

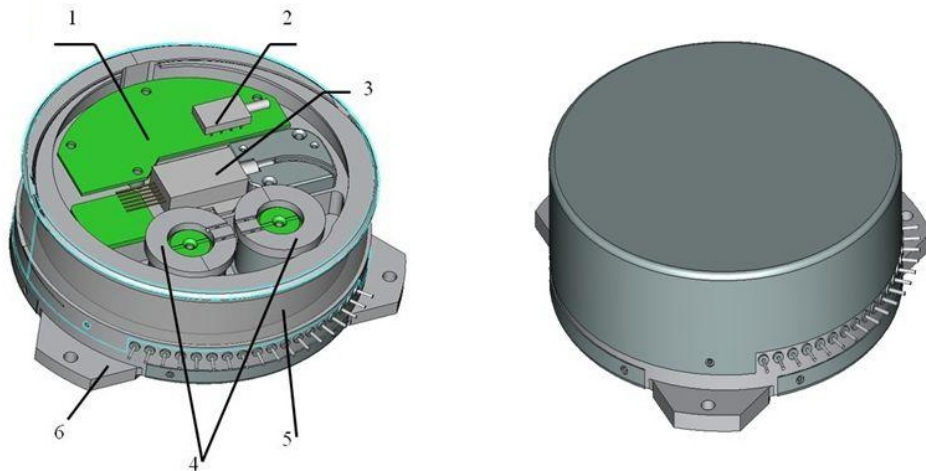


**+7 (495) 845-12-10**  
**[www.lasercomponents.ru](http://www.lasercomponents.ru)**

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ  
МИКРООПТИЧЕСКИХ  
ГИРОСКОПОВ  
(МОГ)**

**ООО «ЛАЗЕРНЫЕ КОМПОНЕНТЫ»  
2024 г.**

## Конструктивное устройство ВОГ навигационного класса



*Компоновка оптических элементов  
 в корпусе ВОГ*

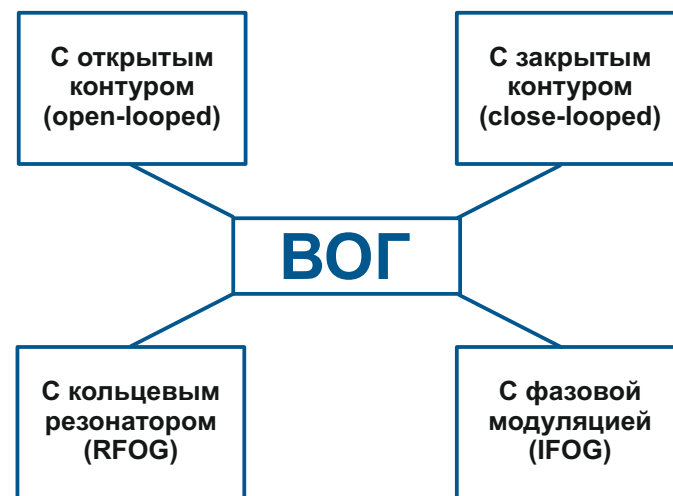
1 – плата УФТ; 2 – фотодиод; 3 – СЛД;  
 4 – фазовые модуляторы; 5 – катушка волоконного контура; 6 - корпус

*Внешний вид ВОГ*

Все, серийно производимые на сегодняшний день, ВОГ принадлежат к т.н. интерференционному типу (IFOG), т.е. они построены на принципе определения разности фаз двух встречных световых волн, которая прямо пропорциональна угловой скорости вращения контура интерферометра. Однако в последнее время наметилась технологическая основа для создания эффективных моделей ВОГ резонансного типа (RFOG) на принципе частотной модуляции, которые должны при использовании волокна на несколько порядков меньшей длины достичь той же точности измерений, что и интерферометрические ВОГ. Основной проблемой на этом пути наряду с подавлением главных погрешностей (обратное рассеяние, флуктуации поляризации, оптический эффект Керра и т.д.) является согласование частот излучения двух волноводных каналов с собственными частотами пассивного кольцевого резонатора. Попытки использования для этих целей акустооптических и пьезоэлектрических преобразователей не дали должного результата.

# ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИНЦИПИАЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ И КЛАССИФИКАЦИИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ (ВОГ)<sup>1</sup>

## Классификация ВОГ по типу конструкции

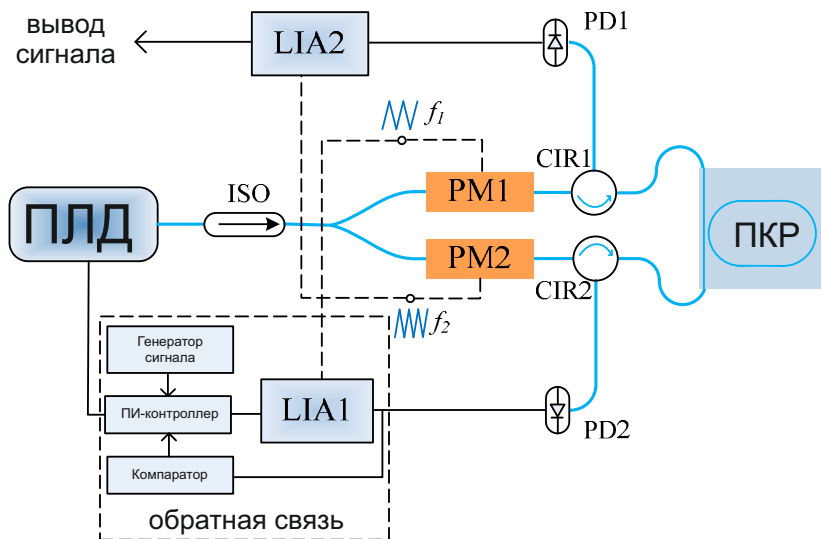


## Классификация ВОГ по классу точности

Класс точности	Стабильность смещения нуля, °/ч	Стабильность масштабного коэффициента, ppm	Интенсивность белого шума, °/√ч	Диапазон скоростей вращения, об/мин
Стабилизационный	10-1000	1000 – 10 000	> 0,5	> 100
Коммерческий	1 – 10	100 – 1000	0,5 – 0,05	10-100
Тактический	0,01 – 1	10 – 100	0,05 – 0,005	10-100
Навигационный	<0,01	<10	<0,005	10-100
Стратегический	<0,001	1 - 3	<0,0003	<10

1. Унтилов А.А., Драницына Е.В., Егоров Д.А. Современное состояние и перспективы развития волоконно-оптических гироскопов. // XXX Юбилейная Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. Сборник трудов. – С. 488-492.

## Конструктивное устройство резонансного микрооптического гироскопа (РМОГ)<sup>1</sup>



ПЛД - полупроводниковый лазерный диод; ISO - светоделиитель;  
PM - фазовый модулятор; CIR - волоконный фильтр; ПКР - пассивный  
кольцевой резонатор; PH - фотодиод; LIA - усилитель сигнала.

### Основные технологические подходы к конструированию РМОГ:

1. Использование для согласования частот фазовых модуляторов совместно с перестраиваемым лазером (лазер с изменяемой частотой в пределах определённой полосы). Преимущество - хорошее частотное согласование, недостаток - плохое исключение погрешностей и зависимость от габаритов оптического блока лазерного излучателя.
2. Создание РМОГ на низкокогерентных источниках излучения (использование суперлюминесцентного светодиода вместо лазерного источника излучения). Преимущество - хорошее исключение погрешностей, недостаток - низкая чувствительность и как следствие узкий диапазон измерения угловых скоростей.

1. Kun Qian, Jun Tang, Hao Guo, Wenyao Liu, Jun Liu, Chenyang Xue, Yongqiu Zheng, Chengfei Zhang. Under-Coupling Whispering Gallery Mode Resonator Applied to Resonant Micro-Optic Gyroscopes. // Sensors 2017, 17, 100.

