RADIOFIZYKA

Щербина Е.Ф., Одаренко Е.Н.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАКАЧКИ ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА

Волоконные лазеры представляют собой одну из наиболее интенсивно развивающихся разновидностей источников когерентного излучения [1]. Они находят широкое применение не только в научных лабораториях, но и в различных областях современной промышленности. В настоящее время продолжаются исследования различных конструкций волоконных лазеров и составляющих их узлов. Одной из наиболее важных составляющих частей любого лазера, в том числе и волоконного, является система накачки, которая во многом определяет энергетические характеристики устройства.

Для волоконных лазеров разработаны различные системы накачки – одномодовые, многомодовые и т.д. Поскольку активное вещество расположено в сердцевине рабочего участка волокна, то в большинстве случаев энергия накачки передается через какие-либо переходные слои. Следовательно, здесь формируется система передачи энергии между связанными волноводами. Для повышения эффективности такой накачки необходимо исследовать закономерности перераспределения энергии между этими волноводами с учетом их параметров, а также физических и геометрических характеристик переходного слоя.

В данной работе рассматривается модель системы накачки волоконного лазера в виде двух связанных через переходной слой плоскопараллельных диэлектрических волноводов [2]. На рис. 1 представлена схема этой структуры и соответствующая декартова система координат. Связанные волноводы имеют диэлектрическую проницаемость ε_1, переходной слой – ε_2 $(\varepsilon_1 > \varepsilon_2)$. Предполагается, что в переходном слое происходит экспоненциальное затухание волны в поперечном направлении.

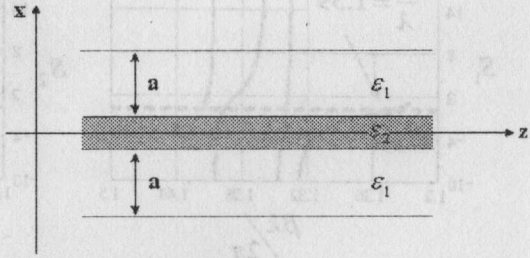

Рис. 1. Схема исследуемой структуры

В данной модели предполагается волновой характер поля в связанных волноводах, то есть компоненты электрической и магнитной

напряженности записываются через гармонические функции. В переходном слое решение уравнения Гельмгольца представляется в виде гиперболических функций. Для определения модовой структуры исследуемой волноводной системы необходимо получить и решить дисперсионное уравнение. Данное уравнение выводится из условия существования ненулевых значений амплитуд волн в связанных волноводах. В общем случае для многослойной структуры дисперсионное уравнение является довольно громоздким, однако в данном случае благодаря симметрии системы оно распадается на два более простых уравнения, соответствующих симметричным и антисимметричным модам.

Дисперсионные уравнения для симметричных и антисимметричных мод можно представить в виде:

$$tg(t_1 a) = \frac{2\varepsilon_{12} t_1 t_2}{\varepsilon_{12}^2 \cdot t_1^2 - t_2^2 + (\varepsilon_{12}^2 \cdot t_1^2 + t_2^2)\exp(-t_2 d)},$$

$$tg(t_1 a) = \frac{2\varepsilon_{12} t_1 t_2}{\varepsilon_{12}^2 \cdot t_1^2 - t_2^2 - (\varepsilon_{12}^2 \cdot t_1^2 + t_2^2)\exp(-t_2 d)}.$$

Здесь используются обозначения: $t_1 = k_1^2 - \beta^2$, $t_2 = \beta^2 - k_2^2$, $\varepsilon_{12} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$.

k_1 и k_2 – волновые числа связанных волноводов. β – постоянная распространения. Решение дисперсионного уравнения позволяет найти постоянные распространения волноводных волн в зависимости от параметров системы, которыми в данном случае являются диэлектрические проницаемости волноводов, их толщина и длина волны. На рис. 2 иллюстрируется процедура нахождения корней дисперсионного уравнения для различных значений нормированной толщины переходного слоя.

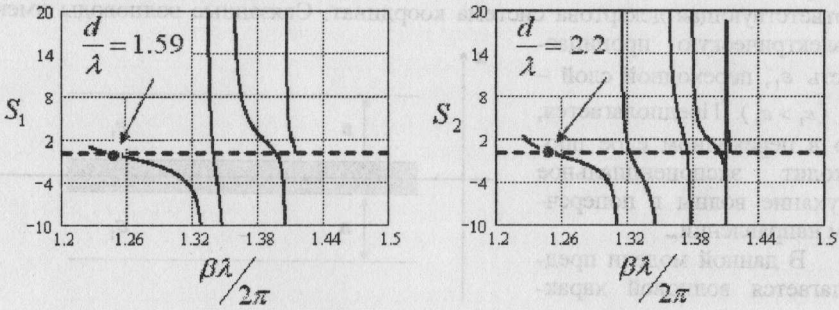

Рис. 2. Решение дисперсионного уравнения

Результаты решения дисперсионного уравнения представлены на рис. 3 для симметричной и антисимметричной основных мод (кривые 1 и 2 соответственно). Видно, что антисимметричная мода имеет отсечку. Вертикальными линиями на графике показаны границы одномодового режима. Стрелками показаны области многомодового режима. Представленные результаты соответствуют фиксированному значению нормированной толщины переходного слоя $d/\lambda = 0{,}16$. Таким образом определяются постоянные распространения волн в системе связанных волноводов для различных значений диэлектрической проницаемости и толщины различных диэлектрических слоев.

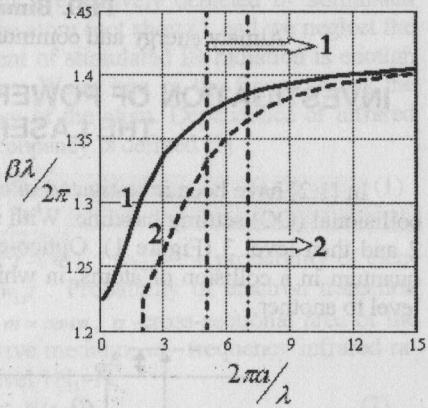

Рис. 3. Дисперсионные характери-

Литература:

1. Rare earth doped fiber lasers and amplifiers // Ed. by M.J.F. Digonnet. Marsel Dekker Inc., 1993. – 777 pp.

2. Взятышев В. Ф. Диэлектрические волноводы. – М.: Сов. Радио, 1970. – 212 с.