



Д. МЕРКУЛОВ, В. МЕРКУЛОВ, г. Москва

Удивительное рядом — но оно запрещено... инерцией мышления.

В. Высоцкий

Немного истории. В послевоенной Германии в секторе и по инициативе властей английской зоны оккупации на окраине Ганновера только созданная тогда организация DEUTSCHE MESSE (DM) в августе 1947 г. впервые провела промышленную ярмарку на территории бывшего авиационного завода в уцелевших от бомбардировок и артобстрелов корпусах. В дальнейшем к ним добавили и другие восстановленные цеха и здания.

Сейчас в Ганновере, насчитывающем около 520 тыс. жителей, расположен крупнейший на планете экспозиционный центр с 27-ю крытыми павильонами площадью 227 700 м², самым большим в Европе Конгресс-зданием с 35-ю залами для заседаний (**рис. 1** из ресурса "Google maps", вид с высоты 1350 м, стрелками помечены входы в комплекс).



Каждый год DM проводит 50 международных выставок и ярмарок, обеспечивающих занятость 90 % трудового населения города и его окрестностей. Выделившуюся в отдельное специализированное направление с 1986 г. ежегодную выставку CeBIT (Центр деловых и информационных технологий) в череде проходящих по миру аналогичных мероприятий отмечают как весьма заметное и успешное событие.

Краткая статистика. Прошедшую, как обычно весной, с 3-го по 9 марта CeBIT 2008 с 5945-ю участниками из 77 стран посетили около 495 000 человек, из которых примерно 100 000 прибыли из-за границы со всех континентов. Помимо обширной экспозиции России, из стран бывшего СССР были замечены представительства Азербайджана, Украины, Эстонии. Освещали работу выставки около 7000 германских и зарубежных журналистов. По мнению организаторов, благодаря СМИ мероприятие охватило аудиторию в 880 млн человек.

Показу высших информационных технологий предшествовала церемония открытия CeBIT 2008, где выступили с приветственными речами канцлер Германии А. Меркель, президент Франции (страны-партнера) Н. Саркози, президент Еврокомиссии Ж. М. Баррозу, генеральный директор корпорации MICROSOFT С. Балмер.

Участникам CeBIT 2008 заранее были предписаны условные разделы экспозиции: 1) компьютерные и мо-

бильные технологии; 2) решения для дома; 3) новинки в общественном секторе; 4) мобильные коммуникации в здравоохранении; 5) новые технологии обучения; 6) инновации в области дизайна; 7) направления бизнеса; 8) консалтинг и услуги; 9) наем сотрудников; 10) дополнительная программа конференций, дискуссий и форумов по "зеленым технологиям", т. е. поддерживающим движение защитников окружающей среды.

Интересных изделий на выставке больше всего было в первом разделе. В связи с этим ниже дан краткий обзор развития вычислительной техники на примере фирмы INTEL (Integrated Electronics) — ведущей в мире компании по разработке и производству микропроцессоров, приступившей к их созданию 40 лет назад. Интересна и история ее становления.

Восход INTEL. В декабре 1947 г. американские физики У. Шокли (1910—1989), У. Браттейн (1902—1987), Дж. Бардин (1908—1991) завершили разработку точечного полупроводникового триода—транзистора [1]. При проведении экспериментов в лаборатории больше время проводили Браттейн и Бардин, поэтому заявку на изобретение они подали на двоих. Руководитель работ Шокли продолжил исследования и к середине 1951 г. разработал плоскостной транзистор, единолично оформив заявку на его изобретение. Все вместе в 1956 г. они были удостоены Нобелевской премии. В том же 1956 г. в городе Пало-Альто (штат Калифорния) Шокли организовал свою фирму SHOCKLEY SEMICONDUCTOR Labs (SHSL), ставшую началом создания знаменитой "Силиконовой долины".

