

- [1] Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах. М., 1981, т. 1.
 [2] Paoli T. L., Ripper J. E. Review Letters, 1969, v. 22, p. 1085—1088.
 [3] Bogatov A. P., Eliseev P. G., Sverdlov B. N. IEEE J. Quantum Electronics, 1975, v. 11, N 7, p. 510—514.
 [4] Katz J., Margalit S., Harder C. et al. IEEE J. Quantum Electronics, 1981, v. 17, N 1, p. 4—7.

Кубанский государственный университет
Краснодар

Поступило в Редакцию
7 февраля 1986 г.
В окончательной редакции
30 сентября 1987 г.

Журнал технической физики, т. 58, в. 9, 1988

ПРОСТОЙ МЕТОД СОЧЛЕНЕНИЯ (СТЫКОВКИ) ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ С ПЛАНАРНЫМ ВОЛНОВОДОМ В УСТРОЙСТВАХ СПЕКТРАЛЬНОГО УПЛОТНЕНИЯ КАНАЛОВ СВЯЗИ

Б. Г. Панчев, В. А. Сычугов, Т. В. Тулайкова

Одним из путей решения проблемы передачи больших потоков информации по одному волоконному световоду является спектральное уплотнение каналов связи, т. е. одновременная передача по одному волокну информации на различных оптических несущих. Устройства спектрального уплотнения и разделение каналов могут быть выполнены по идентичным оптическим схемам. Ранее в [1, 2] сообщалось о разработке и оптимизации параметров таких устройств на базе автоколлимационной схемы с использованием дифракционной решетки, сферического зеркала и планарного волновода. Сферическое зеркало обычно изготавливается

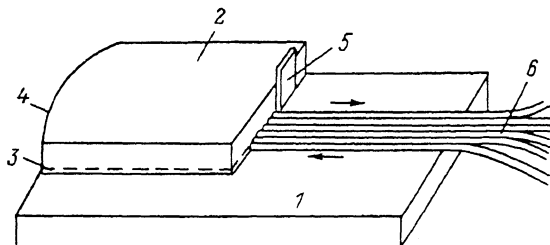


Рис. 1. Общий вид мультиплексора спектральных каналов.

1 — кремниевая пластина с V-образными канавками для укладки волокон, 2 — стеклянная пластина, 3 — волноводный слой стеклянной пластины, 4 — сферический торец, 5 — дифракционная решетка, 6 — волокна.

непосредственно на одном из торцов волновода, а к другому плоскополированному торцу волновода пристыковываются дифракционная решетка и входные и выходные волоконные световоды. Работоспособность устройств спектрального уплотнения и разуплотнения каналов связи во многом зависит от способа стыковки планарного волновода и волокна. На примере 25-канального мультиплексора нами реализован простой метод сборки отдельных элементов устройства и стыковки волокон с волноводом. Суть метода состоит в следующем: стеклянный образец с планарным волноводом и волокна располагаются на одной кремниевой подложке (рис. 1), причем стеклянный образец помещается на кремниевую подложку волноводом вниз, а волокна укладываются в специально вытравленные в кремнии V-образные канавки.

Для изготовления волноводов с необходимыми параметрами использовался метод двухступенчатого электростимулированного обмена ионов в стеклах с ионами Ag^+ из расплава, содержащего $AgNO_3$. Этот метод позволяет получать заглубленные волноводы с приблизительно прямоугольным профилем показателя преломления [3]. Волноводы формировались в боросиликатных стеклянных пластинах толщиной 500 мкм, показателем преломления

$n = n_D = 1.5219$ ($\lambda = 0.59$ мкм) и составом: SiO_2 — 65 %, Na_2O — 7.5 %, K_2O — 4.5 %, Al_2O_3 — 3 %, V_2O_5 — 7.5 %, ZnO — 6.5 %, TiO_2 — 5.5 %, Sb_2O_3 — 0.5 %. Обмен проводился при температуре 352 °С, приложенном напряжении 50 В, плотности тока 0.35 мА/см² в течение 70 мин из расплава, содержащего 10 моль % AgNO_3 и 90 моль % NaNO_3 .

