

07;12

Визуализация отклонения шага укладки оптического волокна в многожильных световодах

© А.М. Ляликов

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,
Гродно, Беларусь
E-mail: amlialikov@grsu.by

В окончательной редакции 27 июля 2009 г.

Предложен простой в реализации способ визуализации отклонения шага укладки оптического волокна в многожильных световодах. Способ основан на пространственной фильтрации спектра пространственных частот, сформированного отраженным от торца образца когерентным светом. Описано устройство для реализации такого способа и приведены экспериментальные результаты по контролю качества волоконно-оптических пластин.

Сохранение стабильности геометрических и оптических параметров оптического волокна и оптико-волоконных элементов является актуальной задачей в процессе автоматизированного производства. Поддержание при изготовлении размеров оптического волокна, а также шага укладки волокон в многожильных световодах в заданных пределах необходимо для обеспечения состыковки и взаимозаменяемости отдельных элементов волоконной оптики [1–3]. Дефекты структуры укладки оптических волокон оказывают значительное влияние на световодные свойства волоконной оптики [4,5]. Особенно актуальна проблема контроля качества волоконно-оптических пластин, широко используемых в оптико-электронных преобразователях, в усилителях яркости и т. п. Для таких микроканальных волоконных элементов важно не только качество рабочей поверхности пластины [6], но и постоянство диаметра, а также шага укладки оптического волокна [1,7].

Вследствие наличия более 10 мл. каналов диаметром в несколько микрометров наиболее оптимальным методом контроля отклонения шага укладки оптического волокна в таких волоконных элементах является бесконтактный оптический метод контроля.

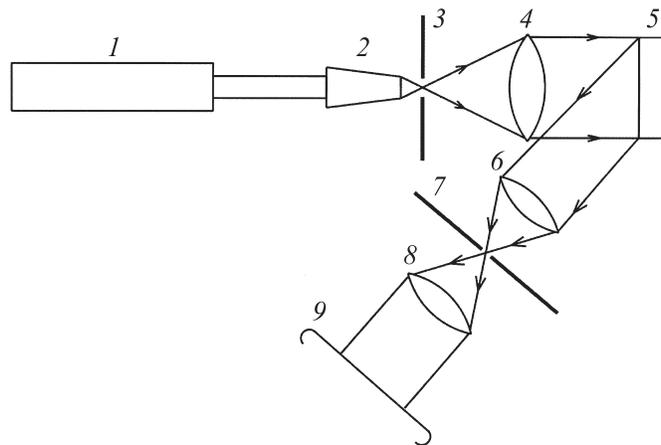


Рис. 1. Оптическая схема устройства для реализации контроля.

В данной работе рассмотрен простой в реализации способ визуализации отклонения шага укладки оптического волокна в многожильных световодах, основанный на пространственной фильтрации спектра пространственных частот, сформированного отраженным от торца исследуемого образца когерентным светом. Ранее методы пространственной фильтрации спектра пространственных частот, сформированного когерентным или частично когерентным светом, прошедшим исследуемую периодическую структуру, были использованы для визуализации макродефектов такой структуры [8,9]. Для визуализации макродефектов периодических структур объектов отражательного типа использовалась пространственная фильтрация спектра пространственных частот, сформированного когерентным светом при прохождении снимка исследуемого объекта [10,11].

На рис. 1 представлена оптическая схема устройства для реализации способа визуализации отклонения шага укладки оптического волокна в многожильных световодах, в конкретном случае в волоконно-оптических пластинах. Излучением гелий-неонового лазера 1 с помощью микрообъектива 2 и точечной диафрагмы 3 диаметром $15\ \mu\text{m}$, установленной строго в задней фокальной плоскости микрообъектива, формируется точечный источник света. Объективом 4 световой пучок

