

УДК 534.24:534.121.1

## АКУСТООПТИЧЕСКИЕ РАСЩЕПИТЕЛИ-СДВИГАТЕЛИ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ДВУХКООРДИНАТНЫХ ЛАЗЕРНЫХ АНЕМОМЕТРОВ

© 1994 г. В. М. Котов, Г. Н. Шкердин

Институт радиотехники и электроники РАН  
141120 г. Фрязино, Моск. обл., пл. Введенского, 1

Поступила в редакцию 07.07.93 г.

Лазерные доплеровские анемометры (ЛДА) – широкий класс приборов, предназначенных для научных и технических исследований, связанных с измерением скорости потоков в жидкостях, газах, перемещениями твердых поверхностей и т.п. Принцип действия ЛДА основан на измерении скорости по доплеровскому сдвигу частоты рассеянного излучения.

Преимущественное использование при конструировании ЛДА нашли дифференциальные схемы [1], в которых зондирующее поле формируется пересечением двух лазерных пучков равной интенсивности. Отличительной особенностью таких схем является независимость измеряемого доплеровского сдвига от направления рассеянного излучения, что, с одной стороны, позволяет выбирать удобные точки наблюдения, а с другой – принимать оптический сигнал в широкой угловой апертуре, увеличивая тем самым чувствительность ЛДА.

Частоту одного из лучей зондирующей пары, как правило, сдвигают на некоторую величину  $f$ ; при этом обеспечивается перемещение интерференционной картины со скоростью  $V_{\text{н}} = df$ , где  $d$  – период интерференционного поля. Это позволяет существенно улучшить отношение сигнал/шум при приеме доплеровского сигнала [1].

Из всех устройств сдвига частоты наиболее оптимальными являются акустооптические (АО) модуляторы. Во многих конструкциях ЛДА модуляторы выполняют сразу две функции: расщепляют исходное оптическое излучение на зондирующие пары и сдвигают их частоту.

В настоящей работе предлагаются новые типы АО модуляторов, которые могут быть положены в основу конструирования двухкоординатных ЛДА.

На рис. 1а показана векторная диаграмма АО взаимодействия в гиротропном кристалле  $\text{TeO}_2$ , являющаяся основой работы одного из таких модуляторов. Падающее монохроматическое излучение с волновым вектором  $k_0$  дифрагирует на акустических волнах  $q_1$  и  $q_2$  в направлении  $k_1$  и  $k_2$  соответственно. При этом одна зондирующая пара образуется лучами  $k_0$  и  $k_1$ , а другая –  $k_0$  и  $k_2$

(вариант трехпучковой схемы). Понятно, что на выходе кристалла направление распространения одного из дифрагированных лучей (например,  $k_1$ ) надо изменить оптическими элементами таким образом, чтобы зондирующие пары лежали во взаимортогональных плоскостях.

В литературе достаточно подробно описан случай, когда  $q_1 = q_2$  (см., например, [2]), при этом  $k_0$  распространяется под нулевым брэгговским углом, дифракция происходит в +1 и –1 порядках. Нами предлагается вариант, когда  $q_1 \neq q_2$ . Обе акустических волны могут генерироваться одним пьезопреобразователем (например, на первой и третьей гармониках), при этом появляется возможность вести независимый прием доплеровского сигнала от каждой зондирующей пары на разных частотах.

Ввиду того что излучения  $k_1$  и  $k_2$  должны находиться в брэгговском синхронизме с  $k_0$ , конкретный выбор величин  $q_1$  и  $q_2$  (а значит, и их акустических частот) зависит существенным образом от вида оптических индикатрис. На основании решения дисперсионного уравнения для одноосных

