

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ ЭКСТИНКЦИИ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИХ СХЕМ

М. В. Спири́н<sup>а</sup>, А. В. Трегубов<sup>б</sup>

<sup>а</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
614990, Пермь, Букирева, 15

<sup>б</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
614990, Пермь, Комсомольский пр., 29

На базе волоконно-оптических гироскопов (ВОГ), принцип работы которых основан на эффекте Саньяка [1], создаются навигационные системы, используемые в авиации, кораблях и других транспортных средствах.

Одним из ключевых компонентов ВОГ является интегрально-оптическая схема (ИОС), которая представляет собой подложку из ниобата лития  $\text{LiNbO}_3$  (X-срез) с протонообменными волноводами. ИОС в волоконно-оптическом гироскопе выполняет функции трех устройств: поляризатор, фазовый модулятор и разветвитель каналов.

Однако ИОС не является идеальным поляризатором. Вследствие этого, после попадания деполаризованного света в ИОС, в выходном волокне после ИОС, кроме рабочей  $TE$ -моды (вектор напряженности электрического поля колеблется в плоскости, параллельной кристаллографическому направлению  $Z$  в ниобате лития  $\text{LiNbO}_3$ ) также имеется паразитная  $TM$ -мода (вектор напряженности электрического поля колеблется в плоскости, параллельной кристаллографическому направлению  $X$  в ниобате лития  $\text{LiNbO}_3$ ). При этом важно отметить, что волноводной является только  $TE$ -мода, а в подложку из ниобата лития  $\text{LiNbO}_3$  попадает как  $TE$ -, так и  $TM$ -мода. В данной работе не рассматривается распространение  $TE$ -моды в подложке (эффект амплитудной модуляции).

На первый взгляд, попадание  $TM$ -моды в выходное волокно не может привести к отрицательным последствиям, т.к.  $TE$ - и  $TM$ -моды поляризованы ортогонально и не могут интерферировать. Однако вследствие отсутствия идеального сохранения поляризации на стыковке оптического волокна с ИОС (коэффициент поляризации может составлять  $5 \div 30$  дБ при различных температурах) и в местах сварок оптических волокон (коэффициент поляризации составляет  $25 \div 50$  дБ) происходит паразитная интерференция. Результатом такой паразитной интерференции является отклонение (по периодическому закону) реальной угловой скорости от угловой скорости, измеренной при помощи ВОГ, что является признаком наличия паразитного интерферометра в схеме ВОГ. Эффективность ИОС как поляризатора можно характеризовать поляризационной экстинкцией ИОС  $PER_{\text{ИОС}}$ , показывающей отношение мощности  $TM$ -моды к мощности  $TE$ -моды в логарифмическом масштабе.

Одним из способов уменьшения поляризационной экстинкции является применение пространственных фильтров в ИОС [2-5]: пазов, выполненных вдоль кристаллографического направления  $Z$  в ниобате лития  $LiNbO_3$  и отверстий, параллельных кристаллографическому направлению  $X$  в ниобате лития  $LiNbO_3$ .

Цель: исследовать влияние различных топологий пространственных фильтров на поляризационную экстинкцию ИОС  $PER_{ИОС}$ .

Задачи:

1. Определить методику обработки измерений  $PER_{ИОС}$ ;
2. Измерить  $PER_{ИОС}$  для ИОС с различной топологией пространственных фильтров;
3. Сравнить полученные результаты.

Для нахождения  $PER_{ИОС}$  используется прибор РХА-1000, измеряющий перекрестные поляризационные помехи  $помеха_i$  (дБ), зная которые, можно найти  $PER_{ИОС}$ :

$$PER_{ИОС} = 10 \lg \left( \sum_i \frac{Power_{TM_i}}{Power_{TE_i}} \right) = 10 \lg \left( \sum_i 10^{\frac{помеха_i (дБ)}{10}} \right),$$

$$помеха_i = 10 \lg \left( \frac{Power_{TM_i}}{Power_{TE_i}} \right).$$

Принципиальная схема работы РХА-1000 показана на рисунке 1.

