

## ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 681.7.068

**В. И. Борисов, д-р физ.-мат. наук, проф., В. П. Минкович, канд. техн. наук,  
С. С. Сергеев, канд. техн. наук, доц.**

### **ДАТЧИК МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ, ОСНОВАННЫЙ НА ИЗМЕНЕНИИ УГЛА ПОВОРОТА ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА В СВЕТОВОДЕ**

Исследовано влияние микроизгибов одномодовых волоконных световодов на поворот плоскости поляризации света в световоде. Показано, что на выходе одномодовых кварц-кварцевых и одномодовых микроструктурных волоконных световодов наблюдается эллиптически-поляризованный свет, эллипс поляризации которого испытывает монотонный поворот при увеличении величины микроизгибов с чувствительностью 0,82 град/мкм для кварц-кварцевых и 0,5 град/мкм для микроструктурного световодов.

Первичные преобразователи приборов неразрушающего контроля во многом определяют их метрологические характеристики, поэтому разработка новых конструкций первичных преобразователей и поиск новых физических явлений для их построения, а также поиск новых информационных параметров при использовании известных конструкций датчиков весьма актуальны [1, 2]. В настоящее время продолжают активные исследования применения волоконных световодов для создания волоконно-оптических датчиков новых конструкций. К примеру, в [3] используется полый анизотропный волоконный световод в качестве чувствительного элемента датчика давления, в [4] предлагается возбуждать волоконный световод датчика не монохроматическим, а белым светом. В последнее время проводятся широкие исследования по применению в качестве чувствительных элементов волоконно-оптических датчиков микроструктурных волоконных световодов [5–7]. Широко используются на практике микроизгибные датчики, измерительным параметром в которых является интенсивность света, которая зависит от величины микроизгиба волоконного световода, применяе-

мого в качестве чувствительного элемента датчика [8, 9]. Физический принцип работы таких волоконно-оптических чувствительных элементов основан на вытекании энергии, переносимой волноводными модами световодущей сердцевины световода, в оболочку. Главным же недостатком таких датчиков является то, что при малых величинах микроизгибов от 0 до 100 мкм практически не наблюдается уменьшения вытекающей энергии, что не дает возможности их использования для измерения микроперемещений. Микроизгибные волоконно-оптические преобразователи могут быть использованы не только для построения датчиков перемещений, но и датчиков деформаций, температуры, давления.

Поляризационные датчики являются разновидностью фазовых датчиков, обладающих наибольшей чувствительностью к измеряемым воздействиям, и существуют конструкции волоконно-оптических датчиков на основе одномодовых волоконных световодов, у которых информационный параметр – это поворот плоскости поляризации света, распространяющегося по световоду, при диаметральном сжатии чувствительного элемента световода под дей-

ствием измеряемой физической величины [10, 11].

В настоящей работе исследуются возможности использования поворота плоскости поляризации линейно-поляризованного света, распространяющегося по волоконному световоду, в качестве информационного параметра в микроизгибном датчике микроперемещений и приводятся результаты эксперимен-

тальных исследований влияния микроизгибов, наведенных в одномодовых волоконно-оптических световодах под действием измеряемой физической величины, на поворот плоскости поляризации распространяющегося по световоду излучения.

Эксперименты проводились на установке, схема которой приведена на рис. 1.

