

РЕЗОНАТОРЫ ДЛЯ ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫХ МИКРОГЕНЕРАТОРОВ – ПРОДУКЦИЯ КОМПАНИИ "ПЬЕЗО"



Производство резонаторов для высокостабильных микрогенераторов – сложный процесс, требующий применения современных технологий и тщательного контроля качества выпускаемой продукции. Предприятие "Пьезо" сумело разработать и внедрить технологии, которые позволили наладить производство микроминиатюрных высокочастотных резонаторов с характеристиками, не уступающими зарубежным аналогам.

Резонаторы, применяемые в современных микрогенераторах, должны отвечать целому ряду требований. Для того чтобы удовлетворить этим требованиям, специалисты компании "Пьезо" провели комплекс исследований влияния свойств конструкционных материалов, технологических процессов и оборудования на параметры микрорезонаторов [1, 2]. Посмотрим, каковы основные требования к параметрам резонаторов и какие технологические решения используются в компании "Пьезо" для того, чтобы обеспечить производство резонаторов с необходимыми характеристиками.

Одно из главных требований к микрорезонаторам – воспроизводимость их температурно-частотных характеристик. Это условие особенно важно при использовании микрорезонаторов в схемах микрогенераторов с термокомпенсацией частоты. Для получения хороших температурно-частотных характеристик нужно обеспечить изготовление резонаторов из монокристалла кварца с минимальными концентрациями примесей, дислокаций, микродвойников и других дефектов. При этом необходимо точное (не хуже $\pm 30''$) исполнение заданного в документации угла среза кристаллического элемента и эксплуатация таких резонаторов при пониженных уровнях возбуждения (мощности, подаваемой на кварцевый резонатор), чтобы исключить искажение температурно-частотной характеристики [3]. Стабильность термостатированного генератора, в котором используются микрорезонаторы, зависит также от скорости изменения температуры термостата: высокая скорость изменения температуры приводит к снижению стабильности частоты.

Для обеспечения воспроизводимости параметров и характеристик резонаторов на предприятии "Пьезо" при вход-

П. Миленин, С.Сердюков, В.Грузиненко, д.т.н.
niitp@bk.ru

ном контроле качества поступивших монокристаллов производится стопроцентная оценка их добротности одним из двух методов: по геометрическим размерам (соотношениям скоростей роста в направлениях осей Z и X) и методом инфракрасного поглощения.

Кроме того, проводится визуальная оценка плотностей инородных включений и дислокаций. С этой целью участок входного контроля оснащается современными средствами оптических и линейных измерений.

Качество монокристаллов, используемых при изготовлении резонаторов, оценивается с точки зрения соответствия требованиям международного стандарта IEC 758. В производство допускаются монокристаллы кварца, добротность которых не менее $2,3 \cdot 10^6$.

Наряду с точностью кристаллографической ориентации, совершенством структуры, отсутствием дефектов и примесей важную роль в достижении высоких параметров резонаторов играет совершенство финишной обработки поверхности кристаллического элемента, а также наличие микронных и субмикронных допусков на частотоопределяющий размер (толщину). Клиновидность пластин не должна превышать $\pm 0,5\%$ толщины, неплоскостность должна быть не более 1 мкм, прогиб пластины – не более 1,5 мкм, шероховатость рабочих поверхностей (высота микронеровностей) – не более 0,1 мкм. Необходимо также обеспечить точность ориентации кристаллического элемента, которая влияет на изменение частоты, динамического сопротивления и добротности в рабочем интервале температур. Остаточные напряжения и деформации кристалла вызывают временную нестабильность частоты и параметров резонаторов, повышают динамическое сопротивление, снижают качество резонатора.

Существенно повысить стабильность частоты резонаторов удалось за счет постоянного анализа технологии завода "Пьезо", уменьшения глубины нарушенных слоев в процессах резки, шлифовки и полировки кристаллических элементов. Были разработаны технологические процессы (режимы тепловой обработки) и рекомендованы в производство абразивные материалы и химические ве-



щества (растворы), которые позволяют значительно сократить глубину нарушенных слоев и число зон с повышенной плотностью дислокаций и напряжений.

