

1990 г.

ВОЛОКОННЫЙ РАСШИРИТЕЛЬ ВОЛНОВОДНОГО ПУЧКА СВЕТА

М. Милер, Д. Х. Нурлигареев, В. А. Сычугов, А. Е. Тихомиров

Целый ряд интегрально-оптических устройств требует использования широких волноводных пучков света [1-3]. Как и в обычной объемной оптике, преобразование узкого коллимированного пучка света в широкий в интегральной оптике осуществляется с помощью двух планарных линз [3] или же посредством дифракционного элемента, сформированного на волноводе [4]. Преимущество последнего способа преобразования перед первым состоит в том, что дифракционный элемент может иметь меньшие размеры по сравнению с планарной телескопической системой.

Однако в реальных интегрально-оптических устройствах (в настоящее время по преимуществу гибридных, а не монокристаллических) источниками излучения являются полупроводниковые лазеры и проблема широких волноводных пучков сводится к стыковке лазера с планарным волноводом и преобразованию расходящегося лазерного излучения в нем в коллимированный пучок света.

В последнее время достигнуты большие успехи в решении задачи об эффективном вводе света в одномодовый волоконный световод [5]. Путем формирования на торце световода линзы, соответствующей диаграмме излучения полупроводникового лазера, стабильно удается получить значения эффективности ввода излучения, превышающие 70%. Эти соображения, естественно, наводят на мысль о создании волоконного расширителя пучка света в планарном волноводе. Чрезвычайно подходящим для этой цели устройством является волоконно-оптический дисперсионный элемент [6]. Он представляет собой участок одномодового волоконного световода, на сполированной до сердцевинки боковой поверхности которого нанесена дифракционная решетка. Обычно этот элемент изготавливается с использованием кварцевого блока, на поверхности которого сделана канавка переменной глубины. Волокно вклеивается в эту канавку так, что оно приобретает изгиб с радиусом кривизны 30—100 см. После этого волокно сполировывается до сердцевинки. Длина сполированного участка определяется радиусом изгиба волокна и обычно достигает 1—10 мм. На поверхность блока и сполированного участка волокна наносится фоторезист, в котором методами голографии формируют дифракционную решетку. Путем ионного травления резистивный рельеф переносится на поверхность сполированного волокна. Излучение какого-либо источника, введенное в волокно и распространяющееся по нему, достигает гофрированного участка и излучается в воздух в виде расходящегося пучка света. Ширина пучка d вдоль волокна определяется длиной l гофрированного участка и углом θ между нормалью к поверхности и направлением вывода, а расходимость φ его в направлении, перпендикулярном волокну, определяется диаметром a сердцевинки и длиной волны λ излучения

$$d = l \cos \theta, \quad (1)$$

где

$$\theta = \arcsin \left(n^* - \frac{\lambda}{\Lambda} \right), \quad \varphi \approx \frac{\lambda}{a}.$$

В соотношении (1) Λ — период гофрировки на поверхности волокна n^* — эффективный показатель преломления волноводной моды на сполированном участке волокна.

Дальнейшим шагом на пути реализации волоконного расширителя волноводного пучка света является стыковка дисперсионного элемента с планарным волноводом, торец которого отполирован обычным для этих целей образом. Следует отметить, что расходимость φ сформированного на гофрированном участке волокна пучка света соответствует, естественно, числовой апертуре волоконного световода, и поэтому единственное усложнение, возникающее при стыковке описываемого дисперсионного элемента с планарным волноводом, состоит в том, чтобы совместить плоскость этого волновода с плоскостью симметрии пучка, что практически легко достигается путем поворота одного элемента относительно другого.

Всякая телескопическая система характеризуется коэффициентом расширения K , равным отношению диаметров пучков света на выходе и входе. В рассматриваемом случае коэффициент K приближенно можно определить как отношение ширины пучка d к диаметру сердцевинки a волокна, и если положить $a \approx 8$ мкм и $d \approx 1$ мм, то в волоконном расширителе

легко реализовать значения $K \approx 100$ и более, которые существенно превышают значения K , достигнутые до сих пор.

