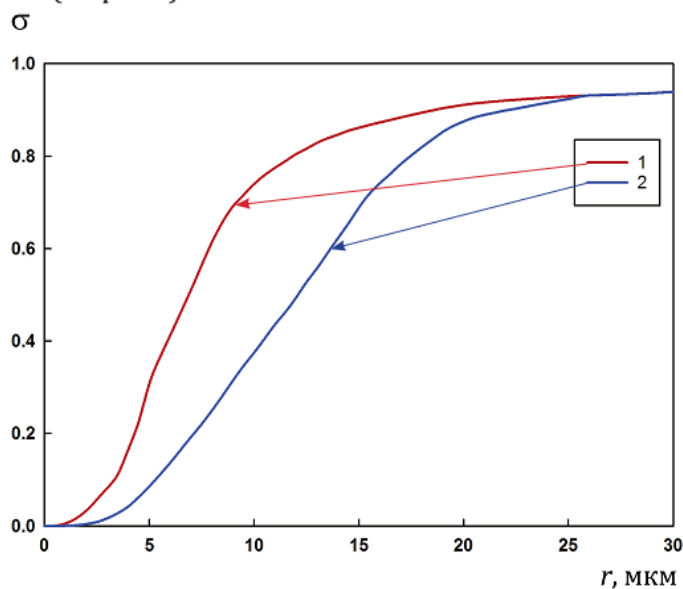


Рис. 3. Эффективность сбора энергии на фотоприемнике для осевого луча — кривая (1) и для крайнего луча 2.5° — кривая (2).

Вариант оптимизированной конструкции интерферометра с вращающейся пластинкой. Далее приведем схемы общего вида собирающего коллектива фотоприемника и интерферометра. На рис. 4 приведены параметры оптимизированного собирающего коллектива ФПУ.

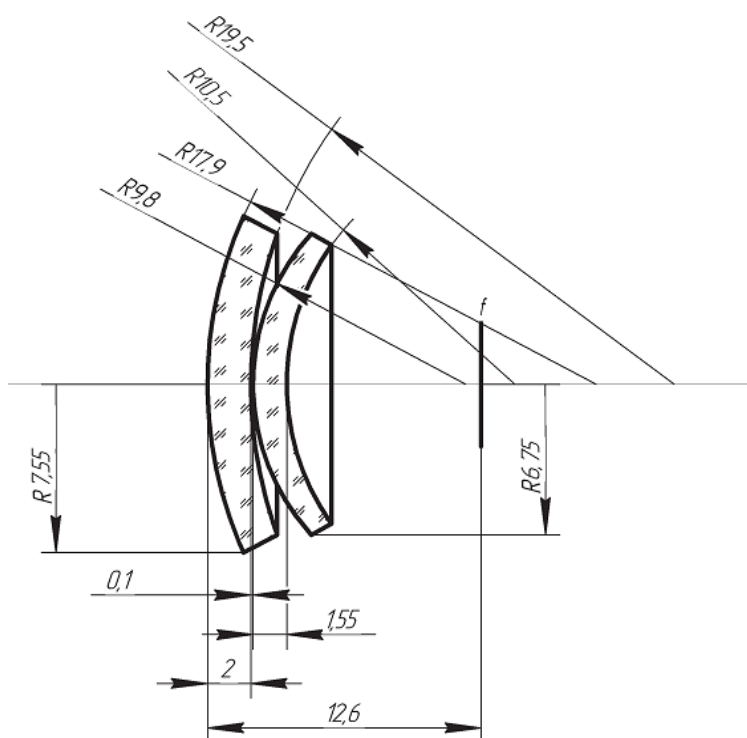


Рис. 4. Собирающий коллектив фотоприемника

На рис. 5 приведена рассчитанная оптическая схема интерферометра.

