

КАК НАМ ОБУСТРОИТЬ СВОЙ МИКРОЭЛЕКТРОННЫЙ МИР?

О состоянии отечественной микроэлектроники сказано уже немало. К сожалению, зачастую все сводится к констатации факта, что ее практически нет. Либо приходится слышать утверждения, что микроэлектроника есть, но из-за недостатка государственных средств состояние ее плачевно. А были бы деньги, вот тогда... Предлагаемая публикация интересна прежде всего тем, что ее автор — действующий специалист именно в области микроэлектроники, до недавнего времени — зам. генерального директора НИИМЭ и завода "Микрон", сейчас — заместитель генерального директора ОАО "НИИ Научный Центр", директор отраслевого центра инноваций и технологий (ОАО "Российская электроника"). В статье анализируется не только состояние отечественной микроэлектроники, но и возможные пути ее развития. Профессиональный подход к данной проблеме особенно актуален сегодня, когда специалистов в области полупроводникового производства остается все меньше, а голоса их тонут в общем хоре некомпетентности.

МИРОВАЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ ИНДУСТРИЯ

В конце 80-х годов прошлого века объем годовых продаж изделий полупроводниковой электроники составлял: в США — ~24 млрд. долл. (в том числе 1,2 млрд. долл. на военные цели); Япония — ~14 млрд. долл.; СССР — ~2 млрд. долл. (в т.ч. 1,2 млрд. долл. на военные цели); Европа — ~1,4 млрд. долл., т.е. советская электронная промышленность занимала третье место в мире. За последние 15 лет ситуация изменилась кардинально не в нашу пользу. Российская электроника понесла огромные реальные потери и неисчислимые потенциальные. Чтобы нашей стране догнать США по уровню потребления электронного оборудования, не производя собственной электроники, необходимо её закупать ежегодно на сумму в 149 млрд. долл., чтобы догнать Японию, закупки должны составлять 140 млрд. долл., а для достижения европейского уровня — 70 млрд. долл. в год.

За последние четыре года на фоне повышенного спроса со стороны поставщиков бытовой техники производство полупроводниковых приборов в мире достигло максимальной отметки. В 2004 году ожидается резкий подъём мировых продаж полупроводников — на 28,6%, их объём достигнет рекордных 214 млрд. долл. По другим оценкам этот показатель составит 226,5 млрд. долл. Согласно об-



Е. Горнев
gornev@elpapiez.ru

народованному отчету американской Ассоциации полупроводниковой промышленности (SIA), рост наблюдается во всех секторах индустрии микросхем, однако особенно высокие показатели продаж — в сегменте чипов для беспроводной связи (сигнальные процессоры, оптоэлектронные устройства и так называемые ASSP-продукты, т.е. стандартные изделия со специфической областью применения). Рост этого сектора рынка объясняется высоким спросом на мобильные телефоны с более качественными экранами, а также расширенными возможностями передачи данных и фотосъемки.

По словам экспертов SIA, продолжает увеличиваться коэффициент использования производственных мощностей полупроводниковыми компаниями: в первом квартале 2004 года он вырос до 94% по сравнению с 92% в четвертом квартале 2003 года. А самые передовые производители ИС (применяющие технологию с нормой 0,16 мкм и ниже) задействуют производственные мощности на 99%. Для мировой полупроводниковой промышленности в ближайший период становятся характерными:

- низкая себестоимость БИС и технологическое лидерство, базирующееся на более агрессивных технологических заданиях и более гибких технологиях и производствах;
- кооперация и консолидация компаний, основанные на консолидации промышленности, глобальных партнерских сетях для распределения рисков и оптимизации капитальных вложений;
- развитие новых бизнес-моделей, в которых лидирующую роль будут играть мощные полупроводниковые компании;
- понимание нужд конечного потребителя, его поведения и необходимости удовлетворения массовой потребности.

В то же время в полупроводниковой промышленности увеличивается изменчивость. Она обусловлена последствиями кризиса 2000—2002 годов, когда многие изготовители кристаллов ИС понесли потери. Вследствие этого инвесторы с большой осторожностью относятся к вложениям в оборудование и долговременные заказы. Вместе с тем кризис дал старт гонке за новыми, развивающимися рынками и новыми применениями с увеличенной долей риска. Но эта гонка базируется на фундаментальной роли технологии как единственного базиса для создания разнообразных продуктов и своевременного вывода их на рынок.

