АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 1994, том 40, № 5, с. 851 - 853

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.375.826.5348

О ВОЗМОЖНОСТИ ВНУТРЕННЕЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

© 1994 г. Г. Н. Яковенко

Акустический институт им. Н.Н. Андреева РАН

117036 Москва, ул. Шверника, 4

Поступила в редакцию 01.09.93 г.

Экспериментальные исследования акустооптических (АО) модуляционных свойств нематических жидких кристаллов (НЖК) обозначили различные аспекты применения этих новых АО материалов. Некоторые из них рассмотрены в работах [1 - 4]. Наиболее существенной представляется возможность использования ЖК ячейки в качестве регистрирующего элемента с одновременным преобразованием акустической информации в оптическую, а также для АО модуляции когерентного и некогерентного излучения.

В работах [5, 6] проводились исследования внутренней амплитудной модуляции лазерного излучения на основе акустически управляемого НЖК. Было показано, что использование ЖК элемента в качестве внутрирезонаторного модулятора лазерного излучения не вносит каких-либо специфических особенностей в закономерности АО процесса и позволяет технически просто получать глубокую (до 100%) модуляцию интенсивности лазерного излучения на частотах от долей герца до 15 кГц. Эти исследования в дальнейшем получили развитие в работе [7], где диапазон частот акустического сигнала был расширен до 200 кГц.

В настоящей работе рассматривается возможность использования НЖК для внутренней частотной модуляции лазерного излучения с акустическим управлением.

На практике управление частотой генерации лазера обычно осуществляется либо за счет сдвига центра спектральной линии активного вещества (эффекты Зеемана или Штарка), либо за счет изменения оптической длины резонатора. Как показано в [8], смещение спектральной линии влияет на генерируемую частоту значительно меньше (~в 100 раз), чем изменение собственной частоты резонатора. Поэтому частотная модуляция лазерного излучения за счет эффектов Штарка и Зеемана малоэффективна; более перспективной является частотная модуляция при изменении оптической длины резонатора. С помощью электрического управления это изменение осуществляют, например, поместив внутрь резонатора лазера электрооптический кристалл или ячейку Керра. Приложенное напряжение изменяет показатель преломления элемента, модулируя оптическую длину резонатора.

Принципы акустического управления параметрами лазера с помощью ЖК модулятора во многом аналогичны. Внесение в резонатор ЖК элемента с переменной оптической длиной пути $l(t) = d(t)n(t)$, где показатель преломления кристалла $n(t)$ или его толщина $d(t)$ изменяются в соответствии с амплитудой и частотой акустического воздействия, приводит в итоге к модуляции оптической длины резонатора в целом. Высокая чувствительность такого модулятора обусловлена свойствами мезофазы: сочетанием подвижности жидкости со значительной оптической анизотропией среды. Могут быть использованы кристаллы с различной ориентацией молекул и реализованы разнообразные механизмы, приводящие к модуляции оптической длины слоя: например, ЖК с нормальной (или наклонной) исходной ориентацией, в котором оптическая длина пути изменяется за счет осцилляций оптической оси под действием акустических колебаний; или планарный ЖК элемент, с оптической осью в плоскости слоя, толщина которого изменяется по закону акустического воздействия. ЖК элемент предпочтительно располагать в резонаторе таким образом, чтобы исключить появление ортогональной компоненты поляризации, независимо от наличия или отсутствия управляющего воздействия. Для этого оптическая ось кристалла должна располагаться в плоскости поляризации лазерного излучения, как и направление индуцированного отклонения ее под действием звука. Такое расположение удобно тем, что, во-первых, вносит минимальные потери в резонатор и, во-вторых, при этом отсутствует амплитудная модуляция лазерного излучения.

