

## ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СЛАБДУЛУЧЕПРЕЛОМЛЯЮЩЕГО СВЕТОВОДА И УСТРОЙСТВ С ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ СИГНАЛА НА ЕГО ОСНОВЕ

М. Я. Меш, А. Л. Шлиффер, Г. А. Юдин

Создание волоконно-оптических устройств с поляризационной модуляцией сигнала (ВОУ) на основе слабдвулучепреломляющего волоконного световода (СВС) затруднено без учета механизмов, отвечающих за их температурную чувствительность и определяющих один из важнейших параметров ВОУ — термостабильность. ВОУ [1, 2] обычно включает в себя два участка СВС, один из которых направляет излучение к (от) первичному преобразователю (ПП), а другой входит в его состав. Они различаются тем, что первый участок свободен от деформаций, а второй — чувствительный участок — анизотропно и поперечно деформирован деталями ПП.

В настоящей работе рассмотрены вклады различных физических механизмов в температурную чувствительность линейного двулучепреломления свободного и чувствительного участков СВС, показана возможность улучшения термостабильности ВОУ за счет компенсации температурного дрейфа эллиптичности поляризации излучения непосредственно в области чувствительного участка СВС.

В общем виде коэффициент  $d\delta/LdT$  температурной  $T$  чувствительности разности  $\delta$  фаз между ортогонально поляризованными компонентами оптической волны в свободном СВС представим как

$$\frac{d\delta}{LdT} = \frac{2\pi}{L\lambda} \left[ L \frac{dB}{dT} + B \frac{dL}{dT} \right]. \quad (1)$$

Здесь  $\lambda$  — длина волны света,  $L$  — длина свободного участка СВС,  $B = G + M$  — естественное двулучепреломление СВС с учетом его геометрической  $G$  и материальной  $M$  составляющих. Согласно [3], геометрический вклад запишем в виде

$$G \simeq C \frac{\lambda e^2}{a} A^{3/2}, \quad (2)$$

где  $C$  — постоянная с максимальным значением 0.06,  $a$  — средний диаметр жилы СВС,  $e$  — ее эллиптичность,  $A$  — относительная разность показателей преломления жилы и оболочки. Дифференцируя выражение (2), получим

$$\frac{dG}{dT} = \frac{3C\lambda e^2}{2a} \sqrt{A} \frac{dA}{dT} - \frac{C\lambda e^2}{a^2} \sqrt{A^3} \frac{da}{dT}. \quad (3)$$

Аналогичным образом поступим с материальной составляющей  $M = n_x - n_y$ , которая определяется разностью  $\Delta n = n_x - n_y$  показателей преломления жилы в направлениях, соответствующих плоскостям поляризации  $HE_{11}^x$  и  $HE_{11}^y$  мод СВС. Материальная составляющая двулучепреломления индуцируется анизотропией  $\Delta n \neq 0$ , которая возникает вследствие отклонений от аксиальной симметрии при легировании жилы, а также из-за анизотропной составляющей деформации  $\varepsilon$  СВС, например, обусловленной термоупругими эффектами [4]. Поэтому  $dM/dT$  представим в виде

$$\frac{dM}{dT} = \frac{d(\Delta n)}{dT} + \frac{d(\Delta n)}{d\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dT}. \quad (4)$$

Подставляя в (1) выражения (3) и (4), получим

$$\frac{d\delta}{LdT} = \frac{2\pi}{L\lambda} \left[ L \left( \frac{3C\lambda e^2}{2a} \sqrt{A} \frac{dA}{dT} - \frac{C\lambda e^2}{a^2} \sqrt{A^3} \frac{da}{dT} + \frac{d\Delta n}{dT} + \frac{d\Delta n}{d\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dT} \right) + B \frac{dL}{dT} \right]. \quad (5)$$

Оценка геометрического вклада (3) для СВС с  $G = 2 \cdot 10^{-7}$ , проведенная при максимальных возможных для СВС величинах:  $C = 0.06$ ,  $e = 0.2$  и  $a = 5$  мкм,  $A = 7 \cdot 10^{-3}$ ;  $\lambda = 0.63$  мкм, дает значение  $dG/dT = 6 \cdot 10^{-14}$ . При этом, полагая  $M = 2 \cdot 10^{-7}$ , получим  $d\Delta n/dT = 5 \cdot 10^{-14}$  и  $B (dL/dT) = 2 \cdot 10^{-13}$ .

