

07;12  
©1995

## ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭРБИЕВОГО ИСТОЧНИКА/УСИЛИТЕЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ НА СДВИГ НУЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА БЕЗ ПОЛЯРИЗАТОРА

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

Суперфлуоресцентные волоконные источники/усилители излучения на основе кварцевых волокон, легированных ионами эрбия (Ег-СВИУ), представляют большой интерес для низкокогерентной интерферометрии, волоконно-оптической гироскопии и ряда других применений [1]. В волоконно-оптических гироскопах (ВОГ) они могут использоваться в качестве источников излучения, усилителей оптического сигнала либо совмещать эти функции. Во всех перечисленных случаях важную роль играют поляризационные характеристики Ег-СВИУ, поскольку они в значительной мере определяют точность ВОГ.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния поляризационных характеристик Ег-СВИУ на поляризационную подставку (сдвиг нуля) ВОГ, оптическая схема которого [2] не содержит, в отличие от традиционной, входного направленного ответвителя и поляризатора и представлена на рис. 1. Здесь ФП — фотоприемник, АВ — активированное волокно Ег-СВИУ, НОМ — направленный ответвитель-мультиплексор, через который осуществляется накачка, НО — контурный направленный ответвитель, ВК — чувствительный волоконный контур ВОГ.

Поляризационные характеристики Ег-СВИУ можно подразделить на выходные и проходные. Первые характеризуют работу Ег-СВИУ в режиме источника излучения, вторые, когда он работает на проход — в режиме усиления. Выходные поляризационные характеристики каждого выхода Ег-СВИУ (рис. 1) полностью определяются соответствующими матрицами когерентности выходного излучения. Проходные поляризационные характеристики Ег-СВИУ можно описывать матрицами Джонса  $M(\omega)$ , где  $\omega$  — оптическая частота.

Для описания работы ВОГ, рассматриваемого в настоящей работе (рис. 1), необходимы и выходные, и проходные

поляризационные характеристики Ег-СВИУ. Анализ показывает, однако, что проходные характеристики не обязательно знать полностью: достаточно определить лишь степень и тип дихроизма Ег-СВИУ. Формально это является следствием того, что во всех соотношениях, описывающих работу ВОГ, матрица  $\tilde{M}$  входит в комбинации  $\tilde{M}\tilde{M}$  (волной обозначено эрмитово сопряжение). Используя полярное разложение [3], можно представить  $M(\omega)$  в виде произведения унитарного  $U(\omega)$  и эрмитового  $H(\omega)$  сомножителей,  $M(\omega) = U(\omega) \cdot H(\omega)$ . Первый описывает двулучепреломление, а второй — дихроизм оптического тракта Ег-СВИУ (точнее было бы говорить о зависящем от поляризации усилении Ег-СВИУ). Таким образом,  $\tilde{M}\tilde{M} = \tilde{H}\tilde{U}U\tilde{H} = H^2$ , что доказывает сделанное выше утверждение.

Рассмотрим подробнее матрицу  $\tilde{M}\tilde{M} = H^2$ . Поскольку эта матрица — эрмитова, она унитарно-эквивалентна диагональной матрице  $G$  с вещественными элементами,  $\tilde{M}\tilde{M} = VG\tilde{V}$ . Здесь  $V$  — унитарная матрица, описывающая тип дихроизма Ег-СВИУ, а  $G(\omega) = \text{diag}[G_x(\omega), G_y(\omega)]$ , где  $G_x(\omega)$  и  $G_y(\omega)$  — коэффициенты передачи (усиления)  $x$ - и  $y$ -поляризационных мод. Положим  $G_x(\omega) = G_{x0}g(\omega)$ ,  $G_y(\omega) = G_{y0}g(\omega)$ , где  $g(\omega)$  — нормированный на единицу спектральный профиль коэффициента усиления Ег-СВИУ, который мы будем считать одинаковым для обеих поляризаций; мы предположим к тому же, что зависимостью матрицы  $V$  от  $\omega$  в пределах линии  $g(\omega)$  также можно пренебречь. При этом  $\tilde{M}\tilde{M} = H^2 = g(\omega)T$ , где  $T = VD\tilde{V}$ , а  $D = \text{diag}(G_{x0}, G_{y0})$ .