Для уменьшения потерь света, вызванных рассеянием на поверхности, и для модификации профиля волноводов с целью повышения эффективности стыковки с оптическими волокнами

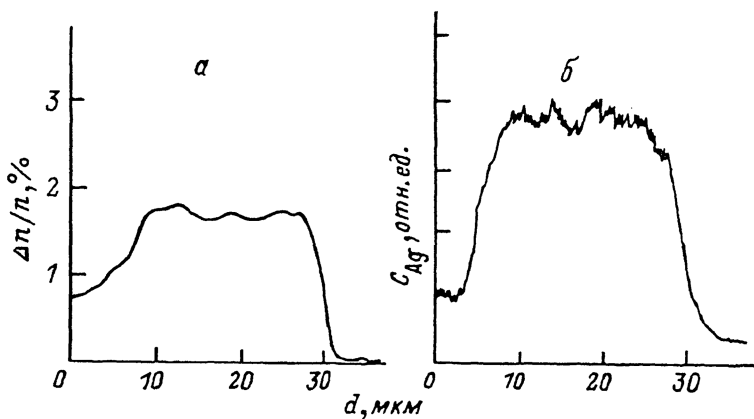


Рис. 2. Профиль волновода, полученного методом электростимулированного ионного обмена и измеренного с помощью электронного микроскопа (а) и методом отражательной рефрактометрии (б).

нами проводился второй ионный обмен из расплава чистого NaNO_3 в течение 8–10 мин при тех же температуре и электрическом поле.

Профиль показателя преломления волноводов определялся методом отражательной рефрактометрии [4, 5]. Точность определения разности коэффициентов преломления составляла ± 3 %. Для контроля работоспособности этого метода профиль ряда образцов с волноводами был измерен с помощью электронного микроскопа, работающего в режиме микро-

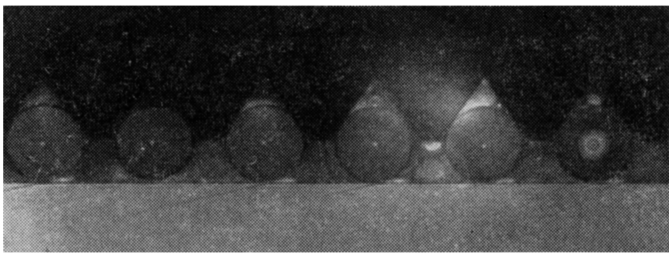


Рис. 3. Торцы волокон, уложенные в V-образные канавки.

анализа. Профиль волновода, измеренный двумя способами, показан на рис. 2. Волноводы имели $\Delta n \approx 0.013$, числовую апертуру $NA \approx 0.2$, эффективную толщину $h^* \approx 26$ мкм и заглубление, равное 6 мкм. V-образные канавки в кремниевой подложке были изготовлены методом селективного химического травления [6]. В эти канавки укладывались волокна с диаметром оболочки 130 ± 5 мкм, при этом центр сердцевинки каждого волокна был приподнят на 19 мкм над уровнем кремниевой пластины. Благодаря этому сердцевинки входных волокон (10 мкм) оказывались вписанными в волноводный слой стеклянной пластины, а сердцевина кварцевого волокна с диаметром 50 мкм оптимальным образом перекрывалась волноводным слоем. Технология изготовления V-образных канавок позволяет вытравливать канавки заданной ширины (и соответственно глубины с точностью 3 мкм), так что такой метод их укладки по существу является довольно точным методом юстировки волокон относительно волновода по двум координатам. На кремниевой подложке уложенные волокна заклеивались циакрином. О качестве укладки волокон в V-канавках можно судить по фотографии выходных торцов волокон, которые были отполированы вместе с кремнием (рис. 3).

Окончательная сборка устройства завершалась креплением стеклянного образца с волноводом на кремниевой подложке после его юстировки относительно волоконных световодов и пристыковки к нему дифракционной решетки. Дифракционная решетка с периодом $\Lambda = 3$ мкм и углом блеска 7° была сделана из кремния, и технология ее изготовления достаточно подробно изложена в [7].

