

УДК 53.082.54
PACS 42.40.Kw

Голографический метод дефектоскопии преформ оптических волокон

Е. В. Мошева, Ю. А. Конин, А. В. Перминов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
614990, Пермь, Комсомольский пр. 29

Экспериментально исследуется метод цифровой голографической интерферометрии для дефектоскопии заготовок (преформ) оптического волокна. Дефектоскопия материалов производства волоконных световодов играет важную роль. В данной статье рассматривается процесс цифровой голографической съемки и обработки изображений голограмм. На основе оптической схемы Лейта–Упатниекса разработана схема голографического интерферометра, в котором запись голограммы производится непосредственно на ПЗС матрицу. Проведена серия экспериментов по голографической интерферометрии дефектоскопии заготовок оптического волокна. Голографическая интерферометрия позволяет записывать объекты в разных состояниях. На основании экспериментальных данных изучены возможности метода и обоснована возможность его применения, описаны его преимущества перед другими анализаторами преформ оптических волокон.

Ключевые слова: цифровая голографическая интерферометрия; дефекты; оптическое волокно; заготовка

Поступила в редакцию 22.02.2019; принята к опубликованию 12.03.2019

Holographic method of flaw detection of optical fiber preforms

E. V. Moscheva, Yu. A. Konin, A. V. Perminov

Perm National Research Polytechnic University
614990, Perm, Komsomol'skiy pr. 29

The work is devoted to an experimental study of the digital holographic interferometry method for flaw detection of optical fiber preforms (preforms). Flaw detection of the production of optical fibers plays an important role. This article describes the process of digital holographic shooting and image processing of holograms. Based on the Leith–Upatnieks optical scheme, a holographic interferometer scheme has been developed, in which a hologram is recorded directly on a CCD array. A series of experiments on holographic interferometry of flaw detection of optical fiber blanks has been carried out. Holographic interferometry allows you to record objects in different states. Based on the experimental data, the possibilities of the method are studied and the possibility of its use is justified, its advantages over other analyzers of optical fiber preforms are also presented.

Keywords: digital holographic interferometry; defects; optical fiber; preform

Received 22.02.2019; accepted 12.03.2019

doi: 10.17072/1994-3598-2019-1-41-46

1. Введение

Появление лазеров, дающих световые волны с высокой степенью когерентности, способствовало развитию голографической интерферометрии. В основе разнообразных методов голографической интерферометрии лежит принцип сравнения двух волновых фронтов, причем один из них или оба записываются и восстанавливаются голографическим методом. С помощью голографической интерферометрии можно записывать объекты в разных состояниях. Применение цифровых технологий совместно с голографической интерферометрией позволяет измерять, например, перемещения нанометрового диапазона [1]. В работе [2] численная процедура восстановления комплексной амплитуды объектного поля при обработке цифровой голограммы использовалась для расчета полей микросмещений поверхности объекта.

В открытой печати описано несколько методик контроля качества. По данным сайта Photon Kinetics имеется несколько установок по анализу преформ световодов [3], например, 2600 Preform Analyzer – полностью автоматизированная установка для анализа геометрических характеристик преформ. Благодаря этой установке получают такие данные о преформе, как диаметр сердцевины, внешний диаметр, концентричность и профиль показателя преломления. Кроме того, быстрая загрузка преформы и автоматизированный процесс позволяют измерять заготовки больших размеров, выполнять полный геометрический анализ, прогноз диаметра поля моды и длины волны отсечки в течение 60 с.

2610 Preform Analyzer – это высокопроизводительный анализатор, модификация 2600, с вращением и более высокой точностью и термостабильностью. Преимущества в основном такие же, как и у установки 2600, но с дополнением: постройка трехмерной модели преформы, полный сбор данных и прогноз параметров волокна после вытяжки измеряемой преформы. Время выполнения составляет меньше 20 с.

P104 анализатор преформ – автоматический надежный анализатор, обеспечивающий быстрое и повторяемое измерение профиля показателя преломления преформы. Требует минимум навыков работы оператора. Преимущества: улучшение измеряемых характеристик тонкоструктурированных и сложных заготовок, минимизация термических эффектов, точность измерения показателя преломления, небольшой настольный размер, загрузка заготовки в автономном режиме. Время выполнения от 2 до 3 с. Недостаток: сканирует преформы относительно малых размеров – 5–80 мм.

