

# ПРИМЕНЕНИЕ MEMS-ТЕХНОЛОГИЙ В ЧАСАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

ПОЛ НАНН (PAUL NUNN), инженер, Maxim Integrated Products

*В статье приводится пример использования MEMS-технологии при разработке надежных, миниатюрных и точных часов реального времени*

Применение технологии микро-электромеханических систем (Micro-ElectroMechanical Systems — MEMS) обеспечило часам реального времени (RTC) высочайшую точность, долговременную и температурную стабильность, а также заметное сокращение размеров по сравнению с часами на базе традиционных цилиндрических кварцевых резонаторов.

Технология MEMS-резонаторов, которые занимают в 47 раз меньшую площадь и в 182 раза меньший объем, чем 32,768-кГц цилиндрический кварцевый резонатор камертонного типа, позволяет использовать для RTC более

компактные корпуса и расширить их выбор. Такое различие в размерах способствует также значительному повышению надежности работы прибора в средах с высоким уровнем вибраций и механических ударов, а также снижению или полному отсутствию старения ( $< \pm 1$  ppm) на протяжении всего срока службы. Однако компактный размер — не единственное достоинство MEMS. Существует четыре области, где характеристики MEMS гарантируют значительные технические преимущества:

- технологические процессы и разработка;
- сборка и производство;

- обеспечение устойчивости к воздействию окружающей среды;
- контроль рабочих параметров продукции и возможность обслуживания на месте эксплуатации.

На этапе окончательной сборки и в процессе производства MEMS часы реального времени выгодно отличаются от кварцевых аналогов благодаря четырем важным факторам.

- Во-первых, MEMS фактически представляет собой ИС и поэтому для объединения MEMS с управляющим кристаллом/RTC можно использовать стандартные технологии корпусирования ИС.

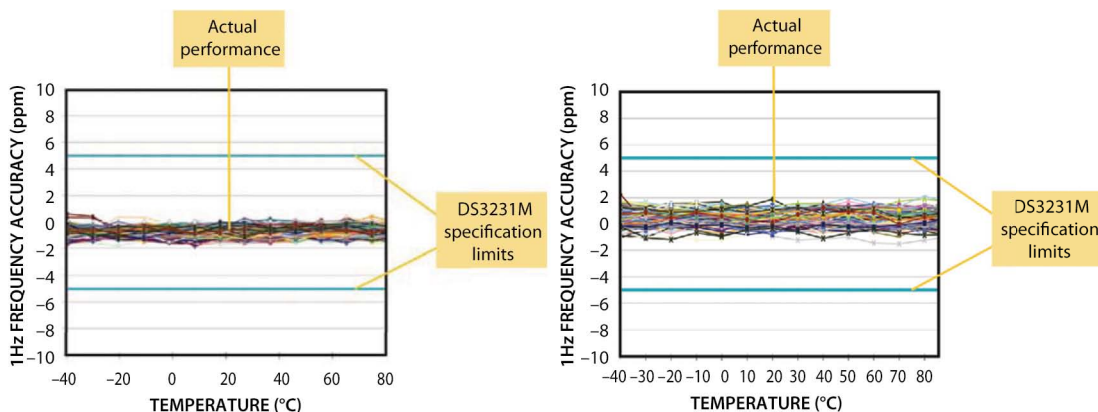


Рис. 1. Данные для часов реального времени DS3231M до пайки оплавлением (1а, слева) и после пайки оплавлением (1б, справа). Уход частоты составляет не более  $\pm 1$  ppm.

Actual performance — реальные рабочие характеристики; DS3231M specification limits — установленные допуски DS3231M; TEMPERATURE (°C) — температура (°C); 1HZ FREQUENCY ACCURACY (ppm) — точность частоты 1 Гц (ppm)

## СРАВНЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА MEMS- И КВАРЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ

Обсуждаемая в статье технология MEMS-резонаторов была разработана на заводах со стандартными КМОП-процессами. Преимущество КМОП-производства состоит в том, что частотные характеристики, определяемые формой и размером элементов прибора, задаются на этапе фотолитографии. Поскольку MEMS является полупроводниковой технологией, воспроизводимость и стабильность во многом зависят от производства MEMS-пластин.