Покинувший вскоре SHSL физик Р. Нойс (1927—1990) к февралю 1959 г. разработал микросхему, заменившую ранее изготавливаемые микро модули, которые содержали нарезанные из пластин кремниевые транзисторы. В микросхеме Нойс предложил изолировать транзисторы друг от друга обратнорасположенными **p — n** переходами, покрывая их изолирующим слоем окисла кремния, а поверх напылять алюминиевые соединения.

Однако на полгода раньше, в сентябре 1958 г., созданную по схожей методике микросхему на германиевых транзисторах впервые предложил миру (с оформлением единоличной заявки на патент) физик—электротехник Дж. Килби (1923—2005) из компании TEXAS INSTRUMENTS. В 2000 г. за изобретение микросхемы он получил Нобелевскую премию (совместно с российским физиком Ж. Алферовым).

В июле 1968 г. Нойс и его коллега по SHSL инженер—физик Г. Мур (1929 г. рожд.) основали небольшую фирму, ставшую впоследствии корпорацией INTEL, с головным офисом, называемым сейчас "Robert Noyce Building" в городе Санта-Клара ("Силиконовая долина" в штате Калифорния). Через совсем короткое время к ним присоединился сослуживец по SHSL инженер—химик венгерского происхождения А. Гроув (1936 г. рожд.). Для состав-

ленного первого бизнес—плана оказалось достаточно всего лишь одной страницы формата А4.

В созданной компании до 1975 г. президентом был Нойс. Мур замещал его, одновременно занимая пост главного управляющего. С 1975 г. до 1979 г. обязанности президента исполнял Мур, потом он снова работал главным упра-

удваиваться каждые один-полтора года. Одновременно будет повышаться их быстродействие при снижении себестоимости и увеличении спроса. Последующие годы подтвердили правоту смелого заявления. Высказанное правило в 1970 г. получило определение "Закон Мура".

Существует еще несколько прочтенных закона. Например, производительность микропроцессоров и соответственно вычислительные способности компьютеров удваиваются каждые 1,5 года. Выступая на научной конференции в 1975 г., Мур подкорректировал предсказанный показатель с учетом возросшей сложности микросхем: предположил увеличить срок до двух лет.

С самого начала INTEL успешно развивала разработку металл—оксидной полупроводниковой технологии PMOS с использованием диоксида кремния (SiO_2) в качестве изолятора затвора транзисторов. Были созданы надежные с малыми габаритами микросхемы памяти: SRAM (Static Random Access Memory) и DRAM (Dynamic RAM). В номенклатуре изделий фирмы они сохраняли доминирующее положение вплоть до 1990 г.

Технологии — предшественники. В 1971 г. японская фирма BASICOM обратилась в INTEL с техническим заданием на разработку 12 микросхем. В ответ было предложено объединить их в одну универсальную управляемую сборку. Так появился процессор Intel 4004 (рис. 3, а), спроектированный по технологии (PMOS) 10 мкм в кристалле размерами 3,18×1,59 мм и сопоставимый по производительности с первой ламповой

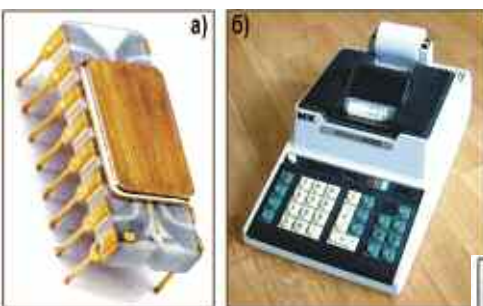
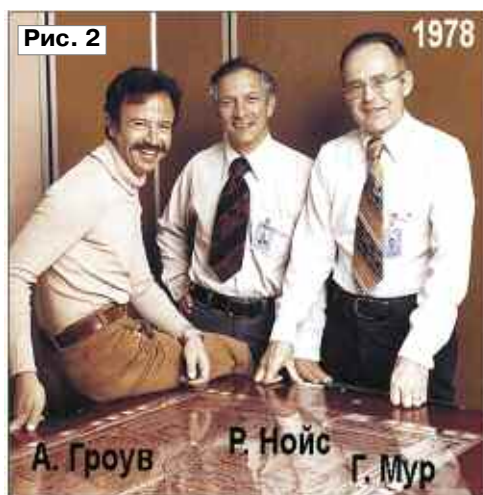


Рис. 3

вляющим до 1987 г., после чего стал председателем совета директоров (ПСД), а с 1997 г. — почетным ПСД.