Общими недостатками данных анализаторов являются:

- сканирование заготовки по сечениям с определенным задаваемым интервалом, что за-

трудняет обнаружить некоторые дефекты, которые не видны глазом;

- погружение преформы в эмиссионную жидкость, которую в дальнейшем приходится очищать;
- термические эффекты: установки, как и любой другой электрический прибор, нагреваются, что влияет на снимаемые характеристики заготовки;
- выходные данные представлены в формате Excel, что увеличивает время их обработки.

Голографические методы в последнее время применяются в методах неразрушающего контроля для дефектоскопии прозрачных объектов. С помощью голографической интерферометрии-дефектоскопии можно наблюдать трещины, пустоты, несовершенство сварных и клееных соединений и т.д. Преимущества голографических методов: контроль малых и больших объектов, высокая чувствительность, отсутствие необходимости предварительной подготовки поверхности объекта, возможность исследования объекта в реальном времени [4]. С помощью голографической интерферометрии можно анализировать свойства, внутреннюю структуру оптических волокон и заготовок для их производства [5], определять профиль показателя преломления оптического волокна [6].

Развитие технологии изготовления преформ для оптического волокна и повышение требований к качеству и чистоте материалов вызвало необходимость создания аппаратуры и методик для контроля качества изготавливаемого продукта. Преформы после их последней стадии изготовления подвергаются экспертизе на контроль качества. Методы цифровой голографической интерферометрии позволяют эффективно обнаруживать дефекты внутри заготовок и оптических волокон [5].

В настоящей работе предложен метод голографической интерферометрии для дефектоскопии заготовок (преформ) оптического волокна. На основе оптической схемы Лейта–Упатниекса разработана схема голографического интерферометра, в котором запись голограммы производится непосредственно на ПЗС (прибор с зарядовой записью) матрицу.

2. Голографический интерферометр

На основе обзора литературы и изучения известных голографических интерферометров разработана оригинальная оптическая схема голографического интерферометра, которая пригодна для исследования преформ оптического волокна и самих оптических волокон.

Собран опытный образец голографического интерферометра на основе внеосевой схемы Лейта–Упатниекса. Для исключения влияния механических воздействий на процесс голографирования оптическая схема размещалась на металлической

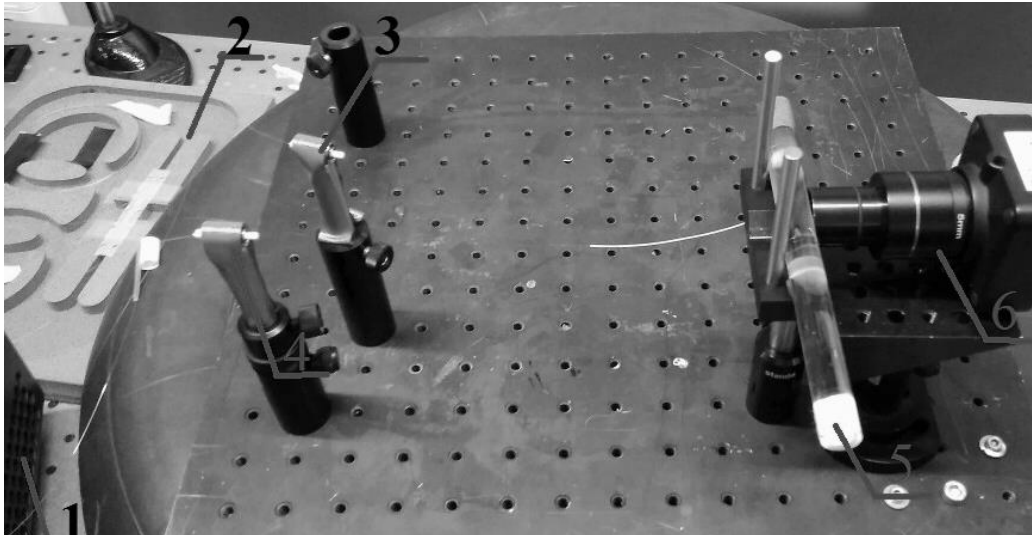


Рис. 1. Экспериментальная установка голографического интерферометра. Компоненты установки: 1 – диодный лазер; 2 – Beam Combiner; 3,4 – оптические волокна; 5 – исследуемый объект, в данном случае заготовка; 6 – ПЗС матрица

