

К МЕТОДИКЕ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
МОНОХРОМАТОРА СУБМИЛЛИМЕТРОВЫХ ДЛИН ВОЛН

А. Н. Георгобване, Ф. Ф. Эгоши, А. П. Князьков, В. В. Моцаев,
М. А. Тудайкова, А. А. Шеронов

Применение дифракционных монохроматоров в субмиллиметровой спектроскопии требует знания их разрешения, чистоты спектра и калибровки длин волн. Использование для измерения этих характеристик субмиллиметровых лазеров, когерентных источников СВЧ-излучения или теоретически рассчитанных линий поглощения различных веществ встречает известные трудности [1,2]. Один из достоверных способов измерения характеристик монохроматора заключается в использовании спектрального прибора с более высоким разрешением. Таким прибором может служить интерферометр Майкельсона.

Объектом исследования служил монохроматор, построенный нами по схеме Черни-Тернера. Диапазон длин волн $0,3 + 2$ мм перекрывался набором шнекетов с периодом 0,85 мм, 1,5 мм, 2,5 мм, 3,5 мм, углом штриха 15° и размером 120×120 мм². Коллимирующие зеркала имели радиус кривизны 800 мм. В схеме используются два фильтрующих шнекета. Источником излучения служила ртутная лампа ПРК-4. Приемник из $n\text{-InSb}$ с германевой линзой [3] находится в транспортном дьбаре с жидким гелием.

Для измерения характеристик монохроматора излучение с его выхода пропускалось через интерферометр Майкельсона. Если на вход интерферометра поступает монохроматическое излучение с частотой ν_0 ($\nu_0 = 1/\lambda_0$) интерферограмма (урье-спектрометра имеет вид косинусоиды, число периодов которой будет определяться максимальной разностью хода L_M

$$\Phi = (L/C) = A_0 F(L/C) \cos 2\pi \nu_0 L, \quad (I)$$

где A_0 - амплитуда интерферограммы при нулевой разности хода, определяемая эффективностью делителя, $F(L/C)$ - огибающая (контур аппаратной функции Фурье-спектрометра), зависящая от углового радиуса его выходной диафрагмы, c - скорость света.

В нашем случае при исследовании аппаратной функции монохроматора используется излучение в довольно узком спектральном интервале, $\Delta\nu \ll \nu_0$, а расходимость пучка составляет $\sim 6^\circ$. При этом можно считать A_0 постоянной величиной, а контур аппаратной функции интерферометра близким к прямоугольному. Аппаратная функция монохроматора для случая, когда дифракционные и абберрационные искажения малы, аппроксимируется гауссовой кривой /4/

$$g(\nu - \nu_0) = (2\sqrt{\ln 2}/\delta\sqrt{\pi}) \exp \left[-4\ln 2(\nu - \nu_0)^2/\delta^2 \right], \quad (2)$$

где ν_0 - частота, соответствующая максимуму аппаратной функции, а δ - ширина аппаратной функции на уровне половины интенсивности.

Функция корреляции входного сигнала с такой спектральной плотностью также является функцией Гаусса

$$\Phi(L/C) = \cos 2\pi\nu_0 L \exp(-4\ln 2 L^2/\Delta^2). \quad (3)$$

Соотношение, связывающее ширины δ и Δ , определенные на уровне 0,5 от максимальных значений $g(0)$ и $\Phi(0)$, имеет вид

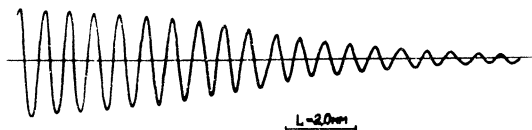
$$\delta\Delta = 4\ln 2/\lambda. \quad (4)$$

Таким образом, огибающая интерферограммы позволяет получить ширину аппаратной функции монохроматора.

В проведенных измерениях делителем пучка в интерферометре служила мелованная бумага толщиной от 50 до 300 мкм. Предварительно с набором таких делителей были получены спектры излучения ртутной лампы, являющейся источником излучения монохроматора. Таким способом для каждого спектрального участка были подобраны оптимальные делители.

На рис. 1 показан пример интерферограммы излучения монохроматора на длине волны $\lambda = 740$ мкм. Ширина входной и выходной щелей при этом составляла $a = 8$ мм. Линейная зависимость логарифма амплитуды косинусоида от квадрата разности хода показывает справедливость аппроксимации аппаратной функции монохроматора гауссовой кривой.

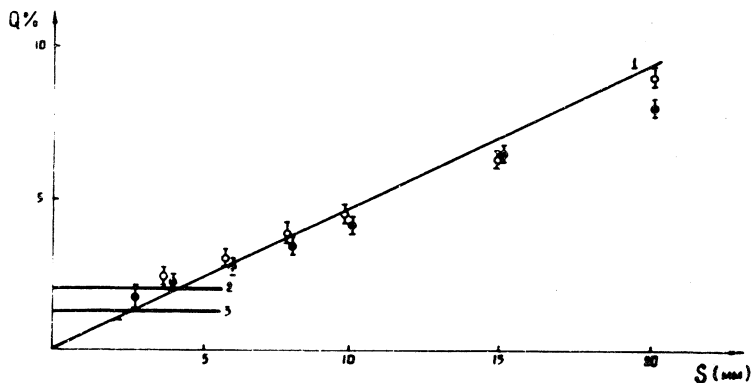
Результаты измерения ширины аппаратной функции монохроматора, соответствующей "блеску" эшелеттов с периодом 1,5 и 2,5 мм ($\lambda = 740$ и 1200 мкм), показаны на рис. 2 в виде зависимости относительного разрешения монохроматора $Q = \delta\lambda/\lambda_0$ от ширины щелей



Р и с. 1. Интерферограмма излучения монохроматора вблизи "блеска" рабочего эшелетта с периодом 1,5 мм.

