

07;12
©1995

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУПЕРФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВОЛОКНА, ЛЕГИРОВАННОГО ЭРБИЕМ

*Э.И.Алексеев, Е.Н.Базаров, Г.А.Герасимов,
В.П.Губин, И.Э.Самарцев, Н.И.Старостин*

Суперфлуоресцентные волоконные источники излучения (СВИ) на основе кварцевых волокон, легированных редкоземельными ионами [1,2], представляют большой интерес для низкокогерентной интерферометрии, волоконно-оптической гироскопии (ВОГ) [3-5] и ряда других применений. Широкополосное слабополяризованное излучение получается в них благодаря работе в режиме суперфлуоресценции, для обеспечения которого сводятся к минимуму отражения от торцов волокна. По целому ряду параметров СВИ превосходят суперлюминесцентные лазерные диоды (СЛД). Однако их характеристики, в частности, остаточная степень поляризации p и механизм ее возникновения, пока еще мало изучены. В принципе, излучение СВИ должно быть неполяризованным. Однако на практике оно содержит небольшую примесь поляризованной компоненты, состояние поляризации которой может быть, вообще говоря, произвольным эллиптическим. В настоящей работе впервые выполнены прямые измерения величин p , θ и ε (θ — азимут, ε — угол эллиптичности поляризационного эллипса) для СВИ на волокне, легированном ионами эрбия (Er-СВИ), а также зависимости p от тока инжекции источника накачки и внешних воздействий на активированное волокно.

Исследуемый Er-СВИ был разработан в НТО "ИРЭ-ПОЛЮС" и использовался ранее в работе [5]. Он был изготовлен из нескольких метров активированного волокна (АВ), уложенного в цилиндрическую бухточку с радиусом $r = 15$ мм. Одномодовая сердцевина АВ легировалась ионами Er^{3+} и имела величину $\Delta n = 15 \cdot 10^{-3}$ и длину волны отсечки 1.3 мкм. На одном из концов отрезка АВ был изготовлен направленный ответвитель-мультиплексор (НОМ), с помощью которого в АВ вводится более 90% излучения накачки от многомодового лазерного диода с длиной волны $\lambda_p \approx 980$ мкм (рис. 1, а). В сердцевине АВ возникает усиленное спонтанное излучение в диапазоне 1.54 мкм, которое

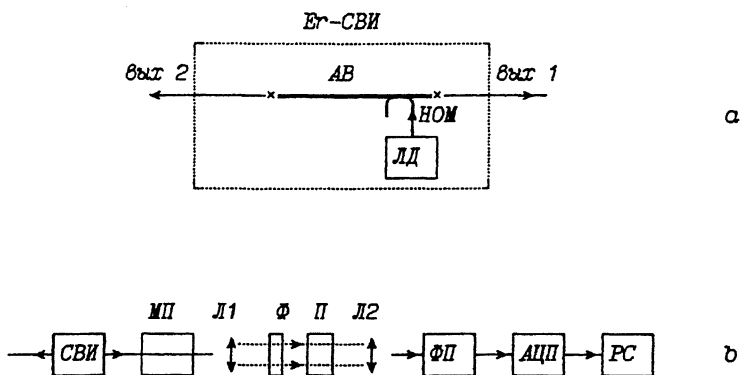


Рис. 1. Схемы эрбиевого суперфлуоресцентного волоконного излучателя (а) и установки для измерения поляризационных характеристик (б). Крестиками для измерения места сварок волокон.

через трезки пассивного одномодового волокна, приваренные к АВ, поступает на выходы 1 и 2 ER-SВИ.

Схема установки для измерения поляризационных характеристик ER-SВИ (рис. 1, б) включает в себя вращаемые поляризатор (П) и четвертьволновую фазовую пластинку (Ф), установленные в коллимированном световом пучке. Пучок с радиусом перетяжки $\omega \approx 0.3$ мм формируется линзой Л1, а сбор излучения на фотоприемник ФП — линзой Л2. Волоконный выход ER-SВИ юстируется микропозиционером МП. Напряжение с выхода ФП поступает на персональный компьютер РС через аналогово-цифровой преобразователь АЦП.

