

И. У. ПРИМАК, А. В. ХОМЧЕНКО
 ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 Могилев, Беларусь

В данной работе проводится теоретическое моделирование волноводно-го эрбиевого усилителя (EDWA), моды которого возбуждаются с помощью призмного устройства связи (рис. 1). Рассматривается ситуация когда реализуется одновременное возбуждение двух мод с помощью пучка накачки (ПН) и зондирующего пучка (ЗП), имеющих длины волн $\lambda_p = 0,980$ мкм и $\lambda_s = 1,535$ мкм соответственно. При этом одна из мод создает инверсию населенности энергетических уровней в волноводе 3 и испытывает дополнительное затухание, а вторая мода в данных условиях – усиление. Постоянные распространения (ПП) этих мод характеризуются приращениями, которые можно определить, проанализировав модификации регистрируемых матрицами фотоприемников 7 и 8 m -линий (угловых распределений интенсивности отраженных от призмы пучков) [1].

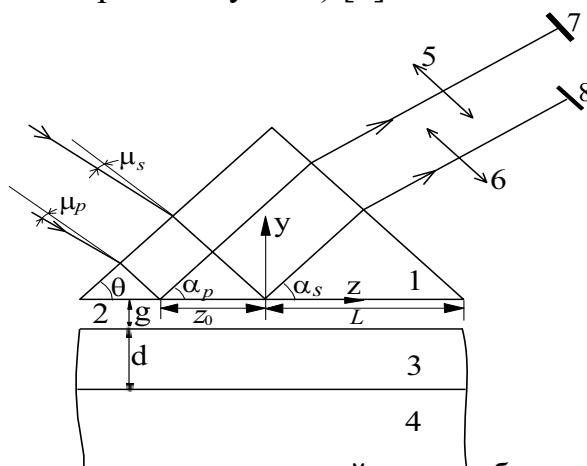


Рис. 1. Схема призмного устройства возбуждения волновода: 1 – призма; 2 – буферный слой (воздух); 3 – волноводная пленка легированная эрбием; 4 – подложка; 5, 6 – линзы; 7, 8 – матрицы фотоприемников

Согласно [1] угловые распределения интенсивности отраженных от основания призмного устройства ЗП и ПН определяются как :

$$S_{s,p}(\gamma) = T_{s,p} \left| (2\pi)^{-2} \int_{-\infty}^{\infty} dx \int_{-\infty}^L \psi_{s,p}(x,z) \exp[ik_z^{(s,p)}(\gamma)z] dz \right|^2, \quad (1)$$

где $T_{s,p}$ – коэффициенты, учитывающие отражение ЗП и ПН на боковых гранях призмы, $k_z^{(s,p)} = k_{s,p} \left(\sin \theta \sqrt{\left(n_p^{(s,p)} \right)^2 - \left(n_a^{(s,p)} \sin \gamma \right)^2} - n_a^{(s,p)} \cos \theta \sin \gamma \right)$, $k_{s,p} = 2\pi / \lambda_{s,p}$, $n_p^{(s,p)}$ и $n_a^{(s,p)}$ – показатели преломления призмы и окружающей ее среды для заданной длины волны $\lambda_{s,p}$, L – расстояние от оси пучка

до края призмы, отсчитанное вдоль основания призмы, θ – угол (рис. 1). Здесь, $\psi_{s,p}(x,z)$ – распределения полей (компонент напряженности E_x волн ТЕ-поляризации) на основании призмы, которые рассчитываются в результате численного решения системы линейных дифференциальных уравнений первого порядка, описывающих распределения амплитуд мод возбуждаемых ЗП и ПН [2]. При этом в условиях усиления (затухания) для моды возбуждаемой ЗП (ПН) ее амплитуды являются функцией приращения Δh_s , (Δh_p) ПР. В работе для оценки приращений ПР рассматривается четырех уровневая схема ионов эрбия, описываемая системой скоростных уравнений [3]:

$$\begin{cases} dN_1 / dt = -(R + W_a)N_1 + (W_e + 1/\tau_{21})N_2 + C_{22}N_2^2 - C_{14}N_1N_4 + C_{33}N_3^2, \\ dN_2 / dt = W_aN_1 - (W_e + 1/\tau_{21})N_2 + N_3/\tau_{32} - 2C_{22}N_2^2 - 2C_{14}N_1N_4, \\ dN_3 / dt = RN_1 - N_3/\tau_{32} + N_4/\tau_{43} - 2C_{33}N_3^2, \\ dN_4 / dt = -N_4/\tau_{43} + C_{22}N_2^2 - C_{14}N_1N_4 + C_{33}N_3^2, \end{cases} \quad (2)$$