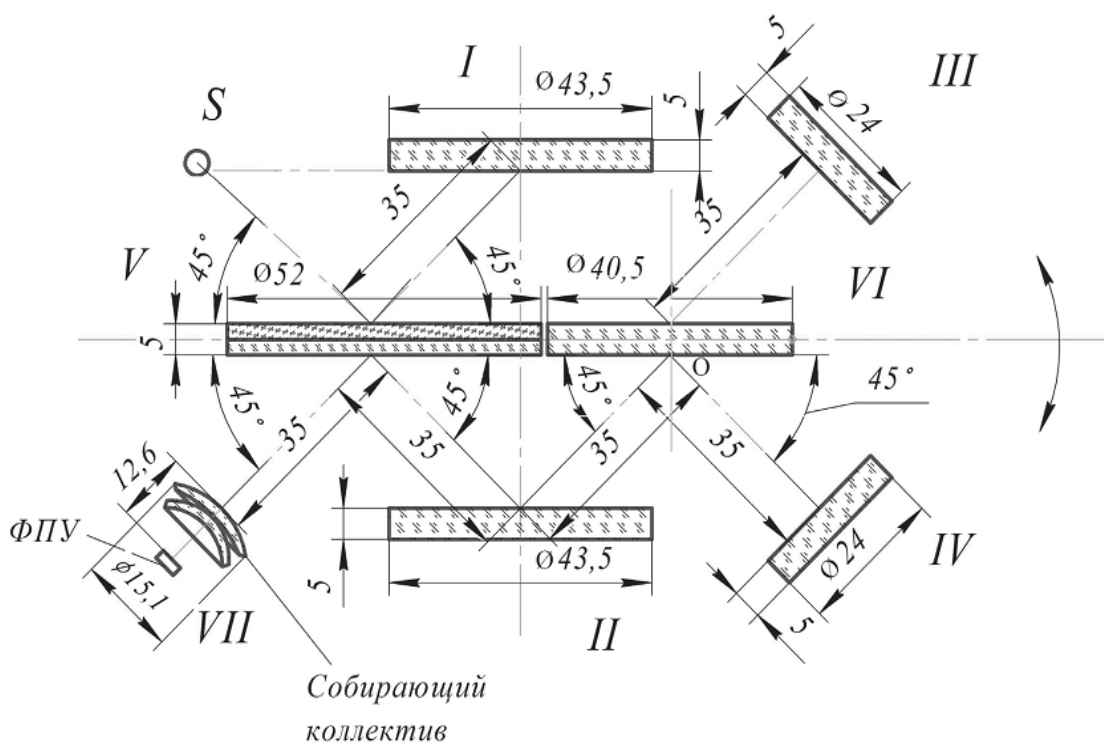


Рис. 5. Оптическая схема интерферометра с вращающейся пластинкой. S — источник излучения. Зеркала I, II и III, IV располагаются симметрично относительно пластин V и VI (поворотная пластинка). Оптический путь луча V-II-VI-III-VI-II-V-VII.

Численный расчет параметров интерферометра проводился совместно с собирающим коллективом с применением программного комплекса «ZEMAX». Материал оптических элементов (собирающий коллектив и светоделитель/компенсатор) — Ge. Применение ZnSe в качестве материала вращающейся пластинки позволяет добиться большей оптической разности хода лучей при тех же углах поворота пластинки по сравнению с Ge, а значит улучшить спектральное разрешение.

Анализ возможных искажений в восстанавливаемых спектрах. Отказ от референтного лазерного канала упрощает конструкцию фурье-спектрометра, однако нелинейность в зависимости оптической разности хода от угла поворота пластинки может вносить искажения в восстанавливаемые спектры. На рис. 6 показана абсолютная ошибка δ разности оптического хода лучей в интерферометре в зависимости от угла поворота. Для дальнейших расчетов в качестве материала поворотной пластинки будем рассматривать ZnSe.

