

О ГРГ В СВЯЗАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДАХ

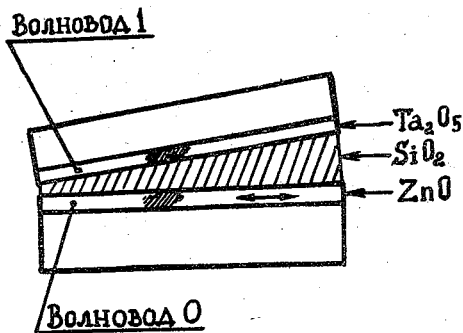
А. А. Майер, К. Ю. Ситарский, Р. Н. Кузьмин,  
В. А. Сычугов, Г. П. Шенюло

УДК 621.826:621.371

Теоретически исследована эффективность генерации второй гармоники (ГРГ) в туннельно-связанных оптических волноводах в зависимости от их параметров.

Как сообщалось /1,2/, эффективность преобразования частоты в связанных волноводах может на несколько порядков превышать соответствующую величину для одиночных волноводов. Синхронизмы, достигаемые в связанных волноводах, имеют ту же физическую природу, что и брегговские синхронизмы в периодических структурах /3/. В настоящей работе рассчитана конкретная схема (см. рис. 1) туннельно-связанных (плоских) оптических волноводов с плавным изменением расстояния между ними. Рассматриваются взаимодействия типа  $e + e \rightarrow e$ , все волны ТЕ типа с вектором электрического поля, направленным вдоль оптической оси пленки ZnO. Значения  $n_e$  на длинах воли 1,064 мкм и 0,532 мкм приняты соответственно равными: для ZnO 1,957 и 2,046, для сапфира 1,754 и 1,769; значения  $n$  для кварцевого стекла - 1,4497 и 1,4608 /4,5/. Значения  $n_1$  для пленки Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (2,059 и 2,186) определены из измеренного спектра эффективных показателей преломления (ЭП) для мод волноводной пленки Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, нанесенной на кварцевую подложку методом радиочастотного распыления.

В /1,2/ показано, что при ГРГ в связанных волноводах могут выполняться в общем случае шесть фазовых синхронизмов, которые символически можно записать через "возмущенные" ЭП этих волноводов  $\beta_{k,j\omega}^{\pm} = \beta_{k,j\omega} + \alpha_{j\omega}/2 \pm \gamma_{j\omega}$  (где  $\gamma_{j\omega} = \sqrt{\alpha_{j\omega}^2/4 + \kappa_{j\omega}^2}$



Р и с. 1. Поперечное сечение волноводов: волновод 0 - пленка ZnO на сапфировой подложке, ориентация оптической оси пленки указана стрелкой ( $\leftrightarrow$ ); волновод 1 - пленка  $Ta_2O_5$  на подложке из кварцевого стекла. Положение световых пучков в волноводах указано частой штриховкой

$\beta_{k,j\omega}$  - "невозмущенный" ЭПШ волновода с номером  $k = 0, 1$  на частоте  $j\omega$  ( $j = 1, 2$ ),  $K_{j\omega}$  - коэффициент связи на частоте  $j\omega$ ,  $\alpha_{j\omega} = \beta_{1,j\omega} - \beta_{0,j\omega}$  - разность невозмущенных ЭПШ на частоте  $j\omega$  следующим образом:

$$\begin{aligned}
 \text{I } \beta_{k,\omega}^+ &= \beta_{k,2\omega}^- \text{ ИЛИ } \gamma_\omega + \gamma_{2\omega} = \Delta, \\
 \text{II } \beta_{k,\omega}^+ + \beta_{k,\omega}^- &= 2\beta_{k,2\omega}^- \text{ ИЛИ } \gamma_{2\omega} = \Delta, \\
 \text{III } \beta_{k,\omega}^- &= \beta_{k,2\omega}^- \text{ ИЛИ } -\gamma_\omega + \gamma_{2\omega} = \Delta, \\
 \text{IV } \beta_{k,\omega}^+ &= \beta_{k,2\omega}^+ \text{ ИЛИ } \gamma_\omega - \gamma_{2\omega} = -\Delta, \\
 \text{V } \beta_{k,\omega}^- &= \beta_{k,2\omega}^+ \text{ ИЛИ } \gamma_\omega + \gamma_{2\omega} = -\Delta, \\
 \text{VI } \beta_{k,\omega}^- + \beta_{k,\omega}^+ &= 2\beta_{k,2\omega}^+ \text{ ИЛИ } \gamma_{2\omega} = -\Delta,
 \end{aligned}
 \tag{I}$$

