

07;12
©1994

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ГИРОСКОП С ВОЛОКОННЫМ ИСТОЧНИКОМ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ДЛИНУ ВОЛНЫ 1.54 мкм

Э.И.Алексеев, Е.Н.Базаров, В.П.Гапонцев, Г.А.Герасимов,
В.П.Губин, В.А.Карпенко, А.В.Кузнецов, И.Э.Самарцев,
Н.И.Старостин, В.В.Фомин

Применение в волоконно-оптических гироскопах (ВОГ) суперфлуоресцентных волоконных излучателей (СВИ), изготавливаемых из кварцевых волокон, легированных ионами редкоземельных металлов (Nd, Er и др.), открывает ряд новых возможностей улучшения характеристик ВОГ: повышения стабильности масштабного коэффициента, создания более простых и технологичных конфигураций оптического тракта, увеличения ресурса и т.д. [1-4]. Вместе с тем возникает и ряд проблем, обусловленных специфическими свойствами СВИ, прежде всего более высокой, чем у полупроводниковых суперлюминесцентных диодов (СЛД), чувствительностью к оптической обратной связи [1,2].

В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования нестандартной и малоизученной схемы ВОГ с СВИ на кварцевом волокне, легированном ионами эрбия (Er-СВИ) (рис. 1). Оптический тракт содержит меньшее число элементов, чем стандартная минимальная схема ВОГ [3] и имеет следующие особенности:

— оптическая схема, включающая в себя волоконный направленный ответвитель (НО), волоконный фазовый модулятор (ВФМ) и волоконный контур (ВК), выполнена из обычного изотропного одномодового волокна по безразрывной технологии (без стыков или сварок волокон, благодаря чему снимается проблема согласования оптических осей НО и ВК);

— в устройстве ввода-вывода (УВВ) не применяется поляризатор [4];

— фотоприемник (ФП) установлен на одном из выходов волоконно-оптического усилителя (ВОУ), работающего в качестве СВИ, благодаря чему симметрия УВВ достигается без использования дополнительного направленного ответвителя, а также снижаются требования к чувствительности фотоприемного устройства [2];

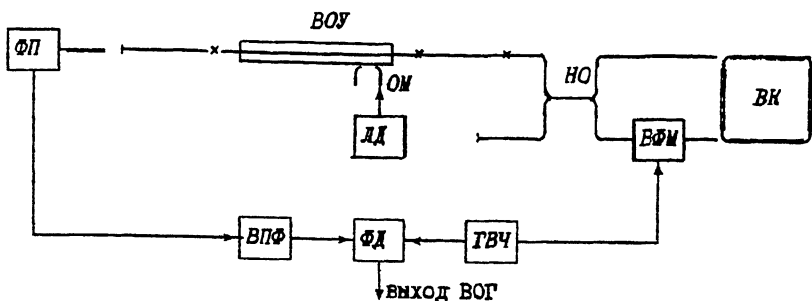


Рис. 1. Структурная схема ВОГ с волоконным излучателем. ВПФ — полосовой фильтр ВЧ, ФД — фазовый детектор, ГВЧ — генератор ВЧ, × — места сварки волокон.

— для уменьшения влияния паразитных отражений торцы волокна сошлифованы под углом 15° [1-4].

Электронный блок обработки сигнала выполнен по традиционной схеме с синхронным детектированием первой гармоники модуляции.

Как уже отмечалось, Ег-СВИ изготовлен на основе ВОУ, в котором используется несколько метров кварцевого волокна, легированного ионами эрбия. Излучение накачки от многомодового лазерного диода (ЛД) вводится в активированное волокно с помощью ответвителя-мультиплексора (ОМ), изготовленного на одном из концов отрезка активированного волокна. Активированное волокно соединено с отрезками обычного одномодового волокна с помощью сварок. Средняя длина волны излучения λ_0 и средняя ширина линии $\Delta\lambda$ равны соответственно 1540 нм и 10 нм при токе накачки лазерного диода $i_n \approx 400$ мА.

Волоконный контур имеет диаметр $D = 155$ нм при длине волокна $L = 700$ м, намотка выполнена внавал с малым натяжением.

Экспериментальные результаты. На рис. 2 представлены некоторые результаты исследований параметров макета ВОГ, определяющих его точностные характеристики: выходного сигнала P_s (размаха интерференционной картины Саньяка), подставки (сдвиг нуля) B , чувствительности (1σ) ВОГ. Изучались зависимости указанных параметров от мощности P волоконного излучателя, которая изменялась регулировкой i_n и измерялась на входе ФД. Экспериментальные точки соответствуют значениям $i_n = 300, 350, 400, 450$ мА, величина мощности на выходе волокна была примерно в 2.5 раза больше, чем указано на осях абсцисс рис. 2 (ФД был разъюстирован вследствие большой величины сигнала).

