

# Некоторые результаты экспериментальных исследований по совершенствованию изделий пьезотехники

**Данная статья открывает цикл публикаций, посвященных пьезоэлектронным изделиям (кварцевые резонаторы, микрорезонаторы, новые типы широкополосных фильтров, пьезоэлектрические генераторы и др.), разрабатываемым и производимым московской группой предприятий пьезоэлектроники.**

**Андрей Мацак**

(095) 963 26 63

Семь предприятий пьезоэлектроники («Пьезо», «Фомос-технолоджи», «Микросистема», «БМГ-кварц», «БМГ-плюс», «Пьезотрон», «Камертон-М») объединили свои усилия с целью сохранения производственного и научного потенциала, возможности участия в международных выставках, конференциях, организациях.

Несмотря на серьезные экономические трудности, на предприятиях группы «Пьезо» производились за счет собственных средств работы, направленные на совершенствование конструкций и технологий в производстве пьезоэлектронных изделий. Результаты этих исследований позволили создать экспериментальные образцы новых типов пьезоэлектрических резонаторов, микрогенераторов, монолитных фильтров. Параметры созданных изделий соответствуют, а в некоторых случаях и превышают современный мировой уровень. Это позволило нашим предприятиям повысить конкурентоспособность производства и в несколько раз увеличить объемы реализации. Высокий технический уровень созданных экспериментальных образцов обеспечил их применение не только в аппаратуре народнохозяйственного назначения, но и в приборах, устройствах и оборудовании спецтехники. Они используются более чем на 40 предприятиях России.

Основными направлениями в совершенствовании наших изделий явились:

- микроминиатюризация;
- повышение надежности;
- совершенствование параметров и эксплуатационных характеристик, а также их воспроизводимости;
- снижение себестоимости.

Одним из важных направлений деятельности в решении этих задач явилась разработка критериев отбора монокристаллов, технологических и конструктивных материалов, комплектующих деталей [1].

Для высокостабильных и высокочастотных устройств пьезоэлектроники используются кристаллические элементы из высококачественного электро-

очищенного кварца. С целью обеспечения разработок и производства новых типов широкополосных фильтров и управляемых по частоте генераторов были проведены исследования по созданию технологии выращивания высококачественных монокристаллов лангасита и танталата лития [2, 3].

Разработка и усовершенствование ряда технологических операций позволила нам повысить температурную и долговременную стабилизацию частоты кварцевых резонаторов в диапазоне от 3,5 до 150 МГц в стандартных корпусах миниатюрной серии (МД-ОСТ 11338.810-81) [4, 5]. Введенный на предприятии процесс абразивной резки ленточными пилами обеспечивает получение кристаллических заготовок с точностью операции не хуже  $\pm 1'$ , что, в свою очередь, позволяет нам получать резонаторы с пьезоэлементами среза АТ, обладающими температурной стабильностью не хуже  $\pm 5 \times 10^{-6}$  в интервале температур  $-10...+60$  °С. Использование высококачественных абразивных материалов, применение высокопроизводительных и надежных методов настройки и герметизации позволило снизить долговременную нестабильность частоты резонаторов до  $\pm (1-3) \times 10^{-6}$  в год.

Резонаторы в стандартных корпусах имеют объем порядка  $0,7 \text{ см}^3$ . Применение микроминиатюрных корпусов серии ММ[4] или СИ 04 (А, В, С, Д) [5] позволяет снизить объем резонатора до  $0,17-0,076 \text{ мм}$ . Экспериментальные образцы резонаторов на частоты 25–350 МГц, изготовленные на нашем предприятии, имеют объем  $0,02-0,01 \text{ см}^3$ .

Проведенными исследованиями зависимости электрических параметров и эксплуатационных характеристик пьезоэлектрических резонаторов и фильтров от геометрических форм и размеров кристаллических элементов и электродов установлены возможности не только миниатюризации этих изделий, но и пути их совершенствования по стабильности и воспроизводимости, новые возможности вариации любых параметров.

В основном исследовались вибраторы в форме брусков, полосок и обратных меза-структур (ОМС). Установлена возможность изготовления миниатюрных и малогабаритных резонаторов в современных [5] стандартных корпусах на частоты 15 кГц – 1000 МГц. Мы готовы принять к разработке такие резонаторы.

Особый интерес представляют пьезоэлектрические резонаторы на объемных акустических волнах толщинного сдвига с возбуждением на основной частоте, поскольку они обладают небольшим динамическим сопротивлением и широким резонансным промехотком, обеспечивающим возможность перестройки частоты генератора или создания широкополосных фильтров. Наше предприятие является единственным в России, на котором разработан и используется в производстве высокопроизводительный процесс жидкостного химического фрезерования кристаллических элементов в форме ОМС [6].

В области частот 3,5–30 МГц перспективны микрорезонаторы с полосковыми кристаллическими элементами. Они обладают повышенной механической прочностью, высокой технологической и эксплуатационной надежностью, хорошей воспроизводимостью основных параметров и характеристик [7, 8]. Объем такого резонатора не превышает 0,25 см<sup>3</sup>.

