

- [15] Григорьянц А.В., Ржанов Ю.А., Балкарей Ю.И. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 23. С. 1465-1471.
- [16] MacKenzie H.A., Reid J.J.E., Al-Attar H.A., Abraham E. // Opt. Comm. 1986. V. 60. N 3. P. 181-186.

Институт радиотехники  
и электроники АН СССР,  
Москва

Поступило в Редакцию  
12 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 23

12 декабря 1989 г.

06.3

### ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ВОЛОКОННОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА НА ОСНОВЕ ДВУХКАНАЛЬНОГО СВЕТОВОДА

Э.А. Захидов, М.А. Касымджанов,  
В.В. Пан

Волоконно-оптические интерферометры на основе одномодовых световодов имеют высокую чувствительность к различным физическим полям. Но случайная модуляция фазы и поляризации излучения в световоде, обусловленная другими внешними возмущениями, может существенно (на несколько порядков) снизить реальные чувствительности датчиков на основе подобных интерферометров [1]. Двухканальный одномодовый волоконный световод (ДОВС) позволяет в значительной степени избавляться от подобных шумов при использовании двух световедущих каналов в качестве двух „плеч“ интерферометра [2]. К преимуществам ДОВС следует отнести также возможность контроля состояния поляризации излучения в каналах путем управления оптической анизотропией в них за счет изменения параметров световода.

Данная работа посвящена исследованию температурной чувствительности фазы (ТЧФ) излучения в ДОВС с целью определения физических причин дифференциального воздействия температурного поля на фазы излучения в каналах и возможности использования данного устройства в качестве датчика температуры. Был исследован световод на основе плавленого кварца, легированного двуокисью германия ( $\approx 4\%$ ), с двумя световедущими каналами (рис. 1,а) с диаметрами  $2\rho = 6$  мкм, расстоянием между ними 24 мкм и длиной волны отсечки  $\lambda_c = 0.63$  мкм. В качестве источника излучения использовался гелий-неоновый лазер ( $\lambda = 0.63$  и 1.15 мкм).

Рассмотрим возможные механизмы ТЧФ излучения в ДОВС. Абсолютная ТЧФ излучения в световоде на основе плавленого кварца зависит от  $\lambda$  и составляет на  $\lambda = 0.6$  мкм

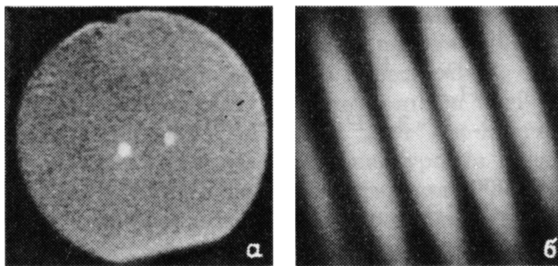


Рис. 1. Фотографии ближнего (а) и дальнего (б) полей излучения на выходе ДОВС.

$\sim 100 \frac{\text{рад}}{\text{м} \cdot \text{град}}$  [3]. Анизотропия световода, вызываемая отсутствием аксиальной симметрии в его структуре, приводит к относительно большому значению двулучепреломления  $\delta n$  ( $\delta n \sim 10^{-5}$  для исследованного ДОВС). Температурные изменения этих напряжений, а значит и  $\delta n$ , приводят к дифференциальной ТЧФ для двух поляризационных мод ДОВС, которая, как обычно, не превышает

$4 \frac{\text{рад}}{\text{м} \cdot \text{град}}$  [3]. Третий вид ТЧФ, дифференциальная, характерна только ДОВС и обуславливается неидентичностью его каналов, т.к. при существующей технологии изготовления ДОВС параметры каналов ( $2\rho$  или разности показателей преломления каналов  $n_i$  и оболочки  $n$ ) могут отличаться до 5%. Следует отметить, что для создания датчика температуры с управляемой ТЧФ можно изготовить ДОВС с заранее известным отличием параметров каналов.

