

15 nových procesorů firmy Intel

Není to sice poprvé, kdy firma Intel použila při výrobě procesorů nový, 0,18mikronový výrobní proces, ale nyní jej nasadila skutečně masově. Tato firma totiž 25. října představila hned patnáct nových procesorů, které jsou určeny pro osobní počítače, přenosné počítače, servery a pracovní stanice a které jsou 0,18mikronovou technologií vyrobeny. Intelu se už také podařilo prolomit hranici 700 MHz. O těchto procesorech, ale nejen o nich, je právě tento článek.

Centi, mili, mikro

První procesor 4004 firmy Intel byl vyroben pomocí tzv. 10mikronové technologie, obsahoval 2300 tranzistorů a pracoval na frekvenci 108 kHz. Od té doby uběhlo zhruba 29 let a nejnovější procesor firmy Intel, tedy procesor Pentium III 733, je vyráběn 0,18mikronovou technologií, obsahuje 28 milionů tranzistorů a pracuje na frekvenci 733 MHz. Nejmenší prvky v procesoru se tedy za tu dobu zmenšily více než 50krát a značně se zvýšil i počet tranzistorů. Dnes už se nám tedy zdá 10mikronová technologie trochu "předpotopní". Proč se ale vůbec snaží výrobci polovodičů neustále zmenšovat rozměry tranzistorů a jak se procesory vůbec vyrábějí?

Výroba začíná návrhem

Výroba integrovaného obvodu, tedy i procesoru, začíná jeho návrhem. Při návrhu se bere v úvahu celá řada faktorů. Procesor musí mít dostatečný výkon, přiměřené náklady na výrobu, a trh na něj musí být připraven a musí ho přijmout. Návrháři procesorové logiky potom připraví počítačové simulace, aby se zjistilo, jak bude nový integrovaný obvod pracovat za nejrůznějších okolností. Využívají se přitom nejmodernější programy CAD, které dokážou funkci integrovaných obvodů simulovat a ověřit tak správnost návrhu.

Systémy CAD se používají i pro přípravu tzv. masek, které se pro výrobu procesorů používají. Masky představuje křemíkovou destičku, na které je schematický diagram navrženého obvodu vyleptán pomocí chloru. Tato destička se používá pro "tisk" obvodů na křemíkové plátky pomocí fotolitografie a ultrafialového světla, které se propouští skrz masku. Ultrafialové světlo prosvítí prázdné prostory na masce a působí na některé vrstvy nanesené na křemíkový plátek a rozpouští je. Právě podoba a velikost masky určují, jak bude procesor vypadat, kolik bude mít tranzistorů, jak bude veliký a jaké nejmenší části (spoje) bude obsahovat.

Procesory se vyrábějí nanášením mikroskopicky tenkých vrstviček izolačních a vodivých materiálů na křemíkové plátky. V těchto materiálech se pomocí masky vytvářejí tranzistory, které řídí tok elektřiny obvodem. Jeden procesor obsahuje až miliony těchto tranzistorů, umístěných v několika vrstvách (pro každou vrstvu musí být zhotovena jedna maska). Počet tranzistorů se daří stále zvyšovat, masky se zdokonalují a přesňují.

Plátky, na které se nanášejí vrstvy izolačních a vodivých materiálů, jsou z křemíku, což je po kyslíku nejrozšířenější prvek na Zemi (je mimo jiné hlavní složkou plážového písku). Při výrobě integrovaných obvodů se používá proto, že je to přirozený polovodič, a že ho tedy lze upravit buď jako vodič, nebo jako izolátor. Pro přípravu křemíkových plátek je ovšem nutné křemík chemicky vyčistit na téměř 100% čistotu. Vyčištěný křemík je roztaven a upraven do podoby tzv. "ingotů", což je jakýsi křemíkový váleček. Křemíkové ingoty (nyní se používají ingoty osmipalcové) se pak řežou na tenké plátky, které se potom leští. Firma Intel sama křemíkové ingoty nevyrobí, ale kupuje je.

