

07;12

## **Пьезоволоконный фазовый модулятор света с пониженным уровнем поляризационной модуляции**

© В.П. Губин, В.Г. Коваленко, А.И. Сазонов, Н.И. Старостин

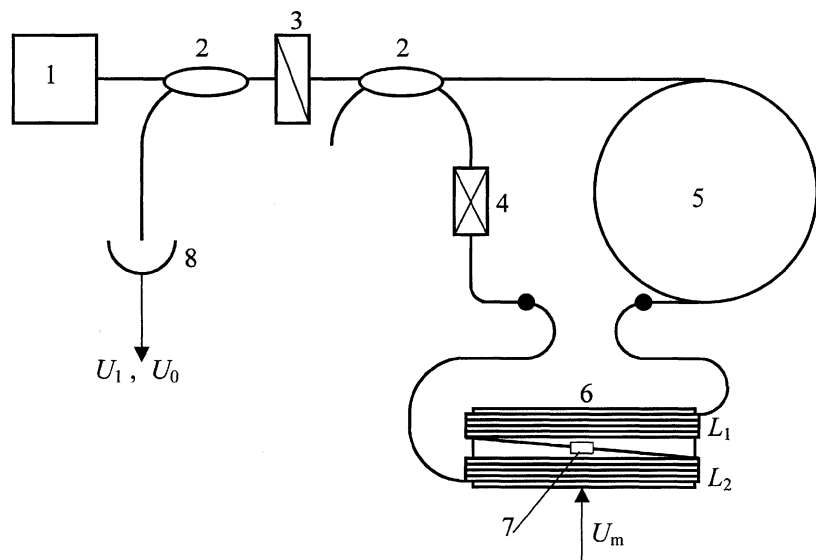
Институт радиотехники и электроники РАН, Фрязинское отделение  
E-mail: <http://fire.relarn.ru>

Поступило в Редакцию 9 ноября 2001 г.

Экспериментально показана возможность снижения на порядок уровня паразитной поляризационной модуляции в фазовом модуляторе оптического излучения, в котором на одиночном пьезоэлементе размещены две волоконные секции с конверсией поляризационных мод.

Волоконные фазовые модуляторы (ВФМ) оптического излучения широко применяются в интерферометрических датчиках для получения выходного сигнала модуляционным методом. Для снижения погрешности измерений ВФМ должен иметь малый уровень сопутствующих типов модуляции, среди которых наибольший вклад во многих случаях вносит паразитная поляризационная модуляция (ППМ). Она подробно изучалась в ряде работ [1–6], где рассмотрены ВФМ на основе пьезокерамического элемента с намотанным на него волокном. Среди предложенных методов подавления ППМ преобладают компенсационные методы с использованием конверсии волоконных поляризационных мод [2–4,6]. Однако задачу снижения ППМ в ВФМ нельзя считать решенной. Так, простые в реализации методы на основе двух идентичных пьезоволоконных элементов с конвертором мод между ними [2,3] имеют невысокую стабильность компенсации, а более эффективные, например на основе фарадеевского отражателя [4,6], — сложны и еще недостаточно изучены.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование пьезоэлектрического ВФМ с компенсацией ППМ при использовании на одном пьезоэлементе двух волоконных секций с конвертированными модами.



**Рис. 1.** Схема экспериментальной установки: 1 — источник, 2 — ответвители, 3 — поляризатор, 4 — деполяризатор, 5 — контур, 6 — фазовый модулятор, 7 — сварка, 8 — фотоприемник.

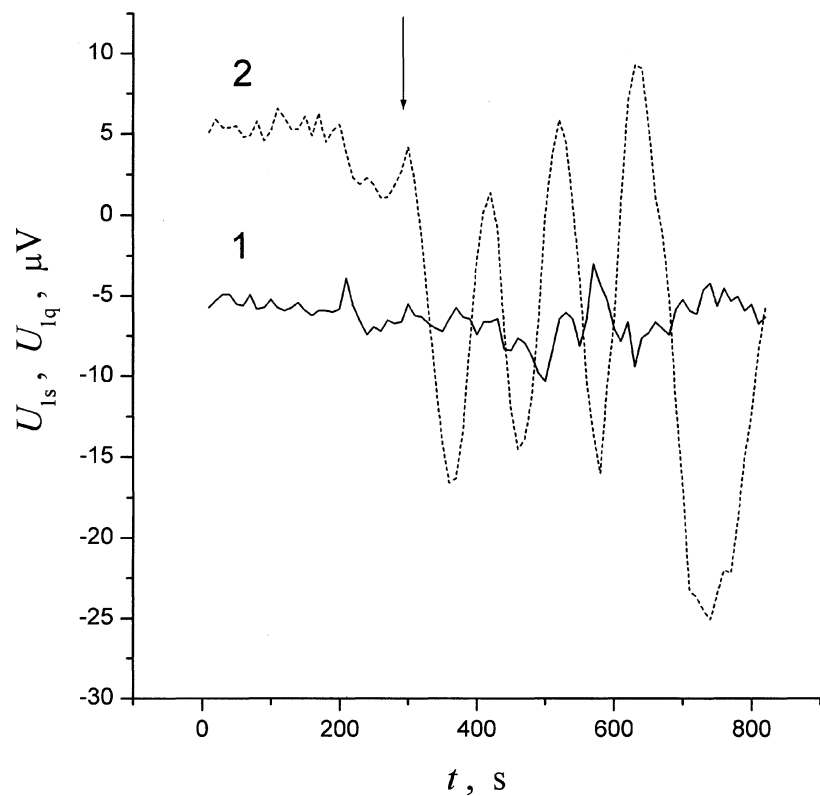
Сущность предлагаемого подхода состоит в использовании анизотропного волокна, состоящего из двух отрезков, соединенных с разворотом осей двулучепреломления на  $90^\circ$  и намотанных на один пьезоэлемент. При этом модуляция двулучепреломления и связи мод, обусловленная модуляцией напряжений в одном отрезке волокна модулятора и являющаяся причиной ППМ [4], должна быть скомпенсирована аналогичной модуляцией в другом отрезке.

