

то проявляется в виде модуляции выходной мощности с изменением расстояния L . Для широкополосного сигнала будет наблюдаться обратный эффект: интегральная мощность колебаний остается постоянной, но спектр результирующего сигнала, согласно [4], оказывается периодически промодулированным, причем период модуляции совпадает с (1).

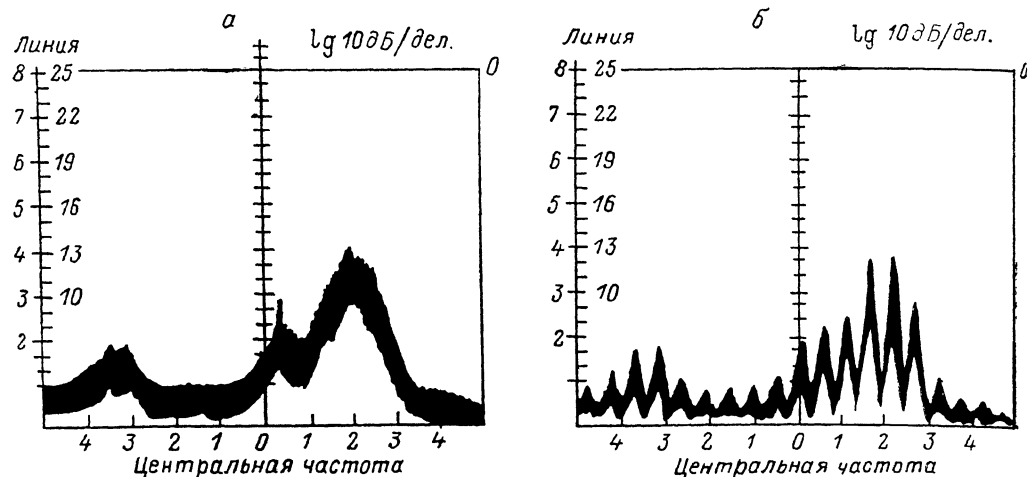


Рис. 2.

Результаты проведенного эксперимента по интерференции широкополосных некогерентных сигналов показаны на рис. 2 (*а* — спектр излучаемого, *б* — спектр суммарного сигнала). Расстояние между нулями в результирующем спектре обратно пропорционально L .

Отметим, что обе трактовки дают качественно одинаковый результат, что вполне естественно, так как резонансность является следствием интерференции.

Литература

- [1] Безручко Б. П., Булгакова Л. В., Кузнецов С. П., Трубецков Д. И. РиЭ, 1983, т. 28, № 6, с. 1136—1139.
- [2] Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 720 с.
- [3] Азманов С. А., Дьяков Ю. Е., Чиркин А. С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. М.: Наука, 1981. 640 с.
- [4] Троицкий В. С. ЖТФ, 1955, т. 25, № 8, с. 1426—1435.

Институт радиофизики
и электроники АН УССР
Харьков

Поступило в Редакцию
16 июня 1987 г.

УЗКОПОЛОСНЫЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ ФИЛЬТР НА ОДНОМОДОВОМ ВОЛОКОННОМ СВЕТОВОДЕ

С. Б. Коровин, В. Л. Смирнов, А. В. Шмалько

Частотное уплотнение каналов в волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС) позволяет существенно увеличить объем информации, передаваемой по одномодовому волоконному световоду (ОВС). Для этого применяют фильтры и демультиплексоры с высоким разрешением, малыми вносимыми потерями и перекрестными помехами, которые выполнены на основе оптических волноводов с периодически изменяющимися параметрами [1]. Оптимальными являются фильтры, выполненные на самом ОВС. Возможность реализации фильтров такого типа рассматривалась в работах [2-4]. Однако в волноводных фильтрах, полученных за счет

гофрирования прилегающей к ОВС среды, как правило, затруднительно обеспечить гармоническую модуляцию гофра, что может ухудшить их спектральные характеристики.

В настоящей работе представлены результаты теоретического и экспериментального исследования узкополосного интерференционного фильтра отражательного типа на ОВС, в котором в качестве селективного элемента используется голографическая дифракционная решетка, сформированная за счет периодической модуляции показателя преломления прилегающей к ОВС среды.