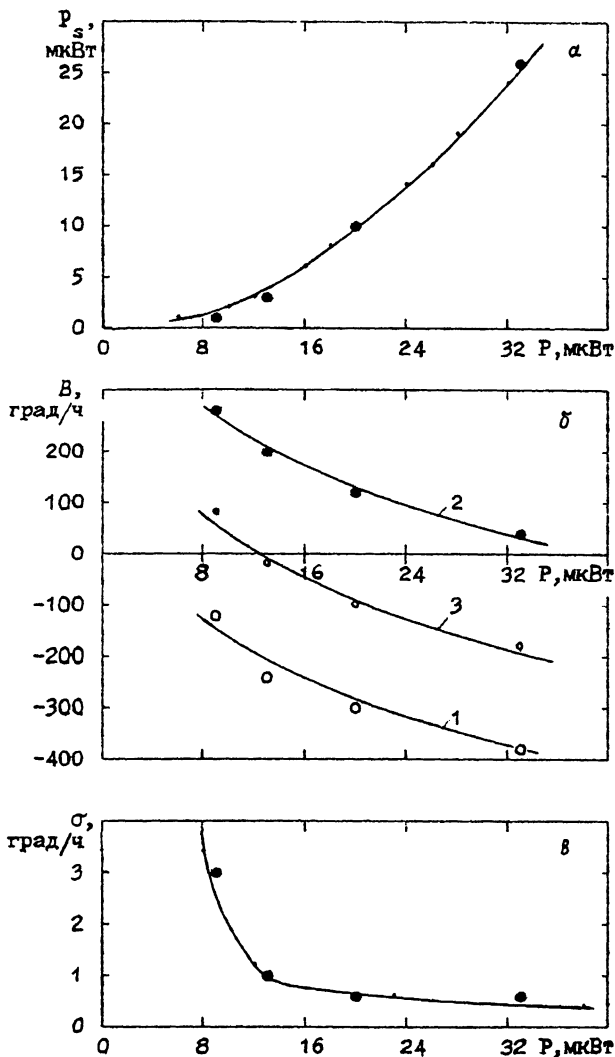


Рис. 2. Зависимость параметров ВОГ от мощности волоконного излучателя (точки — эксперимент, линии — расчет). а — мощность сигнала, б — границы подставки ВОГ, в — чувствительность ВОГ.

Было обнаружено, что подставка V зависит от воздействий на волоконный конец излучателя перед $\Phi\Pi$ (скручивания и изгибов волокна); на рис. 2, б приведены граничные значения V , которые получаются при таких воздействиях (кривые 1 и 2), а также среднее значение (3).

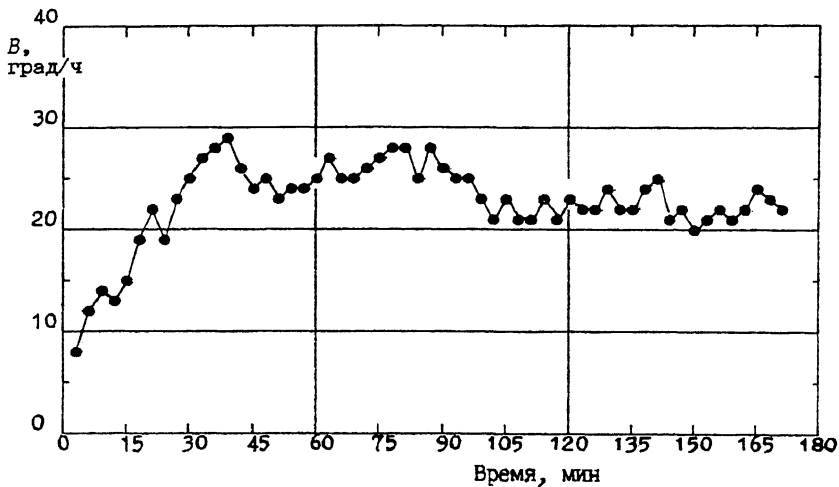


Рис. 3. Запись нуля ВОГ в течение трех часов после включения (время усреднения $\tau = 10$ с).

Чувствительность ВОГ измерялась в полосе $\Delta F = 1$ Гц (1σ) (рис. 2, в).

Запись нуля ВОГ в течение трех часов после включения показана на рис. 3. После прогрева вариации нуля составляют на часовых интервалах ± 5 град/ч (никакой защиты оптического блока не применялось).

