

НУЖНЫ ЛИ В РОССИИ МИНИ- И СПЕЙСФАБЫ?

Отклик на статью "Нанoeлектроника уровня 50–100 нм. Техноэкономическая перспектива"

В.В. Мартынов

В первом номере журнала "ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ" за 2000 год прочитал статью А.Н.Бубенникова и др. и счел необходимым обратиться с просьбой опубликовать комментарий рядового читателя, к коим себя отношу.

Я полагаю, что наличие читательских откликов позволит существенно увеличить достоверность публикуемых материалов и вырабатывать "коллективное мнение" по ключевым моментам развития отечественной электроники. Это также должно повысить ответственность авторов за уровень подготовки материалов.

Наконец, возрастет и авторитет журнала.

Заранее благодарен за возможность высказать свое мнение по довольно спорным положениям упомянутой статьи, которые могут оказать влияние на принятие важных решений и выбор путей развития российской электроники.

Искренне полагаю, что мой научно-производственный опыт позволяет мне предпринять эту "акцию".

*Директор по науке
Научно-технической ассоциации "Субмикро",
д-р техн. наук, профессор В.В.Мартынов.
Тел. (095)536-5011.*

От редакции. С благодарностью принимаем предложение, предлагаем другим читателям и специалистам присоединиться к дискуссии.

Проанализируем содержание статьи: А.Н.Бубенников, А.А.Бубенников, А.В.Зыков, А.В.Ракитин. Нанoeлектроника уровня 100 – 50 нм. Техноэкономическая перспектива. – Электроника: НТБ, 2000, №1, с. 56-60. Должен заранее оговориться, что ни в коей мере не ставя задачу дискредитации авторов, во многом не согласен с той категоричной манерой, в которой превозносятся преимущества мини- и спейсфабов и дается технико-экономическая оценка перспектив развития микроэлектронных технологий.

ТЕХНОЛОГИЯ И ЭКОНОМИКА

Рассмотрим рассуждения авторов о законе Мура и его выполнимости в будущем, так как именно особенности этого закона описывают основные технико-экономические показатели разработки и массового производства СБИС (УБИС). Исходная формулировка закона Мура гласит: "число транзисторов на чипе увеличивается в четыре раза каждые три года" [1]. Из этого авторы делают вывод, что "плотность упаковки элементов УБИС каждые полтора года

увеличивалась в два раза". Если с количественной оценкой "в два раза каждые полтора года" можно согласиться, то с применением термина "плотность упаковки элементов УБИС" согласиться нельзя, так как этот показатель связан только с уменьшением минимальных размеров элемента и с расширением технологических возможностей (ошибки совмещения, допуски на размеры, технологические зазоры и т.д.) и не зависит от размера кристалла, который, как известно, также имеет тенденцию к увеличению. Закон Мура охватывает именно два фактора: минимальный размер и площадь кристалла.

Рассматривая перспективы кремниевой технологии, отметим, что большинство ведущих мировых специалистов считают возможным в рамках технологии КМОП разработку приборов методом масштабирования вплоть до характеристического размера 25 нм [2]. Сегодня этот метод – наиболее эффективный способ перехода к новому уровню технологии, позволяющий значительно снизить расходы на разработку СБИС. Однако если осуществлять прямое масштабирование КМОП-прибора от 0,25 мкм к 25 нм, то толщина подзатворного диэлектрика составит ~0,5 нм (толщина двух молекулярных слоев), а уровень легирования кармана при условии предотвращения утечек в закрытом состоянии – $\sim 2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Такие значения параметров на практике технологически недостижимы.

Однако преодолеть эти трудности с успехом позволяет специальная конструкция прибора, представленная на рис. 1. Толщина подзатворного диэлектрика в ней – до 2 нм, а утечки предотвращены путем уменьшения глубины кармана до 5 нм при сохранении низкого уровня легирования ($\sim 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$). Результаты моделирования (рис. 2) показывают, что этот транзистор обладает предельно низким током утечки и позволяет получить необходимое значение тока в открытом состоянии для обеспечения высокого быстродействия в цепи [3]. Транзистор предельно прост, благодаря чему его можно использовать в промышленных технологиях нанометровых СБИС. Появление альтернативной структуры, способной в промышленном масштабе заменить КМОП, может быть обусловле-

