АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XXII 1976 Вып. 3

УДК 534.28

ВЛИЯНИЕ НЕМОНОЧАСТОТНОСТИ КВАРЦЕВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ПРЕЦИЗИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ И ЗАТУХАНИЯ УЛЬТРАЗВУКА

В. М. Меркулова, В. А. Третьяков

Выполнены экспериментальные исследования влияния немоночастотности кварцевых преобразователей X- и Y-срезов на прецизионные измерения скорости и затухания ультразвука в монокристаллах. Показано, что немоночастотность пьезопреобразователей приводит к дополнительной погрешности измерений.

В настоящее время существенно расширилась область применения монокристаллов и одновременно с этим возросли требования к точности измерения их акустических параметров.

Точность современных прецизионных методов измерений абсолютных значений скорости ультразвука составляет 10^{-4}—$5\cdot10^{-5}$ [1, 2]. Однако для решения целого ряда задач кристаллоакустики такая точность уже недостаточна и необходим поиск принципиально новых путей ее повышения. В этой связи большое значение должны иметь исследования влияния немоночастотности пьезопреобразователей на результаты измерений скорости и затухания ультразвука.

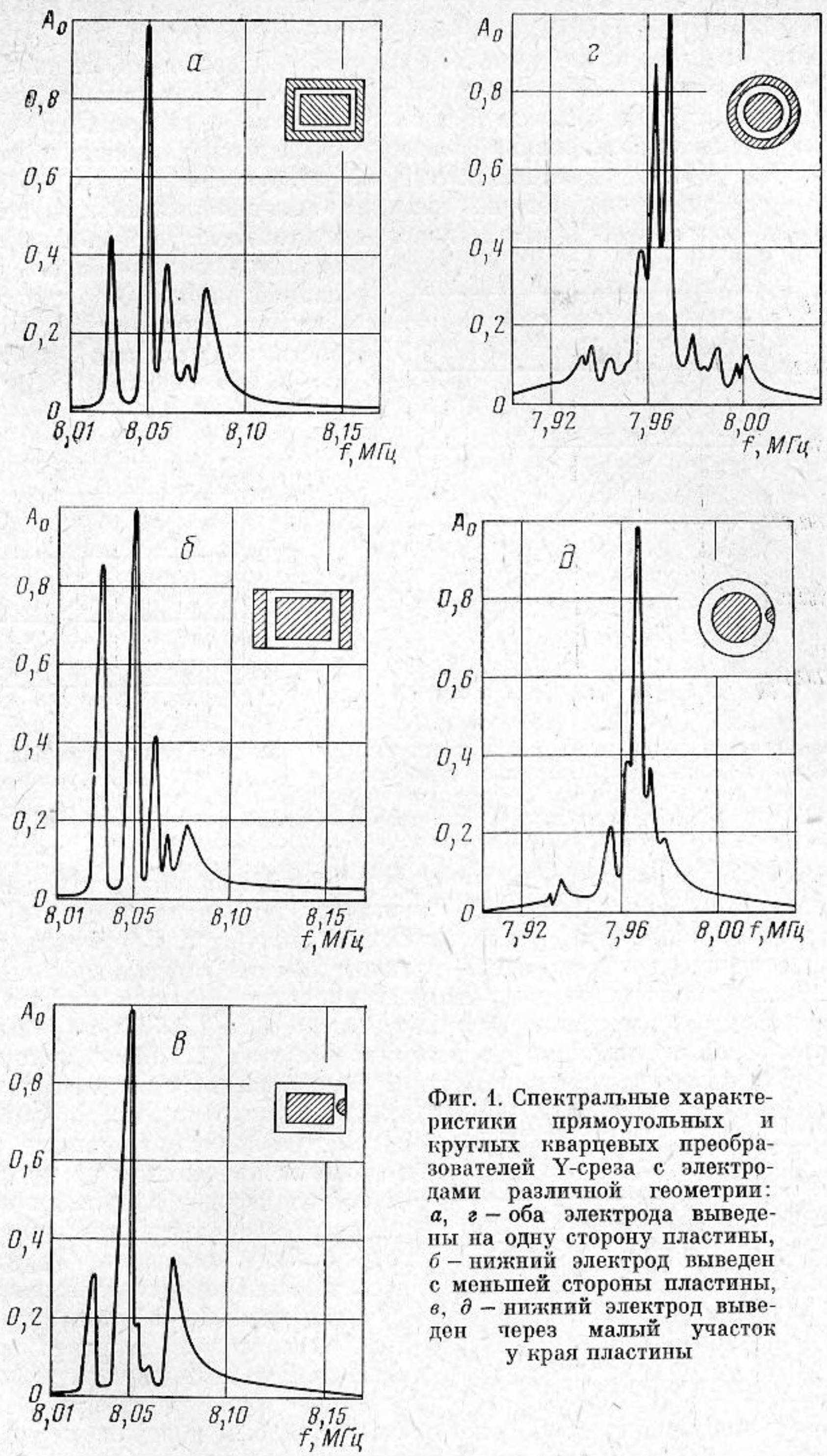
Как показывают теоретические исследования, спектр колебаний пьезопластины конечных размеров достаточно сложен [3, 4]. Наряду с основным резонансом колебаний по толщине появляются дополнительные, обусловленные толщинно-сдвиговыми, изгибными и крутильными колебаниями пластинки и их обертонами. Характер спектра в этом случае существенно зависит от анизотропии, формы и размеров самой пьезопластины, а также формы и размеров нанесенных на нее электродов.