Много постов переменял и Гроув, руководивший INTEL как президент с 1979 г. по 1987 г. Он был также главным управляющим в 1987—1997 гг., ПСД в 1997—1998 гг., председателем правления в 1998—2004 гг. Всех троих отцов—основателей ставшей знаменитой компании можно видеть на рис. 2.

Следует сообщить, что годом позже после образования INTEL, в 1969 г., их бывшие сотрудники по работе в SHSL во главе с Дж. Сандерсом (1937 г. рожд.) основали конкурирующую компанию AMD (Advanced Micro Devices) со штаб—квартирой в городе Саннивел (также в "Силиконовой долине"), ставшую в США второй по значимости в разработке и производстве микроэлектронных изделий. Сандерс стал в ней бессменным ответственным руководителем и исполнительным директором.

Суперпророчество. Ясновидец Мур. В американском журнале "Electronics" № 4 за 1965 г. Мур выступил с прогнозом эволюции микроэлектроники на десятилетие. Он объявил, что число активных элементов в микросхемах будет

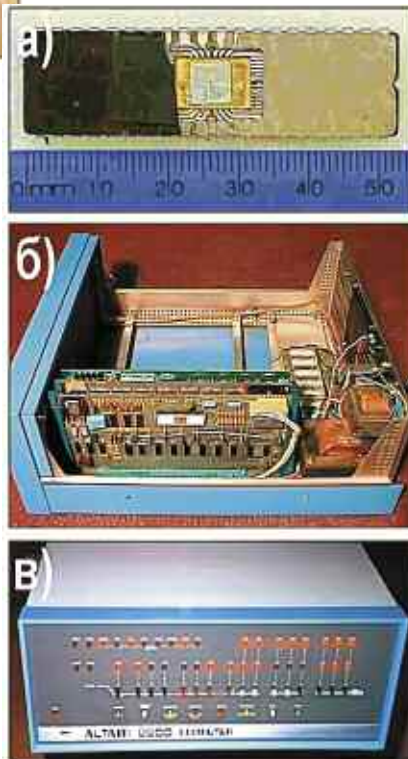


Рис. 4

Модель	Технология, нм	Шина, разряд	Число элементов	Тактовая частота, МГц	Дата показа
4004	10000	4	2300	0,108 (до 0,74)	15.11.1971
8008	10000	8	3500	0,5 (до 0,8)	01.04.1972
8080	6000	8	6000	2	01.04.1974
8086	3000	16	29000	3	08.06.1978
8088	3000	16	29000	5...8	01.06.1979
80286	1500	16	134000	6 (до 12,5)	01.02.1982
80386	1500	32	275000	16	17.10.1985
80486	1000	32	1200000	25	10.04.1989
Pentium	800	32	3100000	66	22.03.1993
Pentium Pro	600	32	5500000	200	01.11.1995
Pentium 2	350	32	7500000	300	07.05.1997
Pentium 3	250	32	9500000	500	26.02.1999
Pentium 4	180	32	42 млн	1500	20.11.2000
Pentium 4M	130	32	55 млн	1700	04.03.2002
Pentium M Banias	130	32	77 млн	1700	март 2003
Pentium M Dothan	90	32	140 млн	2000	10.05.2004
Core 2 Yonah	65	32	151 млн	2000	январь 2006
Core 2 Merom	65	64	291 млн	2400	27.07.2006
Core 2 Duo Wolfdale	45	64	410 млн	2800	20.01.2008
Core 2 Duo Yorkfield	45	64	820 млн	3000	11.11.2007
Atom Z	45	64	47 млн	1866	02.03.2008
Atom N	45	64	47 млн	1600	02.04.2008

применительно к расширению номенклатуры микросхем памяти.

