

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ ЭКСТИНКЦИИ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИХ СХЕМ

М. В. Спири́н^а, А. В. Трегубов^б

^аПермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Пермь, Букирева, 15

^бПермский 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 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 LiNbO_3) также имеется паразитная TM -мода (вектор напряженности электрического поля колеблется в плоскости, параллельной кристаллографическому направлению X в ниобате лития LiNbO_3). При этом важно отметить, что волноводной является только TE -мода, а в подложку из ниобата лития 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.

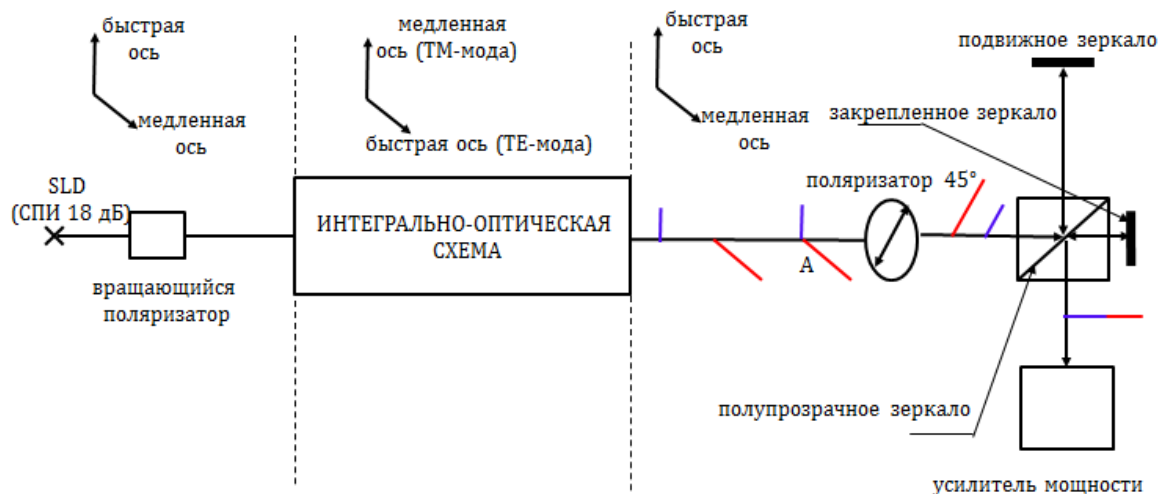


Рис. 1. Принципиальная схема работы РХА-1000

Источником света в РХА-1000 является SLD-лазер, коэффициент поляризации которого составляет ≈ 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° 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 мкм $PER_{ioc} = -50 \text{ дБ}$.

При этом важно отметить, что конструкция отверстий не является эффективной, т.к. диаметр отверстий (290 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.