



УДК 621.37

Н. В. Батрамеев, С. П. Курочка, П. П. Миленин, С. И. Дзыба

Разработка ударопрочного кварцевого резонатора в стандартном микроминиатюрном корпусе типа УМ-1

Исследованы конструкционные особенности кварцевых резонаторов. Разработаны новые технологии, с применением которых были изготовлены кварцевые резонаторы в стандартном микроминиатюрном корпусе типа УМ-1, способные выдерживать повышенные механические нагрузки. По результатам испытаний установлено, что такие резонаторы могут выдерживать три одиночных удара с пиковым ударным ускорением 150 000, 200 000 и 250 000 м/с² и длительностью действия 0,1...0,5 мс в трех направлениях.

Ключевые слова: ударопрочный кварцевый резонатор, механический удар, температурно-частотная характеристика, амплитудно-частотная характеристика, моночастотность.

Современная военная и специальная техника, начиная с командных модулей и радиосвязи низового звена, заканчивая элементами авиационной и космической бортовой аппаратуры, работает в условиях экстремальных механических нагрузок. Сохранение работоспособности радиоэлектронных устройств под воздействием транспортных вибраций, механических и акустических ударов является одной из приоритетных задач при разработке радиоэлектронной аппаратуры специального назначения. Особые требования предъявляют к механической прочности и устойчивости электронных модулей и устройств, являющихся частью современных боеприпасов. Для обеспечения надежного срабатывания таких устройств используемые комплектующие изделия межотраслевого применения в целом и кварцевые резонаторы в частности должны иметь существенный запас механической прочности и устойчивости.

В настоящее время стойкость к удару одиночного действия с пиковым ускорением 50 000 м/с² и длительностью действия 0,1...0,3 мс имеют резонаторы на частоты от 10 до 20 МГц с максимальным относительным изменением рабочей частоты $\pm 75 \cdot 10^{-6}$ в интервале рабочих температур от -60 до $+85$ °С [1]. К разрабатываемым современным и перспективным типам радиоэлектронной аппаратуры выдвигают требования увеличить стойкость резонаторов к механическим воздействиям и стабильность частоты в интервале рабочих температур. Данные требования были выполнены с помощью

новых конструктивных решений и технологий изготовления кварцевых резонаторов.

Целью исследования являлась разработка кварцевых резонаторов в стандартном микроминиатюрном корпусе типа УМ-1 на частоты от 10 до 15 МГц с увеличенным механическим ударом до 200 000 м/с², длительностью действия 0,1...0,5 мс и максимальным относительным изменением рабочей частоты $\pm 30 \cdot 10^{-6}$ в интервале рабочих температур от -60 до $+120$ °С.

По результатам проведенных исследований влияния повышенных механических нагрузок на кварцевые резонаторы можно выделить основные причины отказов кварцевых резонаторов: дефекты кварцевого сырья, способы обработки поверхности кварцевого кристаллического элемента, механические параметры клея, элементы конструкции.

В процессе работы были отобраны кристаллы с увеличенной добротностью для изготовления кварцевых резонаторов, способных выдерживать повышенные механические нагрузки. Метод оценки качества кристаллов кварца базируется на прямом измерении добротности кристаллических элементов АТ-среза диаметром 14 мм, имеющих форму плосковыпуклой линзы с радиусом сферы $R = 50$ мм на частоте 5 МГц ($n = 5$) или двояковыпуклой линзы с $R = 30$ мм на основной частоте 1 МГц ($n = 1$) и изготовленных из представительного кристалла одного промышленного съема [2]. Добротность материала – основной показатель качества выращенного кристалла.

Наличие дислокаций в кристалле и других дефектов кварца в процессе работы оценивали с помощью метода химического травления



кристаллических элементов, в результате которого на поверхности кристалла под действием травителя (в данном случае – насыщенного раствора фтористого аммония NH_4F) появляются ямки травления. Были выбраны образцы кристаллов с плотностью ямок травления менее 20 на см^2 . Малое количество дислокаций обуславливает высокую прочность кристаллических элементов. Достигнутый сегодня уровень химической чистоты и структурного совершенства выращиваемых высококачественных монокристаллов кварца [3] обеспечивает высокую добротность ($Q_{ir} > 2,5 \cdot 10^6$), низкое сопротивление, воспроизводимость параметров и характеристик, возможность миниатюризации с сохранением высокой стабильности частоты и параметров кварцевых резонаторов и устройств на их основе, отвечающих высоким эксплуатационным требованиям к механическим, климатическим и радиационным воздействиям.

