

ТОЧНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ОБОРУДОВАНИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Беларусь*

Технической основой вычислительной техники, приборов и средств автоматизации, систем управления и связи, бытовой радиоэлектронной аппаратуры, во многом определяющих прогресс экономического развития, являются изделия электронной техники, такие как большие (БИС) и сверхбольшие (СБИС) интегральные схемы, гибридные (ГИС) интегральные схемы, печатные платы и др.

Родившись в 60-х гг. как ответ на требования военной и космической техники, микроэлектроника считалась весьма дорогим направлением, которое было по силам только специальным отраслям. Однако в 1964 г. когда компания IBM объявила о разработке и организации производства 360-й серии ЭВМ, построенных на толстопленочных ИС, тем самым доказав, что микроэлектроника делает аппаратуру не только более легкой, надежной и экономичной с точки зрения энергопотребления, но и более дешевой и качественной. Дальнейшее развитие электроники, сопровождавшееся быстрым проникновением электронной техники во все области жизни и деятельности человека, сменилось последовательным, целенаправленным развитием микроэлектроники, которая и в настоящее время остается по-прежнему на пике современного развития.

Ранее основная тенденция развития микроэлектроники проявлялась в росте степени интеграции, характеризующейся последовательностью: интегральная схема (ИС), насчитывающая сотни элементов на кристалле; большая ИС (БИС), содержащая тысячи элементов; сверхбольшая ИС (СБИС), у которой сотни тысяч и даже миллионы элементов размещаются на одном кристалле. Сейчас основной тенденцией развития микроэлектроники можно считать уменьшение топологической нормы ИС, что обеспечивает, кроме роста степени интеграции, еще и снижение их стоимости [1].

Параметр «топологическая норма» указывает на размер минимального элемента топологии, который применяется в конструкции ИС. Уменьшение топологической нормы связано с большими трудностями и сопровождается серьезными затратами. Тем не менее на это идут, так как, с одной стороны, чем меньше топологическая норма, тем более функционально сложные ИС можно изготавливать, то есть повышать степень интеграции, с другой стороны, чем меньше топологическая норма, тем

больше ИС снимается с одной пластины, тем выше производительность, тем ниже стоимость ИС. Разработана технологическая методика «масштабирования»: по мере совершенствования производства производится уменьшение размеров ИС и снижение топологической нормы без существенной переработки конструкции изделия. Все это дает повышение производительности и обеспечивает снижение издержек производства.

Еще одна тенденция развития производства ИС, связанная с повышением эффективности, это — увеличение размеров кремниевых пластин. Конец 90-х годов характеризуется переходом передовых производств на пластины диаметром 200 мм и работами по подготовке производства к переходу на пластины диаметром 300 мм.

На каждом производстве ИС переходу на новую, меньшую топологическую норму предшествует серьезная технологическая подготовка. Нужно более точно наносить более тонкие пленки, более точно имплантировать примеси, более точно производить отжиг. Нужно более точно разрезать пластины и делать многое другое, чтобы уровень брака, неизбежно повышающийся при уменьшении размеров элементов, уже в самом начале не приводил к снижению выхода годных изделий с одной пластины.

Снижение топологической нормы и увеличение размеров кремниевых пластин кроме совершенствования технологии производства требует также совершенствования технологического оборудования: большей точности позиционирования, более высокого разрешения, более высокого быстродействия, больших размеров рабочего пространства камер термической, химической, вакуумной обработки, больших рабочих полей поверхностной обработки. Например, при «масштабировании» с топологической нормы 1,2 мкм на норму 0,8 мкм на кремниевой пластине размещается в 2,25 раза больше ИС, при этом установки присоединения выводов должны работать в полтора раза точнее и в более чем в два раза быстрее.

Ни одна компания, производящая ИС, не может позволить себе при каждом изменении топологической нормы или размера пластин менять комплект оборудования, поскольку это требует больших капитальных затрат. Отсюда вытекают особые требования к создателям и производителям технологического оборудования: начиная его разработку, надо предвидеть уровень требований производства ИС через 7-10 лет, в которых 1-2 года занимает разработка новой модели оборудования, 3-4 года — производство этой модели и 4-6 лет — ее эксплуатация. Создателям технологического оборудования приходится внимательно следить за развитием микроэлектроники, правильно прогнозировать его уровень на десять лет вперед и создавать машины, параметры которых на момент разработки кажутся неоправданно завышенными.