При создании фильтра у ОВС частично удалялась оболочка, вместо нее наносился тонкий слой светочувствительного материала, в котором излучением с длиной волны $\lambda=0.633$ мкм,

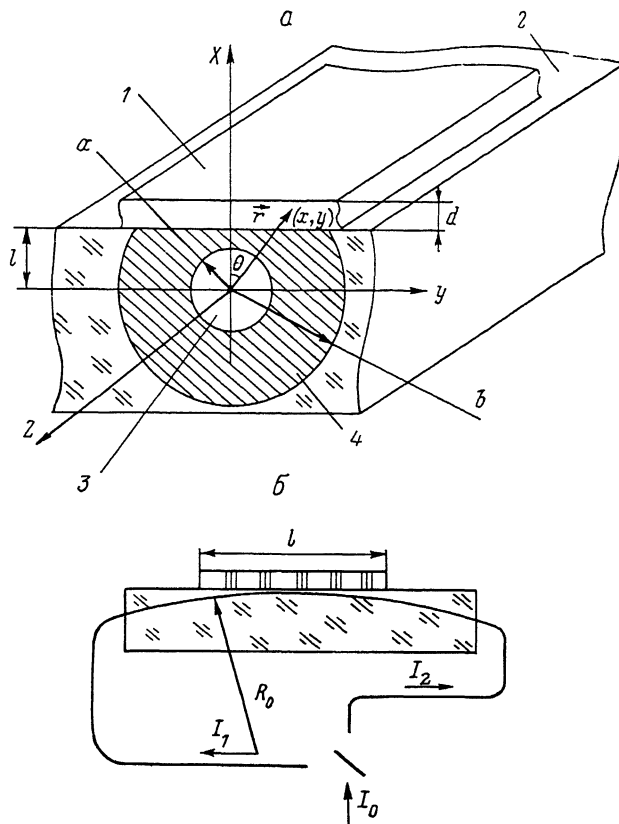


Рис. 1. Геометрия поперечного сечения волоконно-планарной структуры (а) и схема формирования голографической периодической дифракционной решетки (б).

1 — фотополимер n_1 , 2 — кварцевая подложка, 3 — сердцевина ОВС n_0 , 4 — оболочка ОВС n_2 .

введенным в ОВС с обоих концов (рис. 1, б), формировалась дифракционная решетка. В качестве светочувствительного материала использовался фотополимер на основе олигоуретаноакрилата [5] с показателем преломления $n_2 \approx 1.6$, имеющий максимальную амплитуду модуляции показателя преломления $\Delta n \approx 10^{-5}$ и толщину $d = 3-5$ мкм. Длина дифракционной решетки L определяется длиной участка нерегулярности (область связи прямой и обратной мод ОВС), которая задается величиной радиуса кривизны изогнутого ОВС (рис. 1, б) и в нашем случае составляет величину $L \approx 5 \cdot 10^3$ мкм.

Световое поле в области нерегулярности ОВС проникает в слой фотополимера, глубина проникновения поля зависит от расстояния l до этого слоя от оси ОВС, его показателя преломления n_2 и толщины d , причем эти параметры также определяют потери оптической мощности в ОВС. В первом случае потери возникают из-за перекачки оптической мощности из моды ОВС в моды планарной полимерной структуры в случае выполнения условия фазового синхронизма между ними. Исключить эти потери можно выбором толщины слоя фотополимера при фиксированном показателе преломления. Оптимальная толщина может быть найдена из условия фазового рассогласования постоянных распространения моды ОВС и любой

моды полимерной планарной структуры на основе приближенного анализа сильно несимметричного волновода [6] и определяется неоднозначно. Можно показать, что она равна

$$d \simeq m\lambda_0/2 [2n_2(n_2 - n_0)]^{1/2}, \quad (1)$$

где n_0 — показатель преломления кварцевой оболочки ОВС; $m=1, 3, 5 \dots$; λ_0 — длина волны излучения, направляемого планарной структурой.

