

Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 4 — 1963

Ф. А. КОРОЛЕВ, В. И. ГРИДНЕВ

ОПТИЧЕСКИЕ И РАДИОЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОЛУЧЕВОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА С ДИФРАКЦИОННЫМИ ЗЕРКАЛАМИ НА ТОНКИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДЛОЖКАХ

Разработан новый тип интерферометра Фабри—Перо с металлическими пленочными дифракционными зеркалами, нанесенными на тонкие диэлектрические подложки. Измерена разрешающая сила (добротность) интерферометра при длинах волн 8 и 4 мм.

Показана зависимость разрешающей силы от отношения диаметра отражателей к длине волны, а также от коэффициента пропускания отражателей. Измерены также значения коэффициентов пропускания интерферометра в зависимости от коэффициента пропускания отражателя.

Введение

В последние годы увеличивается внимание к оптическим методам измерений в миллиметровой и субмиллиметровой областях спектра. Н. Г. Ярославский и А. Е. Станевич применили для этой цели дифракционный спектрограф в области длин волн от 40 до 2500 мк [1]. Кульшау [2] использовал для этой цели интерферометр Фабри—Перо с многослойными диэлектрическими зеркалами для длины волны 12,5 мм и с металлическими перфорированными зеркалами для длины волны 6,2 мм. Недостатком прибора Кульшау является то, что зеркала практически трудно осуществимы для длин волн короче 10 мм. Что касается металлических перфорированных зеркал, то они не могут быть изготовлены с чистой полированной поверхностью, что также ограничивает их применение для более коротких длин волн, нежели те, которые применял Кульшау. Кроме того, с обоими типами зеркал невозможно осуществлять точную оптическую юстировку. Разрешающая способность (добротность) дифракционных спектрографов в этой области ограничена; она может быть выражена отношением

$$\mathfrak{K} = \frac{D}{2\lambda}, \quad (1)$$

где $\mathfrak{K}$ — разрешающая сила дифракционной решетки, D — ее диаметр, λ — длина волны.

Нами был предложен для работы в миллиметровой области спектра новый тип многолучевого интерферометра, у которого в качестве отражателей были выбраны тонкие металлические пленки, нанесенные ис-

парением в вакууме на диэлектрические подложки. На этих пленках была нанесена в виде решетки серия параллельных прозрачных штрихов. Было проведено исследование разрешающей способности интерферометра такого рода в зависимости от параметров отражателя. Так как оптический термин разрешающая сила полностью эквивалентен радиофизическому термину добротность, то, таким образом, полученные результаты одновременно характеризуют и оптические, и радиочастотные характеристики прибора.

Некоторые теоретические соотношения в многолучевой интерференции

Как величина разрешающей силы $\mathfrak{R}$, так и величина добротности Q определяется одной и той же формулой

$$Q = \mathfrak{R} = \frac{\lambda}{\delta\lambda}, \quad (2)$$

где $\delta\lambda$ — ширина резонансной полосы резонатора, настроенного на длину волны λ . Для многолучевого интерферометра Q и $\mathfrak{R}$ определяются формулой [3]

$$Q = \mathfrak{R} = \frac{2h}{\lambda} \frac{\pi \sqrt{R}}{1-R}, \quad (3)$$

где h — расстояние между отражателями интерферометра, R — коэффициент отражения отражателей. Однако формула (3) не учитывает дифракционных явлений, имеющих место на выходе из интерферометра. Дифракционные явления могут иметь существенное значение, когда отношение D/λ невелико. Так, они заметно сказываются, когда D/λ

имеет величину, равную $\sqrt{\frac{\pi \sqrt{R}}{1-R}}$ или меньшую этого значения. Приме-

нявшиеся нами дифракционные отражатели в виде тонких металлических пленок на диэлектриках с нанесенными на них металлическими прозрачными решетками обладают коэффициентами отражения и пропускания, которые могут быть оценены по формулам

$$\vartheta = \frac{d}{b}, \quad R = 1 - \vartheta, \quad (4)$$

где d — ширина прозрачной щели решетки, b — расстояние между ними.

Описание интерферометра

На рис. 1 приведена схема установки с многолучевым интерферометром, применявшимся в данной работе. K — клистрон, R_1 — рупор клистрона, R_2 — рупор приемника, L_1 и L_2 — собирающие линзы, D_1 и D_2 — диэлектрические пластины, S_1 и S_2 — отражатели, M — станина интерферометра, P — приемник излучения.

В качестве отражателя были взяты слюдяные пластинки толщиной 50 мк, на которые наносились серебряные пленки путем испарения в вакууме. После нанесения пленки на ней с помощью резца прорезались прозрачные штрихи, которые составляли как бы дифракционную решетку. Параметры этих отражателей характеризуются формулами (4). Для монтажа отражателей использовались специальные оправы. Толщины металлических пленок составляли 200—300 Å и обеспечивали при отсутствии штрихов полное отражение электромагнитных волн в диапазоне от 4 до 32 мм. Это весьма важное свойство тонких метал-

лических пленок, обнаруженное в наших работах, не укладывается в современное представление о скин-эффекте. Но именно это обнаруженное нами свойство металлических пленок в миллиметровой области позволило создать новый тип высокодобротных отражателей, т. е. отражателей, позволяющих получить большие коэффициенты отражения при относительно больших коэффициентах пропускания. Толщины этих пленок в видимой области обладают заметным пропусканием, что позволяет производить оптическую юстировку интерферометра. Измерение добротности проводилось путем перемещения одного из отражателей с помощью весьма прецизионного механизма, позволявшего измерять эти перемещения с точностью до сотых долей микрона. При этом наблюдались резкие максимумы интерференции, когда расстояния между отражателями удовлетворяли формуле

$$2h = k\lambda, \quad (5)$$

где k — порядок интерференции, т. е. число полуволн, укладывающихся в расстоянии между зеркалами.

