

Рис. 2.

пластинки 2 направляется в двухлучевой поляризационный интерферометр, в котором призма 3 служит расщепителем, сигнальное плечо образовано объективом 4, исследуемым объектом, в качестве которого выбран, например, рассеивающий вращающийся диск 5 с тахогенератором 6 на оси, и объективом 7. Рекомбинационным элементом, пространственно совмещающим сигнальный рассеянный и опорный пучки, является призма Ротона 8. Пучки, выходящие из интерферометра, объективом 9 через апертурную диафрагму 10 направляются в конфокальный ИФПС 11, работающий в режиме дискриминатора доплеровского сдвига частоты. Одно из зеркал ИФПС закреплено на пьезокерамической шайбе 12. Сигнальный и опорный пучки после прохождения ИФПС пространственно разделяются по ортогональным поляризациям призмой Волластона 13 и направляются на соответствующие фотоприемники 15 и 17 с полевыми диафрагмами 14 и 16. При работе с трехмерными рассеивающими средами в сигнальном плече поляризационного интерферометра устанавливается фильтр низких пространственных частот.

В данном устройстве привязка дискриминационной характеристики к частоте излучения лазера осуществляется системой экстремального управления. Эта система, в основном аналогичная описанной в [1], содержит вспомогательный генератор 22, фазовращатель 23, резонансный усилитель 18, фазовый детектор 19, интегратор 20 и усилитель 21. Отличие заключается во введении дополнительного блока деления частоты 24. Делитель 24 уменьшает вдвое частоту модулирующего сигнала, поступающего с выхода генератора 22 на пьезокерамическую шайбу 12. Резонансный усилитель 18 настроен на частоту сигнала генератора 22.

На рис. 2 приведены сигналы с выхода оптического дискриминатора (вверху) и для сравнения с выхода тахогенератора (внизу) (масштаб: по оси ординат 1,56 МГц на клетку, по оси абсцисс 150 с на клетку). Фотография, сделанная с экрана двухлучевого осциллографа, иллюстрирует возможность получения информации о девиации доплеровского сдвига частоты в реальном масштабе времени. Технические параметры экспериментальной установки аналогичны параметрам устройства, описанному в [1, 2]. (Радиус кривизны зеркал конфокального ИФПС 200 мм, полоса пропускания экстремальной системы автоподстройки 400 Гц, частота сигнала с выхода генератора  $22 \Omega/2\pi = 40$  кГц.)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусов П. Я., Дубнищев Ю. Н., Павлов В. А. Измеритель скорости с оптическим дискриминатором доплеровской частоты.— *Опт. и спектр.*, 1977, т. 43, с. 775.
2. Belousov P. Ya., Dubnistchev Yu. N. The Application of an Optical Doppler Frequency Discriminator in Laser Velocimeter.— *Opt. and Laser Techn.*, 1977, N 5, p. 229.

Поступило в редакцию 23 марта 1979 г.;  
окончательный вариант — 26 января 1980 г.

УДК 621.373.826 : 621.276

В. М. МАСТИХИН, Д. В. ШЕЛОПУТ  
(Новосибирск)

#### МОДУЛЯТОР-РАСЩЕПИТЕЛЬ НА КРС-5

Применение лазеров для измерения скоростей выделилось в самостоятельную область — лазерную доплеровскую локацию. В основе метода — определение доплеровского сдвига частоты в свете, рассеянном примесными частицами в потоке. Выделение доплеровского сдвига в рассеянном световом пучке осуществляется

методом оптического гетеродинамирования опорного и рассеянного пучков или двух рассеянных. Деление пучков и сдвиг частоты можно осуществлять при помощи акустооптических элементов. Универсальность акустооптических устройств позволяет в одной ячейке совместить расщепление и сдвиг частоты одного из пучков. Кроме того, применение двухкоординатной ячейки дает возможность одновременно измерять величины и направление двух ортогональных компонентов вектора скорости. Угол расщепления и величина сдвига частоты определяются скоростью ультразвука в материале световозвопровода.

Оптическая схема лазерного доплеровского измерителя скорости (ЛДИС) ограничивает снизу угол расщепления величиной порядка одного градуса. В то же время ограниченные полосы современных фотоприемников и электронных систем не позволяют повышать рабочие частоты.

Для заданных длин волн света (0,63 мкм) пригодными оказываются материалы, скорость ультразвука в которых ограничена величиной  $\sim 10^3$  м/с. К их числу относятся монокристаллы парателлурита [1], бромида — кодида таллия (КРС-5) [2] и многие жидкости.

Жидкости, хотя и являются самыми доступными и дешевыми, обладают рядом существенных недостатков, которые ограничивают их практическое использование. Монокристаллы парателлурита дороги и не освоены в промышленном производстве.

В предлагаемой работе предпочтение отдается двухкоординатной ячейке на монокристалле КРС-5. Монокристаллы КРС-5 обладают высокой акустооптической добротностью, умеренным поглощением и малой скоростью ультразвука. Они выпускаются серийно промышленностью. В видимой же области спектра качество этих кристаллов до недавнего времени не отвечало требованиям, предъявляемым к модуляторам-расщепителям для ЛДИС из-за внутренних напряжений, являющихся результатом неоднородного распределения состава. Вызываемые этим оптические неоднородности оказались возможным устранить дополнительной термообработкой.

При изготовлении световозвопроводов акустооптических устройств из кристаллов КРС-5 особое внимание следует обращать на контроль однородности кристалла в поляризованном свете. Некоторые образцы, имеющие удовлетворительные характеристики по пропусканию (50—65 % для  $\lambda=0,63$  мкм) и пределу оптического разрешения (1,1—1,3 отн. ед.), оказывались непригодными из-за неоднородности в поляризованном свете. Микроскопические исследования таких образцов показали наличие ячеистой структуры с локальным изменением показателя преломления до  $10^{-2}$  мм $^{-1}$ .

