

В таком режиме работы интерферометра образуется только один радиочастотный сигнал с частотой Ω , но в фазу сигнала не вносятся искажений и при $R_1 = 1/3$, $R_2 = 1$ реализуется максимальная амплитуда сигнала $B = 0,77$ и глубина модуляции $M = 0,99$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Forrester A. T., Gudmundsen R. A., Johnson P. O. Photoelectric mixing of incoherent light // Phys. Rev.— 1955.— V. 99, N 5.
2. Росс М. Лазерные приемники.— М.: Мир, 1969.
3. Кулеш В. П., Орлов А. А. Применение оптического гетеродинамирования в интерферометрических исследованиях газовых потоков // Опт.-мех. пром-сть.— 1973.— № 1.
4. Борн М., Вольф Э. Основы оптики.— М.: Наука, 1970.
5. Мустель Е. Р., Парыгин В. Н. Методы модуляции и сканирования света.— М.: Наука, 1970.
6. Сороко Л. М. Основы голографии и когерентной оптики.— М.: Наука, 1971.

Поступила в редакцию 13 января 1986 г.

УДК 535.89 : 621.373

Е. Г. ДАУРКИН, В. И. СЕМЕНОВ, Д. В. ШЕЛОПУТ

(Новосибирск)

АКУСТООПТИЧЕСКИЙ СИНХРОНИЗАТОР МОД С ПОВЫШЕННОЙ ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТЬЮ

В настоящее время для получения сверхкоротких импульсов света (СКИ) широко используется акустооптическая синхронизация мод лазеров [1—2]. Для этого в резонатор лазера помещают акустооптический синхронизатор мод (АОСМ), который представляет собой амплитудный модулятор на стоячей волне. Он состоит из светозвукопровода с двумя плоскопараллельными гранями, которые образуют резонатор для звуковой волны, и пьезопреобразователя, крепящегося каким-либо способом на одной из граней резонатора.

Для осуществления эффективной синхронизации мод АОСМ должен обладать достаточной глубиной модуляции (необходимой для получения СКИ с заданными параметрами), вносить минимум потерь в открытом состоянии и обеспечивать стабильность параметров генерируемых СКИ. К требованиям практического характера относятся: малая потребляемая мощность, высокая лучевая стойкость, простота изготовления, малая стоимость. В связи с этим для АОСМ очень критичен выбор материала светозвукопровода.

Традиционный критерий при выборе материала светозвукопровода — высокое значение коэффициента акустооптической добротности M_2 , который характеризует эффективность взаимодействия света со звуком. Однако в устройствах на стоячей волне эффективность дифракции можно повысить за счет высокой добротности акустического резонатора. Поэтому для АОСМ M_2 не является определяющим параметром при выборе материала светозвукопровода. Определяющее значение для такого рода устройств имеет оптическое качество, а также температурные характеристики материала. Наличие затухания звука приводит к тому, что в ультразвуковом поле наряду со стоячей волной присутствует и бегущая [3]. Дифракция света на бегущей волне не способствует модуляции интенсивности проходящего светового пучка, но вносит потери излучения. Эти потери растут одновременно с ростом глубины модуляции. Так как АОСМ — внутрирезонаторный элемент, то потери при прохождении через него светового пучка должны быть минимальными.

Увеличение потерь повышает порог генерации, в результате чего снижается мощность лазерного излучения, а в режиме синхронизации мод увеличивается длительность импульса.

Вследствие того что АОСМ является высокодобротным акустическим резонатором, расстройка между частотой резонанса и частотой подаваемого на пьезопреобразователь электрического сигнала приводит к снижению глубины модуляции. В акустическом резонаторе изменение частоты резонанса возникает при температурном изменении длины резонатора и скорости распространения звука. Поскольку модулятор работает в полосе узких акустических резонансов, а размещение АОСМ внутри резонатора лазера вызывает его значительный нагрев, возникает необходимость температурной стабилизации акустооптической ячейки [4]. Допустимый уход температуры составляет

$$\Delta T = \Delta f / f_0 \delta_f,$$

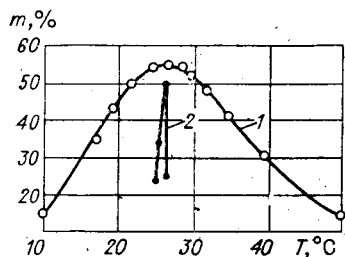
где f_0 — частота модуляции; Δf — полуширина резонансной линии по некоторому заданному уровню, величина которого определяется из требований к стабильности параметров выходного излучения; δ_f — температурный коэффициент частоты (ТКЧ), равный разности температурных коэффициентов скорости звука (ТКС) и линейного расширения (КТР) материала светозвукопроводов: $\delta_f = \delta_v - \delta_L$. Поэтому для светозвукопроводов АОСМ предпочтительны материалы с малым ТКЧ, особенно при высокой добротности акустического резонатора.

