

**Исследование выходного акустического сигнала
макета волоконно-оптического фотоакустического преобразователя
для систем технической диагностики и неразрушающего контроля**

Е.П. Микитчук, К.В. Козадаев

Белорусский государственный университет, Минск

E-mail: m.helenay@yandex.by

В настоящее время существует множество методов неразрушающего контроля, которые позволяют не только обнаруживать дефекты, но и судить о конкретном их местоположении. Одним из самых простых (простота средств и внешних устройств технического диагностирования), востребованных и позволяющих диагностировать даже самые мелкие дефекты, в том числе и внутренние микротрещины в различных материалах, является ультразвуковой метод [1]. Однако существует необходимость в миниатюрных волоконно-оптических фотоакустических преобразователях, позволяющих передавать ультразвуковые сигналы в широкой полосе частот, и обладающих всеми преимуществами традиционной ультразвуковой диагностики и рядом преимуществ из-за использования свойств наноструктур и оптического волокна [2].

Рисунок 1 показывает схему стенда для исследования волоконно-оптического фотоакустического преобразователя с наночастицами Ag с гамма-распределением по размерам с размерным и масштабным параметрами, величины которых соответствуют среднему радиусу 35 нм и разбросу по размерам 12 нм, сформированном на торце оптического волокна, сколотого стандартным волоконно-оптическим скалывателем Fujikura CT-30A погруженного в жидкую среду. От цифрового генератора сигналов произвольной формы в составе измерительного комплекса осциллограф-генератор TiePie HS5 подается зондирующий импульсный сигнал с периодом 10 мс, длительностью 50 нс и амплитудой 12 В, который по коаксиальному кабелю распространяется к волоконно-оптическому лазерному модулю Laserscom LDI-450-FP-30, в котором лазерный диод согласован с одномодовым волокном SM450 с диаметром модового пятна 3.6 мкм. Оптическое излучение на выходе из оптического волокна имеет гауссовский профиль пространственного радиального распределения интенсивности и оптическую мощность 38 мВт в импульсном режиме. Длина волны генерации лазерного диода составляет 450 нм, ширина спектра – 2 нм. Затем лазерное излучение, пройдя по оптическому волокну, делится на две части в волоконно-оптическом разветвителе, в результате 1% излучения поступает на контрольный фотодиод Vishay BPF34 и детектируется осциллографом с высоким дина-

мическим диапазоном в составе измерительного комплекса TiePie HS5. Другая часть модулированного по интенсивности оптического сигнала (99%) с помощью волоконно-оптической розетки Seikoh Giken SNA-1 соединяется с отрезком оптического волокна SMF-28e, на поверхности которого сформированы наноструктуры фотоакустических преобразователей. Торец оптического волокна с нанесенной наноструктурой [3] закреплен на координатной системе Stand 7T38 хуз. Акустический сигнал детектируется узкополосным пьезогидрофоном SoarPiezo 10x0.20mm-PZT5. Сигнал с гидрофона детектируется осциллографом с высоким динамическим диапазоном TiePie HS5 с максимальной относительной неопределенностью измерения уровня сигналов 0.25%. Форма модулированного по интенсивности лазерного сигнала во времени, полученного с помощью контрольного фотодиода Vishay BPF34, имеет ширину по уровню половины амплитуды данного импульса и составляет 50 нс, длительности фронтов не превышают 12 нс. Токовая чувствительность такого фотодиода на длине волны 450 нм составляет 0.07 А/Вт, ширина полосы рабочих частот превышает 40 МГц.

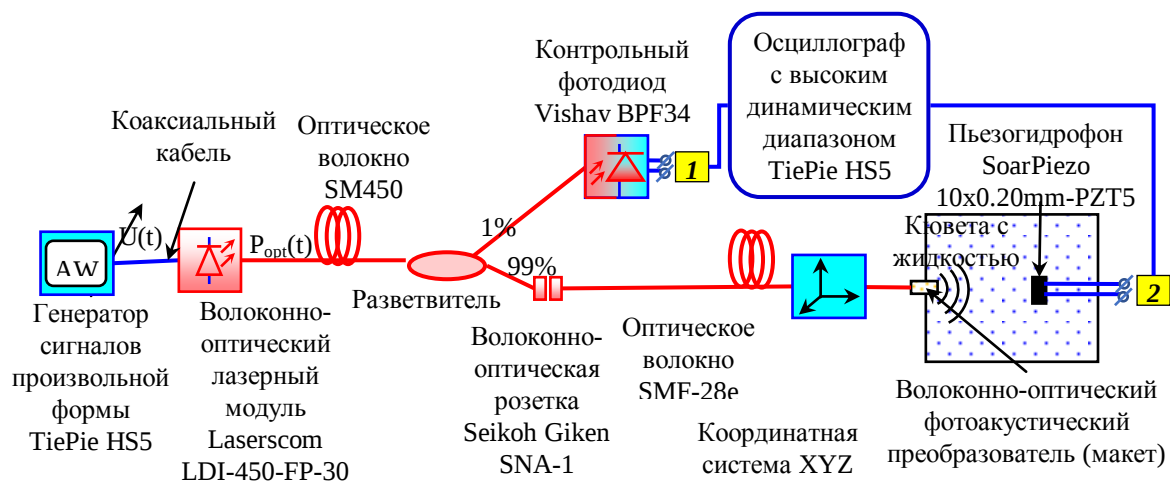


Рис. 1. Схема стенда для исследования волоконно-оптического фотоакустического преобразователя с металлическими наночастицами на торце оптического волокна, погруженного в жидкую среду, где 1 и 2 – порты осциллографа

