

18

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
СО АН СССР

Н.А.Винокуров, В.Н.Литвиненко

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ
ОТРАЖЕНИЯ БЛИЗКИХ К ЕДИНИЦЕ

ПРЕПРИНТ ИЯФ 79 - 24

Новосибирск

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ

БЛИЗКИХ К ЕДИНИЦЕ

Н. А. Винокуров, В. Н. Литвиненко

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе предложен метод измерения коэффициентов отражения близких к единице по времени затухания свободных колебаний оптического резонатора, составленного из двух исследуемых зеркал.

Приводятся результаты измерения коэффициентов отражения многослойных диэлектрических зеркал.

1. Для многих приложений необходимо измерение больших коэффициентов отражения (КО) зеркал ($K > 0,99$). Однако известные методы измерения КО зеркал (рефлектометры и т.п.) связаны с измерением малых изменений интенсивности света и большими систематическими ошибками (определяемыми, в основном, неоднородностью чувствительности поверхности измерителя интенсивности света и нестабильностью источника). Так, например, достаточно сложный рефлектометр Стронга дает ошибку в измерении КО зеркал $\sim 1\%$ ^{/2/}. Более сложные схемы ^{/3/} дают ошибки $\sim 0,2\%$.

2. Метод, предлагаемый в данной работе, избавлен от перечисленных недостатков, поскольку в нем измеряется непосредственно отличие коэффициента отражения от единицы ($d = 1 - K$). Идея метода заключается в том, что измеряется время затухания свободных колебаний в резонаторе, которое зависит от $d_{1,2} = 1 - K_{1,2}$. Легко видеть, что декремент затухания за один пролет резонатора равен:

$$\xi = 2gl - \ln(K_1 K_2); \quad (1)$$

где $g = g(\lambda)$ — коэффициент поглощения среды, находящейся внутри резонатора, l — расстояние между зеркалами, $K_{1,2}$ — коэффициенты отражения зеркал. Для наиболее интересного случая, когда $d_{1,2} \ll 1$, имеем из (1):

$$\xi = d_1 + d_2 + 2gl \quad (2)$$

или для времени затухания (здесь c — скорость света):

$$\frac{1}{\tau} = \frac{c}{2l} (d_1 + d_2) + c \cdot g. \quad (3)$$

Измеряя τ при двух расстояниях между зеркалами можно исключить g и получить $d_1 + d_2$. Таким образом, имея 3 зеркала и проделав 6 измерений можно получить коэффициенты отражения этих зеркал — $K_{1,2,3}$.

3. В оптическом диапазоне лучшими являются многослойные диэлектрические зеркала. Эти зеркала всегда частично прозрачны, что позволило создать простую установку для измерения КО таких зеркал. Время затухания свободных колебаний τ измерялось по "затягиванию" фронта прямоугольного светового пакета,

проходящего через оптический резонатор Фабри-Перо, составленный из двух исследуемых зеркал.