Ne všechny plátky s integrovanými obvody (na jeden plátek se jich vejde pochopitelně více) se samozřejmě povedou, a tak je nutné všechny obvody otestovat – ty, které testem neprojdou, se označí. Plátky se pak pomocí diamantové pily rozřežou na jednotlivé integrované obvody (tzv. substráty neboli "die") a zapouzdří se. Pouzdro chrání takovýto křemíkový substrát od vlhkosti, mechanického poškození, prachu a podobně a poskytuje také elektrická propojení, nutná k tomu, aby mohl procesor komunikovat se základní deskou. Při výrobě procesorů se používá několik typů pouzder (např. DIP, PGA nebo SEPP). Po zapouzdření se procesory znovu testují.

Z dnešního pohledu se zdá, že šířky spojů a nejmenší části byly u prvních procesorů obrovské. Dříve dosahovaly 12 mikrometrů (12 miliontin metru), což je ale stále mnohem méně, než je průměr lidského vlasu (to je ještě vnímatelná a pochopitelná hodnota), který je tlustý asi 80 mikrometrů. Pokud si uvědomíme, že jeden mikron je pouze 0,000 001 metru, byly i první integrované obvody fantasticky malé. 12mikronový výrobní proces byl už ale mnohokrát překonán a vědci se snaží přijít na nové a nové způsoby zmenšování "cestiček" v procesoru.

Proč se zmenšuje?

Zmenšování nejmenších částí v procesoru má zřetelné příčiny. Na jeden křemíkový plátek je díky zmenšení možné umístit více obvodů a výroba se tak zlevňuje. To je ale pouze jedna z příčin. Hlavní příčina je ta, že díky zmenšování se na stejné místo vejde více tranzistorů, a tak je možné vyrábět mnohem složitější, a tím i výkonnější procesory. Tak například procesor Intel 80286 obsahoval 134 000 tranzistorů, zatímco procesor Mobile Pentium II PE jich má již 27,4 milionu a při zachování podobných rozměrů (nebo ještě menších) je samozřejmě mnohem výkonnější. Právě u tohoto procesoru byla poprvé použita 0,18mikronová technologie, která se nyní začala používat i při výrobě dalších procesorů firmy Intel. Zmenšování tedy v podstatě umožňuje výrobu nových procesorů, které by starší technologií nebylo možné vyrobit. Uživatelé vyžadují stále rychlejší a rychlejší procesory a argument, že výkon těch současných již úplně stačí, není příliš pádný. Už při uvedení procesoru 386 si totiž řada uživatelů myslela, že jejich počítač s procesorem 286 jim zcela dostačuje – dnes už ho nikdo nechce snad ani zadarmo.

Jsou tu ale i další výhody zmenšování – menší integrované obvody pracují rychleji (mohou pracovat na vyšší frekvenci), spotřebují také méně energie a méně se zahřívají, a potřebují tedy jednodušší chlazení. To se hodí hlavně u procesorů, které jsou určeny pro mobilní počítače, ale nižší spotřeba je samozřejmě výhodná i u běžných procesorů pro osobní počítače. Procesory pracující na stejné frekvenci a vyrobené rozdílnou výrobní technologií tedy potřebují k provozu rozdílné napětí a mají jinou spotřebu.

Čím menší integrované obvody jsou, tím méně energie potřebují. V praxi se najde asi málo případů, kdy se zmenšováním dosahuje zvýšení výkonu a také snížení spotřeby – v tom je procesorová technologie velice zajímavá. Menší parní stroj, elektrický motor nebo benzinový motor bude stěží efektivnější a výkonnější než ten větší.

Patnáct procesorů

Přechod na novou výrobní technologii není rozhodně jednoduchý a ani levný a Intel tento přechod připravoval poměrně dlouho. 0,18mikronovou technologií zatím procesory vyrábějí čtyři továrny firmy Intel. Tato technologie byla v Intelu interně označována Coppermine, i když s mědí nic společného nemá. Intel ve svých procesorech stále používá hliníkové spoje.