## Перестраиваемые лазерные диодные модули ITLA для РМОГ

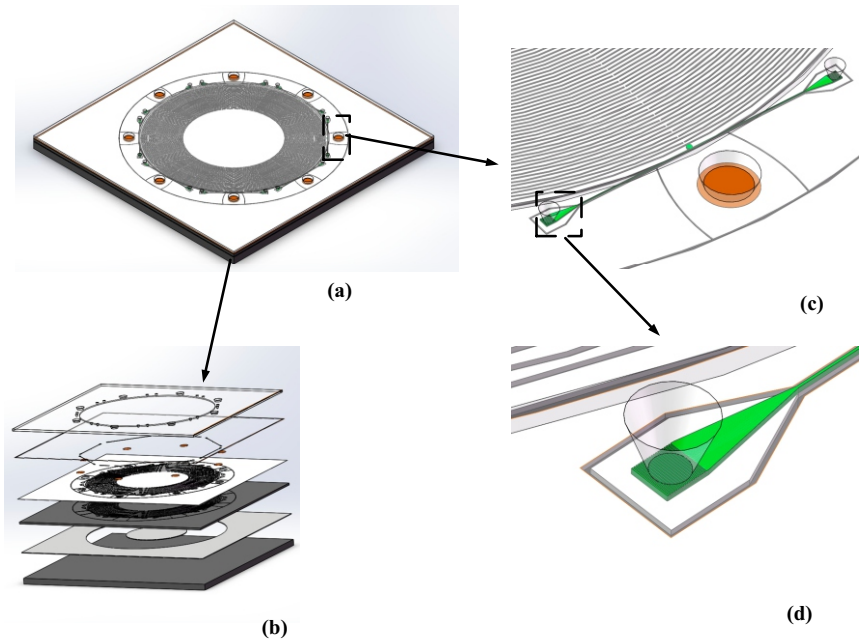


ITLA (Integrated Tunable Laser Assembly) - Интегрированная перестраиваемая лазерная сборка в корпусе «Butterfly» с волоконным выходом pigtail диаметром 400 мкм.

### Основные технические характеристики:

- Перестройка по частоте во всем диапазоне C-band - 89 каналов с интервалом 50 ГГц;
- Регулировка выходной мощности в диапазоне от 9 до 13 дБм (~8-20 мВт);
- Низкое рассеивание мощности <2,2 Вт при +75°C;
- Высокий коэффициент подавления боковой моды > 40 дБ;
- Темновая настройка путем обратного смещения встроенного оптического усилителя;
- Компактный, герметичный корпус с встроенным оптическим изолятором;
- Встроенный блокировщик длины волны, обеспечивающий стабилизацию с точностью до ±2,5 ГГц;
- Оптоволоконный выход с сохранением поляризации.

## Конструктивное устройство микро-оптикоэлектромеханического гироскопа (МОЭМС)<sup>2</sup>



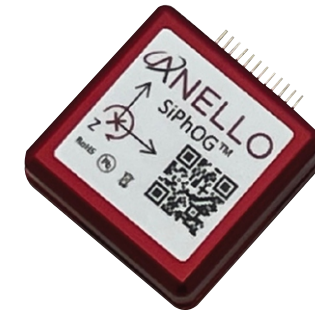
- a) общий вид чувствительного элемента гироскопа;  
b) многослойная структура SOI (кремний на изоляторе), включая микромеханический резонатор;  
c) и d) схема микрооптического резонатора, включая решетчатые ответвители, конусы, волноводные и дисковые резонансные полости

Данное конструктивное решение подразумевает использование микрооптического резонатора для измерения деформации дискового микромеханического резонатора, которая пропорциональна угловой скорости. Таким образом угловую скорость можно определить, измеряя спектральный сдвиг в микрооптическом резонаторе.

2. Dunzhu Xia, Lingchao Huang, Liye Zhao. A New Design of an MOEMS Gyroscope Based on a WGM Microdisk Resonator. // Sensors 2019, 19, 2798.