Технологии микроэлектроники по-прежнему развиваются высокими темпами. Размеры отдельных элементов транзисторных структур измеряются уже числом атомов, т.е. при разработке технологических процессов стал необходим учет квантовых эффектов. Решать такие задачи на уровне технолога предприятия невозможно. Поэтому сегодня производители микроэлектроники покупают не оборудование, а целиком технологический процесс, отладкой и поддержкой которого занимаются поставщики оборудования. Уже почти не осталось универсального оборудования, оно разрабатыва-



ется под конкретный процесс. Управление и согласование отдельных технологических операций, модификация технологических процессов – все это реализовано программно, причем доля стоимости соответствующего программного обеспечения в цене производственных линий достаточно велика. Таким образом, растет взаимная зависимость производителя микроэлектроники и поставщика технологического оборудования.

Сокращение времени вывода на рынок новой продукции заставляет разработчиков и производителей ИС шире использовать вычислительные и информационные технологии. Все активнее на состояние рынка влияют поставщики САПР, причем инвестиции в САПР растут быстрее инвестиций в технологическое оборудование, так как эти системы позволяют существенно сократить количество ошибок на стадии проектирования. Появилась возможность дистанционной совместной работы. На этапе опытного производства разработчик и производитель могут находиться в разных странах, пересылая всю необходимую информацию через Интернет.

Перед мировой полупроводниковой промышленностью в 90-е годы стояла задача обеспечить 100% выхода годных. Сегодня – низкая себестоимость. Завтра – себестоимость + производительность + гибкость. В основе успеха лежат четыре фактора: размер кристалла, размер пластин (300 мм в производстве), гибкая производственная структура и логистика. И все это происходит на фоне значительного роста инвестиций в промышленность (цена современной фабрики – свыше 2 млрд. долл.); существенного повышения стоимости высокоразрешающих фотошаблонов (комплект из семи масок уровня 0,35 – 0,5 мкм стоит около 1 млн. долл., цена одного фотошаблона на 0,13 мкм – 650 тыс. долл., 0,1 мкм – 1,5–2 млн. долл.) и удорожания промышленных технологических КМОП-базисов (стоимость только метрологического обеспечения технологии достигает 1 млрд. долл.).

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

Бытует мнение, что "с течением времени рынок смещается к ИС с меньшими топологическими размерами. Тем не менее, значительное количество элементов продолжает производиться по старым технологиям" (Красников Г.Я. Доклад на сессии РАН, март, 2004 г.) и, таким образом, для российских предприятий сохраняется довольно большой сегмент (рис. 1). Технологический уровень российских предприятий на сегодня не превышает 0,8 мкм ("Ангстрем"), цех уровня 0,8 мкм на "Микроне" в неработоспособном состоянии. Можно говорить о реальном промышленном уровне российских предприятий, не превышающем 1,2–1,5 мкм. Линия НИИСИ РАН не предназначена для промышленного производства. Она хороша для изготовления только пилотных образцов, поскольку ее производительность, в лучшем случае, одна-две пластины в сутки.

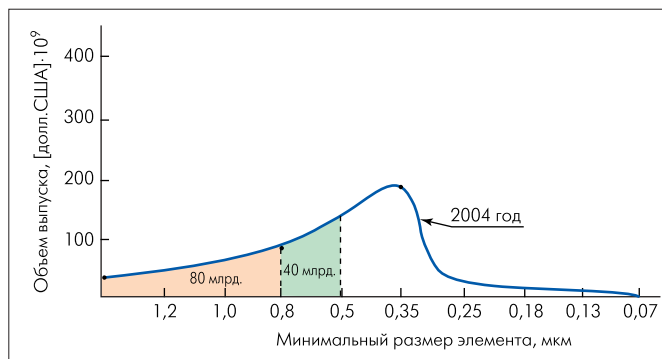


Рис. 1. Полупроводниковые производства с различным уровнем технологии (из доклада Г.Я. Красникова на сессии РАН в марте 2004 года)

