

Полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности использования ряда составов в акустооптике. Эти стекла, имеющие умеренные затухания звука и коэффициенты акустооптического качества ( $M_2$ ), более чем на порядок превосходящие  $M_2$  плавленного кварца, пригодны для акустооптических модуляторов с небольшой апертурой, а также для широкополосных дефлекторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Pinnow D. A. Guide principles for selection of acousto-optical materials.— "IEEE Quant. Electron.", 1970, vol. QE-6, p. 223.
2. Yano T., Fukumoto A. and Watanabe A. Tellurite glass: A new acousto-optic material.— "J. Appl. Phys.", 1971, vol. 42, p. 3674.
3. Eschler H. Acousto-optic properties of dense flint glasses.— "J. Appl. Phys.", 1975, vol. 46, p. 65.
4. Клудзин В. В., Кулаков С. В., Разживин Б. П., Ульянов Г. К. Возможность применения тяжелых флинтгов для ультразвуковой модуляции света.— ОМП, 1972, № 1, с. 3.
5. Dixon R. W. and Cohen M. G. A new technique for measuring magnitudes of photoelastic tensors and its application to lithium niobate.— "Appl. Phys. Lett.", 1966, vol. 8, p. 205.

Поступило в редакцию 11 июня 1976 г.;  
окончательный вариант — 15 марта 1978 г.

УДК 535.41.07

Н. Д. ГОЛДИНА, М. И. ЗАХАРОВ  
(Новосибирск)

### ТРЕХЗЕРКАЛЬНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР С ПОГЛОЩАЮЩИМ ЗЕРКАЛОМ В ПРОХОДЯЩЕМ СВЕТЕ

1. Отправной точкой для этой работы явился поиск простой конфигурации трехзеркального пассивного интерферометра, обеспечивающего сочетание широкой области дисперсии с большим разрешением при высоком коэффициенте пропускания интерферометра на выделяемой частоте. Необходимость выполнения этих противоречивых требований возникает при исследовании структуры широких спектральных линий, например линий генерации лазеров на красителях и  $Ag^+$ -лазеров.

Как известно, свободный спектральный интервал трехзеркального интерферометра определяется оптической длиной  $L_2$  селективного отражателя, состоящего из зеркал 2 и 3 (рис. 1), а его разрешающая способность — фактором резкости и длиной  $L_1$ , которая для удовлетворения поставленных требований должна быть, по крайней мере, на порядок выше, чем  $L_2$ . Анализ показывает, что затухание подавляемых мод тем выше, чем уже полоса отражения селективного отражателя по частоте [1]. Для системы с непоглощающими зеркалами зависимость коэффициента отражения от частоты в лучшем случае синусоидальна [1, 2]. В работе [3] было показано, что тонкая поглощающая пленка (толщина пленки  $d \ll \lambda$ ), установленная перед плотным зеркалом, может обеспечить резкий пик отражения на заданной частоте, не внося больших дополнительных потерь.

В данной работе рассматриваются характеристики трехзеркального интерферометра, в котором необходимым составным элементом среднего зеркала является тонкая металлическая пленка, обеспечивающая ослабление всех, кроме одной, резонансных частот интерферометра до уровня  $\leq 0,01$  максимального коэффициента пропускания интерферометра  $T_{max}$ . Приведены необходимые расчеты реальных систем.

2. Обсуждаемый трехзеркальный интерферометр показан на рис. 1. Два зеркала 1 и 3 считаются непоглощающими с коэффициентами отражения  $R_1$  и  $R_3$ , не зависящими от частоты. Показатель преломления среды вне интерферометра обозначим  $n_0$ , а показатели преломления сред, заполняющих интерферометр, —  $n_1$

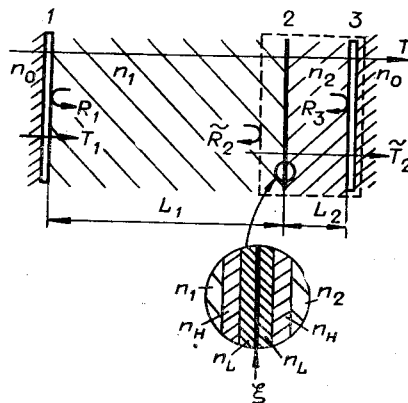


Рис. 1. Схема интерферометра.

и  $n_2$ . Зеркало 2 представляет собой или металлическую пленку на подложке, или комбинацию металлической пленки с четным числом диэлектрических слоев, симметрично расположенных, как показано внизу на рисунке. Многослойники состоят из четвертьволновых слоев диэлектриков с низким  $n_L$  и высоким  $n_H$  показателями преломления. Поглощающая пленка характеризуется двумя параметрами — действительной  $\xi'$  и мнимой  $\xi''$  частями поверхностной комплексной проводимости:  $\xi = \xi' + i\xi''$  [3]. Из них основную роль играет параметр  $\xi'$ , о влиянии  $\xi''$  на характеристики интерферометра будет сообщено ниже.