В процессе обработки MEMS-пластин температура может превышать 700°C, однако MEMS-резонатор способен выдерживать многократное повышение температуры до 260°C при пайке оплавлением без ухудшения рабочих характеристик. Такая надежность достигается благодаря составу материала, конструкции и процессу обработки пластины.

В отличие от MEMS, при сборке кварцевых резонаторов (и это вполне понятно) воспроизводимость намного ниже, что приводит к значительным вариациям характеристик конечной продукции.

Настройка и подгонка частоты требуют, как правило, напыления или удаления материала с электрода для достижения требуемых значений. Кроме того, чтобы колебания, возникающие при подаче напряжения на кварцевый резонатор, не затухали, в цилиндрическом корпусе необходимо создать вакуум. При изготовлении высококачественных приборов нужны также специальные материалы для крепления выводов кварцевого резонатора. Благодаря этим материалам кварцевый резонатор способен выдержать высокотемпературные (~260°C) операции пайки оплавлением.

Тем не менее, существует одно ограничение. Следует с осторожностью подвергать кварцевые резонаторы многократному воздействию циклов высокотемпературной пайки оплавлением. Уход частоты может быть обусловлен старением материала, контактирующего с кристаллом, качеством вакуума и/или дефектами кристаллического элемента.

В отличие от MEMS, для того чтобы объединить кварцевый резонатор и кристалл RTC в одном корпусе, требуются специальные производственные процессы.

- Во-вторых, чтобы обеспечить электрический контакт между управляющим кристаллом и MEMS-резонатором, используют проводное соединение. При сборке кварцевых резонаторов для этого приходится использовать более сложное и менее надежное соединение при помощи пайки или сварки.
- В-третьих, высокоэффективные операции проводного соединения и стандартные процессы корпусирования хорошо подходят для массового (крупносерийного), менее дорогостоящего производства и сборки.
- В-четвертых, благодаря гораздо меньшим размерам MEMS-резонаторов их можно устанавливать в более компактные корпуса, в т.ч. размером с кристалл, что невозможно в случае кварцевых резонаторов.

Микросхема DS3231S RTC предыдущего поколения на базе кварцевого резонатора выпускалась в 16-выводном корпусе SO шириной 7,62 мм, а сопоставимая с ней по функциональности и рабочим характеристикам микросхема DS3231MZ+ RTC — в 8-выводном корпусе SO шириной 3,81 мм. Размеры 8-выводного корпуса SO составляют менее половины от размеров 16-выводного корпуса.

DS3231M — это термокомпенсированная микросхема RTC, в которой для снижения числа механических отказов вместо кварцевого резонатора используется внутренний MEMS-резонатор. В 16-выводную микросхему интегрированы различные системные функции, включая резонатор, RTC, термокомпенсированный кварцевый генератор, цифровой датчик температуры и автоматический переключатель питания для поддержки устройств с питанием от батарей.

- И наконец, корпус с меньшими размерами дешевле.

Очевидным преимуществом MEMS-часов реального времени является устойчивость их рабочих характеристик к воздействию окружающей среды и других факторов.

При операциях пайки оплавлением (трехкратное повышение температуры до 260°C), которые воспроизводят условия монтажа пользователем, MEMS-устройства демонстрируют уход частоты менее  $\pm 1$  ppm. У продукции на базе кварцевого резонатора при таком же температурном режиме пайки уход частоты составляет  $\pm 5$  ppm.

MEMS-часы реального времени прошли квалификационные испытания на удары и вибрации в соответствии

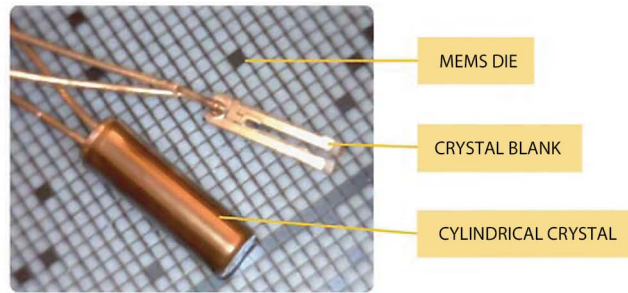


Рис. 2. MEMS-резонатор занимает в 47 раз меньшую площадь и в 182 раза меньший объем, чем цилиндрический кварцевый резонатор.