Для реализации волоконного расширителя пучка света нами был изготовлен дисперсионный элемент с использованием одномодового на длине волны $\lambda = 1.15$ мкм волоконного световода и кварцевого блока с канавкой, придающей волокну изгиб с радиусом $R = 35$ см. В результате полировки волокна был создан плоский участок его длиной $l = 1.5$ мм. Методом голографии и ионного травления на плоском участке волокна изготавливалась дифракционная решетка с периодом $\Lambda = 0.41$ мкм и глубиной $2\sigma = 3000$ Å. Планарный волновод был сделан путем термодиффузии ионов серебра в стекло, помещенного в расплав AgNO_3 при $T = 320$ °C в течение 11 мин, и затем путем заглабления его в расплаве NaNO_3 при $T = 340$ °C в течение 30 мин. Торец волновода полировался так, чтобы плоскость его составляла прямой угол с плоскостью волновода.

В эксперименте использовался He—Ne ($\lambda = 0.63$ мкм) лазер, излучение которого вводилось в волокно через его торец. К сполитрованному участку волокна с решеткой пристыко-

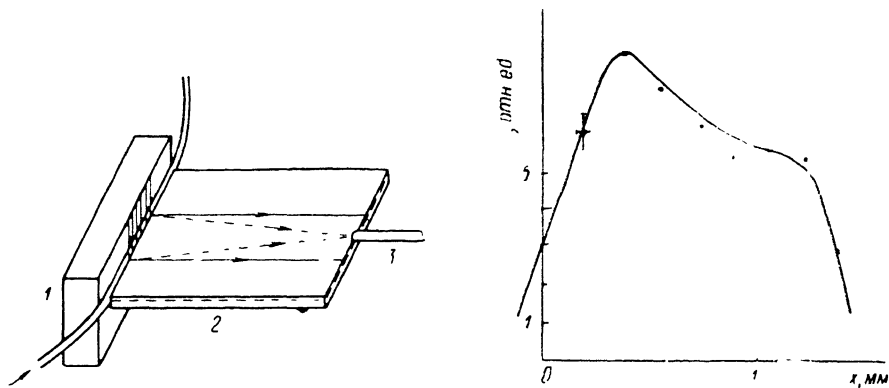


Рис. 1. Схема стыковки дисперсионного волоконного элемента и планарного волновода. 1 — дисперсионный волоконный элемент, 2 — стеклянная пластина с волноводом (волновод показан штриховой линией), 3 — волоконный световод. Сплошная линия со стрелками — ход лучей в волноводе при использовании дисперсионного волоконного элемента с постоянным периодом решетки, штриховая линия со стрелками — использование дисперсионного элемента с фокусирующей решеткой.

Рис. 2. Зависимость интенсивности I выведенного из планарного волновода света от координаты x , направленной вдоль распространения света в волоконном дисперсионном элементе.

вывался планарный волновод (рис. 1). Стыковка осуществлялась с помощью трехкоординатного микропозиционера, подвижный столик которого имел одну вращательную степень свободы. Юстировка дисперсионного элемента и планарного волновода относительно друг друга проводилась до тех пор, пока не достигался максимальный сигнал на выходе, т. е. на противоположном торце волновода. С помощью линзового объектива с $f = 50$ мм изображение этого торца переводилось на экран с подвижной щелью, за которой располагался фотоумножитель. На рис. 2 представлено распределение интенсивности I волноводного пучка света, полученное при сканировании щели вдоль изображения выходного торца волновода. Вид этого распределения повторяет распределение света, выведенного непосредственно из волокна, определяется в основном зависимостью глубины дифракционной решетки вдоль направления распространения света в волокне и может быть изменен за счет соответствующего изменения глубины решетки вдоль сполитрованной части волокна.

Отметим, что для увеличения коэффициента вывода света из волокна на поверхность сполитрованного волокна с решеткой напылялась пленка Nb_2O_5 с показателем преломления $n = 2.2$, толщиной $h = 300$ Å. В связи с этим ясно, что распределение света, выведенного из волокна, можно изменять и за счет нанесения пленки с высоким показателем преломления переменной толщины.