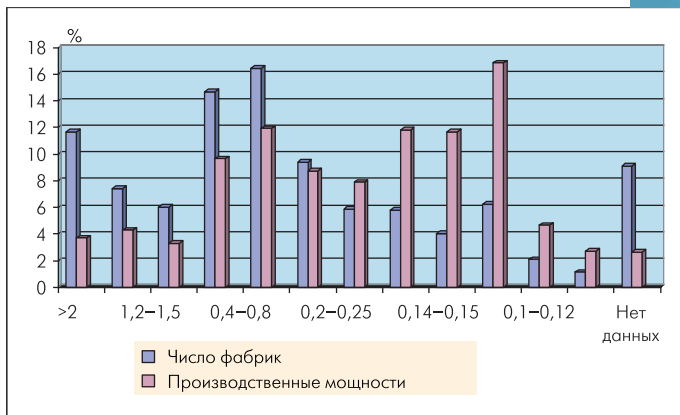


Рис. 2. Распределение полупроводниковых фабрик по технологическому разрешению

Мировая полупроводниковая промышленность на 1 января 2004 г. включала около 870 фабрик с общей мощностью (в пересчете на 200-мм пластины) 8,64 млн. пластин в месяц. Эта цифра примерна – постоянно какие-то фабрики останавливаются на модернизацию, какие-то закрываются, запускаются новые. С технологическими размерами до 1,2 мкм работают около четверти фабрик, но их доля в производственной мощности составляет около 11% (рис. 2). В их числе – 33 исследовательские и "пилотные" фабрики (в основном для МЭМС, дискретных и силовых приборов), с нашей стороны к ним можно отнести только модуль технологического центра МИЭТ. 94 фабрики ориентированы на выпуск дискретных и силовых полупроводниковых приборов; 40 – на выпуск логических ИС (заказные и БМК); 2 предназначены для производства СОЗУ; 30 – аналоговых и цифроаналоговых ИС. Еще три предприятия – это "foundry" в Китае (два – для аналоговых и цифроаналоговых ИС и одно для МЭМС). Как можно видеть, ни в одном из представленных секторов наши предприятия серьезно не работают.

Наши предприятия всеядны, пытаются работать в режиме "foundry" (кристалльных производств). Главное для них – получить любой заказ, а затем начинаются попытки его реализации на имеющихся мощностях. Но множество разнотипных заказов требует соответствующего числа технологических маршрутов (которых на каждом из предприятий – сотни вариантов), что влечет неуправляемую разбалансировку мощностей. В отдельные моменты по этой причине наличные мощности (до 40 тыс. пластин в месяц) падают практически в три раза – со всеми вытекающими последствиями.

В то же время продукция, в какой-то мере аналогичная отечественной, выпускается на более высоком и, следовательно, более конкурентоспособном уровне зарубежными компаниями. Можно сказать, что экспортные возможности наших предприятий достигли потолка, а перспективы при сегодняшнем технологическом уровне весьма туманны. К тому же, как утверждает Ристо Пухакка, вице-президент и аналитик компании VLSI Research (Сан-Хосе), специализирующейся в области маркетинговых исследований, "кристалльные заводы не способны работать так, чтобы слово не расходилось с делом. В основном они все изначально декларируют, что находятся на уровне передовых технологий, но затем, когда вы начинаете проводить тщательное сравнение каждого из них, выясняется, что все они однозначно проигрывают традиционным IDM-компаниям*. Основная причина, почему это происходит, заключается в том, что в случае кристалльного завода вы уже просто не можете получить должное технологическое решение в привязке к конкретному обо-

*IDM – integrated device manufacture, компания с полным циклом производства.

рудованию. Существует множество собственных фирменных находок и решений, которые разрабатывались внутри каждой из традиционных IDM-компаний и все они не могут быть так же легко перенесены на азиатские кристалльные заводы, как это было раньше. И теперь уже кристалльные заводы приходят к тяжелому для себя выводу, что они вынуждены проводить собственные исследования и разработки, чтобы быть и оставаться конкурентоспособными на рынке". За исключением последнего предложения, это полностью справедливо для наших предприятий.

Главное отличие отечественных предприятий от зарубежных компаний – в целях деятельности. За рубежом – это вовремя успеть вывести на рынок конкурентоспособный продукт, с наименьшими затратами в производстве. У нас – доказать теорему существования предприятия в пределах выделенных или "пробитых" сумм без оглядки на производство. Что-нибудь, да получится. А неприятности будем переживать по мере их появления. Процент выхода годных на этапе разработки никого не волнует – это уже генетически. Основная информация о качестве изделия формируется на этапах производства и эксплуатации. Отсюда масса доработок методов контроля и испытаний, громадные затраты на анализ и т.п.

