

УДК 547.97:535.8; 541.147

Т. В. ЯКОВЛЕВА, Н. Н. АРЕФЬЕВА

РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАНАЛЬНЫХ ВОЛНОВОДОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ МОДУЛЯТОРОВ

Представлена методика расчета геометрических размеров канальных волноводов с использованием метода эффективного показателя преломления.

Ключевые слова: канальный волновод, метод эффективного показателя преломления.

Современные оптические интегральные схемы состоят из активных и пассивных элементов. Обычно под активными элементами понимаются компоненты, для функционирования которых требуется приложение управляющего напряжения, пропускание тока или подача оптического управляющего сигнала. Пассивными являются элементы, выполняющие

фиксированное преобразование информационного оптического сигнала или волны, при котором не требуются управляющие электрические или оптические сигналы.

Одними из важнейших активных элементов оптических интегральных схем являются волноводные модуляторы. Самый распространенный на сегодняшний день тип модуляторов основан на волноводном варианте интерферометра Маха — Цандера с использованием одно-модовых оптических волноводов.

Начальный этап разработки модулятора — расчет необходимых геометрических размеров канальных волноводов. К настоящему времени существует достаточное количество численных методов анализа волноводных структур. Однако при численном решении способы задания граничных условий и их влияние на точность получаемого решения не являются очевидными, а сами методы зачастую громоздки и трудны для использования в более сложных системах моделирования.

В связи с этим в некоторых случаях более целесообразным представляется применение метода эффективного показателя преломления (The Effective Index Method) — приближенного метода, который сводит задачу анализа трехмерной волноводной конфигурации к двумерной и позволяет, таким образом, применить стандартные методы анализа планарных волноводов [1, 2]. Расчету геометрических размеров волноводов с использованием метода эффективного показателя преломления и посвящена настоящая статья.

Суть метода заключается в том, что исходный трехмерный волновод (рис. 1, а) в соответствии со структурой поперечного сечения разделяется на области, каждая из которых затем рассматривается независимо как неограниченный по оси y планарный волновод (рис. 1, б).

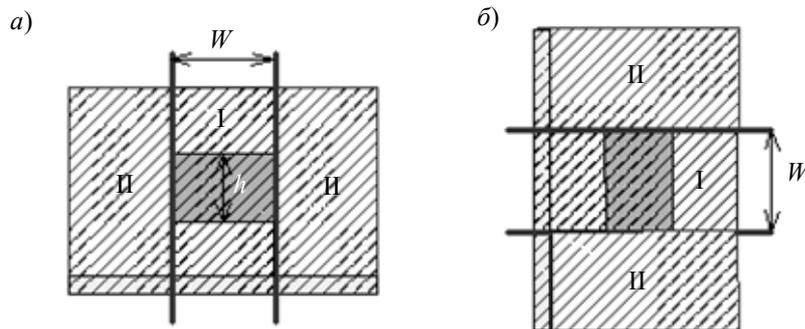


Рис. 1

В случае заглубленного канального волновода его левая и правая области (обозначены цифрой II) представляют собой однородные слои вещества и не нуждаются в дополнительном анализе, а волноводный слой находится в центральной области (обозначена цифрой I).

Взаимозависимость толщины h планарного волновода, т.е. высоты канального волновода, и эффективного показателя преломления n^* описывается дисперсионным соотношением [3]

$$2\pi h \sqrt{n_f^2 - (n^*)^2} / \lambda = (n_f / n_s)^\chi \arctg \left(\sqrt{(n^*)^2 - n_s^2} / \sqrt{n_f^2 - (n^*)^2} \right) + (n_f / n_c)^\chi \arctg \left(\sqrt{(n^*)^2 - n_c^2} / \sqrt{n_f^2 - (n^*)^2} \right) + \pi, \quad (1)$$

где n_f — показатель преломления волноводного слоя; n_s и n_c — показатели преломления подложки и покрытия волновода соответственно; $\chi=1$ — коэффициент.

Для вычисления необходимой ширины W канального волновода следует рассмотреть эквивалентный исходному канальному волноводу симметричный планарный волновод (см. рис 1, б). В качестве показателей преломления подложки и покрытия используются эф-

фактивные показатели преломления областей II, а в качестве показателя преломления волноводного слоя — эффективный показатель преломления области I. В этом случае толщина планарного волновода эквивалентна искомой ширине канального.

Зная эффективный показатель преломления, теоретически можно однозначно определить требуемую высоту планарного волновода. Но поскольку значение n^* не задается, а находится в интервале $n_s < n^* < n_f$, то вычислить можно только диапазон высот волновода.

Исходя из условия существования заданного числа мод M в направлении оси y можно легко вычислить диапазон возможных значений ширины канального волновода [4]:

$$(M - 1) < 2\sqrt{(n_I^*)^2 - (n_{II}^*)^2} \cdot W/\lambda < M,$$

где n_I^* и n_{II}^* — эффективный показатель преломления областей I и II.

