

20 марта 1970 г.

ОТРАЖАЮЩИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР НА ОСНОВЕ СОГЛАСОВАННОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛЕНКИ

Ю.В. Троицкий

Предложенные в последнее время устройства для выделения одного вида колебаний в оптических резонаторах могут быть в ряде случаев применены и в качестве самостоятельных интерферометров. В частности, представляет большой интерес использование интерферометра с поглощающей пленкой [1], который позволяет получать в отраженном свете интерференционную картину в виде очень узких светлых полос на темном фоне; в обычном интерферометре Фабри – Перо такая картина получается лишь в проходящем свете.

Схема наиболее простого интерферометра с поглощающей пленкой показана на рис. 1, а. Он образован зеркалом с коэффициентом отражения r_2 (в дальнейшем считаем $r_2 = 1$) и поглощающей металлической пленкой, толщина которой значительно меньше длины волны λ , и которая поэтому может рассматриваться как поверхностная проводимость σ на границе сред 1 и 2 с волновыми проводимостями Y_1 и Y_2 ; одна из этих сред является подложкой пленки. Зависимость коэффициента отражения R такой системы от частоты ω имеет вид чередующихся с периодом $c / 2\ell_2$ максимумов и минимумов (c – скорость света, ℓ_2 – расстояние пленки до зеркала). Можно добиться, чтобы в минимумах R доходило до нуля. Для этого σ должна быть равна Y_1 – случай, хорошо известный в электродинамике. При таком выборе σ коэффициент отражения от интерферометра при нормальном падении света выражается формулой

$$R = \left(1 + F \operatorname{tg}^2 \frac{\omega}{c} \ell_2 \right)^{-1},$$

где $F = \left(2 \frac{\sigma}{Y_2} \right)^2$. Недостатком системы рис. 1, а является малая величина

фактора резкости F . Так, даже если нанести согласованную пленку на тяжелый флинт с показателем преломления 1,8, то $F \approx 13$. Этот недостаток можно преодолеть, если увеличить проводимость σ (т. е. толщину пленки) и одновременно для согласования ее со средой 1 применить обычные в технике СВЧ методы согласования импедансов. В оптической области наиболее удобно применение чередующихся четвертьвольновых слоев диэлектриков с малым и большим

показателями преломления. Это показано на рис. 1, б, где изображены три $\lambda/4$ -слоя с волновыми проводимостями Y_3 и Y_4 . В случае нечетного числа k согласующих слоев можно увеличить проводимость σ в $(Y_4/Y_1)^2(Y_4/Y_3)^{k-1}$ раз и уже с трехслойным покрытием довести F до нескольких сотен. Предел здесь кладется невозможностью осуществления пленок с очень большим σ , тем более имеющих малую толщину.

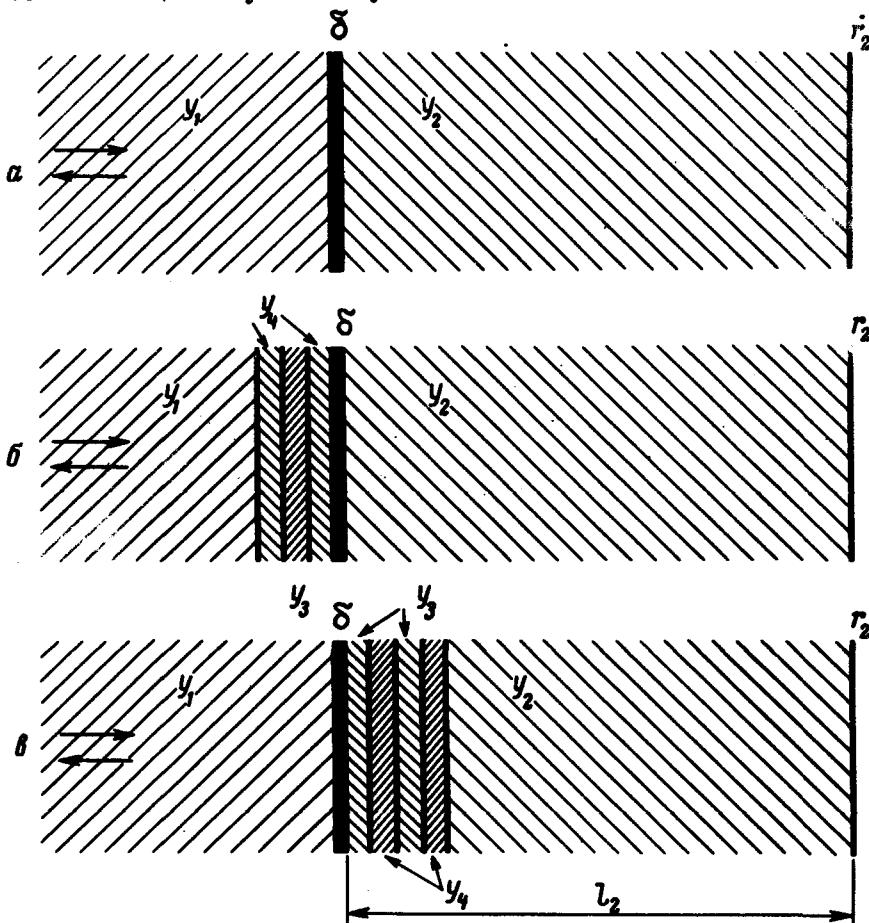


Рис. 1

Рис. 1, в демонстрирует еще одну возможность повышения фактора резкости. Здесь набор $\lambda/4$ слоев введен между пленкой и средой 2 и служит трансформатором проводимостей, "понижающим" входную проводимость среды 2, пересчитанную в плоскость пленки. Проводимость самой пленки в этом случае невелика и должна быть равна волновой проводимости среды 1. Расчет показывает,

$$\text{что в случае, например, четного числа } k \text{ слоев } F = \left(2 \frac{\sigma}{Y_2} - \frac{4}{Y_3^k} \right)^2.$$

