

# Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

А. Ц. Андреев, О. А. Власенко, Е. М. Дианов, Г. Л. Дянков, Б. С. Зафирова, В. А. Козлов, А. Ю. Макаренко, Цельноволоконный датчик угловой скорости вращения,  
*Письма в ЖТФ*, 1989, том 15, выпуск 12, 85–88

<https://www.mathnet.ru/pjtf2747>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<https://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.85

13 мая 2025 г., 10:51:02



ЦЕЛЬНОВОЛОКОННЫЙ ДАТЧИК  
УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ

А.Ц. Андреев, О.А. Власенко,  
Е.М. Дианов, Г.Л. Дянков,  
Б.С. Зафирова, В.А. Козлов,  
А.Ю. Макаренко

Потенциальные достоинства волоконно-оптических устройств (малые размеры и вес, высокая помехозащищенность, технологичность изготовления и др.), таких, например, как волоконно-оптические интерферометры и датчики различных физических полей, наиболее полно реализуются при создании „твердотельных“ оптических схем этих устройств. Осуществить это возможно либо путем использования интегральной технологии оптических элементов, либо путем создания „волоконной“ технологии элементов, т.е. придания участкам световода функций, выполняемых дискретными оптическими элементами (светоделителями, поляризаторами, модуляторами и др.) [1]. В последнем случае возможно осуществлять изменения параметров излучения без его вывода из волоконного световода, т.е. создавать цельноволокonné оптические устройства.

В настоящей работе сообщается о создании цельноволокonné оптической схемы датчика угловой скорости вращения, принцип действия которого основан на эффекте Саньяка в волоконном кольцевом интерферометре ВКИ [1, 2]. Создание волоконных элементов и датчика угловой скорости вращения проводилось на основе слабоанизотропных волоконных световодов (ОВС) [3], в качестве источника излучения использовался промышленный излучатель ИЛПН-203 (длина волны излучения  $\lambda \sim 0.85$  мкм).

В качестве базовой оптической схемы датчика угловой скорости была выбрана схема ВКИ с пространственно-поляризационным фильтром, фазовой модуляцией излучения с помощью пьезокерамических элементов и синхронным детектированием сигнала [4]. Цельноволокonné схема такого ВКИ представлена на рис. 1. Основными волоконными элементами являются: узел ввода излучения полупроводникового лазера в ОВС, одномодовые направленные ответвители, волоконный поляризатор, фазовый модулятор излучения и волоконный контур.

Для изготовления направленных ответвителей и поляризаторов была выбрана технология шлифовки и полировки части поверхности ОВС с последующим созданием оптического контакта между обработанными участками двух отрезков световода (ответвитель) [5] и напылением на этот участок ОВС анизотропного диэлектрического планарного волновода (поляризатор) [6].

Изогнутые с радиусом 50 см световоды заклеивались в стеклянные или кварцевые блоки для формирования плоскости шлифовки

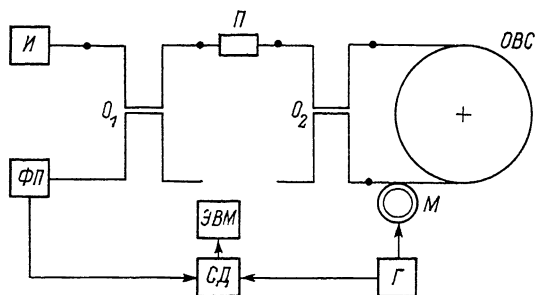


Рис. 1. Схема цельноволокноного датчика угловой скорости вращения: И – источник излучения, ФП – фотоприемник,  $O_1 - O_2$  – направленные ответвители, П – волоконный поляризатор, М – модулятор, Г – генератор, СД – синхронный детектор.

и полировки. Расстояние до сердцевины световода определялось с помощью имерсионных жидкостей. Используемый нами двухслойный ОВС имел внешний диаметр 125 мкм, диаметр сердцевины 5 мкм, ступенчатый профиль показателя преломления с  $\Delta n \approx 5 \cdot 10^{-3}$ .

При сборке ответвителей имерсией служил УФ-отверждаемый оптический клей со значениями показателя преломления в жидком и твердом состояниях 1,49 и 1,51 соответственно ( $\lambda = 0,85$  мкм). Отклонения коэффициента деления ответвителей от оптимальной величины (1 : 1) после отверждения клея составляли несколько процентов. Нагрев ответвителей от 20 до 60 °С изменял коэффициент деления не более чем на 20 %. Измерения коэффициентов деления с периодом в несколько месяцев не обнаружили отклонений от его начальных значений с точностью несколько процентов. На  $\lambda = 0,85$  мкм потери в ответвителях составляли 0,5–1 дБ.

Для получения волоконного поляризатора на полированную поверхность блока со световодом напылялись слой LiF и Al толщиной  $\sim 150$  нм. Выбор параметров анизотропного волновода позволил получить на  $\lambda = 0,85$  мкм коэффициент экстинкции поляризатора по мощности  $\sim 45$  дБ при потерях  $\sim 1$  дБ.

Для ввода излучения полупроводниковых лазеров в ОВС была разработана конструкция механического устройства фиксации положения торца световода относительно лазера и механическое юстировочное устройство. Увеличить эффективность ввода удалось за счет придания поверхности торца ОВС цилиндрической или эллипсоидной формы методами оптической обработки стекла. Эффективность ввода излучения в ОВС от промышленных лазеров ИЛПН-203 составляет 30–55 % без использования дополнительных устройств. В наших экспериментах использовался волоконно-оптический модуль с выходной мощностью  $\sim 0,8$  мВт, что соответствовало эффективности ввода  $\sim 30$  %.