Вследствие ожидаемого малого значения p ($< 1\%$) измерительная установка должна иметь погрешность измерений не хуже 0.1% . Поэтому при ее проектировании предпринимались меры по снижению искажений светового пучка при вращении оптических элементов:

а) апертуры всех элементов выбраны много большими размеров светового пучка;

б) ось пучка тщательно выставлена по оптической оси линзы Л1 и оси вращения поляризатора;

в) расстояние между П и Л2 выбрано минимальным для уменьшения влияния смещений пучка при вращении П;

г) выходные торцы волокна изготавливались в максимальной степени перпендикулярными его оси. Кроме того, для снижения требований к механическим узлам установки определение p , θ и ε осуществлялось не в реальном масштабе времени при непрерывном вращении поляризатора, а посредством поворотов поляризатора равными дискрет-

ными шагами $\delta\theta \ll 360^\circ$ в пределах одного оборота с последующим (апостериорным) Фурье-анализом зависимости тока фотоприемника $i(\theta_p)$ от угла поворота поляризатора θ_p при различных значениях угла ориентации быстрой оси фазовой пластинки θ_f . Вычисления показывают, что в идеальном случае

$$i = \frac{I}{2} \left\{ 1 + p \left[1 - \cos^2 2\varepsilon \sin^2(2\theta - 2\theta_f) \right]^{1/2} \cos(2\theta_p - \alpha) \right\}, \quad (1)$$

где I — полная интенсивность излучения. Таким образом, в идеальном случае i содержит только постоянную составляющую I_0 и вторую гармонику угла поворота поляризатора θ_p , амплитуда которой I_2 пропорциональна p . Начальная фаза α не зависит от p , однако зависит от θ , θ_f и ε . Явное выражение для α нам в дальнейшем не понадобится.

Из (1) следует, что

а) остаточная степень поляризации p при любом ее типе определяется как максимальное значение $I_{2\max}/I_0$ относительной амплитуды второй гармоники на множестве $\{\theta_f\}$ возможных значений угла θ_f ;

б) азимут поляризационного эллипса совпадает с углом θ_f , соответствующим максимуму I_2 ;

в) угол эллиптичности ε определяется отношением минимального и максимального значений I_2 на множестве $\{\theta_f\}$

$$\varepsilon = (1/2) \arcsin(I_{2\min}/I_{2\max}). \quad (2)$$

При Фурье-анализе экспериментальной зависимости тока фотоприемника определялись относительные амплитуды первых четырех гармоник угла θ_p . Вторая гармоника содержит информацию о степени поляризации излучения и ее типе, а другие характеризуют погрешность измерений.

На рис. 2 приведена зависимость I_2/I_0 от θ_f . Сплошная кривая соответствует теоретической зависимости с параметрами $p = 0.24\%$, $\theta = 45^\circ$ и $\varepsilon = 19^\circ$.

На рис. 3, а показана зависимость остаточной степени поляризации p Ег-СВИ от тока инъекции лазера накачки i_p при изменении последнего в широком диапазоне значений (выходная мощность источника изменялась при этом от 20 до 120 мкВт). С точностью до погрешностей измерений величину p можно считать не зависящей от i_p (от величины оптического усиления). Усредненное по данным рис. 3, а значение p равно $(0.35 \pm 0.06)\%$, что примерно в 2 раза выше, чем это следует из оценки, сделанной в [5] по измерениям сдвигов нуля волоконного гироскопа с таким же источником.