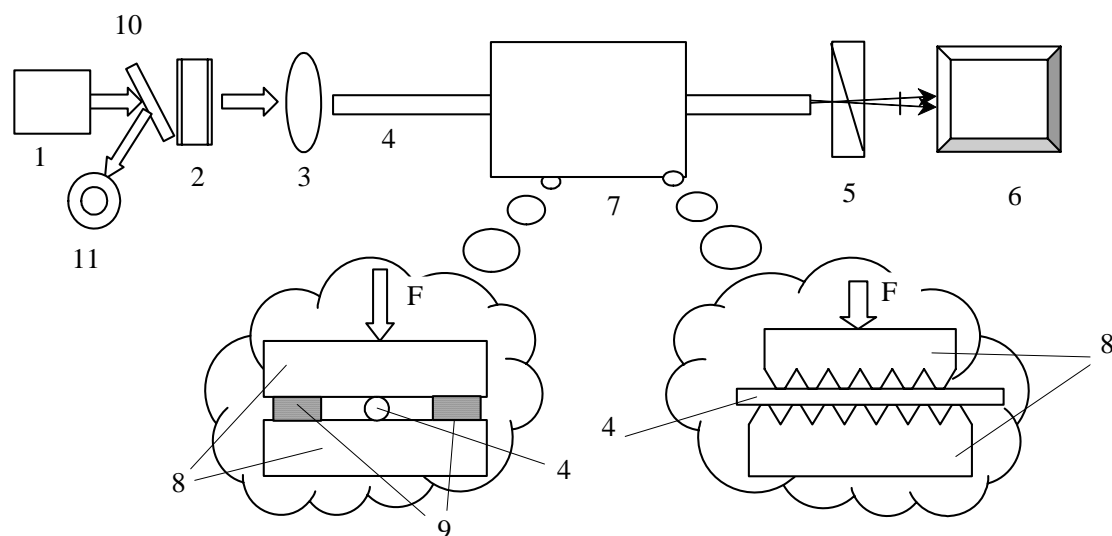


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – гелий-неоновый лазер ЛГ-105; 2 – четвертьволновая пластинка; 3 – восьмикратный микробиоъектив; 4 – исследуемый волоконный световод; 5 – анализатор; 6 – оптический ваттметр ОМЗ-65; 7 – устройство для образований микроизгибов; 8 – рифленые параллелепипеды из оргстекла; 9 – резиновые полоски; 10 – светоотражающая стеклянная пластинка; 11 – устройство регистрации мощности лазерного излучения

Линейно-поляризованное излучение гелий-неонового лазера ЛГ-105 1 с помощью четвертьволновой фазовой пластинки 2 превращалось в излучение, поляризованное по кругу, а затем вводилось с помощью восьмикратного микробиоъектива 3 в отрезок исследуемого волоконного световода 4. На участке световода длиной 25 мм наводились микроизгибы при помощи устройства для микроизгибов 7, которое содержит два прямоугольных параллелепипеда из оргстекла 8. На одной из поверхностей параллелепипедов изготовлены V-образные канавки с периодом 2 мм. Между этими поверхностями параллелепипедов устанавливался отрезок исследуемого

волоконного световода таким образом, что на световоде, зажатом между параллелепипедами, наводились микроизгибы с периодом 1 мм. Величина микроизгибов регулировалась с помощью микрометрического винта. Излучение, вышедшее из световода, проходило через анализатор 5, а затем регистрировалось оптическим ваттметром ОМЗ-65 6. Для возвращения параллелепипедов из оргстекла в исходное состояние при уменьшении величины микроизгибов между рифлеными поверхностями параллелепипедов устанавливались две резиновые полоски 9. Наведенные в световоде микроизгибы преобразовывали поляризацию света, распространяю-

шегося по световоду. Для регистрации мощности часть генерируемого лазерного излучения с помощью тонкой стеклянной пластинки 10 направлялась в устройство регистрации излучения мощности генерации лазера 11, состоящего из фотодиода ФД-256 и милливольтметра.

В экспериментах использовались три типа волоконных световодов.

Первый тип представлял собой одномодовый кварц-кварцевый световод с диаметром световедущей сердцевины 7 мкм и внешним диаметром из кварцевого стекла 100 мкм.

Второй тип – двухмодовый (на длине волны 0,63 мкм) кварц-кварцевый световод с диаметром световедущей сердцевины 9,8 мкм и внешним диаметром из кварцевого стекла 125 мкм.

