

ЧТО НОВОГО В ЦЕХАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ФАБРИК? ВПЕЧАТЛЕНИЯ ОТ ВЫСТАВОК SEMICON EUROPA И SEMICON CIS 2004 ГОДА

Международная ассоциация полупроводникового оборудования и материалов (SEMI) объединяет более 2500 мировых предприятий и организаций, так или иначе связанных с производством полупроводниковых приборов, и ежегодно устраивает 11 выставок в Азии, Европе и Северной Америке. Для нас наиболее важные – весенняя выставка SEMICON Europa в Мюнхене и осенняя SEMICON CIS в Москве*. Они, конечно, существенно различаются как своими масштабами – около 800 компаний в Мюнхене и примерно 60 в Москве, так и числом проводимых технических симпозиумов. Тем не менее, для организаций России и СНГ это реальная возможность ознакомиться с современными достижениями технологии и инженерной мысли. Чтобы соответствовать вызовам со стороны современных технологий, на выставках уделялось большое внимание автоматизации производства, микроэлектромеханическим системам (МЭМС), а также технологиям плоскочастотных дисплеев (ПЧД). В Мюнхене был даже организован технический симпозиум и круглый стол на тему "Как делать бизнес ПЧД в Европе?", а в Москве проведен симпозиум по перспективным технологиям ПЧД.

Начнем с рассмотрения последних достижений в области производства пластин, на которых изготавливаются электронные элементы и МЭМС с заданными свойствами для микроэлектронных, оптоэлектронных устройств или плоских дисплеев. Прежде чем запустить пластину в производство, ее поверхность надо довести до идеальной плоскостности. Что означает в данном случае "поверхность идеальной плоскостности", можно понять из характеристик системы химико-механической планаризации (CDP) шотландской компании Logitech. Средняя однородность слоя оксида кремния, измеренная по пяти точкам на 20 пластинах, лежит в пределах 7,5–24 нм. У пластин для изготовления МЭМС с различными покрытиями средняя разница между однородностью слоя составляет 2,9%, меняясь от 2% для пластин с пленками меди и нитрида крем-

* В этом году в обеих выставках участвовало около десятка компаний, в том числе зеленоградский "Ангстрем", немецкая Stangl, французская Alcatel, японская Ulvac с немецкой и американской "дочками" Physical Electronics.



В.Беляев

ния до 4,4% для пластин с пленками Al/Cu. При этом скорость удаления материала лежит в пределах от 4 нм/мин для пластин с нитридом кремния до 60 нм/мин для пластин с Al/Cu. CDP-система компании Logitech практически пригодна для обработки всех материалов, используемых при изготовлении современных приборов: кремниевых пластин, пластин полупроводниковых соединений группы A^{III}B^V, нитрида кремния, оксидов кремния, слоев полимеров, хрупких подложек из материалов для приборов ИК-диапазона, подложек из сапфира, нитрида галлия и карбида кремния. Система также пригод-



Рис.2. "Кипящая" холодная ванна Walter Ultraschalltechnik

на для рекламации готовых подложек на стадии их финишного утоньшения до менее 20 мкм или удаления слоев.

Компания RENA (ФРГ), занимающаяся производством солнечных батарей на 300-мм пластинах, разработала новую методику сушки пластин с использованием HF/O₃. Обеспечивается не только получение оптимального состояния поверхности, но и удаление частиц металлов и других твердых компонентов (рис.1). Высокое качество чистоты достигается и при обработке поверхности в УЗ-ваннах компании Martin Walter Ultraschalltechnik (ФРГ) (рис.2).

