

07;12
©1995

ДЕПОЛЯРИЗАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ СУПЕРФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ВОЛОКОННОГО ИСТОЧНИКА В ВОЛОКНЕ С ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ЖИЛОЙ

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

Широкополосные суперфлуоресцентные волоконные источники излучения (СВИ) на основе кварцевых волокон, легированных ионами редкоземельных элементов, представляют большой интерес для низкокогерентной интерферометрии, волоконно-оптической гироскопии и некоторых других применений [1]. Характеристики низкокогерентных интерферометрических устройств в существенной мере определяются временем когерентности излучения, которое зависит от типа уширения спектральной линии источника. Последнее может быть близким к неоднородному, как в СВИ на неодиме, или к однородному, что имеет место в СВИ на эрбиевом волокне [2]. Одним из методов исследования временной когерентности может служить измерение деполяризации широкополосного излучения в волокне с известными поляризационной модовой дисперсией (ПМД) и двулучепреломлением (ДЛП) (см., например, [3]). С другой стороны, деполяризация излучения СВИ в волокне представляет интерес сама по себе, поскольку благодаря ей снижается погрешность некоторых типов интерферометрических датчиков, в частности волоконно-оптических гироскопов (ВОГ) [4]. Наконец, интересна и обратная задача — определение ПМД и ДЛП волокна из измерений деполяризации в нем излучения источника с известной временной когерентностью (измерение длины поляризационных биений L_p [3]).

Целью настоящей работы является исследование деполяризации излучения СВИ на волокне, легированном эрбием (ЭСВИ), при распространении по анизотропному волокну с эллиптической световедущей жилой. Волокна указанного типа технологичны и имеют низкую стоимость в сравнении с другими типами волокон, сохраняющих поляризацию излучения, и в настоящее время, благодаря улучшению параметров [5], они вновь привлекают внимание разработчиков ВОГ и других датчиков.

Измерялась длина деполаризации L_d излучения при распространении его по волокну при различных спектральных параметрах ЭСВИ — средней длине волны спектра излучения λ_0 и средней ширине спектра $\Delta\lambda$. По определению, L_d — это длина отрезка волокна, на выходе которого степень поляризации p излучения, линейно поляризованного на входе под углом 45° к осям ДЛП волокна, уменьшается в e раз. Деполаризация происходит вследствие различия Δt временных задержек поляризационных мод из-за большой ПМД, и она становится эффективной, когда Δt превышает время когерентности излучения τ_c .

Измерение степени поляризации p излучения на выходе волокна осуществлялось на установке, которая состояла из последовательно расположенных источника ЭСВИ, дискретного поляризатора, отрезка анизотропного волокна длиной L , вращаемого анализатора поляризации с четвертьволновой фазовой пластинкой перед ним и фотоприемника. Методика измерения p описана в [6] и обеспечивает погрешность на уровне 0.1%.

В качестве исследуемого применялось анизотропное волокно с рабочей длиной волны 1.55 мкм, разработанное в ИРЭ РАН. Это волокно имеет кварцевую сердцевину (жилу) с эллиптическим сечением, легированную германием, и световедущую оболочку из чистого кварца. Диаметр волокна без защитной оболочки составлял 100 мкм, отношение длин большой оси к малой эллиптической жилы было равно $20.4/4.2 \approx 4.9$ мкм. Разность показателей преломления жилы и оболочки составляла $\Delta n \approx 15 \cdot 10^{-3}$, а длина волны отсечки равна $\lambda_c \approx 1.37$ мкм. Параметр сохранения поляризации для исследуемого волокна был равен $h = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-1}$.

