

ВЛИЯНИЕ БОКОВОГО СЖАТИЯ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ НА ИХ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ И МОДОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В работе изучен характер изменения модовой структуры двухмодовых волоконных световодов при их боковом сжатии для различных плоскостей поляризации. Показано, что боковое сжатие световода приводит к перестройке модовой структуры на выходе световода, что обусловлено неоднородностью изменения показателя преломления световедущей жилы световода. Характер перестройки зависит от величины приложенной к световоду силы, что позволяет использовать такие световоды в качестве датчиков механического усилия. Отмечается, что наблюдаемое преобразование поляризации света на выходе деформированного световода может быть использовано для датчиков динамических нагрузок.

Первичные преобразователи различных физических полей являются одним из основных элементов приборов неразрушающего контроля, которые во многом определяют основные метрологические характеристики этих приборов. Разработка новых конструкций первичных преобразователей и поиск новых физических явлений для их построения является актуальной задачей. Одним из вариантов решения такой задачи является разработка волоконно-оптических датчиков новых конструкций. Известно, что фазовые

датчики обладают наибольшей чувствительностью к измеряемым воздействиям [1]. Такие преобразователи строят на основе различных конструкций волоконно-оптических интерферометров с применением одномодовых волоконных световодов. Одним из вариантов таких датчиков, имеющих высокую чувствительность, являются поляризационные датчики [2]. В настоящее время широкое применение для изготовления волоконно-оптических датчиков различных физических величин находят микроструктурные волоконные световоды [3; 4].

В настоящей работе предлагается использовать маломодовые волоконно-оптические световоды, подверженные механическим воздействиям, путем бокового сжатия участка световода, как чувствительные элементы интерференционных волоконно-оптических датчиков. Конструктивно такой датчик может быть выполнен в виде маломодового волоконного световода, в котором возбуждается весь спектр мод, а при воздействии на световод наблюдается перестройка модовой картины за счет межмодовой интерференции, т.е. сам волоконный световод представляет собой интерферометр. В работе [5] отмечалось, что боковое сжатие приводит к максимальной модуляции разности фаз поляризационных мод в изотропных одномодовых волоконных световодах, а для анизотропных это достигается при деформации растяжения. В работе [7] получены расчетные соотношения для величины модуляции поляризационных мод при боковом сжатии одномодового световода. В отличие от микроизгибных датчиков на основе многомодовых волоконных световодов, перестройка модовой картины в которых производится за счет наведенных микроизгибов, в настоящей работе исследуется влияние однонаправленного бокового сдавливания двухмодовых и одномодовых световодов на перестройку модовой картины на выходе световода и характер наведенной оптической анизотропии. Измерения проводились на экспериментальной установке, схема которой приведена на рисунке 1.

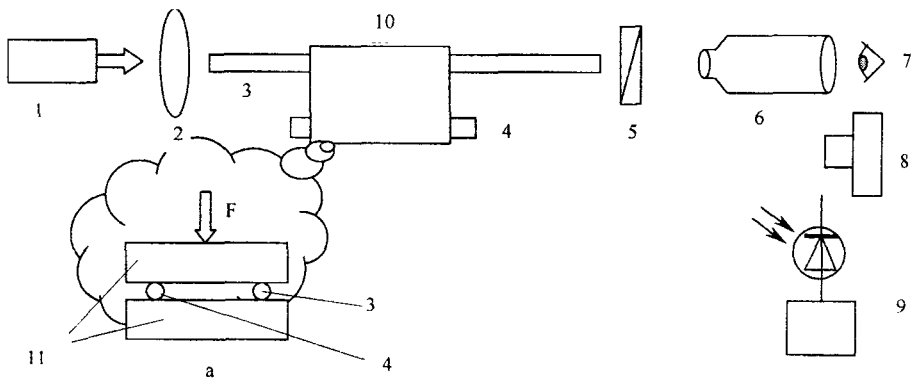


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

- 1 – гелий-неоновый лазер, генерирующий линейно-поляризованное излучение;
- 2 – восьмикратный микрообъектив для ввода излучения в исследуемый волоконный световод;
- 3 – исследуемый волоконный световод; 4 – опорный волоконный световод; 5 – анализатор;
- 6 – микроскоп; 7 – глаз наблюдателя; 8 – фотоаппарат; 9 – фотодиод с милливольтметром;
- 10 – устройство для деформации световода; 11 – стеклянные полированные пластинки;
- а – устройство для деформации световода путем диаметрального сжатия;

Линейно поляризованное излучение лазера 1 с помощью восьмикратного микрообъектива 2 (в некоторых экспериментах микрообъектив отсутствовал) вводилось в исследуемый волоконный световод 3, который располагался между двумя полированными стеклянными пластинками 11 устройства для деформации световода 10. Длина деформированного участка световода составляла в экспериментах 25 мм. Для создания равномерной нагрузки на исследуемый световод параллельно ему между стеклянными пластинками 11 укладывался отрезок опорного волоконного световода 4. На выходе исследуемого световода для определения поляризационных параметров исследуемого световода устанавливался анализатор 5. Распределение лазерного излучения на выходе исследуемого волоконного световода, в зависимости от рассматриваемой задачи, наблюдалось через микроскоп 6 с помощью глаза 7, или фотографировалось фотоаппаратом 8, или регистрировалось с помощью фотодиода с миллиамперметром 9. Устройство для деформации световода 10 позволяло с помощью винта плавно регулировать силу нагрузки на световод в пределах от 0 до 20 Н.

