

РАДЫЁЭЛЕКТРОНІКА І ПРЫБОРАБУДАВАННЕ

УДК 621.372.8:534.86

В. И. БОРИСОВ, Ю. В. ПРАВОТОРОВ, С. С. СЕРГЕЕВ

ДАТЧИК АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН НА ОДНОМОДОВОМ ВОЛОКОННОМ СВЕТОВОДЕ С НАВЕДЕННОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ

Одномодовые волоконные световоды находят широкое применение для изготовления датчиков различных физических величин [1, 2]. Обычно световоды применяются в качестве элемента, взаимодействующего с измеряемым физическим полем, в том числе и с акустическим [3, 4]. Для таких датчиков используют одномодовые волоконные световоды с сохранением поляризации, и информационным параметром в них является отношение разности потоков излучения, распространяющегося по световоду, для двух ортогональных поляризаций к их сумме.

В настоящей работе сообщается об использовании оптической активности, наблюдаемой в одномодовых волоконных световодах [5, 6], для создания датчиков ультразвука.

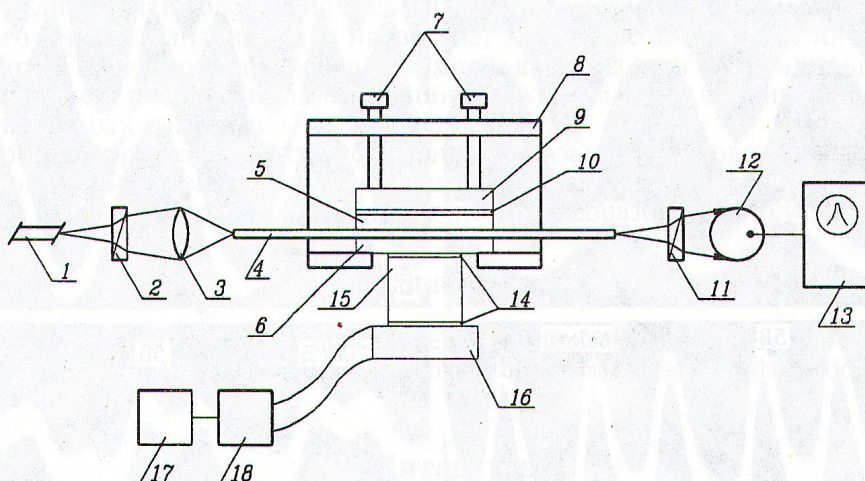


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Исследования проводились на экспериментальной установке, схема которой приведена на рис. 1. Излучение гелий-неонового лазера ЛГ-79 1 проходило через поляризатор 2 и с помощью восьмикратного микрообъектива 3 вводилось в отрезок одномодового изотропно-го волоконного световода 4. Последний зажимался на участке 30 мм между двумя стеклянными пластинками 5, 6 с помощью винтов 7. Пластины со световодом зажимались в металлической струбцине 8. Для создания постоянного давления на световод между стеклянной 5 и металлической 9 пластинками устанавливалась полоска резины 10 толщиной 2 мм. После выхода из световода лазерное излучение проходило через анализатор 11 на фотоприемник 12. Электрический сигнал с фотоприемника наблюдался на экране осциллографа 13. Снаружи на стеклянную пластинку 6 через иммерсионный слой вазелинового масла 14 устанавливался стеклянный параллелепипед 15, на него через иммерсионный слой крепился пьезовибратор 16 на основе пьезокерамической пластины, который генерировал акустические колебания. Пьезовибратор возбуждался переменным напряжением синусоидальной формы амплитудой от 0 до 50 В от генератора Г102 17 с усилителем 18.

В экспериментах применялись волоконные световоды со световедущей сердцевинкой диаметром 5 мкм со стеклянной оболочкой диаметром 90 мкм и защитной полимерной

оболочкой диаметром 130 мкм. В качестве фотоприемников использовались фотодиод ФД-6 Г и фотоэлектронный умножитель ФЭУ-112. В качестве пьезовибраторов применялись круглые пьезопластинки диаметром 20 мм и толщиной 0,7 мм (резонансная частота 1,05 МГц) и квадратные пьезопластинки со стороной 20 мм и толщиной 6 мм с резонансной частотой 65 кГц. В работе использовались пленочные поляризатор и анализатор.