Большое влияние на стабильность частоты, основные параметры и характеристики резонаторов (особенно высокочастотных) оказывают материалы и технологические режимы нанесения электродных покрытий на пьезоэлемент [4]. И здесь основные требования – стабильность и воспроизводимость свойств наносимых металлических пленок. Эти характеристики определяются в первую очередь коррозионной стойкостью и адгезией пленки с кварцевым кристаллическим элементом. С этой точки зрения наиболее предпочтительны пленки из золота, меди, серебра и алюминия. Последние обычно применяются на частотах выше 150 МГц. Алюминиевые пленки позволяют существенно уменьшить припуск под металлизацию и сохранить при этом высокую проводимость электродного покрытия. Это обеспечивает высокую добротность и малое динамическое сопротивление резонаторов, а также улучшает их токовые характеристики. При строгом соблюдении технологий металлизации кристаллического элемента, исключая внутреннюю коррозию пленки, толщина покрытия в 800 Å обеспечивает необходимую объемную проводимость. Возникающие на поверхностях электродного покрытия тонкие пленки Al_2O_3 имеют в 3–5 раз более высокую скорость травления, чем пленки Al (20–50 Å/min), что упрощает настройку частоты резонатора в процессе производс-

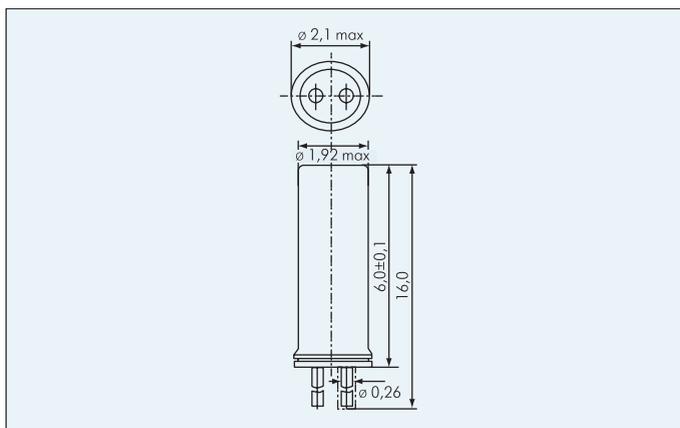


Рис.2. Резонатор PK453 в корпусе AA

тва. Высокая скорость напыления и стабильность электродного покрытия достигаются путем магнетронного распыления мишени, изготовленной из химически чистого алюминия. На частотах ниже 150 МГц в качестве электродного покрытия обычно используют пленки из химически чистого серебра, получаемого магнетронным распылением мишени.

Для формирования электродных покрытий, точной настройки частоты, сборки и монтажа пьезоэлементов в кварцеводержатель и герметизации корпуса на заводе "Пьезо" было модернизировано оборудование и помещения, установлен строгий контроль над соблюдением производственной гигиены, особенно на финишных участках производства. На повторное напыление электродов был наложен категорический запрет. Благодаря этим мерам удалось существенно повысить долговременную стабильность частоты миниатюрных кварцевых резонаторов.

Новые микроминиатюрные конструкции резонаторов и новые технологии помогли повысить резонансные частоты до значений выше 10 кГц, получить высокую ударную устойчивость частоты и прочность резонатора при воздействии ударных нагрузок более $(12-15) \cdot 10^3$ г. За счет использования в высокочастотных микроминиатюрных резонаторах кристаллических элементов в форме обратной меза-структуры удалось повысить основную резонансную частоту до 250 МГц. В результате снизился коэффициент умножения частоты