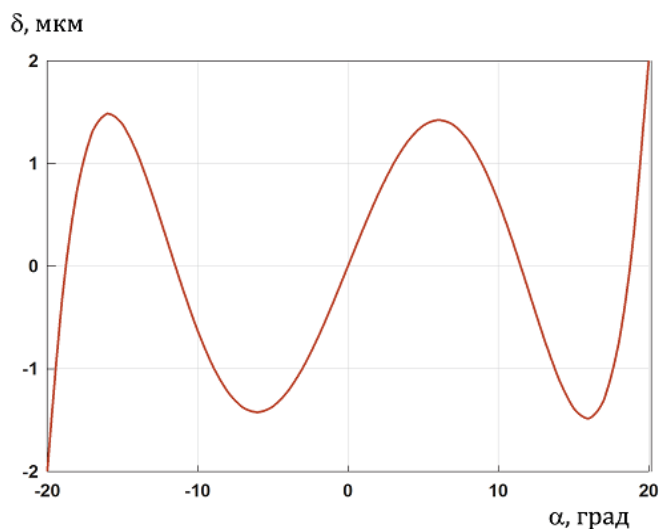


Рис. 6. Отклонение оптической разности хода лучей от линейной зависимости угла поворота для пластинки из ZnSe и для длины волны $\lambda=10$ мкм.

Как видно из рис. 6 при превышении диапазона изменения углов поворота пластинки $\pm 5^\circ$ зависимость оптической разности хода ΔL от угла поворота пластинки α приобретает существенно нелинейный характер. Ограничение рабочего диапазона поворота углов пластинки диапазоном $\pm 5^\circ$ позволяет добиться спектрального разрешения не лучше чем 12 см^{-1} , при разности хода 0.08 см , что является недостаточным значением для химического анализа низкомолекулярных соединений, таких как аммиак, поэтому применение фурье-спектрометра с подобным разрешением будет значительно ограничено на практике.

Проведем анализ влияния нелинейности в зависимости разности хода от угла поворота на форму линий восстанавливаемых спектров на примере модельных спектров, для чего рассмотрим идеальную интерферограмму монохроматического источника излучения с длиной волны 10 мкм ($\nu_0 = 1000 \text{ см}^{-1}$)

$$I(x) = \cos(2\pi\nu_0 x). \quad (1)$$

Фурье-образом такой интерферограммы является дельта-функция на $\nu_0 = 1000 \text{ см}^{-1}$, но поскольку реальная интерферограмма является ограниченной по длине оптического хода, то ее фурье-образ с учетом прямоугольной аподизации будет представлять собой функцию $B(\nu) = \Delta L \text{sinc}(z)$, где $z = 2\pi(\nu_0 - \nu)\Delta L$, являющуюся аналитическим решением уравнения вида

$$B(\nu) = \int_{-\infty}^{\infty} D(x)I(x)\cos(2\pi\nu x)dx, \quad D(x) = \text{rect}(x) = \begin{cases} 1, & x \in [0, \Delta L], \\ 0, & x \notin [0, \Delta L]. \end{cases} \quad (2)$$

В [8] показано, что зависимость оптической разности хода лучей x в интерферометре от угла поворота может быть представлена в виде

$$x = \frac{d \sin \alpha}{\sin \delta} \left[\frac{\sin(\delta + \alpha)}{\sqrt{n^2 - \sin^2(\delta + \alpha)}} + \frac{\sin(\delta - \alpha)}{\sqrt{n^2 - \sin^2(\delta - \alpha)}} \right] + n^2 d \left[\frac{1}{\sqrt{n^2 - \sin^2(\delta - \alpha)}} - \frac{1}{\sqrt{n^2 - \sin^2(\delta + \alpha)}} \right], \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{x + B}{A} \frac{\pi}{180},$$

где d — толщина поворотной пластинки, n — показатель преломления материала пластики, $\delta = 45^\circ$, A и B — коэффициенты линейной аппроксимации зависимости угла поворота α от разности оптического хода лучей x .

Для анализа возможных искажений формы линии восстанавливаемых спектров, вызванных зависимостью разности оптического хода вида (3) сделаем преобразование Фурье от аподизированной интерферограммы (1)

$$B(\nu) = \int_{-\infty}^{\infty} D(x) I(x) \cos(2\pi\nu f(x)) dx, \quad (4)$$

где $D(x)$ — прямоугольная функция в диапазоне $[0, \Delta L]$.