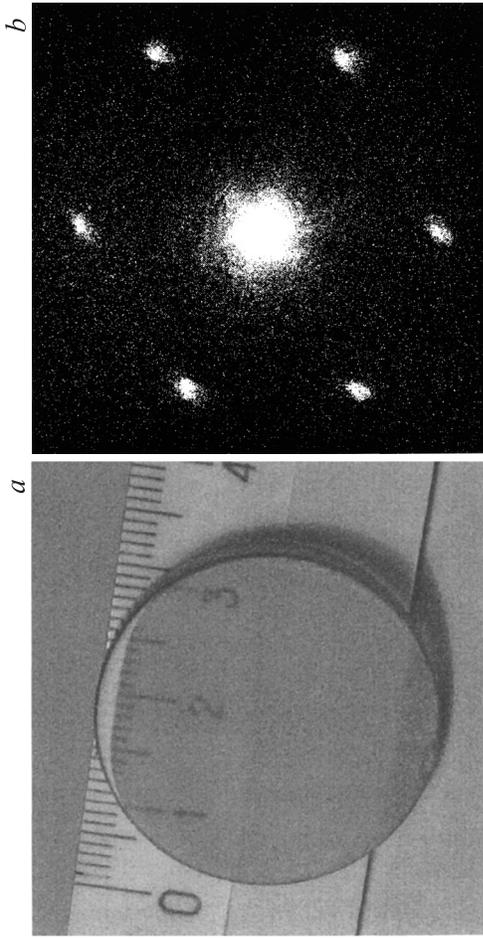


Рис. 2. Фотографии исследуемой волоконно-оптической пластины (а) и дифракционного спектра, сформированного отраженным и дифрагированными световыми пучками от торца пластины в задней фокальной плоскости объектива (b).

коллимируется и освещает торец волоконно-оптической пластины 5. В качестве объекта исследования использовалась волоконно-оптическая пластина (рис. 2, *a*) диаметром 30 mm и толщиной 5 mm, применяемая в оптико-электронных преобразователях излучения. Данная пластина представляла собой регулярную гексагональную укладку спеченных многожильных оптических жгутов (длина стороны правильного шестиугольника 500 μm), а каждый жгут — регулярную гексагональную укладку оптических волокон средним диаметром 6.7 μm .

Отраженный световой пучок от исследуемой волоконно-оптической пластины 5 испытывал дифракцию на гексагональной периодической структуре оптических волокон. На фотографии (рис. 2, *b*) представлен дифракционный спектр, сформированный в задней фокальной плоскости объектива отраженным и дифрагированными световыми пучками от торца волоконно-оптической пластины 5. Центральный максимум сформирован отраженным световым пучком, а боковые максимумы — дифрагированными световыми пучками на гексагональной структуре укладки оптического волокна. Боковые максимумы дифракционного спектра могут быть использованы для визуализации отклонения шага укладки оптического волокна, так как уширение бокового дифракционного максимума в основном связано с отклонением шага от некоего среднего значения T_0 укладки оптического волокна по образцу вдоль направления прямой, соединяющей данный дифракционный максимум и центральный. Понятие среднего периода периодической структуры при дифрактометрической аттестации периодических мер анализируется в работе [12]. В нашем случае за величину T_0 может быть выбрано некое значение периода, например, которое преобладает для исследуемого образца.

Анализ распределения пространственных частот уширенного дифракционного максимума реализуется в когерентной оптической системе последовательного двойного преобразования Фурье [13]. В нашем случае такая оптическая система представляет собой пару объективов 6, 8 (рис. 1). Передняя фокальная плоскость объектива 6 совмещена с задней фокальной плоскостью объектива 8. В совмещенных фокальных плоскостях установлена щелевая диафрагма, выполняющая функцию полосового пространственного фильтра, пропускающего световые волны с определенной пространственной частотой. При перекрывании полосовым фильтром 7 дифракционного максимума в плоскости 9, оптически сопряженной с торцом контролируемой пластины 5, в

изображении торца пластины будут освещены зоны, соответствующие областям торца пластины, на которых дифрагированные световые волны имеют соответствующие пропусканию полосового фильтра пространственные частоты. Сканируя дифракционный максимум полосовым фильтром, можно отображать зоны торца пластины, для которых величина отклонения шага укладки оптического волокна от некоего среднего T_0 имеет определенную величину ΔT_l , зависящую от величины смещения l щели полосового фильтра. Наиболее оптимальным параметром отклонения шага укладки оптического волокна является относительное отклонение шага $\Delta T_l/T_0$, которое можно выразить в процентах [1].

