

Контроль интегральных МЭМС акселерометров на производстве

В докладе рассмотрена одна из проблем, возникающих при производстве интегральных микроэлектромеханических систем (далее iМЭМС), включающих чувствительные элементы, реагирующие на положение (ускорение, угловую скорость) – проблема группового и индивидуального контроля iМЭМС на пластинах.

Групповой и индивидуальный контроль

При производстве традиционных интегральных схем различают зондовый контроль тестовых структур на пластине, прошедшей все технологические операции, по которому аттестуют пластину (**выборочный контроль**), и функциональный контроль кристаллов на пластине, по результатам которого аттестуют каждый кристалл (**индивидуальный контроль**). Введение операции выборочного контроля существенно сокращает потери ресурсов на операции функционального контроля кристаллов на пластине, так как исключает контроль пластин, изготовленных с отклонениями в технологическом процессе.

Типовые iМЭМС прямого преобразования и iМЭМС преобразования с обратной связью содержат блоки:

- механическая часть;
- электронная часть:
 - источник вторичного электропитания;
 - входной усилитель сигнала с интегрального чувствительного элемента;
 - демодулятор усиленного сигнала;
 - выходной усилитель демодулированного сигнала;
 - схема управления механической частью.

В случае «интеллектуальных» устройств к типовой iМЭМС подключены дополнительные блоки управления и преобразования сигналов.

Выборочный контроль пластин iМЭМС

В серийном производстве выборочный контроль пластин iМЭМС проводится для разбраковки изготовленных пластин по установленным критериям качества. Критерии качества предусматривают исчерпывающий контроль важнейших электрофизических параметров компонентов. Такие критерии хорошо разработаны для традиционных электронных схем, однако, представляют достаточно сложную задачу для микромеханических компонентов, в частности, при производстве однокристалльных инерциальных сенсоров.

Одной из проблем является повреждаемость *освобожденных, не капсулированных* iМЭМС структур при попадании на них частиц из окружающей среды в процессе выборочного контроля. Требование высокого класса чистоты помещений для выборочного контроля пластин iМЭМС удорожает стоимость данной операции. Для снижения затрат выборочный контроль можно проводить *до «освобождения»* микроструктур, после формирования необходимых защитных покрытий. Однако, это не позволяет оценить качество освобождения, в частности, наличие латеральных или вертикальных залипаний микроструктур.

Независимо от этапа проведения выборочного контроля, в дополнение к стандартным параметрам выборочного контроля электронных компонентов, вводятся типовые электрофизические параметры микромеханической части.

- поверхностные сопротивления структурных и коммутационных слоев;
- сопротивления изоляции между коммутационными и структурными областями;
- переходные контактные сопротивления анкерных контактов и сопротивления цепочек анкерных контактов;
- удельная емкость коммутационных шин на подложку;
- пороговые напряжения паразитных МОП структур, создаваемые поликремниевыми коммутационными шинами в области микромеханического сенсора.

В процессе межоперационного контроля на пластине контролируются параметры микромеханической части:

- структура материала;
- критические размеры;
- профиль травления.

Функциональный контроль пластин iМЭМС

Проводится на *«освобожденных»* пластинах. К типовым функциональным параметрам относятся ток потребления, выходные уровни, шумы, время задержки, уровни срабатывания, время включения схемы и др. Для схем, имеющих частотные выходы, проверяются выходные частоты, времена переднего и заднего фронтов, время задержки, скважность. Необходимость проверки других параметров зависит от особенностей проектируемой схемы и определяется разработчиком.

Функция самотестирования iМЭМС инерциальных микросистем

Отличительной особенностью iМЭМС инерциальных микросистем является широкое использование функций самотестирования для контроля годности кристаллов на пластине. Для проверки работоспособности используются специальные отклоняющие электроды, позволяющие электростатически отклонять подвижную массу таким образом, чтобы на выходе электронной части возникал полезный сигнал.

При включении питания подвижная часть механической структуры устанавливается в начальное равновесное положение. В случае симметричной системы при равенстве потенциалов φ на всех частях структуры подвижная масса равноудалена от неподвижных частей.

Изменив разность потенциалов на $\pm \Delta\varphi$, подвижная масса притянется к соответствующему электроду.

С электрофизической точки зрения такая конструкция представляет собой конденсатор с воздушным диэлектриком. Сила взаимодействия обкладок определяется выражением:

$$F = -\frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{\varepsilon \varepsilon_0 S},$$

где $q = CU$ – заряд конденсатора C , U – напряжение между обкладками, S – площадь обкладок.

Перемещение подвижной массы при изменении потенциала между обкладками на $\pm \Delta\varphi$ описывается выражением:

$$\Delta x = -\frac{2F}{C \cdot \Delta\varphi^2}.$$

Перемещение фиксируется электронными схемами съема и обработки сигнала, что приводит к изменению напряжения на выходе схемы.

При восстановлении прежних потенциалов инерциальная система возвращается в свое предыдущее состояние.

Возможность самотестирования позволяет проконтролировать интегральные механические параметры, такие как резонансная частота подвижной массы; добротность колебательного контура и пр., а также существенно снижает стоимость законченной iМЭМС.

Заключение

Приведенные операции контроля были успешно использованы в ОАО «Ангстрем». В 2007 году были получены первые экспериментальные образцы микросхем одноосевого и двухосевого однокристалльного акселерометра, однокристалльного акселерометра. Датчики имеют два варианта исполнения. Вариант 1 – с диапазоном измерения $\pm 5g$ и чувствительностью 70 мВ/г, вариант 2 – с диапазоном измерения $\pm 2g$, с чувствительностью 200 мВ/г.

Разработанная конструкция 2-х осевых интегральных акселерометров с функцией самотестирования на пластине обеспечили достаточно высокие технические характеристики iМЭМС приборам. Интегральная технология, предусматривающая формирование чувствительного элемента и электронной схемы на одном кристалле, обеспечивает возможность серийного производства инерциальных датчиков. Новое приборное направление имеет быстро растущий рынок сбыта. Для обеспечения серийного производства однокристалльных микроакселерометров, и разработки новых изделий, необходимы инвестиции для технологической подготовки производства iМЭМС пластин, сборочных процессов, для расширения метрологической и испытательной базы. Продвижение разработанных приборов на рынок в сильной степени зависит от серийного освоения промышленностью новых типа корпусов – CSP, LCC, BGA и др.