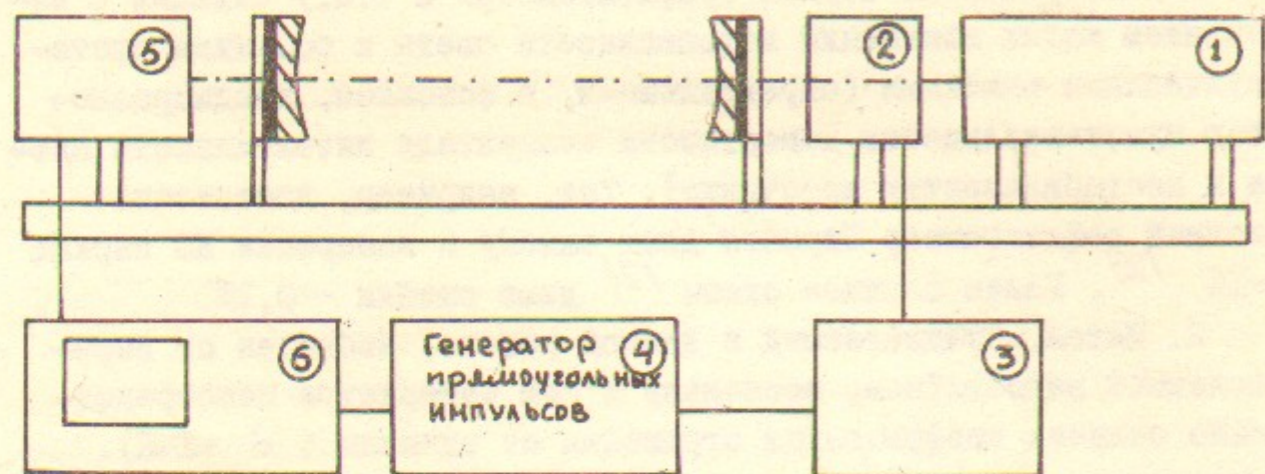


Рис.1. Схема установки для измерения КО зеркал

В качестве источника света (1) использовался $He-Ne$ лазер ЛГ-75 ($\lambda = 0,63$ мкм). Ячейка Поккельса (2) МЛ-3 (паспортная полоса 100 МГц), принцип действия которой основан на линейном электрооптическом эффекте, служит для получения световых пакетов с прямоугольной огибающей. Ячейка управляется простым формирователем (3), создающим прямоугольные импульсы напряжения (амплитуда $0+600$ В, длительность импульса 1 мксек ± 1 мксек, передний фронт -30 нсек, частота повторения 1 Гц ± 1 кГц). Пропедавший через резонатор импульс наблюдался с помощью фотоумножителя (5) ФЭУ-84 на осциллографе (6) СГ-70 (полоса пропускания не менее 50 МГц). Для контроля точности метода проводились измерения длительности переднего фронта импульса в отсутствие резонатора и при нулевом расстоянии между зеркалами (т.е. при очень малом τ). При этом длительность переднего фронта была не более 50 нсек, в то время как характерные времена затухания в наших экспериментах составляли $0,2+2$ мксек ($l = 0,2-2$ м).

4. Данным методом были измерены КО зеркал, изготовленных в ИЯФ с $d = 1-K$ от 0,1% до 5% с точностью $\delta d/d \leq 10\%$. Обычно для определения КО зеркал делалось 5+7 измерений времени затухания при различных расстояниях между зеркалами. Результаты измерений удобно откладывать в координатах $l/\tau, l$ (Рис.2). При этом легко учитывается поглощение света в воздухе, т.к.

$$\frac{1}{c} \cdot \frac{l}{\tau} = \frac{d_1+d_2}{2} + g \cdot l \quad (4)$$

Величина $(d_1+d_2)/2$ находилась по точке пересечения прямой, проведенной по экспериментальным точкам, с осью ординат. По наклону прямой можно найти также длину поглощения света в воздухе (в наших экспериментах $l_B = 1/g \approx 1,5$ км).