Во втором случае потери могут возникать из-за искажения поля LP_{01} моды ОВС вследствие сильной нерегулярности участка ОВС с удаленной оболочкой. С учетом этого в работе рассматривается волоконно-планарная структура со слабой нерегулярностью для случая

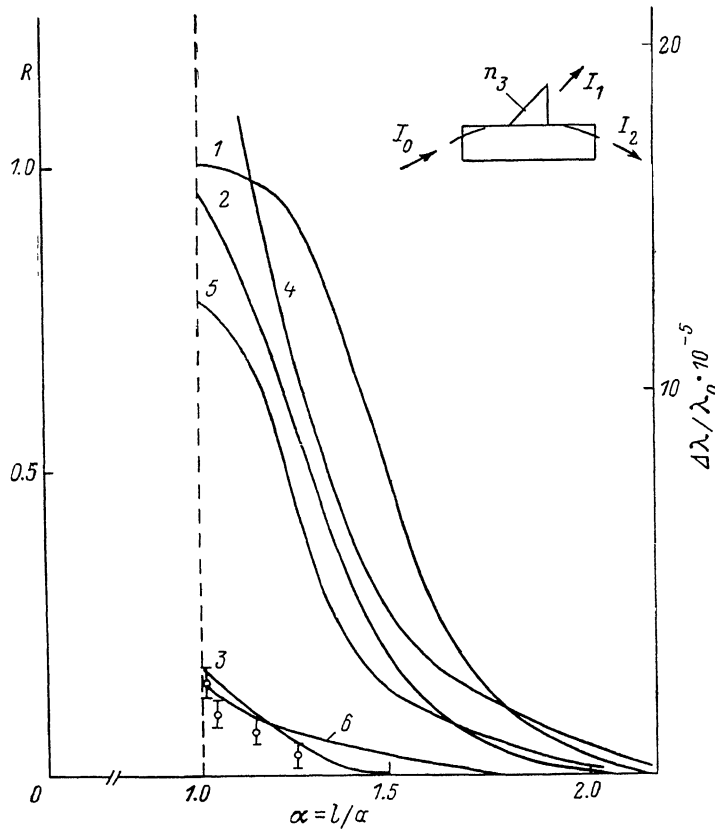


Рис. 2.

1, 4 — $\Delta n=10^{-4}$; 2, 5 — $5 \cdot 10^{-5}$; 3, 6 — 10^{-5} .

отсутствия фазового синхронизма между LP_{01} модой ОВС и модами полимерной планарной структуры.

Коэффициент отражения R полученного отражательного фильтра равен $R = \text{th}^2(KL)$ [1], а его относительная спектральная ширина полосы $\Delta\lambda/\lambda_0 = \lambda_0 K / \pi n_{\text{эф}}$ [6]. Расчет величины константы связи K , следовательно, коэффициента отражения фильтра R и относительной спектральной ширины полосы $\Delta\lambda/\lambda_0$ в аналитическом виде можно выполнить только приближенно. Для рассматриваемого нами случая константу связи в соответствии с [6] представим в следующем виде:

$$K = [un_2 \Delta n k / 4\pi a^2 n_1 (w^2 + u^2) K_1^2(w)] \int_0^\pi d\theta \int_l^{l+d} K_0^2\left(\frac{wr}{a}\right) r dr \quad (2)$$

где k — волновое число в вакууме, $w^2 = a^2(\beta^2 - k^2 n_0^2)$, $u^2 = a^2(kn_1^2 - \beta^2)$; $K_{0,1}$ — модифицированные функции Бесселя; θ — угол между осью x и радиус-вектором r (рис. 1, a); a — радиус сердцевин ОВС; n_1 — показатель преломления сердцевин ОВС.

При интегрировании выражения (2) по координате r подынтегральную функцию можно вывести за знак интеграла, так как величина полимерного слоя $d \ll l$, и с учетом того, что $a \ll l$, находим константу связи K

$$K \simeq u^2 n_2 \Delta n k_{xz} d K_0^2(xw)/a (w^2 + u^2) K_1^2(w), \quad (3)$$

где $a = l/a$.

