**Характеристика предприятия**.

Открытое акционерное общество "Пьезо" создано в 1995 году на базе бывшего опытного завода "Пьезо", который был организован в 1944 году постановлением Правительства СССР с целью оперативного обеспечения пьезоэлектрическими резонаторами радиотехнических устройств военного назначения. В настоящее время ОАО "Пьезо" является базовым предприятием холдинга "Группа предприятий "Пьезо".

В состав группы предприятий "Пьезо" входит также компания «Пьезотрон»

Компания "Пьезотрон" специализируется в области разработки и производства пьезоэлектрических резонаторов и совершенствования технологического оборудования, используемого в производстве резонаторов, пьезоэлектрических фильтров и микрогенераторов. Компания выполняет также заказы на разработку микропроцессорных систем управления для автоматизации смежных производств и процессов проведения научных исследований с измерением температуры, давления и влажности с использованием высокочувствительных пьезокварцевых датчиков.

Ядро кадрового состава предприятия представляет собой коллектив высококвалифицированных специалистов - выходцев из бывшего научно-производственного объединения "Фонон". За время существования предприятия разработан и внедрен технологический процесс производства пьезокварцевых резонаторов с использованием современного импортного оборудования и достижений компьютерной техники. Ряд технологических операций имеет "нау-хау". Усовершенствованы операции формообразования кристаллических элементов, в том числе элементов типа "обратная меза-структура", металлизации, настройки и герметизации.

В своей политике "Пьезотрон" руководствуется требованиями международных стандартов ИСО и главной своей задачей считает постоянное удовлетворение требований заказчика. В целях оперативного обеспечения потребителя на предприятии создана "касса" кварцевых резонаторов и кристаллических элементов на наиболее распространенные частоты, что позволяет выполнять заявки в считанные дни и недели.

Изучение непрерывно изменяющихся в сторону ужесточения требований заказчиков к резонаторам и новых ранее отсутствовавших требований позволяет руководству "Пьезотрон" принимать опережающие решения по перевооружению производства, связанного с автоматизацией измерительных процессов и технологических операций.

Предприятие разрабатывает и поставляет в Россию и зарубежным фирмам микроминиатюрные резонаторы на частоты от 400 кГц до 350 МГц.

**Пьезоэлектрический эффект**

Пьезоэлектрический эффект (сокращенно пьезоэффект) наблюдается в анизотропных диэлектриках, преимущественно в кристаллах некоторых веществ, обладающих определенной, достаточно низкой симметрией. Пьезоэффектом могут обладать кристаллы, не имеющие центра симметрии, а имеющие так называемые полярные направления (оси). Пьезоэффектом могут обладать также некоторые поликристаллические диэлектрики с упорядоченной структурой (текстурой), например керамические материалы и полимеры. Диэлектрики, обладающие пьезоэффектом, называют пьезоэлектриками.

Внешние механические силы, воздействуя в определенных направлениях на пьезоэлектрический кристалл, вызывают в нем не только механические напряжения и деформации (как во всяком твердом теле), но и электрическую поляризацию и, следовательно, появление на его поверхностях связанных электрических зарядов разных знаков. При изменении направления механических сил на противоположное становятся противоположными направление поляризации и знаки зарядов. Это явление называют прямым пьезоэффектом. Пьезоэффект обратим. При воздействии на пьезоэлектрик, например кристалл, электрического поля соответствующего направления в нем возникают механические напряжения и деформации. При изменении направления электрического поля на противоположное соответственно изменяются на противоположное направления напряжений и деформаций. Это явление получило название обратного пьезоэффекта.

**Историческая справка**

Пьезоэлектрический резонатор был изобретен американским ученым У.Кэди в 1920г. Начиная с первой половины 20-ого века пьезоэлектрические резонаторы нашли широкое применение в радиосвязи для стабилизации частоты генераторов электромагнитных колебаний. При включении резонатора между выходом и входом лампового усилителя возникает цепь положительной обратной связи и осуществляется возбуждение резонатора на частоте собственных колебаний резонатора. При этом стабильность частоты генератора определяется прежде всего добротностью пьезоэлектрического резонатора. Пьезоэлектрические резонаторы имеют добротность в тысячи и десятки тысяч раз большую, чем добротность колебательных контуров, которые ранее использовались в генераторах электромагнитных колебаний. В соответствующее число раз повышается стабильность частоты генераторов при использовании в них пьезоэлектрических резонаторов. Стабильность частоты генераторов на колебательных контурах не может быть лучше 1.10-3-1.10-4, в то время как использование пьезоэлектрических резонаторов даже не самого лучшего качества позволяет увеличить стабильность частоты до 1.10-7-1.10-8

# Общие сведения о пьезоэлектрических резонаторах

Пьезоэлектрические резонаторы являются пассивными компонентами радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) и предназначены для использования в аналоговых цепях для стабилизации и выделения электрических колебаний определенной частоты или полосы частот.