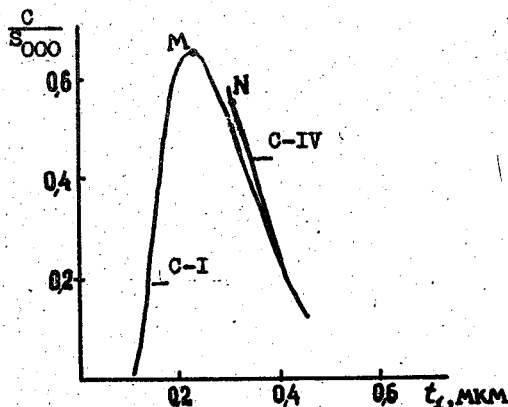
где  $\Delta = (\Delta_0 + \Delta_1)/2$ ,  $\Delta_k = \beta_{k,2\omega} - \beta_{k,\omega}$ .

При синхронизме с номером  $N = \text{I, II, ... , VI}$  мощность гармоники

На выходе волновода 0 примерно равна

$$P_{2\omega}^N \approx (C-N)^2 (2\pi \epsilon_{\text{сн}} / \lambda)^2 P_{\omega}^2, \quad (2)$$

где  $C-N$  - эффективная нелинейная восприимчивость (ЭНВ) при синхронизме с номером  $N$ . ЭНВ зависят не только от нелинейных коэффициентов материалов волновода, но и от величин  $\alpha_{3\omega}$  и  $K_{3\omega}$  и для конкретной схемы рассчитаны в данной работе.



Р и с. 2. Зависимости ЭНВ от  $t_1$  при  $t_0 = 0,3$  мкм

Зависимости ЭНВ для основных мод (т. е. мод нулевого порядка) в волноводе 0 при синхронизме I ( $\beta_{0,\omega}^+ = \beta_{0,2\omega}^+$ ) и при синхронизме IV ( $\beta_{0,\omega}^+ = \beta_{0,2\omega}^+$ ) от толщины волновода 1 ( $t_1$ ) представлены на рис. 2; толщина волновода 0 ( $t_0$ ) равна 0,3 мкм.

Существует толщина волновода 1, при которой ЭНВ при синхронизме I максимальна (точка M на рис. 2). Так, при  $t_0 = 0,3$  мкм,  $t_{1,M} \approx 0,23$  мкм. Зазор между волноводами 1 для точки M, т. е. значение  $l$ , при котором для пары значений  $t_0$  и  $t_1$ , отвечающих точке M, выполняется синхронизм I, равно  $l = 200 \text{ \AA}$ . В точке M  $C-I \approx 0,66 S_{000}$ , где  $S_{000}$  - интеграл перекрытия полей мод по поперечному сечению волновода 0 [2]. Для основных мод  $S_{000}$  на I-2 порядка больше, чем для мод разных порядков. Для достижения больших ЭНВ в условиях синхронизма I ( $C-I \geq 0,25 S_{000}$ ) зазор  $l$  должен быть достаточно мал: при  $t_0 \leq 0,3$  мкм

