

$=2,5 \cdot 10^4$ ,  $K_{\gamma} = 3 \cdot 10^3$ . С выхода приемной части (см. рис. 2) электрические сигналы на частоте  $\Omega$  и  $5\Omega$  поступают на вход управляющей части (см. рис. 1), на фазочувствительные выпрямители ФЧВ (блоки VII и VIII).

Блок VI управляющей части (см. рис. 1) содержит следующие элементы структурной схемы, приведенной на рис. 5 из библиографии: Г, Дч1, Дч2, ФУ1, ФУ2. Задающий генератор (М1) прямоугольных импульсов (см. рис. 1) работает на частоте  $10\Omega$ . К его выходу последовательно подключены делители частоты 1:5 (М2÷М4) и 1:2 (М5). С выхода делителя (М5) сигнал на частоте  $\Omega$  поступает через активный фильтр (М9), настроенный на частоту  $\Omega$ , усилитель (Т2) и эмиттерный повторитель (Т1) на пьезо-керамику интерферометра Фабри—Перо (ИФП). С выхода делителя частоты (М2÷М4) сигнал подается на запуск ждущего мультивибратора (Т6÷Т8), и задним фронтом импульса этого мультивибратора запускается второй делитель частоты 1:2 (М10). Длительность импульса мультивибратора можно плавно регулировать, вращая при включении прибора в устройстве, собранном на микросхемах М6—М8.

Коэффициент передачи каждого ФЧВ (блоки VII и VIII) равен единице, линейный динамический диапазон напряжений составляет  $\pm 1,5$  В, дрейф нуля — не более 0,5 мВ, постоянная времени фильтра —  $5 \cdot 10^{-4}$  с.

Блоки IX и X — дифференциальные интегрирующие усилители. У каждого из них статический коэффициент усиления равен  $4 \cdot 10^3$ , дрейф нуля не превосходит 1 мВ, время интегрирования составляет 100 с, линейный динамический диапазон выходных напряжений равен  $\pm 300$  В.

Цепи обратных связей для стабилизации ИФП и лазера характеризуются статическим коэффициентом усиления разомкнутой цепи  $3 \cdot 10^4$  и частотой среза 300 Гц. Система обеспечивает стабилизацию частоты лазера с относительной нестабильностью не хуже  $10^{-9}$  за 8 ч работы и уменьшение возмущающих воздействий на частоте 50 Гц в 10 раз.

*Поступило в редакцию 26 сентября 1977 г.;  
окончательный вариант — 21 февраля 1978 г.*

УДК 534.8.081.7

**В. И. СЕМЕНОВ, Д. В. ШЕЛОПУТ**  
(Новосибирск)

### **АКУСТООПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯЖЕЛЫХ И СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ФЛИНТОВ**

В последние годы оксидные стекла с высоким показателем преломления начали широко использоваться в акустооптических устройствах. Это обусловлено тем обстоятельством, что по сравнению с кристаллами стекла обладают более высокой оптической однородностью, механической стойкостью, простотой изготовления, разнообразием размеров и формы, доступностью и низкой стоимостью.

Их основные недостатки — сравнительно невысокая акустооптическая добротность и высокий уровень акустических потерь — ограничивают область их использования диапазоном частот до 100–300 МГц. В то же время, например, для создания акустооптических устройств с апертурой 5–10 см (многоканальные модуляторы, дефлекторы с разрешением порядка 1000 точек) трудно (за редким исключением) подыскать соответствующий монокристалл.

В работе [1] предложены рекомендации по выбору акустооптических материалов, согласно которым среди стекол, прозрачных в видимом диапазоне спектра, максимальной акустооптической добротностью должны обладать теллуридные стекла, а также тяжелые и сверхтяжелые флинтны на основе окислов свинца, висмута и других тяжелых элементов.

Исследованию акустооптических характеристик, освоенных промышленностью оксидных стекол, посвящено несколько работ [2–4]. В статье [4] впервые проведено

Марка стекла, состав	$n$	$\rho \cdot 10^3$ , кг/м <sup>3</sup>	$V \cdot 10^3$ , м/с	$\alpha$ , дБ/см на частоте 100 МГц	$m$	$M_2^{\parallel} \cdot 10^{-15}$ , с <sup>2</sup> /кг	$M_2^{\perp} \cdot 10^{-15}$ , с <sup>2</sup> /кг
ТФ-8	1,677	4,23	3,14	1,9	2	2,5	4,2
СТФ-3	2,164	6,13	3,56	3,1	1,9	9,8	15,9
СТФ-58	1,945	5,00	3,94	6,6	1,8	7,2	9,1
Ge <sub>0,1</sub> W <sub>0,25</sub> Te <sub>0,4</sub> O <sub>0,25</sub>	1,970	5,87	3,47	8,0	2	16,7	19,0
Ge <sub>0,05</sub> W <sub>0,2</sub> Te <sub>0,5</sub> O <sub>0,35</sub>	2,140	6,11	3,42	5,1	2	21,7	25,0
Ge <sub>0,2</sub> Pb <sub>0,2</sub> O <sub>0,6</sub>	2,06	6,85	3,31	4,9	1,7	25	31,5
Ge <sub>0,18</sub> Bi <sub>0,18</sub> O <sub>0,64</sub>	2,05	7,2	3,45	4,3	1,7	18	22
Ge <sub>0,16</sub> Pb <sub>0,06</sub> Bi <sub>0,16</sub> O <sub>0,62</sub>	2,01	8,0	3,38	7,9	1,8	36	44