Для определения величины изменения показателя преломления световедущей сердцевинки волоконного световода в зависимости от механической нагрузки был изготовлен волоконно-оптический интерферометр Маха-Цандера на основе двухмодового волоконного световода с диаметром световедущей сердцевинки 10 мкм. В экспериментах измерялся сдвиг полос такого интерферометра в зависимости от приложенного к световоду усилия. На рисунке 2 приведена зависимость изменения эффективного показателя преломления основной моды от величины механической нагрузки на световод.

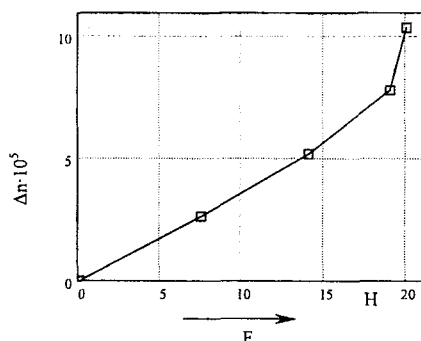


Рис. 2. Зависимость изменения эффективного показателя преломления моды двухмодового волоконного световода от величины силы, приложенной к световоду

Из приведенного рисунка видно, что в диапазоне усилий от нуля до 20 Н наблюдается сдвиг на 4 полосы, а это свидетельствует об изменении показателя преломления относительно исходного значения от нуля до 10^{-4} , что соответствует данным, полученным другими авторами [6].

Проведенные в работе эксперименты показали, что перестройка межмодовой интерференционной картины реализуется не только при изгибе многомодового волоконного световода, но также происходит при диаметральной сжатии волоконного световода. К примеру, на рисунке 3 приведен ряд распределений спекл-картины на выходе двухмодового волоконного световода при различных величинах сжатия световода при поляризации, ортогональной поляризации возбуждающего световод лазерного излучения. Цифры под рисунками указывают величину нагрузки в ньютонах на участок световода длиной 25 мм.

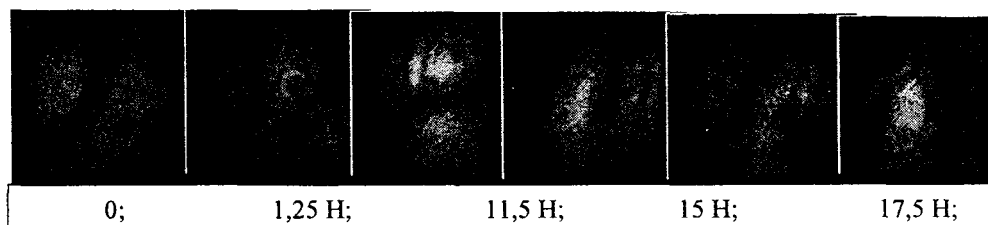


Рис. 3. Перестройка модовой структуры двухмодового волоконного световода при различной величине бокового сжатия

Из рисунка 3 видно, что одностороннее боковое сжатие световода приводит к перестройке модовой картины двухмодовых световодов, что связано с неоднородным изменением показателя преломления световодной сердцевинки волоконного световода в направлениях, совпадающих с направлением действия силы и в ортогональном, что подтверждается расчетами по приведенным в литературе формулам. Это явление можно использовать для разработки датчиков механических напряжений, основанных на применении межмодовой интерференции.

Известно, что при диаметральной сжатии волоконного световода за счет фотоупругости сжатый участок волоконного световода подобен одноосному кристаллу, что позволяет наблюдать в одномодовом волоконном световоде поворот плоскости поляризации, который зависит от величины приложенного к световоду усилия [2]. Это явление наблюдается также как изменение контраста интерференционной картины на выходе волоконно-оптического интерферометра Маха-Цандера, которое иллюстрируется рисунком 4.



Рис. 4. Вид интерференционной картины на выходе интерферометра Маха-Цандера при различной нагрузке на световоды в разных плечах интерферометра

На этом рисунке приведены интерференционные картины на выходе интерферометра при различных нагрузках на световоды, расположенные в разных плечах интерферометра. При плавной нагрузке на один из световодов наблюдается периодическое восстановление контраста интерференционной картины.

