

УДК 531.383:681.787

ПОДБОР КОМПОНЕНТОВ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТРЕХОСЕВОГО МИКРООПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Якубович Т. С., Фёдорцев Р. В., Луговик А. Ю., Конопляников А. А.

Белорусский национальный технический университет, ООО «НавиИС»
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Предложен оптимальный набор компонентов для трехосевого микрооптического гироскопа, а также приведено моделирование структурно-функциональной схемы волоконно-оптического гироскопа.
Ключевые слова: гироскоп, эффект Саньяка, микрооптический, оптическое волокно.

SELECTION OF COMPONENTS AND MODELING OF OPERATION OF A THREE-AXIS MICRO-OPTICAL GYROSCOPE

Yakubovich T., Fiodartsau R., Lugovik A., Kanaplianikau A.

Belarusian National Technical University, LLC «NaviIS»
Minsk, Republic of Belarus

Annotation. An optimal set of components for a three-axis micro-optical gyroscope is proposed, and a modeling of the structural and functional diagram of a fiber-optic gyroscope is presented.

Key words: gyroscope, Sagnac effect, micro-optical, optical fiber.

Адрес для переписки: Якубович Т. С., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: tanya.yakubovich.03@bk.ru

Волоконный оптический гироскоп (ВОГ) – оптико-электронный прибор, осуществляющий измерение угловой скорости и углов поворота объекта, на котором он установлен. Принцип действия ВОГ основан на вихревом (вращательном) эффекте Саньяка [1]. Создание компактного устройства стало возможным лишь с развитием и совершенствованием элементной базы квантовой электроники. Микрооптические гироскопы на мировом рынке являются новым продуктом и в основном представлены компанией ANELLO Photonics (US). Наиболее известное техническое решение кремниевый фотонно-оптический гироскоп SiPhOG™ (рисунок 1) с габаритными размерами до 30 мм. Дрейф SiPhOG первого поколения составляет менее 0,5 °/час.

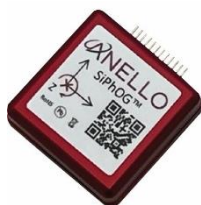


Рисунок 1 – Внешний вид гироскопа SiPhOG™

На рисунке 2 [2] показана структурная схема ВОГ, для которой осуществляем подбор компонентов. Основными элементами ВОГ являются: оптическое волокно; источник излучения; разветвитель; фотоприемник; блок обработки сигналов; разветвитель и фазовый модулятор в виде многофункциональной интегрально-оптической схемы (МИОС).

При выборе между двумя типами волокон: многомодовым и одномодовым, предпочтительным вариантом является одномодовое волокно типа

PANDA из кварцевого стекла, с диаметрами оболочки 125 мкм и сердцевины 8 мкм. На рабочей длине волны 1550 нм данное волокно обладает малыми внутренними потерями на рассеивание – затухание сигнала на уровне 0,4 дБ/км. Используемый тип волокна должен сохранять исходную поляризацию, т.к. для получения интерференции требуется высокий контраст ответных двух волн с правого и левого направления обхода.

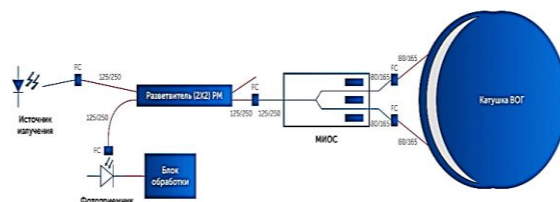


Рисунок 2 – Структурная схема ВОГ

При конструировании волоконных оптических гироскопов, как правило, в качестве излучателей используют полупроводниковые лазеры, светодиоды и суперлюминесцентные диоды. Подобран источник излучения в соответствии с рабочей длиной волны. Из рисунка 3 видно, что типовое значение длины волны это 1550 нм.

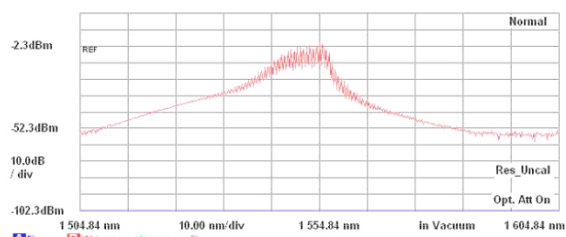


Рисунок 3 – Спектральная характеристика источника излучения серии PL-UWB-SLD-1550-A-A81-2-SA