Развитие микроэлектроники девяностых годов характеризуется переходом к субмикронной топологической норме. К концу этого периода любое массовое производство ИС, даже далеко не самое передовое, использует топологическую норму не более 1,5 мкм. Более передовые производства уже перешли на субмикронную топологическую норму 0,8 мкм и менее, а самые передовые уже применяют элементы 0,5-0,25 мкм и готовятся к еще меньшим. К концу этого периода мало кто использовал кремниевые пластины диаметром менее 150 мм, большинство же передовых предприятий перешло на пластины диаметром 200 мм. Следующий шаг предполагается 300 мм. Таким образом, порог нового тысячелетия для создателей технологического оборудования производства ИС характеризуется требованиями, связанными с топологической нормой менее 0,35 мкм и диаметром пластин более 300 мм.

Современное производство ИС состоит из следующих основных технологических процессов:

- 1) выращивание полупроводникового кремния, нарезание и полировка пластин;
- 2) мокрая химическая обработка пластин (мойка, травление и т.п.);
- 3) термическая обработка пластин (окисление, разгонка и т.п.);
- 4) термическая или ионная имплантация легирующих примесей;
- 5) вакуумное или химическое нанесение пленок;
- 6) фотолитография;
- 7) зондовый контроль;
- 8) разделение пластин на чипы (кристаллы);
- 9) сборка интегральной схемы;
- 10) герметизация, испытания и упаковка.

Первые 8 операций выполняются на целых пластинах, поэтому чем больше диаметр этих пластин и чем меньше топологическая норма, тем больше количество чипов, расположенных на пластине. Следовательно, создаваемое для этих процессов технологическое оборудование должно быть способным обрабатывать пластины больших размеров с большей точностью.

У многих видов технологического оборудования для производства ИС точность работы и производительность определяются работой такого устройства, как координатная система или координатный стол. Это, в первую очередь, сборочное оборудование, установки зондового контроля и разделения пластин, установки экспонирования и контроля на операциях фотолитографии. И с каждым шагом уменьшения топологической нормы, с каждым увеличением размеров кремниевых пластин возрастают требования к координатным системам.

Наиболее распространенными технологическими установками на операциях сборки ИС, использующими координатные столы, являются установки присоединения выводов. В этих установках контактные площадки кристаллов, закрепленные в корпусах, соединяют с выводами корпусов проволочными соединениями. Для этого в установке имеется сварочная головка, механизм подачи проволоки и координатный стол, который поочередно выводит под сварочную головку контактные площадки и соответствующие им выводы корпуса ИС. Каждое соединение сопровождается двумя переходами координатного стола на несколько мм с позиционированием с точностью в 3-10 мкм. Чтобы оценить требования, предъявляемые к координатному столу таких установок, можно отметить, что к концу 90-х годов эти установки производили до 10-12 присоединений в секунду, при размере контактной площадки до 70×70 мкм. Можно ожидать, что быстродействие будет возрастать, хотя это будет даваться с большим трудом, тем более что будут уменьшаться размеры контактных площадок. Правда, рабочее поле такого координатного стола обычно лежит в пределах квадрата 40×40 мм, так как эти установки оперируют не с пластинами, а с кристаллами и корпусами ИС.

Требования к координатным системам установок разделения пластин на отдельные кристаллы существенно отличаются. Координатный стол, несущий кремниевую пластину, должен относительно точно вывести дорожку разрезки по одной оси под режущий инструмент (тонкий алмазный диск или луч лазера), и перемещать пластину с постоянной скоростью по другой оси, затем сдвинуться на ширину кристалла и повторить резку следующей дорожки. После прорезки пластины в одном направлении стол поворачивается на 90 градусов, и прорезаются дорожки в другом направлении. Таким образом, координатные столы установок разделения пластин должны осуществлять перемещения с позиционированием с точностью в несколько мкм по одной оси и обеспечивать равномерное движение по другой. При этом рабочее поле координатного стола современной установки должно быть не менее 300×300 мм.

Наиболее сложные требования предъявляются к координатным столам оборудования, используемого для фотолитографии. К основным технологическим установкам, работа которых определяет достижимый уровень топологической нормы, относятся генератор изображений и мультипликатор. Генератор изображений – это оптико-механическая или электронно-лучевая установка, преобразующая цифровую информацию о топологии того или иного слоя фотолитографии в изображения на ретиклах (промежуточных фотооригиналах), выполненные с требуемой точностью. Мультипликатор – это оптико-механическая установка, переносящая изображение топологии соответствующего слоя с ретикла на кремниевую пластину с требуемым совмещением с предыдущим слоем.