В выражении (3) величины n_2 и Δn однозначно определяются типом фотополимера и временем его экспозиции. Значения величин $u \simeq 1.7$ и $w \simeq 1.68$ находятся из численного решения дисперсионного уравнения [7] для ОВС типа кварц—кварц, имеющего диаметр оболочки $2b = 125$ мкм, диаметр сердцевины $2a = 5$ мкм и разность показателей преломления $\Delta n_0 = 4 \cdot 10^{-3}$. Величина a определялась в эксперименте косвенным методом [8]. При этом измерялась величина коэффициента пропускания исследуемой структуры $T = I_1/I_0$ (рис. 2), которая равна [8]

$$T = \exp \left\{ -2L \left[\frac{4\pi (n_0^2 - n_3^2) u^2 a}{\lambda_0 (4\pi^2 n_3^2 a^2 - u^2 \lambda_0^2)^{1/2} (w^2 - u^2) w^2 K_1^2(w)} a^2 w^2 \int_0^\infty K_1^2((z^2 + a^2 w^2)^{1/2}) dz - \int_0^\infty K_3^2((z^2 + a^2 w^2)^{1/2}) dz \right] \right\}, \quad (4)$$

где n_3 — показатель преломления выводной призмы (рис. 2).

На рис. 2 приведены расчетная зависимость коэффициента отражения R фильтра от величины α для различных значений амплитуды модуляции показателя преломления Δn дифракционной решетки (кривые 1, 2, 3) и экспериментальные данные (точки), а также расчетная зависимость относительной спектральной ширины $\Delta\lambda/\lambda_0$ фильтра от величины α (кривые 4, 5, 6). В эксперименте получена максимальная величина коэффициента отражения фильтра $R = 0.15$, при этом оценочная относительная спектральная ширина полосы $\Delta\lambda/\lambda_0 \simeq 3 \cdot 10^{-5}$, что соответствует $\Delta\lambda \simeq 0.2 \text{ \AA}$. Из рис. 2 видно, что существует несколько методов повышения коэффициента отражения фильтра. Во-первых, увеличения коэффициента отражения фильтра можно достигнуть выбором фотополимерного слоя с более высоким значением Δn , однако это ведет к увеличению спектральной ширины полосы фильтра. Во-вторых, для повышения R следует уменьшить величину отношения l/a , но при этом возникают дополнительные потери оптической мощности. В связи с этим наиболее оптимальным путем повышения коэффициента отражения фильтра R при заданной относительной ширине полосы является увеличение длины дифракционной решетки, которое может быть достигнуто за счет выбора радиуса кривизны ОВС (рис. 1, б). Условие слабой связи позволяет уменьшить вносимые фильтром потери до уровня менее 0.5 дБ. Приведенный анализ экспериментальных данных и оценки показывают, что коэффициент отражения фильтра может быть увеличен практически до 100 % за счет конструктивного задания параметров фильтра.

Литература

- [1] Бывковский Ю. А., Смирнов В. Л., Шмалько А. В. Квант. электрон., 1978, т. 5, № 11, с. 2309—2331.
- [2] Свагин А. С., Сыгугов В. А., Тулайкова Т. В. Квант. электрон., 1986, т. 13, № 2, с. 440—442.
- [3] Lin K., Sorin W. V., Shaw H. J. In: Integrated and Guided-wave Optics Summary Technical Papers Integrated and Guided-wave Optics. Washington, 1986, p. 34—36.
- [4] Marek T., Włodarczyk M. T., Seshadri S. R. J. Appl. Phys., 1985, v. 57, N 3, p. 943—955.
- [5] Шулев Ю. В., Козенков В. М., Барачевский В. А., Кислица П. П. Интегральная оптика. Физические основы, приложения. Новосибирск: Наука, 1986, с. 83—93.
- [6] Введение в интегральную оптику / Под ред. М. Барноски. М.: Мир, 1977. 308 с.
- [7] Адамс М. Введение в теорию оптических волноводов. М.: Мир, 1984. 512 с.
- [8] Коровин С. Б., Лажечкин В. Ф., Смирнов В. Л., Шмалько А. В. Квант. электрон., 1987, т. 14, № 7, с. 1109—1114.

Поступило в Редакцию
8 июля 1987 г.