В качестве источников излучения использовались два типа ЭСВИ, имеющих существенно разную форму спектра, которые были разработаны в НТО “ИРЭ-Полус” (один из них использовался в работах [6,7]). Источник ЭСВИ-1 имел обратную накачку от лазерного диода, излучение которой вводилось в активное волокно (АВ) через направленный ответвитель-мультиплексор, изготовленный на одном из концов АВ. Рабочее излучение поступает на выход со стороны мультиплексора. Другой тип источника — ЭСВИ-2 выполнен по схеме с торцевой накачкой, излучение которой вводится в АВ через отрезок многомодового волокна. В обоих типах источников применены лазеры накачки с волоконным выходом, работающие в многомодовом режиме генерации с длиной волны 980 нм.

Спектральные и мощностные параметры источников приведены в таблице (i_p — ток лазера накачки, P — средняя выходная мощность ЭСВИ), а их спектры излучения $P(\lambda)/P_{\max}$ показаны на рис. 1.

$P(\lambda)/P_{max}$, отн. ед.

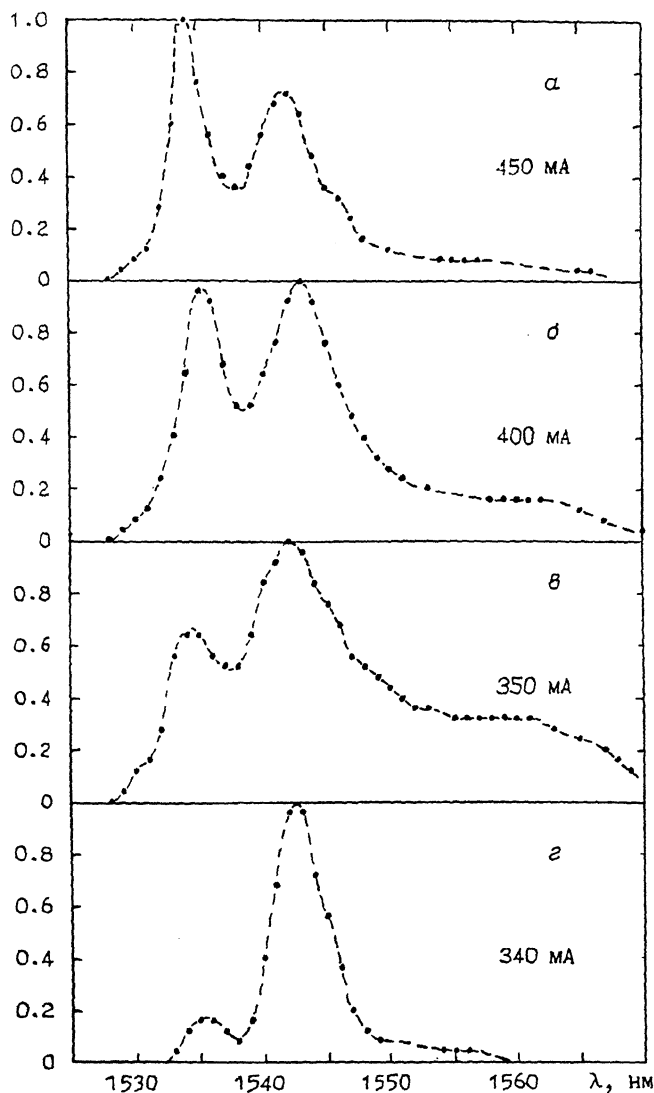


Рис. 1. Спектры излучения ЭСВИ-1 (а-в) и ЭСВИ-2 (г) при различных токах лазера накачки (разрешение анализатора 1 нм).

Тип	ЭСВИ-1			ЭСВИ-2		
i_p , мА	350	400	450	280	340	470
λ_0 , нм	1545.5	1543.2	1541.6	1545.7	1543.1	1542.2
$\Delta\lambda$, нм	17.65	14.6	9.5	6.5	5.3	4.6
P , мкВт	44	130	344	119	514	1958
P_{\max} , мкВт	2.3	8.3	33	16	81	348

Средневзвешенные величины λ_0 и $\Delta\lambda$ рассчитывались по формулам [2]

$$\lambda_0 \simeq \left[\sum_{i=1}^n \lambda_i P(\lambda_i) \right] / \left[\sum_{i=1}^n P(\lambda_i) \right], \quad (1)$$

$$\Delta\lambda \simeq \left[\sum_{i=1}^n \Delta\lambda(\lambda_i) P(\lambda_i) \right] / P_{\max}, \quad (2)$$

где $n = 50$ — число интервалов разбиения анализируемого спектра $P(\lambda)$, $\Delta\lambda(\lambda_i) = 1$ (нм) — ширина интервала разбиения с центром λ_i , а P_{\max} — максимальное значение спектральной плотности мощности.