Интенсивные механические воздействия на кварцевые резонаторы могут вызвать отрыв клеевого соединения. Наиболее слабым местом является точка крепления кристаллического элемента к металлическому кварцедержателю [4]. После испытаний кварцевых резонаторов, изготовленных по стандартной конструкторской и технологической документации, на механический удар в $200\,000 \text{ м/с}^2$ с длительностью действия $0,1 \dots 0,5 \text{ мс}$, наблюдалось разрушение кристаллического элемента именно в этой области, а если крепление

не обрывалось, то возникала остаточная деформация элементов крепления (изменение формы пятна клея), вызывающая увеличение затухания и необратимые изменения частоты.

Для устранения причин, влияющих на работоспособность кварцевого резонатора в процессе и после испытаний на механический удар в $200\,000 \text{ м/с}^2$ с длительностью действия $0,1 \dots 0,5 \text{ мс}$, в технологию изготовления кварцевых резонаторов был внедрен модернизированный клей ЭПЭ на силиконовой основе с повышенными упругими свойствами по сравнению со стандартным клеем ТОК 2, и изменена ориентация кристаллического элемента в кварцедержателе. Для удаления нарушенных слоев и снижения потенциальных центров трещинообразования, поверхность кварцевого кристаллического элемента подвергалась обработке полирующим травителем на глубину 2 мкм, а также для создания буферного слоя между кварцевым элементом и крышкой резонатора была помещена фторопластовая прокладка.

В процессе испытаний были произведены три одиночных удара с силой 150 000, 200 000 и 250 000 м/с^2 и длительностью действия $0,1 \dots 0,5 \text{ мс}$ в трех направлениях. После проведения испытаний у кварцевых резонаторов, изготовленных с применением новых технологий, были измерены их электрические параметры. Изменение частоты и сопротивления кварцевых резонаторов в корпусе УМ-1 на частоту 10 МГц до и после испытания приведены в таблице.

Изменение частоты и сопротивления кварцевых резонаторов в корпусе УМ-1 на частоту 10 МГц до и после испытания при температуре $+60 \text{ }^\circ\text{C}$

№ изделия	Вид испытания					
	Измерения до испытаний		Испытания на воздействие ударов одиночного действия не более $\pm 10 \cdot 10^{-6}$			
	$F_{\text{раб}}$, Гц	R , Ом	$F_{\text{раб}}$, Гц	$\Delta f / F \cdot 10^{-6}$	R , Ом	ΔR , Ом
4554	9999812	12,3	9999812	0	12,7	0,4
4555	9999764	12,1	9999767	0,3	12,2	0,1
4556	9999893	15,4	9999896	0,3	15,4	0
4557	9999807	14,5	9999804	-0,3	14,7	0,2
4558	9999848	12,8	9999851	0,3	13,0	0,2
4559	9999790	12,8	9999793	0,3	12,8	0
4560	9999843	12,2	9999852	0,9	12,5	0,3
4561	9999803	14,1	9999811	0,8	13,8	-0,3
4562	9999878	13,3	9999873	-0,5	13,3	0
4563	9999793	14,9	9999805	1,2	15,3	0,4



Как видно из таблицы, все десять экспериментальных образцов выдержали воздействие трех одиночных ударов с силой 150 000, 200 000, 250 000 м/с² и длительностью действия 0,1...0,5 мс в трех направлениях.

На рис. 1 представлен график температурно-частотной характеристики (ТЧХ) кварцевого резонатора № 4563 на частоту 10 МГц, изготовленного с применением новых технологий, до и после воздействия перечисленных выше испытаний. Характер кривой и гладкость

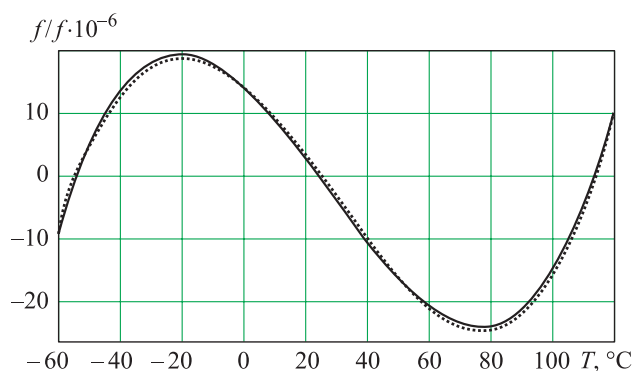


Рис. 1. ТЧХ ударопрочного резонатора в корпусе УМ-1 на частоту 10 МГц до и после испытаний: — до испытаний; — — после испытаний

ТЧХ практически не изменились, следовательно, их воздействие не повлияло на частотозадающие параметры кварцевого резонатора (см. рис. 1). После вскрытия резонатора не было обнаружено конструктивных изменений.

На рис. 2 приведен график амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) кварцевого резонатора № 4563 на частоту 10 МГц, изготовленного с применением новых технологий, после воздействия испытаний. На рисунке показано, что интенсивность побочных резонансов не оказывает влияния на рабочий резонанс, следовательно, испытания не воздействуют на моночастотность резонатора.