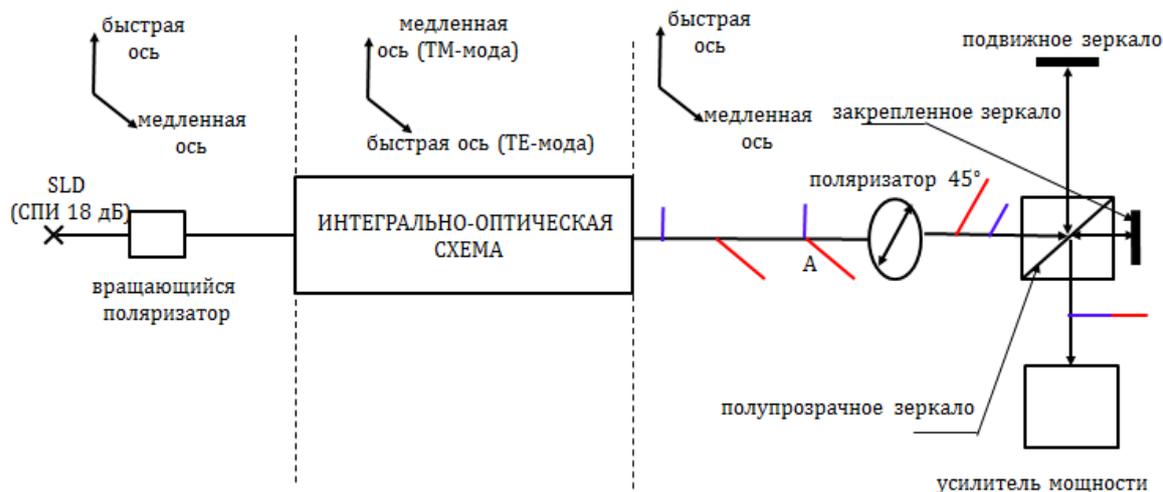


Рис. 1. Принципиальная схема работы РХА-1000

Источником света в РХА-1000 является SLD-лазер, коэффициент поляризации которого составляет  $\approx 18$  дБ. При этом свет распространяется по «медленной оси» оптического волокна, затем переходя в «быструю ось» ИОС (под «медленной осью» понимается направление в материале с показателем преломления большим, чем в ортогональном направлении, при

этом «медленная» и «быстрая» ось перпендикулярны направлению света). Далее частично линейно-поляризованное излучение попадает на поляризатор, вращая который можно регулировать мощность оптического сигнала, проходящего через поляризатор. При максимальной мощности оптического сигнала имеем случай распространения минимальной мощности  $TM$ -моды в подложке. Средняя мощность оптического сигнала эквивалентна попаданию в ИОС деполаризованного излучения, при этом в подложке распространяется мощность  $TM$ -моды, в два раза больше, чем в случае максимальной оптической мощности сигнала.

На экспериментальном графике пики, высота которых не зависит от мощности оптического сигнала, показывают коэффициенты поляризации сварок оптических волокон, стыковок оптического волокна с ИОС, коннекторов (между вращающимся поляризатором и оптическим волокном и другие).

Пики, высота которых меняется при изменении мощности, являются перекрестными поляризационными помехами ИОС, используемыми при расчете  $PER_{\text{ИОС}}$  согласно (12).

После попадания излучения в ИОС, свет разделяется на два волновых пакета:  $TE$ -мода и  $TM$ -мода.  $TE$ -мода на выходе из ИОС опережает  $TM$ -моду, т.к.  $TE$ -мода распространяется по «быстрой» оси, а  $TM$ -мода распространяется по «медленной» оси, также  $TM$ -мода претерпевает отражения по сравнению с  $TM$ -модой.

После ИОС «быстрая» ось переходит в «медленную» и наоборот. В результате чего паразитный волновой пакет ( $TM$ -мода) догоняет волновой пакет с  $TE$ -модой и происходит паразитная интерференция согласно (4). Такая интерференция фиксируется при помощи интерферометра Майкельсона, включающего поляризатор, расположенный под углом  $45^\circ$  по отношению к «быстрой» и «медленной» осям, систему зеркал (полупрозрачное, закрепленное и подвижное зеркала) и фотоприемник (рис. 1). Данные с фотоприемника преобразуются в интерферограмму при помощи программной части РХА-1000.

Результаты измерений  $PER_{\text{ИОС}}$  исследуемых ИОС представлены в таблице 1.

Таблица 1. Анализ ИОС с различной топологией пространственных фильтров

тип пространственного фильтра	$PER_{\text{ИОС}}$ (среднее), дБ	$\Delta PER_{\text{ИОСЭП}}$ (эксперимент), дБ
отсутствует	- 43	-
три паза шириной $w = 0,16$ мм и высотой $h = 0,4$ мм	- 44,5	1,5
три паза шириной 2,3 мм и высотой 0,9 мм и три отверстия радиусом 145 мкм	- 50	7

Пазы с большей высотой и шириной в ИОС позволяют достичь лучших результатов уменьшения поляризационной экстинкции (таблица 1). А

именно: в ходе измерений для ИОС без пространственных фильтров  $PER_{ioc} = -43 \text{ дБ}$ , ИОС с пазами шириной  $w = 0,16 \text{ мм}$  и высотой  $h = 0,4 \text{ мм}$   $PER_{ioc} = -44,5 \text{ дБ}$ , ИОС с пазами шириной  $w = 2,3 \text{ мм}$  и высотой  $h = 0,9 \text{ мм}$  и тремя отверстиями радиусом  $145 \text{ мкм}$   $PER_{ioc} = -50 \text{ дБ}$ .

При этом важно отметить, что конструкция отверстий не является эффективной, т.к. диаметр отверстий ( $290 \text{ мкм}$ ) намного меньше ширины ИОС ( $3,2 \text{ мм}$ ) и отверстия не могут препятствовать боковым отражениям. Следовательно, улучшение экстинкции может быть связано только с наличием пазов шириной  $w = 2,3 \text{ мм}$  и высотой  $h = 0,9 \text{ мм}$ .

### Список литературы

1. *Малькин Г. Б.* Эффект Саньяка. Корректные и некорректные объяснения, Успехи физических наук. 2000. Т. 170. № 12. С. 1325–1326.
2. *Guattari F., Lefevre H.* Integrated optical circuit with an off-center groove // Patent №: US20130202250 A1. 2013.
3. *Lefevre H., Guattari F.* Integrated optical circuit with traversing attenuation zone // Patent № WO2013107984 A1. 2013.
4. *Lefevre H., Guattari F.* Attenuated primary reflection integrated optical circuit // Patent № US20130202249 A1. 2013.
5. *Kissa K. M.* Optical substrate with light absorbing segments // Patent № US5321779 A. 1994.