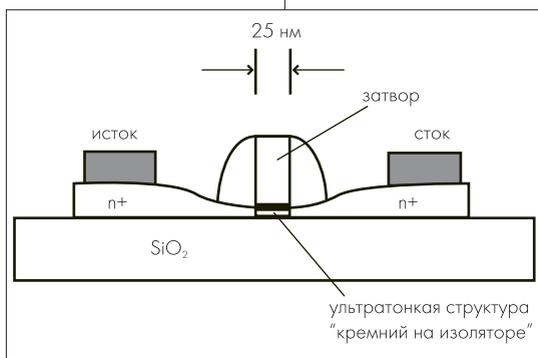


Рис. 1. 25-нм структура МОП-транзистора

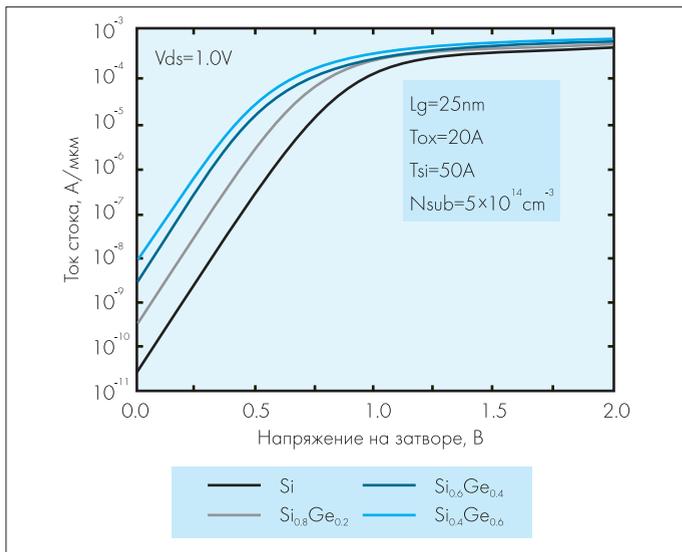


Рис. 2. Результаты моделирования масштабированного МОП-транзистора

но только большей ее простотой и дешевизной изготовления при условии совместимости с уже существующими архитектурами СБИС. Предполагается, что такая альтернативная структура должна работать при очень низких значениях тока – порядка десятков наноампер, а это уже слишком мало для управления емкостями межсоединений значительной длины. Как справедливо заметили авторы рассматриваемой статьи, новые приборные структуры потребуют перехода на новую архитектуру СБИС. Это положение, а также значительные средства, вложенные в развитие САПР действующей структуры и в технологии производства СБИС, делают невозможной замену КМОП-структур альтернативными до тех пор, пока масштабирование КМОП-технологии сможет удовлетворять возрастающие требования мировой радиоэлектронной промышленности.

Прогноз развития полупроводниковой промышленности США до 2030 года [2]

Показатель	1997 год	Прогноз на 2030 год
Электроника (в целом) как доля ВВП	4%	8%
Полупроводники как доля электроники	17%	35%
Полупроводники как доля ВВП	0,7%	3%
Уровень КМОП-технологии	0,25 мкм	0,035 мкм
Мировые продажи полупроводников	150 млрд. долл.	14000 млрд. долл.*
Средний годовой прирост	16%	7% (такой же, как ВВП)

Примечание. * 4000 млрд. долл. в ценах 1997 года

Следующие три поколения технологий – 0,13; 0,10 и 0,07 мкм потребуют все более длительного периода развития и освоения, так как темпы промышленного роста микроэлектроники постепенно будут замедляться, пока не достигнут уровня прироста валового продукта (см. табл.). Предполагается, что ближе к 2030 году технологическое масштабирование будет проводиться все реже и от случая к случаю. По оценке американских специалистов, по темпам развития электронная промышленность станет напоминать автомобильную индустрию 50-летней давности [3,4] и КМОП-технология нанометрового диапазона будет промышленной технологией на протяжении большей части 21-го века [2].

МИНИ- И СПЕЙСФАБЫ

Перейдем теперь к основному содержанию статьи – мини-фабы и спейсфабы. Для упрощения анализа будем пользоваться терминологией авторов. В качестве основного объекта производства в статье рассматривается “конкурентоспособный наукоемкий продукт

(КНП)”, однако детализации его, к сожалению, не приведено. Более того, в конце работы приводятся такие неожиданные утверждения, как “300 систем на кристалле, каждая из которых стоит от 100 до 1000 долл. Минимальная прибыль при этом – (200-1) x (100...1000) долл.” Если это написано всерьез, то авторы открыли какие-то новые технико-экономические принципы, позволяющие довести стоимость кристалла до 300 тыс. долларов. И в этом свете совсем уж не кажутся фантастическими утверждения (стр. 58), что мини-фабы не только “обеспечивают выигрыш в скорости изготовления УБИС”, но и “их производство дешевле массового **на многие сотни миллиардов долларов**”.