Температурную зависимость двулучепреломления, обусловленную термоупругими свойствами поперечного сечения СВС, на основании работы [5] аппроксимируем выражением

$$\frac{d(\Delta n)}{d\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dT} = \frac{\Delta n}{T - T_p} \quad (6)$$

При  $\Delta n = 2 \cdot 10^{-8}$  и температурах размягчения легированного кварца  $T_p \approx 10^3$  °C температурная чувствительность (6) двулучепреломления  $\frac{d\Delta n}{d\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dT} = 5 \cdot 10^{-11}$ , что указывает на преобладающий вклад термонаведенных деформаций в температурную чувствительность двулучепреломления свободного участка СВС. Рассчитанное, согласно выражению (5), значение температурного коэффициента  $d\delta/LdT = 2 \cdot 10^{-4}$  рад/м·°C удовлетворительно согласуется с экспериментально полученной нами величиной  $5 \cdot 10^{-4}$  рад/м·°C для СВС с естественным двулучепреломлением  $B \approx 2 \cdot 10^{-8}$ .

ВОУ обычно характеризуется более высокой (до  $10^4$  раз) температурной чувствительностью. Ухудшение термостабильности мы связываем с деформациями  $\varepsilon_n$  чувствительного

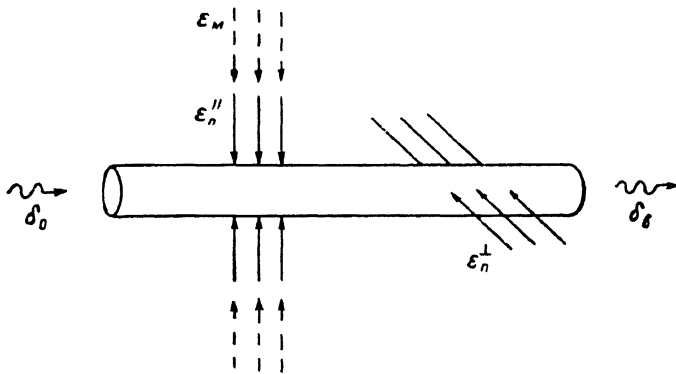


Рис. 1. Схема организации воздействий на чувствительный участок СВС в термостабильном ПП ВОУ.

$\delta_0$ ,  $\delta_x$  — эллиптичности поляризации излучения на входе и выходе ПП;  $\varepsilon_n$  — деформации СВС, модулируемые полезным сигналом;  $\varepsilon_n''$  — ортогонально ориентированные деформации СВС, индуцированные температурным расширением деталей ПП.

участка СВС, индуцированными извне за счет температурного расширения деталей ПП. Температурный коэффициент  $d\varepsilon_n/dT$  этих деформаций аппроксимируем как

$$d\varepsilon_n/dT \approx \alpha_n \quad (7)$$

где  $\alpha_n$  — коэффициент температурного расширения материала ПП. В приближении фотоупругого эффекта ( $\Delta n = -n^3 (P_{11} - P_{12}) \varepsilon_n/2$ ;  $P_{11}$ ,  $P_{12}$  — фотоупругие постоянные материала СВС) с учетом выражения (7) получим

$$\frac{d\delta_n}{LdT} = \frac{\pi n^3}{\lambda} [P_{12} - P_{11}] \alpha_n \quad (8)$$

откуда следует, что температурная чувствительность сжатого деталями ПП участка СВС может меняться в широких пределах. Например, для стального ПП и кварцевого СВС рассчитанное (8) и экспериментально полученное значения температурной чувствительности  $d\delta_n/LdT$  равны 28—38 и 58 рад/м·°C соответственно. Таким образом, полная термостабильность ВОУ на основе СВС зависит от температурной чувствительности свободного (5) и сжатого деталями ПП (8) участков световода, причем последняя может вносить преобладающий вклад.