Обсуждение результатов. Чувствительность ВОГ ограничена шумами интенсивности света и шумами фотоприемного устройства и при регистрации сигнала на первой гармонике модуляции может быть рассчитана аналогично работе [2], но с учетом влияния фоновой засветки

$$\Omega_{\min}(1\sigma) = \frac{1}{s} \frac{1 + J_0}{J_1} \frac{\lambda_0 c}{2\pi DL} \times \left[\Delta F \left(\frac{\epsilon}{Pq} + \frac{2kT}{RP^2q^2} + \frac{\epsilon i_d}{P^2q^2} + \frac{\lambda_0^2}{2c\Delta\lambda} \right) \right]^{1/2}.$$

Здесь $s = P_s/P < 1$ — контраст сигнала ВОГ по отношению к фоновой засветке P , первое слагаемое соответствует дробовому шуму света, второе — тепловому шуму нагрузочного резистора R фотоприемника, третье — дробовому шуму темнового тока i_d фотодиода, четвертое — избыточному мощностному шуму широкополосного источника. На рис. 2, в показана расчетная зависимость $\Omega_{\min}(P)$ для следующих параметров: $J_0 = 0.34$; $J_1 = 0.58$; $\Delta F = 1$ Гц;

$q = 0.5 \text{ А/Вт}$ — чувствительность фотодиода; $i_d = 0.2 \text{ мкА}$; $R = 100 \text{ к}$. Величина контраста определялась из рис. 2, а.

Из рис. 2, в следует, что чувствительность практически ограничена избыточным шумом фоновой засветки. Таким образом, избыточный шум источника является преобладающим и при мощностях $P \geq 50 \text{ мкВт}$ чувствительность выходит на предельный уровень $\sim 0.35 \text{ град/ч} \cdot (\text{Гц})^{1/2}$.

Выявленные экспериментально сдвиги нуля ВОГ могут иметь заметную величину (рис. 2, б) и относительно стабильны во времени (рис. 3). Интересно отметить, что величина сдвига зависит от воздействия на участок волокна, расположенный перед ФП. Наиболее вероятной причиной этих сдвигов может быть поляризационная подставка из-за связи ортогональных поляризационных мод в контурном волокне [5]. При широкополосном слабополяризованном источнике макисмальная величина поляризационной подставки Ω_p определяется степенью p остаточной поляризации излучения $\Omega_p \leq p(\lambda_0 c / 2\pi LD)$. Это соотношение справедливо для контура из изотропного волокна, когда дополнительно снижения сдвига вследствие деполяризации излучения в контуре не происходит. Для экспериментальных значений $\Omega_p \approx 200 \text{ град/ч}$ получаем оценку $p \approx 10^{-3}$. Это значительно меньше остаточной поляризации излучения СЛД (0.3...0.5).

Отмеченная выше зависимость сдвига от воздействия на участок волокна вблизи ФП может быть объяснена в рамках механизма поляризационной подставки следующим образом. За счет отражения фонового излучения от торца выходного волокна (или/и ФП) возникает вторичное излучение, которое после усиления в ВОУ вступает в оптическую схему ВОГ и формирует вторичный сигнал Саньяка, который добавляется к исходному сигналу. При воздействии на волоконный конец вблизи ФП происходит изменение поляризационного состояния поляризованной компоненты вторичного излучения, что приводит к изменению поляризационной подставки от этого излучения.

Отметим, что и наблюдавшийся в [3] большой сдвиг нуля ВОГ с Nd-СВИ может иметь ту же природу, что и сдвиги в настоящей работе.

Таким образом, в настоящей работе исследован новый вариант цельноволокнонного ВОГ средней точности на изотропном волокне с Ег-СВИ, работающим в режиме источника и оптического усилителя. Продемонстрирована высокая стабильность нуля за счет малой остаточной поляризации излучения источника. Реализована чувствительность ВОГ, ограниченная избыточным шумом источника. Экспериментально выявлены сдвиги нуля ВОГ, которые, вероятно, свя-

заны со специфическими свойствами СВЧ и требуют дополнительного исследования.

Список литературы

- [1] *Kim B.J.* // Proc. OFS'90. Sydney, 1990. P. 139-142.
- [2] *Fesler K.A., Digoonnet M.J.F., Kim B.J., Shaw H.J.* // Opt. Lett. 1990. V. 15. P. 1321-1323.
- [3] *Burns W.K., Moeller R.P., Villarruel C.A.* // Proc. SPIE. 1991. V. 1585. P. 324-330.
- [4] *Iwatsuki K., Suzuki K., Nishi S.* // Proc. OFS'90. Sydney, 1991. P. 139-142.
- [5] *Fredricks R.F., Ulrich R.* // Electr. Lett. 1984. V. 20. P. 330-332.

Институт радиотехники
и электроники
Фрязинская часть

Поступило в Редакцию
5 ноября 1993 г.