лей *в*. Для сравнения на том же графике приведены известные /1,2/ теоретические зависимости для случая, когда разрешение определяется шириной щели (кривая 1), и для предельного разрешения, определяемого числом штрихов решетки (кривые 2,3).

Наилучшее измеренное разрешение монохроматора - меньшее 2%, было достигнуто на эшелетте с периодом 1,5 мм при ширине входной



Р и с. 2. Кривая 1 - зависимость разрешения $Q = \delta\lambda/\lambda_0$ от ширины щели *в* при длине волны "блеска" эшелеттов с периодом 2,5 и 1,5 мм. Кривые 2,3 - предельное разрешение, определяемое числом штрихов этих эшелеттов. Экспериментальные точки \odot относятся к эшелетту с периодом 1,5 мм, точки $\overset{\circ}{|}$ - к эшелетту с периодом 2,5 мм.

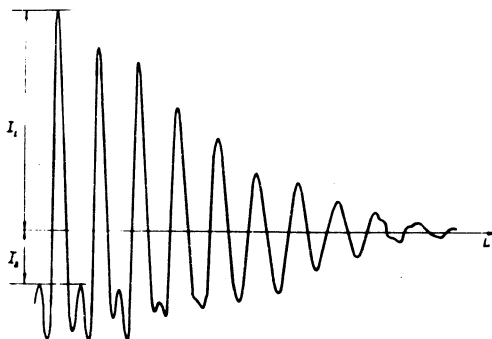
и выходной щелей, равной 2,7 мм. Для эшелетта с периодом 2,5 мм уже при ширине щелей 4 мм разрешение мало отличается от предельного, определяемого числом его штрихов. Из интерферограмм излучения монохроматора с хорошей точностью определяется длина волн излучения во всем рабочем диапазоне. Такой метод проще калибровки по известным линиям поглощения различных веществ из-за трудностей их идентификации, а также в связи с возможностью появления в спектре монохроматора ложных линий.

Интерферометр Майкельсона позволяет проверить чистоту спектра монохроматора. Основным фактором, влияющим на чистоту спектра, является присутствие в нем излучения из второго и более высоких порядков дифракции. Интерферограмма излучения монохроматора позволяет сделать оценку его вклада. Выбором делителя пучка можно увеличить эффективную долю излучения второго порядка по сравнению с рабочим. Этот выбор производится на основе измерений спектра излучения ртутной лампы, который представляет собой свертку спектральной яркости источника, эффективности делителя и спектральной чувствительности детектора. Такие измерения дают отношение эффективных интенсивностей излучения ртутной лампы ($k = I_1^{\text{эфф}} / I_2^{\text{эфф}}$), соответствующих длинам волн первого и второго порядка. Интерферограмма, записанная с таким делителем, представляет собой сумму двух соизмеримых по амплитуде затухающих косинусов: одна соответствует длине излучения из первого порядка, а другая — из второго. Так как длины волн отличаются вдвое, то амплитуды косинусов складываются, когда разность хода L интерферирующих лучей соответствует максимумам первой косинусоиды, и вычитаются, когда разность хода соответствует ее минимумам. Измеряя амплитуду интерферограммы при нулевой разности хода $I_1 = A_1 + A_2/k$ и амплитуду, соответствующую первому минимуму основной гармоники $I_2 = A_1 - A_2/k$, легко рассчитать долю излучения второго порядка, присутствующего в дифракционном спектре первого порядка

$$A_2/A_1 = k(I_1 - I_2)/(I_1 + I_2). \quad (5)$$

На рис. 3 приведена интерферограмма излучения монохроматора вблизи угла "блеска" рабочего эшелетта с периодом 1,5 мм. Она записана с делителем толщиной 200 мкм, для которого отношение $k = 1/3$. В качестве фильтрующих эшелеттов использовались два эшелетта с

периодом 0,5 мм. Из рис. 3 видно, что при разностях хода, соответствующих минимумам для $\lambda = 740$ мкм, появляются досевоочные максимумы, обусловленные излучением из второго порядка. Соответствующим



Р и с. 3. Интерферограмма излучения монохроматора вблизи "блеска" рабочего эшелетта с периодом 1,5 мм. Ширина щелей монохроматора $a = 20$ мм, толщина делителя интерферометра 200 мкм.

щая им огибающая интерферограммы затухает вдвое быстрее огибающей, соответствующей рабочему излучению. Это хорошо согласуется с тем, что относительное разрешение монохроматора в данном случае определяется шириной щели ($a = 20$ мм) и остается постоянным. Оценка доли излучения из второго порядка по формуле (5) дает $A_2/A_1 = 7\%$. Удовлетворительная чистота спектра (излучение из второго и более высоких порядков для исследуемого монохроматора не превышает фона и составляет несколько процентов от рабочего) достигается при использовании двух фильтрующих эшелеттов с периодом вдвое меньше рабочего.

Поступила в редакцию
5 июня 1972 г.

Л и т е р а т у р а

1. Техника спектроскопии в дальней инфракрасной, субмиллиметровой и миллиметровой областях спектра. Издательство "Мир", Москва, 1970 г.

2. Длинноволновая инфракрасная спектроскопия. Сборник статей, изд. "Мир", Москва, 1966 г.
3. А. Н. Выставкин, В. Н. Листвин, А. Д. Моренков, В. Д. Штыков. ПТЭ, 3, 185 (1970).
4. С. Г. Раутман. УФН, 66, 475 (1958).