

ЛИНЗОВАННЫЕ ВОЛОКОННЫЕ СВЕТОВОДЫ

П. В. Карнаушкин, Р. С. Пономарев

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Пермь, Букирева, 15

В настоящее время одной из основных проблем в области интегральной оптики является проблема соединения фотонной интегральной схемы с волноводами малого диаметра и волоконными световодами. В стандартных одномодовых волоконных световодах диаметр распространяющейся моды оптического излучения составляет около 10 мкм при длине волны 1.55 мкм и превышает диаметр моды в волноводе ФИС в 3–40 раз. Вследствие этого при стыковке возникают оптические потери и паразитная засветка соседних волноводов. Данная работа посвящена линзованным ВС, как средству снижения потерь при соединении ФИС с ВС. В работе проведено исследование ввода оптического излучения из разных конусных линз в каналный волновод Si_3N_4 с шириной 3 мкм и толщиной 0.3 мкм. В результате исследования получена экспериментальная зависимость потерь оптического сигнала от диаметра поля моды линзы. Показано, что применение конусных линз в среднем снижает потери на 5–7 дБ.

Ключевые слова: фотонная интегральная схема; волновод; линзованное волокно

LENSED OPTICAL FIBERS

P. V. Karnaushkin, R. S. Ponomarev

Perm State University, Bukireva St. 15, 614990, Perm

Currently, one of the main problems in the field of integrated optics is the problem of coupling the photonic integrated circuit with small-diameter waveguides and optical fibers. In standard single-mode optical fibers the diameter of the propagating mode is about 10 μm at a wavelength of 1.55 μm and exceeds the diameter of the mode in the waveguide in 3-40 times. As a result, optical losses and parasitic illumination of neighboring wave-novices occur during edge coupling. This work is devoted to lensed fiber as a means of reducing coupling losses between waveguide and fiber. In this work, it was made an investigation of the input of optical radiation from different cone lenses into a channel waveguide of Si_3N_4 with a width of 3 μm and a thickness of 0.3 μm . As a result of the study, the experimental dependence of optical signal losses on the diameter of the mode field of the lens was obtained. It is shown that the use of cone lenses reduces losses by 5-7 dB.

Keywords: optical integrated circuit; waveguide; lensed fiber

Объектом работы являются фотонные интегральные схемы (ФИС). Спектр применения ФИС широк и включает: телекоммуникации (демультиплексоры, мультиплексоры, переключатели) [1], навигацию (гироскопы) [2], датчики физических величин (температуры, давления, ускорения, системы мониторинга) [3], медицину (биосенсоры) [4]. Для поддержания одномодового режима каналные волноводы ФИС создаются миниатюрными с размерами от 0.2 до 3 мкм, в 3–40 раз меньшими диаметра светопроводящей жилы волоконных световодов (ВС). При соединении таких волноводов с

одномодовыми ВС возникают потери оптического сигнала от 5 до 40 дБ (рис. 1).

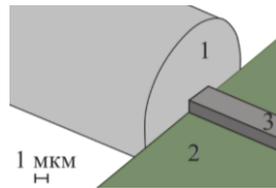


Рис.1. Проблема торцевой стыковки ВС и волновода малого диаметра:
1 – сердцевина ВС, 2 – подложка ФИС, 3 – волновод ФИС

Существуют различные подходы к решению данной проблемы. Наиболее распространенные решения на основе рупорных волноводов (рис. 2 а) [5] и решетчатых элементов связи (рис. 2 б) [6] требуют введения в конструкцию ФИС новых переходных элементов, а в технологический процесс – новых производственных операций.

