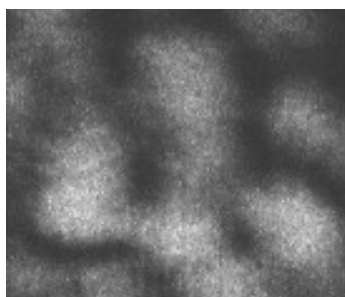


а



б

Рисунок 4 – Фотографии волн ВГ при их генерации расходящимся пучком:

а – в образце кристалла КТР с высокой нелинейно-оптической однородностью;

б – в полидоменном образце

Благодаря высокой нелинейности в кристалле КТР толщиной 7 мм была возможна визуализация вторичных максимумов ВГ вплоть до восьмого. В случае прохождения расходящегося ИК лазерного луча через дефектную область кристалла, на экране наблюдается картина в виде искривлённых или разорванных полос или зелёных и чёрных пятен, а также уменьшается контраст между максимумами и минимумами

второй гармоники (рисунок 4, б). Аналогично тому, как искажение интерференционных полос позволяет оценивать линейную однородность, т.е. величину Δn , так искажение «полос второй гармоники» – локальные неоднородности тензора квадратичной нелинейной восприимчивости $\Delta\chi^{(2)}$.

В результате проведенных работ изготовлен и налажен экспериментальный образец оптоэлектронного стенда измерения параметров преобразователей частоты лазерного излучения, проведена калибровка системы регистрации изображения, проведены приемочные испытания стенда на соответствие требованиям ТЗ, стенд внедрен в технологический процесс завода РУП «Завод Оптик» г. Лида.

Изучение эффективности преобразования излучения во ВГ проводилось на образцах размером $5 \times 5 \times 7$ мм³ и $7 \times 7 \times 7$ мм³ изготовленных из кристаллов КРТ, выращенных как в высокоградиентном, так и низкоградиентном температурных полях. Предварительно кристаллы проходили отбраковку по наличию неоднородностей обоих типов, затем подвергались окончательной полировке и нанесению просветляющих покрытий. Возбуждение ВГ осуществлялось излучением YAG:Nd³⁺ лазера с длиной волны 1,064 мкм и плотность мощности излучения до 110 МВт/см². В кристаллах КТР, выращенных модифицированным методом Чохральского в режиме вынужденной конвекции, коэффициент преобразования достигал 55 % с гауссовым распределением поля по сечению пучка. При этом оказалось, что выход из одной були пригодных нелинейных элементов значительно выше, чем у кристаллов, выращенных в условиях высокого температурного градиента.

УДК 535.5, 53.082.5

SENSITIVITY VARIATIONS OF POLARIMETRIC CURRENT SENSORS ON TWIST AND SPUN FIBERS

Lovchy I.L.

JSC «Scientific Research Institute for Optoelectronic Instrument Engineering»
Sosnovy Bor, Leningrad region, Russia

Introduction. In the fiber optic current sensors (FOCS) the special twist and spun lightguides differing in polarizing parameters are used [1, 2]. Both lightguides are characterized by very strong internal birefringence (BR): the first – circular, the second – linear, with spiral structure. Existence of the strong ordered BR levels the influence of outer photo-elastic effects on the Faraday effect manifestation – the physical mechanism of measurement of current, but at the same time limits sensitivity of the sensor compared to the sensitivity of the sensor with the ideal isotropic lightguide in which only Faraday BR takes place.

1. Principles of modeling. To model the parameters of sensors the formalism of the Poincaré sphere was used. Modeling was carried out on the basis of analysis of change trajectory in the state of polarization (SOP) of light spreading along a sensitive fiber with varying parameters of lightguide, geometry of a fiber circuit, magnitude of magneto-optical (MO) effect [3, 4]. The lightguide was presented in the form of alternating sequence of extremely thin segments – linear (caused by built in or externally induced photo-elastic effects) and circular (caused by optical activity of twisted around the axis fiber or MO effect) phase plates. SOP change

after passing through each segment was defined by rotation of the initial position of polarization on the sphere by the angle of BR equal to the angle of phase shift of orthogonally polarized components, around the fast BR axis (an optical axis of the phase plate). From a fiber exit the light with changed according to MO and photo-elastic effects polarization state was speculatively divided by an analyzer – a polarizing divider, into two components, processing the intensities of which according to a certain algorithm made it possible to estimate the sensitivity of sensor in reality. In numerical calculations, we used the LabVIEW graphic programming medium.