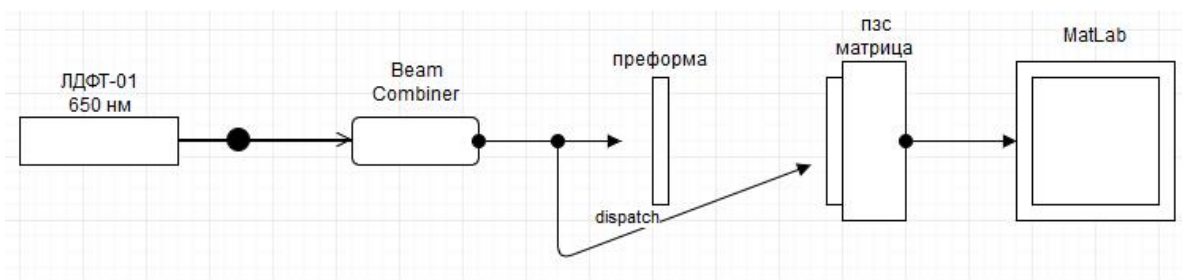


Рис. 2. Оптическая схема голографического интерферометра

плите размером 300×300 мм, которая помещалась на накачанную воздухом резиновую камеру. Для исключения влияния конвективных потоков воздуха и внешнего светового излучения установка накрывалась темным кожухом. Для установки потребовался медицинский фотодиодный лазер ЛДФТ-01 с длиной волны 650 нм. Разделение лазерного излучения на опорный и объектный лучи проводилось с помощью Beam combiner – волоконно-оптического разделителя (объединителя). Объектный и опорный лучи, находящиеся в коннекторах световода, соответственно направлялись на преформу, которая предварительно закрепляется на металлической подставке, и на ПЗС матрицу от микроскопа Levenhuk, посредством которой происходят запись и обработка голограммы. Размеры заготовки: длина 100 мм, внешний диаметр 10 мм, диаметр сердцевины 2 мм. Вывод изображения голограммы на экран компьютера, сохранение фотографий и видеороликов, калибровка яркости, сшивка изображений, расширение глубины резкости, цветовая композиция, обработка изображений, сохранение изображений в различных

форматах производилась с помощью специализированной программы Tour View.

В процессе эксперимента в заготовке визуально обнаруживали дефект, закрепляли ее нужным образом на неподвижной подставке и производили съемку. Размеры заготовок по длине не ограничены, а ширина будет зависеть от размеров матрицы, но это также легко устранимо подбором матрицы нужных размеров.

Фотография и схема экспериментальной установки представлены на рис. 1, 2.

3. Обработка результатов эксперимента

После сборки и настройки экспериментальной установки был проведен ряд экспериментов по записи голографического изображения исследуемых объектов: преформы и оптического волокна. Преформа или оптическое волокно закреплялись на держатель перед матрицей. Производилась запись голограммы в течение 1–2 с. Поскольку раз-