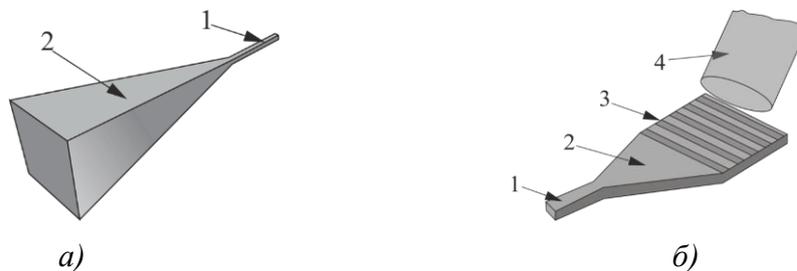


Рис. 2. Подходы к решению проблемы соединения волновода малого диаметра и ВС:
а) трехмерный рупорный волновод; б) схема вертикального соединения ФИС и ВС с помощью решетчатого элемента. 1 – волновод ФИС, 2 – рупорный волновод, 3 – решетка на поверхности рупорного волновода, 4 – ВС

Помимо преобразователей моды, сформированных на чипе ФИС, существует другой способ снизить потери при соединении ФИС и ВС – использовать высокоапертурные и линзованные ВС.

Предметом работы являются линзованные ВС, как средство снижения потерь при соединении волновода малого диаметра с ВС.

Линзованные ВС предназначены для оптимизации соединения между ВС и различными оптическими компонентами, такими как лазеры и волноводы [7]. Свет на выходе из таких ВС фокусируется на конечном расстоянии, собираясь в пучок с определенным диаметром поля моды (ДПМ). Данный способ позволяет формировать переходные элементы, не внося изменений в конструкцию ФИС, является более универсальным и дешевым.

Проектирование и изготовление конусных линз велось согласно работе [8]. Изготовление было проведено с помощью химического травления с последующим электродуговым оплавлением, ДПМ полученных образцов определялся по методу поперечного сдвига в ближнем поле.

Для исследования ввода излучения в волновод малого диаметра с помощью линзы была выбрана фотонная интегральная схема на базе Si_3N_4 . Ка-

нальные волноводы прямоугольного сечения из Si_3N_4 с шириной 3 мкм и толщиной 0.3 мкм были покрыты оболочкой SiO_2 .

Процесс стыковки линзы и волновода происходил с помощью многофункционального стенда для стыковки специализированных оптических соединителей. ВС с конусной линзой с помощью пьезопозиционера Attocube юстировался относительно волновода ФИС. Юстировка контролировалась с помощью системы технического зрения. Затем ВС с конусной линзой подключался к источнику видимого оптического излучения FOD 2114 (630 нм) и в точном режиме юстировался относительно волновода. В результате юстировки наблюдалось каналирование видимого оптического излучения по волноводу ФИС, введенного с помощью конусной линзы (рис. 3).

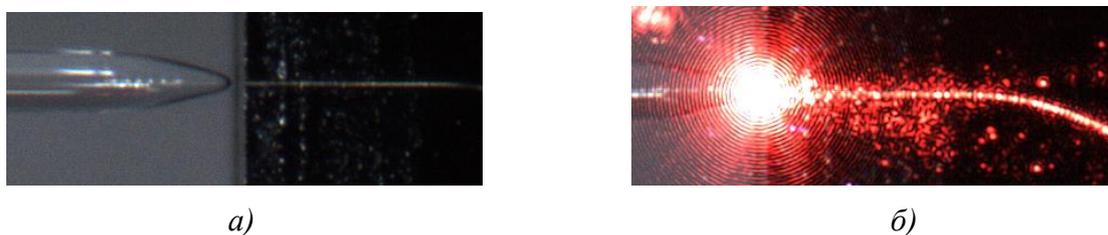


Рис. 3. Стыковка ВС с конусной линзой и ФИС: а) линза подведена к волноводу; б) каналирование видимого оптического излучения в волновод

Далее с другой стороны ФИС происходила юстировка стандартного волоконно-оптического соединителем относительно волновода. Соединитель представлял собой балочку из LiNbO_3 с вклеенным в канавку ВС SMF-28, торец которого был сколот под углом 90 градусов к оси ВС.

После этого ВС с конусной линзой подключался к источнику излучения с длиной волны 1.55 мкм, а волоконный соединитель к экстинетру Santec PEM-330, и происходила их окончательная юстировка относительно волновода.