В следующих вычислениях предполагается, что в интерферометре нет других поглощающих элементов, кроме металлической пленки; обратная сторона подложки просветлена и ее влиянием можно пренебречь; геометрия системы позволяет свести задачу к одномерной.

Коэффициенты отражения и пропускания селективного отражателя обозначим  $R_2(\nu)$  и  $T_2(\nu)$  соответственно. Коэффициент поглощения  $A_2(\nu) = 1 - R_2(\nu) - T_2(\nu)$ . Выражение для энергетического коэффициента пропускания всего интерферометра можно записать в виде

$$T(\nu) = T_0(\nu) \left( 1 + \frac{4 \sqrt{R_1 \tilde{R}_2(\nu)}}{(1 - \sqrt{R_1 \tilde{R}_2(\nu)})^2 \sin^2 \varphi_1} \right)^{-1},$$

где  $\varphi_1 = 2\pi L_1/\lambda$ ;  $T_0(\nu) = (1 - R_1) \tilde{T}_2(\nu) / (1 - \sqrt{R_1 \tilde{R}_2(\nu)})^2$  — огибающая для резонансных пиков длинного интерферометра. Если длинный интерферометр настроен, т. е.  $\varphi_1$  кратно  $\pi$  и  $R_1 = R_{2\max}$ , то максимальный коэффициент пропускания  $T_{\max}$  всего интерферометра равен  $T_{0\max}$  (при согласовании волновых проводимостей элементов эквивалентной длинной линии коэффициент отражения всего интерферометра равен нулю на заданной частоте). Условие согласования должно быть выполнено на резонансной частоте короткого интерферометра. При его расстройке согласование нарушается, т. е.  $R_2(\nu) \neq R_1$ , и, кроме того, увеличиваются потери на поглощение из-за увеличения напряженности поля в металлической пленке. Резкая зависимость  $T_0$  от частоты обеспечивается не только уменьшением  $R_2(\nu)$  относительно его максимального значения  $R_{2\max}$ , но и в значительной степени увеличением отношения  $A_2(\nu)/T_2(\nu)$ . При этом важно, чтобы потери на резонансной частоте оставались малыми.

Рассмотрим более подробно влияние параметров интерферометра (см рис. 1) на характеристику  $T_0(\nu)$ . При увеличении  $R_3$  частотная зависимость  $A_2/T_2$  и, следовательно,  $T_0$  становится круче, а  $T_{0\max}$  — выше. Добавление четного числа слоев к поглощающей пленке со стороны зеркала 3 влияет на  $A_2/T_2$  аналогичным образом, однако приводит к уменьшению  $T_{0\max}$ . Добавление такого же количества слоев к поглощающей пленке со стороны зеркала 1 не изменяет  $A_2/T_2$ , но увеличивает величину  $R_{2\max}$ , что важно для повышения фактора резкости интерферометра. Диэлектрические слои увеличивают также скорость изменения  $R_2(\nu)$  при расстройке короткого интерферометра. Влияние изменения  $\xi'$  на зависимость  $T_0(\nu)$  практического интереса не имеет, так как верхний предел  $\xi'$  ограничивается допустимой величиной  $d/\lambda$  [3].

Расчет интерферометра был выполнен традиционным способом с использованием модели проводящей поверхности для описания свойств поглощающей пленки [3]. Рассчитывалось три варианта структуры зеркала 2 с разным количеством слоев  $N$  при различных значениях  $R_3$ . Результаты приведены на рис. 2 и в таблице. На рис. 2 представлена частотная зависимость  $T_0$  для двух значений  $R_3$  при расстройке на 0,05 области дисперсии  $\Delta\nu_2 = c/2L_2$ . Рисунок подтверждает приведенные выше результаты анализа влияния  $R_3$  и  $N$  на  $T_0(\nu)$ . Характеристику  $T_0(\nu)$  вблизи резонансной частоты селективного отражателя, как показывает рисунок, можно регулировать в широких пределах, меняя его параметры.

В таблице, кроме относительной величины расстройки  $\Delta\nu/\Delta\nu_2$ , для которой  $T_0 = 0,01 T_{\max}$ , приведены значения  $T_{\max}$ ,  $R_1 = R_{2\max}$  и острота полос  $\mathcal{F} = \pi\sqrt{R_1/(1-R_1)}$  для  $R_3 = 0,96$ ; 0,98 и 0,99. Из таблицы видно, что добавление диэлектрических слоев увеличивает крутизну огибающей и тем самым позволяет увеличить  $L_1$ , а следовательно, получить лучшее разрешение  $\delta\nu$  при  $R_3 = \text{const}$ . Так, например, при  $R_3 = 0,99$  с одиночной металлической пленкой и  $\Delta\nu_2 = 10$  ГГц ( $L_2 = 1,5$  см) можно получить  $\delta\nu = 8$  МГц ( $L_1 = 27$  см), а со структурой с четырьмя диэлектрическими слоями при той же области дисперсии —  $\delta\nu = 3$  МГц ( $L_1 = 65$  см). Одно и то же разрешение интерферометра получается при более низких  $\mathcal{F}$ , если использовать диэлектрические слои во втором зеркале.

