

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАРТЫ TESSONICS  
ДЛЯ ЗАДАЧИ ИЗМЕРЕНИЯ УПРУГИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕМНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ**

© 2016 г. А.Н. БОГАЧЕНКОВ<sup>1</sup>, С.А. ТИТОВ<sup>2</sup>, Б.А. РИЕР<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Московский технологический университет,

<sup>2</sup>Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля, г. Москва,

<sup>3</sup>Всероссийский электротехнический институт им. В.И. Ленина, г. Москва

Акустическая микроскопия исследует объекты различной природы, используя сфокусированные ультразвуковые волны с частотами порядка десятков-сотен мегагерц. Большой интерес представляют разработки методов и аппаратуры повышенного разрешения для акустической визуализации и измерения упруго-вязкостных свойств объемных и многослойных материалов нанoeлектроники. Ультразвуковые исследования подобных материалов выполняются преимущественно с помощью сканирующего микроскопа [1–3], при этом механическое сканирование существенно ограничивает возможности количественной характеристики. Необходимость регистрации параметров в режиме реального времени обуславливает использование одно- или двумерной решетки многоэлементных преобразователей [4, 5]. В настоящем докладе проведен анализ схемных особенностей ультразвуковой карты применительно к задаче количественной характеристики внутренних, поверхностных и подповерхностных дефектов, измерения упругих параметров объемных образцов и слоистых структур, предложены решения по модификации существующих аппаратных средств.

Канадская фирма Tessonics выпускает ультразвуковой дефектоскоп RSWA F1, предназначенный для неразрушающего контроля точечных сварок металлических листов [6]. В составе прибора используется ультразвуковая карта, разработка которой проводилась с участием авторов доклада. Универсальность ультразвуковых методов позволяет использовать карту и для исследования материалов нанoeлектроники. Функциональная схема данного модуля приведена на рис. 1.

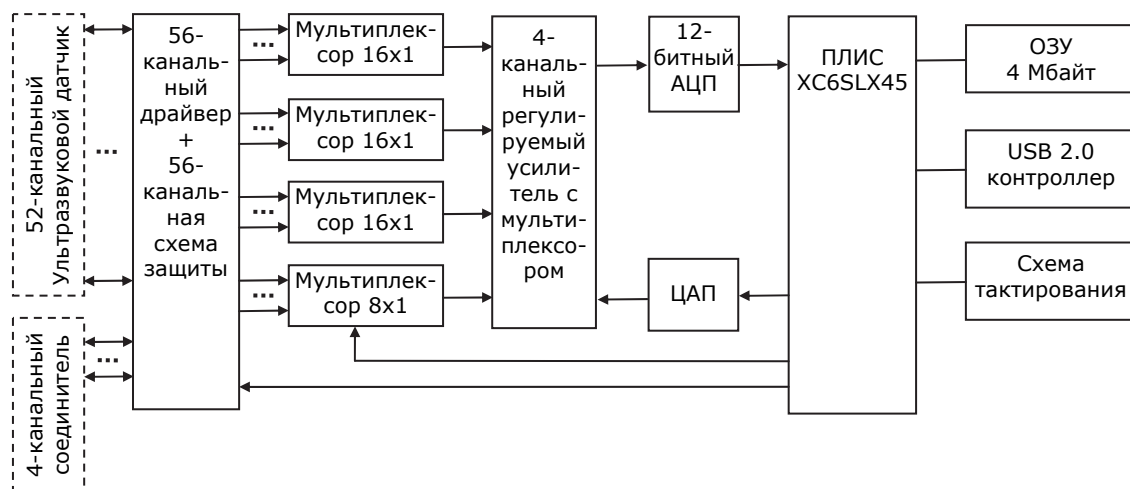


Рис. 1. Функциональная схема ультразвукового модуля.

52-канальный матричный ультразвуковой преобразователь подключается к модулю посредством соответствующего числа коаксиальных кабелей. Возбуждающие импульсы на элементы преобразователя формируются независимыми микросхемными драйверами, управляемыми от программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). Все драйверы могут возбуждаться одновременно, что позволяет реализовать фазированное излучение акустической волны. Отраженные от объекта сигналы по тем же линиям поступают на схемы защиты — ограничители импульсов, а затем передаются на четыре группы мультиплексоров. К выходам мультиплексоров подключены основные усилители сигнала, в которых производится регулировка коэффициента усиления в диапазоне 0...45 дБ. Регулировка осуществляется изменением постоянного напряжения, снимаемого с цифроаналогового преобразователя (ЦАП). Это же напряжение используется для запитывания усилителей на время генерации возбуждающего импульса, а также для реализации регулировки усиления, изменяемой во времени в процессе приема сигналов. Выходы четырех усилителей мультиплексируются на один общий выход, сигнал с которого подводится к единственному аналого-цифровому преобразователю (АЦП). Разделение 56 каналов на 4 группы позволяет снизить эквивалентную нагрузочную емкость в единичном канале приема сигнала. АЦП работает с основными частотами дискретизации 133 и 200 МГц. В устройстве используется также режим сверхдискретизации, когда регистрация осуществляется за несколько циклов, пропорционально увеличивая эффективную частоту дискретизации.

Центральным компонентом для управления работой модуля является ПЛИС, которая формирует управляющие сигналы для большинства функциональных узлов модуля, осуществляет прием информации от АЦП, накапливает данные ряда измерений, производит обработку информации, передает ее внешнему компьютеру. На кристалле ПЛИС доступно около 200 Кбайт блочной памяти, что недостаточно для данных измерений по всем каналам, поэтому непосредственно с ПЛИС сопряжена микросхема внешней статической памяти объемом 4 Мбайт. Высокоскоростной интерфейс с внешним компьютером реализован по стандарту USB 2.0 (скорость передачи 480 Мбит/с). Питание карты осуществляется от одного источника напряжения в диапазоне 9...14 В, на плате размещены преобразователи для получения необходимых внутренних напряжений (1.2, 1.8, 3.3,  $\pm 5$ ,  $\pm 15$ , 35 В).