Третий тип – микроструктурный волоконный световод, имеющий световодную сердцевину из кварцевого стекла диаметром 10,2 мкм, окруженную пятью слоями воздушных отверстий диаметром 2,8 мкм.

Результаты преобразования потока

излучения на выходе одномодового кварц-кварцевого волоконного световода с диаметром световедущей сердцевины 7 мкм для различных углов поворота анализатора приведены на рис. 2. За нулевое значение угла поворота анализатора принят угол, при котором наблюдается полное пропускание линейно-поляризованного излучения лазера в вертикальной плоскости. В этой же плоскости проводился микроизгиб световода.

Из рис. 2 видно, что циркулярно, поляризованный свет при прохождении даже неизогнутого волоконного световода становится поляризованным по эллипсу. Это свидетельствует о том, что волоконный световод представляет собой структуру типа одноосного кристалла за счет неоднородностей, образованных при его изготовлении. Видно, что при увеличении изгиба световода излучение приближается к линейно-поляризованному, т. к. поток излучения при некоторых положениях угла поворота анализатора стремится к нулю.

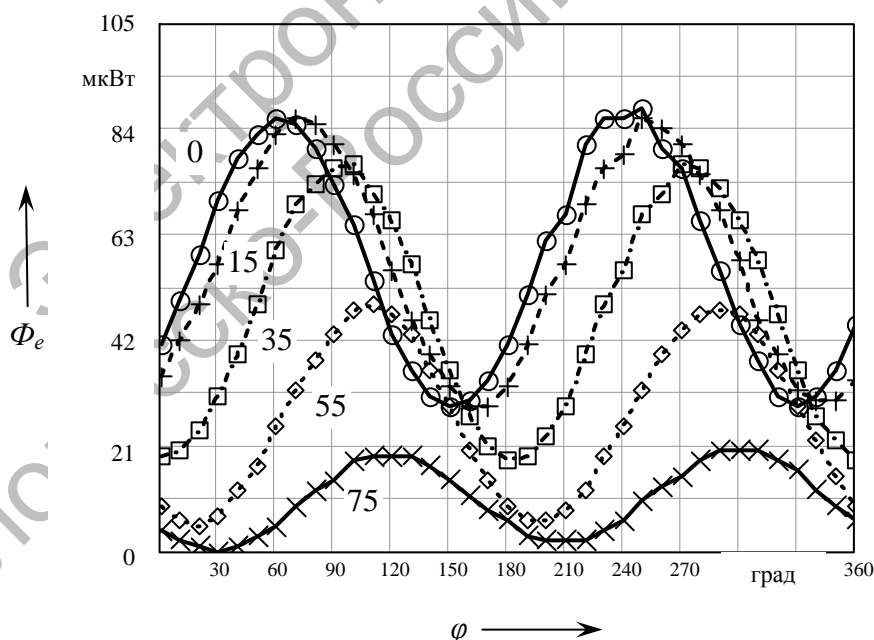


Рис. 2. Зависимость потока излучения на выходе деформированного микроизгибами волоконного световода при различных величинах прогиба световода для разных углов поворота анализатора. Цифры около кривых соответствуют величине прогиба волоконного световода в микрометрах;  $\varphi$  – угол поворота анализатора;  $\Phi_e$  – поток излучения

Из рис. 2 видно, что при увеличении изгиба наблюдается монотонный поворот эллипса поляризации.

На рис. 3 приведены результаты

измерения поворота эллипса поляризации с шагом микроизгиба световода 10 мкм.