N слоев	$R_3=0,96$				$R_3=0,98$				$R_3=0,99$			
	$T_{\max}$	$R_1$	$\mathcal{F}$	$\frac{\Delta\nu}{\Delta\nu_2}$	$T_{\max}$	$R_1$	$\mathcal{F}$	$\frac{\Delta\nu}{\Delta\nu_2}$	$T_{\max}$	$R_1$	$\mathcal{F}$	$\frac{\Delta\nu}{\Delta\nu_2}$
0	0,985	0,943	55	1/9	0,993	0,971	108	1/13	0,996	0,985	216	1/18
2	0,958	0,947	57	1/13	0,979	0,972	111	1/20	0,989	0,986	220	1/30
4	0,885	0,949	61	1/18	0,940	0,973	115	1/30	0,969	0,986	220	1/45

Это обстоятельство особенно важно для плоского интерферометра, в котором разрешение ограничивается несовершенством поверхности.

В расчетах не учитывались потери в диэлектрических слоях. При сравнении с экспериментом их необходимо учесть, так как на разрешающую способность высокочастотного интерферометра влияет даже незначительное объемное поглощение.

Что касается влияния  $\xi''$  на зависимость  $T_0(\nu)$ , то при  $\xi'' \neq 0$  она имеет несимметричный вид. Это приводит к неодинаковому подавлению мод, отстоящих по разные стороны от центральной частоты. Для получения симметричных кривых  $T_0(\nu)$  нужно выбирать поглощающие пленки с  $\xi'' = 0$  (это возможно при определенной толщине тонких металлических слоев, применяемых в оптике) или применять симметризирующие диэлектрические слои, согласно [4].

3. В настоящее время имеется достаточно экспериментальных данных о влиянии пленок различных металлов на добротность рассмотренного здесь интерферометра [5]. Результаты, полученные в работе [5], дали возможность использовать селективный отражатель с поглощающей пленкой в резонаторе с активной средой для селекции продольных типов колебаний. Имеющиеся данные и результаты расчетов, приведенных в настоящей работе, позволяют сделать вывод, что трехзеркальный интерферометр с поглощающей пленкой является эффективной системой и может быть использован также в спектроскопии высокого разрешения для исследования широких спектральных линий.

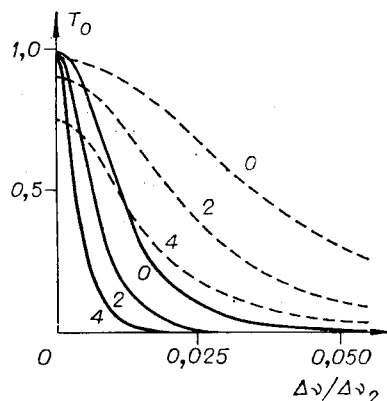


Рис. 2. Частотная зависимость  $T_0$  для  $N=0, 2, 4$  при  $R_3=0,9$  (штриховые линии) и  $R_3=0,99$  (сплошные линии).

Во всех расчетах  $n_0=1$ ;  $n_1=1,46$ ;  $n_2=1,0$ ;  $\xi'=1,46$ ;  $n_H=2,3$ ;  $n_L=1,34$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bouwhuis G. Eigenfrequencies and quality factors of multi-mirror etalons.—“Philips Res. Rep.”, 1964, vol. 19, N 5, p. 422.
2. Kleinman D. A., Kisliuk P. P. Discrimination against unwanted orders in the Fabry—Perot resonator.—“Bell Syst. Techn. J.”, 1962, vol. 41, N 2, p. 453.
3. Троицкий Ю. В. Одночастотная генерация в газовых лазерах. Новосибирск, «Наука», 1975.
4. Голдина Н. Д., Захаров М. И., Троицкий Ю. В. Синтез характеристик многолучевого отражающего интерферометра.—«Автометрия», 1975, № 3, с. 107—118.
5. Голдина Н. Д., Захаров М. И., Троицкий Ю. В. Изучение характеристик поглощающих металлических пленок в поле стоячей волны оптических частот.—«Журн. прикл. спектр.», 1969, т. 10, № 1, с. 43.

Поступило в редакцию 12 апреля 1978 г.;  
окончательный вариант — 6 июля 1978 г.

УДК 621.317.76

П. Л. ГЛУЗМАН  
(Рыбинск)

#### МЕТОД КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОГО СПЕКТРА ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В настоящее время как в отечественной, так и в зарубежной практике, по существу, отсутствуют достаточно простые методы комплексного анализа спектра, позволяющие одновременно определять амплитуды и начальные фазы гармонических компонент. Теоретически и аппаратно достаточно хорошо разработаны методы амплитудного [1] и фазового [2] анализа спектра. Между тем только комплексное исследование спектра дает полную характеристику исследуемого сигнала. Необходимость таких исследований применительно к четырехполюсникам и линиям связи трудно переоценить.