Современные оптические линии связи в основном работают в диапазоне длин волн порядка 1,3...1,55 мкм. В интегрально-оптических устройствах логично использовать те же длины волн. Рабочая длина волны для рассчитываемого волновода принята равной 1,3 мкм.

Подложка и покрытие волновода изготавливаются из полимерной композиции с $n_s=n_c=1,52$, а волноводный слой — из композиции с $n_f=1,57$. Выбор ширины W ограничен условием одномодового режима [5]:

$$0 < 2\sqrt{(n_I^*)^2 - (n_{II}^*)^2} \cdot W/\lambda < 1. \quad (2)$$

Таким образом, геометрические размеры одномодового заглубленного канального волновода согласно (1), (2) находятся в следующих пределах:

$$3,7 < W < 10,54 \text{ мкм}; \quad 2,09 < h < 6,25 \text{ мкм}.$$

Методика выбора конкретных размеров канального волновода построена на графическом анализе взаимной зависимости высоты, ширины, нормированной высоты и нормированной постоянной распространения моды в волноводе [4].

Для одного из значений высоты h определяется нормированная высота V_1 волноводного слоя (рис. 2, а): $V_1=5,7$ для $h=3$ мкм.

С использованием кривой дисперсионного уравнения [3] (рис. 2, б) определяется нормированная постоянная распространения b_1 для центральной области I (рис. 2, б) по формуле

$$V\sqrt{1-b} = \arctg(\sqrt{b}/\sqrt{1-b}) + \arctg(\sqrt{b+a}/\sqrt{1+b}) + \pi(M-1),$$

где a — степень асимметрии, в данном случае $a=0$, так как $n_c = n_s$ [4].

Таким образом, $b_1=0,825$ для $V_1=5,7$.

Теперь можно построить зависимость нормированной высоты канального волновода от выбранной ширины (рис. 2, в):

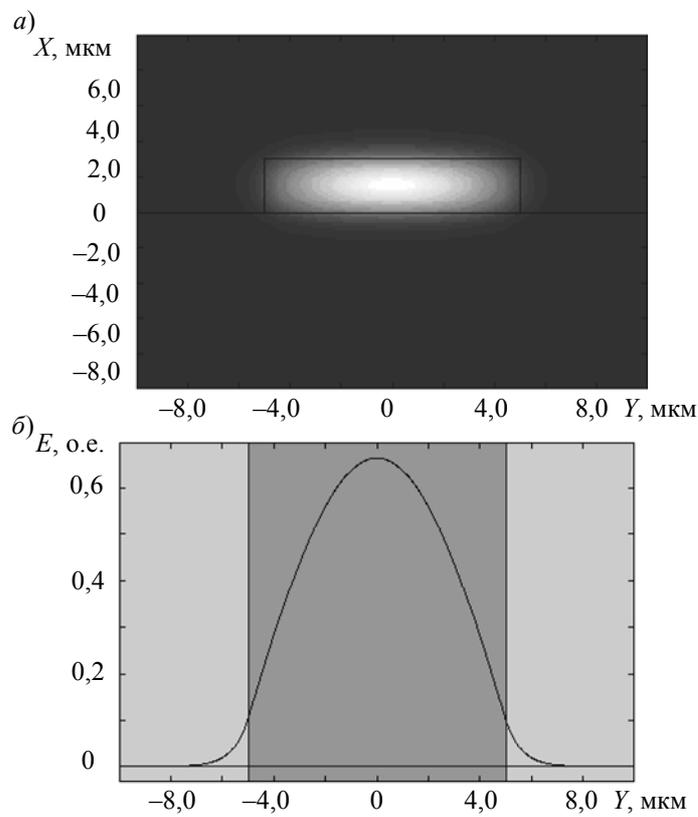
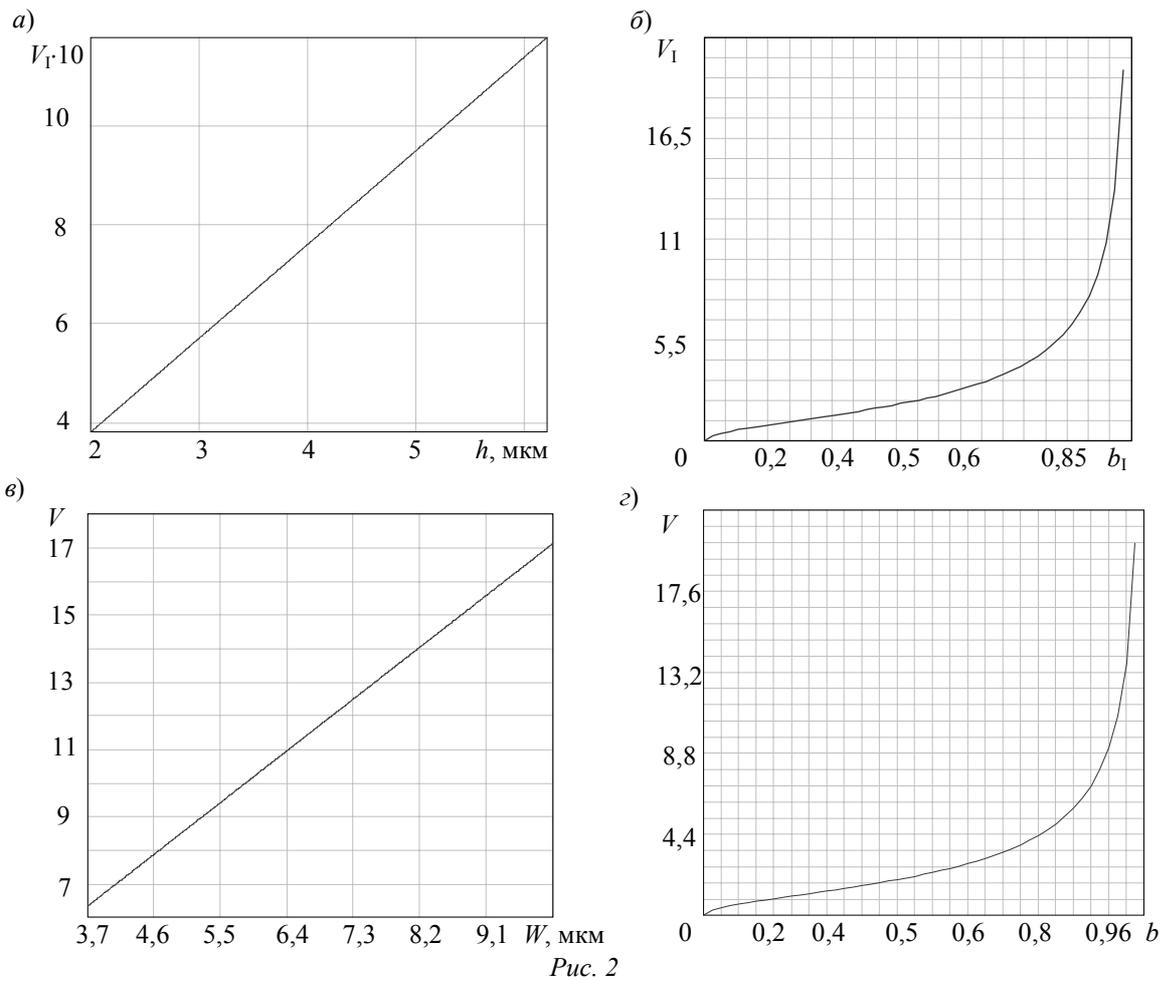
$$V = 2\pi W \sqrt{b_1} \cdot \frac{\sqrt{2n_s(n_f - n_s)}}{\lambda}, \quad V=17,115 \text{ для } W=10 \text{ мкм}.$$