2. Evolution of polarization in a twist fiber.

The polarization parameters of *twist* fiber are defined by the relative value of the τ spin of the fiber around axis and the bend radius R of the fiber in the circuit. The simplest in realization scheme of the sensor is the one with a single light bypass in the sensitive circuit. Trajectory of SOP change along the lightguide is represented on Poincare' sphere by a circle intersecting or touching the equator. [5]. At the same time the variety range of the SOP latitude depends on the orientation of the plane fiber coils in space relative to the direction of polarization of light at the input of the fiber and makes up from $-v$ – $+v$ to 0 – $\pm 2v$ where the angle of v is defined by formula:

$$v = \text{atan}(\beta_R/2\rho). \quad (1)$$

Where ρ is the induced optical activity of the twisted fiber, β_R – the difference between the phases of orthogonally polarized components of the linear BR caused by bending fiber in space when forming a sensitive circuit of the sensor ($\rho \approx 0,079\tau$ [6], $\beta_R \approx 0,005/R$ [7] – hereinafter the fused silica fiber with a diameter of 125 μm on the wavelength of 660 nm is used).

2.1 FOCS sensitivity with *twist* fiber. Results of modeling showed that at small MO angles of rotation average sensitivity η of FOCS with *twist* fiber is defined by the following formula:

$$\eta = \cos^2(\text{atan}(\beta_R/2\rho)). \quad (2)$$

When rotating the plane of the sensitive circuit of FOCS in space sensitivity variations relative to the average value are in the range $\pm\Delta\eta$:

$$\Delta\eta = 0,5\eta(\beta_R/2\rho)^2. \quad (3)$$

In figure 1 FOCS sensitivity modeling results (vertical arrays of points) at the rotation of lightguide circuit in space are presented for three radiuses of measuring circuit along with calculation results of sensitivity for formulas (2) and (3) (continuous and dotted curves) depending on fiber spin values. Range of rotation of circuit in space during modeling made 0–90 deg with an increment of 1 deg, fiber spinning increment – quarter spin per meter.

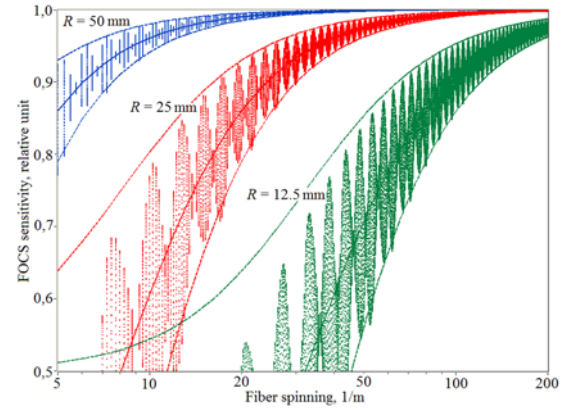


Figure 1 – FOCS sensitivity with *twist* fiber

At $2\rho \geq \beta_R/2$ results of calculation for formulas (2) and (3) fully correspond to sensitivity variations based on modeling and analysis of the SOP at the fiber exit.

3. The polarizing parameters of the *spun* fiber are determined by the length of beats of the built-in linear BR L_β and the length of rotation of its axis L_τ , and also the bend radius of the fiber in the circuit. At the initial position of an axis of the built-in BR $\pm \pi/4$ relative to the polarization vector of light on fiber end the SOP along fiber fluctuates symmetrically relative to the equator of the Poincare' sphere in latitude band $\pm \chi$:

$$\chi = \text{atan}(L_\tau/2L_\beta), \quad (4)$$

with the period of fluctuations T which is quite accurately satisfying the empirical formula:

$$T = \pi \sin^2 \chi (\cos \chi)^{-1/2}. \quad (5)$$

At other initial position of BR axis fluctuation gyrate curve is distorted and shifts from the equator to one of sphere poles.

To stabilize the operating point, the polarimetric current sensor on *spun* fiber is fundamentally constructed according to a two-pass scheme. One version of the scheme is described in detail in [4].

3.1 FOCS sensitivity with *spun* fiber. Modeling shows that average sensitivity of FOCS in this scheme is defined by:

$$\eta = \cos^2 \chi = \cos^2(\text{atan}(L_\tau/2L_\beta)), \quad (6)$$

with a range $\pm\Delta\eta$ of sensitivity variations at rotation of a sensitive circuit in space:

$$\Delta\eta = 2\eta L_\beta/L_R = 2\eta\beta_R/\beta. \quad (7)$$

Where β is the difference between the phases of the built-in BR, L_R is the length of beats of BR induced by fiber bends.

In figure 2 sensor sensitivity modeling results (vertical arrays of points) are presented for three radiuses of measuring circuit along with calculation results of ranges of possible fluctuations of sensitivity for formulas (6) and (7) (dotted curves on borders of

ranges) at value of parameter $\gamma = 2\pi/L\tau = 1000$ rad/m and a varied parameter β . Range of rotation of fiber circuit in space during modeling made – 0–90 deg with an increment of 9 deg, β increment – 50 rad/m.

