

В. В. АТУЧИН, К. К. ЗИЛИНГ, Д. В. ПЕТРОВ, А. В. ЦАРЕВ
(Новосибирск)

АКУСТООПТИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В ВОЛНОВОДАХ Ti : LiTaO₃

Оптические волноводы, полученные путем диффузии Ti в подложки LiTaO₃, перспективны для изготовления активных интегрально-оптических приборов, так как танталат лития характеризуется высокими электрооптическими коэффициентами [1] и обладает низкой по сравнению с ниобатом лития чувствительностью к оптическим повреждениям в видимой области спектра [2]. В данной работе впервые исследовано акустооптическое взаимодействие (АОВ) в волноводах Ti : LiTaO₃ и проведено сравнение с волноводами Ti : LiNbO₃.

В качестве подложки использовался монокристалл LiTaO₃ Y-среза размерами 23 × 10 × 3 мм вдоль X-, Z- и Y-осей соответственно. Для восстановления нарушенного после полировки поверхностного слоя образец был отожжен при температуре 560 °C в течение 4,5 ч. Затем методом термического испарения в вакууме на подложку наносился слой Ti (99,99 %) толщиной 27 нм. Диффузия титана производилась в воздушной атмосфере при температуре 1265 °C в течение 7 ч. Так как температура проведения диффузии значительно превышает температуру Кюри LiTaO₃, образец подвергался монодоменизации по методу, близкому к описанному в [3].

Качество монодоменизации образца контролировалось по значению электрооптического коэффициента r_{33} в волноводном слое, способ измерения которого приведен в [4]. Для TE₀-моды r_{33} равнялся $27 \cdot 10^{-12}$ м/В, что хорошо согласуется с известными литературными данными [1].

Ввод и вывод оптического излучения из волновода осуществлялись с помощью призм из германата висмута. При длине волны $\lambda_0 = 0,63$ мкм в волноводе могли распространяться две TE- и две TM-моды, поэтому для восстановления профиля показателя преломления волновода использовались дополнительные измерения на $\lambda_0 = 0,44$ мкм и применен алгоритм работы [5]. Оптические свойства волновода для $\lambda_0 = 0,63$ мкм с хорошей точностью описываются профилем показателя преломления в виде функции Гаусса со следующими параметрами: $\Delta n_e = 0,0066$, $\Delta n_o = 0,0060$, $h_r = 3,9$ мкм, $n_e = 2,1797$, $n_o = 2,1750$.

Поверхностная акустическая волна (ПАВ) возбуждалась вдоль оси Z на первой и третьей гармониках встречно-штыревых преобразователей, состоящих из 50 пар электродов с периодом 20 и 26 мкм, апертурой 0,2 и 0,26 см соответственно. Поперечное распределение энергии ПАВ анализировалось оптическим зондом и обрабатывалось на ЭВМ. Для компенсации ошибки, которую вносит неоднородность ПАВ на результат измерения коэффициента связи Γ_{mm} , использовались модифицированные выражения для величины эффективности дифракции в брэгговском режиме:

$$\eta = \sin^2 [\Gamma_{mm} \langle PW \rangle]^{1/2}, \quad (1)$$

$$\text{где } \langle PW \rangle = \left[\int_0^W P_W^{1/2}(x) dx \right]^2, \quad (2)$$

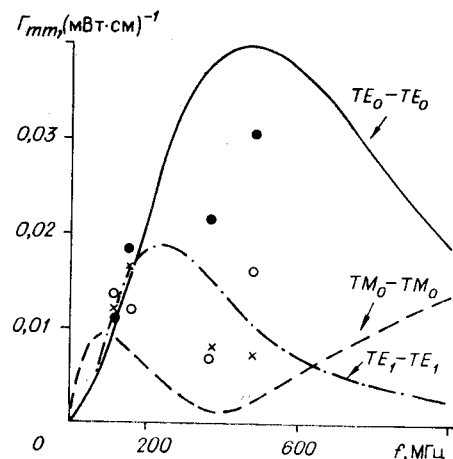
P_W — плотность мощности ПАВ; W — апертура ПАВ.

Выражения (1) и (2) получены исходя из стандартных уравнений связанных волн в предположении слабой неоднородности ПАВ.

Измеренные значения коэффициента связи Γ_{mm} для наиболее эффективных про-

Частотная зависимость коэффициента связи Γ_{mm} в волноводе Ti : LiTaO₃:

расчет и экспериментальные точки: ● — TE₀ — TE₀, × — TE₁ — TE₁, ○ — TM₀ — TM₀



Процессы	TE ₀ -TE ₀		TM ₀ -TM ₀	
	γ_{00} , (мВт× × см) ⁻¹	F, ГГц	γ_{00} , (мВт× × см) ⁻¹	F, ГГц
Ti : LiNbO ₃	1,7	3,5	0,41	2,0
Ti : LiTaO ₃	0,49	5,8	0,11	1,2

тия проведено с использованием обобщенных параметров $\gamma_{mm} = \Gamma_{mm}(\Delta n)^{-1/2}$ и $F = f(\Delta n)^{-1/2}$ [10]. Они позволяют описать частотную зависимость эффективности АОВ в обобщенном виде для произвольного градиентного волновода с заданным типом функции профиля [10]. В таблице приведены расчетные значения положений максимумов зависимости $\gamma_{mm}(F)$ для двухмодовых волноводов Ti : LiTaO₃ и Ti : LiNbO₃ [10, 11].