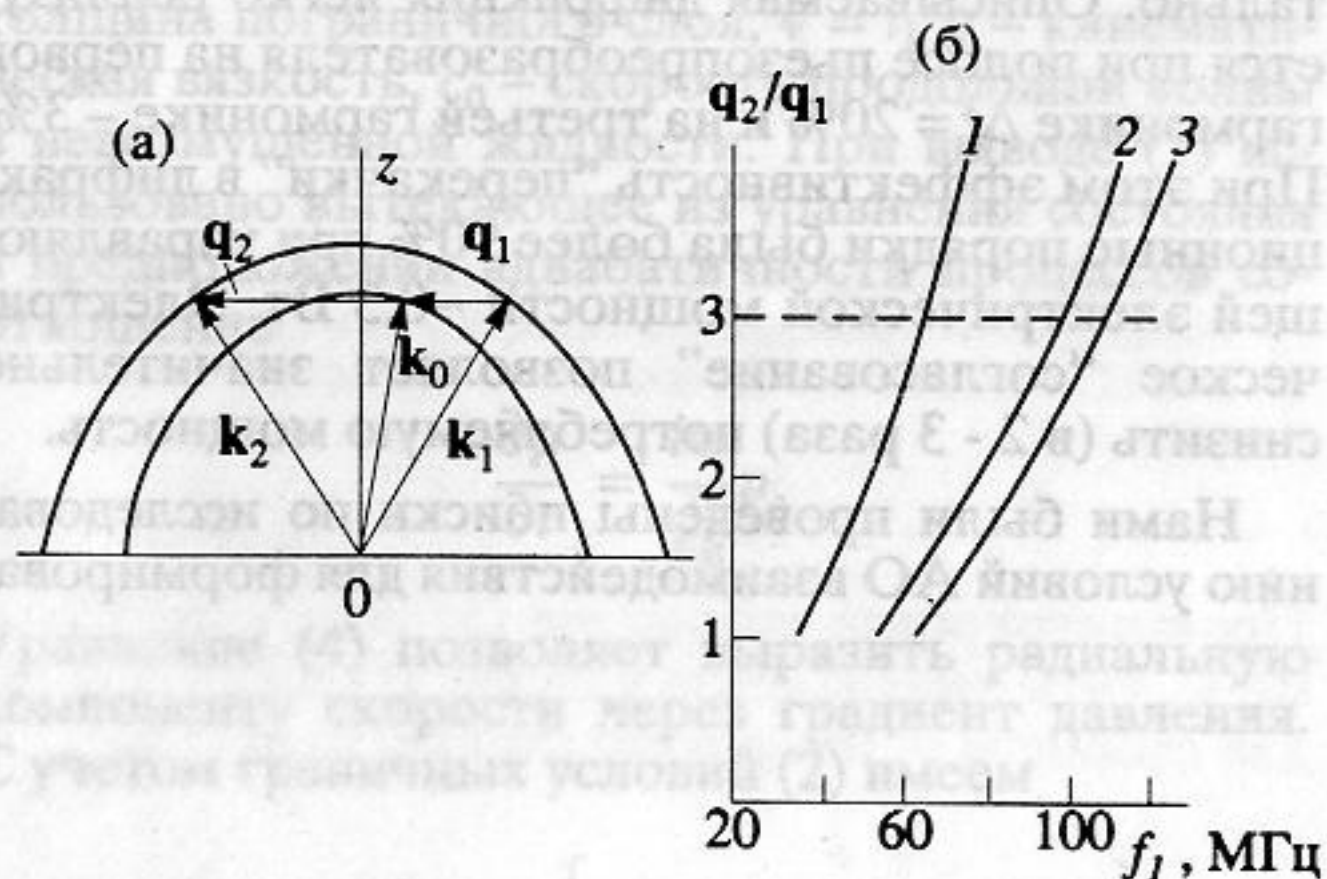


Рис. 1. Формирование двух дифракционных порядков при АО взаимодействии в монокристалле  $\text{TeO}_2$ .