Так как рассчитать весь спектр реальных пьезопреобразователей ввиду приближенности теории невозможно, представлялось интересным выполнить экспериментальные исследования спектра колебаний свободных кварцевых пластин X- и Y-срезов в зависимости от геометрии нанесенных на них электродов.

Измерения проводились с помощью установки, основанной на мостовом методе, запись осуществлялась самописцем ПДС-02 1М. В качестве держателя пьезопластины использовались две гибкие тонкие латунные полосы, обеспечивающие точечный контакт с постоянной силой прижима. Пластина при этом располагалась вертикально.

На пьезопластине, покрытой серебром, путем химического травления последовательно создавались электроды различной формы. Во всех случаях нижний электрод покрывал пьезопреобразователь полностью; при измерениях этот электрод заземлялся. Площадь центрального верхнего электрода составляла примерно 50% от площади пластины. Спектральные характеристики прямоугольных* (площадью 10×12 *мм*^{2}) и круглых

* Прямоугольные пластины Y-среза имели ось X, направленную вдоль большей стороны.



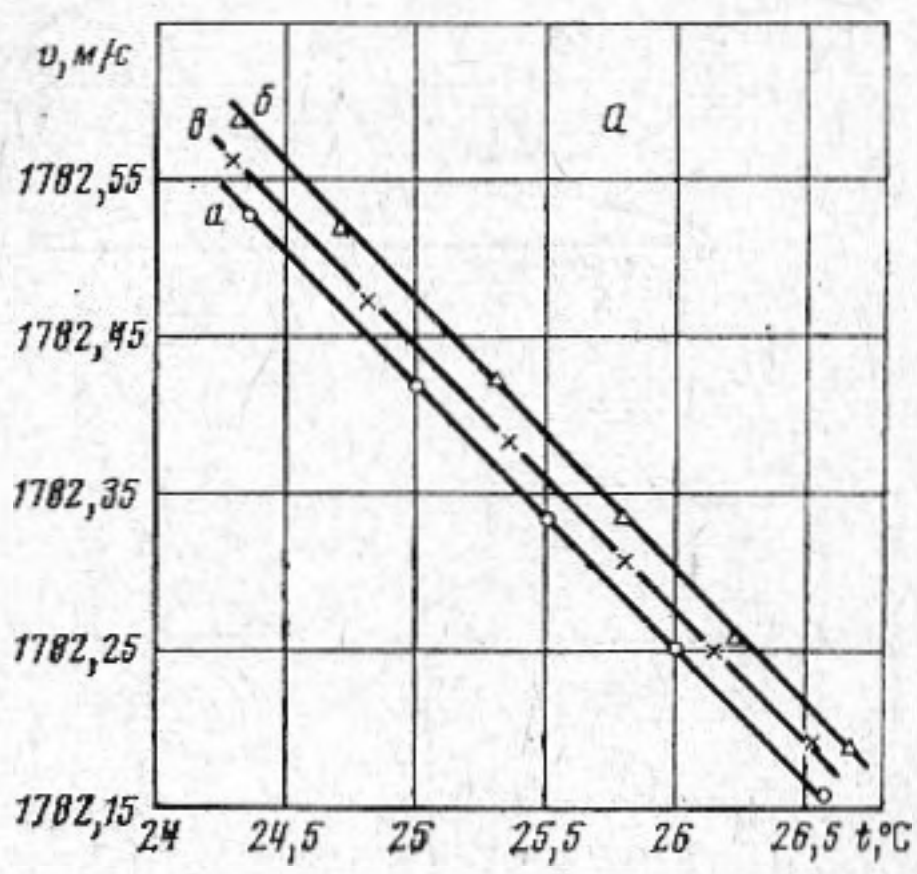
Фиг. 1. Спектральные характеристики прямоугольных и круглых кварцевых преобразователей Y-среза с электродами различной геометрии: *а*, *г* – оба электрода выведены на одну сторону пластины, *б* – нижний электрод выведен с меньшей стороны пластины, *в*, *д* – нижний электрод выведен через малый участок у края пластины