Prvním procesorem firmy Intel vyrobeným 0,18mikronovou technologií byl mobilní procesor Pentium II pracující na frekvenci 400 MHz; byl představen v červnu tohoto roku. Tento procesor je vybaven vyrovnávací pamětí druhé úrovně tzv. "on-die" – paměť je přímo u procesoru a pracuje na stejné frekvenci jako procesor. Díky tomu se počet tranzistorů v procesoru zvýšil až na 27,4 milionu, a 0,18mikronová technologie zde tedy určitě své uplatnění našla.

Jen u tohoto procesoru ale samozřejmě nezůstalo a 25. 10. firma Intel představila patnáct nových procesorů vyrobených 0,18mikronovou technologií (jde o nejmasovější uvedení nových procesorů firmy Intel v dějinách). Jde o procesory Pentium III pro osobní počítače, procesory Pentium III pro přenosné počítače a o procesory Pentium III Xeon pro pracovní stanice a servery.

Kromě použité výrobní technologie se toho u procesorů příliš nezměnilo. Jádro nových procesorů je stejné – procesory jsou založeny na jádru P6, které bylo již před lety použito u procesoru Pentium Pro.

Pro stolní počítače

Nejvíce nových procesorů je určeno pro osobní počítače. K dispozici jsou nyní nové procesory Pentium III, a to takové, které pracují na frekvenci 733, 700, 667, 650, 600, 550 a 533 MHz. Nová technologie tedy umožnila podstatně zvýšit frekvenci, na které procesory pracují, a to až nad 700 MHz. Změnilo se toho ale více. Počet tranzistorů nových procesorů se oproti starším procesorům Pentium III výrazně zvýšil, a to kvůli tomu, že vyrovnávací paměť druhé úrovně se nyní odstěhovala přímo k jádru procesoru (jde tedy o paměť "on-die") a tato paměť pracuje na stejné frekvenci jako procesor. Intel tuto vyrovnávací paměť označuje jako Advanced Transfer Cache na rozdíl od starší paměti Discrete Cache. Tato paměť má ovšem velikost "jen" 256 KB, ale i tak je účinnější než 512KB vyrovnávací paměť starších procesorů, která pracuje jen na poloviční frekvenci procesoru. Paměť "on-die" se osvědčila u procesorů Celeron a Mobile Pentium II, a Intel ji tedy využil i u modelu Pentium III – je zajímavé, že oddělená cache u prvních procesorů Pentium II byla Intellem propagována jako dobrý nápad a úspora financí.

Výhody 0,18mikronové technologie jsou na nových procesorech jasně vidět. Zatímco procesor Katmai (kódové jméno pro původní Pentium III) má velikost 128 mm², procesory (kódové jméno Coppermine) vyrobené 0,18mikronovou technologií mají velikost pouze 106 mm², a to je na nich umístěna i paměť cache L2, díky čemuž se počet jejich tranzistorů zvýšil z 9,5 na 28,1 milionu.

Aby se procesory se stejnou frekvencí, ale v jednom případě s 512KB pamětí cache L2 a v druhém s 256KB pamětí cache L2 "on-die" rozlišily, jsou procesory s 256KB vyrovnávací pamětí označeny písmenem "E" (tedy Pentium III 500E, 550E a 600E). Procesory označené písmenem "B" jsou navíc schopny pracovat i na 133MHz základní sběrnici, zatímco ostatní pracují jen na 100MHz základní sběrnici. 133MHz základní sběrnici podporují procesory Pentium III 533EB, 600EB, Pentium III 667 a Pentium III 733.

Nové výkonné procesory jsou sice již k dispozici, ale problém je zatím s jejich řádným využitím. Tyto procesory měly být totiž použity především na základních deskách s čipovou sadou Intel 820. Ta měla být představena a uvedena na trh již v září tohoto roku, ale její uvedení bylo bohužel odloženo kvůli technickým problémům s paměťmi RDRAM, konkrétně kvůli problému s třetím slotem RIMM pro paměti RDRAM. 133MHz základní sběrnici tak nyní podporuje pouze čipová sada Intel810e, která je však určena pro levnější počítače. Grafický výkon počítačů na ní založených je totiž omezen, protože tato čipová sada obsahuje grafický čip a podporuje pouze sběrnici Direct AGP. Čipová sada Intel820 by měla být podle Intelu uvedena na trh do konce tohoto roku (první počítače na ní založené by již mohly být vidět na letošním Comdexu v polovině listopadu).