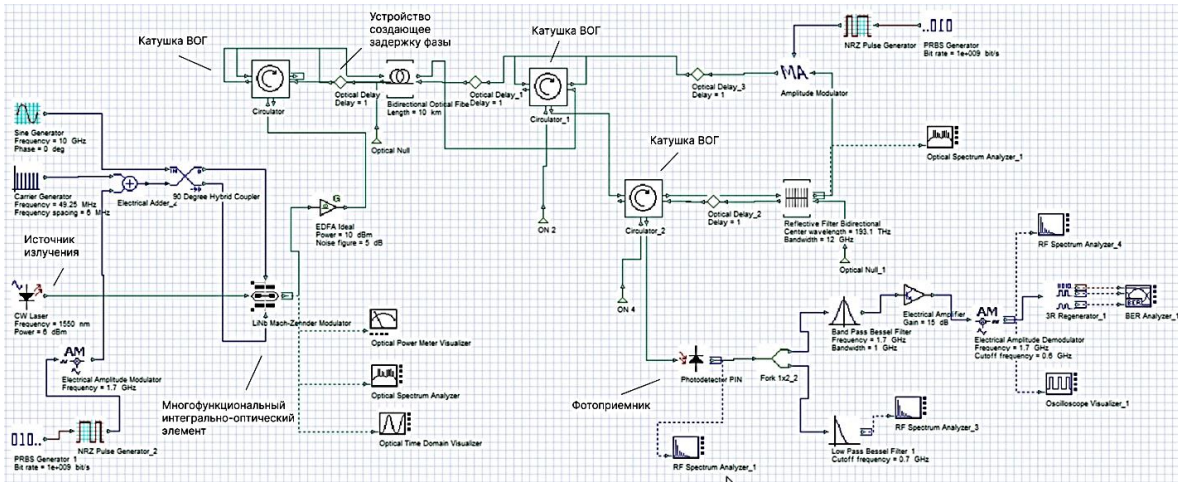


Рисунок 5 – Имитационная модель ВОГ в программном пакете OPTISYSTEM

Фотодетектор волоконного оптического гироскопа преобразует оптическую интерференционную картину на входе в выходной электрический сигнал. Фотоприемник, его рабочий диапазон 900–1700 нм. Диапазон чувствительности при длине волны 1550 нм на графике составляет 90 % (рисунок 4).

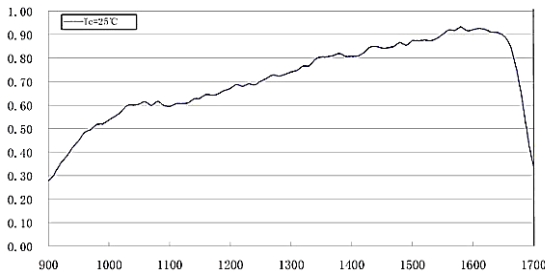


Рисунок 4 – Диапазон чувствительности фотодиода серии PL-1700-IG-AR0075-TO

В качестве разветвителя (сплиттера) используется планарный (PLC) оптический делитель X типа – 2×2 модель M200R5S2B Thorlabs (ОВ Ø200 мкм). Многофункциональный интегрально-оптический элемент изготавливается на подложке из ниобата лития. Данный материал обеспечивает высокую линейность и низкий уровень шумов по сравнению с кремниевыми подложками.

Выходной сигнал [3] гироскопа в общем виде можно представить следующим образом:

$$U_{out} = k(T) * \omega + U_d(T) + N(T)$$

где U_{out} – выходное напряжение гироскопа, В; $U_d(T)$ – дрейф нулевого значения выходного сигнала, В; $k(T)$ – масштабный коэффициент гироскопа, В/град/с; ω – измеряемая угловая скорость, град/с; $N(T)$ – шум гироскопа, В.

Моделирование структурно-функциональной схемы волоконно-оптического гироскопа проводится с использованием программных средств OPTISYSTEM. На базе приведенного алгоритма была разработана имитационная модель ВОГ,

представленная на рисунке 5. Исходные параметры: установившаяся угловая скорость движения объекта 40 град/с; температура $T = 48^\circ\text{C}$.

Анализ полученного в соответствии с приведенными выражениями графика распределения шумового сигнала гироскопа при правом обходе (рисунок 6, а) и при левом обходе (рисунок 6, б) показывает соответствие с нормальным законом распределения, который подтверждается критерием согласия Пирсона. Разность времен обхода для встречных пучков, равна

$$\Delta t = \frac{4\pi R^2}{c^2} \Omega = 6,6 \text{ мкс.}$$

Из разности времен обхода получаем разность оптических длин путей распространения света в противоположных направлениях:

$$\Delta L = c\Delta t = 1,98 \text{ мм.}$$

Полученные результаты моделирования согласуются с данными экспериментальных исследований, проведенных в Институте электронных и информационных систем Новгородского ГУ для промышленного образца волоконно-оптического гироскопа модели VG910Q в программной среде Simulink [3].