В качестве примера рассмотрим один из возможных вариантов реализации такого модулятора с использованием нормальной ориентации молекул, в котором изменение оптической толщины слоя происходит за счет изменения его показателя преломления в результате периодических сдвиговых деформаций и ориентационных ос-

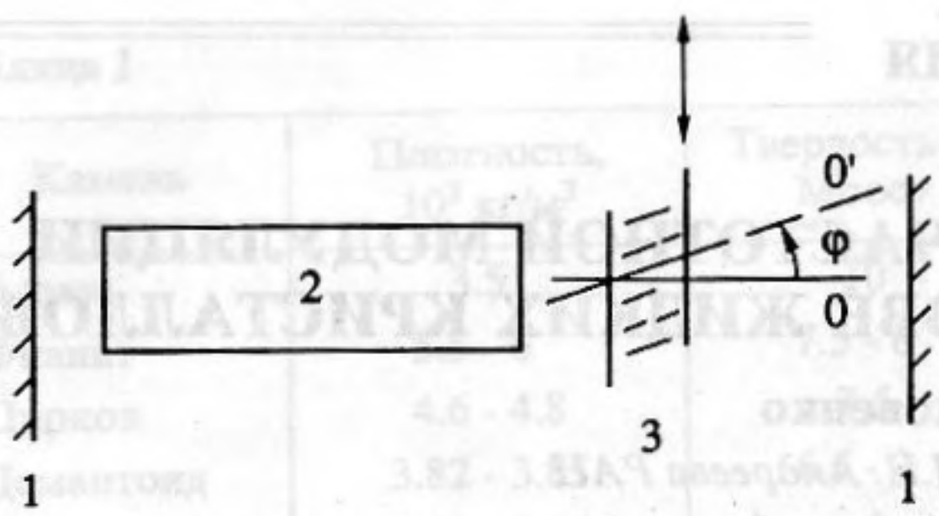

Схема внутренней частотной модуляции с использованием акустически управляемого ЖК элемента: 1 – зеркало резонатора, 2 – активный элемент, 3 – слой ЖК с гомеотропной ориентацией.

цилляций оптической оси НЖК под действием акустических колебаний. Частотный диапазон модуляции, в пределах которого происходят однородные сдвиговые деформации, определяется соотношением:

$$K_3/\eta d^2 \ll \Omega \ll \eta/\rho d^2$$

(длина вязкой волны в НЖК больше, а длина ориентационной волны меньше толщины слоя). Здесь η – вязкость, ρ – плотность, Ω – частота колебаний, K_3 – упругая постоянная Франка. При этих условиях реализуется осциллирующий поток с линейным профилем, а угол поворота директора (и оптической оси) определяется смещением пластины ξ [4]: $\varphi(t) \simeq \xi(t)/d$. Известно [8], что изменение показателя преломления модулирующей среды на Δn смещает частоту генерируемого излучения на

$$\Delta\omega = \frac{2\pi c d}{\lambda L}\Delta n,$$

где L – длина оптического резонатора, c – скорость света в вакууме, λ – длина волны оптического излучения. Если, например (рисунок), акустическое воздействие на кристалл осуществляется посредством колебаний подложки гомеотропно ориентированного слоя НЖК в собственной плоскости с амплитудой ξ_0 и частотой Ω по закону $\xi(t) = \xi_0 \sin\Omega t$ (толщина слоя ЖК неизменна), то разность показателей преломления в направлении нормали к слою вследствие осцилляций оптической оси можно записать в виде:

$$\Delta n(t) \simeq \Delta n_0 \sin^2\varphi(t) = \Delta n_0\left(\frac{\xi(t)}{d}\right)^2 = \Delta n_0 \frac{\xi_0^2}{d}\sin^2\Omega t,$$

где φ – угол между оптической осью НЖК и направлением распространения оптического излучения. Такое изменение показателя преломления ЖК внутри резонатора приводит к смещению частоты

$$\Delta\omega_0 = \frac{2\pi c \xi_0^2}{\lambda L d}\Delta n_0. \quad (1)$$

По оценке для кристалла типа МББА ($\Delta n_0 = 0.2$) толщиной $d = 10^{-2}$ см, при $L = 10^2$ см на длине волны $\lambda = 0.6$ мкм, девиация частоты может составить $\sim 2\pi \times 10^6$ Гц при амплитуде колебаний $\xi_0 = 1$ мкм. Эта величина не уступает реальным значениям, получаемым при использовании электрооптического кристалла KDP [8].