Зачастую цель, стоящая сегодня перед отечественной промышленностью, в том числе и полупроводниковой – "сохранение предприятия" и выживание. Но тезис "сохранение предприятия" гарантирует отставание. Нет ориентации на потребителя, нет расширения номенклатуры в захваченных секторах рынка. Важнейшие причины низкой конкурентоспособности нашей продукции – краткосрочность планирования, ориентированного на быструю прибыль и, главное, недостаточное внимание к технологии и производству, т.е. недостаточные инвестиции в производственные мощности и кадры. Освоение и подготовка производства разорваны. Отсутствует единая стратегия маркетинга, разработок, производства.

Ключом к успеху всегда является правильный выбор стратегии развития, тем более при столь ограниченных финансовых возможностях, как в российской микроэлектронике, когда ошибка может стать фатальной для предприятия. В то же время в среде современных руководителей отечественной электронной промышленности звучат заявления типа: "Я на год запретил произносить слово "стратегия" на предприятиях". Для достижения успеха в первую очередь нужно четко определить свою роль на рынке электронных компонентов, а это невозможно без ясного понимания того, как устроен и как функционирует мировой рынок, как он меняется.

ЕСТЬ ЛИ ВЫХОД?

Видятся три варианта решения проблемы развития отечественной микроэлектроники. Первый – можно поставить цель "догнать и перегнать". Но такая задача из-за своей дороговизны невыполнима в принципе. Фабрика современного уровня стоит более двух миллиардов долларов, и эти деньги нужно реально заплатить, поскольку инфраструктура полупроводниковой промышленности в нашей стране практически разрушена. Уничтожено полупроводниковое машиностроение, нет современных качественных материалов – кремния, чистых металлов, резистов, химикатов и т.д. А затраты на восстановление инфраструктуры будут сопоставимы и даже превысят затраты на создание одной фабрики.

Кроме того, ежегодный объём реализации продукции полупроводникового завода должен быть, как минимум, таким же, как размер инвестиций, – т.е. не менее 2 млрд. долл. в год. А для этого нужен платёжеспособный рынок. Который, увы, отсутствует. При объёме реализации 2 млрд. долл. в год заводу потребуется 500–700 млн. долл. оборотных средств. То есть расходы на созда-

ние фабрики современного уровня составят минимум 2,5–2,7 млрд. долл., не считая затрат на кадры и другие проблемы. Найти такие ресурсы в России весьма проблематично, привлечение иностранных инвестиций также нереально. Для инвестора, чтобы он вложил финансовые средства, необходимо понимание перспектив развития предприятия; наличие свободной ниши на рынке; дееспособная команда, которая может реализовать проект, и – особенно для иностранного инвестора – авторские права на техпроцесс, изделия и т.д. Ни одному из перечисленных требований ни одна российская компания не соответствует. Не говоря уже о политических решениях западных руководителей (например, Маастрихтский протокол), ограничивающих экспорт в Россию высоких технологий (изделий и технологического оборудования).

Второй вариант решения проблемы отечественной электроники связан с необходимостью обеспечивать элементной компонентной базой (ЭКБ) системы стратегического значения. Сегодня разработчики таких систем всеми правдами и неправдами стараются использовать самую современную зарубежную ЭКБ, поскольку необходимой им отечественной попросту нет. В результате из-за технологического отставания нашей промышленности решение проблемы ЭКБ для стратегически значимых систем заходит в тупик. Ситуацию усугубляет то, что каждая зарубежная фирма-производитель ИС использует собственные технологии, как правило, несовместимые с технологиями других фирм. А каждый вариант технологии высокого уровня отличается своим комплектом оборудования. Поэтому задача импортозамещения в принципе неразрешима из-за необходимости постановки более десятка вариантов технологий, затраты на которые могут составить свыше десятка миллиардов долларов.