На частоты от 15 до 3500 кГц могут быть изготовлены резонаторы с пьезоэлементом в форме бруска, в котором можно возбуждать колебания изгиба, кручения, продольные, контурного и толщинного сдвига в зависимости от требуемой частоты. За последние 10 лет на предприятиях группы «Пьезо» создана большая теоретическая и экспериментальная база для проектирования и производства малогабаритных и миниатюрных пьезоэлектрических монолитных фильтров на основе объемных акустических волн из монокристаллов кварца, танталата лития и лангасита. Монолитные фильтры обладают следующими преимуществами по сравнению с фильтрами навесного монтажа:

- высокая надежность;
- меньшие габариты и вес;
- высокая технологичность (малооперационная и групповая технология);
- более низкая трудоемкость и себестоимость.

Сегодня нами выпускается более 50 типоразмеров монолитных фильтров в диапазоне частот 1,9–93,5 МГц. Они отличаются объ-

емами корпуса (от 0,1 до 1,5 см<sup>3</sup>), относительной шириной полосы пропускания (от  $1 \times 10^{-4}$  до  $2 \times 10^{-2}$ ), порядком фильтра (от 2 до 10), диапазоном рабочих температур, затуханием в побочных полосах пропускания, максимальным затуханием в полосе задерживания, коэффициентом прямоугольности и другими параметрами.

Более 40 предприятий России и других стран используют при проектировании и производстве своей радиоэлектронной аппаратуры наши фильтры.

Пьезоэлектрические генераторы, разработанные предприятиями группы «Пьезо», применяются в переносной радиосвязной аппаратуре, видеокамерах, устройствах цифровой передачи данных, низовой радиосвязи, приборах и устройствах вычислительной техники, охранной сигнализации, синтезаторах речи, микропроцессорной технике, в телекоммуникационном и навигационном оборудовании и многих других областях науки и техники. При их изготовлении используется современная технология и оборудование, новейшая база и методы тестирования, отвечающие требованиям международных стандартов. Используемые корпуса (в основном типа DIP-14) соответствуют стандартам МЭК. Наши предприятия выпускают пьезоэлектрические генераторы трех классов:

- простые (ПГ);
- управляемые напряжением (УНПГ);
- термокомпенсационные (ТКПГ).

Диапазон частот разрабатываемых и изготавливаемых нами генераторов составляет (0,02–600 МГц); пределы перестройки  $(\pm 80 \dots \pm 300) \times 10^{-6}$  °C; температурная стабильность  $(\pm 0,5 \dots \pm 8) \times 10^{-6}$  °C — в зависимости от типа генератора и рабочего интервала температур. Наши предприятия сегодня выпускают более 20 типов генераторов трех перечисленных выше классов, которые применяются практически 35 предприятиями России. По температурной и эксплуатационной стабильности, старению, линейности модуляционной характеристики наши генераторы соответствуют требованиям международных стандартов [9].

В последующие годы самыми высокими темпами развивается рынок высокочастотных резонаторов и генераторов для связной аппаратуры (особенно в аппаратах абонентов), а также в микропроцессорных СБИС, в которых они служат источниками тактовой частоты. Этот рынок сбыта резонаторов и генера-

торов становится достаточно стабильным. Однако для успешного функционирования производства необходимо обеспечить решение следующих проблем:

- развитие прикладных и фундаментальных исследований, направленных на создание новых материалов, микроминиатюрных и высокостабильных пьезоэлектрических резонаторов, фильтров и генераторов;
- опережающий рост объема производства высококачественных монокристаллов кварца, лангасита, танталата лития;
- совершенствование существующих технологий, оборудования и контрольно-измерительной техники;
- подготовка высококвалифицированных научных кадров, инженеров и операторов.

Достижению перечисленных выше успехов способствовала эффективная работа научного коллектива, насчитывающего более 40 сотрудников, в том числе 8 кандидатов и докторов наук. Научные труды сотрудников группы предприятий «Пьезо» широко известны российским и зарубежным специалистам: более 200 работ опубликовано ими в отечественных изданиях и около 50 докладов сделано на международных конференциях. Мы тесно сотрудничаем с Международной электротехнической комиссией: два наших специалиста работают в международных экспертных группах (Грузиненко В. Б. — в рабочей группе «Пьезоэлектрические резонаторы», Медведев А. В. — в рабочей группе «Пьезоэлектрические материалы»).

## Литература:

1. Мацак А. Н., Сергеев Н. Е. Проблемы совершенствования системы контроля качества продукции пьезотехники. Труды конференции «Пьезо-2000». М., 2000.
2. Медведев А. В. Лангасит — перспективная новинка в семействе пьезоэлектрических материалов. «Наука и технологии в промышленности», № 2. М., 2000.
3. Сахаров С. А. и др. «Пьезоэлемент», пат. России № 2073952 от 27.04.95.
4. Отраслевой стандарт ОСТ 113338.810-81.
5. ИЕС-49/60 122-3. Кварцевые резонаторы.
6. Каландадзе Д. И. Выпуск кварцевых резонаторов нового поколения. «Наука и технологии в промышленности» № 2. М., 2000.
7. Мацак А. Н., Грузиненко В. Б., Каландадзе Д. И. Миниатюрные резонаторы с полосковыми пьезоэлементами. Труды конференции «Пьезо-2000». М., 2000.
8. ИЕС — 49/60 679-1. Генераторы кварцевые.
9. Павлик В. Я. Управляемые кварцевые генераторы. Труды конференции «Пьезо-2000», М., 2000.