

06.3;07

©1994

ДВУХПУЧКОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НА ФОТОРЕФРАКТИВНЫХ РЕШЕТКАХ В ПЛАНАРНОМ ВОЛНОВОДЕ $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}/\text{Bi}_{12}\text{O}_{20}$

*Ю.Ф.Каргин, Ю.Р.Саликаев,
С.М.Шандаров, И.В.Цисарь*

Кристаллы селенитов $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ и $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ обладают сильной фоторефрактивной нелинейностью, что позволяет наблюдать в них различные виды взаимодействий световых волн [1]. Эффективность взаимодействия повышается в оптических волноводах благодаря сильной концентрации световой мощности [2-4]. Хотя оптические волноводы на основе селенитов описаны в значительном числе работ [5-12], о взаимодействиях света на фоторефрактивной нелинейности в таких волноводах не сообщалось.

В данном письме сообщается о первом наблюдении двухпучкового усиления на волноводных ТЕ модах планарной структуры $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}/\text{Bi}-12\text{GeO}_{20}$. Пленка $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ выращивалась на подложке из монокристаллического $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ методом кристаллизации из расплава: на подложку с ориентацией (110) наносился равномерный слой порошка $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ и в платиновой кювете помещался в печь сопротивления. Нагревание печи проводилось со скоростью не выше 60 град/ч до температуры плавления $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$. После образования слоя расплава $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ охлаждалась со скоростью 0.1 град/ч до температуры 800°C, а затем — со скоростью 30-60 град/ч. Полученный слой механически шлифовался, а затем полировался алмазными пастами до толщины $h = 30$ мкм.

Для указанной ориентации подложки теория предсказывает максимальную эффективность взаимодействия на ТЕ модах [13]. В этом случае зависимость коэффициента двухпучкового усиления Γ от угла δ между осью [001] и вектором фоторефрактивной решетки \mathbf{K} имеет вид

$$\Gamma(\delta) = \frac{3\sqrt{3} \cdot \Gamma_{\max}}{2} \cos(\delta) \sin^2(\delta). \quad (1)$$

В наших экспериментах использовалась ориентация вектора \mathbf{K} под углом $\delta = 20^\circ$, существенно отличающаяся от оптимальной $\delta_{\text{opt}} = 54.7^\circ$ ввиду конструктивных особенностей экспериментальной установки.

Для ввода и вывода излучения $\lambda = 0.633$ мкм использовались рутиловые призмы со сферическим основанием. Максимальное приращение показателя преломления в волноводном слое составляло величину $\Delta n_f = 0.023$. На рабочей длине волны волновод поддерживал более 40 волноводных мод. Спектр эффективных показателей преломления n_m^* для 23 низших мод $TE_m (TE_0 - TE_{22})$ был эквидистантным с межмодовым расстоянием $\Delta n_{m,m+1}^* = 4.1 \cdot 10^{-4}$, что свидетельствует о параболическом профиле показателя преломления $n_\omega(\eta)$ у границы волновода с покровной средой. Для более высших мод спектр разрежался, а среднее межмодовое расстояние составляло $\Delta n_{m,m+1}^* = 7 \cdot 10^{-4}$. Из-за малого межмодового расстояния в наших экспериментах не наблюдалось селективное возбуждение какой-либо единственной волноводной моды. Например, при возбуждении моды TE_1 одновременно возбуждались моды TE_0 и TE_2 , но с меньшей эффективностью.

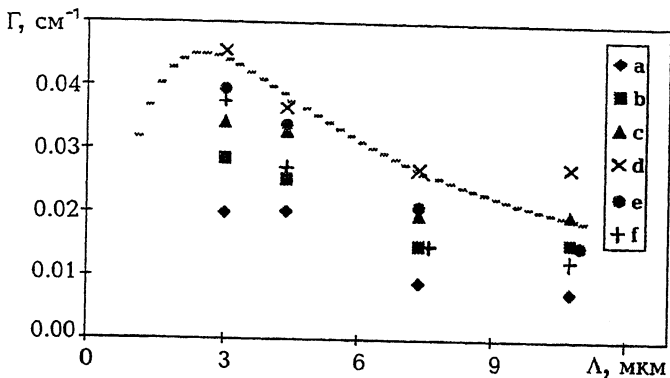
Для исследования двухпучкового взаимодействия мы использовали обычную схему ^[14] и несфокусированные пучки равной мощности ($P_p \cong P_s \cong 3$ мВт) с апертурой 2 мм от гелий-неонового лазера. Угол схождения лучей 2θ задавал период планарной решетки, который изменялся в экспериментах от 3.0 до 10.8 мкм. Длина взаимодействия определялась расстоянием между призмами связи и составляла $l = 13$ мм. В экспериментах измерялись с помощью фотодиода одного приемника мощности P_s и P_{s0} сигнального пучка в присутствии и в отсутствии пучка накачки для различных волноводных мод или групп мод. Коэффициент двухпучкового усиления определялся из известного соотношения ^[15]

$$\Gamma = \frac{1}{l} \ln \left(\frac{P - s}{P_{s0}} \right). \quad (2)$$

Зависимости коэффициента двухпучкового усиления Γ от периода λ планарной фоторефрактивной решетки представлены на рисунке.

Экспериментальные точки на рисунке соответствуют средним значениям коэффициента усиления для нескольких групп мод (TE_0-TE_3 , TE_4-TE_{10} и др.). Для каждой группы проводилось не менее трех экспериментов, при которых в волноводе происходило взаимодействие некоторой совокупности мод из этой группы.