Рисунок 2 показывает зависимость спектральной плотности мощности выходного акустического сигнала макета в воде и спектральную плотность мощности оптического импульса на входе преобразователя от частоты. Спектральная плотность мощности электрического сигнала на выходе пьезоэлектрического преобразователя [$\text{В}^2/\text{Гц}$] прямо пропорциональна энергии [Дж] и определяется акустическим давлением [Па]. Для двух макетов наблюдается фотоакустический отклик в частотном диапазоне 10 – 18 МГц.

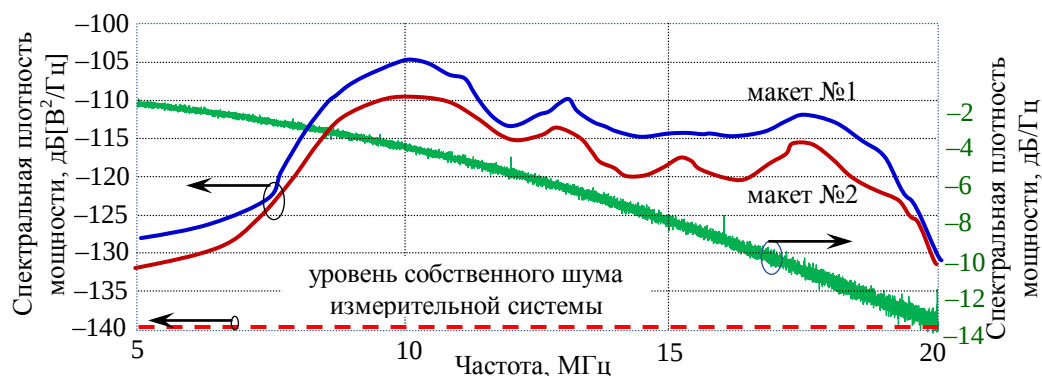


Рис. 2. Зависимость спектральной плотности мощности выходного акустического сигнала макета преобразователя в воде (шкала слева) и спектральной плотности мощности оптического импульса на входе (шкала справа) от частоты

Рисунок 3 показывает микрофотографии поверхности макета до и после часового воздействия импульсным лазерным излучением в воде. Установлено, что часовое воздействие лазерного излучения на макет, в котором НЧ Ag на торце оптического волокна нанесены методом импульсного лазерного напыления, а также загрязнения и механические воздействия вне сердцевины оптического волокна не вызывает деградации двумерных поверхностных наноструктур, что позволяет использовать такие преобразователи в составе систем технической диагностики и неразрушающего контроля высокого разрешения.

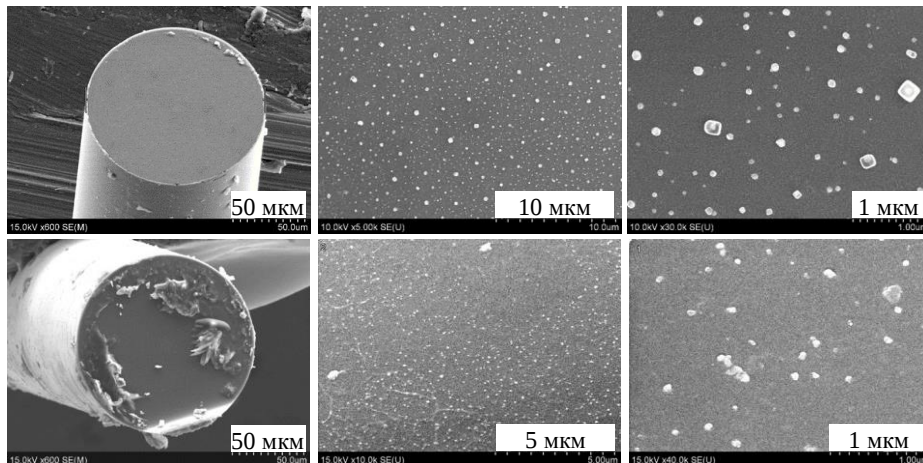


Рис. 3. Микрофотографии поверхности тестового образца волоконно-оптического фотоакустического преобразователя с НЧ Ag до (верхний ряд) и после (нижний ряд) измерения ультразвука в воде, полученные с помощью растрового электронного микроскопа S-4800 Hitachi S-4800

Работа поддержана грантом “БРФФИ-РФФИ М-2019” №Ф19РМ-006.

1. Czichos, H. // Meas. Sci. 2009. Vol. 4, No. № 4. P. 48–77.
2. Микитчук Е.П., Козадаев К.В.// Квант. электрон. 2018. Т. 48, № 7. С. 630–636
3. Goncharov V.K., Kozadaev K.V., Mikitchuk A.P. et al. // Semiconductors. 2019. in press