Исследования проводились на установке, схема которой показана на рис. 1. Она представляет собой волоконный кольцевой интерферометр Саньяка с чувствительным контуром из изотропного волокна с деполяризатором Лайота в одном из концов контура. Исследуемый ВФМ [6] включается в оптическую схему с помощью сварок, на пьезокерамику ВФМ подается гармоническое напряжение  $U_m$  с частотой  $f_m = 42$  kHz. Источником излучения служит суперфлуоресцентный

волоконный источник на эрбиевом волокне со средней длиной волны  $1.55 \mu\text{m}$ . Выходное излучение детектируется фотодиодом, на выходе которого выделяются напряжения  $U_1$  и  $U_0$ , пропорциональные амплитуде первой гармоники модуляции интенсивности и среднему значению интенсивности, которые используются для вычисления величины ППМ. Для снижения погрешности измерений применялось фазочувствительное детектирование  $U_1$  с регистрацией синфазной  $U_{1s}$  и квадратурной  $U_{1q}$  компонент, так что  $U_1^2 = U_{1s}^2 + U_{1q}^2$ . Синфазная настройка фазочувствительного детектора здесь соответствует максимальной чувствительности интерферометра к вращению.

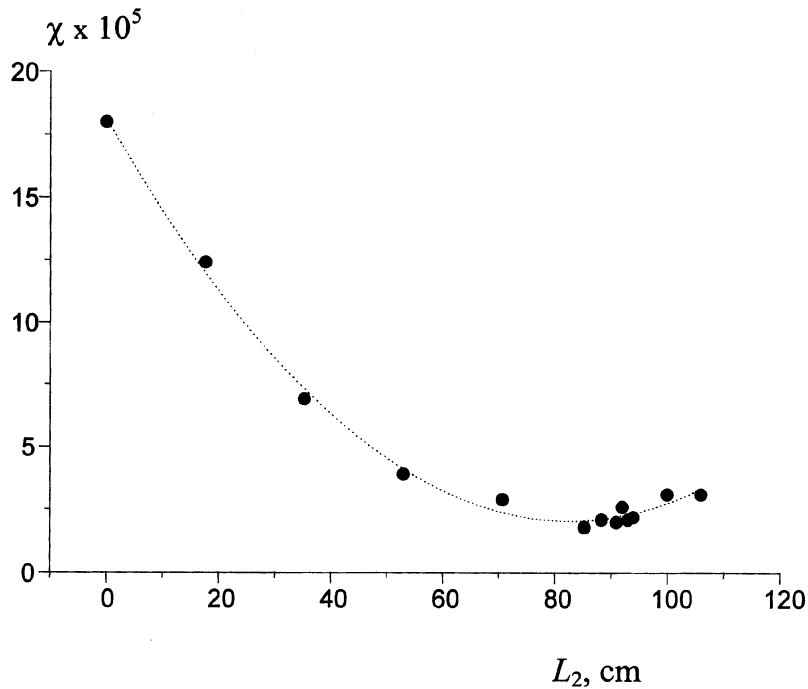
Исследуемый ВФМ (рис. 1) состоял из пьезокерамического диска диаметром  $50 \text{ mm}$  и толщиной  $1.5 \text{ mm}$ , на который было напрессовано алюминиевое кольцо. На кольцо наматывались две волоконные секции длиной  $L_1$  и  $L_2$  с натяжением  $50 \text{ g}$ , выполненные из отрезков одного и того же куска волокна. Использовалось волокно типа „Панда“, имеющее параметр сохранения поляризации  $h = 10^{-4} \text{ m}^{-1}$ . Перед намоткой отрезки были сварены с разворотом осей двулучепреломления на  $90^\circ$  (с погрешностью  $\alpha \cong \pm 3^\circ$ ). Крайние витки секций приклеивались эпоксидным клеем.

