

06.2;06.3;07

©1994

## ПОЛЯРИЗАЦИОННО-НЕЗАВИСИМЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ЦИРКУЛЯТОР ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ

*А.С.Трифонов, К.И.Уриц*

Оптические системы связи достигли к настоящему времени высокого уровня развития и имеют большое количество практических применений. Этот факт является мощным стимулом для развития новых компонентов таких систем. Существует целый ряд оптических приборов, объединяемых общим принципом построения и называемых невзаимными. Их ключевой особенностью является способность пропускать свет в одном направлении и не пропускать в обратном. Оптический циркуляр [1-3] является одним из таких приборов. Он имеет три или более плеча, сигнал в нем проходит из плеча 1 в плечо 2, из плеча 2 в плечо 3 и т.д.

Большинство предложенных схем циркуляторов используют магнитооптические эффекты, в основном эффект Фарадея. Он заключается в невзаимном вращении плоскости поляризации линейно поляризованного света, проходящего через кристалл в прямом направлении. Существуют поляризационно зависимые и поляризационно независимые циркуляторы. Для первых на входе необходим пучок света с линейной поляризацией определенной ориентации, они более просты в изготовлении. Циркуляторы второго типа могут работать с пучками любой произвольной поляризации. Они более сложны в изготовлении, но более предпочтительны при использовании стандартных одномодовых или многомодовых волокон. В данном письме описывается поляризационно независимый оптический циркулятор, согласованный с многомодовым оптическим волокном, и приводятся его характеристики.

Циркулятор имеет четыре порта, оптическая мощность проходит по следующему пути: 1-2-3-4-1. Основной принцип работы прибора — деление пучка произвольной поляризации на два пучка ортогональной поляризации. Схема прибора представлена на рис. 1. Циркулятор состоит из двух поляризационных призм — модифицированные призмы Глана-Томпсона, двух фарадеевских вращателей — кристаллы железо-иттриевого граната (ЖИГ) в Sm-Co магнитах, и двух полуволновых кварцевых пластинок.

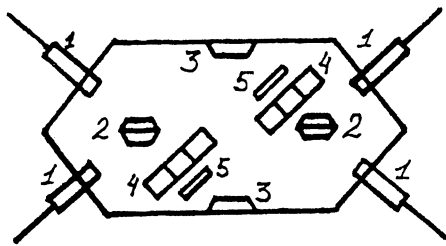


Рис. 1. Схема циркулятора.

1 — волокно с цилиндрической микролинзой, 2 — поляризационная призма, 3 — зеркало, 4 — фарадеевский вращатель, 5 — полуволновая кварцевая пластинка.

Согласование с оптическим волокном было реализовано при помощи двух цилиндрических градиентных микролинз типа SELFOC. Длина этих линз выбиралась такой, чтобы обеспечить максимум эффективности ввода. Очевидно, что максимум эффективности может быть достигнут, когда перетяжка пучка расположена строго посередине между линзами. Исходя из этого, нетрудно вычислить оптимальную длину линзы. Используя выражение для преобразования конфокального параметра пучка линзой типа SELFOC, можно получить (см. рис. 2):

$$z_2 = \frac{\cos(\alpha z_1) \cdot \sin(\alpha z_1) \cdot [1/\alpha n - a^2 \alpha n]}{\cos^2(\alpha z_1) + (\alpha n)^2 \cdot a^2 \sin^2(\alpha z_1)}, \quad (1)$$

где  $a$  — конфокальный параметр пучка на выходе волокна,  $z_1$  — длина линзы,  $z_2$  — расстояние между линзой и перетяжкой пучка,  $\alpha$  — параметр параболичности линзы,  $n$  — показатель преломления на оси линзы.

Это уравнение позволяет определить расстояние до перетяжки, зная длину линзы, и наоборот. В данном устройстве использовалось стандартное многомодовое волокно с диаметром сердцевинки 50 мкм и апертурой 0,2, что соответствует  $a = 125 \text{ мм}^{-1}$ ,  $n = 1.626$ . Используя эти значения и принимая  $z_2 = 30 \text{ мм}$ , получаем  $z_1 = 8.308 \text{ мм}$ .

Важным параметром прибора является его чувствительность к изменению длины волны. Наиболее зависимым элементом циркулятора является полуволновая пластинка,

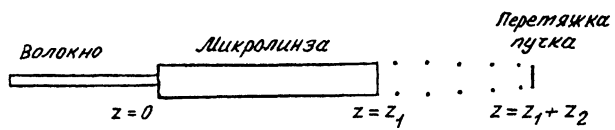


Рис. 2. Схема согласования.

Входы	Выходы			
	1	2	3	4
1	-	2.8	23	18
2	3.5	-	17	22
3	23	17	-	3.3
4	3.2	22	17	-

чувствительность которой к изменению длины волны резко возрастает с увеличением порядка пластинки. Соотношение между коэффициентом экстинкции (отношение квадратов осей эллипса поляризации) и длиной волны  $\lambda$  приводится ниже.

Пусть  $\delta$  — разность фаз обыкновенного и необыкновенного лучей, так что

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} d(n_E - n_0), \quad (2)$$

где  $\lambda$  — длина волны,  $d$  — толщина пластинки,  $n_E$ ,  $n_0$  — показатели преломления необыкновенного и обыкновенного лучей.

Для полуволновой пластинки  $\delta = 2\pi(m + 1)$ , где  $m$  — порядок пластинки. Используя матрицу Мюллера для полуволновой пластинки, повернутой на угол  $\theta$ , можно получить:

$$\gamma = \frac{1 - (\cos^2 2\theta + \sin^2 2\theta \cdot \cos^2 \delta)^{-1/2}}{1 + (\cos^2 2\theta + \sin^2 2\theta \cdot \cos^2 \delta)^{1/2}}. \quad (3)$$

В нашем случае пластинка поворачивает плоскость поляризации на  $45^\circ$ , так что угол  $\theta$  должен быть равен  $22.5^\circ$ , и

$$\gamma = \frac{1 - |\cos \delta|}{1 + |\cos \delta|}. \quad (4)$$

Используя (4) и уравнение  $\frac{\Delta\delta}{\pi} = (2m + 1)\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$  для полуволновой пластинки можно определить диапазон длин волн, в котором может быть достигнуто необходимое значение коэффициента экстинкции. Пусть  $\lambda = 1.3$  мкм,  $m = 1$ ,  $\gamma < 10^{-3}$ , тогда, используя (3) и (4), получим  $2\Delta\lambda < 17.5$  нм. Таким образом, коэффициент экстинкции в области 17 нм около центральной длины волны 1.3 мкм составляет величину около 30 дБ.

Основными характеристиками оптического циркулятора являются прямые потери и коэффициент изоляции между каналами. Для измерения этих характеристик оптический

сигнал от полупроводникового лазера подавался на одно из плеч, и на остальных трех плечах измерялась величина прошедшей оптической мощности. Результаты измерений приведены в таблице.

В данной работе приводится описание поляризационно независимого оптического циркулятора, его основные характеристики, обсуждаются ограничения параметров устройства, связанные с немонахроматичностью источника излучения.

Авторы выражают благодарность Р.В.Писареву за поддержку и помощь в обсуждении работы.

#### Список литературы

- [1] *Iwamura H. et al. // Electron. Lett. 1979. V. 15. P. 830.*
- [2] *Matsumoto T., Sato K. // Appl. Opt. 1980. V. 19. P. 108.*
- [3] *Zizzo C. // Appl. Opt. 1987. V. 26. P. 3470.*

Физико-технический  
институт им. А.Ф.Иоффе  
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию  
29 апреля 1994 г.