Как видно из рис. 7а для малых углов с учетом прямоугольной аподизации отклонение оптической разности хода от линейной зависимости от угла поворота пластинки не вносит существенных искажений в восстанавливаемый спектр, что обусловлено линейным характером отклонения. Так для предельных углов отклонения пластинки $\alpha = \pm 5^\circ$ квадратичный коэффициент корреляции расчетных аппаратных функций с учетом фазовых ошибок и идеальной составляет $R^2 = 0.911$; для $\alpha = \pm 10^\circ$ — $R^2 = 0.921$; для $\alpha = \pm 15^\circ$ — $R^2 = 0.872$ и для $\alpha = \pm 20^\circ$ — $R^2 = 0.667$. Таким образом, для пластинки из ZnSe толщиной 10 мм можно ожидать предельное спектральное разрешение около 6 см^{-1} для диапазона углов $\pm 15^\circ$ при удовлетворительном качестве аппаратной функции ($R^2 \geq 0.9$).

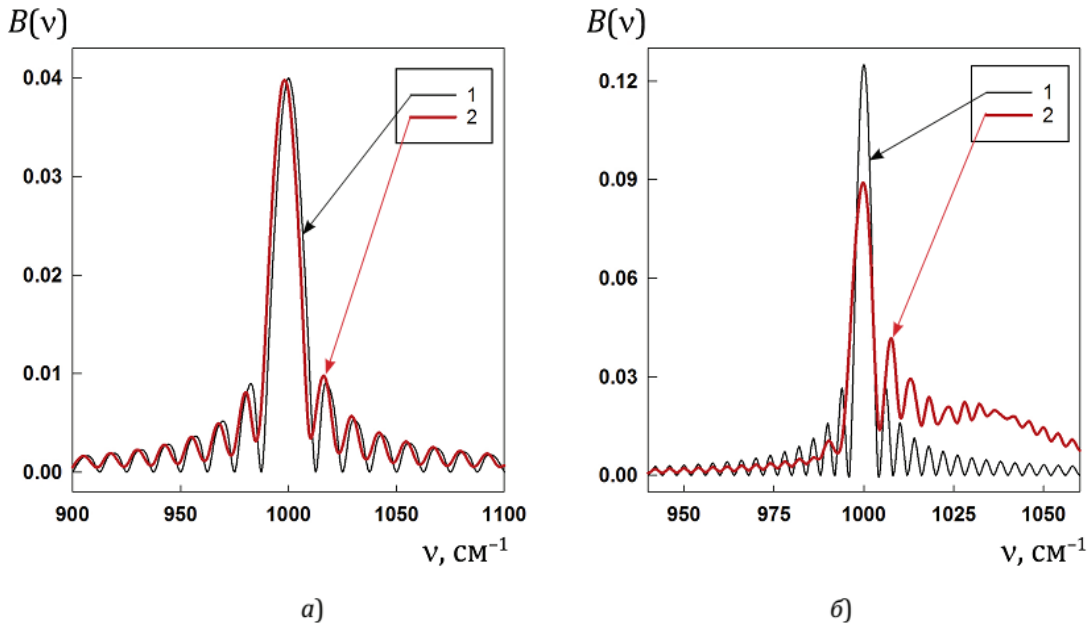


Рис. 7. Искажения, вносимые в восстанавливаемый спектр.

Кривая 1 соответствует аппаратной функции идеальной интерферограммы, 2 — интерферограмме с фазовыми ошибками для углов поворота пластинок $\pm 5^\circ$ (спектральное разрешение 12.5 см^{-1}) (а) и $\pm 20^\circ$ (спектральное разрешение 4.0 см^{-1}) (б).

Однако расчетное спектральное разрешение не всегда является достаточным для спектрального анализа низкомолекулярных соединений (например, NH_3), поэтому необходимо увеличивать диапазон углов поворота пластинки, что позволит повысить спектральное разрешение. Из рис. 7б видно, что для больших значений угла поворота нелинейность в точности определения оптической разности хода (см. рис. 5) приводит к заметным искажениям формы спектральной линии, что может явиться принципиальной трудностью при проведении спектрального анализа низкомолекулярных веществ, обладающих узкими спектральными линиями.

