АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 1994, том 40, № 2, с. 309 - 310

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

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 $V_н = df$, 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 TeO_2, являющаяся основой работы одного из таких модуляторов. Падающее монохроматическое излучение с волновым вектором $\mathbf{k}_0$ дифрагирует на акустических волнах $\mathbf{q}_1$ и $\mathbf{q}_2$ в направлении $\mathbf{k}_1$ и $\mathbf{k}_2$ соответственно. При этом одна зондирующая пара образуется лучами $\mathbf{k}_0$ и $\mathbf{k}_1$, а другая – $\mathbf{k}_0$ и $\mathbf{k}_2$ (вариант трехпучковой схемы). Понятно, что на выходе кристалла направление распространения одного из дифрагированных лучей (например, $\mathbf{k}_1$) надо изменить оптическими элементами таким образом, чтобы зондирующие пары лежали во взаимоортогональных плоскостях.

В литературе достаточно подробно описан случай, когда $\mathbf{q}_1 = \mathbf{q}_2$ (см., например, [2]), при этом $\mathbf{k}_0$ распространяется под нулевым брэгговским углом, дифракция происходит в +1 и –1 порядках. Нами предлагается вариант, когда $\mathbf{q}_1 \neq \mathbf{q}_2$. 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 $\mathbf{k}_1$ и $\mathbf{k}_2$ должны находиться в брэгговском синхронизме с $\mathbf{k}_0$, конкретный выбор величин $\mathbf{q}_1$ и $\mathbf{q}_2$ (а значит, и их акустических частот) зависит существенным образом от вида оптических индикатрис. На основании решения дисперсионного уравнения для одноосных

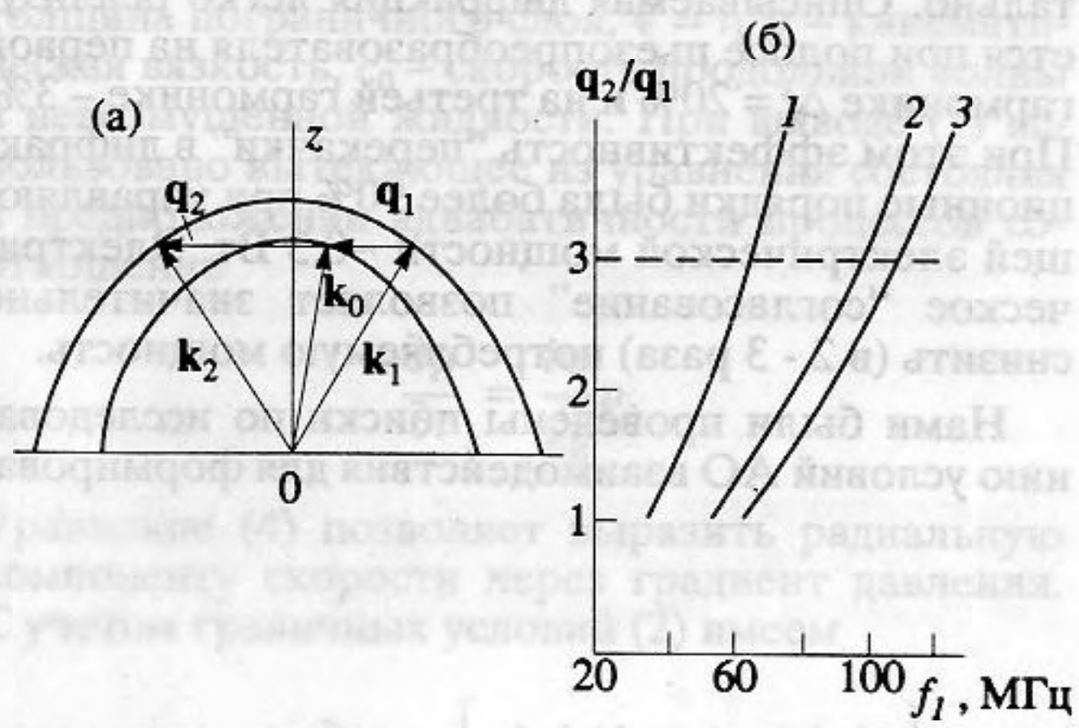

Рис. 1. Формирование двух дифракционных порядков при АО взаимодействии в монокристалле TeO_2.

