

Л.И. Архипова, директор центра фаундри бизнеса НПО «Интеграл»

АДАПТАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МЕНЕДЖМЕНТА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ПЛАНИРОВАНИЯ ФАУНДРИ ЗАКАЗОВ

Введение

Фаундри бизнес является новым видом деятельности в полупроводниковой промышленности и, соответственно, в микроэлектронном производстве, построенном на полупроводниковых технологиях. В микроэлектронике термин «фаундри» подчеркивает особую роль так называемого кристалльного производства (Silicon Foundry), которое специализируется на изготовлении микроэлектронных компонентов и интегральных микросхем по спецификациям заказчика с предоставлением широкого спектра высокотехнологичных услуг по использованию инструментальных средств, библиотек стандартных элементов, элементов интеллектуальной собственности [1,2].

Ниже сформулированы основные отличия фаундри бизнеса от традиционной производственной деятельности:

- управление объемами производства и производственными циклами осуществляет заказчик совместно с изготовителем;
- контроль качества выпускаемой продукции и подготовка программ улучшения качества осуществляются совместно заказчиком и изготовителем, причем заказчик частично финансирует программы по качеству;
- продукция, изготовленная по техническим спецификациям фаундри заказчика, является его интеллектуальной собственностью.

Модель фаундри бизнеса может быть реализована при условии, когда *цели фаундри заказчика совпадают с возможностями фаундри производства*. Успешность фаундри бизнеса определяется следующими факторами:

- наличие производственных мощностей, которые на длительный срок могут быть предоставлены для выполнения высокотехнологичных услуг по условиям фаундри бизнеса;

• наличие современного производственного менеджмента, описанного терминологией, используемой в мировой полупроводниковой промышленности.

Развитие контрактных отношений между поставщиками и потребителями фаундри услуг происходит по схеме, в которой отдельные производители микросхем становятся мощными центрами по разработке, маркетингу и сервису. Такие компании принято называть в микроэлектронике «фаблесс», т.е., компании, не имеющие собственного производства. Усилия их нацелены на рынок — поиск новых идей и решений, разработку и вывод на рынок новых изделий. Фаундри компании предоставляют услуги центрам фаблесс. Процесс специализации компаний по видам деятельности осуществляется в соответствии с наибольшими областями их компетенций.

Многие современные предприятия микроэлектроники начинают работать по смешанной модели, объединяющей традиционную и фаундри модель бизнеса [2]. В связи с этим вопросы, рассматриваемые в данной статье, актуальны для любого полупроводникового предприятия.

Систематизация планируемых и управляемых элементов производственного менеджмента

Одним из условий размещения экспортного фаундри заказа является наличие свободных производственных мощностей и соответствующих технологических процессов. Фаундри контракт в обязательном порядке содержит разделы, оговаривающие условия предоставления производственных мощностей, выходные параметры технологического процесса, время производственного цикла, параметры незавершенного производства

(НЗП), которые обеспечивают выполнение заказов в срок, не превышающий определенного уровня, при котором замораживаются оборотные средства.

В случае, если заказчик отказывается от закрепленных контрактом производственных мощностей, применяется система штрафов, покрывающая потери изготовителя, связанные с уменьшением объема производства (эффект объема) и загрузкой специализированного оборудования.

Рассмотрим более подробно элементы производственного менеджмента и их влияние на эффективность производства:

• *Производственная мощность* — определяется объемом выпуска продукции, измеряемым как запуск, умноженный на процент выхода годных изделий;

• *Загрузочный фактор* — измеряется процентом использования каждой отдельной единицы оборудования в сутки.

Мощность производственной линии и загрузочный фактор характеризуют сбалансированность производственной линии и определяют стоимостные факторы полупроводникового производства, т.е., эти элементы значительно влияют на изменение как постоянных, так и переменных затрат. Производственная мощность полупроводникового производства должна быть достаточно большой, чтобы обеспечить эффективность использования специализированного оборудования. Малые производственные линии по производству интегральных микросхем не могут быть эффективными и конкурентоспособными. Это подтверждается значительным изменением стоимостного фактора, связанного с объемом производства — при увеличении суточных запусков в два раза стоимостный фактор уменьшается более чем в полтора раза [3] (см. рис. 1).