Большое внимание на выставках уделялось оборудованию обнаружения дефектов полупроводниковых пластин (рис.3). Лаборатория физики полупроводников (SEMILAB), по-види-



Рис.1. Стенд компании RENA



Рис.3. Анализатор объемных микродефектов

тому, дочерняя организация компании Videoton (Венгрия), представила анализатор объемных микродефектов SIRM-300 для бесконтактной неразрушающей диагностики и обнаружения в объеме и приповерхностной области 300-мм пластин включений кислорода и металлов, пустот, дефектов упаковки и дислокаций с помощью эффекта отражения конфокального лазерного пучка. Исследуемые пластины не требуют специальной обработки. Анализатор может работать с сильнолегированными образцами с малым удельным сопротивлением (3 мОм·см и ниже). Измеряемая плотность объемных дефектов – 10^5 – 10^{11} см⁻³, дефектов в приповерхностной области – 10^{10} – 10^{11} см⁻³. Программное обеспечение позволяет строить карты плотности дефектов и их распределения по размеру.

Тестер пластин WT-2000 компании SEMILAB, аналогичный по принципу действия, но с несколько худшим разрешением (0,5-мм пиксел), позволяет измерять временные характеристики процессов длительностью не менее 0,01 мкс, протекающих в кремниевых, германиевых пластинах или пластинах теллурида кремния-ртути (КРТ), а также строить карты содержания тяжелых металлов и кристаллических дефектов, уровней поверхностных барьеров, скорости рекомбинации, времени жизни носителей и т.п.

Желающие усовершенствовать приобретенное ранее оборудование для производства и диагностики пластин могут обратиться в компанию SIDEX (Австрия). Компания может заменить 150-мм держатели на 200-мм и поставить новое универсальное устройство проверки пластин с усовершенствованным программным обеспечением, увеличить импульсное напряжение тестера с 2,5 до 4 кВ, установить новые планшайбы диаметром 125, 150 или 200 мм, предоставить специальную систему манипулирования тонкими пластинами.

Компания Salland Engineering (Нидерланды) представила мощную систему управления зондами SE-PROBE, позволяющую надежно определять характеристики пластин в любой точке в четыре раза быстрее, чем с помощью обычных зондов. Благодаря возможностям внутренних сетей и Интернета можно составлять карты состояния пластин, находясь на любом удалении от них, хоть на другом континенте. При использовании программ Product Setup Wizard ("Мудрец набора заданных параметров продукта") и Reference Die Wizard ("Мудрец справочного кристалла") можно проводить проверку пластин без специальных знаний об устройстве зондов, что значительно сокращает время обучения и адаптации специалистов.

В Мюнхене российская компания "Унисантис" (www.unisantis.com) продемонстрировала компактный и безопасный рентгеновский дифрактометр на основе фокусирующей капиллярной линзы Кумахова. Прибор позволяет определять ориентацию кристалла на срезе пластины. Ошибка измерения дифракционного угла составляет 0,001°. А в Москве ВНИИ метрологии им. Д.И.Менделеева показал другой прибор неразрушающего контроля – ИК Фурье-спектрометр ФСМ 1201, регистрирующий концентрацию кислорода, углерода и фосфора в кремнии и определяющий толщину эпитаксиальных слоев n - p^+ - и p - p^+ -структур. Прибор имеет на порядок меньший порог обнаружения контролируемых примесей и малое время получе-



Рис.4. Робот компании KUKA



Рис.5. Установка перемещения пластин компании KUKA

до 7300 промышленных роботов в год (рис.4, 5), представила модель робота KR3 с практически неограниченным кругом приложений. Робот загружает и разгружает детали, устанавливает их в сборочные линии, распыляет клей, герметики и подобные им материалы, проводит испытания компонентов на надежность, полирует, режет, сверлит, выполняет дуговую сварку. Для продольных перемещений различных объектов в роботе используются линейные моторы. Их недостаток – гистерезис смещения из-за свойств используемых ферромагнитных материалов, неуправляемого температурного изменения намагниченности при превышении установленного тока и шумов третьей гармоники. Для устранения этого недостатка необходимо принимать специальные меры, что повышает стоимость робота.

Специалисты японской компании GHC (GMC Hillstone) предложили заменить линейные моторы осевыми, в которых нет сплавов железа и преодолены все недостатки предыдущих устройств. Конструкция таких моторов проста и состоит из собственно оси и небольшой движущейся части. Мотор без сердечника и эксцентрик оси не влияют на управляющую мощность.