Для устранения искажений формы спектральных линий может применяться метод цифровой фильтрации, в котором при восстановлении спектра производится свертка интерферограммы и функции аподизации [1, 10]. Применение функций аподизации при восстановлении спектров позволяет подавлять побочные максимумы, тем самым уменьшая вносимые в спектр искажения. Для численных оценок эффективности подобной фильтрации использовались функции аподизации в форме Хаппа-Гензеля и Блекмана-Харриса. Результаты расчетов спектров для угла поворота пластинки интерферометра $\pm 20^\circ$ приведены на рис. 8.

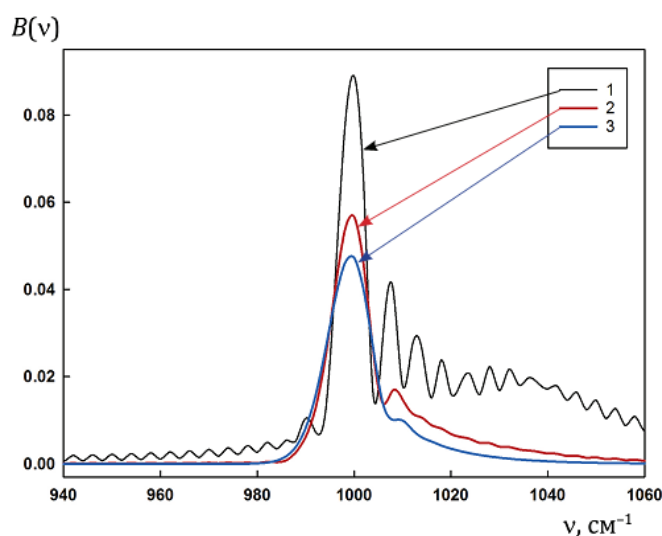


Рис. 8. Спектр монохроматического источника ($\nu_0=1000 \text{ см}^{-1}$), интерферограмма которого содержит фазовые ошибки и соответствует углу поворота пластинки 20° .
Кривая 1 — прямоугольная аподизация, 2 — аподизация Хаппа-Гензеля,
3 — аподизация Блекмана-Харриса

Применение аподизации при восстановлении спектров приводит к уширению спектральных линий, а значит к ухудшению спектрального разрешения, что является своеобразной «платой», за улучшение формы восстанавливаемых спектров. Анализ ширины линии на ее полувысоте для всех трех линий, приведенных на рис. 8 показывает, что использование аподизации приводит к заметному уширению аппаратной функции приблизительно в 1.5 раза. Таким образом, применение цифровой фильтрации в форме свертки интерферограмм с функцией аподизации позволят существенно уменьшить выявленные искажение аппаратной функции, а, следовательно, и узких спектральных линий. Для рабочего диапазона углов $\alpha = \pm 20^\circ$ и функции аподизации Блекмана-Харриса достижимо спектральное разрешение 6 см^{-1} при удовлетворительном качестве аппаратной функции, для Хаппа-Гензеля расчет дает величину 5 см^{-1} при несколько худшем качестве аппаратной функции.

Заключение

Для заданных характеристик интерферометра предложен оптимизированный вариант собирающего объектива фотоприемника и рассчитаны размеры основных ответственных элементов интерферометра. В качестве материала ИК оптики рассмотрен Ge, что делает возмож-

ным применение предложенной схемы для задач внелабораторного анализа, для вращающейся пластинки — ZnSe.

Реализация на практике предложенной схемы интерферометра с вращающейся пластинкой позволит избавиться от необходимости применения референтного лазерного канала, что должно увеличить стабильность работы интерферометра, уменьшить габариты и повысить надежность. Отклонение от линейности в зависимости разности оптического хода лучей в интерферометре от угла поворота пластинки вносят значительные искажения в форму спектральных линий для углов поворота превышающих $\pm 15^\circ$ от положения точки нулевой разности оптического хода. Предложена фильтрация спектров в форме свертки регистрируемых интерферограмм с функцией аподизации вида Хаппа-Гензеля и Блекмана-Харриса. Показано, что применение подобной фильтрации позволяет устранять выявленные искажения, однако при этом приблизительно в 1.5 раза ухудшается спектральное разрешение.

