

УДК 535.41

Р.В. Ромашко, М.Н. Безрук, С.А. Ермолаев, С. Кришнасвами

Детектирование ультразвуковых упругих волн в твердых телах с помощью многоканальной адаптивной волоконно-оптической измерительной системы

Разработана многоканальная адаптивная волоконно-оптическая интерферометрическая система, в основе которой лежит мультиплексирование сигналов с волоконно-оптических сенсоров в одном фоторефрактивном кристалле. Разработанная система была апробирована в задаче детектирования ультразвуковых упругих волн, распространяющихся по твердому телу.

Ключевые слова: адаптивный интерферометр, фоторефрактивный кристалл, мультиплексирование динамических голограмм, волоконно-оптические сенсоры, ультразвуковые волны.

Исследование механических свойств твердых тел является одной из важных и необходимых задач современной метрологии. Существует множество методик, контактных и бесконтактных, направленных на изучение механических характеристик твердых тел: испытания на растяжение, микроизгибы, скручивание, исследование поверхностного рассеяния Бриллюэна, поверхностная силовая микроскопия, акустическая микроскопия. Использование большинства методик вызывает трудности, так как либо вследствие физического воздействия разрушаются исследуемые материалы, либо не обеспечивается достаточная точность измерений, либо требуется трудоемкая обработка результатов [1]. В последние годы все чаще для исследования механических свойств твердых тел используются методы фотоакустики, механические свойства твердых тел исследуются с помощью ультразвуковых волн, распространяющихся в структуре образца [1, 2].

В данной работе представлена адаптивная волоконно-оптическая интерферометрическая система, в которой в качестве чувствительных элементов использованы многомодовые волоконные световоды (МВС). Ключевым элементом системы являются динамические голограммы, мультиплексируемые в одном фоторефрактивном кристалле теллурида кадмия (CdTe). Использование динамических голограмм позволяет эффективно осуществлять линейное преобразование модуляции фазы лазерного излучения в модуляцию его интенсивности, при этом компенсируя неконтролируемое влияние окружающей среды. Разработанная адаптивная измерительная система апробирована в задаче детектирования ультразвуковых упругих волн, распространяющихся по твердому телу.

Экспериментальная установка. Исследуемый объект был выполнен из полимера VariDur 10 и имел форму цилиндра диаметром 25 мм и высотой 55 мм. Внутри объекта в процессе его изготовления (на стадии полимеризации) были помещены 2 многомодовых волоконных световода на расстоянии 30 мм друг от друга, при этом первый световод размещался в 10 мм от одного из торцов цилиндра (рис. 1). Волоконные световоды были включены в адаптивную измерительную систему, представленную на рис. 1. На торце исследуемого объекта со стороны первого МВС был установлен пьезоэлектрический ультразвуковой преобразователь. Подаваемый на преобразователь электрический импульс длительностью 22 мкс с гармоническим заполнением на частоте 150 кГц обеспечивал возбуждение в исследуемом объекте ультразвукового волнового пакета. Упругая волна, распространяясь по объекту и достигая поочередно 1-й и 2-й МВС, приводила к модуляции фаз соответствующих световых волн, что детектировалось с помощью адаптивного голографического интерферометра.

На рис. 2 представлены осциллограммы возбуждающего сигнала и сигналов, полученных по двум каналам адаптивной измерительной системы. Из рис. 2 видно, что продольная упругая волна отчетливо детектируется в обоих каналах, достигая волоконные сенсоры с ожидаемым запаздыванием. При этом отсутствие ложного сигнала во втором канале в момент прихода волнового пакета к первому МВС свидетельствует об отсутствии в адаптивной измерительной системе перекрестных помех. Полученная таким образом информация может быть использована для определения скорости звука в материале исследуемого объекта. Другим возможным применением является диагностика критических объектов в режиме реального времени в процессе эксплуатации. Волоконно-оптические сенсоры, размещенные в конструктивных элементах и периодически опрашиваемые с

помощью многоканального адаптивного интерферометра, могут дать информацию о структурных изменениях контролируемого объекта (например, трещинах или деформациях), возникших в области, заключенной между сенсорами.