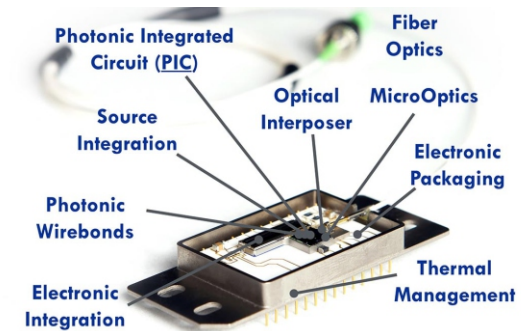
## МИКРООПТИКОЭЛЕКТРО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ГИРОСКОПЫ (МОЭМС)

### Модели гироскопов, созданных по технологии MOEMS



Гироскоп SiPhOG

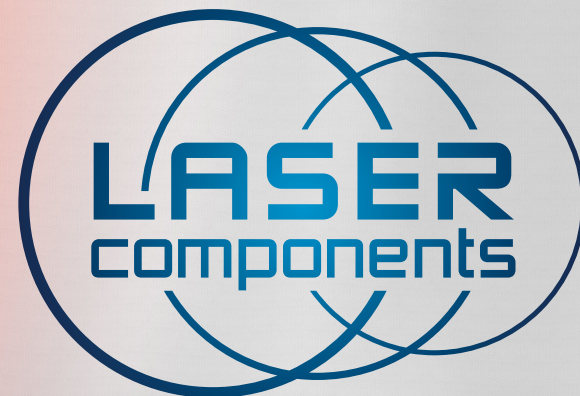
На выставке CES 2023 компания ANELLO Photonics (США) продемонстрировала первый в мире серийный микрооптический гироскоп SiPhOG (Silicon Photonics) с волноводом из нитрида кремния созданный совместно с компанией Tower Semiconductor (США) на основе технологии интегрированной кремниевой фотоники (MOEMS), который способен обеспечить стабильность смещения нуля в пределах  $0,5^\circ/ч$  в полностью автономном режиме функционирования.



Одна из перспективных разработок MOEMS гироскопа



<p><b>ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ</b></p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. В конструировании современных высокоточных моделей МОГ преимущественно используются комбинированные интегрально-оптической схемы (в т.ч. гетеродинные, с увеличенной шириной спектра) на основе многоконтурных волоконно-оптических структур с несколькими фазовыми модуляторами и ФПУ, что продиктовано необходимостью снижения погрешностей и обеспечения большего уровня стабильности масштабного коэффициента.</li><li>2. При создании МОГ средней точности всё чаще применяются интегрально-оптические схемы на основе использования деполаризованного излучения. Включение в оптический контур деполаризаторов позволяет упростить конструкцию МОГ, снизить стоимость компонентов, упростить элементную базу и число сварных соединений при сохранении чувствительности и прочих ключевых показателей МОГ.</li></ol>
<p><b>ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ</b></p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Использование световодов на основе микроструктурированных оптических волокон (MOF), которые призваны увеличить скорость прохождения светового сигнала и одновременно уменьшить тепловой дрейф и уровень шумов, а также массогабаритные характеристики МОГ. Особые надежды тут возлагаются на фотонно-кристаллическое волокно (PCF).</li><li>2. Прогнозируемое появление в обозримом будущем большого количества серийных моделей МОГ на основе как технологии RFOG, так и технологии MOEMS с применением резонаторов мод шепчущей галереи (МШГ). Поскольку оптические резонаторы МШГ отличаются сверхвысокой добротностью при микронных размерах и низких частотных помехах, они рассматриваются рядом специалистов в качестве наиболее перспективного чувствительного элемента для МОГ, если удастся решить проблему ненаправленности выходного излучения.</li></ol>
<p><b>ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ</b></p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Использование вместо обычного светового потока, светового сигнала на поляризационно-запутанных фотонах, что должно повысить как точность, так и предел чувствительности МОГ, особенно там, где будет использоваться полое оптическое волокно (компенсация затухания).</li><li>2. Появление сверхнадёжных и энерго-экономичных (маломощных) МОГ на основе эффекта вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ). Этот эффект, заключающийся в возбуждении световой волной акустических колебаний в гиперзвуковом диапазоне, потенциально можно использовать для определения угловой скорости (RMOG на основе бриллюэновского смещения).</li></ol>



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**