MEMS DIE — кристалл MEMS; CRYSTAL BLANK — кварцевая пластина; CYLINDRICAL CRYSTAL — цилиндрический кварцевый резонатор

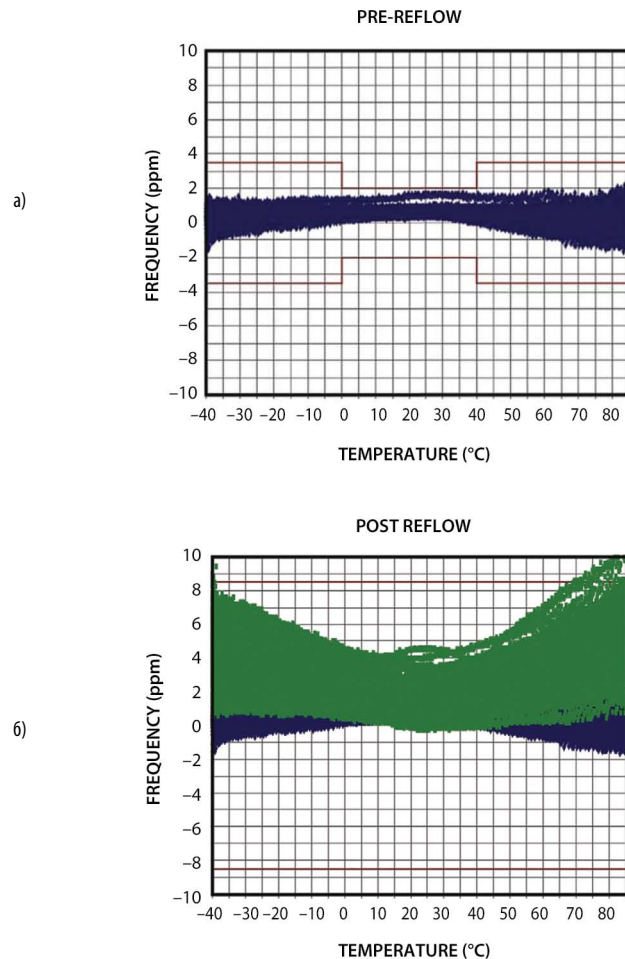


Рис. 3. Данные для часов реального времени на базе кварцевого резонатора до пайки оплавлением (3а, вверху) и после нее (3б, внизу). После пайки оплавлением наблюдается уход частоты  $\pm 5$  ppm  
TEMPERATURE (°C) — температура (°C); POST REFLOW — после пайки оплавлением; PRE-REFLOW — до пайки оплавлением; FREQUENCY (ppm) — погрешность частоты (ppm)

с требованиями стандарта AEC-Q100. Они способны выдержать механические удары, превышающие 2900g (x5) (JESD22-B104-C Condition-H) и вибрации с переменной частотой, превышающие 20g (JESD22-B103B Condition-1).

Данные о рабочих характеристиках и их изменении в процессе производства доказывают, что MEMS-часы реального времени превосходят традиционные кварцевые RTC. К тому же, уход частоты с течением времени (на протяжении срока службы) при использовании MEMS часов не превышает  $\pm 5$  ppm. Погрешность частоты

при изменении температуры и после пайки оплавлением по-прежнему не выходит за рамки  $\pm 5$  ppm.

MEMS-резонаторы работают при более высоких температурах. Они устанавливаются в более компактные корпуса, и стоимость их меньше. Очень сложно найти аргумент против использования точных RTC-приборов на базе технологии MEMS при разработке схем.

Получить дополнительную информацию можно у авторизованных дистрибьюторов компании Maxim Integrated в РФ ([www.maximintegrated.com/distributors](http://www.maximintegrated.com/distributors)).