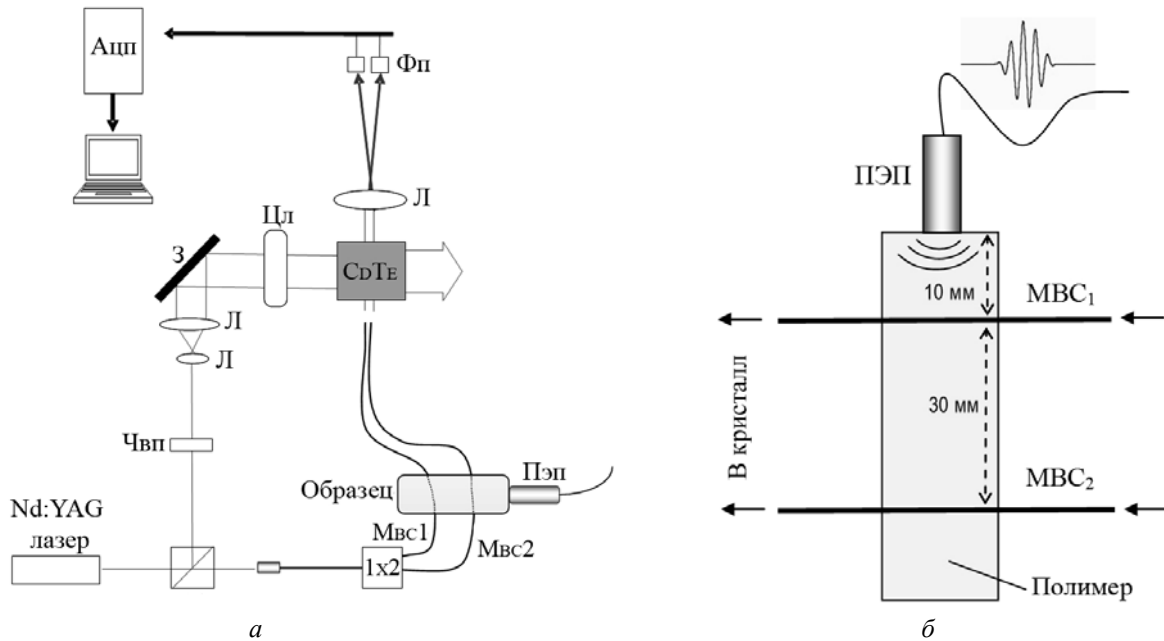


Рис. 1. Схема экспериментальной установки (а) и схема исследуемого объекта (б) с размещенными в нём волоконно-оптическими сенсорами: ПЭП – пьезоэлектрический преобразователь; МВС – многомодовый волоконный световод; ЧВП – четвертьволновая фазовая пластинка; СД – светоделитель; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; З – зеркало; Л – линза; ЦЛ – цилиндрическая линза

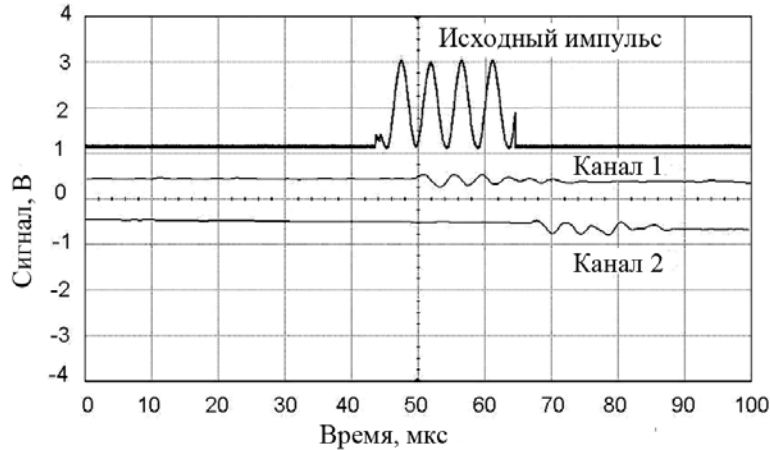


Рис. 2. Осциллограммы возбуждающего импульса и сигналов, детектируемых в двух каналах адаптивного голографического интерферометра

Заключение. Таким образом, разработана многоканальная адаптивная волоконно-оптическая интерферометрическая система, в основе которой лежит мультиплексирование сигналов с волоконно-оптических сенсоров в одном фоторефрактивном кристалле. В качестве чувствительных элементов используются многомодовые волоконные световоды. Разработанная система была апробирована в задаче детектирования ультразвуковых упругих волн, распространяющихся по твердому телу. В результате с помощью двух волоконно-оптических сенсоров было детектировано распространение в полимере VariDur 10 ультразвуковой волны, вызванной внешним воздействием на объект исследования.

Исследование выполнено при поддержке программы «Научный фонд» ДВФУ», а также Президиума ДВО РАН и фонда CRDF.

Литература

1. Zhou Y. Photo-acoustic imaging of surface acoustic wave slowness using multiplexed, two-wave mixing array interferometry / Y. Zhou, T.W. Murray, S. Krishnaswamy // *Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, IEEE Transactions on. – 2002. – Vol. 49, № 8. – P. 1118–1123.
2. Ultrasonic characterization of mechanical properties of Cr-and W-doped diamond-like carbon hard coatings / F. Zhang et al. // *Thin solid films*. – 2006. – Vol. 503, № 1. – P. 250–258.

Ромашко Роман Владимирович

Вед. науч. сотрудник лаб. прецизионных оптических методов измерений
Института автоматизации и процессов управления
Дальневосточного отделения РАН (ИАПУ ДВО РАН), г. Владивосток
Тел.: (423) 255-51-74
Эл. почта: romashko@iacp.dvo.ru

Безрук Михаил Николаевич

Мл. науч. сотрудник лаб. прецизионных оптических методов измерений ИАПУ ДВО РАН
Тел.: 8-950-297-74-65
Эл. почта: bezmisha@list.ru

Ермолаев Сергей Александрович

Студент каф. теоретической и экспериментальной физики Дальневосточного федерального университета
Тел.: 8-914-320-07-31
Эл. почта: nekker2@gmail.com

Кришнасвами Сридхар

Директор центра технического качества и предупреждения аварий,
Северо-Западный университет, Эван-стон, Иллинойс, США
Тел.: 8 (47) 491-40-06
Эл. почта: krishnaswamy@northwestern.edu

Romashko R.V., Bezruk M.N., Ermolaev S.A., Krishnaswamy S.

Adaptive multichannel fiber-optic interferometer for detection of ultrasonic waves in solid objects

In the research we developed a multichannel adaptive measurement system based on multiplexing of signals from fiber-optic sensors in a single photorefractive crystal. The system is applied for detection of ultrasonic elastic waves propagating through solid objects.

Keywords: adaptive interferometer, dynamic hologram multiplexing, photorefractive crystal, fiber-optic sensors, ultrasonic detection.