Для наглядности в публикуемую здесь таблицу собраны сведения обо всех достижениях INTEL в разработке микропроцессоров.

Отметим, что процессор Intel 8080 (рис. 4,а) стал первым устройством, обеспечивающим видеопроигрыватель. В 1975 г. в обращение поступил самый ранний и успешный бытовой ПК "Altair 8800", сконструированный на таком процессоре (рис. 4,б и в).

Процессор Intel 8086 послужил основой для разработки портативного изделия. По заданию NASA американская компания GRID Systems разработку первого ноутбука (НБ) "GRID Compass 1100" (рис. 5,а) с цветным электролюминесцентным экраном за-

первым рекомендовали для НБ широкого применения.

Intel 80486 впервые позволил управлять ПК выведенной на экран "точкой" (курсором). Процессор Intel "Pentium" облегчил объединение многих функций в одном ПК. Intel "Pentium M" — первый двухъядерный процессор, специально оптимизированный для НБ Intel "Centrino" [2].

14-я нанотехнологическая инициатива. В последние четыре позиции таблицы внесены сведения о недавних разработках по новой технологии 45 нм. Отметим, что ранее в 13-ти предыдущих поколениях, в том числе и трех последних (130, 90, 65 нм), разработчиками кристаллов (ядер) удавалось находить оптимальные решения по оптимизации токов утечки, энергопотребления и тепловыделения при одновременном повышении быстродействия. Вместе с тем в транзисторах по технологии 65 нм [2] толщина диэлектрической прослойки из оксида кремния между затвором и каналом равна всего пяти атомным слоям кремния, т.е. 1,2 нм. Дальнейшее ее истончение не позволяет реализовать технологию 45 нм.

По изначальной методике MOSFET кремниевые микросхемы выпускали с 1960-х годов. Специалисты INTEL впер-



Рис. 5

ЭВМ "ENIAC" разработки 1946 г. [1]. В 1972 г. заказчик на основе процессора Intel 4004 создал "Basicom calculator" — вычислительный калькулятор (рис. 3,б), проложивший путь к появлению массового персонального компьютера (ПК).

Процессор Intel 4004 встроили также в бортовую аппаратуру расчета траектории полета космического зонда "Pioneer-10", запущенного американским аэрокосмическим управлением NASA в межпланетное пространство в том же 1972 г. При этом успех такого модуля рассматривали, прежде всего,



Рис. 6

вершила в 1979 г. На рис. 5,б показан американский космонавт Дж. Крейтон с этим НБ в космическом корабле Shuttle "Discovery".

В августе 1981 г. модуль Intel 8088 — выдающийся образец техники для того времени — американской компанией IBM был использован в центральном процессоре компьютера IBM PC5150 (рис. 6,а и б — материнская плата) — прародителя современных ПК. Процессор Intel 80286 стал первым преемником в запуске программ предшественников. Представленный в октябре 1990 г. Intel 80386SL с числом элементов 855 000 по технологии 1000 нм отличился малым энергопотреблением. Его

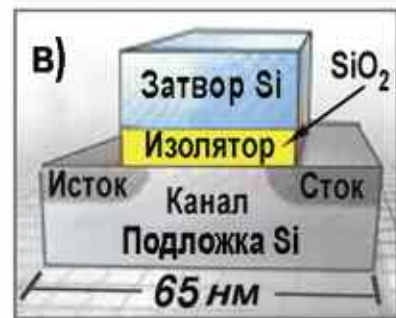
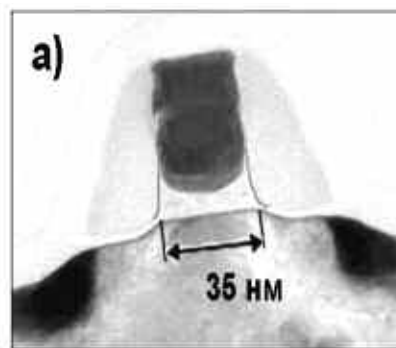