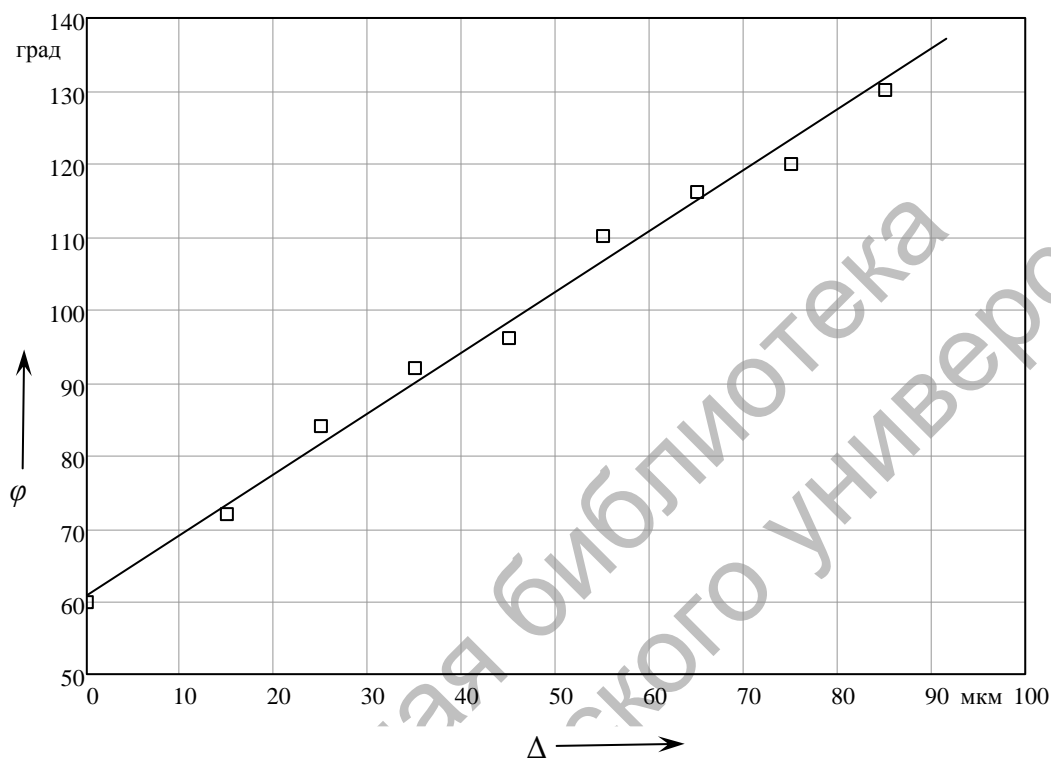


Рис. 3. Зависимость угла поворота анализатора  $\varphi$  от величины микроизгибов  $\Delta$ , наведенных в одномодовом волоконном световоде с диаметром световедущей сердцевинки 7 мкм

Из рис. 3 видно, что оси эллипса испытывают монотонный поворот на  $70^\circ$  при увеличении величины прогиба световода от 0 до 85 мкм. Эта зависимость носит практически линейный характер. Чувствительность поворота эллипса поляризации в этом случае составляет 0,82 град/мкм.

Аналогичные измерения, проведенные для двухмодового кварц-кварцевого волоконного световода с диаметром световедущей сердцевинки 10 мкм, показали, что для этого световода не наблюдается поворот эллипса поляризации. Это связано с более сложной, чем для одномодового световода, структурой электромагнитного поля, т. к. этот световод при возбуждении из-

лучением гелий-неонового лазера поддерживает две радиальные моды.

Простая структура поля волноводной моды реализуется в микроструктурном волоконном световоде, поэтому представлялось интересным провести исследование влияния микроизгибов такого световода на поворот плоскости поляризации излучения, распространяющегося по такому световоду.

Поперечное сечение используемого в экспериментах микроструктурного волоконного световода приведено на рис. 4, из которого видно, что светоотражающая оболочка содержит пять слоев цилиндрических воздушных каналов, образующих гексогональную структуру.

На рис. 5 приведена зависимость угла поворота эллипса поляризации от величины микроизгиба для исследован-

ного микроструктурного волоконного световода.