За меру ширины резонансного максимума, определяющей величину добротности, выбирались расстояния между двумя положениями подвижного

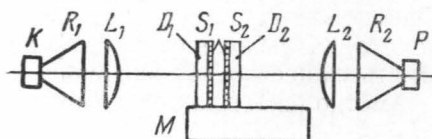


Рис. 1

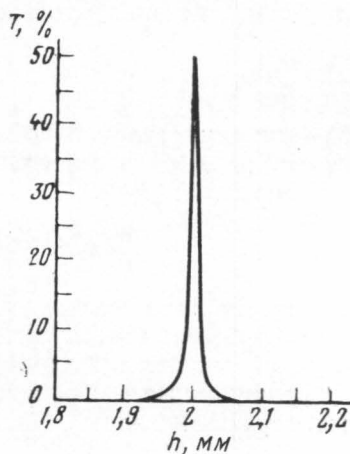


Рис. 2

отражателя, при которых значение интенсивности проходящего излучения равнялось половине максимального. Измерения добротности проводились для различных значений постоянной решетки и ширины щелей отражателей. Измерения проводились на двух длинах волн 4 и 8 мм. Ниже приводятся результаты эксперимента.

Результаты эксперимента

На рис. 2 приведена кривая распределения интенсивности в резонансном максимуме для длины волны 4 мм в первом порядке интерференции. По горизонтальной оси отложено расстояние между отражателями, а по вертикальной — значение коэффициента пропускания интерферометра. Соответствующая этому значению ширины максимума интерференции добротность $Q_1 = 200$ (Q_1 — добротность первого порядка). Для других порядков добротности определяется формулой

$$Q = Q_1 k. \quad (6)$$

В таблице приведены значения отношения d/b , Q_1 и T (T — коэффициент пропускания интерферометра) для случая длин волн 4 и 8 мм и диаметра отражателя 70 мм. Соответственные значения D/λ были равны 9 и 18.

Как видно из таблицы, значение добротности Q_1 приблизительно определяется формулой

$$Q_1 = \left(\frac{D}{\lambda} \right)^2. \quad (7)$$

λ	D	d	$T, \%$	Q_1	d/b
8	70	0,1	70	12	0,05
8	70	0,02	80	80	0,01
8	70	0,05	10	100	0,0125
4	70	0,5	100	16	0,25
4	70	0,02	50	200	0,01
4	70	0,02	100	100	0,02

Наши измерения показали, что с изменением расстояния между отражателями величина Q_1 практически не уменьшается до значения k , примерно равного 25. Поэтому величина добротности для этого значения k будет $Q = 5000$. При дальнейшем увеличении расстояния имеет место незначительное, постепенное увеличение ширины резонансного максимума. Это указывает на то, что в формуле (6) должен быть введен поправочный коэффициент, незначительно меньший единицы. Очень важным результатом проведенных измерений является то, что коэффициент пропускания интерферометра с дифракционными зеркалами оказывается довольно большим (для $Q_1 = 200$, $T \sim 50$). Высокие значения полученной добротности и большая простота описанного типа интерферометра открывают широкие перспективы для его практического использования. С точки зрения оптической спектроскопии новый тип интерферометра имеет несомненные преимущества. Так, дифракционная решетка диаметром 300 мм может обеспечить разрешающую силу, равную 75. Многолучевой интерферометр с дифракционными зеркалами при диаметре отражателей 70 мм дает разрешающую силу даже в первом порядке ~ 200 , т. е. почти в 3 раза больше. Если же использовать в интерферометре отражатели такого же диаметра (300 мм), то значение разрешающей силы интерферометра почти в 50 раз будет превосходить разрешающую силу дифракционной решетки. Учитывая широкие возможности увеличения порядка интерференции, можно получить по желанию значения разрешающей силы, в сотни и тысячи раз большие разрешающей силы дифракционной решетки.

Выводы

В работе экспериментально осуществлен многолучевой интерферометр с дифракционными отражателями для миллиметровой области спектра.

Показана высокая эффективность такого многолучевого интерферометра как резонатора высокой добротности и как спектроскопа высокой разрешающей силы для миллиметрового диапазона волн.

Имеется возможность для широкого применения интерферометра с дифракционными зеркалами и в других участках электромагнитного спектра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Genzel L., Eckhardt W. Z. Phys., **139**, 578, 592, 1954; Genzel L. Z. Phys., **144**, No. 4, I, 1955; Ярославский Н. Г., Станевич А. Е. «Оптика и спектроскопия», **1**, 507, 1956; **VI**, вып. 6, 1959; «Изв. АН СССР», сер. физическая, **22**, 1145, 1958.
2. Culshaw W. Proc. Phys. Soc. S. R., **63**, 939, 1950; **403B** 597, 1953; I RET, MTT-7, No. 2, 221, 1959; MTT-8, No. 2, 182, 1960; **9**, No. 2, 1961.
3. Королев Ф. А. Спектроскопия высокой разрешающей силы. ГИТТЛ, М., 1953.

Поступила в редакцию
10. 11 1962 г.

Кафедра
оптики