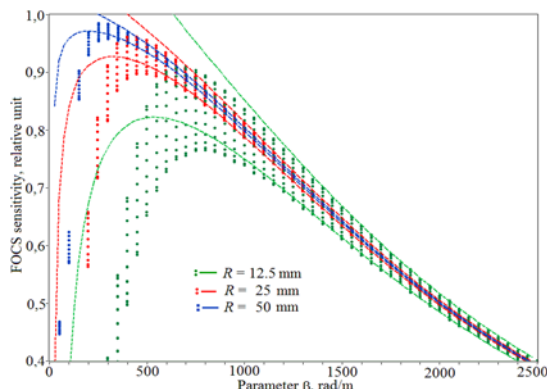


Figure 2 – FOCS sensitivity with *spun* fiber

When the condition of $\beta^2 > 20\gamma\beta R$ is met the results of modeling and calculation for formulas almost meet. Modeling results correlate with the results of experiments on a model sample of FOCS well [4].

Conclusions. Simple formulas for the description of sensitivity of the polarimetric fiber optic cur-

rent sensors are presented. Estimates of limit of their applicability are given.

References

1. Ulrich R., Simon A. Polarization optics of twisted single-mode fibers // Appl. Opt. – 1979. – Vol. 18. – № 13. – P. 2241–2251.
2. Nguyen T.X., Ely J.J., Szatkovski G.N. A fiber-optic current sensor for lighting measurement applications // Proc. SPIE 9480, Fiber optic Sensors and Applications XI (13 may 2015).
3. Lovchii I.L. Modelling the parameters of a polarimetric ac magneto-optical sensor with a sensitive loop made from a twist-type lightguide // J. Opt. Technol. – 2010. – Vol. 77. – № 6. – P. 376–386.
4. Lovchii I.L. Numerical modelling and investigation of a polarimetric current transducer with a spun-type lightguide // J. Opt. Technol. – 2010. – Vol. 77. – № 12. – P. 755–761.
5. Rashleigh S.C., Ulrich R. Magneto-optic current sensing with birefringent fibers // Appl. Phys. Lett. – 1979. – Vol. 34. – № 11. – P. 768–770.
6. Smith A.M. Birefringence induced by bends and twists in single-mode optical fiber // Appl. Opt. – 1980. – Vol. 19. – № 15. – P. 2606–2611.
7. Ulrich R., Rashleigh S.C., Eickhoff W. Bending-induced birefringence in single mode fibers // Opt. Lett. – 1980. – Vol. 5. – P. 273–275.

УДК 614.842

ГЕТЕРОГЕННОЕ ИНГИБИРОВАНИЕ АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ ПЛАМЕНИ ЧАСТИЦАМИ ОГNETУШАЩЕГО ПОРОШКА В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ Кицак А.И.

Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем
чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь
Минск, Республика Беларусь

Введение. Тушение пожара огнетушащим порошком обеспечивается двумя основными процессами: передачей тепла частицам порошка посредством их нагрева и химическим ингибированием продуктов горения либо поверхностью частиц порошка (гетерогенное ингибирование), либо веществами, образующимися при их испарении или разложении в результате поглощения тепла (гомогенное ингибирование).

Анализ схем тушения пожара порошками с применением струйных пневматических устройств доставки частиц порошка в зону горения показывает, что скорость частиц порошка, в газообразном горячем слое может достигать нескольких метров в секунду. [1]. При данных скоростях длительность t_{int} взаимодействия частиц порошка с активными центрами пламени в этой зоне составляет $\sim 10^{-4}$ – 10^{-5} с [1]. Примерно такого же порядка являются времена длительности реакции ингибирования активных центров пламени частицами порошка и их нагрева. В связи с этим можно предполо-

жить, что процесс тушения пожара огнетушащим порошком с применением установок пожаротушения со струйной подачей порошка во фронт пламени часто происходит в нестационарных условиях.

Целью настоящей работы являлось изучение особенностей гетерогенного ингибирования активных центров пламени частицами огнетушащего порошка в нестационарных условиях взаимодействия.

Физическая модель тушения пожара. Рассмотрим схему тушения пожара струей огнетушащего порошка, подаваемой в зону горения по направлению к фронту пламени.

В некоторый момент времени в этой зоне, которая состоит из областей подогрева горючей среды, реакции горения и собственно пламени (светящейся зоны), сформируется дисперсный слой частиц порошка. Этот слой за промежуток времени $t_{\text{вз}} = l_{\text{вз}}/v$, зависящий от скорости частиц порошка v и эффективной толщины зоны реакции $l_{\text{вз}}$, покинет ее. Частицы слоя безвоз-