Из данных таблицы следует, что в волноводах с одинаковыми параметрами максимальные значения эффективности дифракции TE₀ — TE₀ для единичной апертуры и мощности ПАВ в танталате лития оказываются в 3,5 раза ниже, а оптимальная частота в 1,7 раза выше, чем в ниобате лития. Если же выбрать параметры двухмодовых волноводов таким образом, чтобы в них наблюдался максимум $\Gamma_{mm}(f)$ на одной и той же частоте, то эффективность дифракции в танталате лития окажется уже в 6 раз ниже, чем в ниобате лития.

Однако танталат лития обладает более низкой чувствительностью к оптическим повреждениям [2] и в отличие от ниобата лития для него не требуется переноса рабочей длины волны оптического излучения в ближнюю ИК-область, что приводило бы к падению эффективности АОВ как λ_0^{-2} [12]. Кроме того, более высокая частота оптимального взаимодействия, наряду с меньшей длиной волны λ_0 , делает волноводы Ti : LiTaO₃ сравнимыми по эффективности с волноводами Ti : LiNbO₃ на сверхвысоких частотах ПАВ (> 1 ГГц).

Таким образом АОВ в волноводах Ti : LiTaO₃ может быть использовано для построения АО-элементов, слабо чувствительных к оптическим повреждениям в видимой области спектра.

В заключение авторы выражают благодарность Э. Н. Киселевой и Г. С. Остановой за изготовление ВПП и С. М. Киккарину, предоставившему ЭВМ-программу по расчету структуры ПАВ в пьезоэлектриках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tangonan G. L., Persechih D. L., Lotspeich J. F., Barnoski M. K. Electrooptic diffraction in Ti-diffused LiTaO₃ // Appl. Opt.—1978.— V. 17, N 2.— P. 3259.
2. Tangonan G. L., Barnoski M. K., Lotspeich J. F., Lee A. High optical power capabilities of Ti-diffused LiTaO₃ waveguide modulator structures // Appl. Phys. Lett.—1977.— V. 30, N 5.— P. 238.
3. Onodera H., Okuda M., Awai I. e. a. Nb-diffused LiTaO₃ waveguides and light modulators by use of guided to radiation mode coupling // Electron. and Commun. in Jap.—1984.— V. 67-C, N 4.— P. 110.
4. Панькин В. Г., Петухова С. Н., Пчелкин В. Ю. и др. Исследование волноводов, полученных диффузией титана на Y-срезе метаниобата лития // Квантовая электрон.—1978.— Т. 5, № 2.
5. Колосовский Е. А., Петров Д. В., Царев А. В. Численный метод восстановления профиля показателя преломления диффузных волноводов // Квантовая электрон.—1981.— Т. 8, № 12.
6. Колосовский Е. А., Петров Д. В., Царев А. В. Частотная зависимость эффективности акустооптического взаимодействия TE-мод в диффузном оптическом волноводе // Квантовая электрон.—1979.— Т. 6, № 9.
7. Авакянц Л. П., Кулаков Д. Ф., Шитов Н. И. Фотоупругие постоянные LiTaO₃ // ФТТ.—1976.— Т. 18, № 7.
8. Lenzo P. V., Turner E. M., Spencer E. G., Ballman A. A. Electrooptic coefficients and elastic-wave propagation in singledomain ferroelectric lithium tantalate // Appl. Phys. Lett.—1966.— V. 8, N 4.— P. 81.
9. Smith R. T., Welsh F. S. Temperature dependence of elastic, piezoelectric and dielectric constants of lithium tantalate and lithium niobate // J. Appl. Phys.—1971.— V. 42, N 6.— P. 2219.
10. Колосовский Е. А., Петров Д. В., Царев А. В. Влияние параметров диффузного волновода на частотную зависимость эффективности акустооптического взаимодействия // Квантовая электрон.—1980.— Т. 7, № 8.
11. Колосовский Е. А., Петров Д. В., Царев А. В., Яковкин И. Б. Частотная зависимость эффективности акустооптического взаимодействия TM-мод // Квантовая электрон.—1981.— Т. 8, № 5.
12. Киккарин С. М., Петров Д. В., Царев А. В., Яковкин И. Б. Дисперсия эффективности акустооптического взаимодействия в волноводах Ti : LiNbO₃ // Квантовая электрон.—1985.— Т. 12, № 1.

Поступило в редакцию 13 октября 1987 г.

цессов дифракции TE_m — TE_m, TM_m — TM_m на различных частотах ПАВ представлены на рисунке. Там же приведены результаты расчета $\Gamma_{mm}(f)$, выполненные по методике работы [6]. Значения физических констант LiTaO₃ взяты из [7—9].

Сравнение акустооптических свойств волноводов на танталате и ниобате ли-