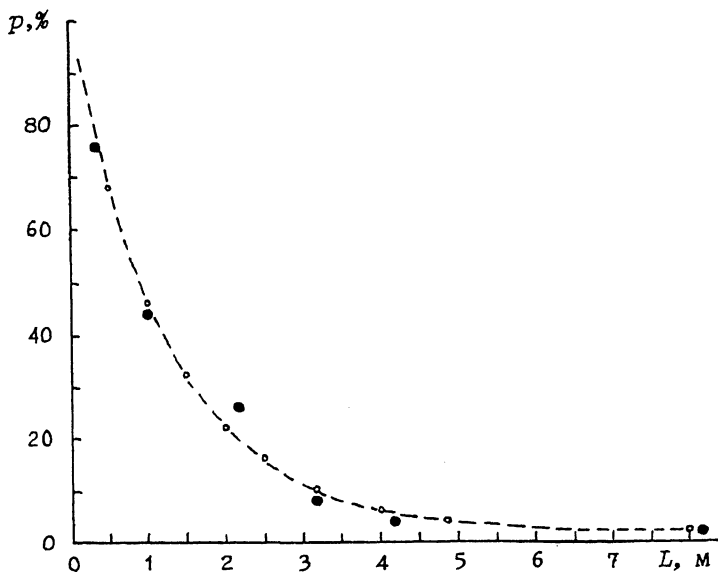


Рис. 2. Зависимость $p(L)$ для ЭСВИ-2 при $i_p \simeq 300$ мА (точки — эксперимент, пунктир — расчет).

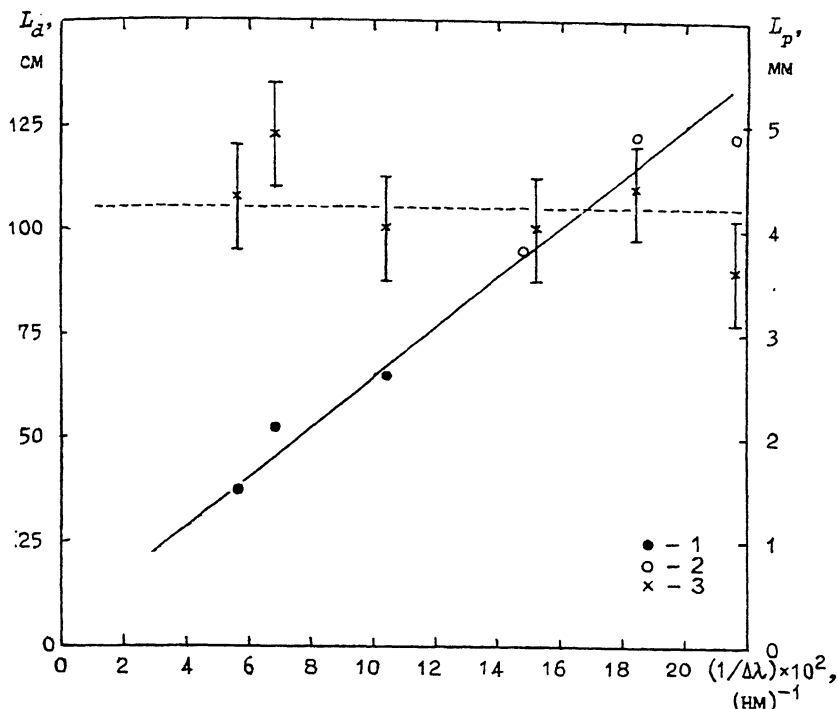


Рис. 3. Зависимости длины деполаризации (1, 2, сплошная линия) и длины поляризационных биений (3, пунктир) от обратной ширины спектра излучения ЭСВИ.