Перед началом контроля устройство настраивается. Ширина щели полосового пространственного фильтра выбирается с учетом шага сканирования дифракционного максимума, т. е. ширину выбирают меньшей, чем шаг сканирования. После установки ширины щели полосовой пространственный фильтр размещают таким образом, чтобы в плоскости 9 визуализировалась максимальная площадь изображения торца пластины 5. В этом случае в положении настройки в плоскости 9 визуализируются зоны торца контролируемой пластины 5, период шага укладки для которых соответствует T_0 .

Для получения рабочей формулы определения величины $\Delta T_l/T_0$ при визуализации в плоскости 9 зон торца пластины 5 можно взять уравнение дифракционной решетки [14]

$$T \sin \alpha = \lambda m, \quad (1)$$

где T — постоянная решетки, α — угол дифракции, λ — длина волны, m — порядок дифракции, и продифференцировать его по T . Так как для нашего случая выполняется условие $\lambda/T_0 \ll 1$, то для первого порядка дифракции ($m = 1$) получим рабочую формулу, связывающую величину $\Delta T_l/T_0$ со смещением l щели диафрагмы 7 относительно положения настройки

$$\frac{\Delta T_l}{T_0} = \frac{T_0 l}{\lambda f}, \quad (2)$$

где f — фокусное расстояние объектива 6.

Погрешность численной оценки величины $\Delta T_l/T_0$ определяется погрешностью измерения смещения l щели диафрагмы, которая определяется шириной щели. При применении в качестве полосового фильтра 7

унифицированной щели от спектральных приборов ее ширина по техническим причинам уже $10\ \mu\text{m}$ не используется [15].

При контроле отклонения шага укладки оптического волокна $\Delta T_l/T_0$ в исследуемой волоконно-оптической пластине ширина щели полосового фильтра устанавливалась равной $100\ \mu\text{m}$, а шаг сканирования выбранного дифракционного максимума задавался микрометрическим винтом смещения щели и составил $150\ \mu\text{m}$. Фокусное расстояние объектива b (рис. 1) $400\ \text{mm}$. В качестве источника света использовался гелий-неоновый лазер ЛГН 215, излучающий на длине волны $633\ \text{nm}$.

На рис. 3 приведены фотографии изображения торца исследуемой волоконно-оптической пластины, наблюдаемые в плоскости 9 (рис. 1) при смещениях щели диафрагмы относительно положения настройки на величины $150\ \mu\text{m}$ (рис. 3, *a*) и $-1200\ \mu\text{m}$ (рис. 3, *b*). На приведенных фотографиях освещены зоны изображения исследуемой волоконно-оптической пластины, для которых относительное отклонение шага $\Delta T_l/T_0$, выраженное в процентах, составляет 0.4% (рис. 3, *a*) и 3.2% (рис. 3, *b*).

Отметим еще одну возможность данного метода: определение величины визуализируемой площади S_l торца волоконно-оптической пластины. Данный параметр может быть выражен в процентах от всей площади S торца пластины, т.е. как S_l/S . Для определения данной величины можно воспользоваться выражением

$$\frac{S_l}{S} \approx \frac{\Phi_l}{\Phi_0} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где Φ_l — величина светового потока, проходящего через щель 7 (рис. 1); Φ_0 — величина светового потока, ограниченная выбранным дифракционным максимумом, падающего на диафрагму. Для измерения величин Φ_l и Φ_0 фотоприемник устанавливается за щелью, но при измерении величины светового потока Φ_0 ширину щели 7 делают такой, чтобы весь дифракционный максимум излучения проходил через щель диафрагмы.