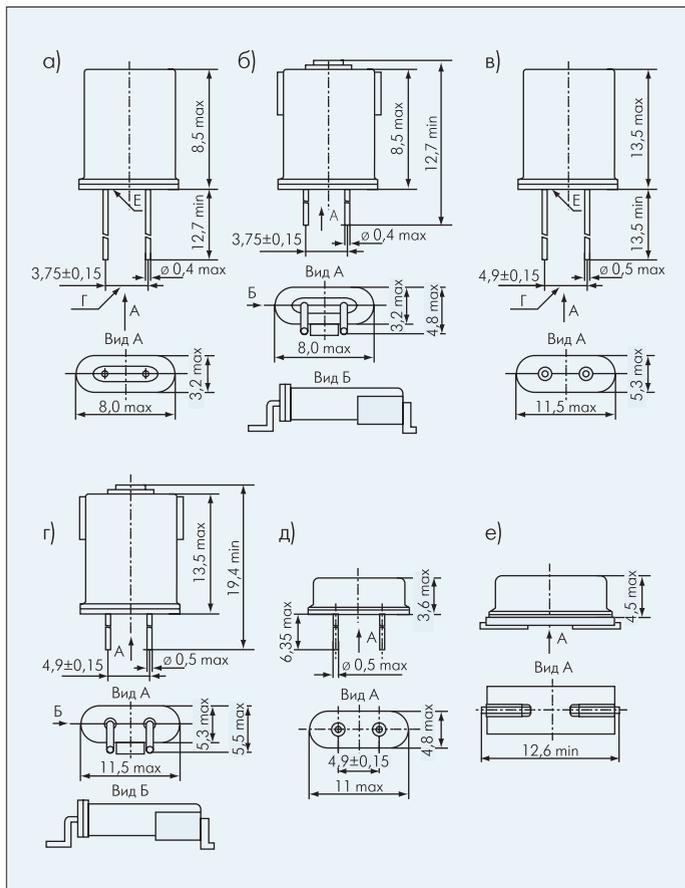


Рис.1. Резонаторы серии PK456 в различных корпусах: а – МД, б – МД ТМП, в – МДУ, г – МДУ ТМП, д – МИ, е – МИ ТМП

Параметры микрорезонаторов

Параметр	Резонатор и корпус					
	РК456			РК453	РК457	РК463
	МД	МДУ	МИ	АА	У корпуса нет названия	У корпуса нет названия
Диапазон частот, МГц	3,5–150,0	10,0–40,0	8,0–175,0	20,0–70,0	9–90	10–120
Точность настройки, $\times 10^{-6}$ при температуре $25 \pm 1^\circ\text{C}^*$	$\pm 5; \pm 10; \pm 15; \pm 30; \pm 50$			$\pm 10; \pm 20; \pm 30; \pm 50$	$\pm 10; \pm 15; \pm 20$	± 20
Максимальное относительное изменение рабочей частоты резонатора, $\times 10^{-6}$ в интервале рабочих температур, $^\circ\text{C}^*$ -10 ... 60 (А) -40 ... 70 (В) -60 ... 85 (Д)	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$ $\pm 20; \pm 25; \pm 40$ $\pm 25; \pm 40; \pm 50$				$\pm 5; \pm 10$ ± 20 ± 50	
Динамическое сопротивление в нормальных условиях для различных гармоник, Ом: Основная частота, МГц 3,5–4,0 4,0–6,0 6,0–8,0 8,0–10,0 10,0–30,0 30,0–70,0 3-я гармоника, МГц 25,0–40,0 40,0–100,0 5-я гармоника, МГц 75,0–175,0	100 80 60 60 30 **	** ** ** 70 40 **	** ** ** 60 40 **	** ** ** ** ** 50	** ** ** 70 50 **	** ** ** ** 50 **
Объем корпуса, см^3	0,7	0,3	0,25	0,09	0,088	0,032

^{*}) Различные значения для одного типа устройств соответствуют разной точности изготовления и зависящей от нее цене изделия;

^{**}) Изделие с данными параметрами не производится.

в аппаратуре заказчика, улучшились фазовые характеристики, сократилось время переключения частот (по сравнению с приборами на основе ФАПЧ).

С использованием перечисленных технологических решений в 2003–2007 годах в ОАО "Пьезо" было создано новое поколение пьезоэлектрических резонаторов в миниатюрном исполнении (рис.1–4, таблица). В линейке "Пьезо" есть резонаторы различных размеров, некоторые из них могут размещаться в корпусах разных типов, предназначенных для разных видов монтажа. Так, резонаторы серии РК456 выпускаются в шести различных корпусных ис-

полнениях. Резонаторы в корпусах МД (см. рис. 1а), МДУ (см. рис. 1в) и МИ (см. рис. 1д) предназначены для монтажа в отверстия платы. Резонаторы, которые размещаются в корпусах МД ТМП (см. рис. 1б), МДУ ТМП (см. рис. 1г) и МИ ТМП (см. рис. 1е), используются для монтажа на поверхность платы. Резонаторы РК457 и РК463 в керамических корпусах (см. рис.3 и 4 соответственно) также предназначены для поверхностного монтажа. Резонатор РК453 в корпусе АА (см. рис.2) монтируется в отверстия на плате. Параметры и условия эксплуатации резонаторов для монтажа в отверстия платы и для монтажа на поверхность идентичны: например, исполнения МД (см. рис.1а) и МД ТМП (см. рис.1б) для резонатора РК456.