Типичная зависимость $p(L)$ представлена на рис. 2. Она хорошо аппроксимируется соотношением

$$p(L) \simeq A + (1 - A) \exp(-L/L_d). \quad (3)$$

Здесь $L_d \simeq 1.09 \text{ м}$, а величина $A \simeq (2hL_d/\pi)^{1/2} \simeq 2\%$ — остаточная поляризация при $L \gg L_d$, которая обусловлена связью поляризационных мод в волокне и определяет для него предел деполаризации излучения [8].

Аналогичные зависимости были получены при изменениях спектра источников в широких пределах путем изменения i_p (см. таблицу). Анализ экспериментальных данных показывает, что величина L_d коррелирована с обратной шириной спектра излучения, вычисленной согласно (2). Рис. 3 иллюстрирует это утверждение (сплошная линия). Этот результат свидетельствует о том, что уширение линии излучения ЭСВИ является близким к однородному и, следовательно, временная когерентность излучения определяется соотношением $\tau_c \simeq 1/\Delta\nu$, где $\Delta\nu$ — однородная ширина спектра. Хорошей оценкой последней, как это следует

из приведенных данных, может служить средневзвешенная по мощности ширина спектра $\Delta\lambda$, а конкретный вид спектра $P(\lambda)$ при этом не играет существенной роли.

На основе этого свойства ЭСВИ может быть дана оценка средней длины поляризационных биений L_p рассматриваемого волокна. Пренебрегая геометрическим фактором (в принципе, влияющим на ПМД таких волокон), можно считать, что относительная временная задержка x и y мод волокна на длине L_d равна $\Delta t \simeq (L_d/c)B$, где B — модовое ДЛП. Учитывая, что $L_p = \lambda_0/B$, из соотношения $\tau_c \simeq \Delta t$ следует:

$$L_d \simeq \lambda_0^2 / \Delta\lambda B = L_p \lambda_0 / \Delta\lambda. \quad (4)$$

Зависимость $L_p(1/\Delta\lambda)$, построенная на основании (4) для измеренных значений L_d , представлена на рис. 3 (пунктир). Из нее следует, что для данного волокна $L_p = 4.2 \pm 0.4$ мм. Эта величина согласуется с известными значениями для волокон аналогичного типа [5].

Таким образом, в настоящей работе экспериментально показано, что деполаризация излучения ЭСВИ в анизотропном волокне определяется средневзвешенной по мощности шириной спектра источника. Предложен простой метод оценки длины поляризационных биений в волокне.

Авторы признательны В.П. Гапонцеву за интерес к работе, а также И.Э. Самарцеву и В.В. Фомину за помощь и полезные дискуссии.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 94-02-04930.

Список литературы

- [1] *Kim B.J.* // Proc. OFS'90. Australia, Sidney, 1991. 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] *Shute M.W., Brown C.S.* // J. Lightwave Technol. 1989. V. 7. N 12. P. 2013–2017.
- [4] *Fredricks R.F., Ulrich R.* // Electr. Letts. 1984. V. 20. P. 330–332.
- [5] *Berkey G.E.* // Proc. OFS'92. Monterey, CA. 1992. P. 121–124.
- [6] *Алексеев Э.И., Базаров Е.Н., Герасимов Г.А. и др.* / Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 5. С. 25–30.
- [7] *Алексеев Э.И., Базаров Е.Н., Гапонцев В.П. и др.* / Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 2. С. 62–67.
- [8] *Залогин А.Н., Козел С.М., Листвин В.Н.* / Изв. высш. учебн. заведений. Радиофизика. 1986. Т. 29. С. 243–245.

Институт радиотехники
и электроники
Фрязинская часть

Поступило в Редакцию
5 сентября 1995 г.