Говоря о развитом авторами системном подходе к оценке мини- и спейсфабов и “моделировании производственного процесса на виртуальном мини-фабе” (рис. 5 статьи), следует признать его “виртуальность” в такой степени, что нет необходимости на структуре приводить ни входа, ни выхода системы. При более детальном рассмотрении структуры на рис. 5 можно установить полное отсутствие связей “синтеза технологических процессов” и “технологического маршрута”, которые являются обязательным атрибутом разработки любой технологии. Также вызывает удивление отсутствие связей в системе “схема – прибор – технология – процессы – маршрут”. И совсем уж парадоксальной выглядит особая роль “одномерной геометрии”, а в качестве “задачи” для читателя остается вопрос, откуда берется “информация для мини-фаба”.

Если авторы считают, что приведенная на рис. 5 структура дана в значительной степени схематично, то напрашиваются естественные сомнения в целесообразности ее публикации.

Далее рассмотрим приведенные в статье аргументы в защиту мини- и спейсфабов в сравнительном анализе с мегафабами. Для этого необходимо провести системный анализ табл. 1 статьи. Рассмотрим последовательно параметры, сравниваемые в таблице.

Транспорт пластин. Для мега- и мини-фаба это должны быть полностью идентичные системы транспорта, так как в обоих случаях не существует ограничений и специфики их применения.

Для спейсфаба утверждение “без кассет” может быть только условно принято для оперирования пластинами непосредственно в космических условиях. Авторы совершенно упустили вопрос транспортировки пластин на орбиту и с орбиты, а это будет вносить свой вклад в параметры “стоимость производства” и “цикл изготовления”, увеличивая их. Стоимость одного орбитального запуска составляет несколько десятков миллионов долларов. За месяц на орбите будет изготовлено 50–100 пластин (см. параметр “производительность”). Таким образом, транспортные расходы при использовании коротких циклов составят сотни тысяч долларов в пересчете на одну пластину. Для уменьшения транспортных расходов необходимо будет “накапливать” их на орбите до значительного количества, а это существенно увеличит цикл изготовления.

Площадь чистых комнат. Непонятно, зачем на орбите чистые комнаты, ведь по утверждению авторов в спейсфабе автоматизация достигнет 100% (параметр “автоматизация”) и обработка будет проводиться в непрерывном цикле в реакционных объемах. Более того, само понятие “чистая комната” в космических условиях теряет смысл (отсутствие воздушных потоков и невесомость).

Класс чистых комнат. Классы чистых комнат для мега- и мини-фаба тождественны по той основной причине, что сегодня мегафабы проектируются и реализуются по принципу “mini-environment” (мини-окружающая среда), т.е. мегафабы по производственной и транспортной структуре представляют собой интегрированные по технологическим циклам мини-фабы. Вопрос чистых комнат для спейсфабов мы уже рассмотрели.

Стоимость производства. Для более наглядной оценки введем понятие удельной стоимости производства, т.е. отнесем стоимость производства к производительности. Уместно предположить, что полные сроки эксплуатации всех фабов сравнимы, поэтому такая операция достаточно корректна. В результате, с учетом крайних значений, получаем:

мегафаб – 0,05–0,3 млн. долл. мес/пластину;
 мини-фаб – 0,1–0,2 млн. долл. мес/пластину;
 спейсфаб – 3–18 млн. долл. мес/пластину.

Прямое сравнение полученных результатов по исходным данным самих авторов не требует дополнительных комментариев. Единственным возражением может стать необходимость учета процента выхода годных кристаллов с пластины, но это мы рассмотрим в свою очередь. Таким образом, утверждение о чрезвычайно высоком экономическом эффекте использования мини-фабов является мифом.

Минимальный литографический размер. Эта графа для всех фабов находится в противоречии с данными самих же авторов (см. рис. 4 статьи). Более того, совершенно ясно, что не может быть различия в используемом литографическом оборудовании (именно оно задает минимальный размер) для всех видов производств, включая и космический.