Таким образом, для изготовления светозвукопроводов АОСМ требуются материалы, обладающие низкими оптическими и акустическими потерями, малым ТКЧ и по возможности более высокой акустооптической добротностью.

В настоящее время широко используются АОСМ на основе светозвукопроводов из плавленного кварца. Этот материал обладает высоким оптическим совершенством, малым акустическим затуханием. Однако основным недостатком, усложняющим его использование в АОСМ, является большой температурный коэффициент скорости звука $\delta_v = 116 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ [5], определяющий ТКЧ резонатора. Так, например, на рабочей частоте 125 МГц уход частоты составляет 14,5 кГц/град. В то же время полоса частот различных АОСМ на этой частоте лежит в пределах 10—140 кГц. Поэтому АОСМ на основе плавленного кварца требуют достаточно жесткой внешней термостабилизации. Работа на низкочастотном склоне характеристики снижает требования к системе термостабилизации [4], но не решает проблемы в целом. В связи с этим актуален поиск материалов, характеризующихся повышенной термостабильностью.

Высоким оптическим качеством обладают стеклообразные материалы. Потери света в стекле определяются поглощением (превращением света в тепло) и рассеянием на микронеоднородностях (выходом света за пределы оптического резонатора). Для оптического стекла среднего качества потери на рассеяние на 1—2 порядка меньше потерь на поглощение, которые и определяют его пропускание. Для большинства промышленных стекол коэффициент поглощения имеет величины $(2-4) \cdot 10^{-3}$ см⁻¹ [6]. Так как поглощение зависит от длины световой волны, то при выборе стекла для АОСМ необходимо учитывать его спектральную характеристику. К достоинствам стекла можно отнести также следующие: возможность получения образцов большого размера, низкую стоимость, простоту изготовления. Стекла представляют собой многокомпонентные системы (число компонент $n > 1$). Их свойства сильно зависят от состава и соотношения компонент. Поэтому имеется принципиальная возможность создания стеклообразных материалов с заданными свойствами.

Известно, что стекла, богатые кремнеземом, имеют большой положительный ТКС [7]. С другой стороны, большой положительный вклад в ТКС SiO₂ можно скомпенсировать отрицательным вкладом некоторых



окислов-модификаторов: PbO , K_2O , BaO [8]. Таким образом, в системе $SiO_2-PbO-K_2O-BaO$, которая составляет основу промышленных стекол, могут быть получены составы с малым ТКС, зависящим от соотношения между компонентами.

Для исследования акустооптических свойств и ТКС был выбран ряд промышленных стекол с содержанием в них двуокиси кремния от 90 до 60 мольных процента. Так

как КТР в оксидных стеклах при комнатных температурах, как правило, положителен и не превышает значений $1 \cdot 10^{-5}$ град $^{-1}$, то для получения близких к нулю значений ТКЧ необходимо, чтобы ТКС стекла был положителен и его величина имела значение примерно $1 \cdot 10^{-5}$ град $^{-1}$. В результате исследований был выявлен ряд кронов и флинтов, имеющих достаточно низкие коэффициенты поглощения света и обладающих повышенной термостабильностью. Основные характеристики некоторых из них приведены в таблице. Акустооптическая добротность указанных стекол в 1,5—3,5 раза больше, чем у плавленого кварца. Это обстоятельство позволяет в ряде случаев снизить мощность подаваемого на пьезопреобразователь сигнала. Большая, чем у плавленого кварца, величина акустического затухания не оказывает существенного влияния на параметры АОСМ на частотах до 100 МГц.

На рисунке показана зависимость глубины модуляции от температурных расстройек резонансной частоты для АОСМ на основе стекла ЛКЗ (кривая 1) и для промышленного АОСМ МЛ-202 на основе плавленого кварца (кривая 2). Измерения проводились на длине волны 1,06 мкм. Ширина полосы частот акустического резонанса у обоих модуляторов равнялась ~ 50 кГц. АОСМ настраивались на резонансную частоту 125 МГц при температуре 27°C. Глубина модуляции доводилась до величины $\sim 50\%$, а затем контролировалось ее изменение в зависимости от температурных расстроек. Мощность управляющего электрического сигнала для обоих модуляторов равнялась 2 Вт. Как следует из рисунка, АОСМ на основе ЛКЗ может работать в широком интервале температур ($\pm 15^\circ C$ по уровню 0,5) без дополнительной термостабилизации.

