

07;12

## **Применение планарной призмы для детектирования и селективного возбуждения мод многомодового канального волновода**

© Д.В. Свистунов

ВНЦ „Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова“,  
С.-Петербург  
E-mail: svistunov@mail.ru

*Поступило в Редакцию 19 сентября 2003 г.*

Сообщается об изготовлении и экспериментальной проверке работоспособности полностью планарного элемента селективного возбуждения и детектирования мод разных порядков многомодового канального волновода. Построение модового мультиплексора/демультиплексора на базе этого элемента позволит реализовать модовое уплотнение данных в оптических системах связи, использующих многомодовые оптические волокна.

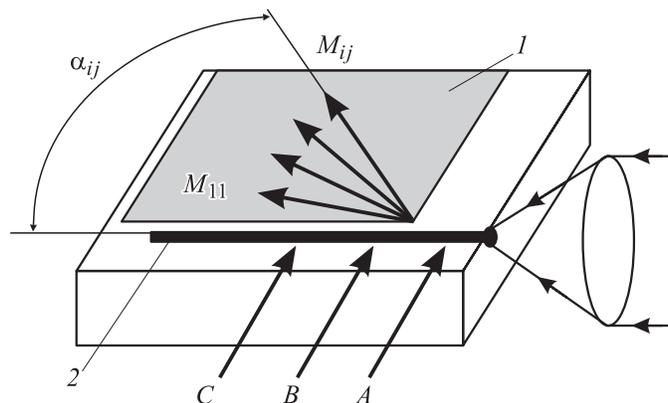
Представленные материалы касаются проблемы повышения информационной емкости оптических систем связи, построенных на базе многомодовых оптических волокон. С этой целью в последнее время проводились работы по селективному возбуждению и использованию для передачи информации одной моды многомодового волокна (например, [1–4]). В то же время селективное возбуждение мод позволяет дополнительно повысить информационную емкость системы при применении метода модового уплотнения информации, в котором отдельные группы мод используются в качестве независимых информационных каналов. Однако применение этого метода сдерживается отсутствием эффективных устройств селективного возбуждения мод волокна. В основном используемые устройства предназначены для возбуждения мод низших порядков, а селективное возбуждение мод других порядков приводит к значительному усложнению устройств и снижению эффективности [1–6]. Кроме того, большинство известных устройств не рассчитано на одновременное независимое возбуждение мод разных порядков. Некоторые устройства достаточно сложны в

реализации и остаются пока на стадии расчетов их конструкций и характеристик [6,7].

Недавно был предложен новый подход к селективному возбуждению мод волокна с использованием пассивного интегрально-оптического устройства — модового мультиплексора/демультиплексора [8]. Селективное возбуждение мод многомодового волокна производится посредством возбуждения отдельных мод многомодового канального волновода, оптически согласованного с этим волокном. В состав устройства входят: многомодовый канальный волновод, планарный селективный элемент связи и набор одномодовых канальных волноводов, представляющих собой входные/выходные отдельные информационные каналы. Селективный элемент оптически связывает каждую заданную моду многомодового канального волновода с отдельным одномодовым канальным волноводом, обеспечивая этим селективное возбуждение и детектирование отдельных мод канального многомодового волновода.

В данной работе представлены результаты экспериментов с первыми изготовленными макетными образцами нового планарного селективного элемента связи.

Принципиальная схема элемента с ходом лучей в режиме детектирования мод многомодового канального волновода показана на рис. 1. Селективный элемент связи представляет собой пассивное полностью планарное устройство, построенное как продольный элемент связи. Принцип работы элемента тот же, что и для хорошо известного в интегральной оптике призмного устройства ввода/вывода излучения из волновода. Роль объемной призмы в разработанном устройстве играет одномодовый планарный волноводный участок с повышенным (по отношению к канальному волноводу) показателем преломления. В этой схеме каждая мода канального волновода образует в планарном волноводе высоконаправленный (в плоскости планарного элемента) световой пучок, причем эти пучки идут в планарном волноводе под разными углами к канальному волноводу. Величина угла наклона каждого такого пучка  $\alpha_{ij}$  определяется из простого соотношения  $\cos(\alpha_{ij}) = N_{ij}/N_p$ , где  $N_{ij}$  и  $N_p$  — эффективные показатели преломления моды  $M_{ij}$  канального волновода и моды одномодового планарного участка соответственно. Чем выше порядок моды канального волновода (и, следовательно, меньше величина  $N_{ij}$ ), тем больше угол наклона  $\alpha_{ij}$ . Таким образом, селективный элемент связи обеспечивает пространственное разведение преобразованных мод канального волновода по их порядкам. Это



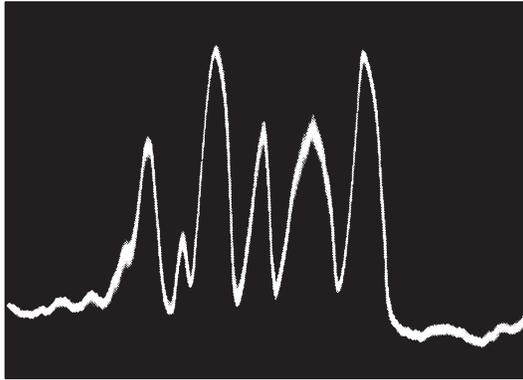
**Рис. 1.** Схема работы селективного элемента в качестве детектора мод канального волновода: 1 — одномодовая планарная призма, 2 — многомодовый канальный волновод.

позволяет использовать разработанный элемент в качестве модового демультиплексора для разделения модовых информационных каналов.