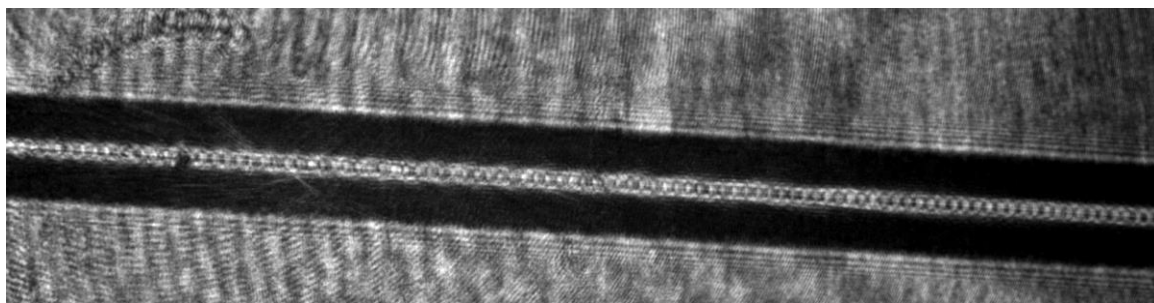


Рис. 3. Голограмма оптоволокна с дефектами внутри сердцевины

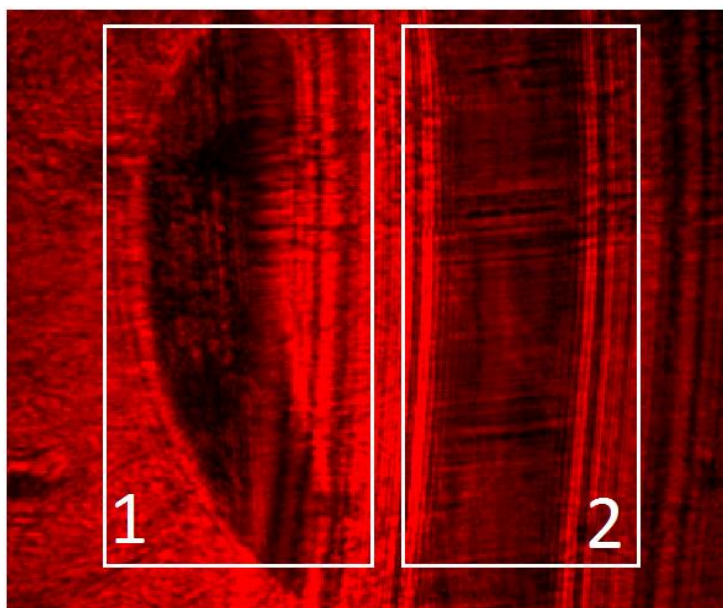


Рис.4. Голограмма преформы для оптоволокна с наблюдаемым дефектом: 1 – пузырь воздуха около сердцевины заготовки; 2 – дефект нелинейности сердцевины; размеры дефекта 7×2 мм

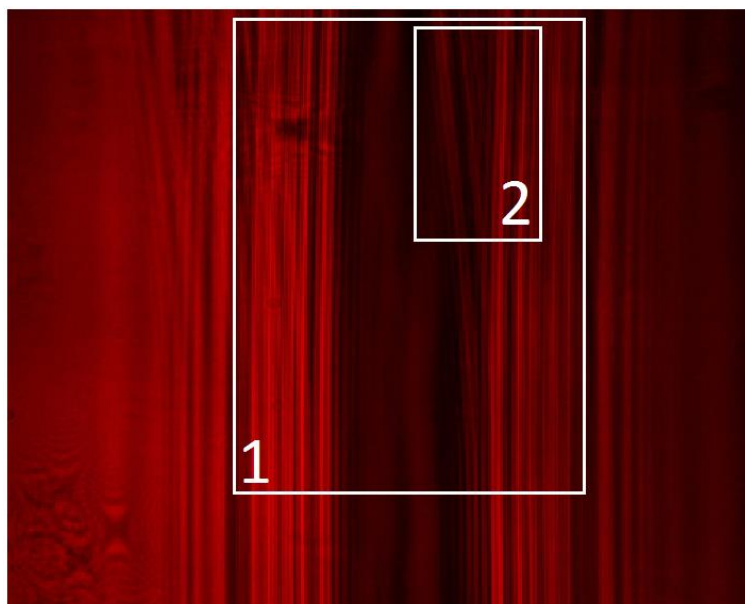


Рис. 5. Голограмма преформы для оптоволокна с наблюдаемым дефектом: геометрическое отклонение сердцевины заготовки. Размеры дефекта составляют: отклонение ≈ 2 мм от края сердцевины

меры камеры составляют 23×23 мм, а заготовка имеет длину 100 мм, для получения полной картины ее приходилось сдвигать примерно на 20 мм,

что позволяло заснять серию изображений голограмм преформы. Их примеры показаны на рис. 3–5.

На рис. 3 представлена голограмма оптического волокна с дефектами внутри сердцевинки. Изображение, которое было достаточно контрастным и четким, позволяет увидеть периодически расположенные микрополости, которые находятся внутри сердцевинки световода.

На рис. 4 изображена голограмма преформы для оптоволокон с наблюдаемыми дефектами. Пузырь воздуха внутри преформы повлиял на изгиб сердцевинки. На рис. 5 показана голограмма заготовки с ярко выраженным дефектом сердцевинки. Область, выделенная рамкой под цифрой 1 – нелинейность, рамкой под цифрой 2 – отклонение сердцевинки. Максимальное отклонение сердцевинки составляет примерно 2 мм.

4. Заключение

В данной работе представлена методика измерения дефектов в оптических световодах или в преформах для оптических световодов с помощью цифровой голографической интерферометрии. Разработана модель голографического интерферометра. Была проведена серия экспериментальных измерений. Результаты показали преимущество голографического интерферометра: мобильность и быстрота исполнения испытаний.

Главное преимущество предложенного в данной работе голографического метода состоит в его простоте и гибкости применения. В ходе съемки можно достаточно легко изменять параметры оптической схемы, что позволяет производить сканирование различных частей образца или всего объекта в целом. Кроме того, быстрое время сканирования не требует очистки преформы от эмиссионной жидкости. Для реализации данного метода нет необходимости использовать дорогостоящие приборы и материалы.