Использование ЖК элемента налагает определенные ограничения на величину плотности мощности излучения. С одной стороны эти ограничения обусловлены возникновением дополнительных потерь при внесении ЖК элемента, с другой – возможностью развития нелинейно-оптических светоиндуцированных явлений в НЖК (светоиндуцированного перехода Фредерикса, самофокусировочных процессов) [9]. Дополнительные потери вызваны главным образом внесением стеклянных пластин, ограничивающих ЖК; собственная толщина ЖК слоя, прозрачного в нематической фазе, не превышает нескольких десятков микрон. Верхний предел допустимых значений плотности мощности излучения определяется, по-видимому, порогом развития нелинейных процессов. В частности, для рассмотренного выше случая ячейки с гомеотропно ориентированным НЖК при нормальном падении линейно поляризованного светового пучка с поперечным размером, превышающим толщину слоя, пороговая плотность мощности составляет [10]

$$P_{\text{пор.}} = \frac{\pi^2}{d}\frac{K_3 c \varepsilon_\parallel}{(\varepsilon_\parallel - \varepsilon_\perp)\,\varepsilon_\perp^{1/2}} \text{ [эрг/см}^2\text{ с]},$$

т.е. определяется толщиной слоя и типом ЖК (константами упругости и диэлектрической анизотропией $\Delta\varepsilon = \varepsilon_\parallel - \varepsilon_\perp$ на частоте излучения). Температурный режим работы такого модулятора зависит от температурного диапазона существования нематической фазы ЖК, может быть достаточно широк, и также определяется выбором ЖК материала.

Проведенные оценки показывают, что использование АО ЖК элемента внутри резонатора позволяет изменять не только амплитуду, но и частоту излучения, а варьирование параметрами модулятора вносит дополнительные возможности в управление генерацией. Из выражения (1) следует, что возможно управление режимом модуляции путем подбора параметров модулятора (d, φ, Δn_0) или внешнего воздействия (Ω, ξ_0). Отметим, в частности, что в рассмотренном примере частота модуляции вдвое превышает частоту акустического воздействия. Следует иметь в виду, однако, что неискаженный частотно-модулиро-

ванный сигнал может быть получен лишь при модуляции одномодового излучения, поскольку присутствие нескольких мод приводит к сильному искажению спектра выходного сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Королев Ю.Н., Яковенко Г.Н.* Акустооптическая модуляция при периодической деформации жидкокристаллического слоя // Акуст. журн. 1977. Т. 23. № 5. С. 783 - 787.
2. *Виноградова Э.Л., Капустина О.А., Решетов В.Н., Свет В.Д., Яковенко Г.Н.* Исследование характеристик оптического микрофона на нематических жидких кристаллах // Акуст. журн. 1985. Т. 31. № 1. С. 17 - 21.
3. *Решетов В.Н., Сытин И.В., Яковенко Г.Н.* Оптические датчики давления на жидких кристаллах // Вопр. судостроения. 1985. Т. 20. Сер. акустика. С. 59 - 68.
4. *Капустина О.А., Решетов В.Н., Яковенко Г.Н.* Жидкокристаллические элементы для регистрации и обработки акустических сигналов. М.;Л.: Румб, 1985. С. 113.
5. *Белова Г.Н., Королев Ю.Н., Яковенко Г.Н.* Внутрирезонаторная модуляция интенсивности излучения лазеров на основе акустооптических эффектов в жидких кристаллах // Квантовая электроника. 1983. Т. 10. № 4. С. 851 - 854.
6. *Белова Г.Н., Ремизова Е.И., Яковенко Г.Н.* Об использовании акустооптических эффектов в жидких кристаллах для управления интенсивностью излучения лазеров // Матер. XI Всес. конф. по акустоэлектронике и квантовой акустике. Душанбе: Дониш, 1981. Ч. 1. С. 189 - 190.
7. *Белова Г.Н., Ремизова Е.И.* Модуляция интенсивности лазерного излучения при высокочастотной продольной деформации нематического жидкого кристалла // Матер. X Всес. акуст. конф. М.: АКИН, 1983. С. 36 - 39.
8. *Мустель Е.Р., Парыгин В.Н.* Методы модуляции и сканирования света. М.: Наука, 1970. С. 295.
9. *Зельдович Б.Я., Пилипецкий Н.Ф., Сухов А.В., Табирян Н.В.* Гигантская оптическая нелинейность в мезофазе НЖК // Письма в ЖЭТФ. 1980. Т. 31. № 5. С. 287 - 292.
10. *Зельдович Б.Я., Табирян Н.В., Чилингарян Ю.С.* Переход Фредерикса в световом поле (теория) // Тез. докл. IV межд. конф. по ЖК. Тбилиси, 1981. Т. 1. С. 421 - 422.