

МИКРОТЕХНОЛОГИИ – УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ СОЗДАНИЯ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ МИКРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ.

MICROTECNOLOGIES – UNIVERSAL TOOL FOR INERTIAL MICROTRANSDUCERS FABRICATION.

Санкт-Петербург, СПбГТУ, НИЛ «МТ и МЭМС»
Saint-Petersburg State Technical University, R&D Lab “MT&MEMS”

The differences of technological requirements upon base operations of microelectromechanical converters manufacturing and microelectronic technology are considered. The insufficiency of microelectronics means for solving micromechanical problems and the necessity of new base technology development are shown on example of a inertial microtransducer technological process.

Микротехнологии - это новый виток развития групповых прецизионных технологий, начало которым было положено микроэлектроникой и которые на современном этапе создают различные по назначению сенсорные и активаторные преобразователи систем управления. Унаследовав от микроэлектроники групповые методы обработки изделий, прецизионность воспроизведения размеров в микронном и субмикронном диапазоне и ряд базовых технологических операций, микротехнологии позволяют, таким образом, объединить единым технологическим подходом все звенья интегрированных микросистем управления.

Среди других видов сенсорики, инерциальные преобразователи для регистрации параметров движения объектов – микрогироскопы и микроакселерометры – находят все большее применение в различных областях техники: от транспорта и вооружений до робототехники и медицины. Широкий диапазон их возможного использования определяется исключительно малыми размерами преобразователей при достаточно высокой точности и стабильности преобразования. Конструктивные особенности инерциальных преобразователей различного назначения требуют от технологии адекватно широкого диапазона возможностей, далеко превышающего возможности классической микроэлектроники.

По конструкторско-технологическим решениям инерциальные преобразователи могут быть разделены на две группы: поверхностномонтажные и объемномонтажные. Поверхностномонтажные преобразователи по своему технологическому маршруту ближе к классическим микроэлектронным технологиям. Однако малая – порядка единиц мкм – толщина и, следовательно, малая инерциальная масса, существенно ограничивают параметры преобразования и области применения таких структур. Этому недостатка лишены объемномонтажные преобразователи, в которых может быть реализована толщина инерциальных структур в диапазоне от единиц до многих десятков мкм.. Сейчас наибольшее число разработок посвящено именно таким конструкциям (так называемые конструкции «кремний на стекле»), поскольку они позволяют в широких пределах варьировать значения инерциальной массы и, следовательно, выходные параметры преобразователей.

Принципиальная схема наиболее распространенной конструкции вибрационного микрогироскопа представлена на рис.1 [1]. Инерциальные массы, подвешенные на упругих торсионах, с помощью электростатического привода приводятся в колебание на частоте механического резонанса. При повороте конструкции вокруг оси чувствительности, силы Кориолиса вызывают колебания инерциальных масс перпендикулярно их плоскости. Амплитуда этих колебаний пропорциональна угловой скорости поворота конструкции и фиксируется измерительными конденсаторами. Технологические проблемы создания преобразователей такого типа вытекают из их основной конструктивной особенности – наличия свободно подвешенных на торсионах электропроводящих инерциальных масс, которые закреплены концами подвесов на неподвижном изолирующем основании. Эта особенность приводит к необходимости разработки ряда новых технологических операций, не свойственных классическим микроэлектронным технологиям, и ставит перед технологами - разработчиками три нестандартные задачи:

- глубокое трехмерное формообразование по рисунку маски на поверхности кремния,
- прочное соединение разнородных материалов (кремний – стекло),
- удаление балластного массива кремния.

Разработанный в лаборатории микротехнологий и микроэлектромеханических систем СПбГТУ базовый технологический маршрут изготовления микроакселерометров и вибрационных микрогипоскопов [2] позволяет интегрировать на едином основании размером порядка 1 кв.см. полный набор датчиков, отслеживающих параметры движения объекта по трем координатам. Схематическое изображение ЧИПа акселерометров приведено на рис.2. Здесь два идентичных

акселерометра развернуты на 90 градусов в плоскости пластины; третий акселерометр чувствителен к ускорениям в перпендикулярном направлении. Аналогично организован и ЧИП гироскопов. Технологический маршрут содержит три блока операций: формирование заготовок кремниевых структур, формирование стеклянных оснований, их сборку и удаление балластного кремния (рис.3).

Формирование в кремниевой пластине структуры вибратора относится к числу ключевых задач технологии. Она решается традиционным для микроэлектроники методом анизотропного плазмохимического травления. Однако принципиальные проблемы возникают в связи с тем, что глубина травления должна достигать десятков мкм., а отклонение боковых стенок структуры от вертикали минимизировано. Эти проблемы вынуждают искать новые решения и в конструкции технологического оборудования, и в составе плазмы, и в способах маскирования. Таким образом стандартная, казалось бы, операция превращается в самостоятельную непростую конструкторско-технологическую разработку. Следует заметить, однако, что результат такой разработки становится базовым для целого ряда технологических маршрутов различных микроэлектромеханических систем. В проводимых нами работах была достигнута глубина травления 60мкм., а отклонение от вертикали составляло при этом примерно 1 градус (рис.4).

Второй блок операций наиболее близок к стандартным процессам вакуумного напыления, фотолитографии и химического травления. Специфичны здесь только выбор сорта стекла и, связанные с значительной высотой выступов, материал маскирующего слоя и состав травителя.

Третий блок операций не имеет прямых аналогов в микроэлектронных технологиях. Ядром его являются операции соединения кремниевой и стеклянной пластин и удаление балластного кремния (отделение структурированного слоя от остального массива кремниевой пластины). Соединение пластин производится методом электротермокомпрессионной сварки, обеспечивающей прочность соединения, не уступающую прочности свариваемых материалов. Удаление балластного кремния может производиться двояким способом: или стравливанием тыльной стороны кремниевой пластины до вскрытия структурированного слоя, или вытравливанием жертвенного слоя пористого кремния, сформированного под структурированным слоем до сварки пластин. В первом случае на структурированной части формируется диффузионный «стоп»-слой, во втором – пористый кремний создается электролитическим анодированием.

Разделение изделий на ЧИПы и их корпусирование производится стандартными методами.

Корпусированный ЧИП одиночного гироскопа и РЭМ - фотография фрагмента кремниевой структуры после плазмохимического травления приведены на рис.5 и рис 6. Разработанный базовый технологический маршрут изготовления инерциальных преобразователей и его отдельные операции вариabельны в широких пределах и могут быть применены для создания навигационных и ориентационных устройств различной сферы применения.

Экспериментальные образцы инерциальных преобразователей, изготовленные по этой технологии, исследованы в АОЗТ «ГИРООПТИКА» и послужили основой для дальнейших совместных разработок комплексных бесплатформенных навигационных систем.

1. M.Weinberg, J.Bernstein, S.Cho, A.T.King, A.Kourepinis, P.Ward, J.Sohn, Draper Laboratory, "A Micromachined Comb Drive Tuning Fork Gyroscope for Commercial Applications" // 2nd St.Petersburg International Conference on Gyroscopic Technology and Navigation, May 1995.

2. А.М.Лестьев, И.В.Попова, М.С.Лурье, Е.Н.Пятышев, А.А.Семенов М.И.Евстифеев Разработка и исследование микромеханического гироскопа Гироскопия и навигация 1999, №2(26)