

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ

Современное производство пьезоэлектрических резонаторов, микрогенераторов, фильтров и сенсоров на объемных акустических волнах (ОАВ) характеризуется значительным увеличением объемов и номенклатуры, совершенствованием параметров изделий, ужесточением условий их эксплуатации, повышением степени миниатюризации и надежности, усложнением технологических процессов и оборудования, сокращением трудоемкости, уменьшением себестоимости серийной продукции и сроков подготовки производства.

Предприятия, занимающиеся разработкой и производством изделий пьезотехники, должны оперативно реагировать на новые требования потребителей. Анализ деятельности ведущих производителей показывает, что срок освоения и эффективного производства основных видов оборудования и технологий – 5-15 лет. Предприятия, недостаточно заинтересованно реагирующие на перспективные требования рынка и несвоевременно производящие модернизацию номенклатуры и технологий, вынуждены часто прекращать работы по освоению новых изделий в массовом производстве, так как они уже морально устарели и неконкурентоспособны.

Внедрение современных видов автоматизированного оборудования, правильный выбор технологий, обеспечивающих преемственность при организации производства новых типов изделий пьезотехники, является основой успеха перевода действующих производств пьезоэлектронных элементов на выпуск продукции, размеры которой на порядки отличаются от традиционных и при изготовлении которой требуются новые перспективные технологии микроэлектроники и нанотехники.

Используемые до настоящего времени в производстве изделий пьезотехники, как и в электронной промышленности, оборудование и технологии формирования элементов микронных и субмикронных размеров позволили в 1970-1980-е годы во много

раз уменьшить габаритные размеры пьезоэлектрических резонаторов, генераторов, фильтров, датчиков и улучшить воспроизводимость их параметров и характеристик.

Новым этапом в развитии микроэлектроники (1990-е годы) явилось внедрение нанотехнологий и организация производства изделий микроэлектроники. Эти достижения востребованы и для совершенствования изделий пьезотехники.

Использование нанотехнологий предусматривает значительное повышение требований к конструктивным и технологическим материалам и веществам, применяемым при производстве пьезоэлектрических изделий.

Основными задачами разработчиков пьезоэлектронных устройств с использованием объемных акустических волн продолжают оставаться:

- миниатюризация;
- повышение стабильности частоты (временной, температурной);
- повышение устойчивости частоты и основных параметров к внешним радиационным, механическим и климатическим воздействиям;
- повышение быстродействия (снижение времени выхода на заданный режим), уменьшение энергопотребления и т. д.

Уменьшение размеров пьезоэлектрических резонаторов, генераторов, фильтров, чувствительных элементов датчиков различного назначения и одновременное решение перечисленных выше задач приводит не только к значительным качественным изменениям конструктивного характера, но и к изменению требований, предъявляемых к используемым материалам и технологическим процессам. Это связано с появлением физических явлений, которые не учитывались в традиционных технологиях формообразования кристаллического элемента и пьезоэлемента, являющихся основой любого пьезоэлектрического устройства.

Для достижения высокой температурной и временной стабильности частоты необходимо использовать синтетический кварц, соответствующий самым высоким требованиям международного стандарта IEC-758-2004 [1]: добротность Q должна быть не менее $(3-3,8) \times 10^6$; в рабочей (подэлектродной) зоне кристаллического элемента должны отсутствовать включения и дислокации (каналы травления), границы зон роста и другие дефекты.

Вторым важнейшим требованием, обеспечивающим получение высокой добротности кварцевого резонатора и низкого уровня шумов, является высококачественная обработка поверхности кристаллического элемента, которая должна быть максимально гладкой (в идеале атомно-гладкой). Для получения гладких оптических поверхностей в нанотехнологиях используются методы ионного сглаживания, электрохимическая полировка. Наилучшие результаты по качеству полировки кварцевых высокочастотных элементов были получены при использовании вакуумной трибоэлектрической полировки. Гладкость поверхности кварцевых кристаллических элементов была на уровне нескольких десятков нанометров. Для обеспечения высокой временной стабильности частоты, высокой добротности, низкого уровня шумов, динамического сопротивления и улучшения других параметров СВЧ-резонаторов необходима специальная очистка поверхности кристаллического элемента после механической и химической обработок. Выполнение всех перечисленных операций должно обеспечить высокие требования (на уровне нанометров) по локальности основных граней кристаллического элемента.

Исследование стабильности частоты резонаторов новой конструкции проводилось методами рентгеновской микроскопии и вторичной ионной масс-спектропии. Эти методы позволяют исследовать процессы адсорбции, окисления, диффузии, УФ-излучения плазмы при формировании электродных пленочных покрытий, элементов конструкций и поверхностей кристаллического элемента. Применяются они и при удалении продуктов термоокислительной и термической деструкции широко используемых в производстве резонаторов токопроводящего клея (с кремний-органической основой) и токопроводящих паст на основе свинцово-боратных стекол. Исследования позволили установить наличие внутри корпуса резонатора значительного количества H_2O , O_2 , C_6H_6 , CO_2 , N , CO и других соединений, что приводит к снижению стабильности частоты и ухудшению других параметров [2].

При исследовании причин изменения частоты высокостабильных кварцевых резонаторов было обнаружено явление [3] холодной эмиссии атомов серебра даже при температуре $+23^\circ C$, сопровождающееся повышением частоты резонатора (явление акустической эмиссии Ag). Установление этого эффекта позволило разработать рекомендации по токовым режимам эксплуатации резонаторов.

Материал и геометрические размеры электродного покрытия кварцевого элемента, подготовка кварцевой подложки, способ нанесения и частичного удаления электродного покрытия и другие процессы оказывают большое влияние на основные параметры и характеристики высокочастотных резонаторов. С повышением частоты растет влияние толщины электродного покрытия на резонансную частоту резонатора. Высокая точность настройки резонансной частоты высокочастотных резонаторов обеспечивается применением метода плазменного травления электродного покрытия (регулировка толщины покрытия осуществляется с точностью до нанометров).

Монтаж пьезоэлемента внутри корпуса осуществляется термокомпрессией, используются материалы: припой, токопроводящие клеи, серебросодержащие стеклопасты и др. Детали корпусов свариваются одним из методов: холодной сваркой, конденсаторной, газопламенной или лазерной на соответствующем оборудовании.

Для различных конструкций резонаторов используются разные виды оборудования, конструкционных, технологических материалов и сред. Поэтому очень важно проводить анализ влияния конструктивно-технологических факторов на параметры высокостабильных резонаторов. В первую очередь, влияния этих факторов на процессы массопереноса в объеме кварцевого резонатора, определяющего временную стабильность и воспроизводимость его основных параметров и температурно-частотных характеристик. Особенно важно изучить массоперенос при протекании физических процессов и химических реакций с большими характеристическими временами. Среди этих процессов в первую очередь следует отметить:

- установление динамического равновесия между газовой и адсорбционной фазой;
- каталитическое окисление и перераспределение примесей;
- сорбцию и десорбцию при химических реакциях в поверхностных и приповерхностных областях [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Международный стандарт "Синтетические кварцевые кристаллы" IEC 758-2004.
2. Aseev P. I., Grouzinenko V. B. "Influence of surface catalytic reactions on crystal unit ageing", 45 AFCS, 1991, USA.
3. Aseev P. I., Grouzinenko V. B. "Investigation of electrode – quartz interface", 46 AFCS, 1992, USA.