Zpoždění čipové sady 820 tak trochu nahrává společnosti VIA Technologies, která dodává čipovou sadu VIA Apollo Pro 133+. Ta totiž podporuje 133MHz sběrnici, ale problémy s paměťmi RDRAM nemá, protože ji nepodporuje (podporuje pouze SDRAM). Tuto čipovou sadu používá například firma IBM.

Původně se očekávalo, že nejrychlejší procesor, který firma Intel 25. 10. uvede, bude 700MHz verze. K uvedení 733MHz verze byl Intel doveden nejspíše bojem o prvenství s firmou AMD. Konkurence pracuje a nespí – firma AMD se totiž uvedením 700MHz verze procesoru Athlon dostala do vedení a firma Intel ztratila “megahertzové” prvenství – její nejrychlejší procesor v té době měl “pouze” 600 MHz. Nyní Intel v bitvě opět vede o 33 MHz.

Flipčip

V nových procesorech Pentium III již tedy není zvlášť procesor, řadič vyrovnávací paměti a paměť L2 cache, ale vše je umístěno dohromady na jednom křemíkovém substrátu, podobně jako u procesoru Celeron (ten má ale pouze 128KB vyrovnávací paměť druhé úrovně). Nutnost použití Slotu 1 tak v podstatě pominula, protože procesory se mohou vyrábět mnohem menší a kompaktnější. Právě toho firma Intel využila a poprvé představila i procesor Pentium III v provedení Socket 370. Nová verze procesoru se jmenuje podle zapouzdření FC-PGA (Flip Chip-Pin Grid Array). Kromě procesoru Celeron je tedy nyní možné v základních deskách s patičkou Socket 370 použít i procesor Pentium III. Dostupný je ve verzích o frekvenci 500 a 550 MHz a má stejně jako ostatní integrovanou 256KB vyrovnávací paměť. Podporuje ale pouze 100MHz základní sběrnici.

Procesory ve verzi FC-PGA jsou mnohem menší než procesory Pentium II a Pentium III ve verzi SECC2 pro Slot 1, a proto se mohou umístit i do malých osobních počítačů nebo počítačů netradičního designu. To byla asi jedna z hlavních příčin toho, že byly uvedeny na trh. Design bude kromě výkonu u počítačů hrát stále větší roli, což dokázala i popularita počítače iMac. Do PC těchto tvarů by se ovšem procesor Pentium III v provedení SECC2 těžko vměšťoval.

Rychlejší Xeony

Pro pracovní stanice a servery jsou určeny nové procesory Pentium III Xeon, vyrobené 0,18mikronovou technologií a pracující na frekvencích 600, 667 a 733 MHz. Také tyto procesory podporují 133MHz základní sběrnici a nyní obsahují integrovanou vyrovnávací paměť druhé úrovně (“on-die”) pracující na frekvenci procesoru, zatím ve velikosti 256 KB. Procesory Xeon měly sice dříve vyrovnávací paměť druhé úrovně oddělenou od procesoru, ale tato paměť pracovala na rozdíl od paměti dřívějších procesorů Pentium II a Pentium III na frekvenci procesoru. Nejmenší velikost paměti

přítom byla 512 KB. Nynější 256KB paměť by se měla později zvýšit až na 1 MB. V procesoru je nyní také integrován regulátor napětí, který se dříve instaloval externě.

Pro tyto nové procesory, ale nejen pro ně, je určena i nová čipová sada firmy Intel, označená Intel 840 (nahrazuje čipovou sadu Intel 440GX). Tato čipová sada podporuje 133MHz systémovou sběrnici, je založena na architektuře Accelerated Hub Architecture (stejnou architekturu mají i čipové sady Intel 810, Intel 810e a Intel 820), podporuje paměť SDRAM až do kapacity 8 GB a také paměť RDRAM, dále podporuje rozhraní ATA/66, grafickou sběrnici AGP4X a AGP Pro a 66MHz a 64bitové sloty PCI. Čipová sada podporuje až čtyři procesory Pentium III Xeon a až dva procesory Pentium III a je určena pro základní desky pro pracovní stanice a servery. Oproti čipové sadě 440GX je to velký pokrok. Čipovou sadu Intel 840 naštěstí nepostihla stejná komplikace jako sadu Intel 820.