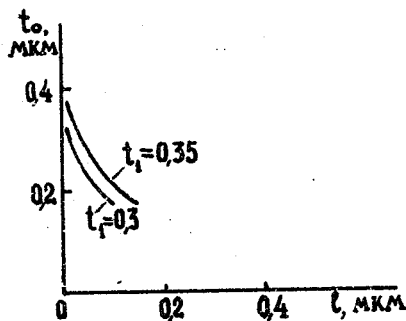
$100 \text{ \AA} \leq l \leq 1000 \text{ \AA}$ ; при  $t_0 \geq 0,3 \text{ мкм}$   $l \leq 100 \text{ \AA}$ . Для оценки толщин  $t_0$  и  $t_1$ , при которых ЭНВ-I максимальна, можно использовать условие

$$\alpha_{\omega}(t_0, t_1) = \beta_{1,\omega}^0(t_1) - \beta_{0,\omega}^0(t_0) = 0, \quad (3)$$

где  $\beta_{k,j\omega}^0$  - невозмущенный ЭПД для моды порядка  $n$ .

Дадим оценку мощности гармонике при синхронизме I для схемы на рис. 1, для которой, согласно расчету,  $S_{000} \approx 8\pi\omega_0 d_{33} / \Delta y$ , где  $\Delta y$  - ширина светового пучка вдоль оси  $y$ , выраженная в мкм. При  $\Delta y = 100 \text{ мкм}$   $S_{000} \approx 0,25 d_{33}$ . Для  $\text{ZnO}$   $d_{33} \approx 14 \cdot 10^{-9} \text{ CGSE / 6}$ . Возьмем  $z_{\text{coh}} = 100 \text{ мкм}$  и предположим, что мы работаем в области значений  $t_1$ , при которых ЭНВ-I максимальна и составляет  $\approx 0,5 S_{000}$ . Пусть на входе волновода 0 основная волна имеет мощность  $P_{\omega} = 1 \text{ кВт}$ . Подставив взятые значения в формулу (2), получим  $P_{2\omega} \approx 12 \text{ Вт}$ , при этом коэффициент преобразования составляет  $\approx 1\%$ .

ЭНВ при синхронизме IV (C-IV) достигает краевого максимума также при  $|\alpha_{\omega}| \ll K_{\omega}$ . В этом случае в волноводе I (без нелинейности) во взаимодействии участвуют: на частоте  $\omega$  - основная мода, на частоте  $2\omega$  - первая мода; в волноводе 0 - основные моды;  $\alpha_{2\omega} = \beta_{1,2\omega}^0 - \beta_{0,2\omega}^0 < 0$ ,  $|\alpha_{2\omega}| \gg K_{2\omega}$ . При  $t_0 = 0,3 \text{ мкм}$ ,



Р и с. 3. Соотношения величин  $t_0$  и  $t_1$ , при которых синхронизм I выполняется с одинаковой точностью ( $z_{\text{coh}} = 50 \text{ мкм}$ ,  $t_1$  в мкм)

$C-IV_{\max} \approx 0,55S_{000}$ ,  $t_{1,N} \approx 0,31$  мкм. Значение зазора для точки N составляет  $l = 100 \text{ \AA}$ .

Как показали расчеты для схемы рис. I, синхронизмы N = II, III, V, VI /2/ либо не выполняются, либо имеют незначительные  $C-N$  ( $C-N \ll S_{000}$ ).

Возможность плавной настройки в синхронизм I иллюстрирует рис. 3: неточность задания  $t_0$  компенсируется варьированием зазора  $l$ . При малых зазорах  $l \leq 100 \text{ \AA}$  точность настройки в синхронизм ухудшается.

Авторы выражают благодарность В. И. Анигину и В. Шевцову за напыление пленок  $Ta_2O_5$ .

Поступила в редакцию  
22 июля 1982 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. А. А. Майер, Квантовая электроника, 7, 1596 (1980).
2. А. А. Майер, Квантовая электроника, 9, № 10, (1982).
3. А. А. Майер, А. П. Сухоруков, ЭТФ, 77, 1282 (1979).
- 4: Е. М. Воронкова и др., Оптические материалы для инфракрасной техники, "Наука", М., 1965 г.
5. T. Shiosaki et al., Jap. J. Appl. Phys., 19, 2391 (1980).
6. Ф. Чернике, Дж. Мидвинтер, Прикладная нелинейная оптика, "Мир", М., 1976 г.