Эти моторы хороши для установок, постоянно работающих с высокой скоростью смещения в сочетании с его высокой точностью. Шаг смещения различных модификаций осевых моторов – от $10 \pm 0,3$ мм при значении смещения 34–64 мм (мотор S080) до $50 \pm 0,3$ мм при смещении до 380 мм (S427) или 520 мм (S605). При этом движущая сила меняется в диапазоне от 1,9 (S080) до 1500 Н (S605) в режиме постоянной скорости или от 7,5 до 6000 Н в режиме ускорения. Минимальная масса движущейся части составляет 0,05 кг (S080D), максимальная – 20 кг (S605Q). Ток потребления у разных типов моторов меняется от 1,1 А (S080) в режиме постоянной скорости до 81 А (S605) в режиме ускорения.

Осевые моторы с более высокими разрешением по смещению и скоростью выпускает компания DKSH (ФРГ) (рис.6). Разрешение моторов серий GTS-25, -350 и -450 (сверхвысокая точность) по смещению составляет 10 нм при точности 20 нм и максимальной скорости перемещения 80 мм/с; разрешение серий GTX-250, -350 и -450 (ультрасверхвысокая точность) – 1 нм при точности 5 нм и максимальной скорости



Рис.6. Осевой мотор компании DKSH

15 мм/с; а разрешение серий GTX-250, -350 и GTX-250, -350 (предельная сверхвысокая точность) – 0,07 нм (GTEX) и 0,14 нм (GTX) при точности 0,63 нм (GTEX) и 0,98 нм (GTX) и максимальной скорости 1 и 3 мм/с, соответственно. У всех типов моторов флуктуация скорости не превышает 0,05% при максимальной на-

ния спектра (15–20 с). Интерес вызвали установки перемещения пластин и плоских компонентов. Европейский лидер и занимающая третье место в мире компания по поставке технологических роботов – KUKA (ФРГ), выпускающая

грузке 50 кг (однокоординатное смещение) и 30 кг (двухкоординатное смещение).

На выставке в Мюнхене демонстрировались и специальные моторы компании DKSH для производства ЖКД и ПДП большого размера. Линейное разрешение моторов типа LDP-1500 и LDV-1500 для перемещения пластин при формировании ТПТ-матриц для ЖКД составляет 0,5 мкм (LDP-1500) и 0,1 мкм (LDV-1500) при размере стола 860x1050 мм. Размер стола аналогичных установок PDP-1500 и PDV-1500 с таким же разрешением для перемещения пластин ПДП – 1420x1420 мм. Максимальная скорость перемещения пластин 1–2 м/с при максимальном ускорении 0,3 g и максимальной нагрузке до 100 кг.

Компания Philtec (США) представила два типа бесконтактных волоконно-оптических датчиков смещения: отражательный (тип D) и компенсированный отражательный (тип RC). Каждый может иметь аналоговый или цифровой выход. Первые используются при перемещении мишени вдоль оси датчика, а вторые – при вращательных или произвольных линейных перемещениях мишени. Разрешение отражательных датчиков при расстоянии между пластиной и датчиком 1–50 мм равно 0,04–3,4 мкм при удалении мишени и 0,25–16,6 мкм при ее приближении. Разрешение компенсированных отражательных датчиков при частоте сигнала управления движением мишени, равной 100 Гц, составляет 0,01–0,7 мкм при расстоянии до мишени 0,5–15 мм. Однако с ростом частоты оно ухудшается – с 0,5 до 35,6 мкм при 200 кГц. Наилучшая точность измерения цифровых датчиков достигается при 5 кГц.

Другая американская компания ASML разработала оптомеханическую систему калибровки, совмещения и нанесения меток ориентации пластин. Она позволяет совмещать обратные стороны полированных с обеих сторон пластин с точностью до 95 нм или переднюю сторону одной пластины с задней стороной другой с точностью до 180 нм. Число шагов системы – 5500.