При прохождении излучения через ДОВС длиной  $L$ , разность фаз излучений, прошедших по двум каналам, можно выразить так

$$\Delta\varphi = (\beta_1 - \beta_2)L = k(b_1\Delta n_1 - b_2\Delta n_2)L, \quad (1)$$

где  $\beta_i = k(n_i - b_i\Delta n_i)$  - постоянные распространения,  $b_i$  - нормированные постоянные распространения каналов [4],  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $\Delta n_i = n_i - n$ . Дифференциальную ТЧФ двух каналов с учетом (1) и в предположении линейной зависимости  $b$  от частотного параметра  $V = k\rho\sqrt{2n_i\Delta n_i}$  вблизи  $V = 2.4$  [4] после несложных алгебраических преобразований можно выразить как

$$\frac{1}{L} \frac{d(\Delta\varphi)}{dt} = k \left[ \frac{3}{2} \left( b_1 \frac{d(\Delta n_1)}{dt} - b_2 \frac{d(\Delta n_2)}{dt} \right) + \left( \Delta n_1 b_1 \frac{1}{\beta_1} \frac{d\beta_1}{dt} - \Delta n_2 b_2 \frac{1}{\beta_2} \frac{d\beta_2}{dt} \right) \right]. \quad (2)$$

Таким образом, дифференциальная ТЧФ, обусловленная разностью термооптических коэффициентов каналов, описывается выражением

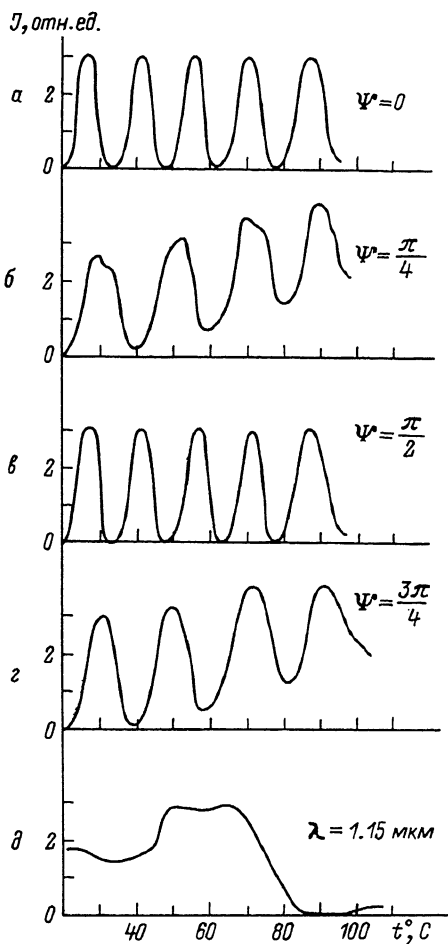


Рис. 2. Температурные зависимости интерференционного сигнала при различных ориентациях поляризации излучения на входе ДОВС при  $\lambda = 0.63$  мкм (а-г) и  $\lambda = 1.15$  мкм (д).

в первой скобке, а дифференциальная ТЧФ, обусловленная разностью коэффициентов термического расширения, — выражением во второй

$$\begin{aligned} & \text{скобке. Пользуясь формулой (2) и табличными данными } \frac{dn}{dt} = \\ & = 1 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{град}} \text{ и } \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} = 5 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{град}} \text{ для } SiO_2 \text{ и } \frac{dn}{dt} \\ & = 2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{град}} \text{ и } \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} = 77 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{град}} \text{ для } GeO_2 \text{ на } \lambda \approx 0.6 \text{ мкм} \end{aligned}$$

[5], в предположении линейной зависимости этих коэффициентов от концентрации  $GeO_2$  для системы  $SiO_2 + GeO_2$ , можно определить, что в исследованном световоде отличие  $\Delta n$  на 5 % вызывает дифференциальную ТЧФ  $0.55 \frac{\text{рад}}{\text{м} \cdot \text{град}}$ , а отличие  $\rho$  на 5 % — дифференциальную ТЧФ  $0.33 \frac{\text{рад}}{\text{м} \cdot \text{град}}$ . Отметим, что неидентичность

параметров каналов ДОВС может привести к различию механических напряжений в них, следовательно, и величины  $\delta n$  и появлению дополнительной дифференциальной ТЧФ между двумя поляризационными модами в каждом канале. Согласно расчетам, приведенным в [3], такая поляризационная дифференциальная ТЧФ значительно меньше, чем дифференциальная ТЧФ, описываемая формулой (2). В эксперименте дифференциальная ТЧФ определялась по периоду температурной зависимости интерференционного сигнала [3] при равномерном возбуждении обоих каналов, когда видность интерференционной картины была максимальной (рис. 1,б).