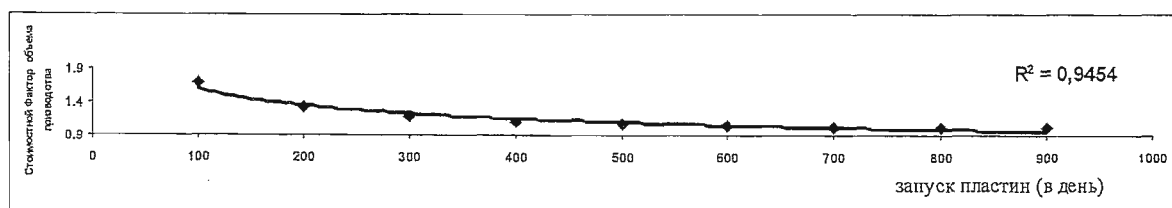


Рисунок 1 — Зависимость стоимостного фактора от изменения объема производства

Фактор загрузки оборудования определяет сбалансированность производственных мощностей. Это самый значительный фактор, определяющий тенденции изменения постоянных затрат и заметно влияющий на рентабельность полупроводникового производства.

Практически все полупроводниковые предприятия сегодня работают на уровне загрузки оборудования 90%. Загрузка линии ниже 70% становится существенным фактором увеличения производственной стоимости за счет увеличения постоянных затрат. Полупроводниковые компания не могут быть

рентабельными при условии, когда их загрузка находится на уровне 60% и ниже от максимальных проектных мощностей.

Максимальная эффективность производственной линии достигается на уровне 90% использования мощностей. Значения выше 90% – это сверхпроизводительный режим, при котором требуются дополнительные усилия для обеспечения минимального производственного цикла.

На рис. 2 представлена тенденция влияния фактора загрузки на стоимость изготовления полупроводниковой продукции [3, с. 3–16].



Рисунок 2 – Фактор стоимости и загрузка производственных мощностей

Загрузка оборудования и производственная мощность в свою очередь определяют время производственного цикла, которое является классическим показателем операционной эффективности и доминирует в системе удовлетворения требований заказчика.

Производственное время цикла (СТ). Время цикла является ключевым параметром в конструкции производственных планов фаундри бизнеса. Одним из необходимых условий при принятии решения о возможности предоставления фаундри услуг является комплексная оценка технологических и производственных циклов и установление планового производственного цикла для каждого фаундри изделия. Расчет производственных циклов можно описать в виде многоуровневой процедуры:

- расчет теоретического времени цикла TCT_0 ;
- установление планового СТ;
- расчет скорости движения производственной линии;
- разработка программы работ по достижению планового времени цикла.

Первой фазой планирования производства является определение минимального количества незавершенного производства

(НЗП), обеспечивающего ритмичность производства и максимальную скорость движения линии. Оптимальный НЗП должен гарантировать максимальную скорость движения производственной линии и вывод продукции в соответствии с установленным циклом. *Оптимизация НЗП является самым дешевым способом обеспечения эффективности производственной линии.* Причем существенные улучшения обеспечиваются за короткий промежуток времени (несколько месяцев) и без вовлечения дополнительных людских и других ресурсов.

На рис. 3 схематично представлены три базовые составляющие, которые определяют производственные циклы.

Методика определения оптимального производственного цикла предполагает поэтапное определение теоретического времени цикла TCT_0 и расчета планового производственного цикла. В соответствии с теорией управления циклами эффективно организованная и управляемая производственная линия способна обеспечить изготовление продукции за период времени, в 2,5 раза превышающий теоретическое время цикла [4]:

$$СТ = 2.5 TCT_0. \quad (1)$$

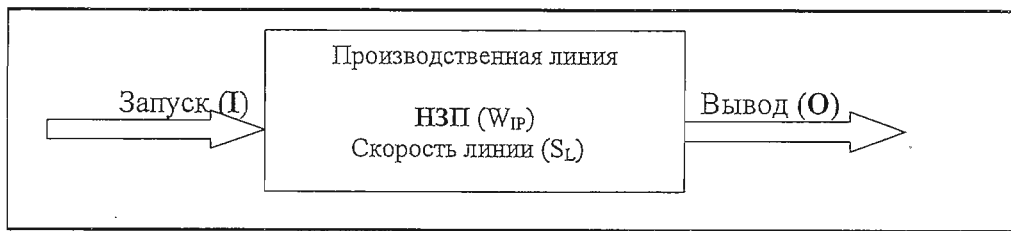


Рисунок 3 – Основные параметры производственной линии

Реальное время цикла производственной линии, как правило, составляет 3.0–3.5 ТСТ₀. Цель каждого предприятия – максимально приблизиться к формуле (1), то есть, достичь идеального времени цикла.

