



Микротехнология — универсальная основа производства современной электроники

Микротехнология — комплекс групповых прецизионных технологий, разработанных для производства микроэлектроники. В последние годы она все больше внедряется в смежные области техники. В статье предпринята попытка выделить и обозначить общие, наиболее универсальные для различных электронных производств технологические методы и очертить круг тем, по которым предполагается подбор и публикация материалов, расширяющих кругозор современного технолога.

Юрий Цветков

tsvetkov@mx.bmstu.ru

Бурное развитие микроэлектроники в последние десятилетия стало возможным благодаря разработке и непрерывному совершенствованию

технологических методов, обеспечивающих массовое производство микроструктур с уникальными техническими параметрами и приемлемыми экономическими показателями.

В наиболее полной мере эти методы реализованы в полупроводниковом производстве при изготовлении интегральных микросхем (ИМС), а в последнее время — микроэлектромеханических систем (МЭМС). Именно в этих областях достигнуты наиболее впечатляющие практические результаты — резко увеличены быстродействие микропроцессоров и объемы запоминающих устройств, радикально уменьшены размеры и повышена чувствительность кремниевых микродачиков.

Повышение функциональных возможностей микроэлектронных компонентов привело к увеличению числа их выводов и, соответственно, к возрастанию плотности монтажа на подложках гибридных ИМС и микросборок, а также на многослойных печатных платах. Размеры проводников на этих изделиях уже сейчас составляют 20–50 мкм. Так, структура печатных плат стала включать, помимо проводников, резисторы и конденсаторы, все шире применяется бескорпусная сборка компонентов. Появляются изделия, созданные по гибридным технологиям, например, микродатчики магнитного потока [1], индуктивные преобразователи [2], микродатчики контроля окружающей среды, встроенные непосредственно в печатную плату или размещенные на ней [3].

Тенденция к микроминиатюризации электронных компонентов очевидна. Не менее очевиден (и уже проявляется) перенос методов технологии микроэлектроники в производство электронной аппаратуры.

Задача данной статьи — обозначить общие, универсальные для различных электронных производств технологические методы и очертить круг тем, по которым предполагается подбор и публикация материалов, расширяющих кругозор современного технолога электронного производства.