Výkon do notebooků

Dalšími novými procesory vyrobenými 0,18mikronovou technologií jsou procesory Pentium III pro mobilní počítače – jsou teď dostupné ve verzích 400, 450 a 500 MHz. Jde o první verze procesoru Pentium III pro mobilní počítače vůbec – dříve se do přenosných počítačů dodávaly pouze procesory Pentium II s frekvencí maximálně 400 MHz, které podporovaly pouze 66MHz systémovou sběrnici – mobilní procesory Pentium III již podporují i 100MHz systémovou sběrnici a kromě zvýšení frekvence a přidání nových instrukcí mohou uživatelé těžit i ze zvýšení propustnosti sběrnice.

Díky 0,18mikronové technologii se při zvýšení frekvence procesoru podařilo zachovat nízké pracovní napětí procesoru (1,6 V) a relativně nízkou spotřebu energie (10,1 W) a snížila se i velikost procesoru. 400MHz verze je určena speciálně pro mininotebooky – pracuje na pouhých 1,35 V a spotřebuje 7,5 W, zatímco procesor vyrobený 0,25mikronovou technologií má spotřebu 9,2 W.

Kde se to zastaví?

V první polovině příštího roku můžeme od firmy Intel očekávat další procesorovou nadílku. Frekvence procesorů by měla dosáhnout 800 MHz, a do konce roku dokonce 1 GHz (kódové jméno nových procesorů je Willamette). Intelu se také díky novým technologiím podaří integrovat více funkcí do jednoho čipu. V druhé polovině příštího roku by tedy měl být uveden na trh procesor s kódovým jménem Timne. Jde o procesor typu "system-on-a-chip", který kromě vlastního jádra procesoru bude obsahovat i systémovou logiku, grafický čip a bude slučovat i další funkce. Tento čip bude určen pro levné osobní počítače. Frekvence procesorů pro mobilní počítače by v první polovině příštího roku měla dosáhnout 700 MHz a v druhé polovině roku se pravděpodobně dočkáme mobilního procesoru s frekvencí 750 MHz.

Budoucnost asi zajímá každého, protože v ní prožije zbytek svého života, a skoro každého tedy asi v této souvislosti napadne, jak dlouho bude ještě možné neustále zvyšovat frekvence procesorů a počet tranzistorů a kde je hranice, za kterou již nebude možné jít. Zatím se pro "tisk" obvodů na křemíkové plátky používá ultrafialové světlo. Tato technologie má své limity, a proto se již zkoumá možnost využití rentgenových a elektronových paprsků, tak aby se podařilo odhalit polovodičům ještě menší světy.

S dnešní technologií je možné ještě vyrábět pomocí 0,15mikronové a 0,13mikronové technologie, ale pak bude možná nutné hledat jiné řešení. To, že existují hranice dnešní technologie, už oznámili i vývojáři z Intelu – po 0,13mikronové technologii mohou nastat problémy.

Když to ale dál nepůjde s křemíkem, budou se hledat nové materiály, nový návrh tranzistoru, ke slovu přijdou třeba molekulární počítače nebo neuronové počítače.

Je také otázkou, jak dlouho se podaří v praxi dodržovat tzv. Moorův zákon, podle kterého se každých 18 až 24 měsíců počet tranzistorů a výkon procesorů zdvojnásobí. Tuto větu, která později vešla ve známost pod zmíněným názvem, vyřkl v roce 1965 pan Gordon Moore, spoluzakladatel firmy Intel. Jeho odhad se ukázal jako velmi přesný a dodnes v podstatě platí. Podle tohoto zákona by ale již v roce 2001 měl být k dispozici procesor se 100 miliony tranzistorů, a už v roce 2011 (uteče to jako voda) dokonce s miliardou. Dnes má procesor Pentium III asi 30 milionů tranzistorů.