Выше повсюду предполагалось, что поверхностная проводимость пленки действительна. Реальные пленки обычно имеют и минимум компоненту проводимости, несколько усложняющую согласование со средой 1. Для компенсации минимум части может быть использован добавочный тонкий слой диэлектрика, толщина которого уже не будет кратна $\lambda/4$. Если согласование со средой 1

выполнено с учетом полной проводимости пленки, то остаются справедливыми все написанные выше формулы для R и F , но под величиной σ надо подразумевать только активную компоненту проводимости.

Схема рис. 1, б была проверена экспериментально. Для этого на плоскую подложку из оптического стекла К8 (среда 1) наносилась тонкая пленка никеля с коэффициентом пропускания (около 0,37), обеспечивающим согласование со стеклом, а сверху были напылены четыре четвертьволновых слоя криолита (среда 3) и сернистого цинка (среда 4). Средой 2 являлся воздух. Коэффициент пропускания пленки вместе с покрытием был равен 0,074, коэффициент отражения в бегущей волне с суперпозиции покрытия 0,82, а со стороны подложки 0,002; последняя цифра свидетельствует о высоком качестве согласования пленки никеля с волновой проводимостью стекла, несмотря на отсутствие специальных компенсаторов реактивности.

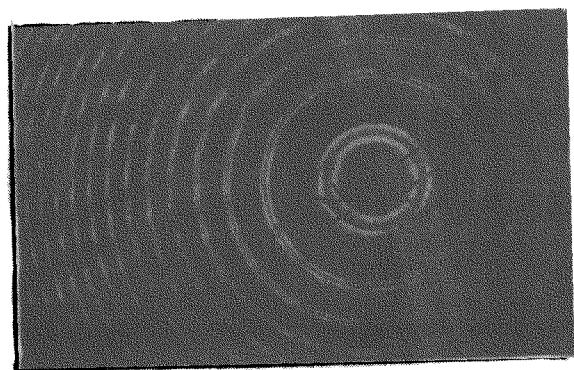
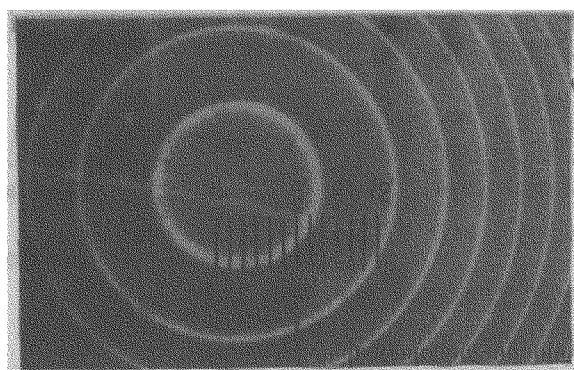


Рис. 2

Второй элемент интерферометра представлял собой плоское диэлектрическое зеркало, параллельное пленке и расположено на расстоянии ℓ_2 от нее. Расчетное значение F для такой системы равнялось 640. Источником света служил Не – Не лазер с длиной волны 6328 Å. Для получения линий равного наклона между лазером и пленкой устанавливалась линза, как и в случае обычного интерферометра Фабри – Перо. Свет, отраженный от интерферометра, регистрировался при помощи наклонной светофильтральной пластинки.

На рис. 2, а приводятся кольца равного наклона, полученные при $\ell_2 = 1,8 \text{ см}$. Они отличаются высокой контрастностью — отношение максимального и минимального значений R не менее 50. Ширина светлых колец соответствует фактору резкости не менее 80. В целом интерференционная картина соответствует ожидавшейся.

На рис. 2, б приводятся кольца равного наклона при $\ell_2 = 13 \text{ см}$. В этом случае легко разрешаются отдельные моды ОКГ, отстоящие на $150 \text{ М} \cdot \text{м}$.

С точки зрения применений описанный интерферометр отличается от двухлучевых тем, что дает более резкую интерференционную картину, а от обычных интерферометров Фабри — Перо — возможностью производить измерения со стороны источника света. Изменяя параметры покрытий, можно сделать интерференционные полосы сильно асимметричными, что в принципе позволяет определять направление изменения разности фаз. Вместо поглощающих плёнок в описанном интерферометре при определенных условиях могут быть использованы рассеивающие свет покрытия, изготовленные согласно [2].

Автор благодарит В.П.Короневича за обсуждение работы и Н.Д.Голдину — за изготовление оптических покрытий.

Институт автоматики и электрометрии

Академии наук СССР
Сибирское отделение

Поступила в редакцию
20 января 1970 г.

Литература

- [1] Ю.В.Троицкий, Н.Д.Голдина. Письма в ЖЭТФ, 7, 49, 1968.
[2] Ю.В.Троицкий. Оптика и спектроскопия, 27, 492, 1969.