Конструктивно пьезоэлектрический резонатор состоит из пьезокристаллического элемента (пьезокварца, ниобата или танталата лития, лангасита или других пьезоэлектриков), на который нанесена пленка металла (чаще всего серебра или никеля), держателя, в котором крепится пьезокристаллический элемент, и корпуса с выводами, в котором размещен держатель с закрепленным в нем пьезокристаллическим элементом. Диапазон частот используемых в настоящее время пьезоэлектрических резонаторов на объёмных волнах находится в пределах от нескольких килогерц до нескольких сотен мегагерц.

В широкой области частот сопротивление пьезоэлектрических резонаторов имеет емкостный характер и только на некоторых частотах имеет резко выраженный резонанс, что определяет название компонента. Термин «пьезоэлектрический» показывает, что действие компонента основано на использовании пьезоэлектрических свойств материала, из которого изготовлен пьезоэлемент - основная деталь резонатора. Иногда пьезоэлектрические резонаторы определяют как прибор, представляющий одну или несколько электромеханических систем пьезоэлектрического типа. Такое определение пьезоэлектрического резонатора слишком общее и может быть распространено на большинство пьезоэлектрических приборов являющихся электромеханическими преобразователями, например телефон, микрофон, звукосниматель и др. Пьезоэлектрические резонаторы отличаются от указанных выше пьезоэлектрических приборов, являющихся электромеханическими преобразователями и имеющих соответственно электрический и механический вход и выход, тем, что имеют только электрические входы и выходы, т. е. рассматриваются как электрические двухполюсники или многополюсники. Для потребителей резонаторов механическая сущность происходящих в них явлений скрыта и может, казалось бы, не рассматриваться.

Основным электрическим параметром пьезоэлектрического резонатора является частота его резонанса, жестко фиксированная. Каких-либо устройств для ее изменения пьезорезонатор обычно не имеет.

Избирательный, резонансный характер сопротивления пьезорезонатора определяет области их применения - цепи частотной селекции различных радиотехнических устройств, преимущественно генераторов электрических колебаний высокой стабильности частоты и частотных фильтров большой избирательности.

**Основные параметры пьезоэлектрических резонаторов**

Помимо добротности и динамического сопротивления к важнейшим параметрам пьезоэлектрических резонаторов относятся точность настройки по частоте, температурная стабильность частоты, долговременная и кратковременная стабильности частоты.

Точность настройки резонаторов по частоте может находиться в пределах от ±0,5.10-6 до ±20.10-6 и более.

Температурная зависимость частоты наиболее широко используемых пьезокварцевых резонаторов среза АТ графически представляет собой так называемую кубическую параболу с перегибом (точкой симметрии параболы) при +27оС. Для интервала температур -60-+85оС температурная нестабильность может находиться в пределах ±30.10-6. При выборе рабочей температуры термостатируемого генератора вблизи температуры экстремума кубической параболы температурная нестабильность частоты резонатора может находиться в пределах (3-5).10-9/1оС.

Долговременная стабильность частоты пьезоэлектрических резонаторов зависит прежде всего от совершенства технологических процессов их изготовления. Для резонаторов широкого применения долговременная стабильность частоты находится в пределах (5-10).10-6 за год. Прецизионные резонаторы могут обеспечить стабильность (1-3).10-8 за год.

Кратковременная стабильность частоты относится к выходным характеристикам генераторов. Но она также зависит от качества резонаторов, в первую очередь от добротности. Кратковременная стабильность может измеряться за определенные промежутки времени (1с, 1мс, 10с и т.д.). Например, к обычным генераторам могут предъявляться требования к кратковременной нестабильности 1.10-9 за 1мс.

Немаловажным параметром резонаторов является соотношение динамического **(Сk)** и статического емкостей **(С0)**, поскольку от этого параметра зависит величина перестройки частоты генераторов с помощью реактивных элементов. Данный параметр для резонаторов одной частоты зависит от площади возбуждающих электродов и номера механической гармоники, на которой возбуждается резонатор. Частоту пьезокварцевых резонаторов среза АТ можно представить в виде формулы

**F = n/2t C66/ρ** ,

где **n** - номер механической гармоники;

**t** - толщина пьезоэлемента;

**С66**- модуль упругости среза АТ;

**ρ** - плотность кварца.

Отношение **С0** к **Сk** с переходом с первой (основной) на третью механическую гармонику увеличивается в 9 раз, на пятую механическую гармонику – в 25 раз, т.е. пропорционально квадрату номера механической гармоники. При этом диапазон перестройки частоты генераторов с увеличением номера механической гармоники уменьшается в той же степени. Таким образом, использование резонаторов с возбуждением на том или ином номере механической гармоники зависит от сочетания требований к пределам перестройки, с одной стороны, и, с другой стороны, от требований к долговременной стабильности, поскольку последняя при прочих равных условиях улучшается при увеличении номера механической гармоники. При этом необходимо учитывать влияние уровня возбуждения резонатора на параметры и долговременную стабильность частоты.

**Технология выращивания кристалла**

Для выращивания кристаллов используют специальные прочные стальные сосуды – автоклавы, способные выдержать очень высокие давления и температуры.

