

06.3;07

©1995

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОВЫХ ПОТЕРЬ В МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ МНОГОМОДОВЫХ ГРАДИЕНТНЫХ ВОЛНОВОДАХ

*А.Б.Игнатов, Д.В.Свиштунов*

Оптическим волноводам с металлизированными границами посвящено достаточно много теоретических и экспериментальных работ. Хорошо изучен случай тонкопленочных волноводов со ступенчатым профилем распределения показателя преломления (ПП), а в случае металлизированных градиентных волноводов некоторые вопросы остаются недостаточно проработанными. Так, важные для многомодовых интегрально-оптических устройств теоретические предсказания хода зависимости коэффициентов затухания света от порядка волноводных мод, проведенные для ряда типов профилей ПП, достаточно разноречивы [1,2]. Предметом данной статьи является экспериментальная оценка распределения световых потерь по модам в двух практически используемых типах реальных волноводов.

При прохождении света через металлизированный участок волновода общие световые потери складываются из омических потерь в металлической пленке, потерь на входе и выходе участка с покрытием и волноводных потерь этого участка без учета покрытия (потери в материале волновода, на поверхностное рассеяние, на примесях и дефектах). В качественной волноводной структуре последние обычно пренебрежимо малы в сравнении с первыми двумя группами

потерь. Именно эти группы, определяемые металлизацией поверхности волновода, и будут нас интересовать.

Относительные потери световой мощности на покрытия (за вычетом волноводных)  $P_M$  определялись из сравнения светопропускания двух участков волновода равной длины  $z_0$ , на поверхность одного из которых нанесено покрытие длиной  $z_1$ . Для выделения доли каждой группы потерь из потерь на покрытии пользовались двумя участками волновода равной длины с металлическим покрытием разной длины  $z_1$  и  $z_2$ , и измеряли обусловленный покрытием коэффициент  $\alpha_M$  затухания световой мощности по длине покрытия. При измерениях полагали, что эффективности ввода и вывода света, а также потери на границах металлизированных областей волновода равны на всех участках. Эти условия выполнялись путем расположения участков рядом на поверхности волновода и обеспечением постоянства параметров в поперечном направлении единых для всех участков устройств ввода/вывода света в волновод.

Эксперименты проводились с пленочным алюминиевым покрытием, нанесенным на монообменные волноводы в стекле  $K8:K^+$  и термодиффузионные волноводы  $LiNbO_3:Ti$ . Для ввода и вывода света использовались предварительно отобранные по равномерности прижима призмы из стекла  $T\Phi 7$  и рутила шириной 10 и 6 мм соответственно. Пленочная металлическая маска представляла собой изготовленные фотолитографическим способом расположенные рядом на поверхности волновода две параллельные полосы шириной 1 мм и толщиной 350 нм каждая. Длина одной полосы составляла 6 мм, второй — 1.1 или 1.2 мм на разных образцах. Диаметры зондирующих световых пучков находились в пределах 0.8–1 мм, длины волн света — 633 и 442 нм.

На рис. 1 представлены экспериментальные зависимости потерь на покрытии (за вычетом волноводных)  $P_M$  и коэффициента затухания  $\alpha_M$  для трехмодового волновода  $K8:K^+$ . Видно, что в волновое этого типа, профиль ПП которого обычно описывают дополнительной функцией ошибок, величина коэффициента затухания уменьшается с ростом порядка моды (приведены данные для  $TE$ -мод).

Ход зависимости потерь на покрытии  $P_M$  аналогичен — они уменьшаются с ростом порядка моды, что иллюстрируется кривой 1 для  $TM$ -мод и кривой 2 для  $TE$ -мод, хотя для  $TE$ -мод проявляются свои особенности. Из рисунка видно, что кривая 3 для  $TE$ -мод, полученная на короткой полоске маски, показывает сначала небольшое снижение, а затем — некоторое увеличение потерь. Это может быть связано с тем, что ввиду малости омических потерь на короткой маске в составе полных потерь увеличивается вес доли потерь на стыке участков волновода без покрытия и

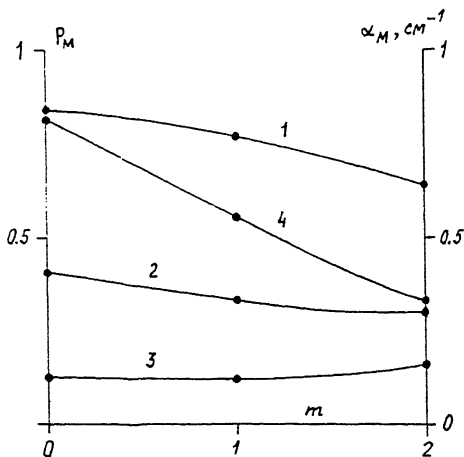


Рис. 1. Потери света на металлическом покрытии (1–3) и коэффициент затухания световой мощности (4) в зависимости от порядка моды  $m$ . Длины масок: 1.1 мм (1 и 3); 6 мм (2); 6 мм (2).  $\lambda = 633$  нм.

