



Андрей Хохлун
micro@ostec-smt.ru

Оборудование и технологии для производства МЭМС, микро и наноструктур

В современных условиях растущих требований рынка к функциональности, массогабаритным характеристикам, надежности, технологичности и стоимости новых изделий, разработчики вынуждены проектировать электронную аппаратуру с использованием самых современных подходов. Для обеспечения качества и надежности выпускаемой продукции необходимы инновационные технологии и соответствующее оборудование. Однако тенденции к усложнению конструкции изделий, снижению минимальных размеров элементов и увеличению плотности упаковки при радикальном снижении срока выхода нового изделия на рынок, требуют применения комплексных подходов при проведении технического перевооружения предприятий. Настоящая публикация посвящена организации современного производства, способного производить миниатюрные электронные приборы и компоненты самого высокого уровня.

Для обеспечения заданных функций и массогабаритных характеристик современных изделий специальной техники разработчики вынуждены проектировать печатные узлы с многослойными печатными платами, высокой плотностью расположения компонентов и паяных соединений. Во многих случаях уровень миниатюризации, надежности и функциональности, которого удаётся достигнуть таким путём, оказывается недостаточным для достижения требуемых параметров.

Наблюдается устойчивая тенденция проникновения технологий, разработанных и применяемых для корпусирования микроэлектронных компонентов, в технологию сборки печатных узлов и гибридных приборов. Применение бескорпусных кристаллов, кристаллов типа «flip chip», многокристалльных и многоуровневых модулей, позволяет на порядок повысить потребительские свойства приборов. Примеры применения современных технологий корпусирования представлены на рис. 1.

Ещё одним элементом, позволяющим радикально миниатюризировать электронную технику, достигнув качественно нового уровня, являются микроэлектромеханические системы (МЭМС). Некоторые примеры МЭМС (исполнительные устройства) приведены на рис. 2.

Основными преимуществами микроэлектромеханических систем являются:

- высокая технологичность и повторяемость при изготовлении;
- миниатюрность;
- высокая функциональность;
- высокая надежность и стойкость к внешним воздействиям;
- низкая стоимость;
- улучшенные характеристики функционирования.

По типам МЭМС можно разделить на следующие основные группы:

- датчики – преобразуют входную неэлектрическую величину (ускорение, температуру, давление) в электрический сигнал;

- исполнительные устройства (актюаторы) – преобразуют входной электрический сигнал в выходной неэлектрический;
- интеллектуальные МЭМС – дополнены электронной схемой, контролирующей и/или обрабатывающей информацию.

Для внедрения современных инновационных технологий микроэлектроники в производство МЭМС, повышения качества и надёжности выпускаемой продукции необходимо проведение технического перевооружения предприятий с использованием современного сборочного, инспекционного, испытательного и контрольно-измерительного оборудования.

Основными причинами, сдерживающими промышленный выпуск МЭМС-устройств в России, являются:

- отсутствие необходимого для производства МЭМС технологического оборудования;
 - установок глубокого анизотропного травления кремниевых пластин;
 - установок двухстороннего совмещения и соединения нескольких пластин;
- недостаточное понимание механических свойств МЭМС и зависимости материалов, используемых при их производстве, от технологического процесса;
- относительно низкая точность контроля толщины МЭМС-структур (как правило, она должна быть выше $\pm 10\%$, принятых в полупроводниковой промышленности);
- непонимание взаимодействия механической и электрической стабильности структур;
- отсутствие технологии вертикального монтажа пластин, критичной для многих МЭМС-приборов;
- отсутствие специализированных недорогих устройств тестирования промышленных МЭМС, особенно оборудования, имитирующего механические усилия, например, давление.

Вместе с тем необходимо отметить, что в России существует несколько нишевых рынков для МЭМС-приборов. Одним из самых массовых рынков (при соответствующей политике государственных органов по локализации произ-

водства) может стать в ближайшее время рынок автомобильных МЭМС и рынок МЭМС для реализации государственной программы создания навигационных систем ГЛОНАСС.

Некоторые области применения МЭМС в автомобильной промышленности

- акселерометры подушек безопасности;
- датчики давления различных систем (топливной, системы безопасности, давления в шинах);
- элементы систем безопасности движения (антиблокировочная, антипробуксовочная, система распределения торможения);
- охранные системы;
- навигация транспортного средства.

На рис. 3 приведены примеры автомобильных микродатчиков давления

Тенденция развития современных МЭМС-приборов заключается в углублении их интеграции с управляющими интегральными схемами (ИС). При этом основные производители уделяют всё большее внимание унификации технологических процессов. Базовый технологический маршрут производства МЭМС и ИС приведен на рис. 4.

При изготовлении МЭМС в основном используются процессы, совместимые с КМОП-технологией. Отличие заключается в наличии процессов микрообработки материала с использованием сложных процессов травления.

Использование технологии нанопринтной фотолитографии упрощает микрообработку материала, ускоряя процесс изготовления изделия. Заказные камеры позволяют быстро настроить технологические процессы (травление, осаждение и т.д.) под конкретный маршрут изготовления.

Важную роль в производстве МЭМС также играют процессы микросборки с использованием 3D технологий.

На рис. 5 приведена современная 3D интегрированная структура с применением технологий создания переходных контактных отверстий в кремнии и технологии низкотемпературной сварки кремниевых пластин.