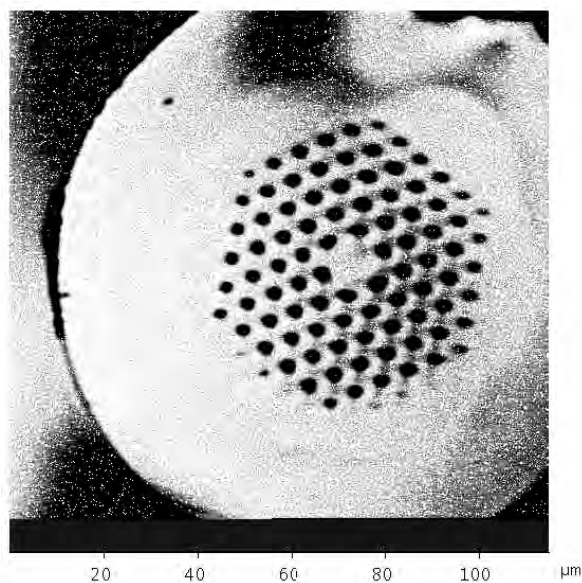


Рис. 4. Поперечное сечение микроструктурного волоконного световода

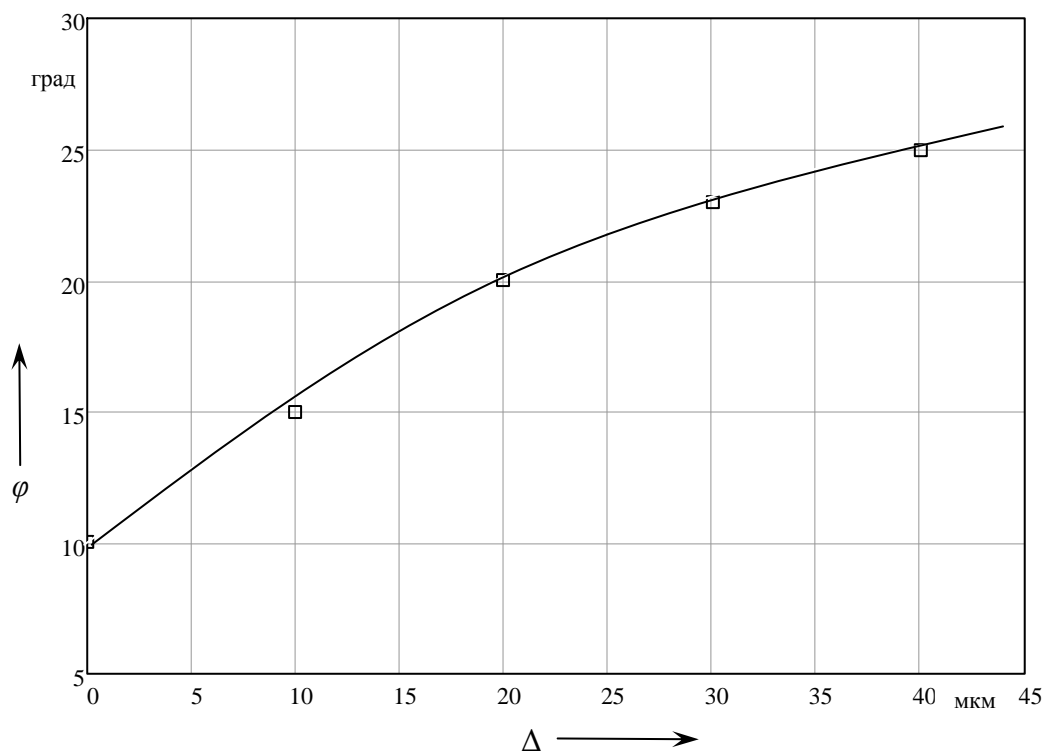


Рис. 5. Зависимость угла поворота анализатора  $\varphi$  от величины микроизгибов  $\Delta$ , наведенных в микроструктурном волоконном световоде