где N_1, N_2, N_3, N_4 – населенности уровней 1, 2, 3, 4, $R = R(|\psi_p|^2)$, $W_a = W_a(|\psi_s|^2)$ и $W_e = W_e(|\psi_s|^2)$ – скорости накачки, стимулированного поглощения и люминесценции, τ_{21} – радиационное время жизни на уровне 2, τ_{32} и τ_{43} – безизлучательные времена жизни на уровнях 3 и 4, C_{22} и C_{33} – коэффициенты апконверсии, C_{14} – коэффициент кроссрелаксации. Стационарное решение системы (2), которое находится численно с помощью метода Ньютона [3], позволяет определить коэффициенты усиления $g_s = \sigma_{21}N_2 - \sigma_{12}N_1$ и поглощения $a_p = \sigma_{13}N_3$ (σ_{12}, σ_{21} – сечения поглощения и люминесценции на длине волны λ_s , σ_{13} – сечение поглощения на длине волны λ_p) в требуемой точке волновода 3. При этом мнимые части приращения ПР для мод ТЕ поляризации определяются на основе теории возмущений [2]:

$$\text{Im} \Delta h_s = \frac{n_w^{(s)} \int_{-g-d}^{-g} g_s Y_s^2 dy}{2 \text{Re} h_s \int_{-\infty}^{+\infty} Y_s^2 dy}, \quad \text{Im} \Delta h_p = -\frac{n_w^{(p)} \int_{-g-d}^{-g} a_p Y_p^2 dy}{2 \text{Re} h_p \int_{-\infty}^{+\infty} Y_p^2 dy}, \quad (3)$$

где $n_w^{(s,p)}$ – показатели преломления волновода для заданной длины волны $\lambda_{s,p}$, $Y_{s,p}(y)$ – поперечные распределения полей мод волновода, $\text{Re} h_{s,p}$ – действительные части комплексных ПР мод.

На рис. 2 представлены результаты численного моделирования отражения ЗП от эрбиевого усилителя в стекле (концентрация ионов эрбия $\sim 10^{26} \text{ м}^{-3}$). Рассматривались гауссовы пучки шириною 100 мкм и мощностями 0,1 мВт (ЗП) и 4 Вт (ПН). Согласно рис. 2, а создание инверсии населенности на участке волновода длиной $L=2$ см приводит к изменению кон-

траста m -линии на 30 %. Это означает, что в рассматриваемой схеме измерения, усиление можно не только наблюдать, но и оценивать. Это же подтверждают результаты обработки построенных расчетных m -линий с использованием решения обратной задачи о восстановлении комплексной ПР, полученного в [1]. На рис. 2,б представлены результаты расчетов $\text{Im}\Delta h_s$ на основе формул (2, 3) и результаты восстановления данного приращения при перемещении (сканировании) ПН вдоль направления распространения мод, найденные с помощью такого решения. Моделирование процесса сканирования осуществлялось путем расчета по описанной схеме зависимостей $S_s(\gamma)$ при различных значениях z_0 (z_0 – расстояние между осями пучков (см. рис. 1), причем $z' = z_0$, если ось ПН левее оси ЗП и $z' = -z_0$, если ось ПН правее оси ЗП). При этом предполагалось, что положение ЗП фиксировано и $L = 2$ мм. Оценка погрешностей такого восстановления показывает, что они не превышают 5 %.

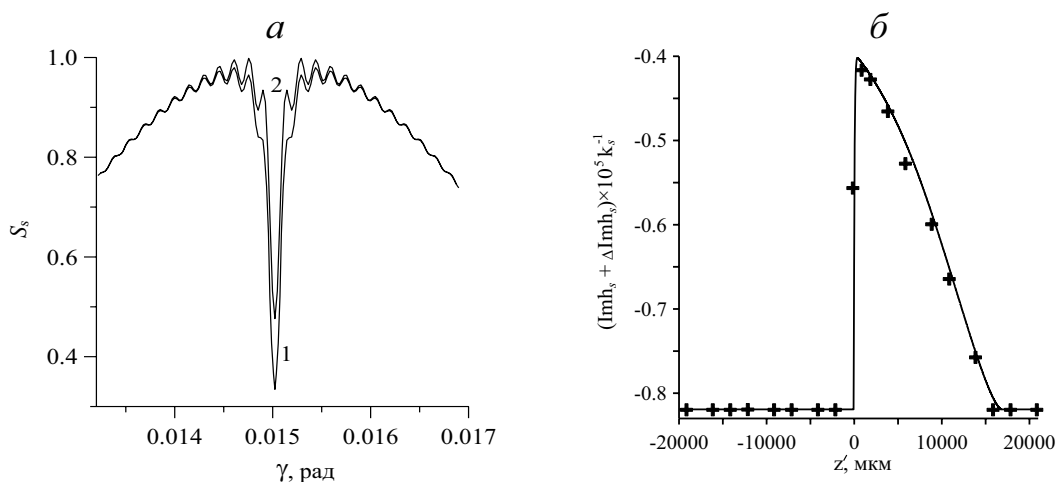


Рис. 2. Угловые распределения интенсивности отраженного от основания призмного устройства ЗП (а) и зависимости мнимой части ПР от координаты z' (б)

На рис. 2, а кривая 1 построена для волноводной структуры без усиления; кривая 2 – для волноводной структуры с усилением. На рис. 2, б кривая соответствует значениям $\text{Im}h_s + \Delta\text{Im}h_s$, рассчитанным на основе формул (2, 3) ($\text{Im}h_s$ – мнимая часть ПР моды в отсутствии усиления), крестики – восстановленным в результате решения обратной задачи

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сотский А. Б. / А. Б. Сотский [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз. – мат. – 2010. – № 3. – С. 66 – 74.
2. Сотский, А. Б. / А. Б. Сотский, Л. И. Сотская // Опт. и спектр. – 1998. – Т. 84 – № 2. – С. 260–268.
3. Hyang, W. / W. Hyang, R. A. Syms // J. Lightwave Technol. – 1999. – Vol.17. – № 12. – P. 2658–2664.