Рис. 7

вые посягнули на, казалось бы, незбылемые устои их изготовления: предложили заменить диоксид кремния новым изоляционным материалом. Выбор пал на гафний — редкоземельный элемент № 72 в таблице Д. И. Менделеева, открытый в 1923 г. Сам гафний, будучи металлом, проводит электрический ток, а хорошими изоляционными свойствами обладает окисел гафния HfO_2 . Он превосходит окисел кремния по качественным характеристикам примерно в 10 раз. Новый материал с высокой диэлектрической проницаемостью К условно обозначают "high K". Толщину прослойки избрали равной 1—3 нм. Получают ее атомарным напылением (слоями в один атом). Для совместимости с ней понадобилось заменить и материал самого затвора. Подходящими оказались силициды — соединения кремния с никелем (NiSi) и другими металлами, которые обозначают "metal gate". На рис. 7 показаны отличия транзистора по технологиям 45 нм (рис. 7, а — в разрезе при увеличении $\approx 1300\ 000 : 1$ — и б) и 65 нм (рис. 7, в). Г. Мур определил новые решения как "наиболее серьезные изменения в транзисторной технологии за последние 40 лет".

Следует отметить, что к началу текущего столетия наряду с разработкой INTEL микропроцессоров с очень высокими характеристиками подоспел и MICROSOFT с доступным программированием, а на востоке взмогло "китайское экономическое чудо" — малозатратное производство. В результате пользователи получили доступные по цене и довольно простые в эксплуатации устройства, по уровню совершенства значительно опережающие многие привычные приборы во всех сферах жизни. Некоторые популяризаторы науки и техники полагают, что если бы в других областях человеческой деятельности развитие технологий соответствовало темпам совершенствования микропроцессоров, то сейчас по цене менее одного цента (23...24 коп. по российскому курсу) продавали бы легковые автомобили, билеты на самолет в любое место планеты, квадратные метры жилой площади и др.

Интересно при этом указать, что в основном штате INTEL и ее филиалах по всему миру числятся 86 300 работников. Финансовый оборот компании в 2007 г. составил 38,3 млрд долл. США.

В начале июня этого года "Российская корпорация нанотехнологий" (РОСНАНОТЕХ) и корпорация INTEL в рамках 12-го Петербургского экономического форума подписали соглашение о намерениях. Они обязались проводить совместные научно-исследовательские работы по разработке и программированию многопроцессорных систем, методов и средств построения устройств по технологии 45 нм и менее, подготовке кадров. Сообщим, что еще в 2004 г. отделение INTEL в России образовало в Московском физико-техническом институте на факультете радиотехники и кибернетики кафедру микропроцессорных технологий. Преподают на ней сотрудники американской корпорации. Ежегодно 10 самых успешных студентов старших курсов обучаются в институте, будучи зачисленными в штат INTEL.

Сотрудничают с INTEL и другие российские ВУЗы. В университетах Томска, Уфы, Челябинска установлены суперкомпьютерные кластеры (СКК — совокупность компьютеров, объединенных волоконно-оптическими линиями связи). Всего в российских ВУЗах в 2007—2008 гг. построили около 20 супервычислителей. СКК производительностью 10,1 трлн операций/с установлен в компьютерном центре Российской Академии наук (РАН).

В Москве 19 марта 2008 г. в МГУ введен в эксплуатацию самый большой в России и странах СНГ СКК СКИФ (22-е место в мировом рейтинге). Он имеет максимальную производительность 60 трлн операций с плавающей запятой в секунду (реально 47,04 трлн операций/с), объем постоянной памяти 60 ТБ и оперативной памяти 5,5 ТБ. Он занимает площадь 96 м² и объединяет 625 серверов, содержащих 1250 четырехядерных микропроцессоров INTEL Xeon E5472, изготовленных по технологии 45 нм. В NASA подобный СКК (88,88 трлн операций/с) используют для моделирования траекторий полетов и посадки гиперзвуковых самолетов и межпланетных станций, проектирования скафандров космонавтов.