Предлагается усовершенствованная и апробированная методика определения производственных циклов для изготовления фандри продукции.

1. Шаг первый – установление базового времени цикла.

А. Определяется оно как средневзвешенное время цикла всех используемых технологических маршрутов на производственной линии. Причем для расчета используются маршруты, которые составляют 80% объема производства. Точность расчета в данном случае укладывается в $\pm 5\%$.

Б. Период, по которому определяется базовое время цикла, – несколько месяцев непрерывной работы производственной линии.

С. Единица измерения – рабочий день (из циклов исключаются выходные дни).

Д. При расчете используется фактическая дата запуска партии и дата выполнения последней операции технологического маршрута.

2. Шаг второй – определение теоретического времени цикла технологического маршрута (ТСТ₀) для одной пластины.

Такой расчет выполняется для того, чтобы исключить разбросы, связанные с количеством пластин в партии. ТСТ₀ дает информацию о том, с какой максимальной скоростью пластина (условно) может двигаться по маршруту.

А. Расчет по сопроводительному листу абсолютно точного времени проведения каждой технологической операции.

Б. Операционное время рассчитывается в минутах и к полученному результату добавляются две минуты для заполнения сопроводительной документации.

С. Суммарное теоретическое время пересчитывается в количество дней, требуемых для выполнения технологического маршрута. Эта процедура продлевается для каждого маршрута и далее определяется *средневзвешенное теоретическое время цикла*.

3. Шаг третий – определение *теоретического времени цикла* для одной партии ТСТ (аналогично п.2.) с учетом размера партии.

4. Шаг четвертый – *определение соотношения ТСТ₀ и ТСТ*.

Пример: ТСТ₀ = 4,7 дней (1 пластина из партии).

ТСТ = 7,8 дней (партия из 48 пластин).

Отношение ТСТ₀/ТСТ = 60%.

В данном случае эквивалентом скорости движения партии к скорости движения пластины будет фактор 1,5, рассчитанный как: $2,5 * 0,6 = 1,5$.

На основании этого соотношения должны устанавливаться цели по СТ и разрабатываться программы по сокращению фактического времени производственных циклов.

5. Шаг пятый – *расчет динамического времени цикла*.

Управление производственной линией – процесс динамичный и изменяющийся во времени. Для его моделирования необходимо использовать измеряемые параметры. Предлагается использовать такой параметр, как *скорость движения пластин, описанная терминами незавершенного производства и времени цикла*.

Динамическое время цикла может быть описано как изменение незавершенного производства в зависимости от скорости линии:

$$СТ = \frac{W_{IP}}{S_L}, \quad (2)$$

где: S_L – скорость производственной линии;
W_{ip} – объем незавершенного производства.

Скорость производственной линии условно может быть определена, как:

$$S_L = \frac{O + I}{2}, \quad (3)$$

где: O – вывод пластин с производственной линии;

I – запуск пластин на производственную линию.

Путем преобразования формул (2) и (3) получим значение величины производственного цикла, выраженного, как:

$$CT = \frac{W_{IP}}{(I + O)/2}. \quad (4)$$

В полупроводниковом производстве количество выведенных с производственной линии пластин зависит от технологического процента выхода и определяется как:

$$O = Y * I, \quad (5)$$

где: Y – процент выхода годных пластин по маршруту изготовления.

Формула (3.10) с учетом (3.11) может быть преобразована как:

$$CT = \frac{W_{IP}}{I(1+Y)/2}, \quad (6)$$

Скорость производственной линии в динамике можно определить, как количество суточных перемещений блоков операций, отнесенных к ежедневным запускам и количеству блоков в технологическом маршруте:

$$CT = \frac{T}{(1+Y)/2} * \frac{W_{IP}}{P}, \quad \text{и} \quad T = \frac{P}{I}, \quad (7)$$

где: P – количество блоков технологических операций, объединенных суточным циклом изготовления;

T – количество перемещенных за сутки блоков, деленное на количество запусков и выраженное в количестве пластин. Блок определяется расчетным путем и равен количеству операций, объединенных одной фотолитографией с производственным циклом, равным одним суткам (24 часа).