I když Moorův zákon doposud celkem platí, těžko může jeho platnost trvat navěky, protože tu platí i jiné "zákony", především fyzikální. Existují totiž i dále nedělitelné fyzikální veličiny – pro zobrazení logické jedničky nebo nuly jednou zbude pouhý jeden jediný elektron – a jak potom dál? Ale o tom je zatím předčasné hovořit – vědci prý zatím dovedou ještě pracovat s tranzistorem o velikosti 100 atomů – to je hranice, na kterou narazili a kterou se možná podaří prolomit, ale možná také ne.

A co ostatní?

Špičkové technologie si samozřejmě udržuje více firem než jen Intel. Ten sice nyní 0,18mikronovou technologii začal využívat masově, ale používat ji dovedou i další firmy. Technologickým lídrem v mnoha oblastech je například firma IBM, která navíc používá i tzv. měděnou technologii. Při jejím použití jsou v procesoru použity místo spojů hliníkových spoje měděné. Měď má pro tyto účely mnohem lepší vlastnosti. Zatím se pomocí této technologie vyrábějí procesory PowerPC a při výrobě se používá 0,22mikronový výrobní postup. Přejít na technologii 0,18mikronovou firma IBM připravuje. Zajímavá je i její technologie SOI (Silicon on Insulator), tedy křemík na izolantu, která by ke zvýšení výkonu procesorů a snížení spotřeby také výrazně přispěla. Technologie SOI chrání miliony drobných tranzistorů na čipu izolačním povlakem, čímž zmenšuje škodlivé elektrické vlivy, které ubírají energii a snižují výkonnost tranzistorů.

Co se týká firmy AMD, výrazného konkurenta firmy Intel v oblasti procesorů pro osobní počítače, ta chystá na první čtvrtletí příštího roku 750MHz verzi procesoru Athlon. Po přechodu na 0,18mikronovou technologii chce vyrábět až 1GHz procesory, a to již v příštím roce. Tyto procesory slíbil na příští rok ředitel firmy AMD při slavnostním otevření nové procesorové továrny Fab 30. Ta byla nákladem 1,9 miliardy dolarů (vybudovat továrnu na procesory není zrovna levné) postavena asi za tři roky nedaleko Drážďan. Kapacita této továrny je 5000 osmipalcových křemíkových plátek týdně. 0,18mikronovou technologií bude tedy zanedlouho vyrábět i AMD a bude navíc používat i měděnou technologii firmy IBM. Předprodukční verze procesoru Athlon vyrobená za těchto podmínek pracuje na frekvenci 900 MHz, a tak se máme na co těšit. Na uvedení nových procesorů firmou Intel zareagovala společnost AMD zatím pouze snížením ceny – její 700MHz Athlon stojí nyní 699 dolarů (700MHz procesor Pentium III stojí 754 USD a 733MHz verze 776 USD).

Ročně se na celém světě utratí za integrované obvody nemalé peníze. V příštím roce má podle odhadů celkový trh vzrůst o 18,7 %, tedy na 172,52 miliardy dolarů, z čehož procesory tvoří asi 32 mld.

Pavel Trousil

Slovníček

Fotolitografie – proces fotomechanického přenosu uspořádání čipu na křemíkový plátek prostřednictvím masek.

Křemík – prvek používaný pro výrobu plátků, na kterých se vyrábí integrované obvody. Jde o přirozený polovodič.

Mikron – mikrometr, tj. 0,000 001 metru. Používá se pro měření šířek spojů, které vytvářejí obvody na čipu.

On-die – označení vyrovnávací paměti druhé úrovně, a to paměti, která je vyrobena na stejném substrátu jako vlastní procesor, a není tedy od procesoru oddělena.

Plátek (wafer) – tenká křemíková destička odříznutá z válcovitého ingotu. Používá se jako základ pro výrobu integrovaných obvodů.

Polovodič – látka (například křemík), která může být upravena tak, aby buď vedla elektrický proud, nebo aby bránila jeho průchodu.

Substrát (die) – jednotlivý integrovaný obvod vyříznutý z plátku, na kterém byl vyroben.