На дне автоклава, нагреваемого снизу и охлаждаемого сверху, размещается растворяемое вещество – шихта. Над ней расположены затравки (пластины, выпиленные по определенному направлению из кристалла выращиваемого вещества). В автоклаве создается разность температур (нижняя зона более горячая), чему способствует диафрагма – перегородка с отверстиями, разделяющая верхнюю и нижнюю зоны. Раствор циркулирует между гранулами шихты, насыщаясь веществом выращиваемого кристалла. Одновременно происходит нагревание гидротермального раствора. Горячий (и потому – более легкий) раствор поступает в верхнюю часть автоклава, где остывает.

Растворимость кристаллизуемого вещества с понижением температуры снижается, избыток растворенного вещества отлагается на затравки. Холодный высокоплотный обедненный раствор опускается в нижнюю часть автоклава и цикл повторяется. Процесс ведется до полного переноса вещества шихты на затравки.

Далее готовый кристалл очищается от примесей при помощи электроочистки. Электроочистка происходит путем подачи на электроды пьезоэлемента-бруска высокого напряжения при токе несколько десятков миллиампер. Старение очищенных таким образом пьезоэлементов меньше, так как исключается диффузия примесных ионов на поверхность пьезоэлемента в процессе эксплуатации резонатора.

**Технология обработки**

Резонатор в тепловом интервале должен иметь определенные частоты, поэтому распиловка кристалла кварца происходит при медленном движении алмазной пилы, ориентировочно ат-среза, равного 35 градусов 15 минут (от оси x, y, z).

РАСПИЛОВКА КРИСТАЛЛОВ КВАРЦА НА СРЕЗЫ. Перед распиловкой кристалл кварца наклеивают на стеклянную плашку, которая, в свою очередь, наклеивается на деревянную плашку. Их склеивают клеем БФ-4. Стекло обладает близкими к кварцу механическими свойствами, это предохраняет кварц при распиловке от образования сколов на месте выхода пилы. Кварцевое сырье наклеивают мастикой или шеллаком на плашки размером 150x100x15 мм.

Для распиловки на х-блоки наклеенный кристалл кварца укрепляют на суппорте станка, совместив отмеченную плоскость yz с плоскостью пилы. Отрезают пробный срез. На рентгенгониометре измеряют угол .отклонения плоскости среза от. атомной плоскости YZ и поправку записывают на пробном срезе.

Плоскопараллельность должна быть в пределах 0,2 мм и 50 мм длины. Распиловку кристалла кварца следует вести от oбoих краев куска кварца к центру, предварительно разметив кристалл кварца на определенное число х-блоков. Этим предотвращается возможность отклеивания кварца от плашки во время распиловки. После этого легкими ударами молотка отделяют х-блоки от плашки и передают на подшлифовку.

ШЛИФОВКА. На шлифовальном станке с планшайбой подшлифовывают поверхность YZ х-блоков до устранения следов резки или образовавшихся при резке выступов и неровностей. При этом необходимо сохранить плоскопараллельность плоскостей среза к атомной плоскости YZ. После подшлифовки х-блоки промывают в воде и просушивают в термостате с температурой воздуха не выше 50- 60° С.

После проверки на рентгене пластинки размером 20+20 мм склеивают в стопки и обрезают. Пластики в количестве 30-60 шт. собирают в стопки так, чтобы совпадали линии их разметки. По краям стопки кладут несколько дефектных пластиков. Собранную стопку ставят на стекло и подогревают на электрической плите до 50° С. Сверху на.нагретые заготовки наносят мастику, которая склеивает стопку, проникая в щели между пластиками. Усилием руки стопку сжимают, обеспечивая ее равномерное склеивание. После остывания пакет отправляют на круглошлифовальный станок, где он преобретает свою будущую форму. Таким образом, разклеив пакет получают круглые пластинки (стопку элементов разогревают и расклеивают, элементы промывают в бензине). Толщина пластинок должна соответствовать окончательной толщине годного элемента, но с припуском по толщине на шлифовку. Шлифовальный станок с уже более мелкой крошкой позволяет добиться определенной частоты пластинки. Снимается фаска.

ХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА. Пластинки отмываются и травятся в растворе на основе кислоты (деметилформамид) при температуре. Тем самым, снимается верхний слой порядка 5 мкр, что позволяет добиться идеально гладкой поверхности пластинки.

МЕТАЛЛИЗАЦИЯ. Используется установка вакуумной металлизации: происходит закладка кассет, диффузерным насосом откачивается воздух, в испарителе заданное количество серебра плавится и кипит, его пары осаждаются на пластинках.

МОНТАЖ. Пьезоэлемент с напылением (электродом) вставляется в держатель и крепится токопроводящим клеем на основе серебра (95% Ag+эпоксидная смола). Полимеризуется в печи при температуре 150ºС 60 минут.

НАСТРОЙКА НА ЧАСТОТУ. После разбраковки резонаторы с недостаточной частотой подпыляют в специальной машине IFC-6HC, а резонаторы с избыточной частотой подтравливают дополнительно (аргон под давлением выбивает атомы серебра).

ГЕРМЕТИЗАЦИЯ. Конденсаторной сваркой или лазерным лучом спаивают колпачок изделия. Резонатор проходит термотренировку в печи около 530 часов.