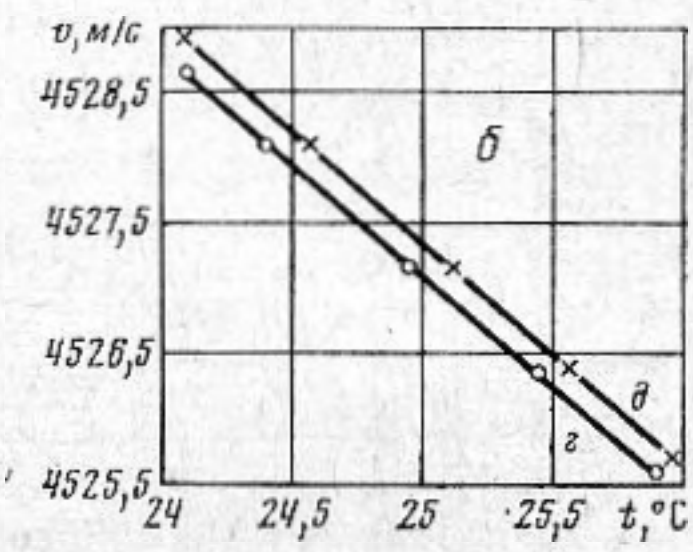
(диаметром 12 *мм*) кварцевых преобразователей Y-среза с электродами разной геометрии представлены на фиг. 1. Там же показаны формы нанесенных электродов. По оси ординат отложена относительная амплитуда колебаний A_0, за единицу принята амплитуда основного резонанса колебаний по толщине.

Видно, что форма и размеры электродов существенно влияют на спектр колебаний преобразователей, что выражается в изменении ампли-

туды побочных резонансов, которые могут быть сравнимы с амплитудой основного, а резонансные частоты отличаются от основной незначительно. Наименьшая по величине амплитуда побочных резонансов соответствует пьезопластине с ленточными электродами и свободными краями, а также случаям, когда нижний электрод выводится на верхнюю сторону через малый участок у края пластины (см. фиг. 1, *в*, *д*).

Экспериментальная проверка влияния немоночастотности преобразователей на точность измерений скорости ультразвука проводилась на совершенных кристаллах KCl в направлении [100] импульсно-фазовым методом [5]. Погрешность абсолютных измерений скорости составляла $5 \cdot 10^{-5}$.





Фиг. 2. Температурная зависимость скорости ультразвука в кристалле KCl, измеренная при помощи пьезокварцевых преобразователей с различной формой электродов: *а* – поперечные волны, *б* – продольные волны. Буквы на кривых соответствуют геометрии электродов, представленных на фиг. 1

Кварцевый преобразователь с определенной формой электродов приклеивался к образцу с помощью салола, что позволяло создавать достаточно тонкий контактный слой постоянной толщины. Снимались температурные зависимости скоростей распространения продольной* и поперечной волн в интервале комнатных температур. Каждая точка кривой измерялась после выдержки образца размером 2,5×2,7×3,0 *см*³ в течение часа при заданной температуре в термостате типа ТС-16 с дополнительным электронным блоком управления. Погрешность поддержания температуры была не хуже ±0,03° С. Далее, без отклеивания преобразователя, путем травления изменялась форма и размеры нанесенных на преобразователь электродов и проводились повторные измерения температурных зависимостей скорости. Результаты исследований представлены на фиг. 2.