В работе исследовались возможности применения этого явления для регистрации переменных механических нагрузок при использовании отрезка одномодового световода в качестве первичного преобразователя. С этой целью измерялся поток излучения на выходе одномодового волоконного световода при его возбуждении линейно-поляризованным лазерным излучением с различной ориентацией плоскости поляризации относительно направления действия силы, приложенной к световоду. На рисунке 5 приведен характер изменения сигнала на выходе сжатого световода при различных углах поворота анализатора, установленного на выходе световода.

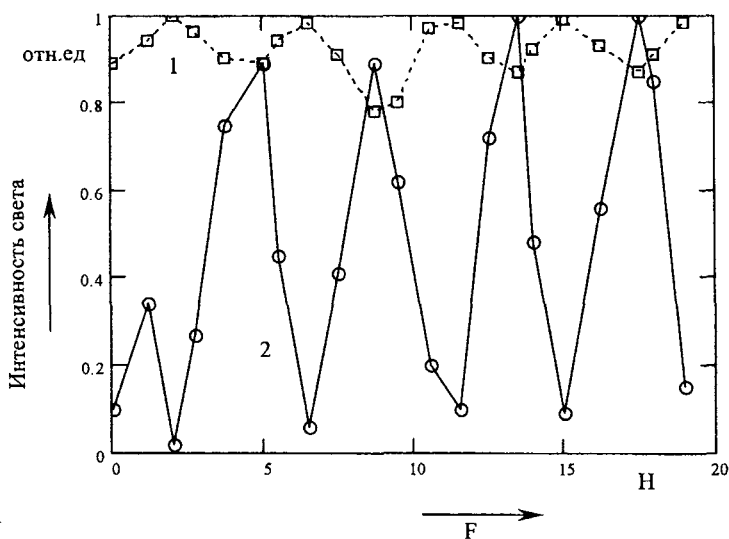


Рис. 5. Залежність сигналу на виході одномодового волоконного світловода для випадку, коли напрямлення дії сили збігається з площиною поляризації возбуждаючого світловода

- 1 – вісь пропускання аналізатора збігається з площиною поляризації випромінювання;
- 2 – вісь пропускання аналізатора ортогональна площині поляризації випромінювання

Із цього малюнка видно, що найбільше змінення сигналу спостерігається для поляризації, ортогональної поляризації возбуждаючого світловода випромінювання. Вимірювання показали, що аналогічна залежність спостерігається для випадку ортогонального напрямлення сили стиснення відносно площини поляризації возбуждаючого світловода випромінювання. В цьому випадку спостерігається 90%-на глибина модуляції для ортогонального напрямлення осі пропускання аналізатора відносно площини поляризації возбуждаючого випромінювання і порядку 10% для збігаючого напрямлення.

Несколько інший характер носить залежність сигналу на виході деформованого волоконного світловода для випадку, коли напрямлення стискаючої сили розташоване під кутом 45° до площини поляризації возбуждаючого світловода випромінювання. В цьому випадку спостерігається 90%-на глибина модуляції сигналу як для ортогонального напрямлення осі аналізатора відносно площини поляризації возбуждаючого світловода випромінювання, так і збігаючого з площиною поляризації. Наблюдаемую модуляцію вимірального сигналу можна використовувати для створення датчиків змінних механічних зусиль. Для цього необхідно навантажувати ділянку світловода як можна більшої довжини, що підвищить точність вироблених вимірювань і розширить їх динамічний діапазон, і вимірювати кількість імпульсів, реєструваних на виході світловода через поляризатор, вісь пропускання якого перпендикулярна площині поляризації лінійно поляризованого випромінювання, використовуваного для возбуждення отримання одномодового або маломодового світловода.

Таким чином, проведені дослідження показують можливість використання фізичних явищ змінення модової картини маломодових волоконних світловодів і їх поляризаційних характеристик для побудови волоконно-оптичних датчиків механічних зусиль.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Окосу, Т.** Волоконно-оптические датчики / Т. Окосу, К. Окамото, М. Оцу; под ред. Т. Окосу. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1990. – 256 с.
2. **Борисов, В.И.** Датчик ультразвука на одномодовом волоконном световоде с наведенной анизотропией / В.И. Борисов, С.С. Сергеев, Ю.В. Правоторов // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 1999. – № 2. – С. 54-56.
3. Holey fiber tapered with resonance transmission for high-resolution refractive index sensing / V.P. Minkovich [et al.] // Opt. Express. – 2005. – V. 13. – P. 7609-7614.
4. **Villatoro, J.** Temperature-independent strain sensor made from tapered holey optical fiber / J. Villatoro, V.P. Minkovich, D. Morson-Hernandez // Optics Lett. – 2006. – V. 31. – № 3. – P. 305-307.
5. Модуляция разности фаз поляризационных мод в одномодовых волоконных световодах / О.И. Котов [и др.] // ЖТФ. – 2004. – Т. 74. – Вып. 1. – С. 72-76.
6. Поляризационная модуляция света при поперечном сжатии оптического волокна / О.И. Котов [и др.] // ЖТФ. – 2006. – Т. 76. – Вып. 11. – С. 101-107.