Поляризационная модуляция в измерительном интерферометре проявляется как модуляция интенсивности выходного сигнала при прохождении излучения через поляризатор. В качестве характеристики ППМ принято отношение  $\chi = U_{1 \max}/U_0$  при девиации фазы излучения  $\varphi_{m0} = 1 \text{ rad}$ . Здесь величина  $U_{1 \max}$  соответствует максимальному значению амплитуды  $U_1$ , которое достигается при определенном состоянии поляризации излучения на входе модулятора [2,3,5]. В связи с тем что в интерферометре с элементами из изотропного волокна состояние поляризации сильно зависит от температуры, была применена следующая методика. Температура оптических элементов медленно изменялась в пределах  $(20-50)^\circ\text{C}$  с одновременной записью компонент  $U_1$ . Пример такой записи показан на рис. 2, здесь  $U_{1 \max} \cong 25 \mu\text{V}$  ( $U_0 = 950 \text{ mV}$ ,  $\varphi_{m0} \cong 1.5 \text{ rad}$ ). Статистический анализ по многим экспериментам показал, что методика позволяет выделить максимум ППМ с высокой вероятностью. Следует отметить, что погрешность из-за влияния других эффектов (связь мод в волокне контура, сопутствующая модуляция потерь в модуляторе и т.п.) оценивалась и была невелика. Также учитывался (вычитался) сигнал вращения Земли.



**Рис. 2.** Временные зависимости синфазной (1) и квадратурной (2) компоненты выходного сигнала интерферометра в отсутствие вращения при нагреве фазового модулятора (начало нагрева отмечено стрелкой).

Девияция фазы  $\varphi_{m0}$  определялась на основании известного соотношения для выходного сигнала  $U_1(t)$  при вращении интерферометра:  $U_1(t) = U_0 J_1(2\varphi_m) \sin(2\Phi_s) \cos(2\pi f_m t)$ . Здесь  $J_1(2\varphi_m)$  — функция Бесселя первого порядка,  $\Phi_s$  — фазовый сдвиг Саньяка, пропорциональный угловой скорости интерферометра, а  $\varphi_m$  — девияция разностной фазы встречных волн в контуре, определяемая соотношением  $\varphi_m = \varphi_{m0} \sin(\pi f_m \tau)$ , где  $\tau = nL/c$ ,  $L = 500$  м — длина волокна в контуре,  $n = 1.44$  — показатель преломления волокна,  $c$  — скорость



**Рис. 3.** Зависимость ППМ от длины волокна во второй секции модулятора.

света в вакууме. При  $2\varphi_m = 1.84$  чувствительность интерферометра к вращению максимальна, что использовалось для определения  $\varphi_{m0}$  при данной длине волокна модулятора.

Зависимость ППМ от длины  $L_2$  второй волоконной секции ВФМ представлена на рис. 3 (длина первой секции составляла  $L_1 = 88$  см). Из рисунка следует, что при оптимальной длине  $L_{2opt} \cong 85$  см уровень ППМ снижается примерно в 10 раз по сравнению с односекционным модулятором. Подобные зависимости измерялись также с закруткой волокна второй секции на углы в пределах  $\pm(0.5 \dots 3)$  deg/cm. Измерения показали слабую зависимость ППМ от закрутки волокна. Следует отметить высокую стабильность степени снижения ППМ в разработанном ВФМ.

Достигнутая степень снижения уровня ППМ ограничена рядом факторов, среди которых в данной работе, на наш взгляд, преобладает неточность конверсии мод из-за погрешности разворота осей волокон  $\alpha$  при сварке. Оценки по методике [6] дают коэффициент снижения  $\sim \sin(2\alpha) \cong 0.1$ , что согласуется с экспериментом.

Таким образом, в работе экспериментально показана возможность снижения на порядок уровня паразитной поляризационной модуляции в фазовом модуляторе оптического излучения, в котором на одиночном пьезоэлементе размещены две волоконные секции с конверсией поляризационных мод.

Авторы выражают благодарность Е.Н. Базарову за поддержку работы и Э.И. Алексееву за полезные дискуссии. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 00-02-17344).

## Список литературы

- [1] *Kiesel E.* // Proc. SPIE. 1987. V. 838. Fiber Optics, Laser Sensors V. P. 129–139.
- [2] *Szafraniec B., Blake J.* // J. Lightwave Technol. 1994. V. 12. N 9. P. 1679–1684.
- [3] *Luke D.G., McBride R., Burnett J.G.* et al. // Optics Commun. 1995. V. 121. P. 115–120.
- [4] *Алексеев Э.И., Базаров Е.Н.* // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. В. 15. С. 90–94.
- [5] *Алексеев Э.И., Базаров Е.Н., Губин В.П.* и др. // Радиотехника и электроника. 1997. Т. 42. № 9. С. 1150–1152.
- [6] *Алексеев Э.И., Базаров Е.Н., Губин В.П.* и др. // Радиотехника и электроника. 1999. Т. 44. № 1. С. 122–128.