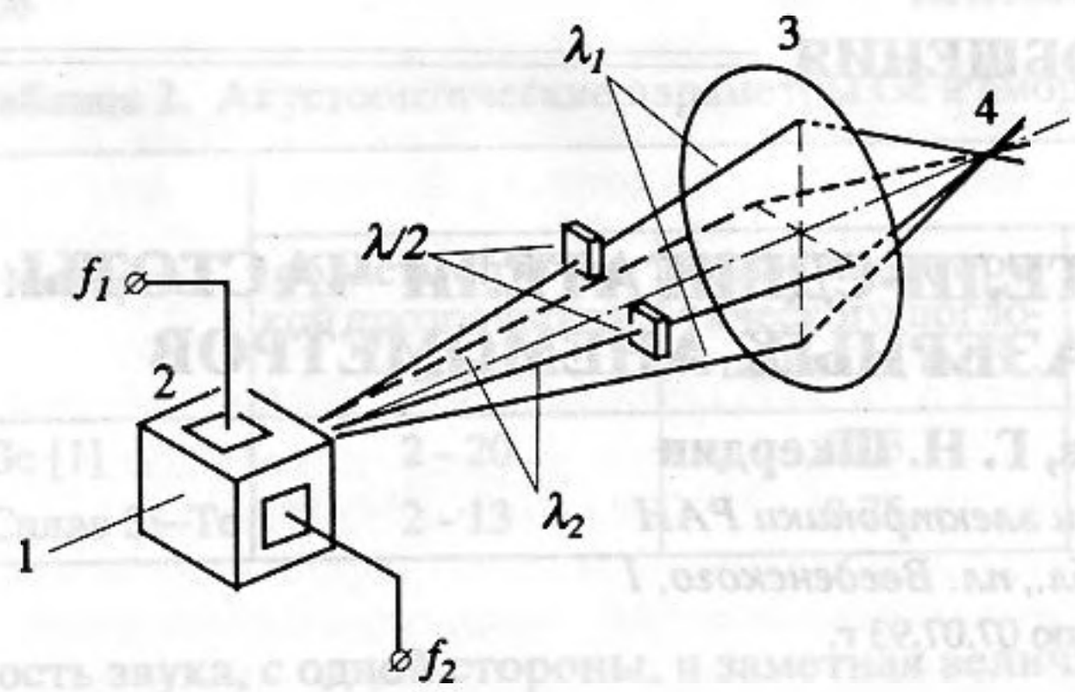

Рис. 2. Оптическая схема двухцветного ЛДА на базе четырех зондирующих лучей: 1 – исходное излучение, 2 – АО модулятор, 3 – фокусирующая линза, 4 – зондирующий объем.

гиротропных кристаллов [3] нетрудно получить их вид:

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

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

На рис. 1б показаны зависимости отношения $\mathbf{q}_2/\mathbf{q}_1$ от частоты звука $f_1 = \mathbf{q}_1 v/2\pi$, где v – скорость звуковой волны. Здесь предполагается, что волна распространяется вдоль [110] кристалла TeO_2 со скоростью 0.6×10^5 см/с. Кривые *1 - 3* соответствуют разным значениям длины волны света Λ, равным 0.63; 0.5145 и 0.488 мкм соответственно. Из рисунка видно,что $\mathbf{q}_2/\mathbf{q}_1 = 3$ 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 ~0.3 Вт. Электрическое "согласование" позволяет значительно снизить (в 2 - 3 раза) потребляемую мощность.

Нами были проведены поиски по исследованию условий АО взаимодействия для формирования 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 Ar-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 Λ_1 и Λ_2, причем вертикальная пара содержит только излучение с Λ_1, а горизонтальная – только с Λ_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°, что необходимо для получения наиболее контрастной интерференциальной 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. *Балакший 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 электрон. 1992. Т. 19. № 10. С. 1038 - 1040.