с покрытием, определяемых рассогласованием поперечных распределений полей моды на этих участках. Поскольку при приближении к условию отсечки характеристики мод становятся более чувствительными к параметрам покровной среды (в том числе металлической пленки) [3,4], то для моды  $TE_2$  рассогласование полей и потери на стыках волноводных участков больше, чем для других мод, и потери на покрытии  $P_M$  здесь увеличиваются. В то же время в случае  $TM$ -мод в этом же волноводе, для которых омические потери значительно превышают потери на стыках участков, полные потери на покрытии снижаются при увеличении порядка моды, следуя за ходом зависимости  $\alpha_M(m)$ .

Для более явственной иллюстрации особенностей хода зависимостей в случае  $TE$ -мод был использован пятимодовый волновод  $K8:K^+$  с нанесенными алюминиевыми масками, в котором мода  $TE_4$  была близка к режиму отсечки. Результаты измерений потерь на длине волны света 442 нм представлены на рис. 2. Видно, что даже в случае достаточно длинного покрытия наряду с монотонным снижением коэффициента затухания с ростом номера моды действительно наблюдается некоторый рост общих потерь  $P_M$  на покрытии для высших  $TE$ -мод после спада потерь для низших мод, что связано с указанными причинами.

Результаты экспериментов с волноводами  $LiNbO_3:Ti$ , профиль ПП которых обычно описывают функцией Гаусса, схожи с представленными выше — затухание  $TE$ -мод низших порядков превышало соответствующие величины для мод более высоких порядков. Так, в двухмодовом волно-

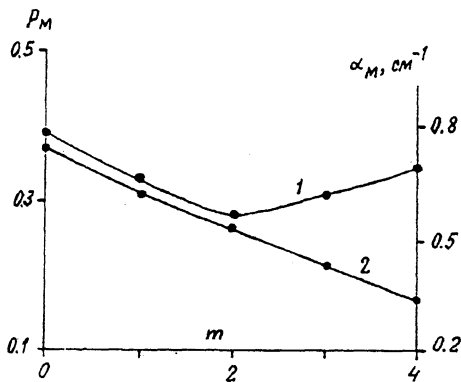


Рис. 2. Потери света на металлическом покрытии длиной 6 мм (1) и коэффициент затухания мощности (2) в многомодовом градиентном волноводе  $K8:K^+$ .  $\lambda = 442$  нм.

воде  $LiNbO_3:Ti$  с алюминиевым покрытием длиной 6 мм и толщиной 120 нм относительные потери на металлическом покрытии  $P_M$  на длине волны света 633 нм для мод  $TE_0$  и  $TE_1$  составили 0.67 и 0.63, а величины коэффициента затухания  $\alpha_M$  для этих мод — соответственно 1.8 и 1.6  $cm^{-1}$ .

Таким образом, в рассмотренных типах градиентных волноводов коэффициент  $\alpha_M$  затухания мощности мод по длине покрытия уменьшается с ростом порядка моды, однако в зависимости от спектра мод конкретного волновода характер зависимости относительных потерь мощности моды на покрытии  $P_M(m)$  может отличаться от хода зависимости  $\alpha_M(m)$ . Для  $TM$ -мод оценку наибольших потерь, вносимых металлическим покрытием, следует проводить по основной  $TM_0$ -моду. При использовании  $TE$ -мод в маломодовых волноводах с профилями ПП рассмотренных типов (до трехмодовых при моде  $TE_2$  вдали от отсечки) потери для основной  $TE_0$ -моды также являются преобладающими, однако в многомодовых волноводах для выявления наибольших потерь следует сравнивать потери основной моды с потерями моды наивысшего порядка. Эти рекомендации следует учитывать при априорных расчетах требуемой длины металлического покрытия в конкретных планарных устройствах, например волноводных поляризаторах, где требуется оптимизировать длину покрытия с тем, чтобы обеспечить затухание  $TM$ -мод и одновременно минимизировать потери для  $TE$ -мод. Аналогичная задача возникает при построении планарной диафрагмы [5], в которой ширина поперечной полосы высокопреломляющего вещества, выводящего свет из волновода на экранируемых участках, должна быть ограничена такой длиной защитной пленочной металличе-

ской маски в месте окна диафрагмы, которая обеспечивает малые потери мощности пропускаемого волноводного пучка. Представленные выше результаты позволяют выбирать в зависимости от модового состава конкретного волновода базовые моды, с использованием которых и следует проводить определение оптимальной длины покрытия по результатам расчетов коэффициентов затухания и потерь на стыках волноводных участков.

#### Список литературы

- [1] *Al-Bader S.J., Jamid H.A.* // IEEE J. Quant. Electron. 1987. V. QE-23. N 5. P. 539-544.
- [2] *She S.X., Xie F.C.* // Opt. Commun. 1993. V. 103. N 5/6. P. 365-369.
- [3] *Torner L., Canal F., Hernandez-Marco J.* // Opt. and Quant. Electron. 1989, V. 21. N 6. P. 451-462.
- [4] *Ma C., Liu S.* // Opt. Soc. Amer. A. 1990. V. A7. N 9. P. 1577-1581.
- [5] *Svistunov D.V.* // Opt. Engin. 1994. V. 33. N 10. P. 3171-3177.

Поступило в Редакцию  
10 октября 1994 г.  
В окончательной редакции  
16 февраля 1995 г.

---