

07;12

Интерферометрия белого света с деполяризацией излучения

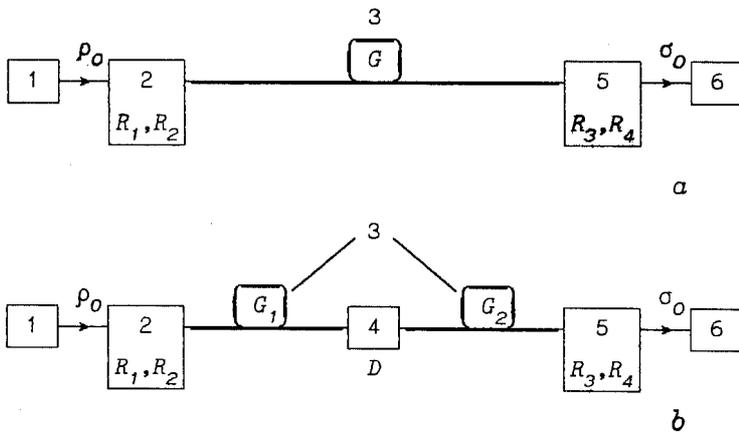
© Э.И. Алексеев, Е.Н. Базаров

Институт радиотехники и электроники РАН, Фрязино

Поступило в Редакцию 20 января 1997 г.

Показано, что точность интерферометров белого света с одномодовой волоконной соединительной линией между чувствительным и отсчетным интерферометрами может быть повышена при использовании в них дискретного или цельноволокнонного деполяризаторов излучения "в среднем по времени" (деполяризаторов Биллингса). Приведены соотношения, характеризующие зависимость выходного сигнала и сдвига "нуля" интерферометров белого света от поляризационных характеристик его оптического тракта, а также соотношения для элементов матрицы Джонса деполяризатора Биллингса.

1. Интерферометрия белого света — одно из интенсивно развивающихся направлений современной оптической метрологии [1–3]. Поэтому поиск путей повышения точности интерферометров белого света представляет большой практический интерес. Типичный интерферометр белого света (см. рисунок, *a*) состоит из источника широкополосного излучения 1, двух сильно разбалансированных интерферометров 2 и 5, соединенных друг с другом резком одномодового волоконного световода 3, и фотоприемника 6. До недавних пор было принято считать, что передаточные (поляризационные) характеристики одномодовой волоконной соединительной линии не сказываются на точности интерферометров белого света. В работе [4] было показано, однако, что в интерферометрах белого света, как и в других одномодовых волоконных интерферометрах, вариации поляризационных характеристик одномодовых волоконных световодов приводят к дрейфу "нуля" и федингу выходного сигнала. В работе [5] предложен метод исключения влияния поляризационных характеристик одномодовой волоконной соединительной линии в интерферометрах белого света "отражательного" типа с чувствительным интерферометром Майкельсона. В настоящем сообщении показано, что точность интерферометров белого света может



Схематическое изображение обычного интерферометра белого света (а) и интерферометра белого света с деполяризатором Биллингса (b).

быть повышена также за счет использования в них дискретного или волоконно-оптического деполяризатора Биллингса [6,7].

2. Деполяризатор Биллингса (деполяризатор монохроматического излучения, или деполяризатор "в среднем по времени") представляет собой последовательное включение двух объемных [6] или волоконных [7] линейных фазовых пластинок, быстрые оси которых развернуты относительно друг друга на 45° . Относительные фазовые задержки в упомянутых линейных фазовых пластинах изменяются во времени таким образом, что поступающее на вход полностью поляризованное излучение с матрицей когерентности $\rho_{вх}$ становится неполяризованным "в среднем по времени" с матрицей когерентности

$$\bar{\rho}_{вых} = \overline{D(t)\rho_{вх}\tilde{D}(t)} = \frac{1}{2}IE. \quad (1)$$

Здесь I — полная интенсивность излучения, D — матрица Джонса деполяризатора, E — единичная матрица, волной обозначено эрмитово сопряжение, а чертой — усреднение по времени. Из (1) следует, что элементы матрицы D удовлетворяют соотношениям

$$\overline{D_{ik}(t)D_{je}^*(t)} = \frac{1}{2}\delta_{ij}\delta_{ke}, \quad (2)$$

в которых (*) означает комплексное сопряжение, а δ_{ij} и δ_{ke} ($i, j, k, l = 1, 2$) — символы Кронекера.

Непосредственным следствием (2) является равенство

$$\overline{D(t)\sigma\tilde{D}(t)} = \frac{1}{2}(\text{Sp}\sigma)E. \quad (3)$$

Здесь σ — произвольная, постоянная или медленно изменяющаяся во времени 2×2 матрица, а Sp означает след матрицы.