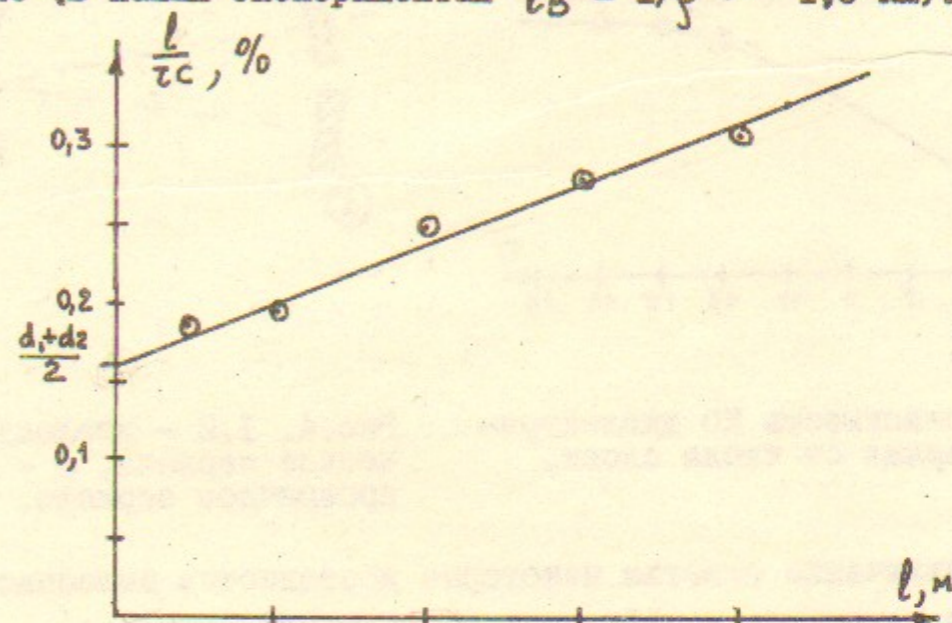


Рис.2

Основным источником ошибок в измерении времени затухания являлись шуми лазера, которые позволяли определять τ с точностью $\sim 10+30\%$. При этом точность определения d (при 5+7 измерениях τ) составляла $\delta d/d \leq 10\%$ (при $K = 0,998$ это соответствует $\delta K \leq 0,02\%$). По-видимому, использование одномодового лазера позволит существенно повысить точность измерений.

Заметим, что небольшая разъюстировка резонатора не сказывалась на времени затухания (если на зеркалах не было царапин или других явных дефектов), что говорит о хорошей однородности многослойного покрытия зеркал, а также о малости ошибок, связанных с дифракционным рассеянием на зеркалах.

Данный метод позволил также исследовать зависимость коэффициента отражения зеркал от числа диэлектрических слоев. Результаты измерений, приведенные на Рис.3, показывают, что рассея-

ние и поглощение в зеркалах не позволяет сделать при данной технологии изготовления зеркал КО больше, чем 0,999 и, что изготовление зеркал с числом слоев более 17 практически не улучшает КО.

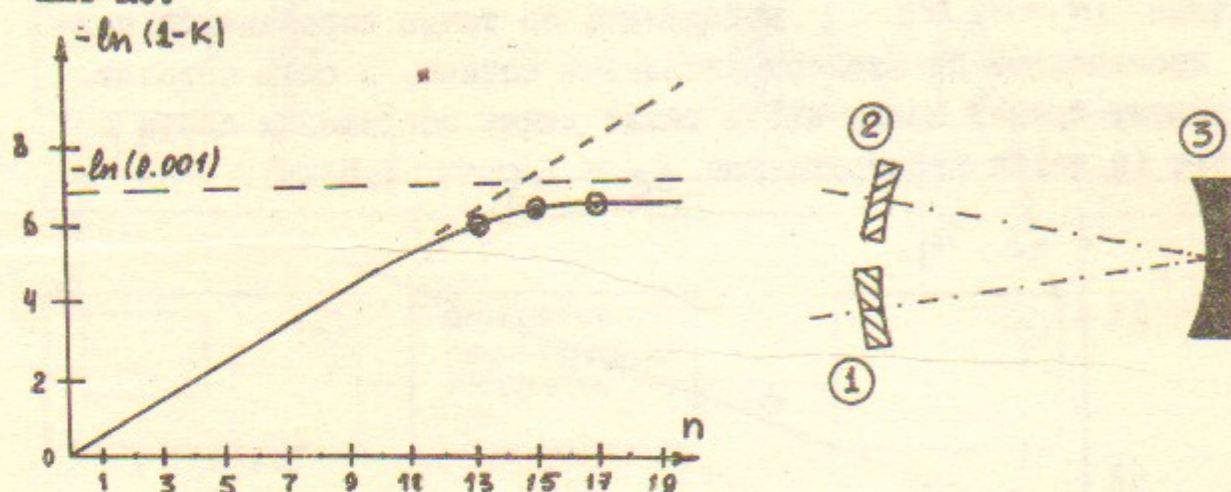


Рис.3. Зависимость КО диэлектрических зеркал от числа слоев.

Рис.4. 1,2 - диэлектрические зеркала, 3 - непрозрачное зеркало.