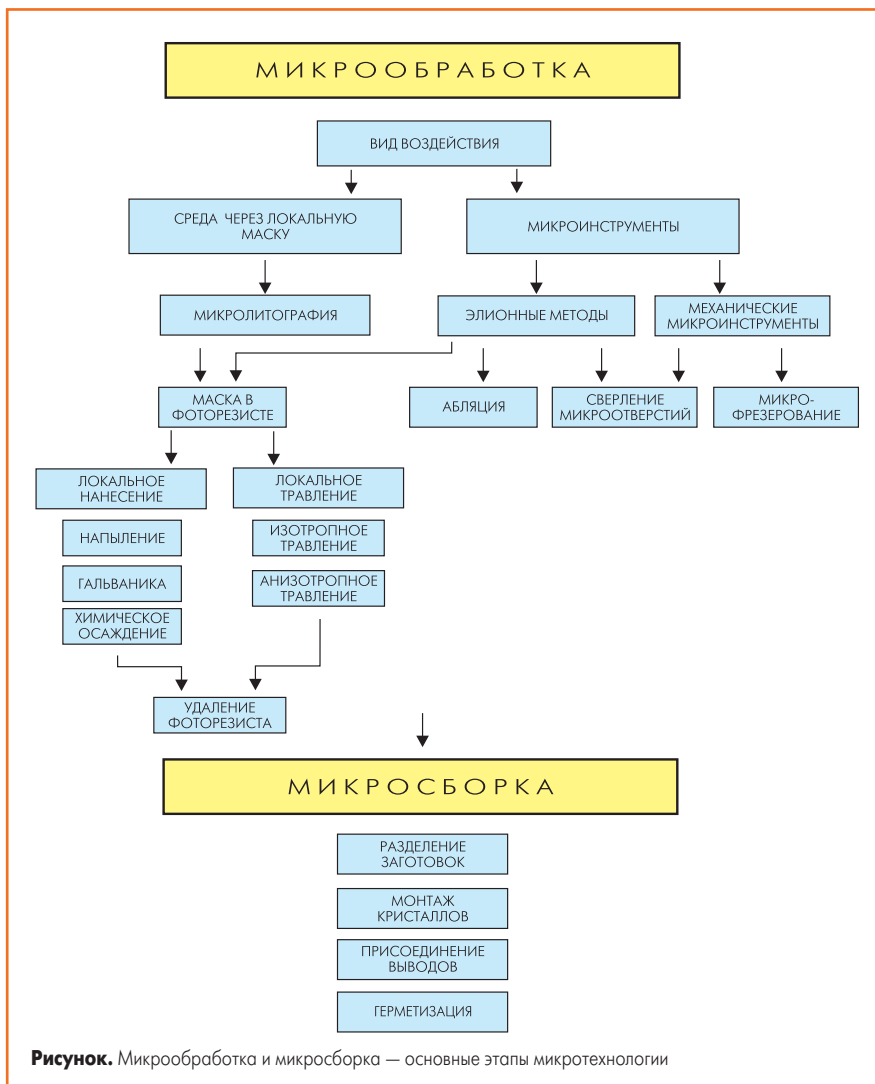


Рисунок. Микрообработка и микросборка — основные этапы микротехнологии

С технологической точки зрения изделия современной электроники — кремниевые кристаллы, подложки гибридных ИМС и микросборок, МЭМС, многослойные печатные платы — имеют ряд общих черт.

Все они являются плоскими, часто многослойными структурами, их функциональные элементы выполнены в виде микрорельефов в технологических слоях. Связь между слоями осуществляется электропроводящими микропереходами, при этом соответствующие элементы слоев должны быть точно совмещены между собой. Внешние слои микроструктур должны быть подготовлены для контактирования с другими изделиями при сборке.

Уникальные возможности применяемых для изготовления таких структур технологических методов, оригинальность технических решений, их универсальность — все это характерные черты самостоятельного научно-технологического направления, окончательно сформировавшегося в технике к концу XX столетия и получившего название «микротехнология» (microtechnology).

Основу микротехнологии составляет комплекс групповых прецизионных технологий, разработанных для производства микроэлектроники, в которых можно выделить этапы микрообработки (*micromachining*) заготовки и последующей микросборки (*packaging, assembly*) (см рисунок).

Микрообработка может проводиться двумя основными способами:

1. одновременным воздействием обрабатывающей среды на поверхность заготовки через локальные окна в маскирующем защитном покрытии;
2. прямым воздействием на поверхность заготовки микроинструментом.

Первый способ является основой группового метода производства (*batch fabrication*). Он реализуется с помощью микролитографии (*microlithography*), которая позволяет создать защитную маску с окнами требуемой формы и размеров. На последующих этапах обрабатывающая среда окружает всю заготовку, однако ее воздействие возможно лишь через окна в фоторезисте.

Арсенал современных методов микрообработки весьма широк и во многом определяется материалом заготовки. В их число входят кремний, полимеры, стекло, керамика, металлы. Как правило, на поверхности заготовки предварительно формируются технологические слои — эпитаксиальные, оксидные, тонкие или толстые металлические пленки.

Именно они и подвергаются затем микрообработке — локальному нанесению материалов или локальному травлению.

Для локального нанесения могут использоваться, например, вакуумное напыление (*vacuum deposition*), гальваника (*electrodeposition*), химическое осаждение из паровой фазы (*CVD — Chemical Vapor Deposition*). После удаления фоторезиста на поверхности заготовки остаются участки с нанесенным материалом, соответствующие топологии защит-

ной маски. Характерными примерами этого вида микрообработки являются «взрывная фотолитография» в микроэлектронике и аддитивная технология в технологии печатных плат. В технологии LIGA (*Lithographie, Galvanofornung, Abformung* — нем.) после проявления экспонированного фоторезиста в нем создается матрица для дальнейшего гальванического осаждения металла (*electroforming*). Далее металлическая форма может использоваться для получения полимерных отливок методами горячего выдавливания (*casting, hot embossing, injection molding*), что обеспечивает создание очень высоких (единицы мм) деталей из пластика с вертикальными стенками толщиной всего несколько микрометров.