3. Пусть источник излучения в интерферометре белого света имеет единичную интенсивность и нормированную на единицу форму линии $\Phi(\omega)$ со средней частотой ω_0 и шириной $\Delta\omega$ ($\Delta\omega/\omega_0 \ll 1$). Тогда ток фотоприемника на выходе интерферометра белого света определяется выражением

$$i = \langle m_0 [1 + (2|m_1|/m_0) \cos(\Delta\varphi + \delta)] \rangle, \quad (4)$$

в котором в отсутствие деполяризатора

$$m_0 = \text{Sp}(R_3GR_1\rho_0\tilde{R}_1\tilde{G}\tilde{R}_3\sigma_0) + \text{Sp}(R_3GR_2\rho_0\tilde{R}_2\tilde{G}\tilde{R}_3\sigma_0) \\ + \text{Sp}(R_4GR_1\rho_0\tilde{R}_1\tilde{G}\tilde{R}_4\sigma_0) + \text{Sp}(R_4GR_2\rho_0\tilde{R}_2\tilde{G}\tilde{R}_4\sigma_0), \quad (5)$$

$$m_1 = \text{Sp}(R_4GR_1\rho_0\tilde{R}_2\tilde{G}\tilde{R}_3\sigma_0), \quad \sigma = \arg(m_1).$$

Здесь угловыми скобками обозначено интегрирование по ω с весом $\Phi(\omega)$, $\Delta\varphi$ и R_i ($i = 1-4$) — результирующая разность фаз и матрицы Джонса каналов измерительного и чувствительного интерферометров, G — матрица Джонса соединительной линии из одномодового волоконного световода, $\rho_0 = \rho(\omega_0)$ и $\sigma_0 = \sigma(\omega_0)$ — матрицы возбуждения и наблюдения соответственно; ради простоты зависимость фигурирующих в (5) величин от ω явным образом не указана. Величина $q = 2|m_1|/m_0$ представляет собой "видность" интерференционной картины, образуемой спектральной компонентой излучения с частотой ω , а $\delta = \arg(m_1)$ — паразитный фазовый сдвиг, обусловленный неидеальностью поляризационных характеристик каналов интерферометров и соединяющего их отрезка одномодового волоконного световода. При изменениях окружающих условий величины q и δ флуктуируют (прежде всего — за счет вариации поляризационных характеристик одномодовых волоконных соединительных линий), что приводит к дрейфу "нуля" и

федингу выходного сигнала интерферометра белого света [4]. Заметим, что даже при использовании полностью неполяризованного источника излучения и идеального фотоприемника, когда ρ_0 и σ_0 пропорциональны единичной матрице E , паразитный фазовый сдвиг в общем случае в нуль не обращается.

4. При наличии деполяризатора Биллингса 4, включенного в некоторой средней точке одномодовой волоконно-соединительной линии (см. рисунок, б), в выражении (4) будут фигурировать усредненные по времени величины \bar{m}_0, \bar{m}_1 и $\bar{\delta}$.

С учетом (3) находим

$$\begin{aligned} \bar{m}_1 &= \text{Sp} \left[R_4 G_2 \overline{D(t)} G_1 R_1 \rho_0 \tilde{R}_2 \tilde{G}_1 \overline{\tilde{D}(t)} \tilde{G}_2 \tilde{R}_3 \sigma_0 \right] \\ &= \frac{1}{2} \text{Sp} (G_1 R_1 \rho_0 \tilde{R}_2 \tilde{G}_1) \cdot \text{Sp} (R_4 G_2 \tilde{G}_2 \tilde{R}_3 \sigma_0), \end{aligned} \quad (6)$$

где G_1 и G_2 — матрицы Джонса участков одномодовой волоконной соединительной линии до и после деполяризатора. Если упомянутые участки одномодовой волоконной соединительной линии недихроичны, т. е. если матрицы G_1 и G_2 унитарны, $\tilde{G}_1 G_1 = G_2 \tilde{G}_2 = E$, то

$$\bar{m}_1 = \text{Sp}(R_1 \rho_0 \tilde{R}_2) \cdot \text{Sp}(R_4 \tilde{R}_3 \sigma_0). \quad (7)$$

Точно так же можно показать, что и величина \bar{m}_0 не зависит от поляризационных характеристик одномодовых волоконных соединительных линий, откуда следует, что, благодаря деполяризатору, медленные (по сравнению с характерными временами изменений относительных фазовых задержек в деполяризаторе) вариации поляризационных характеристик одномодовой волоконной соединительной линии эффективно усредняются и не сказываются на точности интерферометров белого света.

5. Таким образом, в настоящей работе показано, что с помощью объемного или цельноволокнистого деполяризатора Биллингса можно улучшить точность интерферометров белого света за счет устранения дрейфа "нуля" и фединга выходного сигнала, обусловленных вариациями поляризационных характеристик одномодовой волоконной линии, соединяющей чувствительный и отсчетный интерферометры.

Авторы благодарны В.П. Губину и Н.И. Старостину за интерес к работе и полезные дискуссии.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант номер 96-02-18434.

Список литературы

- [1] *Bosselmann Th., Ulrich R.* / Proc. of the Second Conf. on Optical Fiber Sensors, VDE Verlag, Stuttgart. 1984. P. 361.
- [2] *Jones R., Hazell M., Welford R.* / Proc. SPIE. 1990. V. 1314. P. 315.
- [3] *Newson T.P., Farahi F., Jones J.D.C., Jackson D.A.* // Opt. Commun. 1988. V. 68. P. 161.
- [4] *Gauthier R.R., Farahi F., Dahi N.* / Opt. Lett. 1994. V. 19. P. 138.
- [5] *Ferreira L.A., Santos J.L., Farahi F.* / Opt. Commun. 1995. V. 114. P. 114.
- [6] *Billings B.H.* / J. Opt. Soc. Amer. 1951. V. 41. P. 966.
- [7] *Алексеев Э.И., Базаров Е.Н., Курбатов А.М.* / Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. В. 14. С. 885.