Благодаря принципу обратимости пассивных оптических элементов, селективный элемент связи может быть использован и в качестве модового мультиплексора. В этом случае оптическое возбуждение производится в обратном направлении планарными пучками, идущими под углами  $\alpha_{ij}$  к канальному волноводу. Достигая области туннелирования планарной призмы, каждый пучок возбуждает моду соответствующего порядка в многомодовом канальном волноводу. Независимое возбуждение мод разных порядков позволяет организовать в едином канальном волноводу несколько независимых модовых информационных каналов и осуществить модовое уплотнение данных.

Экспериментальные образцы были изготовлены ионным обменом в подложках из промышленного оптического стекла К8. Формирование многомодовых канальных волноводов производилось в расплаве  $\text{KNO}_3$ . Для получения одномодовой планарной призмы использовались расплавы, содержащие  $\text{AgNO}_3$  в концентрациях (0.2–0.5)%.

Проверка работы элемента в режиме детектора мод проводилась при фокусировке светового пучка на торец многомодового канального



**Рис. 2.** Поперечное распределение интенсивности нескольких планарных пучков.

волновода с одновременным возбуждением в нем набора мод разных порядков. Модовый состав волноводной структуры элемента контролировался с помощью обычного призмного устройства ввода/вывода света из волновода. Картины выведенных из волноводной структуры мод наблюдались на поперечном экране и фиксировались линейкой фотоприемников. Последовательная установка контрольного призмного устройства в разных местах на поверхности селективного элемента (см. точки *A*, *B*, *C* на рис. 1) позволяла наблюдать постепенный переход световой мощности из мод канального волновода в соответствующие возникающие планарные пучки по мере распространения света в структуре. Это подтверждает режим работы селективного элемента связи по принципу продольного устройства распределенной оптической связи. Контроль вблизи конца элемента связи демонстрировал полную трансформацию мод канального волновода в соответствующие планарные пучки. На рис. 2 приведен пример осциллограммы сигнала с линейки фотоприемников при регистрации ряда планарных пучков, выведенных контрольной призмой из положения *C*. Пики на осциллограмме представляют собой поперечное распределение интенсивности планарных пучков, каждый из которых соответствует отдельной моде канального волновода. Видно, что эти пучки хорошо пространственно разделены и легко могут быть отсеleктированы. Крайний правый пик

на рис. 2 соответствует фундаментальной моде канального волновода. Оценка расходимости пучков в планарном волноводе проводилась по результатам измерений расходимости, выведенных из волновода пучков с учетом измеренной величины  $N_p$ . Для разных образцов величины расходимости отдельных планарных пучков составили 5–10 угловых минут при общей угловой ширине набора пучков до 2 градусов. При этом в набор входило от 5 до 8 пучков. Угловые расстояния в планарном волноводе между пучками, соответствующими канальным модам низших порядков, были в пределах 15–30 угловых минут в разных образцах. Таким образом, разработанное устройство демонстрирует эффективную пространственную селекцию мод канального волновода по их порядкам. Отметим, что по аналогии с традиционными призмными элементами угловая ширина набора пучков и расстояния между ними могут быть увеличены путем уменьшения разности между величинами  $N_p$  и  $N_{ij}$ . Ориентируясь на канальную моду низшего порядка, следует доводить разность  $(N_p - N_{11})$  до такого минимального уровня, который устойчиво воспроизводится в реальном процессе изготовления элемента с помощью конкретного технологического оборудования.

При проверке работы элемента в качестве устройства селективного возбуждения мод канального волновода планарный световой пучок возбуждался в планарной призме в обратном направлении с помощью обычного призмного устройства ввода/вывода света, поставленного в положение С. Наблюдалась картина возбуждаемых мод канального волновода, выведенных второй контрольной призмой, установленной в точке А. При изменении угла наклона планарного пучка к канальному волноводу последовательно выполнялись условия согласования  $(\alpha_{ij})$  планарной моды и мод разных порядков канального волновода. Планарный селективный элемент связи демонстрировал возбуждение одной за другой отдельных мод многомодового канального волновода.

Таким образом, экспериментальные образцы нового полностью планарного селективного элемента связи, построенного на базе планарной призмы, демонстрируют работоспособность в режимах селективного возбуждения и детектирования мод многомодового канального волновода. Применение этого элемента в составе модового мультиплексора/демультиплексора позволит реализовать модовое уплотнение данных в волоконных линиях связи.

## Список литературы

- [1] *Yabre G., Lightwave J.* // Technology. 2000. V. 18. N 5. P. 668–676.
- [2] *Haas Z., Santoro M.A.* // J. Lightwave Technology. 1993. V. 11. N 7. P. 1125–1131.
- [3] *Ruddatz L., White I.H., Cunningham D.G., Nowell M.C.* // J. Lightwave Technology. 1998. V. 16. N 3. P. 324–331.
- [4] *Asawa C.K.* // J. Lightwave Technology. 2002.V. 20. N 1. P. 10–18.
- [5] *Isnigure T., Kano M., Koike Y.* // J. Lightwave Technology. 2000. V. 18. N 7. P. 959–965.
- [6] *Vaissie L., Johnson E.G.* // Optical Engineering. 2002. V. 41. N 8. P. 1821–1828.
- [7] *Kawaguchi Y., Tsutsumi K.* // Electronics Letters. 2002. V. 38. N 25. P. 1701–1702.
- [8] *Свистунов Д.В.* // Труды 5-й Междунар. конф. „Прикладная оптика“ (С.-Петербург, 2002). Т. 2. С. 116–118.