Из этого рисунка видно, что при изменении величины изгиба от 0 до 20 мкм наблюдается примерно линейный поворот эллипса поляризации с чувствительностью угла поворота эллипса поляризации к микроизгибам 0,5 град/мкм, а при дальнейшем увеличении величины микроизгибов чувствительность уменьшается. Особенностью микроструктурного световода является то, что при увеличении микроизгибов более 50 мкм наблюдается полное затухание излучения, распространяющегося по световоду.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования показали, что поворот эллипса поляризации, обусловленный микроизгибом как обычных, так и микроструктурных одномодовых волоконных световодов, можно использовать для построения датчиков микроперемещений, которые нечувствительны к неконтролируемому изменению мощности лазерного источника излучения, используемого для возбуждения отрезка одномодового волоконного световода, выступающего в роли первичного преобразователя.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фрайден, Дж.** Современные датчики : справочник / Дж. Фрайден. – М. : Техносфера, 2005. – 592 с.
2. **Lopez-Higuera, J. M.** Ed. Handbook of Optical Fiber Sensing Technology / J. M. Lopez-

Higuera. – New York : Wiley, 2002. – 789 p.

3. **Statkiewicz, G.** Measurement of modal birefringence and polarimetric sensitivity of the birefringent holey fiber to hydrostatic pressure and strain / G. Statkiewicz, T. Martynkien, W. Urbanczyk // Opt. Commun. – 2004. – V. 241, № 4–6. – P. 339–347.

4. **Chen, Y.** Multiplexed fiber Fabre-Perot temperature sensor system using white-light interferometry / Y. Chen, H. F. Taylor // Opt. Lett. – 2002. – V. 27. – P. 903–905.

5. **Villatoro, J.** Temperature-independent strain sensor made from tapered holey optical fiber / J. Villatoro, V. P. Minkovich, D. Monzon-Hernandez // Opt. Lett. – 2006. – V. 31. – P. 305–307.

6. Temperature-insensitive interferometer using a highly birefringent photonic crystal fiber loop mirror / C. Zhao [etc.] // IEEE Photon. Technol. Lett. – 2004. – V. 16. – P. 2535–2537.

7. **Borisov, V. I.** Comparative analysis of classical and special single-mode microstructured optical fibers as sensing element for fiber optic microbend sensors / V. I. Borisov, V. P. Minkovich, I. V. Shilova // Optical Engineering. – 2009. – V. 48. – P. 1–4.

8. Chemical sensing with microbend optical fiber / T. S. Lee [etc.] // Opt. Lett. – 2001. – V. 26. – P. 1541–1543.

9. **Donladic, D.** Fiber-optic microbend sensor structure / D. Donladic, M. Zavrsnik // Opt. Lett. – 1997. – V. 22. – P. 837–839.

10. The fiber-optical sensors with making birefringence / V. I. Borisov [etc.] // Proc. Intern. : conf. «Photonics-96». – 1996. – V. 2. – P. 1002–1005.

11. **Борисов, В. И.** Датчик акустических волн на одномодовом волоконном световоде с наведенной анизотропией / В. И. Борисов, С. С. Сергеев, Ю. В. Правоторов // Вестн. НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 1999. – № 2. – С. 54–56.

Белорусско-Российский университет  
Материал поступил 30.06.2010

**V. I. Borisov, V. P. Minkovich, S. S. Sergeev**  
**The sensor of microdisplacement based on change of faraday rotation angle of light in the optical light conductors**

Influence of microbends of single-mode fiber light conductors on faraday rotation angle in light conductors has been studied. It is shown that leaving single-mode quartz and single-mode microstructural fiber light conductors elliptically polarized light is observed. Its ellipse of polarisation tests monotonous rotation at increase in size of microbends with sensitivity of 0,82 degrees per micrometer for quartz and 0,5 degrees per micrometer for microstructural optical light conductors.