Датчик настраивался следующим образом. При помощи поляризатора 2 на вход световода подавалось лазерное плоскополяризованное излучение так, чтобы плоскость его поляризации располагалась под углом 45° к направлению механических напряжений, наведенных в световоде. При этом в последнем распространяется излучение двух ортогональных поляризаций одинаковой интенсивности, которые на выходе световода дают эллиптически или линейно поляризованное излучение в зависимости от величины механического сжатия световода. Изменяя силу прижима световода, добивались такого состояния, когда на его выходе наблюдалась линейная поляризация лазерного излучения. При такой настройке датчика проводились эксперименты. Они показали, что приведенная выше конструкция позволила наблюдать работу датчика не только на основной резонансной частоте пьезопластины, но и на ряде других частот. Так, при использовании пьезопластины толщиной 0,7 мм кроме основной частоты наблюдалась работа датчика с различной эффективностью на 14 дополнительных резонансах в области более низких частот по сравнению с основной резонансной частотой 1,05 МГц.

В экспериментах наблюдалось, что при увеличении питающего напряжения на пьезопластине плоскость поляризации линейно поляризованного излучения испытывает поворот, угол которого пропорционален интенсивности. По мере роста напряжения на пьезопластине величина синусоидального сигнала с датчика сначала увеличивается без искажений, а затем на вершинах синусоиды наблюдаются провалы, свидетельствующие о том, что поворот плоскости поляризации больше π . Это иллюстрируется данными на рис. 2, а, б, в, где