Интерес посетителей вызвали датчики температуры голландской компании Doedijns-Thermo Electric, работающие в диапазоне от абсолютного нуля (-273°C) до 2700°C. Фирма также выпускает специальное оборудование для работы датчика в неблагоприятных условиях окружающей среды: высокой влажности, приводящей к коррозии, при вибрациях, давлении, высоких электромагнитных полях. Для машин, работающих с несколькими пластинами, разработаны профилированные датчики и щупы. Фирма также поставляет пятиканальные термодатчики как с положительными, так и отрицательными температурными коэффициентами с керамическими изолирующими прокладками, легкими алюминиевыми рукоятками.

Изготовить современную микросхему нельзя без различных газообразных реагентов. Компания Voltai. (США) поставляет газообразные реагенты для формирования различных электронных компонентов, в том числе солнечных батарей и изделий фотоники, которые при изготовлении требуют частого контроля показателей преломления пленок. Чистота поставляемого компанией в баллонах размером от 6 до 49 см и объемом от 100 г до 2 кг, соответственно, германа (тетрагидрида германия или германометана) превышает 99,99%. Газ используется при выращивании эпитаксиальных пленок, пленок аморфных кремний-германиевых сплавов, а также как компонент пленок (Si,Ge)O₂, наносимых методом плазменного травления в вакууме.

Voltaix также поставляет тетрафторид кремния для изготовления изделий фотоники и быстродействующих микросхем; монометилсилан и триметилсилан, используемые в качестве исходного вещества в процессе химического осаждения сплавов и оксидов, таких, как Si-Ga-C и диоксид кремния, легированный углеродом;

триметилборат, используемый совместно с силаном для одновременного осаждения углерода и бора.

Даже незначительная примесь постороннего газа может существенно ухудшить характеристики изготавливаемого прибора. К тому же, в процессе нанесения пленки могут возникать газы и жидкости, вызывающие коррозию оборудования, ухудшающие состояние окружающей среды при их выбросе и представляющие опасность для обслуживающего персонала. Компания CS Clean Systems (США) разработала ряд хемисорбционных процессов для удаления остатков вредных газов и жидких промежуточных продуктов процесса. Согласно технологии CLEANSORB газы пропускаются через гранулы с сорбентами, в результате чего быстро формируются стабильные неорганические твердые осадки. Фирма использует пять типов сорбентов, которых тем не менее достаточно для уменьшения остаточной концентрации газов до долей промилле. Для проведения очистки сконструированы и изготовлены 316-л контейнеры из нержавеющей стали (CLEANSORB серии CSM), в которые вставляются модули с сорбентами (они меняются для разных процессов). Поток газа может находиться при субатмосферном давлении, благодаря чему предотвращается утечка вредных газов. Этим же целям служит и другая система CLEANSORB серий CS или DS (одно- или двухколочная), предназначенная для очистки "выхлопных" газов при обработке полупроводниковых пластин. Выбросы таких вредных газов, как фториды и перфториды, уничтожаются в результате одновременного действия сорбента и высокой (200–450°C) температуры (очистители CLEAN THERM серии CT).

Газораспределительные, газоочистные, редуцирующие, фильтровальные и другие панели из электрохимически полированной нержавеющей стали для особо чистых инертных, гидридных и химически агрессивных газов предлагает российский институт "Экопроект".

Значительное внимание на выставке в Мюнхене уделялось технологии осаждения пленок. Здесь в качестве лирического отступления уместно рассмотреть трансформацию одного восточногерманского предприятия в современную компанию с большим оборотом. В 1968 году в Дрездене было начато производство оборудования для нанесения различных покрытий на кремниевые пластины. Активную роль в разработке технологических процессов сыграли ученые Fendler, Hentsch и Raensch. Через 23 года, когда Западная Германия стала осваивать Восточные Земли, ученые основали компанию, названную по аббревиатуре их фамилий, – FHR. Типичный пример оборудования этой компании – шестиокый монстр, представляющий собой многоцелевую систему осаждения пленок MS 150x4-AE, предназначенную для производства полупроводников, датчиков, микросистем, оптоэлектронных изделий. Загрузочная камера системы имеет пять или шесть портов и снабжена вакуумным роботом. Давление устанавливается в пределах от 2·10⁻⁷ до 5·10⁻⁵ мбар, скорость ВЧ-травления – 1–20 нм/мин, осаждения – 100–1000 нм/мин в зависимости от материала при однородности не хуже 5%. Сегодня объем производства продукции, поставляемой компанией FHR в страны Европы, Азии и в США, достиг 18 млн. евро. Такая цифра оборота типична и для многих других фирм, особенно европейских, представленных на SEMICON Europa.