На рис. 2, а–г представлены температурные зависимости сигнала при различных ориентациях поляризации излучения на входе ДОВС  $\psi$  при  $\lambda = 0.63$  мкм. При соответствию ориентации поляризации излучения к одной из главных осей ДВС ( $\psi = 0$  или  $\psi = \pi/2$ ) зависимости строго подчиняются закону  $\sin^2 \Delta\varphi$  и соответствуют интерференции двух параллельно-поляризованных волн (рис. 2, а и в).

Период  $T \approx 15$  °С при  $L = 1$  м соответствует  $\frac{1}{L} \frac{d(\Delta\varphi)}{dt} = 0.46 \frac{\text{рад}}{\text{м} \cdot \text{град}}$ . При возбуждении обоих мод в каждом канале ( $\psi = \pi/4$  или  $3\pi/4$ , рис. 2, б и г соответственно) к периодической зависимости ( $T \approx 20$  °С) добавляется дрейфовое изменение сигнала за значительно большие температурные интервалы ( $\sim 100$  °С). Такое поведение температурных зависимостей сигнала, определяемое состоянием поляризации излучения на входе ДОВС, можно объяснить анизотропией световода. В случае исследованного световода с длиной биений поляризованных мод отдельного канала  $L_S = \lambda/\delta n \sim 6.3$  см динамика состояния поляризации по длине ДОВС будет сложной [6] и зависящей от температуры. Следовательно, при возбуждении обоих мод на выходе световода состояния поляризации излучения из двух каналов с изменением температуры изменяются неидентично. Это может привести к изменению периода  $T$  и появлению дрейфа сигнала. В пользу такого предположения говорит тот факт, что при  $\lambda = 1.15$  мкм, когда эффективная величина  $\delta n$  значительно меньше, чем при  $\lambda = 0.63$  мкм, а оптическая активность из-за скручиваний практически неизменна, зависимость настолько

усложнилась, что выделить периодическую часть и дрейф при любом значении  $\psi$  стало невозможным (рис. 2,д).

Таким образом, из приведенного анализа и полученных экспериментальных результатов можно сделать выводы: 1) интерферометр на основе ДОВС может служить в качестве датчика температуры с чувствительностью  $\sim 1 \frac{\text{рад}}{\text{м}\cdot\text{град}}$ , которая может управляться путем изменения параметров каналов световода; 2) путем подбора параметров ДОВС можно управлять анизотропией световода и добиться значительного снижения поляризационного дрейфа сигнала.

В заключение авторы благодарят В.М. Машинского и В.Б. Неуструева за полезное обсуждение результатов и А.Н. Гурьянова, Д.Д. Гусовского за изготовление световода с необходимыми параметрами.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] G i a l l o r e n z i T.G., B u s a r o J.A., D a n d r i g e A., S i g e l G.H., C o l e J.J.H., R a s h l e i g h S., P r i e s t R.G. // IEEE J. of Quant. Electron. 1982. QE-18. N 4. P. 626-665.
- [2] Гурьянов А.Н., Гусовский Д.Д., Девятых Г.Г., Дианов Е.М., Неуструев В.Б., Прохоров А.М. // Квантовая электроника. 1987. Т. 14. № 3. С. 609-611.
- [3] Грудинин А.Б., Дианов Е.М., Дянков Г.Л., Неуструев В.Б. // Радиотехника. 1988. № 9. С. 64-68.
- [4] Унгер Х.Г. Планарные и волоконные оптические волноводы. М.: Мир, 1980.
- [5] Мазурин О.В., Стрельцина М.В., Швайко-Швайковская Т.П. Свойства стекол и стеклообразующих расплавов. Л.: Наука, 1973.
- [6] U l r i c h R., S i m o n A. // Appl. Opt. 1979. V. 18. N 13. P. 2241-2249.

Отдел теплофизики  
АН Узбекской ССР

Поступило в Редакцию  
8 июня 1988 г.  
В окончательной редакции  
28 сентября 1989 г.