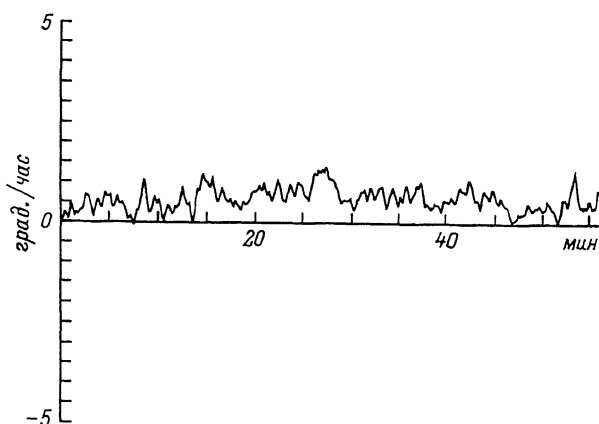


Рис. 2.

В качестве фазового модулятора излучения использовался пьезо-керамический полый цилиндр диаметром 33 мм, толщиной стенки 2 мм. К внешней поверхности цилиндра приклеивалось 20 витков ОВС. Амплитуда синусоидальной фазовой модуляции  $\pi/2$  достигалась при амплитуде управляющего сигнала  $\sim 140$  мВ (модуляция осуществлялась на резонансной частоте 36,5 кГц).

Для создания волоконного контура применялся ОВС с длиной волны отсечки второй моды 0,8 мкм, длиной 480 м на катушке диаметром 19 см. Потери в этом отрезке световода  $\sim 1,5$  дБ на  $\lambda = 0,85$  мкм.

Для соединения волоконных элементов использовалось оригинальное автоматизированное сварочное устройство с электродуговым разрядом в качестве источника нагрева. При сварке одинаковых ОВС величина средних потерь составляла 0,12 дБ. В цельноволоконной схеме ВКИ (рис. 1) были использованы три типа слабоанизотропных ОВС, несколько отличающиеся геометрическими размерами и химическим составом, что приводило к увеличению потерь при сварке разнородных световодов (средняя величина потерь  $\sim 0,7$  дБ; места сварки обозначены точками на рис. 1).

Мощность излучения, падающая на фотоприемник ВКИ (кремниевый *pin*-фотодиод), достигала 14 мкВт, суммарные потери в оптической схеме  $\sim 21$  дБ (из них 9 дБ — принципиально неустранимые потери в ответвителях). Регистрация фазового сдвига, возникающего при вращении ВКИ, осуществлялась с помощью цифрового синхронного детектора и ЭВМ.

Чувствительность датчика, определяемая среднеквадратичным значением флуктуаций выходного сигнала синхронного детектора, составила  $\sim 7,7 \cdot 10^{-3}$  град/ $\sqrt{\text{час}}$ . Предельная чувствительность датчика, определяемая фотонным шумом фотоприемника, в нашем случае равна  $2,8 \cdot 10^{-4}$  град/ $\sqrt{\text{час}}$ . Избыточный шум обусловлен шумами интен-

сивности источника излучения на частоте фазовой модуляции. Аналогичный результат был получен при использовании других экземпляров излучателей ИЛПН-203. Таким образом, чувствительность датчика практически не зависит от уровня мощности излучения на фотоприемнике ВКИ.

На рис. 2 показано долговременное поведение откалиброванного выходного сигнала датчика (постоянная времени синхронного детектора 10 с). Дрейф сигнала не превышает 0.5 град/час (измерение проведено при наличии пассивной термостабилизации макета).

В заключение, разработана технология создания цельноволокнистых схем датчика угловой скорости вращения на основе слабоанизотропных ОВС. Создан макет датчика с чувствительностью  $7.7 \times 10^{-3}$  град/ $\sqrt{\text{час}}$ , дрейфом „нуля“ 0.5 град/час.

Авторы благодарят А.В. Лучникова за помощь в проведении экспериментов.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] E s e k i e l S., A r d i t t y H.J. (eds.). Fiber-Optic Rotation Sensors and Related Technologies. N.-Y.: Springer - Verlag, 1982. 440 p.
- [2] Гурьянов А.Н., Гусовский Д.Д., Девятых Г.Г., Дианов Е.М., Карасик А.Я., Козлов В.А., Неуструев В.Б., Прохоров А.М. // Письма в ЖЭТФ. 1980. Т. 32. В. 3. С. 240-243.
- [3] Гурьянов А.Н., Гусовский Д.Д., Девятых Г.Г., Дианов Е.М., Карасик А.Я., Козлов В.А., Миракян М.М., Прохоров А.М. // Квантовая электроника. 1981. Т. 8. В. 11. С. 2473-2478.
- [4] U l r i c h R. // Opt. Lett. 1980. V. 5. N. 5. P. 173-175.
- [5] B e r h g R.A., K o t l e r C., S h a w H.J. // Electron Lett. 1980. V. 16. N 7. P. 260-261.
- [6] T h y a g a r a j a n K., K a u l A.N., H o s a i n S.I. // Opt. Lett. 1986. V. 11. N 7. P. 479-481.

Поступило в Редакцию  
24 марта 1989 г.