

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 621.373.535.8

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СЛУЧАЙНОЙ СВЯЗИ
ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ МОД В
СЛАБОУНИЗОТРОПНЫХ ОДНОМОДОВЫХ
ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДАХ

Г.Б.Малькин

Проведено экспериментальное сравнение трех методов измерения h -параметра в одномодовых волоконных световодах (ОВС) с различной анизотропией. Показано, что для ОВС с сильной анизотропией все три метода дают практически одинаковый результат, для слабоанизотропных ОВС адекватный результат дает только метод, основанный на возбуждении на входе ОВС немонахроматическим излучением одной поляризационной моды, при условии, что спектральная ширина источника излучения сравнима с длиной его волны.

Существует ряд методов измерения h -параметра, характеризующего связь взаимно ортогональных мод в одномодовых волоконных световодах (ОВС) [1-3]. Однако, все эти методы обладают высокой точностью для ОВС с сильной анизотропией и малым h -параметром. Слабоанизотропные ОВС характеризуются большой величиной $h \sim 10^{-1} \div 10^{-2}$ [4, 5] и, вследствие этого, измерение h вызывает определенные трудности.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование точности различных методов измерения h -параметра в слабоанизотропных ОВС.

Традиционный метод измерения h -параметра [1] заключается в возбуждении немонахроматическим излучением на входе ОВС одной поляризационной моды и измерении на выходе ОВС интенсивностей обеих ортогонально поляризованных мод — основной I_1 и возбужденной в результате связи мод I_2 . По соотношению этих интенсивностей, при известной длине ОВС, и определяется параметр h :

$$h = -(1/2L) \ln[(I_1 - I_2)/(I_1 + I_2)]. \quad (1)$$

Эта формула справедлива в случае, если излучение на выходе ОВС во взаимноортогональных модах взаимнонекогерентно, чему соответствует условие $L \gg l_{\text{деп}}$, где $l_{\text{деп}} = \lambda^2 / \Delta\lambda \Delta n$ — длина деполаризации излучения в ОВС, λ — длина волны источника излучения, $\Delta\lambda$ — его спектральная ширина, Δn — разность показателей преломления для медленной и быстрой

осей ОВС. В слабоанизотропных СВС $\Delta n = 10^{-6} \div 10^{-7}$ и при использовании в качестве источника излучения суперлюминисцентного диода с $\lambda = 0,8$ мкм и $\Delta\lambda = 10$ нм, $l_{\text{деп}} = 64 \div 640$ м. Следует отметить, что приемлемая точность измерения величины h имеет место при $hL < 1 \div 1,5$, в противном случае $I_1 \approx I_2$ и определить h по формуле (1) затруднительно. При $h = 10^{-1} \div 10^{-2}$, $L < 15 \div 150$ м и требования к длине волокна L оказываются противоречивыми. Для уменьшения длины деполаризации в исследуемых ОВС нами был использован широкополосный источник излучения с $\Delta\lambda = 200$ нм [5, 6]. При этом длина деполаризации в ОВС со слабым двулучепреломлением составляет несколько метров и противоречия в выборе длины исследуемого отрезка волокна устраняются. Отметим, что, как показало в [5], в слабоанизотропных ОВС излучение в ортогонально поляризованных модах не является полностью некогерентным даже при $L \gg l_{\text{деп}}$, поскольку величина $hl_{\text{деп}}$ у этих волокон довольно значительна и процесс деполаризации излучения по мере распространения вдоль волокна сопровождается "реполяризацией" — восстановлением поляризации излучения из-за значительной связи поляризационных мод. Вследствие этого формула (1) для слабоанизотропных ОВС не вполне справедлива и измерение h -параметра методом [1] приводит к некоторой неточности.