Воплощение идеи. О начальной стадии работ по технологии 45 нм специалисты INTEL доложили в выступлениях на форуме IDF (INTEL Developer Forum), проходившем еще в октябре 2004 г. в РАН. В январе 2006 г. они заявили об изготовлении пробных микро-

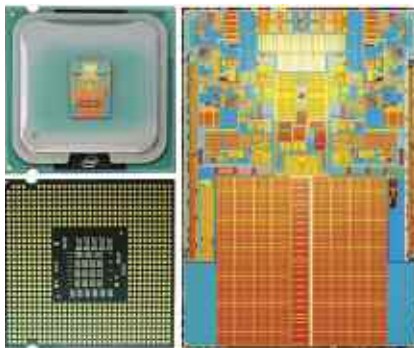


Рис. 8

схем SRAM-памяти объемом 153 Мбит, содержащих более 1 млрд транзисторов на площади примерно 119 мм². На выставке CES 2008 в Лас-Вегасе INTEL показала уже серийно производимые двухядерные микропроцессоры "Core 2 Duo Wolfdale" новой технологии, состоящие из двух кристаллов "Пенгун" и предназначенные для НБ и настольных ПК. Вид процессора сверху и снизу, а также внутреннюю разводку можно посмотреть на рис. 8.

В кристалле на площади 107 мм² помещено 410 млн транзисторов при кэш-памяти L2 объемом 6 МБ. Для сравнения заметим, что площадь современной российской монеты в 1 коп. равна 191 мм². Модели линейки "Wolfdale" работают с тактовыми частотами от 2,1 до 2,8 ГГц и частотой системной шины FSB (Front Side Bus) 800 МГц.

Однако двумя месяцами раньше, в ноябре 2007 г., INTEL публично представила линейку четырехядерных процессоров "Core 2 Quad Yorkfield", специализированных под настольные ПК. В них сочленили два двухядерных модуля "Wolfdale". Микропроцессоры "Yorkfield" рассчитаны на тактовые частоты 2,5...3 ГГц, FSB 1333 МГц, имеют память L2 6 МБ.

Все новые процессоры обеспечивают меньшие токи утечки и пониженное тепловыделение, повышенную на 20 % скорость переключения активных элементов (что особенно важно при обработке видеосигналов), уменьшенное на 30...40 % энергопотребление.

Перед началом CeBIT, 2 марта 2008 г., INTEL представила сверхминиатюрный процессор "Atom". Ядро микросхемы площадью 25 мм² вмещает 47 млн транзисторов, напыленных по технологии "High K metal gate" (рис. 9). При создании процессора был достигнут компромисс производительности и пониженного энергопотребления, миниатюрности и невысокой цены. Устройства на основе "Atom" при малых габаритах и массе способны на быстрый и полноценный доступ в Интернет и параллельную потоковую обработку двух и более операций (Hyper-Treading).

Процессоры "Atom Z Silverthorne" предназначены для следующих поколений недорогих субНБ и ультраминиатюрных ПК, в том числе карманных и смартфонов. Они работают с тактовыми частотами 1333...1866 МГц, FSB 533 МГц, памятью L2 512 КБ.

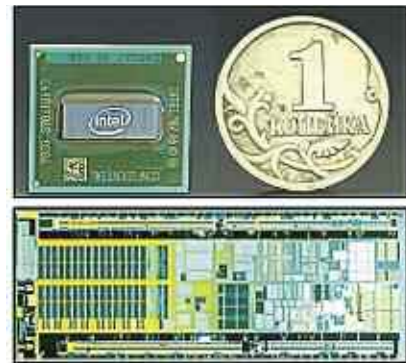


Рис. 9

Модели "Atom N Diamondville" спроектированы под новую волну настольных ПК и НБ. Пока известно, что некоторые из них работают с тактовой частотой 1,6 ГГц и теми же FSB и памятью L2. Ожидается двухядерная версия "Diamondville". На все микропроцессоры "Atom" INTEL дает гарантию 7 лет.