Диаметр пластин. Для мега- и мини-фаба величины диаметра пластин не могут отличаться по той простой причине, что мини-фабы зачастую работают как специализированные производства с использованием структур БМК, обрабатываемых в технологических циклах мегафабов.

Относительно спейсфабов кажется совершенно неразумным использование пластин повышенных диаметров (300–400 мм), так как размеры реакционных камер технологического оборудования имеют по крайней мере зависимость вида $\sim AD^2$, где D – диаметр пластины. Следовательно, масса выводимого на орбиту технологического оборудования будет почти прямо пропорциональна площади пластины и выигрывает от роста ее диаметра отсутствует. По-видимому, для спейсфабов, если таковые и будут создаваться, целесообразно вернуться к идее Д. Берга почиповой обработки в автоматическом цикле [5]. Такой подход позволит перейти к 100%-ной автоматизации и значительно снизить габариты и массу технологического оборудования.

Интеграция, тактовая частота. Эти параметры определяют минимальный литографический размер, а поскольку он должен быть тождественен для всех рассматриваемых видов производств, значения достигаемых уровней интеграции и частотных характеристик приборов также будут тождественны.

Автоматизация производства. Различия уровней автоматизации производства для мега- и мини-фабов не должно наблюдаться по соображениям, приведенным при анализе параметра “чистые комнаты”. Современный мегафаб представляет собой интегрированную структуру мини-фабов (кластерное оборудование, автоматический транспорт, встроенный технологический контроль, технология управления качеством и т.д.), и по уровню автоматизации практически всех технологических циклов и процессов он тождественен мини-фабу, но с обеспечением более эффективного использования (оптимизация по производительности и работоспособности). Для спейсфабов отметим необходимость дублирования и наличия систем автоматического восстановления работоспособности, что значительно повысит стоимость такого производства.

Утилизация оборудования. Величина 25–45 % для мегафаба является явно заниженной. В других видах промышленности (автомобили, самолеты, химические продукты и т.д.) стандартные уров-

ни утилизации оборудования и материалов оцениваются в 80–95%. Нет никаких резонов так обижать мегафабы.

Если учесть, что после истечения срока эксплуатации спейсфаб сгорит в атмосфере, то с 100% утилизации можно согласиться.

Выход годных. Данный параметр во всех случаях будет определяться технологическим уровнем обработки структур, качеством исходных материалов и уровнем привносимой дефектности. Нет никаких причин рассматривать специфику фабов в обеспечении этих показателей. Если рассматривать мини-фаб только как специализированное производство, то ввиду сокращения технологического цикла и уменьшения числа проводимых обработок можно говорить о повышенном по сравнению с общим стандартным циклом проценте выхода годных. К сожалению, авторы никак не комментировали цифру 99,9% для спейсфаба, поэтому обсудить ее не представляется возможным.

Цикл изготовления. Наблюдается некоторое разночтение понятий цикла. Для мегафаба это обычно длительность прохождения партии пластин в реальном производстве при взаимодействии со всеми запущенными пластинами. Однако осуществить ускоренное изготовление опытной партии СБИС в условиях мегафаба особого труда не представляет. Так, еще в 1980 году Н.М. Луканов с сотрудниками реализовал в НИИМЭ изготовление ИС по полному циклу 3D-технологии в течение одних суток.

Понятие длительности цикла изготовления – условное, и не определяет в полной мере специфику технологических приемов, а является производной от организационного начала, закладываемого в функционирование фаба. Сегодня эффективным считается то массовое производство, где полный цикл изготовления ИС не более чем в 2,4–3,0 раза превышает длительность физического цикла обработки пластин.

Проанализировав таблицу, хотелось бы несколько слов сказать об авторских “фантазиях”. Процитируем: “Однако технологические маршруты и аппаратура на спейсфабах будут существенно отличаться от современного технологического оборудования. Так, в качестве источника энергии может использоваться концентрированная солнечная энергия. Основные химические вещества для формирования структурированного материала должны содержаться в исходной пластине-заготовке”.

Интересно, а где это технологические маршруты и аппаратура тождественны оборудованию!? Солнечную энергию, конечно, можно “концентрировать”, но как быть с этой концентрацией, когда орбитальная станция находится в области тени!?

Химические вещества, конечно, можно заранее ввести в пластины и структурировать их, но зачем тогда эти пластины доставлять на орбиту?

Наконец, следует ответить на главный вопрос: нужны ли мини-фабы?! Вопрос о спейсфабах временно отложим как наиболее “фантазийный”.