Метод, предложенный в [2], предполагает возбуждение на входе ОВС обеих поляризационных мод с равным весом и использование монохроматического источника излучения. Измерение h -параметра в этом случае сводится к измерению дисперсии интенсивности одной из поляризационных мод $\sigma_{I_{1,2}}$ при изменении температуры ОВС, поскольку, как показано в [2], эти величины пропорциональны:

$$h = \sigma_{I_{1,2}}/2L, \quad (2)$$

где L — длина той части ОВС, которая подвергается нагреву, вследствие чего этот метод позволяет определять распределение неоднородностей по длине ОВС [7]. Отметим, что поскольку результаты [2] получены методом разложения по малой величине $2hL$, то формула (2) справедлива при условии $2hL \ll 1$. Таким образом, при $h = 10^{-1} \div 10^{-2}$, $L \ll 5 \div 50$ м. С другой стороны, по определению [1], h -параметр определен при условии, что длина отрезка ОВС существенно больше длины поляризационных биений $L_0 = \lambda/\Delta n$ в ОВС: $L \gg L_0$. При $\lambda = 0,8$ мкм и $\Delta n = 10^{-6} \div 10^{-7}$, $L_0 = 0,8 \div 8$ м и для слабоанизотропных волокон условия $2hL \ll 1$ и $L \gg L_0$ могут оказаться противоречивыми.

Предложенный в [3] метод измерения величины h отличается от метода [2] тем, что монохроматическим линейно поляризованным излучением на входе ОВС возбуждается одна поляризационная мода. При прогреве волокна излучение на его выходе, в общем случае эллиптически поляризованное, периодически меняет свой азимут. Наибольшее отклонение

азимута θ_{\max} от его среднего значения и дает значение h :

$$h = -(1/L) \ln |\cos 2\theta_{\max}|. \quad (3)$$

Это соотношение, как и соотношение (2), справедливо при условии $2hL \ll 1$, $L \gg L_6$. В этом случае зависимость θ от температуры представляет квазисинусоиду. Для ОВС со слабым двулучепреломлением и, следовательно, большим h и большой длиной биений L_6 зависимость θ от температуры представляет либо квазисинусоиду с возрастающей от периода к периоду амплитудой, либо монотонно растет с температурой. В последнем случае измерение h методом [3] невозможно.

Сравним теперь условия, предъявляемые к длине исследуемого отрезка ОВС в методе [1] ($L < (1 \div 1,5)h^{-1}$, $L \gg l_{\text{деп}}$) и в методах [2, 3] ($L \ll 0,5h^{-1}$, $L \gg L_6$). Очевидно, что первое условие существенно легче выполнить в методе [1], в этом случае длина исследуемого отрезка может быть в 20–30 раз больше, чем в методах [2, 3] при одном и том же значении h . Второе условие, наоборот, легче выполняется в методах [2, 3], поскольку $l_{\text{деп}} = L(\Delta\lambda/\lambda) > L_6$. Однако, при использовании широкополосного источника излучения величина $\Delta\lambda/\lambda$ может составлять 0,2–0,5 (в наших экспериментах $\Delta\lambda/\lambda \approx 0,3$) и второе условие для метода [1] требует всего в 2–5 раз более длинных отрезков ОВС, чем в методах [2, 3]. Таким образом, для слабоанизотропных ОВС условия, предъявляемые к длине волокна, существенно легче выполнить для метода [1], чем для методов [2, 3].

Экспериментальная проверка методов [1, 2, 3] проводилась с четырьмя типами ОВС: 1. $\Delta n = 2,7 \cdot 10^{-4}$; 2. $\Delta n = 5 \cdot 10^{-5}$; 3. $\Delta n = 10^{-5}$; 4. $\Delta n = 4 \cdot 10^{-7}$. Результаты измерения приводятся в табл.1.

Таблица 1

Метод измерения Тип ОВС	1	2	3
1. $\Delta n = 2,7 \cdot 10^{-4}$	$(2+0,2) \cdot 10^{-5}$	$(2+0,4) \cdot 10^{-5}$	$(2,5+0,8) \cdot 10^{-5}$
2. $\Delta n = 5 \cdot 10^{-5}$	$(2,1+0,2) \cdot 10^{-3}$	$(2,2+0,4) \cdot 10^{-3}$	$(2,5+0,5) \cdot 10^{-3}$
3. $\Delta n = 10^{-5}$	$(2+0,2) \cdot 10^{-2}$	$(2+0,4) \cdot 10^{-2}$	$(2,1+0,9) \cdot 10^{-2}$
4. $\Delta n = 4 \cdot 10^{-7}$	$(6+1) \cdot 10^{-2}$	$(9+2) \cdot 10^{-3}$	—