С применением новых технологий и конструктивных решений при изготовлении кварцевых резонаторов в стандартном микроминиатюрном корпусе типа УМ-1 на частоты

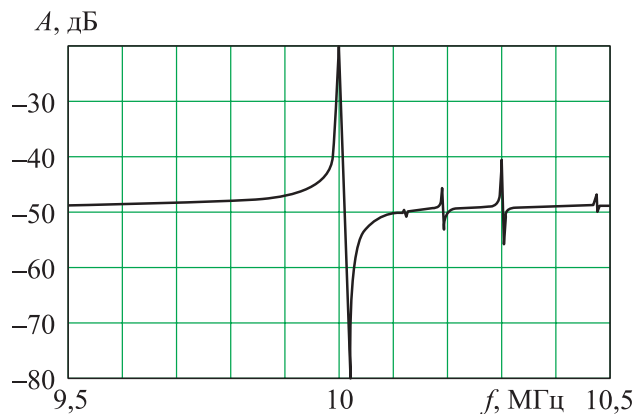


Рис. 2. АЧХ кварцевого резонатора после воздействия испытаний

от 10 до 15 МГц были выпущены ударопрочные кварцевые резонаторы, которые способны выдержать механический удар одиночного действия с пиковым ускорением до 200 000 м/с² и длительностью действия 0,1...0,5 мс и обеспечить максимальное относительное изменение рабочей частоты $\pm 30 \cdot 10^{-6}$ в интервале рабочих температур от -60 до $+120$ °С, используемых для изготовления устройств и комплексов для эксплуатации в экстремальных условиях.

Список литературы

1. Резонаторы пьезоэлектрические кварцевые РК319 вакуумные механически прочные // ОАО «ЛИТ-ФОНОН». URL: <http://www.lit-phonon.ru/downloads/RK319.pdf> (дата обращения 05.12.2016).
2. Мостяев В. А., Дюжиков В. И. Технология пьезо- и акустоэлектронных устройств. М.: Ягуар, 1993. 280 с.
3. Возможности послеростового обогащения синтетического кварца / Н. И. Коновалов и др. // Новые промышленные технологии. 2007. № 6. С. 25–29.
4. Пьезоэлектрические резонаторы. Справочник / В. Г. Андросова и др.; под ред. П. Е. Кандыбы, П. Г. Позднякова. М.: Радио и связь, 1992. 392 с.

Поступила 16.12.16

Батрамеев Николай Владимирович – аспирант Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» института новых материалов и нанотехнологий, заместитель генерального директора по коммерческим вопросам ОАО «Пьезо», г. Москва.

Область научных интересов – технология пьезо- и акустоэлектронных устройств.



Курочка Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии материалов электроники Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» института новых материалов и нанотехнологий, г. Москва.

Область научных интересов: силовая полупроводниковая электроника, технология пьезо- и акустоэлектронных устройств.

Миленин Павел Павлович – кандидат технических наук, главный конструктор ОАО «Пьезо».

Область научных интересов: технология пьезо- и акустоэлектронных устройств.

Дзыба Сергей Иванович – окончил Московский химико-технологический институт им. Д. И. Менделеева, начальник бюро новых разработок ОАО «Пьезо», г. Москва.

Область научных интересов: технология пьезо- и акустоэлектронных устройств.

Development of impact-resistant quartz-crystal resonator in a standard micro-miniature UM-1 type package

We studied the structural characteristics of quartz-crystal resonators. Furthermore, we developed new technologies and used them in manufacturing the quartz-crystal resonators in a standard micro-miniature UM-1 type package, capable of withstanding high mechanical loads. Findings of the experiments show that these resonators can withstand three single strokes with shock acceleration peak value of 150 000, 200 000 and 250 000 m/s² and duration of the action of 0.1...0.5 ms in three directions.

Keywords: shockproof quartz-crystal resonator, mechanical shock, temperature and frequency response, frequency response, monofrequency.

Batrameev Nikolay Vladimirovich – post-graduate student of the National University of Science and Technology MISiS, Deputy General Director for Commerce at JSC Piezo, Moscow.

Science research interests: piezo- and acousto-electronic devices technology.

Kurochka Sergey Petrovich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Electronic Materials Technology, the National University of Science and Technology MISiS, Moscow.

Science research interests: power semiconductor electronics, piezo- and acousto-electronic devices technology.

Milenin Pavel Pavlovich – Candidate of Engineering Sciences, chief designer of JSC Piezo.

Science research interests: piezo- and acousto-electronic devices technology.

Dzyba Sergey Ivanovich – graduated from Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Head of the Bureau of new developments at JSC Piezo, Moscow.

Science research interests: piezo- and acousto-electronic devices technology.