Ответ положительный – да, нужны, но с условием четкого разграничения задач. Основное назначение мини-фабов – это производство СБИС на основе БМК, а также отработка новых схемотехнических и технологических проектов. Необходимо полностью согласиться с мнением авторов статьи, что именно с этой задачей мини-фабы справляются лучше, чем мегафабы, поэтому от мини-фабов возможно получить экономический эффект, выраженный в сокращении временных циклов. А как известно, время – тоже деньги!

Но ни в коей мере нельзя согласиться с тем, что только с использованием мини-фабов российская электроника способна возродиться и добиться значительного прогресса. По роду своей работы авто-



ру этих строк пришлось наблюдать, во что обошлись государству попытки различных министерств и ведомств (Судпром, Минатом, Авиапром, Радиопром и др.) создать у себя свои собственные автономные маленькие микроэлектронные производства (прототипы современных мини-фабов) и стать независимыми от “монстров” электронной промышленности. Это очень напоминало ситуацию времен культурной революции в Китае, когда в каждом дворе строили свои маленькие глиняные домны и пытались получать металл.

Сейчас в России существует опасность распыления государственных средств, вложение их в “перспективные прорывные технологии” (а идея мини-фабов кажется такой заманчивой!) и обеспечение скорейшего получения хоть каких-то результатов. Однако можно уверенно утверждать, что полученные результаты будут значительно далеки от технико-экономического оптимума. Гораздо целесообразнее поддержать действующие микроэлектронные предприятия, сохранить и приумножить их технологический потенциал, обеспечить реальный переход к субмикронным технологиям.

В заключение хотел бы принести свои извинения за довольно резкие высказывания в адрес авторов статьи, но выразить искреннюю уверенность, что вся эта затея с критикой окажет определенную помощь “выздоровливающей” российской электронике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Moor G. 1975. Progress in Digital Integrated Electronics.— Int. Electron Devices Meeting Tech. Dig.
2. Hu C. Silicon Nanoelectronics for the 21st Century. — Nanotechnology 10(1999), p. 113-116.
3. Yu B. Et al. 1997. 25 nm MOSFETs for Terabit Scale Integration. — Proc. Int. Semiconductor Device Research Symp., p. 623-6.
4. Technicon Analytic Research. SIA. 1997. — Annual Databook: Semiconductor Industry Assotiation Review of Global and U.S. Semiconductor Competetive Trends.
5. Аван-проект “Гора”, 1991. — ППИ, НПК “Научный центр”.

ОАО “Вымпелком”:

пожалуйста, заплатите налоги...

Чистый убыток ОАО “Вымпелком” по международной системе учета GAAP за 1 квартал 2000 года составил 11,8 млн. долл. (в 1 квартале 1999 года — 5,1 млн. долл.), убыток на акцию — 0,42 долл. (в 1 квартале 1999 года — 0,38 долл.). При этом выручка от продаж в отчетном периоде составила 65,8 млн. долл., увеличившись за год на 14% (в 1 квартале 1999 года — 57,9 млн. долл.). Доход от операционной деятельности (без учета налога на прибыль) — 63 млн. долл. (в 1 квартале 1999 г. — 55,3 млн. долл.). Операционный убыток — 2,8 млн. долл. (в 1 квартале 1999 г. — 4,8 млн. долл.). Как заявляет “Вымпелком”, увеличение чистого убытка произошло за счет создания резерва под погашение задолженности по налогу. При этом в 1 квартале 1999 года удалось получить дополнительную прибыль 6 млн. долл. из-за снижения ставки налога на прибыль с 35 до 30%. В 1 квартале

2000 года было уплачено 5,5 млн. долл. налога на прибыль из-за разницы учета российских и международных стандартов. Административные и коммерческие расходы в 1 квартале 2000 года увеличились на 37% и составили 24,9 млн. долл. (в 1 квартале 1999 года — 18,2 млн. долл.). Увеличение этих расходов произошло за счет роста базы абонентов компании. При этом затраты на одного абонента снизились.

На 20 июня 2000 года абонентская база компании, включая сети дочерних предприятий, составила 573700 абонентов. По данным ОАО “Вымпелком”, доля компании по количеству абонентов на московском рынке на 31 марта 2000 года — 47%. Всего же в Москве ежемесячно появляется около 100 тыс. новых абонентов сотовых сетей.

РобизнесКонсалтинг