Таким образом, среди промышленных оптических стекол существуют термостабильные стекла с хорошими оптическими и акустическими свойствами, которые могут быть использованы в качестве светозвукопроводов АОСМ.

Марка стекол	Акустооптические свойства					
	Скорость звука, $\times 10^{-3}$ м/с	Акустооптическая добротность, $\times 10^{15} c^3/kg$ ($\lambda=0,63$ мкм)	Акустические потери, дБ/см ($f=100$ МГц)	Показатель ослабления света, $\times 10^5$ см $^{-1}$ ($\lambda=0,546$ мкм)	Температурные коэффициенты, $\times 10^6$ град $^{-1}$	
					КТР	ТКС
ЛК 3	5,45	2,06	1,8	180	9,2	11
БК 10	5,27	2,8	1,9	50	7,0	-1,3
ТК 12	5,66	2,3	2,6	100	6,5	9
ТФ 3	3,89	5,6	1,6	50	8,3	-15,6
Плавленый кварц	5,96	1,51	0,12	100	0,5	116

ЛИТЕРАТУРА

1. Голяев Ю. Д., Лантратов С. В. Активная синхронизация мод непрерывных лазеров на гранате с неодимом // Квантовая электрон.— 1983.— Т. 10, № 5.
2. Безаева Л. Г., Копцов Л. К., Ланда П. С., Холодных А. И. Синхронизация мод в YAG: Nd³⁺-лазере при модуляции потерь // Опт. и спектр.— 1985.— Т. 59, № 3.
3. Yao S. K., Tsai C. S. Acoustooptic Bragg diffraction with application to ultrahigh data rate laser communication systems // Appl. Opt.— 1977.— V. 16, N 11.
4. Магдич Л. Н., Сасов В. Н., Шницер П. И. О температурном режиме акустооптического синхронизатора мод // Электрон. техника, сер. 10. Квантовая электрон.— 1975.— № 1.
5. Uramura T. An ultrasonic study of some optical glasses // Jap. J. Appl. Phys.— 1967.— V. 6, N 7.
6. Физико-химические основы производств оптического стекла/Под ред. Л. И. Демкиной.— Л.: Химия, 1976.
7. Кульбицкая М. Н., Шутилов В. А. Ультразвуковые исследования стекол // Акуст. журн.— 1976.— Т. XXII, № 6.
8. Deeg E. Zusammenhang zwischen Einbau und mechanischakustischen Eigenschaften silicat glaser // Glastechn. Ber.— 1957.— Bd 34, N 1—6.

Поступила в редакцию 25 марта 1986 г.

УДК 535.241.13 : 534

А. В. ТРУБЕЦКОЙ
(Новосибирск)

МНОГОЧАСТОТНОЕ АКУСТООПТИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В АНИЗОТРОПНОЙ СРЕДЕ

Введение. Дифракция света на множестве акустических волн с разными частотами применяется в акустооптических дефлекторах-модуляторах (АОДМ) света, предназначенных для устройств параллельной записи данных [1], обработки радиосигналов [2], лазерной записи изображений [3] и других.

Особенностью данного вида акустооптического взаимодействия является наличие эффектов повторного рассеяния первичных (сигнальных) дифрагированных световых пучков с образованием интермодуляционных (шумовых) световых пучков. Кроме того, наблюдается эффект взаимодействия (кросс-модуляция) сигнальных пучков. Количественная оценка влияния этих эффектов проводилась в [4] для случая дифракции в оптически изотропной среде. Однако для анизотропных сред с широкополосной геометрией взаимодействия, таких как кристаллы парателлуриата (TeO₂) [5, 6], ниобата лития и другие, указанные оценки не применимы. Дело в том, что в этих средах существует значительная асимметрия в условиях фазового согласования волн для 0-го и 1-го порядков дифракции, в результате чего дифракция света из 0-го порядка в 1-й возможна в широкой полосе акустооптических частот, а обратная дифракция узкополосна. Последнее необходимо учитывать при оценке эффектов многочастотной дифракции. Целесообразно рассмотреть наиболее часто применяемый на практике случай большого числа акустооптических частот ($N > 2$), который ранее был изучен недостаточно.

В данной работе получена система дифференциальных уравнений, описывающая брэгговскую многочастотную дифракцию света в анизотропной среде. На основе приближенного решения системы для большого числа частот найдены выражения для интенсивностей сигнальных и шумовых дифрагированных световых пучков. Проведены расчеты параметров дифракции: дифракционной эффективности, кросс-модуляции, отношения сигнал — интермодуляционный фон, которые позволяют вы-