Параметр “ T ” определяет сложность технологического маршрута и органическую связь времени цикла с незавершенным производством.

На основании выведенных зависимостей можно утверждать:

- чем меньше объем НЗП, тем ниже время цикла;
- чем меньше производственные циклы и объем незавершенного производства, тем выше предсказуемость параметров качества продукции, изготавливаемой на производственной линии.

С целью безусловного выполнения фаундри заказов в согласованные сроки предлагается использовать *регулятор запуска* (K), учитывающий отклонение фактических производственных циклов от планируемых:

$$V_{\text{запуск}} = KV_{\text{заказ}} \frac{1}{Y}, \quad \text{где: } K = \frac{CT_{\text{факт}}}{CT_{\text{план}}}, \quad (8)$$

где: $V_{\text{запуск}}$ – объем запуска пластин под фактический заказ;

$V_{\text{заказ}}$ – объем заказа (количество пластин);

$CT_{\text{факт}}$ – фактический цикл (по итогам последних 3 месяцев);

$CT_{\text{план}}$ – планируемый производственный цикл;

Y – планируемый процент выхода годных пластин, а $1/Y$ – коэффициент запуска.

Время производственного цикла и объем незавершенного производства являются основными планируемыми и управляемыми инструментами производственного менеджмента в фаундри бизнесе. Финансовые риски предприятия и риски предсказуемости производственной линии прямо пропорциональны НЗП, т.к. при завышенном объеме НЗП проблематично решение проблем, связанных с восстановлением показателей качества.

Совершенствование системы планирования и организации управления производством путем введения количественных измеряемых параметров позволяет оценивать фаундри производство не по принципу «лучше-хуже», а на основании количественных характеристик производственной линии.

Совершенствование производственного менеджмента в полупроводниковом производстве должно осуществляться по методу DMAIC: Define (определить), Measure (измерить), Analyze (проанализировать), Improve (улучшить), Control (проконтролировать) [4]. Причем для обеспечения непрерывности снижения производственных затрат этот процесс должен быть непрерывным. Управление

набором количественных инструментов производственного менеджмента позволяет значительно уменьшить издержки полупроводникового производства и обеспечить своевременное выполнение фаундри заказов.

Заключение

1. Для оценки эффективности производственной линии определены и систематизированы управляемые и регулируемые

количественные параметры: время производственного цикла, незавершенное производство, скорость производственной линии.

2. Так как фаундри заказчик осуществляет непрерывный мониторинг за выполнением фаундри заказа, количественные элементы оценки эффективности производственного менеджмента и расчеты адаптированы к международным правилам и требованиям ведения фаундри бизнеса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современное состояние и перспективы развития рынка услуг кремниевых заводов // Зарубежная электронная техника. – 2000. – №3. – С. 3–31.
2. Терминологический словарь // Живая электроника России. Отраслевой деловой ежегодник. – 2005. – С. 53–54.
3. MID-TERM STATUS-1998. The IC industry Management Tool for the 21st Century. Integrated Circuits Engineering Corporation, 1998. – С. 10–68.
4. Wafer Fab Cycle time management. Wafer Fab Info. Future Fab Intl. [Electronic resource] / Mode of access: <http://www.future-fab.com/solutions.asp?sID=3848=Fab+operations> – Date of access: 24.05.2006.

РЕЗЮМЕ

Основными параметрами оценки привлекательности полупроводникового предприятия как фаундри изготовителя, т.е., предприятия, оказывающего высокотехнологичные услуги по изготовлению микроэлектронных компонентов и интегральных микросхем сторонним организациям, являются производственный цикл и производственная мощность. Практическая оценка производственных циклов при заданных объемах производства затруднена в связи с отсутствием апробированных методик, описанных элементами производственного менеджмента и общепринятой в мировой практике терминологией, применяемой в полупроводниковом производстве. В статье анализируется данная проблема и предлагается система количественных элементов для оценки эффективности производственного менеджмента.