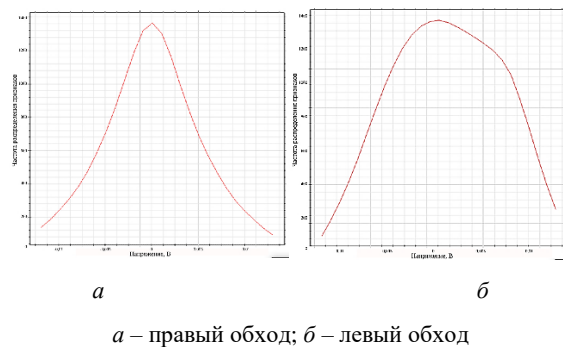


Рисунок 6 – Аппроксимация распределения шумового сигнала нормальным законом при правом и левом обходе

Литература

1. Филатов Ю. В. Оптические гироскопы. –СПб: ГЭТУ ЛЭТИ, 2005. – 139 с.
2. Оборудование и компоненты для производства волоконнооптических гироскопов [Электронный ре-

сурс]. – Режим доступа: <https://sphotronics.ru/solutions/vog-sboraka-i-proizvodstvo-komponentov/>.

3. Разработка модели волоконно-оптического гироскопа в среде Simulink [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://razrabotka-modeli-volokonno-opticheskogo-giroskopa-v-srede-simulink.pdf>.

УДК 535.37

**МЕХАНИЗМЫ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ ОТ ИОНОВ ИТТЕРБИЯ К ИОНАМ ТУЛИЯ
ВО ФТОРФОСФАТНЫХ СТЕКЛАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ВОЗБУЖДЕНИЯ
ИОНОВ ИТТЕРБИЯ**

Ясюкевич А. С.¹, Колобкова Е. В.², Кисель В. Э.¹

¹НИИЦ ОМТ, Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

²Университет ИТМО

Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Изучены спектроскопические характеристики фтор-фосфатных стекол с малым содержанием фосфатов, соактивированных ионами Yb^{3+} и Tm^{3+} , проанализированы механизмы переноса энергии между ионами иттербия и тулия в зависимости от концентрации ионов Yb^{3+} в стационарном и импульсном режимах возбуждения люминесценции.

Ключевые слова: ионы тулия, ионы иттербия, перенос энергии, ап-конверсионная люминесценция.

**MECHANISMS OF ENERGY TRANSFER FROM YTTERBIUM IONS TO THULIUM IONS
IN FLUOROPHOSPHATE GLASSES UNDER VARIOUS REGIMES OF YTTERBIUM ION
EXCITATION**

Yasukevich A.¹, Kolobkova E.², Kisel V.¹,

¹Center for Optical Materials and Technologies, Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

²ITMO University, Saint-Petersburg

Russian Federation

Abstract. Spectroscopic characteristics of fluorophosphate glasses with a low content of phosphates co-doped with Yb^{3+} and Tm^{3+} ions were studied, and energy transfer mechanisms between ytterbium and thulium ions were analyzed depending on the concentration of Yb^{3+} ions in stationary and pulsed luminescence excitation regimes.

Key words: thulium ions, ytterbium ions, energy transfer, up-conversion luminescence.

Адрес для переписки: Ясюкевич А. С., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: anatol@bntu.by

Стекла и кристаллы, активированные ионами редкоземельных элементов, излучающие в видимой и ультрафиолетовой (УФ) областях спектра при возбуждении излучением в инфракрасной области (ИК) спектра привлекают к себе большое внимание в связи с их применением в твердотельных лазерах, медицине и термометрии.

В материалах со-активированных ионами иттербия (Yb^{3+}) и тулия (Tm^{3+}), ионы Yb^{3+} служат донорами, обеспечивающими эффективный перенос энергии к ионам Tm^{3+} , в результате которого наблюдается ап-конверсионная люминесценция в УФ и видимой областях спектра.

Данная работа является продолжением работы [1], где была исследована ап-конверсионная люминесценция фтор-фосфатных стекол с низким содержанием фосфатов, активированных ионами Yb^{3+} и Tm^{3+} . Концентрация ионов Yb^{3+} была постоянной, 10^{21} см^{-3} , а концентрация ионов Tm^{3+} изменялась в пределах $10^{20} \text{ см}^{-3} - 10^{15} \text{ см}^{-3}$.

В [1] было показано, что при стационарном возбуждении ионов Yb^{3+} в стеклах с содержанием TmF_3 2.0–0,25 мол. % превалирует последовательный механизм переноса энергии (sequential energy transfer, SET) от ионов Yb^{3+} , находящихся на уровне $^2\text{F}_{5/2}$, к ионам Tm^{3+} , приводящий к заселению уровня $^1\text{G}_4$, переходы с которого $^1\text{G}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$ и $^1\text{G}_4 \rightarrow ^3\text{F}_4$, обуславливают люминесценцию на 477 нм и 650 нм, соответственно. При уменьшении содержания $\text{TmF}_3 < 0,1$ мол. %, заселение уровня $^1\text{G}_4$ происходит в основном вследствие кооперативного переноса энергии (cooperative energy transfer, CET) от кластеров, $\text{Yb}-\text{Yb}$, где оба иона находятся в возбужденном состоянии. Люминесценция ионов Tm^{3+} на 800 нм связывается с переходами $^3\text{H}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$, процесс заселения уровня $^3\text{H}_4$ обусловлен последовательным переносом энергии.

В данной работе сообщаются результаты исследования ап-конверсионной люминесценции в стеклах аналогичного состава как и в [1], с тем