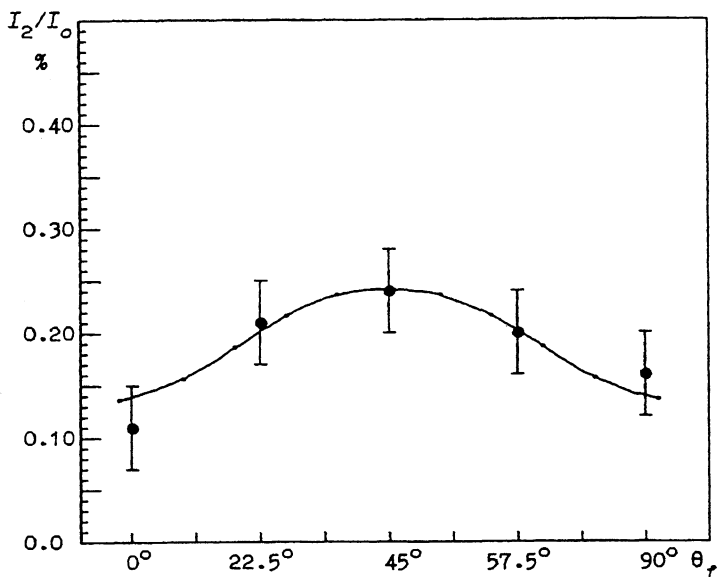


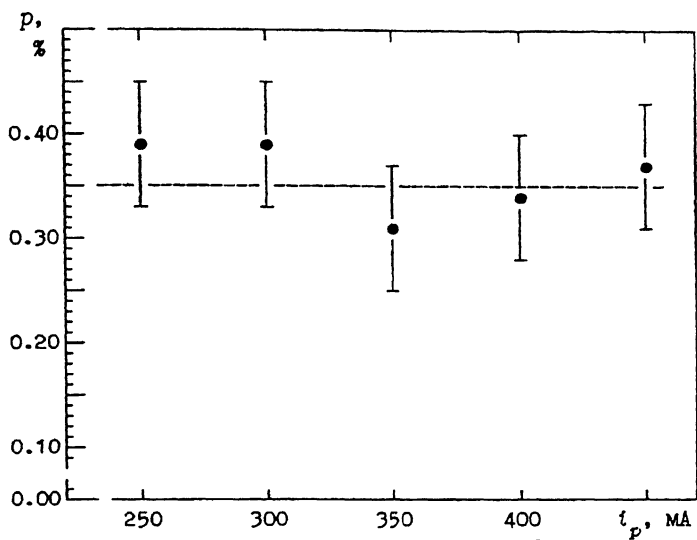
Рис. 2. Зависимость относительной амплитуды второй гармоники от ориентации четвертьволновой пластинки.

Рис. 3, б иллюстрирует изменение величины p при механических (изгибных) воздействиях на активированное волокно при токе инжекции $i_p = 350$ мА. Кольцевая бухточка АВ сжималась в овал, причем в качестве параметра, характеризующего степень деформации, использовалось значение минимального радиуса кривизны овала. Увеличение остаточной степени поляризации может быть связано с ростом наведенного деформацией дихроизма оптического тракта Ег-СВИ.

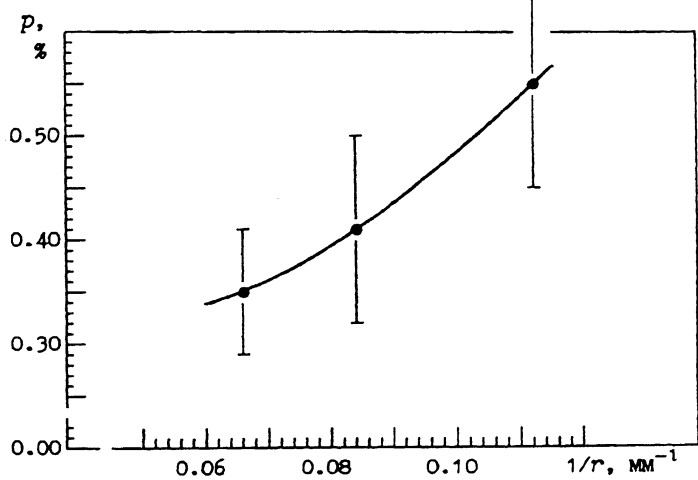
Таким образом, в настоящей работе измерена остаточная степень поляризации p у перспективного суперфлуоресцентного источника излучения, изготовленного из кварцевого волокна, легированного эрбием. Полученные результаты показывают, что величина p у таких источников мала и слабо зависит от внешних воздействий на волокно.

Авторы благодарны В.П. Гапонцеву за интерес к работе, а также В.В. Фомину и В.А. Карпенко за помощь и полезные дискуссии.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.



a



b

Рис. 3. Зависимость поляризации излучения Ег-СВИ от тока лазера накачки (а) и от радиуса изгиба активированного волокна (б).

Список литературы

- [1] *Kim B.J.* // Proc. OFS'90. Sydney. 1990. P. 129-133.
- [2] *Wysocki P.F., Digonnet M.J.F., Kim B.J., Shaw H.J.* // J. Lightwave Technol. 1994. V. 12. P. 550-567.
- [3] *Burns W.K., Moeller R.P., Villarruel C.A.* // Proc. SPIE. 1991. V. 1585. P. 324-330.
- [4] *Iwatsuki K., Suzuki K., Nishi S.* // Proc. OFS'90. Sydney 1991. P. 139-142.
- [5] *Алексеев Э.И., Базаров Е.Н., Гапонцев В.П. и др.* // Письма ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 2. С. 62-67.

Институт радиотехники
и электроники
Фрязинская часть

Поступило в Редакцию
4 ноября 1994 г.