Длина использованного для стыковки планарного волновода составляла около 39 мм, вносимые при этом потери достигали 4 дБ, а коэффициент расширения $K = 180$.

Высокая эффективность стыковки стеклянного планарного волновода и дисперсионного элемента открывает возможности для возбуждения волоконного световода с помощью гофрированного участка его. Для демонстрации такой возможности нами был использован волоконный дисперсионный элемент, на поверхности волокна которого была изготовлена фокусирующая дифракционная решетка. Планарный волновод, пристыкованный к этому диспер-

сионному элементу, полировался с двух противоположных торцов так, что свет, введенный гофрированным участком световода, фокусировался на противоположном торце планарного волновода. В области фокусировки излучения на торце волновода пристыковывался другой волоконный световод, при этом излучение из планарного волновода переходило в волоконный световод (рис. 1). Для возбуждения волоконного световода через решетку производилось обращение направления распространения света, т. е. свет, введенный в волоконный световод, попадал сначала в планарный волновод, затем на решетку на волокне и после этого в волоконный световод дисперсионного элемента. Эффективность такого возбуждения световода в этом демонстрационном эксперименте была невелика, однако оптимизация всех элементов такого устройства и особенно реализация однонаправленности вывода света в дисперсионном элементе, несомненно, позволят достичь большой эффективности возбуждения световода через решетку и откроют возможности создания новых волоконно-оптических элементов (например, мультиплексоров) для оптических линий связи.

В заключение отметим, что при создании дисперсионного элемента наряду с кварцевым блоком используется блок из кремния, на поверхности которого для укладки волокон изготавливаются V-канавки переменной глубины с помощью фотолитографии и селективного травления кремния. Достоинством этой технологии полировки волокна является возможность изготовления сразу большого количества дисперсионных элементов, а также существенное уменьшение габаритов элемента и, естественно, размеров всего устройства в целом.

Таким образом, реализация волоконной расширителя волноводного пучка света на базе волоконного световода с дифракционной решеткой создает новые возможности формирования широких волноводных пучков света для волноводной голографии, уменьшения размеров интегрально-оптических устройств с линзовыми системами, а также создание новых интегрально-оптических устройств для систем связи.

В заключение авторы выражают благодарность А. С. Свахиной за помощь в изготовлении образцов.

Список литературы

- [1] Yoseph T. R., Ranganath T. R., Lee J. Y., Pedinoff M. E. // SPIE. Integrated Optics. 1982. Vol. 321. N 11. P. 134—140.
- [2] Баблюмян А. С., Морозов В. И., Путилин А. Н., Шермегор Т. Д. // Тр. ФИАН. 1987. Т. 185. С. 164—190.
- [3] Zang De Yu. // Opt. Commun. 1983. Vol. 47. N 4. P. 248—250.
- [4] Stoll H. M. // Appl. Opt. 1978. Vol. 17. P. 2362.
- [5] Аюни Ю. Х., Беловолов М. И., Бородулин В. И. и др. // Квантовая электрон. 1982. Т. 9. № 11. С. 2197—2203.
- [6] Свахин А. С., Сычугов В. А., Тулайкова Т. В. // Квантовая электрон. 1986. Т. 13. № 2. С. 440—442.

Институт общей физики АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
24 мая 1989 г.

06; 12

Журнал технической физики, т. 60, в. 4, 1990

© 1990 г.

ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕПОЧЕК ТОРЦЕВЫХ ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ ПЕРЕХОДОВ

В. А. Ильин, М. Д. Китайгородский

Торцевые джозефсоновские переходы (ТДП) [1, 2] обладают стабильностью и воспроизводимостью параметров, которые достаточны для изготовления на их основе последовательных цепочек (ЦТДП). В [3—5] сообщается об использовании таких цепочек в детекторах и смесителях СВЧ диапазона волн. Параметры указанных устройств определяются в первую очередь характером нелинейности применяемых в них чувствительных элементов. Основная информация об этом может быть получена из вольт-амперных характеристик (ВАХ), изучение которых является основной задачей настоящей работы.