Простейший путь увеличения термостабильности ПП в ВОУ заключается в его исполнении из материала, значение  $\alpha_n$  которого близко по величине к коэффициенту температурного расширения материала световода. Однако такой подход зачастую трудно реализуем на практике. Поэтому нами предлагается другой вариант. На рис. 1 показана схема организации воздействий на чувствительный участок СВС в термостабильном ПП ВОУ. Поляризация  $\delta_0$  входной оптической волны изменяется по мере ее распространения по чувствительному участку СВС в соответствии с деформациями, индуцированными сигналом модуляции  $\varepsilon_n$ , а также температурным расширением деталей ПП ( $\varepsilon_n''(T)$ ,  $\varepsilon_n^\perp(T)$ ). Эллиптичность  $\delta_n$  поляризации на выходе ПП в этом случае равна

$$\delta_p = \delta_0 + \frac{\pi n^3}{\lambda} [p_{12} - p_{11}] [l_1 \epsilon''_{II} + l_1 \epsilon''_{II}(T) - l_2 \epsilon''_{II}(T)]. \quad (9)$$

Здесь  $l_1, l_2$  — длины первого и второго участков взаимодействия СВС с деталями ПП. Таким образом, при соблюдении условия

$$l_1 \epsilon''_{II}(T) \simeq l_2 \epsilon''_{II}(T) \quad (10)$$

температурный вклад двух последних членов выражения (9) может быть равен нулю. Чем точнее выполняется условие (10), тем полнее компенсируется температурная чувствительность эллиптичности поляризации на выходе

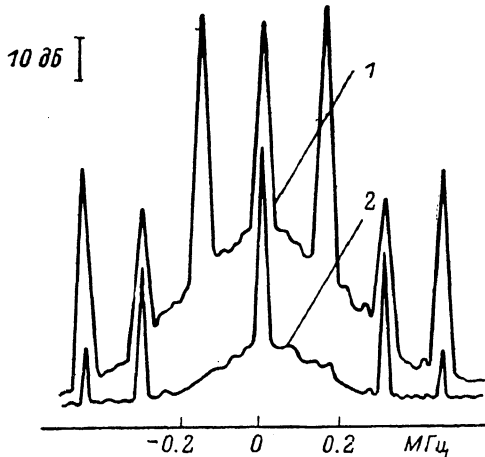


Рис. 2.

ПП (9). Для переменных законов изменения  $\epsilon''_{II}$  и  $\epsilon''_{II}(T)$  (например, гармонических) необходимо также обеспечить синфазность указанных деформаций. Экспериментальная проверка предлагаемой схемы компенсации ортогональных воздействий проводилась с помощью пьезокерамических поляризационных модуляторов на установке [1] в диапазоне частот от 0.1 до 1 МГц. Погрешность ортогональной ориентации анизотропных поперечных деформаций СВС не превышала  $1^\circ$ . С целью получения максимальной компенсации основной частоты модуляции эллиптичности поляризации нами использовались большие индексы модуляции. На рис. 2 показаны спектры выходного сигнала при работе одного из модуляторов (1) и синфазной работе двух ортогонально ориентированных модуляторов (2)

в соответствии с условием (10). Как видно из рис. 2, во втором случае наблюдается подавление нечетных гармоник сигнала модуляции эллиптичности до 60 дБ. С точки зрения повышения термостабильности ВОУ, полученный результат означает, что предложенная схема организации воздействий позволяет уменьшить температурную чувствительность волоконно-оптического ПП по крайней мере в  $10^3$  раз. В этом случае полная термостабильность ВОУ становится предельно высокой, так как начинает определяться термостабильностью свободных участков СВС, подводящих излучение к ПП.

#### Литература

- [1] Гуляев Ю. В., Меш М. Я., Проклов В. В. и др. Письма в ЖТФ, 1985, т. 11, № 3, с. 149—152.
- [2] Bertholds A., Dandliker R. Appl. Opt., 1986, v. 25, N 3, p. 340—343.
- [3] Kaminov I. P. IEEE J. Quant. Electron., 1981, v. QE-17, N 1, p. 15—22.
- [4] Kaminov I. P., Ramaswamy V. Appl. Phys. Lett., 1979, v. 34, N 4, p. 268—270.
- [5] Eickhoff W. Opt. Lett., 1981, v. 6, N 4, p. 204—206.

Отдел теплофизики  
Специализированное  
конструкторское бюро  
с опытным производством  
АН УзССР  
Ташкент

Поступило в Редакцию  
20 июня 1987 г.

### ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛОСКОГО КОНДЕНСАТОРА С ЗАЗЕМЛЕННЫМИ КРАЕВЫМИ ПЛАСТИНАМИ

Л. А. Баранова, Г. Н. Дьякова, С. Я. Явор

Краевые эффекты играют значительную роль в оптических свойствах отклоняющих систем. Они влияют на эквивалентную эффективную длину поля и его фокусирующую способность [1, 2]. Вместе с тем нахождение полей, рассеяния и их воздействия на движение заряженных частиц представляет, как правило, достаточно сложную задачу.