Из рисунка следует, что максимальные значения коэффициента усиления Γ имеют место при взаимодействии мод из группы $TE_{14}-TE_{15}$. Кривая $\Gamma(\lambda)$ на рис. построена в соответствии с теорией двухпучкового взаимодействия в объ-



Зависимость коэффициента двухлучкового усиления Γ от периода фоторефрактивной решетки Λ и номера взаимодействующих мод. a — TE_0-TE_3 , b — TE_4-TE_{10} , c — $TE_{11}-TE_{13}$, d — $TE_{14}-TE_5$, e — $TE_{16}-TE_{22}$, f — $TE_{23}-TE_{28}$. Кривая построена по формуле (3) при значениях параметров среды $r_{\text{eff}} = 1.65 \cdot 10^{-14}$ м/В и $N_A = 4 \times 10^{20}$ м $^{-3}$.

емной фоторефрактивной среде с диффузионной нелинейностью [16]

$$\Gamma = \frac{2\pi}{\Lambda} \frac{P_p}{P_s + P_p} n^3 r_{\text{eff}} \frac{E_D}{1 + E_D/E_q}, \quad (3)$$

где $E_D = \frac{k_B T}{e} \cdot \frac{2\pi}{\Lambda}$ — диффузионное поле, $E_q = \frac{e N_A \Lambda}{\epsilon \cdot 2\pi}$ — поле насыщения ловушек, r_{eff} — эффективная электрооптическая постоянная, k_B — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура, e — заряд электрона, ϵ — статическая диэлектрическая проницаемость кристалла, N_A — концентрация акцепторной примеси.

Полученные нами значения коэффициента двухлучкового усиления и эффективных параметров $r_{\text{eff}} = 1.65 \cdot 10^{-14}$ м/В и $N_A = 4 \cdot 10^{20}$ м $^{-3}$ для волноводного взаимодействия примерно на два порядка ниже, чем для монокристаллов $Bi_{12}TiO_{20}$ [17]. Это можно объяснить, во-первых, тем, что физические свойства эпитаксиальных слоев $Bi_{12}TiO_{20}$ на подложках из $Bi_{12}GeO_{20}$ могут существенно отличаться от таковых для монокристаллов. Во-вторых, двумерный характер распределения полей взаимодействующих мод и поля пространственного заряда планарной фоторефрактивной решетки приводит к уменьшению эффективности двухлучкового взаимодействия [14]. Третьим фактором, снижающим эффективность взаимодействия, является неоптимальная ориентация вектора решетки \mathbf{K} в плоскости (110). В со-

ответствии с выражением (1), последнее снижает значения коэффициента Γ в 3.5 раза.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 93-02-14944) и Международного научного фонда (грант № RI 5000). Авторы также благодарны Л.Я. Серебренникову за обработку поверхности образца и В.М. Шандарову за обсуждения.

Список литературы

- [1] Петров М.П., Степанов С.И., Хоменко А.В. Фоторефрактивные кристаллы в когерентной оптике. СПб, 1992. 320 С.
- [2] Иткин И.И., Шандаров С.М. // ЖТФ. 1990. Т. 60. В. 11. С. 147-153.
- [3] Kip D., Kratzig E. // Opt. Lett. 1992. V. 17. N 22. P. 1563-1565.
- [4] James S.W., Youden K.E., Jeffrey P.M. et al. // Opt. Lett. 1993. V. 18. N 14. P. 1138-1140.
- [5] Ballman A.A., Brown H., Tien P.K., Martin R.J. // J. Cryst. Growth. 1973. V. 20. N 1. P. 251-255.
- [6] Tada K., Kuhara Yo., Tatsumi M., Yamaguchi T. // Appl. Opt. 1982. V. 21. N 16. P. 2953-2959.
- [7] Леонов Е.И., Хабаров С.Э., Вершинин М.С. и др. // ЖТФ. 1985. Т. 55. В. 11. С. 2215-2217.
- [8] Гудаев О.А., Косцов Э.Г., Малиновский В.К., Покровский Л.Д. // Автометрия. 1978. В. 1. С. 96-102.
- [9] Багликов В.Б., Дмитриев В.А., Корнетов В.Н. и др. // Неорганические материалы. 1985. Т. 21. В. 5. С. 830-835.
- [10] Roszko M., Skulska E., I. et al. // Prace Institutu Fizyki. 1986. V. 31. N 1. P. 101-112.
- [11] Chevrier V., Inam A., Etemad S. et al. // In: Photorefractive Materials, Effects and Devices PRM93. Technical Digest of Topical Meeting. Kiev, Ukraina, 1993. P. 220-223.
- [12] Youden K.E., Eason R.W., Gower M.C. // Photorefractive Materials, Effects and Devices. V. 14 of 1991 OSA Technical Digest Series. Optical Society of America, Washington, D.C., 1991. P. 460-463.
- [13] Salikaev Yu., Shandarov S. // J. Opt., Soc. Am. 1994. V. B11. N 9.
- [14] Кандидова О.В., Леманов В.В., Сузарев Б.В. // ЖТФ. 1984. Т. 54. С. 1748-1754.
- [15] Youden K.E., James S.W., Eason R.W. et al. // Opt. Lett. 1992. V. 17. N 21. P. 1509-1511.
- [16] Strait J., Reed J.D., Kukhtarev N.V. // Opt. Lett. 1990. V. 15. N 4. P. 209-211.
- [17] Millerd J.E., Garmire E.M., Klein M.B. et al. // Opt. Soc. Am. 1992. V. B9. P. 1149-1453.

Томская государственная
академия систем управления
и радиоэлектроники;

Институт общей и неорганической
химии
Москва

Поступило в Редакцию
4 октября 1994 г.