Практическая реализация рассмотренной схемы интерферометра, а также реализация цифровой фильтрации восстанавливаемых спектров позволит получать спектра с разрешением не хуже 6 см^{-1} , что позволит проводить спектральный анализ широкого круга веществ в инфракрасной области. Качественный вид аппаратной функции предлагаемого интерферометра получен путём математического моделирования.

Список литературы

1. Морозов А. Н., Светличный С. И. Основы фурье-спектрометрики / 2-е изд., испр. и доп. М.: Наука, 2014.
2. Бойко А. Ю., Голяк Иг. С., Голяк Ил. С., Дворук С. К., Доровских А. М., Есаков А. А., Корниенко В. Н., Косенко Д. В., Кочиков И. В., Морозов А. Н., Светличный С. И., Табалин С. Е. Статический Фурье-спектрометр видимого диапазона // Известия РАН, Энергетика. 2010. № 2. С. 12–21.
3. Горбунов Г. Г., Мошкин Б. Е. Фурье-спектрометры для исследования планетных атмосфер // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2004. № 13. С. 157–165.
4. Горбунов Г. Г., Егорова Л. В., Еськов Д. Н., Таганов О. К., Серегин А. Г. Новые применения фурье-спектрометров // Оптический журнал. 2001. Т. 68. № 8. С. 81–87.
5. Архипов В. В. Системы сканирования быстросканирующих фурье-спектрометров // Оптический журнал. 2010. Т. 77. № 7. С. 38–46.
6. Wadsworth, W., Dybwad, J. P. A Very Fast Imaging FT Spectrometer for on Line Process Monitoring and Control // (ISAM, VVDC, IEMB). International Society for Optics and Photonics, 1999. Vol. 3537. P. 54–61.
7. Wadsworth, W., Dybwad, J. P. Rugged High-Speed Rotary Imaging Fourier Transform Spectrometer for Industrial Use // Proc. Of SPIE. 2002. Vol. 4577. P. 83–88.
8. Морозов А. Н., Светличный С. И., Табалин С. Е., Фуфурин И. Л. Физические основы расчета интерферометра с вращающейся пластинкой // Оптический журнал. 2013. Т. 80. № 8. С. 37–41.
9. Справочник технолога — оптика / Под ред. С. М. Кузнецова, М. А. Окатова. Л.: Машиностроение, 1983.
10. Filler, A. S. Apodization and Interpolation in Fourier Transform Spectroscopy // J. Opt. Soc. Am. 1964. Vol. 54. P. 762–767.

Поступила 18 мая 2015 г.

CALCULATION OF THE OPTICAL SCHEME OF THE ROTATING PLATE INTERFEROMETER AND RESEARCH OF POSSIBLE DISTORTIONS OF THE FORM OF LINES IN THE RESTORED SPECTRA

S. V. BASHKIN, IG.S. GOLYAK, M. V. LELKOV, A. N. MOROZOV,
S. I. SVETLICHNYI, S. E. TABALIN, AND I. L. FUFURIN

The schematic optical diagram and technical parameters of separate constructive elements of the interferometer with the rotating plate is considered. Calculations of the scheme is carried out by means of the "ZEMAX" software. During calculations of optical elements parameters values of spherical aberrations and also efficiency of collecting energy on a photodetector (fraction of encircled energy) were optimized. Distortions of a spectral lines form in the restored data caused by nonlinearity in dependence of the optical course difference of beams in the interferometer from a plate rotation angle is investigated. For the ZnSe rotating plate results of mathematical modeling of distortions in the restored spectral data are given. Possibilities of restored data digital filtration by convolution of interferograms with function of an apodization are investigated. The present article is devoted to the principles of processing and a design of the interferometer, suggested optical scheme which could be essentially realized in practice, specified basic opportunities of the offered device and also describe possible distortions of the obtained spectral data.

Уважаемые читатели!

Подписка на журнал оформляется через подписное агентство «Книга-Сервис» и объединенный каталог «Пресса России» (подписной индекс 29196)

Журнал включен:

- В *Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)*.
- В базу данных *Russian Science Citation Index (RSCI)* на платформе *Web of Science*.
- В *Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук*.