Однако основные виды импортной ЭКБ, используемой отечественными разработчиками, – это процессоры цифровой обработки сигналов; логические ИС (реализуемые ПЛМ или БМК), ЦАП/АЦП и несколько типов линейных ИС. Для их производства достаточно четырёх-пяти базовых технологий с уровнем 0,5–0,35 мкм, которые можно поставить на двух-трех предприятиях. Сегодня это уже относительно недорого. В результате же можно закрыть более 2/3 отечественной потребности в ЭКБ. Правда, при данном подходе необходимо жёстко ограничить использование элементной базы более высокого технологического уровня. Эту задачу возможно решить системными и программными методами. Команда технологов, разработчиков ИС и системотехников, работая в тесной кооперации, должна представить предложения по ЭКБ для важнейших отечественных систем, которую можно произвести описанным путем. Для реализации такого подхода целесообразно организовать определённую структуру, являющуюся "разумным" интерфейсом между разработчиками и изготовителями ИС и создателями систем. Осознав задачи, стоящие перед разработчиком систем, производитель электронных компонентов сможет предложить оптимальные решения на уровне элементной базы. Подход здесь должен быть комплексным. Нужно создавать альянсы нескольких производителей и разработчиков.

На рынке ВПК можно добиться серьёзного прорыва за счет формирования стратегического партнерства как по вертикали, так и по горизонтали. Такие партнёрства должны существовать между разработчиками систем, разработчиками микросхем, изготовителями (читай – технологами) ИС и разработчиками программного обеспечения. Необходимо определить головных поставщиков компонентной базы для каждой конкретной системы, в том числе для систем стратегического значения. Головной поставщик должен нести полную ответственность за качество, надежность и сроки поставки. Он



должен быть наделен правом при необходимости организовать производство ИС за рубежом при нашей сертификации и контроле техпроцесса изготовления. Технически это возможно, но потребуются соответствующие изменения в нормативных документах.

Таким образом, для успешного функционирования полупроводникового предприятия в современных условиях необходимы:

- сильные производственные альянсы;
- доступные технологические платформы изготовления ИС, объединённые закрытыми коммуникационными сетями;
- стандартизация приборно-конструктивных базисов и массового заказа продукта на их основе;
- стратегические партнёрства и новые взаимодействия в научных исследованиях, разработках и внедрении их результатов;
- гибкость производства при минимизации себестоимости;
- понимание потребностей и поведения потребителя со стороны разработчика и изготовителя ИС.

Третий вариант развития отечественной электроники базируется на том факте, что восстановление научного и технологического потенциала в любом виде – это государственный приоритет. К слову, государственная поддержка электроники в США достигает 40 млрд. долл. в год, не говоря уже о Японии, Китае, странах Европейского Союза и т.п. При этом зарубежные полупроводниковые компании на научно-техническое развитие тратят не более 20% своих доходов (в среднем 15%). Таким образом, ожидаемые расходы собственных средств всех мировых компаний по этому направлению суммарно не превысят 35 млрд. долл. Вывод – государственная поддержка является определяющей для развития электронной промышленности и за рубежом.

Исключительность российской науки была и остается. По оценке Минпромнауки РФ, в России работает около 12% мирового научного потенциала ученых и инженеров-разработчиков, а в Америке – 25%. Роль России – создание собственного наукоемкого уникального продукта. Это наиболее востребованные специализиро-

ванные технологии, которые сложно воспроизвести конкурентам. На первый план сейчас выходит наукоёмкий сектор, формирующий новый технологический уклад.

В нашей стране в "эмбриональном" состоянии есть высокотехнологичные решения, не уступающие западным. Речь идет о таких областях, как наноэлектроника, микромеханика, молекулярная электроника, биоэлектроника и пр. При этом у нас имеются все предпосылки не наперстывать, а внедриться в передовую область за счёт имеющихся ресурсов и заделов. Сейчас у России есть шанс сформировать и развить отрасли промышленности, основанные на производстве продукции микро- и наноэлектроники с высокой интеллектуальной составляющей, а также производящие готовые системные решения на современной отечественной элементной базе.

В заключение отметим, что микроэлектроника, как наиболее наукоёмкий сектор, формирует новый технологический уклад и поэтому является элементной основой новой российской инновационной технологии. В то же время особенности российских кристалльных производств не способствуют технологическому развитию предприятий и созданию элементной компонентной базы требуемого уровня. Для обеспечения стратегически важных оборонных и хозяйственных объектов ЭКБ современного уровня необходима интеграция отечественных производителей с зарубежными компаниями, что позволит расширить число доступных технологий.

