

и $\nu_0 \approx 100 \text{ см}^{-1}$, находим $\Delta \approx 13 \text{ см}^{-1}$. Даже в приближении (1) эта оценка хорошо согласуется с опытом (наблюдаемая ширина этой линии в спектре КР составляет около 18 см^{-1}). Таким образом, мы получили веское подтверждение выводов, сделанных в ряде работ Коршунова и автора, о том, что главный вклад в ширину линий спектров малых частот кристаллов дает ангармонизм (нелинейность) решеточных колебаний.

В заключение отметим, что методом Фурье легко учесть также влияние таких факторов, как конечная длительность колебаний осциллятора, обусловленная, например, столкновениями, учесть затухание колебаний и т. п.

Литература

- [1] А. Ф. Бондарев. Автореф. канд. дисс., Красноярск, 1963.
- [2] А. В. Коршунов, А. Ф. Бондарев. Опт. и спектр., 15, 182, 1963.
- [3] А. Ф. Бондарев. Опт. и спектр., 41, 1065, 1976.
- [4] K. S. Viswanathan. Proc. Ind. Acad. Sci., 46A, 203, 1957.
- [5] Н. Н. Боголюбов, Ю. А. Митропольский. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. Физматгиз, М., 1963.
- [6] А. Н. Малахов. Флуктуации в автоколебательных системах. «Наука», М., 1968.
- [7] К. Крендалл. Тр. V Междунар. конф. по нелинейным колебаниям, 21. Киев, 1970.
- [8] А. В. Раков. Автореф. канд. дисс., ФИАН СССР, М., 1962.

Поступило в Редакцию 28 июня 1979 г.

УДК 535.89

СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ СВЕТА НА КУБИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ ZnS

В. А. Кузнецов, Э. В. Нестерова, Ю. В. Попов
и А. А. Штернберг

В работе [1] показано, что для осуществления сверхвысокочастотной электрооптической модуляции перспективными являются кристаллы кубической структуры и, в частности, кристаллы селенида цинка (ZnSe). В первую очередь это связано с тем, что в таких кристаллах отсутствует естественная анизотропия, что увеличивает апертуру модулятора и упрощает его оптическую схему. Кроме того, кубические кристаллы обладают лучшей согласованностью их с СВЧ элементами и, следовательно, наиболее эффективное использование электрических полей для управления электрооптическим эффектом.

К сожалению, кристаллы селенида цинка имеют в коротковолновой области спектра край полосы поглощения на $\lambda = 0.49 \text{ мкм}$ и не могут быть использованы для модуляции оптического излучения с длиной волны менее 0.5 мкм . Необходимость в модуляции коротковолновой области спектра возникает, например, при разработке высокочастотных светоделителей, основанных на дисперсионном методе определения среднего на измеряемой дистанции показателя преломления воздуха n_0 .

Настоящее исследование посвящено возможности применения для СВЧ модуляции света прозрачных в области $0.4 \div 12 \text{ мкм}$ кристаллов сфалеритов — синтетического аналога природных кубических кристаллов сульфида цинка, выращенных гидротермальным методом в Институте кристаллографии АН СССР [2, 3].

В работе [4] показано, что реализация преимуществ кубических кристаллов в ряде случаев затрудняется наличием различных дефектов, присущих данному классу кристаллов. Наиболее характерным дефектом

является двойникование кристаллов в процессе роста и наличие существенного фотоиндуцированного двойного лучепреломления. Наличие фотоэффекта приводит к увеличению полуволнового напряжения в статических электрических полях, что связано с экранировкой внешнего поля фотоиндуцированными носителями зарядов, скапливающихся на границе освещенной и неосвещенной частей кристалла.

Проведенные экспериментальные исследования кристаллов сульфида цинка показали, что описанные выше явления имеют место при частотах модуляции менее 10^6 Гц. При более высоких частотах зависимость управляющего напряжения от интенсивности света практически не наблюдается вплоть до плотности световой энергии 2 Вт/см^2 для длины волны оптического излучения 0.44 мкм , что делает перспективным их применение для СВЧ модуляции света.

Исследование кристаллов сульфида цинка в СВЧ диапазоне осуществлялось в СВЧ резонаторе на частоте модуляции 900 МГц для различных длин волн оптического излучения: $0.44, 0.53, 0.63$ и 1.06 мкм . Изучены образцы кристаллов с размерами $2 \times 2 \times 6 \text{ мм}$ соответственно вдоль кристаллографических осей $[001]$, $[1\bar{1}0]$ и $[110]$. Оптическое излучение распространялось вдоль оси $[1\bar{1}0]$. Мощность СВЧ сигнала составляла $\approx 1 \text{ Вт}$. Для сравнения эффективности модуляции кристаллов ZnS проведено исследование аналогичных образцов кристаллов селенида цинка в идентичных условиях.