Таким образом, предложенный способ визуализации отклонения шага укладки оптического волокна в многожильных световодах позволяет отображать зоны торца, в которых величина относительного отклонения шага $\Delta T_l/T_0$, определяемого формулой (2), имеет определенное значение, при этом величина визуализируемой площади может быть определена по формуле [3].

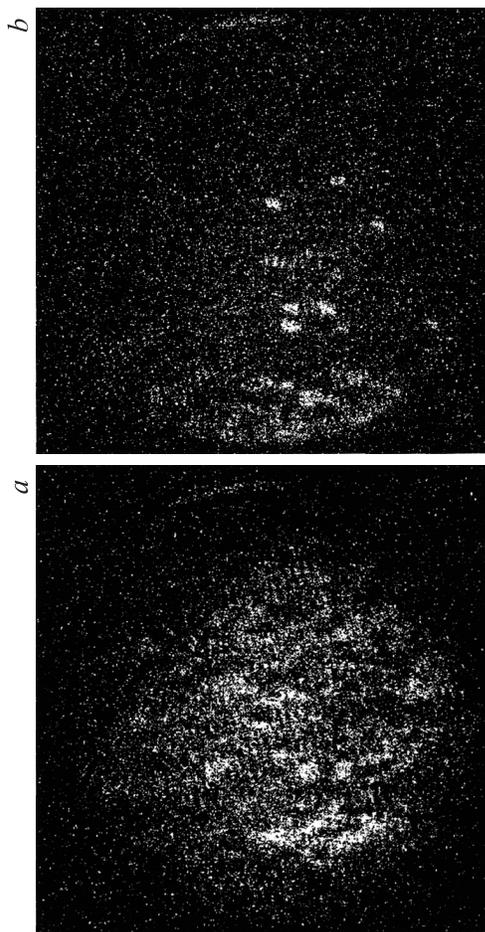


Рис. 3. Фотографии изображения торца исследуемой волоконно-оптической пластины, полученные при смещениях щели диафрагмы относительно положения настройки на величины $150\ \mu\text{m}$ (*a*) и $1200\ \mu\text{m}$ (*b*).

Список литературы

- [1] Лазарев Л.П., Мировицкая С.Д. Контроль геометрических и оптических параметров волокон. М.: Радио и связь, 1988. 280 с.
- [2] Кутасов В.А., Бессонова Э.Ю. // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 8. С. 107–111.
- [3] Кутасов В.А., Бессонова Э.Ю. // Оптический журнал. 2005. Т. 72. С. 64–70.
- [4] Kim Soan, Jung Y., Oh K., Kobelke J. // Opt. Lett. 2006. V. 31. N 164–166.
- [5] Дукельский К.В., Кондратьев Ю.Н., Комаров А.В. и др. // Оптический журнал. 2006. Т. 73. № 11. С. 80–85.
- [6] Кулов С.К., Кесаев С.А., Бузулова И.Р. и др. // Прикладная физика. 2006. № 5. С. 72–74.
- [7] Вейнберг В.Б., Сатаров Д.К. Оптика световодов. М.: Машиностроение, 1977. 319 с.
- [8] Ляликов А.М., Серенко М.Ю. // Оптический журнал. 2000. Т. 67. № 6. С. 111–114.
- [9] Ляликов А.М. // Оптический журнал. Т. 68. № 5. С. 57–62.
- [10] Ляликов А.М. // Оптика и спектроскопия. 1997. Т. 83. № 6. С. 1036–1041.
- [11] Ляликов А.М. // Оптика и спектроскопия. 1999. Т. 87. № 1. С. 170–172.
- [12] Дич Л.З. // Оптика и спектроскопия. 1997. Т. 83. № 3. С. 509–515.
- [13] Гудмен Дж. Введение в фурье-оптику. М.: Мир, 1970. 364 с.
- [14] Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1970. 855 с.
- [15] Скоков И.В. Оптические спектральные приборы. М.: Машиностроение, 1984. 239 с.