Потери, полученные в ходе исследования ввода излучения из конусной линзы в волновод складывались из потерь на входе волновода, потерь на выходе волновода и потерь внутри волновода. При использовании конусных линз с разным диаметром поля моды варьировался интеграл перекрытия полей конусной линзы и волновода, вследствие чего изменялись потери на входе. Потери на выходе и внутри волновода оставались неизменными. Таким образом, была получена экспериментальная зависимость потерь от диаметра поля моды линзы (рис. 4). Как видно из рис. 4, график экспериментальной зависимости потерь от ДПМ линзы имеет точку минимума в области D от 2.5 до 3 мкм. Данная точка соответствует минимальным потерям на входе волновода и составляет 29.61 дБ. На рисунке выделена пороговая область в 1 дБ. Эта область определяет значения ДПМ конусных линз, ухудшающие сигнал не более чем на 1 дБ. Ей соответствуют D от 2.4 до 5 мкм.

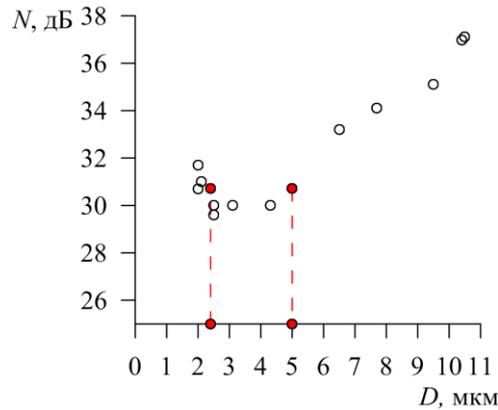


Рис. 4. Экспериментальная зависимость потерь N от диаметра поля моды D исследуемого образца при соединении конусной линзы и волновода

Таким образом, в работе показано, что применение конусных линз для ввода излучения в волновод малого диаметра в среднем снижает потери на 5–7 дБ. Результат является достаточным для полной замены стандартных ВС на ВС с конусными линзами.

Список литературы

1. Ding Y., Ou H., Xu J., Peucheret C. Silicon Photonic Integrated Circuit Mode Multiplexer // IEEE photonics technology letters. 2013. Vol. 25. P. 648–651.
2. Ciminelli C., Dell'Olio F., Armenise M. N., Soares F. M., Passenberg W. High performance InP ring resonator for new generation monolithically integrated optical gyroscopes // Optics Express. 2013. Vol. 21. P. 556–564.
3. Kim G., Lee H. S., Park C. H., Lee S. S., Lim B. T., Bae H. K., Lee W. G. Silicon photonic temperature sensor employing a ring resonator manufactured using a standard CMOS process // Optics Express. 2010. Vol. 18. P. 22215–22221.
4. Srinuanjana K., Tipaphonga W., Yupapina P.P. Photonic Waveguide Bragg Grating Ring Resonator for Bio-sensor Applications // Proceeding – Science and Engineering. 2013. P. 465–470.
5. Sure A., Dillon T, Murakowski J., Lin C., Pustai D., Prather D. W. Fabrication and characterization of three-dimensional silicon tapers // Optics Express. 2003. Vol. 11. N. 26. P. 3555–3561.
6. Taillaert D., Laere F., Ayre I M., Bogaerts W., Van Thourhout D., Bienstman P., Baets R. Grating Couplers for Coupling between Optical Fibers and Nanophotonic Waveguides // Japanese Journal of Applied Physics. 2006. Vol. 45. N. 45A. P. 6071–6077.
7. Yang L., Dai D., Yang B., Sheng Z., He S. Characteristic analysis of tapered lens fibers for light focusing and butt-coupling to a silicon rib waveguide // Applied Optics. 2009. Vol. 48. P. 672–678.
8. Карнаушкин П. В., Пономарев Р. С., Салгаева У. О., Шкляева Е. В., Игнатенко Е. А. Производство конусов и конусных линз на оптических волокнах и измерение их параметров // Вестник молодых ученых ПГНИУ: сб. науч. тр. Электрон. издан. Пермь. 2016. С. 142–154.