Основные характеристики мультиплексора, определяющие область его применения в волоконно-оптических линиях связи, следующие: спектральный диапазон, число каналов, оптическая полоса пропускания каждого из каналов, полные потери в них. Положение каналов на шкале длин волн и полоса пропускания их определяются оптической схемой устройства. Из-за наличия aberrаций сферического зеркала размер пятна излучения, сфокусированного устройством в выходное волокно, увеличен. На основе подробного анализа aberrаций (см. [1, 2]) была проведена оценка полосы пропускания каналов данного устройства, которая составила 60—80 Å. Центральная длина волны в каждом из каналов λ_c была рассчитана.

№ канала	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
λ_c , мкм	0.83	0.86	0.88	0.91	0.94	0.97	1.00	1.04	1.07	1.09	1.12
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	1.15	1.19	1.22	1.25	1.28	1.31	1.34	1.37	1.40	1.43	1.46
	23	24	25								
	1.49	1.52	1.55								

Линейное расстояние между входными волокнами задавалось расстоянием между V-канавками и составило 185 мкм.

Полные потери в устройстве определяются потерями на решетке, в волноводе, на зеркальном сферическом торце, а также потерями на стыковку волокон с волноводом. Потери на решетке были измерены ранее [2] и в диапазоне 0.82—1.55 мкм работы мультиплексора не превышают 3 дБ, причем для пятен центральных каналов (что соответствует диапазону $\lambda = 1.1—1.3$ мкм) они не превышают 1 дБ. Потери в аналогичном незаглубленном волноводе при $\lambda > 0.8$ мкм ~ 0.2 дБ/см [3], что составляет 1.6 дБ на четырехкратный проход света в устройстве. Для того, чтобы определить, какие дополнительные потери вносит реализованная в данной работе методика сборки и стыковки волокон с помощью V-каналов, были измерены полные потери в устройстве до и после его сборки. Для этого к пластине с волноводом были пристыкованы решетки и два волокна: входное, соответствующее каналу № 12, и приемное. Потери, измеренные таким образом на длине волны $\lambda = 1.15$ мкм, равны 3 дБ, после окончательной сборки устройства на кремниевой пластине и укладки всех волокон в V-канавки потери в канале № 12 составили 5 дБ, а дополнительные потери при сборке — 1.5 дБ.

Таким образом, изложенный способ сборки мультиплексора обеспечивает вполне приемлемые для практического использования дополнительные потери, которые могут быть снижены за счет уменьшения допуска на диаметр оболочки волокна и эксцентриситет сердечника относительно оболочки.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность И. Г. Стоеву, А. С. Свахиной и В. А. Григорьевой за помощь в работе.

Литература

- [1] Миллер М., Сычугов В. А., Тулайкова Т. В. Квант. электр., 1984, т. 11, № 3, с. 597—601.
- [2] Сычугов В. А., Свахин А. С., Тулайкова Т. В. ЖТФ, 1983, т. 53, № 12, с. 2387—2393.
- [3] Lilienhof H.-J., Voges E., Ritter D., Pantschew B. IEEE J. Quantum Electron., 1982, v. 18, N 11, p. 1877—1883.
- [4] Eickhoff W., Weidel E. Opt. Quantum Electron., 1975, v. 7, N. 2, p. 109—113.
- [5] Ikeda M., Tateda M., Yoshikiyo H. Appl. Opt., 1975, v. 14, N 5, p. 814—815.
- [6] Stoev I., Petkanov L. Bulg. J. Phys., 1982, v. 9, N 3, p. 277—284.
- [7] Fujii Y., Aoyama K.-I., Minowa J.-I. IEEE J. Quantum Electron., 1980, v. 16, N 2, p. 165—169.
- [8] Viljanen J., Leppihalme M. Proc. of the first european conf. on integrated optics. London, 1981, 14—15 sept., p. 18—21.

Институт общей физики АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
7 августа 1986 г.
В окончательной редакции
24 марта 1988 г.