Интерес посетителей выставки SEMICON Europa вызвали новые точечные источники УФ-излучения LC5 и LC6 серии LightningCure для установок фотолитографии японской корпорации Hamamatsu Photonics K.K. Источник формирует световое пятно диаметром 10 мм с длиной волны излучения 365 нм и мощностью до 3,5 Вт см⁻². Источник LC5 выполнен на основе ртутно-ксеноновой лампы с эллиптическим рефлектором, отражающим более 90% УФ-излучения



Рис.7. Установка компании Stangl

лампу, срок службы которой не меньше 3 тыс. ч, можно заменить менее чем за 30 с.

Значительную часть стендов выставки в Мюнхене занимали организации, разрабатывающие и применяющие МЭМС. По оценке немецкой консалтинговой компании WiSHT Technologie Consulting (WTC), мировой объем продаж этих систем в 2005 году составит 51 млрд. долл. Прирост рынка МЭМС в 2004 году превысит прогнозы, делавшиеся несколько лет назад, на 2%. Отмечалось, что 8 млрд. долл. придется на так называемые прорывные изделия, к которым относятся микрооптоэлектронно-механические системы (МОЭМС), микрожидкостные системы для химического анализа, микродисплеи и проекционные системы, радиочастотные МЭМС, или РМЭМС (RF MEMS), для систем беспроводной связи, датчики угла наклона, противоударные системы и системы для биометрической идентификации. Особый интерес вызвали РМЭМС-компоненты – переключатели и элементы индуктивности, конденсаторы перемен-

и пропускающим видимое и ИК-излучения, передаваемые в кварцевый волновод. Юстировки лампы для работы не требуется. Временная последовательность излучения может задаваться с высокой точностью во всем диапазоне яркости. Конструкция источника настолько проста, что

ной емкости и индуктивности, полостные и микромеханические резонаторы, микроантенны и линии передач, превосходящие обычные электронные компоненты по цене и характеристикам. Хотя рынок таких изделий сформировался только два года назад, по прогнозу WTC, в 2005 году он должен составить 220 млн. долл., а в 2007-м превысить 1 млрд. долл. Области применения РМЭМС – сотовые телефоны, сети персональных компьютеров, система глобального позиционирования (GPS), базовые станции сотовой связи, автомобильные и военные радары, спутники, ракетные системы.

Обращали на себя внимание мини-роботы MiniROB компании ATOS (ФРГ) и интеллектуальная микромодульная система MiniMOS, рядом с которыми всегда клали спички, чтобы подчеркнуть их малые размеры. Так, размер MiniROB всего 40x40x55 мм. Он предназначен для позиционирования микрокомпонентов с точностью до 2 мкм при шаге моторчика 200 нм (по требованию заказчика ее можно довести и до 1 мкм при шаге моторчика 20 нм). Управляется мини-робот беспроводной мышью с портативного компьютера.

Японская компания TECNISCO для изготовления МЭМС-датчиков давления, ускорения и гиродатчиков, а также биоМЭМС предлагает пластины из необычного для микроэлектроники материала – стекла.

И в Москве, и в Мюнхене оборудование для производства МЭМС и МСТ показали Stangl (рис.7) (Германия), Leica Microsystems, Semitool (обе США), Canon Europa N.V. (Нидерланды).

В столь кратком обзоре отражена лишь малая часть разработок и изделий, которые демонстрировались на обеих выставках и привлекли внимание наших специалистов. ○