Наконец, с использованием кривой дисперсионного уравнения определяется значение нормированной постоянной распространения канального волновода (рис. 2, г): $b=0,97$ при $h=3$ мкм, $W=10$ мкм, $V=17,115$.

Эффективный показатель преломления распространяющейся моды рассчитывается как

$$(n^*)^2 = n_s^2 - (n_f^2 - n_s^2)(b(b_1 - 0) + 0), \quad n^*=1,56.$$

Результаты моделирования распространения света в волноводе, проведенного с использованием программы 2-D Multilayer Waveguide Mode Solver [6] представлены на рис. 3, где a — распределение моды в волноводе, \bar{b} — профиль интенсивности поля моды.



Результаты моделирования соответствуют заданному условию одномодовости.

Таким образом, метод эффективного показателя преломления представляется вполне пригодным для расчета геометрических размеров оптических канальных волноводов. Результаты расчета использованы при экспериментальном изготовлении канального полимерного волновода, Y-разветвителей и модулятора Маха — Цендера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tamir T.* Guided-Wave Optoelectronics. . N. Y.: Springer-Verlag, 1988.
2. *Батрак Д. В., Плисюк С. А.* Применимость метода эффективного показателя преломления для моделирования гребневых оптических волноводов // Квантовая электроника. 2006. № 4.
3. *Унгер Х.* Планарные и волоконные оптические волноводы. М.: Мир, 1980.
4. *Семенов А. С., Смирнов В. Л., Шмалько А. В.* Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации. М.: Радио и связь, 1990.
5. *Денисов С. Д., Овчинникова Е. А., Осовицкий А. Н.* Сравнительный анализ характеристик канальных волноводов для планарных (де)мультиплексоров // Фотон-экспресс. 2005. № 6. С. 32—37.
6. *Lohmeyer M.* Vectorial wave-matching-method mode analysis of integrated optical waveguides // Optical and Quantum Electronics. 1998. N 30. С. 385—396.

Сведения об авторах

- Татьяна Владимировна Яковлева** — магистр; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптики квантоворазмерных систем; E-mail: tatianayako@yandex.ru
- Наталья Николаевна Арефьева** — Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра оптики квантоворазмерных систем; ассистент; E-mail: natali-arefeva@rambler.ru

Рекомендована кафедрой
оптики квантоворазмерных систем

Поступила в редакцию
17.05.11 г.