Локальное травление может проводиться жидкостными изотропными или анизотропными травителями (*wet isotropic, anisotropic etching*), а также методами элионных технологий. К их числу относятся плазмохимическое травление (*plasma etching*), глубокое реактивное ионное травление (*DRIE — Deep Reactive Ion Etching*), обеспечивающее травление на значительную (до сотен мкм) глубину с практически вертикальными стенками.

Во втором способе микрообработки для локального воздействия на заготовку могут использоваться микроинструменты различной физической природы.

В элионных технологиях это сфокусированные лучи: электронный (*EBM — Electron Beam Machining*), лазерный (*LBM — Laser Beam Machining*), ионный (*IBM — Ion Beam Machining*).

В микроэлектроэрозионной (*MEDM — Micro Electro Discharge Machining*) или микроэлектрохимической обработке (*MECM — Micro Electro Chemical Machining*) используется профилированный или проволочный микроинструмент.

Заметим, что сфокусированные лучи могут применяться для решения широкого круга задач: локального экспонирования фоторезиста в микролитографии (см. рисунок), для локальной абляции материала с поверхности заготовки, а также для глубинной локальной микрообработки — сверления микроотверстий. В последнем случае лазерная обработка позволяет получать отверстия диаметром до 10 мкм при глубине до 1 мм, электронно-лучевая — диаметром до 0,05–1,5 мм при глубине 0,25–6,4 мм. По этим параметрам они вполне сопоставимы с традиционным методом прошивки микроотверстий — электроэрозионным, обеспечивающим диаметры отверстий от 5–10 мкм на глубине до 2 мм [4].

Активно совершенствуются также микроинструменты (*cutting tools*) для традиционного резания материалов — фрезерования (*milling*), сверления (*drilling*), точения (*turning*). Микрофрезы диаметром 20–60 мкм, микроверла диаметром до 15–30 мкм, микрорезцы шириной около 10 мкм предназначены, в основном, для микрообработки объемных деталей в прецизионном машиностроении [4], однако в ряде случаев они могут дополнить

арсенал инструментов для обработки изделий электронного производства.

Микросборка в полупроводниковом производстве включает монтаж кристаллов на коммутационную плату или в корпус (*die placing*), электрическое соединение элементов кристалла с внешними выводами (*wire bonding*), а также его герметизацию (*packaging*).

Традиционные методы сборки электронных модулей (монтаж выводов компонентов в отверстия, поверхностный монтаж) в последние годы все чаще дополняются методами, заимствованными в полупроводниковом производстве: размещение бескорпусных кристаллов на плате, их разварка и герметизация. Опыт, накопленный при корпусировании кристаллов и создании микросборок, может быть полезен при сборке электронных модулей.

Краткий обзор основных этапов и методов микротехнологии, безусловно, не охватывает весь спектр технологий, применяемых в современном электронном производстве. Функциональные различия этих изделий обуславливают специфику построения технологических процессов и различия в принципах реализации операций.

Достаточно упомянуть хотя бы такие специфические операции технологии микроэлектроники, как подготовка кремниевых пластин заданной кристаллографической ориентации и обеспечение требуемых физико-механических свойств поверхности, высокотемпературные операции оксидирования, диффузии, эпитаксии, ионное легирование. В технологии МЭМС разработаны уникальные операции глубинного анизотропного травления кремния, поверхностная технология с использованием «жертвенных слоев», сварка кремния со стеклом в твердой фазе (анодная сварка — *anodic bonding*). При изготовлении микросборок весьма эффективны толстопленочные технологии, а технология многослойных печатных плат предусматривает прессование слоев, сверление и металлизацию микропереходов.

Вместе с тем, выделение универсальных технологических методов, применимых (в различных модификациях) в ряде смежных областей техники, позволяет сконцентрировать информацию, представляющую интерес для наиболее широкого круга читателей.

Поэтому, предлагая публикацию материалов по широкому кругу проблем современного электронного производства, редакция планирует подготовить ряд обзоров по современному состоянию таких ключевых методов, как фотолитография, осаждение слоев (вакуумное и из паровой фазы), ионно-плазменное травление, микросборка.

Литература

1. <http://lms2.epfl.ch/articles/pdf/16.pdf>
2. <http://lms2.epfl.ch/articles/pdf/2.pdf>
3. <http://www.mdpi.net/sensors/papers/s20900356.pdf>
4. <http://www.stankoinform.ru/22.micronanotech.htm>