5. В заключение отметим некоторые достоинства вышеописанного метода измерения коэффициентов отражения зеркал:

1. Точность метода растет с увеличением коэффициента отражения. Поэтому методы, основанные на измерении интенсивности отраженного света и метод внесения калиброванных потерь в лазерный резонатор, не могут конкурировать с данным методом при измерении КО зеркал, близких к единице.

2. Коэффициенты отражения зеркал в данном методе измеряются при нормальном падении света.

3. Данный метод позволяет непосредственно измерить добротность интересующего резонатора.

4. Систематические ошибки, возникающие вследствие неточной юстировки зеркал, могут привести только к занижению КО.

Данный метод может быть также применен для измерения КО зеркал в инфракрасной области спектра, где не существует достаточно точных рефлектометров ^{12/}. В заключение отметим, что в качестве источника света вместо лазера можно использовать другие источники достаточно монохроматического линейнополяризованного света. Для измерения КО непрозрачных зеркал можно исполь-

зовать оптический резонатор, схема которого показана на Рис.4.

6. Авторы благодарны Л.В.Анкудинову за ценные обсуждения и советы, Г.Н.Кулипанову за постоянную поддержку и интерес к работе, Э.И.Зинину, Е.А.Переведенцеву и Ю.А.Шарикову за плодотворные дискуссии.

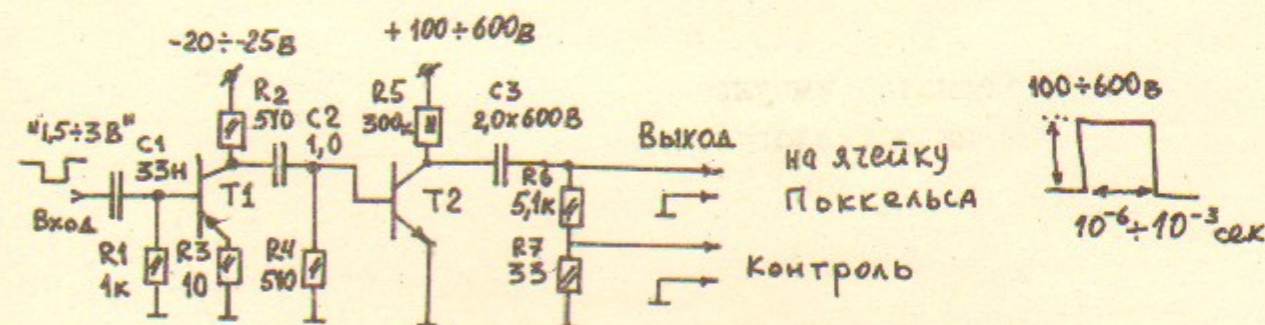
1. Н. А. Винокуров, А. Н. Скринский. Препринт ИЯФ 77-59, Новосибирск, 1977.
2. Е. Ф. Ищенко, Ю. М. Климов. Оптические квантовые генераторы. М., "Советское радио", 1968.
3. Bennet H.E., Koehler W.F., Journ. Opt. Soc. Am., 50, 1, 1960.

СХЕМА ФОРМИРОВАТЕЛЯ ИМПУЛЬСОВ

Формирователь, схема которого представлена на рис. 5, имеет следующие параметры: амплитуда напряжения на выходе: 100+600 В, длительность импульса 1 мксек+1 мсек, передний фронт импульса ~ 30 нсек, частота повторения 1 Гц + 1 кГц. Амплитуда запускающего импульса 1,5+3 В.

Запускающий прямоугольный импульс отрицательной полярности переводит транзистор Т1 в режим лавинного пробоя. Транзистор Т1 открывает транзистор Т2, переход эмиттер-база которого тоже работает в лавинном режиме. Транзистор Т2 разряжает конденсатор С2 через сопротивления R6, R7, с которых и снимается выходное напряжение.

Максимальная длительность импульса ограничена временем разряда С3: $\tau_p \sim R6C3$, частота повторения импульсов: длительностью импульсов и временем зарядки: $\tau_3 \sim R5C3$.



Т1-ГТ320Б; Т2-КТ704Б.

Рис. 5. Схема формирователя.