Описанная выше методика позволяет оценить размеры, форму дефектов и механизмы их образования при изготовлении преформ. Размеры дефектов с большой точностью можно сравнивать с размерами заготовок или волокон.

К недостаткам можно отнести то, что процесс голографической съемки объектов чувствителен к внешним воздействиям, таким как вибрация установки, конвективное движение воздуха и т.д. Однако большая часть внешних помех является достаточно легко устранимой.

На основании описанной в работе методики планируется создание опытного образца промышленного прибора для дефектоскопии преформ и оптических волокон. В конструкции прибора будет предусмотрен подвижный механизм для крепления исследуемых материалов. Кроме того, планируется разработка программного обеспечения для автоматизации процесса и обработки получаемой информации.

Список литературы

1. Гусев М. Е., Воронин А. А., Гуревич В. С., Исаев А. М., Алексеенко И. В., Редкоречев В. И. Методы цифровой голографической интерферометрии и их применение для измерения наноперемещений // *Наносистемы: физика, химия, математика*. 2011. Т. 2. № 1. С. 23–39.
2. Диков О. В., Савонин С. А., Качула В. И., Перепелицына О. А., Рябухо В. П. Цифровая голографическая интерферометрия микродеформаций рассеивающих объектов // *Известия Саратовского университета. Новая Серия. Серия: Физика*. 2012. Т. 12. Вып. 1. С. 12–17.
3. Photon kinetics. Optical fiber test solutions [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pkinetics.com/products/productlist.aspx?category=FiberTest> (дата обращения: 12.03.2019).
4. Крюков Д. Б., Соловьев В. А., Розен А. Е., Лось И. С., Хорин А. В. Голографическая интерференционная дефектоскопия композиционных материалов, полученных сваркой взрывом // *Известия Волгоградского государственного технического университета*. 2008. №3(41). С. 98–100.
5. Конин Ю. А., Гаранин А. И., Перминов А. В. Дефектоскопия оптических волокон и заготовок методом голографической интерферометрии // *Прикладная фотоника*. 2015. Т. 2. № 2. С. 154–165.
6. Конин Ю. А., Гаранин А. И., Кривошеев А. И., Перминов А. В. Определение профиля показателя преломления оптических волокон методом цифровой голографической интерферометрии // *Научный альманах*. 2015. № 12-2 (14). С. 446–451.

References

1. Gusev M. E., Voronin A. A., Gurevich V. S., Ysaev A. M., Alekseenko I. V., Redkorechev V. I. Application of digital holographic methods to nano-displacement's. *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*, 2011, vol. 2, no. 1, pp. 23–39 (In Russian)
2. Dikov O. V., Savonin S. A., Kachula V. I., Perepelitsyna O. A., Ryabukho V. P. Digital holographic interferometry of microdeformations of the scattering objects. *Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Physics*, 2012, vol. 12, no. 1, pp. 12–17 (In Russian).
3. Photon kinetics. Optical fiber test solutions (Electronic resource). URL: <http://www.pkinetics.com/products/productlist.aspx?category=FiberTest>
4. Krjukov D. B., Solovyev V. A., Rosen A. E., Los' I. S., Khorin A. V. Golograficheskaya interferencionnaya defektoskopiya kompozicionnyh

- materialov, poluchennyh svarkoj vzryvom (Holographic interference flaw detection of composite materials obtained by explosion welding). *Izvestiya of Volgograd State Technical University*, 2008, no. 3 (41), pp. 98–100 (In Russian).
5. Konin Iu. A., Garanin A. I., Perminov A. V. Defectoscopy of optical fibers and preforms by method of holographic interferometry. *Applied Photonics*, 2015, vol. 2, no. 2, pp. 154–165.
6. Konin Iu. A., Garanin A. I., Krivosheev A. I., Perminov A. V. Determination of the refractive index profile of optical fibers by digital holographic interferometry. *Science Almanac*, 2015, no. 12-2 (14), pp. 446–451 (In Russian).

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Мошева Е. В., Конин Ю. А., Перминов А. В. Голографический метод дефектоскопии преформ оптических волокон // Вестник Пермского университета. Физика. 2019. № 1 С. 41–46. doi: 10.17072/1994-3598-2019-1-41-46

Please cite this article in English as:

Moscheva E. V., Konin Iu. A., Perminov A. V. Holographic method of flaw detection of optical fiber preforms. *Bulletin of Perm University. Physics*, 2019, no. 1, pp. 41–46. doi: 10.17072/1994-3598-2019-1-41-46