Волокна 1 и 2 имели длину 150 м и 120 м соответственно и были намотаны на катушки диаметром 20 см. Волокна 3 и 4 имели длину 7 м и были намотаны на катушки диаметром 9 см, причем примерно половину длины составляли подводные концы, которые при измерении методами [2, 3] прогреву не подвергались. При измерении этими методами температура волокон 1 и 2 менялась на 3°, волокон 3 и 4 — на 20°. В качестве источника излучения в этом случае использовался He-Ne лазер

ОКГ-13 ($\lambda = 0,67$ мкм). Излучение предварительно проходило $\lambda/4$ фазовую пластинку, создававшую круговую поляризацию, а затем поляризационную призму в поворотном устройстве и вводилось под углом 45° к собственным осям ОВС (метод [2]) или по оси (метод [3]). При измерениях методом [1] использовался широкополосный источник излучения ($\lambda = 0,7$ мкм, $\Delta\lambda = 200$ нм), излучение вводилось по направлению собственной оси ОВС. В качестве анализатора состояния поляризации на выходе ОВС во всех методах использовался вращающийся поляризатор-обтюратор [8], причем при измерениях методом [1] для большей точности использовался также неподвижный поляризатор в поворотном устройстве и обтюратор. Отметим, что для волокна 4 в методах [2, 3] требования к длине ОВС оказываются противоречивыми и измерения этими методами являются некорректными. Тем не менее, эти измерения были проведены для экспериментальной проверки границ применимости формул (2), (3). Из табл.1 видно, что для волокон 1, 2, 3 результаты измерения по методам [1], [2] и [3] практически совпадают, для волокна 4 (ОВС со слабым двулучепреломлением) результат измерения по методу [2] оказывается в $\delta \div 7$ раз заниженным по сравнению с методом [1], по методу же [3] измерение вообще провести не удалось, поскольку изменение θ с ростом температуры ОВС носило не квазипериодический, а монотонный характер.

Таким образом, для ОВС с сильной анизотропией ($\Delta n = 3 \cdot 10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-5}$) для измерения h -параметра пригодны все три метода, для промежуточного случая ($\Delta n = 10^{-5}$) метод [3] дает несколько худшую точность, чем методы [1] и [2], для слабоанизотропных ОВС ($\Delta n = 4 \cdot 10^{-7}$) пригоден только метод [1].

В заключение автор выражает благодарность И.А.Андроновой и В.Н.Листвину за обсуждение результатов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rashleigh S. // J.Lightwave Techn. 1983. V.1. N 2. P.312.
2. Александров А.Ю., Залогин А.Н., Козел С.Н., Листвин В.Н., Юшкайтис Р.В. // Радиотехника и электроника. 1989. Т.34. N 7. С.1556.
3. Tselobanova N.V., Timofeeva M.M., Stefanov Y.A. // Prjcedings of first international soviet fibre optics conference. Leningrad. March 25-29. 19991. V.1. P.241.
4. Ulrich R., Rashleigh S. // IEEE J.Quantum Electr. 1982. V.QE-18. N 12. P.2032.
5. Малыкин Г.Б. // Изв.вузов. Радиофизика. 1992. Т.35. N 11-12. С.993.
6. Малыкин Г.Б. // Изв.вузов. Радиофизика. 1992. Т.35. N 1. С.98.
7. Залогин А.Н., Листвин В.Н., Юшкайтис Р.В. // Изв.вузов. Радиофизика. 1989. Т.32. N 6. С.786.

8. Малыкин Г.Б., Степанов Д.П. // Изв. вузов. Радиофизика. 1990. Т.33. N 2. С.255.

Институт прикладной физики
РАН

Поступила в редакцию
22 мая 1992 г.

**MEASURING METHODS OF RANDOM RELATIONS OF POLARIZED
MODES IN WEAKLY ANISOTROPIC ONE-MODE FIBRE LIGHTGUIDES**

G. B. Malykin