Чтобы установить физический смысл матрицы  $T$ , предположим, что Ег-СВИУ отсоединен от ВОГ и на него от дополнительного источника в направлении, указанном на рис. 1 стрелкой, поступает полностью неполяризованное излучение с интенсивностью  $I_0$  и нормированной на единицу формой линии  $f(\omega)$ . Тогда, если не учитывать собственного излучения Ег-СВИУ, матрица когерентности выходного излучения будет иметь вид  $\rho_{\text{вых}} = (1/2)kI_0T$ , где  $k$  — интеграл

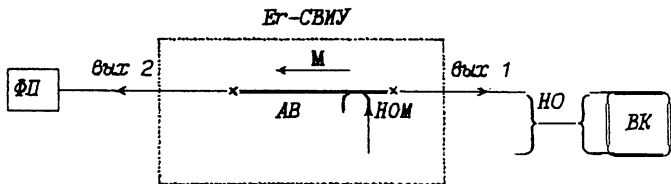


Рис. 1. Схема ВОГ без поляризатора с Ег-СВИУ (крестики — места стыков волокон).

перекрытия спектров излучения внешнего источника и усиления Ег-СВИУ. Таким образом, с точностью до вещественного множителя, матрица  $\mathbf{T}$  совпадает с матрицей когерентности прошедшего через Ег-СВИУ излучения при подаче на него полностью неполяризованного света. Если Ег-СВИУ не дихроичен (матрица  $\mathbf{M}$  унитарна с точностью до множителя), то выходное излучение останется неполяризованным. Если же усиление Ег-СВИУ является поляризационно чувствительным, то излучение, прошедшее через Ег-СВИУ, будет частично поляризованным со степенью поляризации  $\lambda = (G_{x0} - G_{y0}) / (G_{x0} + G_{y0})$ . Таким образом, матрица  $\mathbf{T}$  характеризует поляризующую способность Ег-СВИУ, количественной мерой которой служит величина  $\lambda$ . Измерив параметры полностью поляризованной компоненты излучения на выходе Ег-СВИУ, можно получить информацию о величине и типе дихроизма его оптического тракта. По аналогии с представлением произвольной матрицы когерентности в виде суммы матриц когерентности неполяризованного и полностью поляризованного излучения можно записать:  $\mathbf{T} = G_{cp} [(1 - \lambda)\mathbf{E} + \lambda\mathbf{T}_1]$ , где  $\mathbf{E}$  — единичная матрица,  $G_{cp} = (G_{x0} + G_{y0}) / 2$  — средний коэффициент усиления Ег-СВИУ,  $\mathbf{T}_1 = 2\mathbf{V}\mathbf{D}_1\tilde{\mathbf{V}}$ , а  $\mathbf{D}_1 = \text{diag}(1, 0)$ .

Рассмотрим теперь, как поляризационные характеристики Ег-СВИУ влияют на точность рассматриваемого ВОГ. Анализ поляризационной подставки  $\varphi_0$  показывает, что она имеет следующую структуру:

$$\begin{aligned} \varphi_0 \approx & \left\{ \lambda(1 - p) \langle g(\omega) \text{Sp} [(\mathbf{F}\mathbf{F}^* - \mathbf{F}'\tilde{\mathbf{F}})\mathbf{T}_1] \rangle + \right. \\ & + p(1 - \lambda) \langle \text{Sp} [(\mathbf{F}^*\mathbf{F} - \tilde{\mathbf{F}}\mathbf{F}')\rho_1] \rangle + \\ & \left. + \lambda p \langle g(\omega) \text{Sp} [(\mathbf{F}^*\mathbf{T}_1\mathbf{F} - \tilde{\mathbf{F}}\mathbf{T}_1\mathbf{F}')\rho_1] \rangle \right\}. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $\text{Sp}(\dots)$  — след матрицы,  $\langle \dots \rangle$  означает интегрирование по  $\omega$  с весом  $\Phi(\omega)$  ( $\Phi(\omega)$  — нормированная на единицу форма линии излучения Ег-СВИУ),  $p$  и  $\rho_1$  — остаточная степень поляризации и матрица когерентности полностью поляризованной компоненты излучения Ег-СВИУ,  $\mathbf{F}$  — матрица Джонса оптического тракта ВОГ (за исключением Ег-СВИУ),  $(*)$  означает комплексное сопряжение, штрихом обозначена операция транспонирования, а остальные обозначения имеют тот же смысл, что и выше.

Таким образом, входные и проходные поляризационные характеристики Ег-СВИУ в равной степени могут оказать влияние на точность ВОГ без поляризатора (рис. 1): параметры  $\lambda$  и  $p$ , а также  $\rho_1$  и  $\mathbf{T}_1$  входят в (1) симметричным

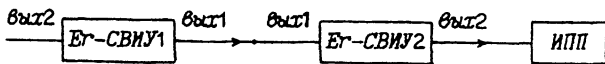


Рис. 2. Схема измерения проходных поляризационных характеристик Ег-СВИУ2.

образом. Поэтому для обеспечения высокой точности такого ВОГ необходимо, чтобы Ег-СВИУ имел не только малую остаточную поляризацию выходного излучения  $p$ , но и как можно меньший дихроизм ( $\lambda$ ).

В настоящей работе получена экспериментальная оценка величины  $\lambda$ . Схема эксперимента показана на рис. 2. Оба Ег-СВИУ были изготовлены в НТО "ИРЭ-ПОЛЮС". Ег-СВИУ1 использовался как источник неполяризованного излучения (степень поляризации излучения на выходе 1  $p_1 \approx 0.35\%$ , выходная мощность  $P_1 \approx 50$  мкВт), а Ег-СВИУ2 работал в режиме усиления (степень поляризации его собственного излучения на выходе 2  $p_2 \approx 0.3\%$  при мощности  $P_2 \approx 60$  мкВт). Усиление Ег-СВИУ2 составляло 7 дБ, так что величина сигнала на его выходе определялась в основном Ег-СВИУ1. Измеренное значение результирующей степени поляризации излучения на выходе Ег-СВИУ2 составило  $p_0 \approx (0.43 \pm 0.15)\%$ . Измерения осуществлялись с помощью разработанного нами измерителя параметров поляризации ИПП. Анализ результатов измерений (в предположении, что на выходе Ег-СВИУ2 его собственное излучение и усиленное излучение складываются некогерентно) показывает, что в рассматриваемом случае величина  $\lambda$  должна быть не менее величины  $p_0$ . Это означает, что дихроизм Ег-СВИУ может оказывать влияние на точностные характеристики ВОГ без поляризатора в не меньшей степени, чем остаточная поляризация его излучения.

Полученные результаты показывают возможность получения достаточно высоких точностных характеристик в схеме ВОГ (рис. 1) при условии, что Ег-СВИУ имеет малый дихроизм и малую степень поляризации излучения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ.

#### Список литературы

- [1] Wysocki P.F., Digonnet M.J.F., Kim B.J., Shaw H.J. // J. Light-wave Technol. 1994. V. 12. P. 550-567.
- [2] Алексеев Э.И., Базаров Е.Н., Гапонцев В.П. и др. // Письма ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 2. С. 62-67.
- [3] Гантмазер Ф.Р. Теория матриц. М., 1968.

Институт радиотехники  
и электроники РАН  
Фрязино

Поступило в Редакцию  
31 января 1995 г.