Путешествие в наномир продолжается. INTEL в ближайшем будущем планирует запустить в обращение восьмиядерные процессоры на основе кристаллов "Пенгун". Она продолжит ранее объявленные работы по преодолению технологического рубежа в 32 нм. Серьезность намерений руководители организации продемонстрировали на форуме IDF в сентябре 2007 г., где показали пробные изделия SRAM-памяти объемом 291 Мбит, содержащие 1,9 млрд транзисторов. При этом они пояснили, что

шесть транзисторов каждой ячейки микросхем удалось разместить на площади, равной 0,182 мкм².

Интерес к технологии 45 нм, в основном применительно к устройствам памяти, проявляют многие другие компании. Так, японская корпорация MATSUSHITA уже наладила выпуск новых многофункциональных микросхем. Американское объединение IBM совместно с компаниями INFINEON из Германии, CHARACTERED SEMICONDUCTOR из Сингапура и некоторыми предприятиями из Южной Кореи планируют начать выпуск новых микропроцессоров в конце 2008 г. — начале 2009 г. Ведущее в Китае полупроводниковое сообщество фабрик SMIC исследует возможности освоения технологии 45 нм по лицензии от IBM. AMD надеется приступить к серийному выпуску собственных микропроцессоров 45 нм к концу 2008 г.

В России в г. Зеленограде, под Москвой, 12 декабря прошлого года открыли завод по изготовлению микросхем технологии 180 нм. В самом конце 2007 г. Правительственная инвестиционная комиссия одобрила проект строительства объекта по производству микросхем по технологии 65 и 45 нм. Проект завода предоставила компания "Ситроникс-Нанотехнологии".

Новое поколение НБ. Несмотря на небольшое время, прошедшее со дня показа новых микропроцессоров, на

вающим приводом DVD/CD +/-R/RW, видеокамерой на 1,3 Мпкс, кард-ридером SD/MMC/MS, стереоусилителем ЗЧ с громкоговорителями, устройствами Wi-Fi/Bluetooth. Габариты — 258×259×27 мм, масса — 2,6 кг.

Комплект "ASUS M50S" (рис. 11), серийно выпускаемый другой тайваньской компанией ASUS, с процессором "Intel

2,1 ГГц (L2 3 МБ, FSB 800 МГц) и работает с той же ОС WVHP. Он снабжен HDD 160 ГБ, LCD с диагональю 43 см (17"), записываемым приводом DVD/CD, видеокамерой 1,3 Мпкс, стереоусилителем ЗЧ с динамическими головками, видеокартой и устройством оперативной памяти, схожими с рассмотренными выше НБ.

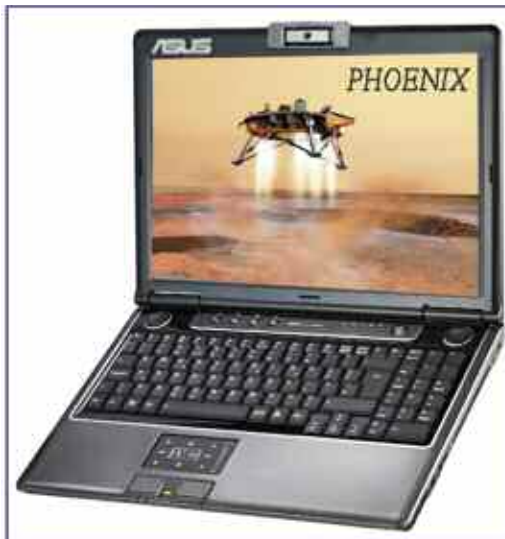


Рис. 11

Аппарат "Thinno" (рис. 12) китайской фирмы THINNO оснащен микропроцессором "Intel Atom Z 530" с тактовой частотой 1,6 ГГц (L2 512 КБ, FSB 533 МГц), управляемым ОС "Windows XP". Он снабжен LCD с диагональю 17,8 см (7") и разрешением 800×480 пкс, слотами карт памяти SD, Express-Card 34, тремя портами USB, входными разъемами LAN (Ethernet 10/100 Мб/с), выходом VGA.