Блочность кристаллов термообработкой устранить не удается. Поэтому для получения однородных образцов необходимо вырезать их из монокристаллических макроблоков. Кристаллы КРС-5 обладают явно выраженной анизотропией механических свойств. Микротвердость у них максимальна для направлений [100] и последовательно уменьшается для [110] и [111]. В связи с этим оптическое качество (пропускание, разрешение, однородность) поверхностей (100) существенно лучше, что необходимо учитывать при изготовлении световозвопроводов для акустооптических устройств.

В нашем случае все рабочие грани световозвопровода были ориентированы по (100), что позволяет использовать максимальное значение акустооптической добротности  $\sim 1200 \cdot 10^{-18}$  с $^2$ /г. Свет при этом должен распространяться в направлении [001]. Пропускание света ( $\lambda=0,63$  мкм) для образца размером  $15 \times 15 \times 10$  мм $^3$  — 54 %, разрешение — 1,1. После нанесения просветляющей пленки MgF $_2$  пропускание кристалла составляло 78 %.

На две смежные торцовые грани образца для получения электрического контакта была нанесена пленка Al с подслоем Cr. Пленка Cr толщиной 0,1 мкм нанесена для улучшения адгезии пленки Al, а также для защиты ее от КРС-5.

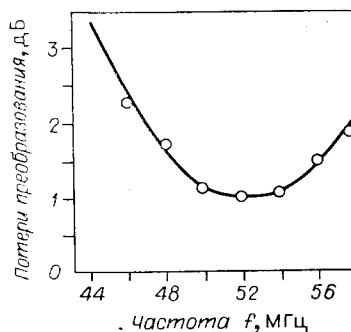


Рис. 1.

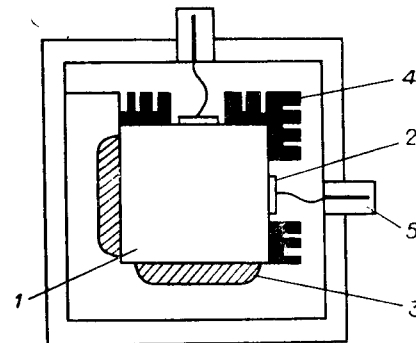


Рис. 2.

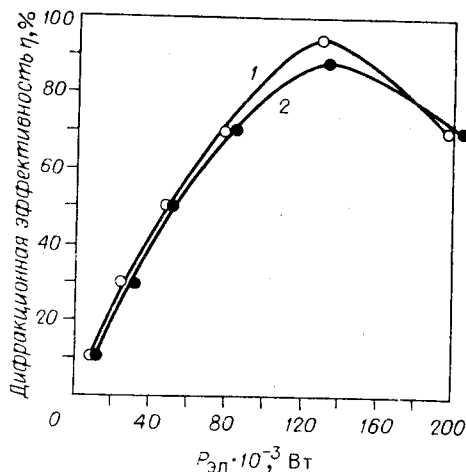


Рис. 3.

васт достаточно эффективный теплоотвод (рис. 2: 1 — кристалл, 2 — преобразователь, 3 — поглотитель, 4 — радиатор, 5 — ВЧ-разъем).

Одним из важнейших параметров, характеризующих работу акустооптического устройства, является уровень электрической мощности, необходимой для получения заданной дифракционной эффективности  $\eta = I_1/I_0$  от управляющей электрической мощности для одной из координат ячейки. Измерение проводилось по схеме с последовательно включенным калиброванным сопротивлением. При этих измерениях нас интересовала электрическая мощность, непосредственно потребляемая ячейкой. Степень рассогласования выходного сопротивления генератора с входным сопротивлением ячейки в этом случае не важна. Кривая 1 относится к импульсному режиму, кривая 2 — к непрерывному. Различие между кривыми 1 и 2 для каждого значения мощности объясняется нагреванием ячейки в непрерывном режиме.

При подаче на вход устройства управляющих электрических сигналов оптический луч расщепляется на несколько лучей, из которых рабочие лучи ( $I_0, I_x, I_y$ ) имеют одинаковую интенсивность при выполнении условий

$$I_x = I_0 \text{ при } I_y = 0,$$

$$I_y = I_0 \text{ при } I_x = 0.$$

В этом режиме эффекты искажения формы отклоненного луча в результате тепловых воздействий отсутствуют.

Максимальное значение дифракционной эффективности в непрерывном режиме (см. рис. 3, кривая 2), равное 88%, получено при потребляемой электрической мощности 130 мВт. Эти параметры обусловлены тем, что в качестве светозвукопровода используется кристалл КРС-5 с акустооптической добротностью  $M_2 = 1200 \cdot 10^{-18} \text{ см}^3/\text{г}$ .

Дальнейшее снижение управляющей электрической мощности возможно при использовании более эффективной технологии получения акустических связей между пьезопреобразователем и светозвукопроводом. Двухкоординатная ячейка модулятора-расщепителя прошла полный цикл испытаний в макете ЛДИСа. Результаты испытаний позволяют сделать вывод о применимости кристаллов КРС-5 в качестве светозвукопроводов акустооптических ячеек лазерных доплеровских измерителей скорости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Omachi Y., Uchida N., Niizeki N. Acoustic Wave Propagation in  $\text{TeO}_2$  Single Crystals. — J. Acoust. Soc. Am., 1972, vol 54, p. 164—168.
2. Мاستихин В. М. и др. Акустические характеристики монокристалла КРС-5. — ОМП, 1977, № 8, с. 36.

Поступило в редакцию 22 июня 1977 г.;  
окончательный вариант — 22 января 1980 г.