Примечание.  $M_2^{\parallel}$  и  $M_2^{\perp}$  обозначают коэффициенты акустооптической добротности, измеренные при поляризации световой волны соответственно параллельно или перпендикулярно акустическому волновому вектору.

изучение ряда отечественных флинтов марок ТФ и СТФ. Однако целый ряд перспективных составов не был включен в число изученных материалов. Кроме того, измерение акустических потерь проведено в [4] в основном на одной частоте — 30 МГц. В то же время рабочий диапазон частот акустооптических устройств на основе стекол охватывает область до 200 МГц.

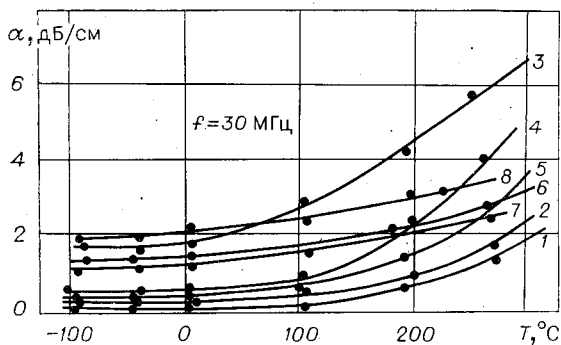
В связи с этим представляется целесообразным продолжить изучение акустооптических характеристик оксидных стекол с целью выявления новых перспективных, практически полезных акустооптических материалов, расширить круг исследуемых образцов и диапазон частотных и температурных измерений акустических потерь.

Для измерения акустооптической добротности нами использован предложенный в [5] динамический метод, в котором сравниваются интенсивности дифрагированного света в эталонном и измеряемом образцах. Эталон служил плавный кварц. Для уменьшения погрешности, вносимой дифракционной расходимостью ультразвукового луча, при ограниченных размерах образцов необходимо проводить измерения на сравнительно высоких частотах (75–150 МГц). Погрешность, вызванная непараллельностью ультразвуковых лучей, идущих из эталона в измеряемый образец и обратно за счет неоднородности акустических склеек, непараллельности торцов эталона и образца существенно уменьшается, если при измерении отдельно настраиваться на падающий и отраженный ультразвуковые импульсы. Выполнение отмеченных выше требований позволило проводить измерения акустооптической добротности с точностью до 10%.

Скорость распространения ультразвуковых волн в измеряемых образцах определялась по углу дифракции на частоте 140 МГц. Ошибка измерений в этом случае составляла 0,8%.

Измерения затухания ультразвука проведены в диапазоне частот 20–200 МГц методом оптического зондирования звукового импульса, распространяющегося по длине образца; точность измерений 10%. Результаты измерений акустических и акустооптических параметров приведены в таблице. Приближенная формула зависимости затухания частоты звука имеет вид [2]

$$\alpha = \alpha_0 f^m.$$



Температурная зависимость акустического затухания.

Значение  $m$  для разных составов лежит в пределах от 1,7 до 2. Из приведенных данных видно, что ряд стекол обладает невысоким затуханием звука. (Стекло СТФ-3 имеет  $\alpha \sim 3$  дБ/см на частоте 100 МГц; на этой же частоте затухание в стекле ТФ-8 около 2 дБ/см). Измерения температурной зависимости затухания звука проводились с помощью стандартного термостата  $U-8$  в диапазоне температур от  $-100$  до  $+300^\circ\text{C}$  при частоте звука  $f=30$  МГц. Результаты измерений приведены на рисунке. Как видно из рисунка, затухание звука в этих стеклах практически не зависит от температуры в диапазоне от  $-100$  до  $+100^\circ\text{C}$ .

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. Клуذзин 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, —  $n_1$

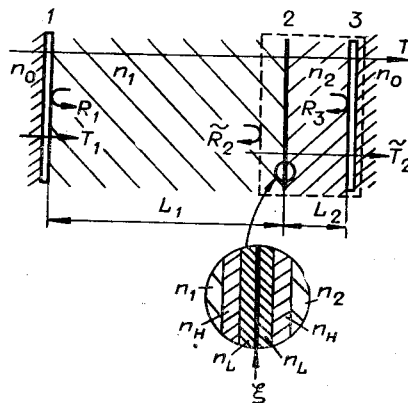


Рис. 1. Схема интерферометра.