Форма электродов на пьезопреобразователе (согласно фиг. 1)	*α*, *дб/мкс*	
	поперечные волны *f*=8 *Мгц*	продольные волны *f*=12 *Мгц*
а, *г*	0,0142	0,044
б	0,0160	–
в, *д*	0,0120	0.037

Аналогичным образом проводились исследования влияния немоночастотности кварцевых преобразователей на точность измерений коэффициента поглощения α. В основу измерений был положен метод, основанный на сравнении огибающей последовательности эхо-сигналов с эталонным напряжением экспоненциальной формы [6]. Погрешность измерений коэффициента поглощения составляла ~5%. Результаты экспериментов приведены в таблице.

Из приведенных данных видно, что изменение формы электродов на пьезопреобразователе (и, следовательно, спектра его колебаний) оказы-

* Для измерения скорости и затухания продольных волн использовались круглые кварцевые преобразователи X-среза диаметром 12 *мм*.

вает существенное влияние на измеряемые величины скорости и затухания ультразвуковых волн. Для скорости различие составляет 0,1—0,2 *м/с*, что соответствует 20—30% от общей погрешности, а изменение величины коэффициента поглощения достигает 30% от наименьшего его значения. Уменьшение площади верхнего электрода не сказывалось на результатах измерений. Аналогичные данные получаются и при измерениях на более высоких частотах с использованием гармоник кварцевого преобразователя. Наиболее достоверные результаты получаются при работе с пьезопреобразователями, электроды у которых выполнены в виде полосы (пятна) и в случае, когда нижний электрод выводится на верхнюю сторону через малый участок у края пластины (при нагрузке на непроводящие образцы). В тех случаях, когда амплитуда дополнительных резонансов сравнима с амплитудой основного колебания, пьезопреобразователь оказывается непригодным для прецизионных измерений.

Полученные результаты физически можно объяснить следующим образом. При возбуждении реального немоночастотного кварцевого преобразователя формируется неоднородное акустическое поле со сложной амплитудной и фазовой характеристиками. При этом степень неоднородности создаваемого поля определяется интенсивностью побочных резонансов и взаимодействием основного колебания с дополнительными, а следовательно, зависит от геометрии электродов, расположенных на поверхности преобразователя. Поскольку приемный преобразователь реагирует на усредненное звуковое давление, то величина и фаза электрического сигнала существенно зависят от распределения фаз смещений вдоль поверхности преобразователя, создаваемых падающей волной, т. е. от неоднородности акустического поля. Это и приводит к дополнительным погрешностям при измерениях скорости и затухания ультразвука.

Полученные результаты представляют принципиальный интерес при проработке вопросов оптимального ультразвукового контроля акустических характеристик монокристаллов, а также при проведении экспериментальных исследований в акустике твердого тела и в других областях, где требуется получение наиболее достоверной информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *А. Е. Колесников.* Ультразвуковые измерения. М., «Стандарты», 1970.
2. *Л. Г. Меркулов, В. А. Третьяков.* К вопросу о предельной точности измерения скорости ультразвука импульсно-фазовым методом. Акуст. ж., 1974, *20*, 4, 596—601.
3. *R. D. Mindlin.* Simple modes of vibration of crystals. J. Appl. Phys. 1956, *27*, 12, 1462—1464.
4. *P. C. Lee, W. J. Spenser.* Shear-flexure-twist vibrations in rectangular AT-cut quartz plates with partial electrodes. J. Acoust. Soc. America, 1969, *45*, 3, 637—639.
5. *В. Е. Иванов, Л. Г. Меркулов, В. А. Щукин.* Метод прецизионного измерения скорости ультразвука в твердых телах. Ультразвуковая техника, 1965, 2, 3—12.
6. *Р. Труэлл, Ч. Эльбаум, Б. Чик.* Ультразвуковые методы в физике твердого тела, М., «Мир», 1972.

Таганрогский радиотехнический институт
им. В. Д. Калмыкова

Поступила
18 марта 1975 г.