Для обоих типов кристаллов теоретически рассчитаны и экспериментально измерены коэффициенты модуляции m и глубина модуляции M_ω . Коэффициент модуляции m при использовании поперечного электрооптического эффекта может быть представлен в виде

$$m = \frac{\pi}{\lambda} n^3 r_{41} \frac{l}{d} \bar{u}, \quad (1)$$

где n — показатель преломления кристалла, l/d — отношение продольного и поперечного размеров кристалла, r_{41} — электрооптический коэффициент, $\bar{u}$ — эффективное напряжение, действующее на кристалле в резонаторе с учетом ограничения, накладываемого на его величину временем распространения света в кристалле и равное [5]

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{PQ}{\pi f c} \frac{\sin \frac{2\pi n l}{\lambda_m}}{\frac{2\pi n l}{\lambda_m}}}, \quad (2)$$

где P — СВЧ мощность, поступающая в резонатор, Q — добротность резонатора с кристаллом, f — частота модуляции, c — емкость зазора между резонатором и кристаллом, λ_m — длина волны модуляции.

Так как исследование обоих кристаллов осуществлялось практически в одном резонаторе, то можно считать, что отношение добротностей резонатора с кристаллом ZnS и ZnSe определяется отношением их тангенсов угла потерь. Тогда отношение коэффициентов модуляции для кристаллов ZnS и ZnSe с учетом формулы (2) можно представить в виде

$$\frac{m_{\text{ZnS}}}{m_{\text{ZnSe}}} = \frac{(n^3)_{\text{ZnS}} (r_{41})_{\text{ZnS}}}{(n^3)_{\text{ZnSe}} (r_{41})_{\text{ZnSe}}} \sqrt{\frac{(\text{tg } \delta \varepsilon n)_{\text{ZnSe}} K'}{(\text{tg } \delta \varepsilon n)_{\text{ZnS}} K''}} \frac{\left[\frac{\sin \frac{2\pi n l}{\lambda_m}}{\frac{2\pi n l}{\lambda_m}} \right]_{\text{ZnS}}}{\left[\frac{\sin \frac{2\pi n l}{\lambda_m}}{\frac{2\pi n l}{\lambda_m}} \right]_{\text{ZnSe}}}, \quad (3)$$

где ε — диэлектрическая проницаемость кристаллов; K' , K'' — коэффициенты, учитывающие согласование модулятора и генератора.

В соответствии с формулой (3) был проведен расчет отношения $m_{\text{ZnS}}/m_{\text{ZnSe}}$, которое оказалось равным 0.7. Для характеристики кристалла, используемого в качестве электрооптического модулирующего элемента, существенным параметром является не только коэффициент или глубина модуляции, но и прозрачность кристалла τ_λ для данной длины волны. Поэтому эффективность кристалла определялась величиной произведения $M_\omega \tau_\lambda$. Экспериментально пропускание измерялось на непросветленных образцах. Результаты расчета и эксперимента представлены в таблице. Из таблицы видно, что кубические кристаллы ZnS наряду с кристаллом селенида цинка могут эффективно использоваться во всей видимой и ближней ИК области спектра. Взаимный учет глубины модуляции и оптических потерь в исследованных кристаллах показывает, что с уменьшением длины волны света более эффективными становятся кристаллы ZnS.

λ , мкм		ZnS		ZnSe	
		расчет	эксперимент	расчет	эксперимент
0.44	M_ω , %	29	31	—	—
	$M_\omega \tau_\lambda$, %	15	16	—	—
0.53	M_ω , %	26	28	39	40
	$M_\omega \tau_\lambda$, %	16	17	16	16
0.63	M_ω , %	23	22	33	30
	$M_\omega \tau_\lambda$, %	17	18	23	21
1.06	M_ω , %	11	10	20	17
	$M_\omega \tau_\lambda$, %	8	7.5	15	13

Литература

- [1] И. И. Адрианова, З. В. Нестерова, В. С. Русецкая. Квант. электрон., № 7, 81, 1972.
- [2] А. А. Штернберг. Исследование процессов кристаллизации в гидротермальных условиях. «Наука», М., 1970.
- [3] В. А. Кузнецов, А. Н. Лобачев. Тр. IV Всесоюзн. совещ. по росту кристаллов, ч. II, 196. Ереван, 1972.
- [4] А. А. Бережной. ФТТ, 16, 599, 1974.
- [5] И. И. Адрианова, З. В. Нестерова. Опт. и спектр., 28, 566, 1970.

Поступило в Редакцию 2 июля 1979 г.

УДК 621.373 : 535+535.39

О ВЕЛИЧИНЕ УСИЛЕНИЯ СВЕТА ПРИ ВНУТРЕННЕМ ОТРАЖЕНИИ ОТ ИНВЕРТИРОВАННОЙ СРЕДЫ

С. А. Лебедев и Б. Я. Коган

Аномально большое усиление света при внутреннем отражении от среды с инверсией населенности было обнаружено в 1972 г. [1], однако до сих пор нет единой точки зрения на физический механизм этого явления [2-5]. В значительной степени это объясняется недостаточностью экспериментального материала. В настоящей работе представлены результаты экспериментов по исследованию влияния различных факторов на величину коэффициента отражения света от инвертированной среды.