Особенность существующей карты, которая является и одним из ее недостатков — фактически одноканальный режим приема сигналов, что при фазовом управлении линейкой или матрицей преобразователей вынуждает проводить многократный повтор регистрации в одной пространственной точке с последовательным выбором приемных каналов.

Эксперимент показал, что данная схема построения акустического микроскопа позволяет проводить количественную характеристику параметров слоистых и объемных объектов, измерять толщину слоев и скорости продольных и поперечных волн в материале с достаточной точностью [4]. Однако для изделий нанoeлектроники необходимо: более высокое пространственное разрешение, электронное управление фокусом в продольном и поперечном направлениях, компенсация аберраций, проведение регистрации функции рассеяния наблюдаемых неоднородностей, снижение уровней фазовых шумов, снижение нестабильностей задержек информационных сигналов и др. Используемый 52-канальный преобразователь с размером матрицы 8 x 8 элементов не является оптимальным для решаемой задачи. В условиях промышленного использования требуется увеличение производительности системы. Желательно также снижение габаритных показателей и уменьшение энергопотребления.

Для частичного решения указанных целей предлагается модернизированный вариант ультразвуковой карты. Главными отличиями являются: увеличение числа приемных каналов за счет параллельно работающих четырех АЦП, использование компонентов с большим объемом ресурсов и повышенным быстродействием (ПЛИС более продвинутого семейства с увеличенным числом блоков, расширенный объем памяти), в несколько раз поднятая скорость передачи информации, увеличенное число элементов датчика. Функциональная схема предлагаемого модуля представлена на рис. 2.

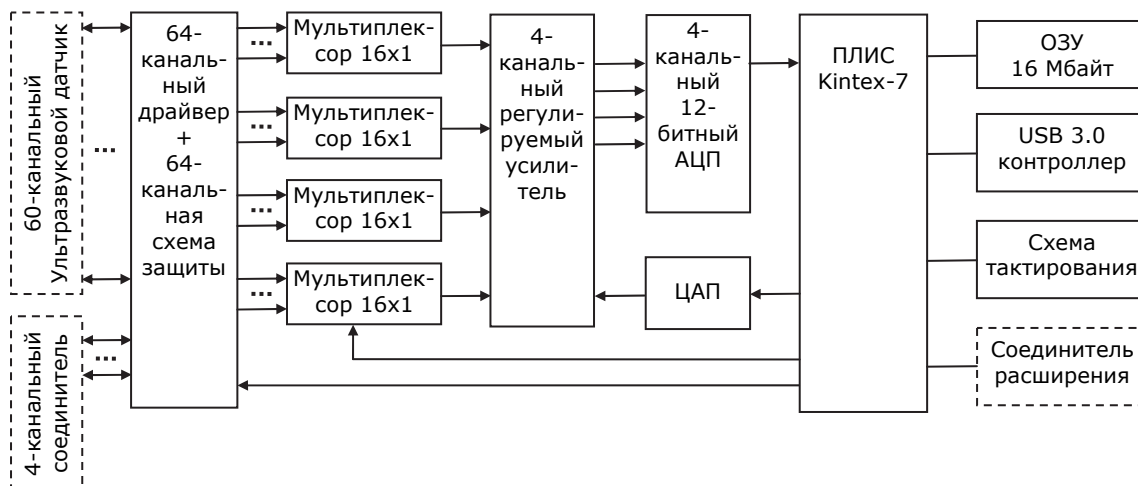


Рис. 2. Функциональная схема модернизированного ультразвукового модуля.

В новом модуле также предполагается использование компактных универсальных соединителей, элементов в миниатюрных корпусах, двухсторонний монтаж и другие решения, по предварительным расчетам позволяющие сократить габариты модуля до двух раз.

Таким образом, существующая ультразвуковая карта фирмы Tessonics, оптимизированная для контроля точечных сварных соединений, ограниченно пригодна для определения ряда параметров материалов нанoeлектроники, но имеет существенные недостатки, в первую очередь, по производительности и функциональности. Предлагаемый модифицированный вариант позволит в более полном объеме проводить исследования свойств наноматериалов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ  
в рамках научного проекта № 16-07-01236.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Advances in acoustic microscopy and high resolution imaging: from principles to applications / Ed. R. Maev. — Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 2013. — 400 p.
2. Habib A., Shelke A., Vogel M., Pietsch U., Jiang X., Kundu T. Mechanical characterization of sintered piezo-electric ceramic material using scanning acoustic microscope // Ultrasonics, 2012, V. 52. — P. 989–995.
3. Тимов С.А., Богаченков А.Н. Система акустической визуализации на основе двумерной решетки ультразвуковых преобразователей // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2012. – Т. 12. – № 4. – С. 72-75.
4. Тимов С.А., Маев Р.Г., Богаченков А.Н. Линзовый акустический микроскоп с линейной решеткой в режиме измерения параметров слоистых объектов. // Российский технологический журнал, 2016, Т. 4, № 2 (11), С. 25-30.
5. Тимов С.А., Маев Р.Г. Линзовый акустический микроскоп с двумерной ультразвуковой решеткой // Письма в ЖТФ, 2016, Т. 42, вып. 9, С. 8-15.
6. Resistance Spot Weld Analyzer // <http://www.tessonics.com/products-rswa.html>