Еще на СеБИТ посетители толпились возле НБ "Apple Mac Book Air" и "Sony TZ 21" на стендах американской APPLE и японской SONY компаний соответственно. Аппараты привлекали современным дизайном. Первый из них провозглашен как самый тонкий НБ в мире, однако в нем отсутствует привод DVD/CD. Чуть более утолщенный TZ 21 имеет его. Оба устройства характеризуются недостатком разъемов и слотов коммутации с



Рис. 10

СеБИТ 2008 повстречалось уже много действующих опытных и серийных образцов настольных ПК, НБ, субНБ, использующих изделия технологии 45 нм. Рассмотрим увиденные на стендах и привлекавшие внимание посетителей некоторые НБ.

Аппарат "MSI GX-600" (рис. 10) производства тайваньской компании MSI работает с операционной системой "Windows Vista Home Premium" (WVHP). Он содержит процессор "Intel Core 2 Duo T7500" с тактовой частотой 2,6 ГГц и микросхему "Intel 965PM Express". Он имеет оперативную память 2 ГБ (DDR-2 667 МГц). Снабжен HDD объемом 250 ГБ SATA со скоростью 5400 мин⁻¹, LCD с диагональю экрана 39 см (15,4"), видеокартой "NVIDIA GeForce 860 M GT" 512 МБ/Turbo Cache 1280 МБ, записы-

вающим приводом DVD/CD +/-R/RW, видеокамерой на 1,3 Мпкс, кард-ридером 1×8 КП, усилителем ЗЧ, адаптерами Wi-Fi/Bluetooth. Габариты — 375×270×44 мм, масса — 3 кг.

НБ "Toshiba Satellite A300-111" производства японского объединения TOSHIBA содержит микропроцессор "Intel Core 2 Duo T8100" с тактовой частотой

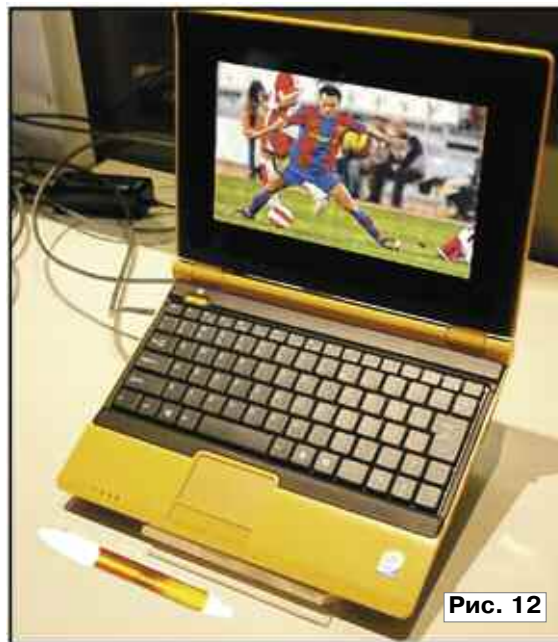


Рис. 12

внешней оргтехники. Кроме того, в них использованы микропроцессоры технологии 65 нм, ставшие уже прототипами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Меркулов В. 60 лет создания транзистора. Начало применения полупроводников. — Радио, 2007, № 12, с. 7—9; 2008, № 1, с. 5—7.
2. Меркулов В. СеБИТ-2007 — в Ганновере. Что нового? — Радио, 2007, № 8, с. 9—13; № 9, с. 8—11.