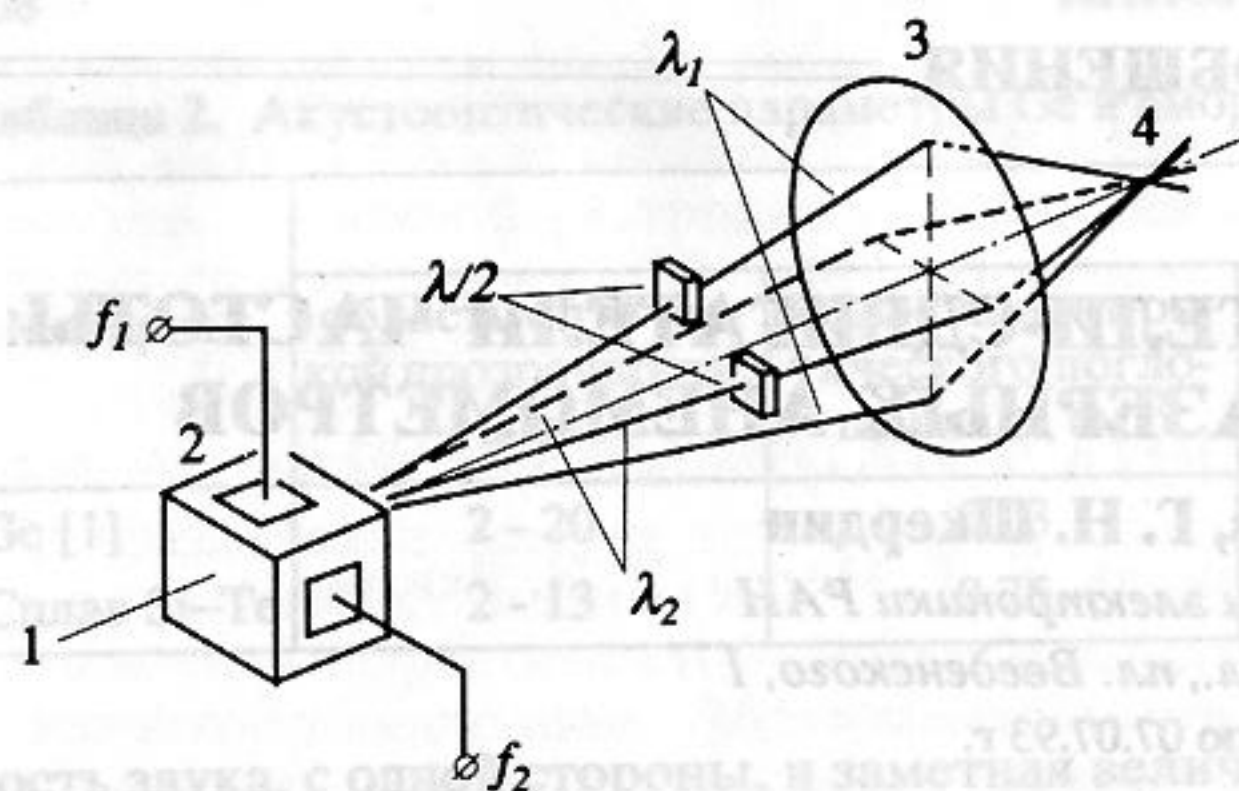


Рис. 2. Оптическая схема двухцветного ЛДА на базе четырех зондирующих лучей: 1 – исходное излучение, 2 – АО модулятор, 3 – фокусирующая линза, 4 – зондирующий объем.

гиротропных кристаллов [3] нетрудно получить их вид:

$$\frac{n_x^2}{2} \left( \frac{1}{n_0^2} + \frac{1}{n_1^2} \right) + \frac{n_z^2}{n_0^2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{n_x^4 \left( \frac{1}{n_0^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)^2 + 4G_{33}^2 n_z^4} = 1,$$

где  $n_x$  и  $n_z$  – проекции показателя преломления на оси  $Ox$  и  $Oz$  кристалла соответственно;  $n_0$  и  $n_1$  – главные показатели преломления одноосного кристалла;  $G_{33}$  – компонента псевдотензора гирации [3].

На рис. 1б показаны зависимости отношения  $q_2/q_1$  от частоты звука  $f_1 = q_1 v / 2\pi$ , где  $v$  – скорость звуковой волны. Здесь предполагается, что волна распространяется вдоль  $[110]$  кристалла  $TeO_2$  со скоростью  $0.6 \times 10^5$  см/с. Кривые 1–3 соответствуют разным значениям длины волны света  $\lambda$ , равным 0.63; 0.5145 и 0.488 мкм соответственно. Из рисунка видно, что  $q_2/q_1 = 3$  реализуется на частотах звука 56, 98 и 110 МГц соответственно. Эти частоты соответствуют третьим гармоникам пьезопреобразователя.

Все три режима были проверены экспериментально. Описываемая дифракция легко реализуется при полосе пьезопреобразователя на первой гармонике  $\Delta f = 20\%$  и на третьей гармонике – 3%. При этом эффективность “перекачки” в дифракционные порядки была более 90% при управляющей электрической мощности  $\sim 0.3$  Вт. Электрическое “согласование” позволяет значительно снизить (в 2–3 раза) потребляемую мощность.

Нами были проведены поиски по исследованию условий АО взаимодействия для формирова-

ния двухцветной четырехпучковой схемы ЛДА, так как именно эти схемы являются наиболее перспективными [1]. Было предложено использовать в таких ЛДА двухкоординатные модуляторы-расщепители (подробнее о таких модуляторах см. [4]). Этот модулятор позволяет формировать зондирующие пары без привлечения дополнительных оптических элементов. На рис. 2 показана оптическая схема, по которой могут быть сконструированы ЛДА. Исходное двухцветное излучение 1 (например, излучение Аг-лазера) направляется непосредственно на двухкоординатный модулятор-расщепитель 2, управляемый электрическими сигналами с частотами  $f_1$  и  $f_2$ . На выходе кристалла образуются четыре дифрагированных луча с длинами волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , причем вертикальная пара содержит только излучение с  $\lambda_1$ , а горизонтальная – только с  $\lambda_2$ . Оптические лучи вертикальной пары сдвинуты на частоту  $2f_1$  относительно друг друга, а горизонтальной пары – на частоту  $2f_2$ . Один из лучей каждой пары пропускается через пластинку  $\lambda/2$  для поворота его поляризации на  $90^\circ$ , что необходимо для получения наиболее контрастной интерференционной картины. Управляющие частоты  $f_1$  и  $f_2$  были равны соответственно 18.9 и 15.2 МГц. Эффективность дифрагированных лучей была не менее 80% падающего излучения.

В заключение отметим, что предложенные типы АО модуляторов показали хорошие характеристики и являются несомненно перспективными для создания двухкоординатных ЛДА по трех- и четырехлучевой оптическим схемам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коронкевич В.П., Соболев В.С., Дубнищев Ю.Н. Лазерная интерферометрия. Новосибирск: Наука, 1983. 212 с.
2. Балакиши В.И., Парыгин В.Н., Чирков Л.Е. Физические основы акустооптики. М.: Радио и связь, 1985. 280 с.
3. Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П. Основы кристаллографии. М.: Наука, 1979. 640 с.
4. Котов В.М. Пятикомпонентный брэгговский расщепитель // Квантовая электроника. 1992. Т. 19. № 10. С. 1038–1040.