Необходимо создать "Российский гайд по микроэлектронике", в котором определить цели и задачи этой отрасли, а также методы их решения. Нужны и межведомственные научные центры "РАН + промышленность + университет" для решения, в первую очередь, технологических задач на основе имеющегося задела и оставшегося научно-технического потенциала. Достижение необходимого уровня отечественной микроэлектроники возможно в системе стратегических партнёрств. Это позволит быстро выходить с новым продуктом на рынок и более эффективно работать на нём. ○

24-Я РЕДАКЦИЯ TOP500: В СУПЕРКОМПЬЮТЕРНОЙ ГОНКЕ США ВНОВЬ ОБОГНАЛИ ЯПОНИЮ

24-я традиционная конференция по суперкомпьютерам в Питтсбурге (США) не обошлась без сенсаций. Два с половиной года беспспорным лидером списка мощнейших суперкомпьютеров TOP500 (www.top500.org) был японский гигант Earth Simulator производства компании NEC. И вот в эскалации японо-американских суперкомпьютерных отношений начался новый виток: сразу две машины – BlueGene L (совместный продукт IBM и Ливерморской национальной лаборатории Министерства энергетики США) и Columbia от компании Silicon Graphics (SGI) – превысили казавшуюся фантастической производительность в 35,86 TFlops (триллионов операций с плавающей запятой в секунду). Причем BlueGene L – практически вдвое, достигнув быстродействия 70,72 TFlops. За

шесть месяцев, истекших с момента публикации 23-й редакции TOP500 (см. ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, №4, 2004, с.49), в первой десятке произошли существенные изменения. Теперь TOP10 замыкает машина Tungsten компании Dell, полгода назад занимавшая пятое место. Только ее производительность (9,819 TFlops) в TOP10 менее 10 TFlops. Нижний уровень TOP100 изменился мало – с 1,922 до 2,026 TFlops. В целом суммарная производительность первых 500 суперкомпьютеров впервые превысила уровень 10¹⁵ flops и составляет 1,127 PFlops. Нижний уровень в TOP500 теперь – 850,6 GFlops. Шесть месяцев назад компьютер с такой производительностью занимал 320-ю строку. Видимо, через полгода все машины 25-й редакции TOP500 перешагнут рубеж в 1 TFlops.

По материалам www.top500.org

Первые 10 суперкомпьютеров из 24-й редакции списка TOP500.

Но-мер	Компьютер	Произво-дитель	Число процес-соров	Максималь-ная/пиковая про-изводительность, GFlops	Где установлен	Страна	Год
1	BlueGene/L DD2 beta-System/0,7 GHz PowerPC 440	IBM	32768	70720 / 91750	Lawrence Livermore National Laboratory	США	2004
2	Columbia SGI Altix 1.5 GHz, Infiniband	SGI	10160	51870 / 60960	NASA/Ames Research Center/NAS	США	2004
3	Earth-Simulator/Vector SX6	NEC	5120	35860 / 40960	Earth Simulator Center	Япония	2002
4	MareNostrum eServer BladeCenter JS20 (PowerPC970 2.2 GHz), Myrinet/IBM Cluster	IBM	3564	20530 / 31363	Barcelona Supercomputer Center	Испания	2004
5	Thunde Intel Itanium2 Tiger4 1.4GHz, Quadrics/NOW Cluster	California Digital Corporation	4096	19940 / 22938	Lawrence Livermore National Laboratory	США	2004
6	ASCI Q – AlphaServer SC45, 1.25 GHz/Cluster	HP	8192	13880 / 20480	Los Alamos National Laboratory	США	2002
7	System X 1100 Dual 2.3 GHz Apple XServe/Mellanox Infiniband 4X/Cisco GigE/NOW Cluster	Virginia Tech	2200	12250 / 20240	Virginia Tech	США	2002
8	BlueGene/L DD1 Prototype (0.5GHz PowerPC 440)	IBM / LLNL	8192	11680 / 16384	IBM - Rochester	США	2004
9	eServer pSeries 655 (1.7 GHz Power4+)/IBM SP	IBM	2944	10310 / 20019,2	Naval Oceanographic Office (NAVOCEANO)	США	2004
10	Tungsten PowerEdge 1750, P4 Xeon 3.06 GHz, Myrinet/Dell Cluster	Dell	2500	9819 / 15300	NCSA	США	2003