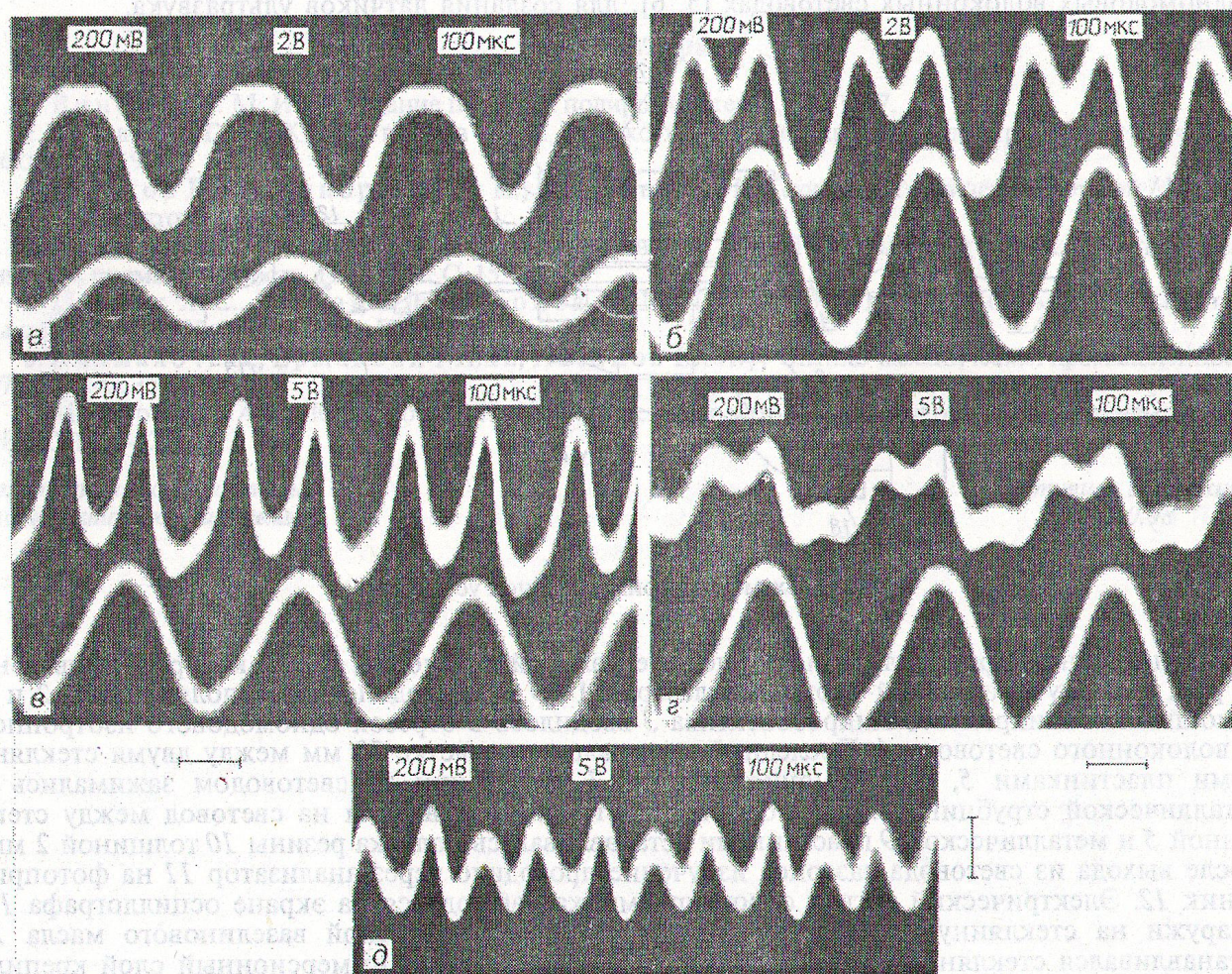


Рис. 2. Осциллограммы электрических сигналов на выходе датчика (верхние кривые) и на пьезопластине (нижние кривые) для величины питающего напряжения 13, 18, 33 В соответственно рисункам а, б, в; сигналы при симметричной настройке датчика (г, д). Реперные отрезки внизу и справа снимков соответствуют размеру сетки экрана осциллографа

приведены осциллограммы сигнала с датчика (верхние кривые) и питающего напряжения на пьезопластине (нижние кривые). На снимках приведены чувствительности каналов регистрации сигнала с датчика (слева, мВ), питающего напряжения (в центре, В) и скорость развертки (справа, мкс). Сигнал с генератора дополнительно ослаблен в 3,3 раза. Напряжение питания пьезопластины (полный размах синусоиды) равно 13, 18, 33 В соответственно для рисунков 2, а, б, в. При определенной установке рабочей точки датчика можно получить провалы на максимумах и минимумах синусоиды сигнала одинаковой величины (рис. 2, г). При максимальном напряжении на пьезопластине 62 В наблюдалось три оборота угла поворота плоскости поляризации (рис. 2, д).

Экспериментальные исследования показали, если величина наведенной анизотропии такова, что на выходе световода наблюдается эллиптическая поляризация излучения, то электрический сигнал на выходе датчика имеет вид искаженной синусоиды.

При заполнении зазора между стеклянными пластинками водой отмечается увеличение сигнала на некоторых наблюдаемых частотах, при этом на части частот сигнал вообще отсутствовал.

Были проведены эксперименты по использованию предложенного датчика в качестве гидрофона. Он помещался в ванну с водой, а ультразвук вводился в ванну путем помещения в ней пьезопластины или на ее внешней поверхности. При этом величина сигнала в обоих случаях была примерно одинаковой. Различие в ней на выходе датчика наблюдалось при разном направлении распространения ультразвука относительно волоконного световода. Так, в случае перпендикулярного направления распространения по отношению к направлению сжатия световода сигнал был в три раза меньше, чем при совпадении направлений сжатия и распространения ультразвука.

Проведенные эксперименты показали, что величина сигнала датчика линейно изменяется с длиной взаимодействия ультразвуковой волны и волоконного световода с наведенной анизотропией.

Было проведено сравнение чувствительности предложенного и аналогичного датчиков на основе волоконно-оптического интерферометра Маха—Цандера. Эксперименты показали, что при длине взаимодействия ультразвука со световодом 20 мм чувствительность предложенного датчика значительно превышает чувствительность аналогичного на основе интерферометра. При этом для предлагаемого датчика при максимальном напряжении наблюдался поворот плоскости поляризации на угол 6π , а для интерферометра Маха—Цандера наблюдаемый сдвиг фазы был менее $\pi/5$.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что волоконно-оптический одномодовый световод с наведенной механическим напряжением анизотропией можно использовать в качестве высокочувствительного первичного преобразователя акустических волн.

Summary

The acoustic sensor in a monomode optical fiber with anisotropy induced by the mechanical pressure is investigated. It is shown that it possesses larger sensitivity than sensors based on the optical fiber Mach-Zender interferometer.

Литература

1. Бусурин В. И., Носов Ю. Р. Волоконно-оптические датчики: физические основы, вопросы расчета и применения. М., 1990.
2. Окоси Т., Окамото К., Оцу М. и др. Волоконно-оптические датчики. Л., 1990.
3. Meng C.-L, Gibson J. S. // Smart. Mater. and Structur. 1994. Vol. 3, N 4. P. 397—408.
4. Takahara H., Toyashi F., Aragaki T. // Can. J. Phys. 1988. Vol. 66, N 10. P. 844—846.
5. Захидов Э. А., Миртаджиев Ф. М., Касымджанов М. А. и др. // Изв. АН УзССР. Сер. физ.-мат. наук. 1987. № 5. С. 70—73.
6. Борисов В. И., Куличков В. М. // Тез. докл. Всесоюз. НТК "Оптические, тепловые и радиоволновые методы неразрушающего контроля". Могилев, 1989. С. 50—51.

Могилевский машиностроительный институт

Поступила в редакцию
30.01.97