Топологическую норму в оборудовании фотолитографии определяют два основных устройства – это проекционная и координатная системы. Именно максимальное разрешение объектива определяет минимально допустимые размеры элементов топологии ИС, которые с достаточной воспроизводимостью переносятся на кремниевую пластину. Например, для работы с топологической нормой 0,8 мкм мультипликатор с помодульным совмещением должен обеспечивать инкремент перемещений до 40 нм и время перемещения на один шаг (16 мм) не более 0,3 с.

Все это сегодня приходится обеспечивать на поле 200×200 мм, а в последующих мультипликаторах для топологических норм 0,5-0,35-0,25 мкм придется еще более уменьшить инкремент перемещений, по крайней мере сохранив или уменьшив время перемещения на один шаг, и все это на поле 300×300 мм.

Еще сложнее требования к координатному столу генератора изображений, особенно сканирующего типа. Из двух принципов построения генератора изображений – векторного и сканирующего, наибольшее распространение к настоящему времени получили именно сканирующие. Особенностью работы координатного стола любого сканирующего генератора изображений является экспонирование во время движения стола. И если в мультипликаторах требуется высокая точность позиционирования координатного стола под контролем датчика совмещения при помодульном совмещении или лазерных интерферометров при глобальном совмещении (отсюда и требования к инкременту перемещения), то в сканирующих генераторах изображения координатный стол должен с высокой точностью поддерживать позицию по одной оси во время движения по другой. И хотя генерируемые на ретиклях рисунки представляют собой увеличенное обычно в 5 раз изображение топологии на кремниевой пластине, требования к ровности края изображения на ретикле уже сегодня составляют десятые доли микрона, а при переходе к нормам 0,5-0,25 они будут еще меньше.

Кроме технологических установок в производстве изделий микроэлектроники используется большое количество контрольно-измерительного оборудования разного типа, использующего координатные столы. Это установки контроля топологии, установки контроля критических размеров, установки контроля дефектов и др. Естественно, точностные требования к координатным столам контрольно-измерительного оборудования должны быть еще выше.

Использование технологического и контрольно-измерительного оборудования в массовом производстве изделий микроэлектроники на многих предприятиях мира, участвующих в гонках развития при жесткой конкуренции, предъявляет к координатным столам – одному из основных, определяющих устройств этого оборудования, необыкновенно сложные, подчас противоречивые требования. Они должны быть исключительно точны и в то же время исключительно быстродействующими, должны длительно непрерывно работать в производственных условиях с минимумом отказов,

с которыми связаны потери времени и, следовательно, производительности, что ведет к повышению себестоимости изделий. В новом оборудовании координатные столы по параметрам должны превышать требования производства ИС на момент покупки, чтобы через 4-6 лет, когда отрасль продвинется на новый уровень топологической нормы, оборудование еще можно было использовать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Русецкий А.М. Координатные позиционеры гибких производственных систем для электронного машиностроения. – Мн.: Военная академия РБ, 1998. – 177 с.

УДК 621.941.01

И.А. Каштальян

ЭФФЕКТИВНЫЕ КИНЕМАТИЧЕСКИЕ НЕСТАБИЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Одной из важнейших задач современного машиностроения является автоматизация мелкосерийного и серийного производства, выпускающего около 75% всей машиностроительной продукции. В настоящее время эта задача решается путем создания и использования станков и станочных комплексов с числовым программным управлением (ЧПУ). Оборудование с ЧПУ совмещает гибкость универсального оборудования и высокую производительность специального автоматического, что существенно меняет характер производства, делает его мобильным, удовлетворяющим требованиям времени по непрерывному усовершенствованию и обновлению продукции машиностроения. Относительная доля станков с ЧПУ в станочном парке предприятий машиностроения постоянно возрастает, и в этой связи все более актуальными становятся вопросы их эффективной эксплуатации.

Эффективность использования станков с ЧПУ на производстве находится в прямой зависимости от их технических характеристик и особенно от времени безотказной работы. Среди многочисленных и разнообразных причин, снижающих надежность обработки на станках с ЧПУ, следует выделить нестабильность протекания процесса резания, которая обусловлена рядом систематических и случайных возмущающих факторов [1]. К числу систематических возмущающих факторов можно отнести закономерное изменение скорости, глубины резания, геометрии инструмента, которые вызваны конструктивными особенностями обрабатываемых деталей и кинематикой резания. К возмущающим факторам резания, имеющим случайную вероят-