Разработанные в компании "Пьезо" микрорезонаторы могут использоваться в микрогенераторах различных типов: термостатированных, термокомпенсированных, тактовых, высокопрецизионных термостабилизированных, управляемых напряжением и др. Начиная с 2006 года более 200 предприятий заказывают эти пьезорезонаторы в ОАО "Пьезо".

Многие предприятия России, начиная с 2007 года, стали использовать микроминиатюрные резонаторы в корпусе МИ (рис.3) на основе мезаструктурных кристаллических элементов, чтобы создавать новую радиоэлектронную аппаратуру, предъявляющую высокие требования к селективности радиочастотных сигналов. В 2008 году планируется запустить производство таких резонаторов с приемкой "Б" (в настоящее время

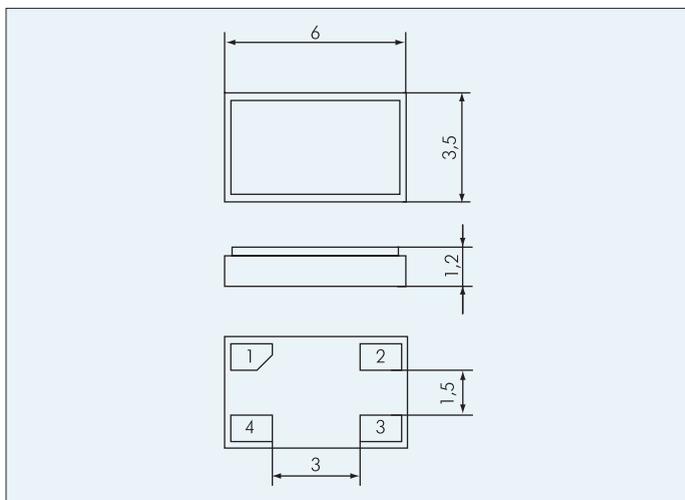


Рис.3. Резонатор РК457

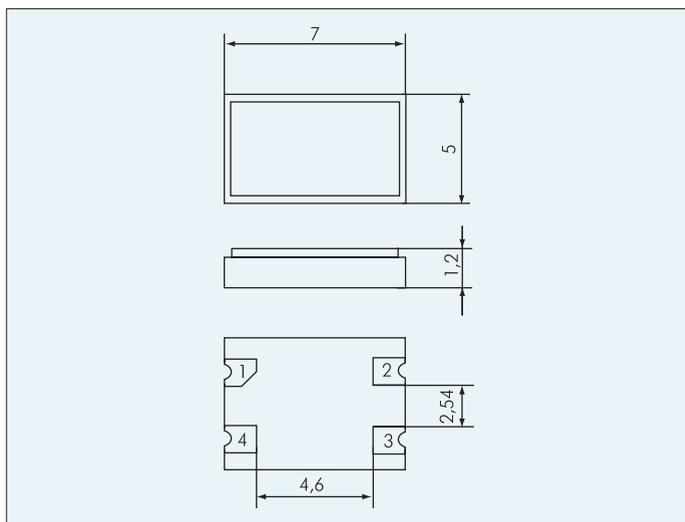


Рис.4. Резонатор PK463

мя выпускаются с приемкой "1").

В 2007 году начались ограниченные поставки микроминиатюрных резонаторов с пьезоэлементами двухповоротных срезов типа IT и SC для прецизионных генераторов с высокой механической устойчивостью. В 2008 году ОАО "Пьезо" наладит их серийное производство.

Разработка и производство микрорезонаторов в ОАО

"Пьезо" позволили заменить значительную часть импортных пьезорезонаторов отечественными и (что особенно важно) обеспечили потребителей высококачественными изделиями с высокими эксплуатационными характеристиками, соответствующими требованиям современных международных и отечественных стандартов [5, 6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Труды научно-технической конференции "Пьезо-2000" "Актуальные проблемы развития пьезоэлектронных устройств". – Москва, 2000.
2. **Мацак А.** Некоторые результаты экспериментальных исследований изделий пьезотехники". – Компоненты и технологии, 2000, № 6.
3. **Мацак А., Грузиненко В.** Высокое качество и низкая стоимость – основные направления деятельности группы предприятий "Пьезо". – Наука и технология в промышленности, 2006.
4. **Грузиненко В., Миленин П.** Некоторые аспекты производства высокостабильных пьезоэлектрических резонаторов. – Наноиндустрия, 2007, №1.
5. International Standard CEI/IEC 60122-3.
6. International Standard CEI/IEC 60122-1.