Для успешного функционирования предприятий после проведения технического перевооружения наряду с основными задачами обеспечения надёжности и качества выпускаемой продукции, не-

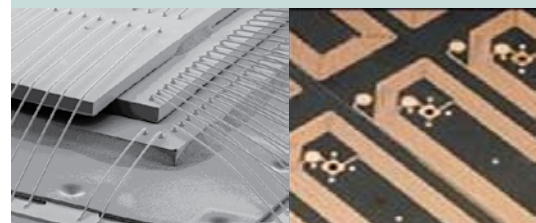


Рис. 1 Примеры применения современных технологий корпусирования

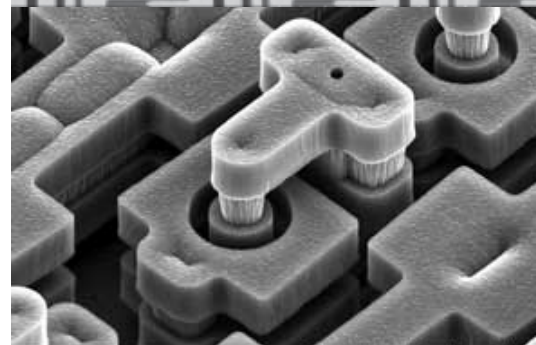
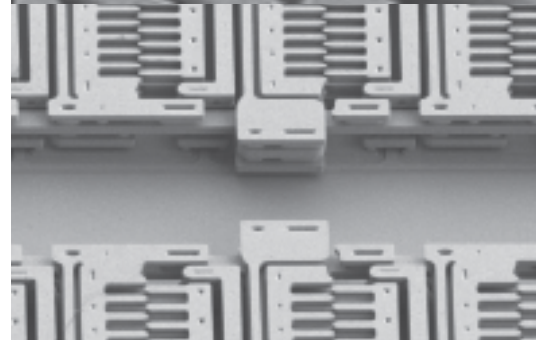
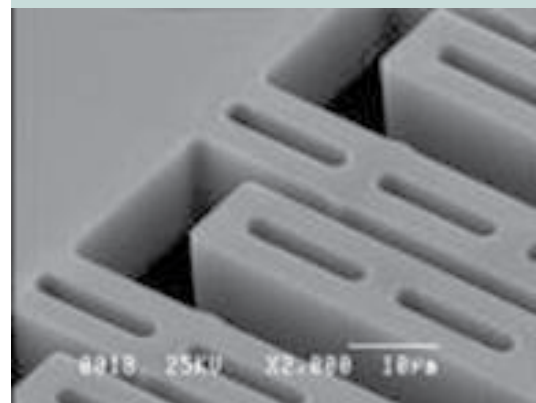


Рис. 2 Примеры МЭМС: исполнительные устройства-преобразователи, преобразующие электрический сигнал в механическое воздействие и наоборот

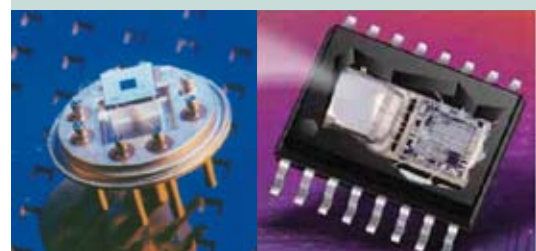


Рис. 3 МЭМС-датчики давления автомобильной системы безопасности и топливной системы

обходимо комплексное решение следующих проблем:

- обеспечение запуска оборудования в эксплуатацию в максимально сжатые сроки, отработка технологии, обучение персонала;
- обеспечение эффективного использования оборудования в условиях многономенклатурного мелкосерийного производства;
- обеспечение эффективного обслуживания оборудования;

- обеспечение бесперебойного и квалифицированного снабжения производства расходными материалами и комплектующими.

Только применение комплексного подхода, основанного на использовании разработанных технических и проектных решений для реализации вышеперечисленных задач, позволяет успешно выводить на рынок современные сложные приборы в приемлемые сроки и с требуемым уровнем качества.



Рис. 4 Базовый технологический маршрут производства МЭМС и ИС

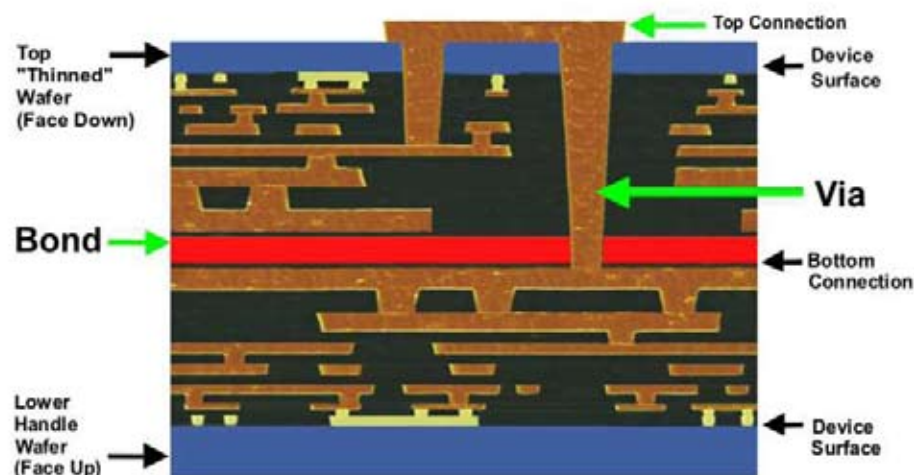


Рис. 5 3D интегрированная структура