

Procesory budoucnosti

# Nové super-

Menší struktury, vyšší frekvence, více tranzistorů – to všechno už pro procesory budoucnosti nestačí. V laboratořích Intelu, IBM a AMD se pracuje na nových, revolučních koncepcích. Pojďme se na smělé plány těchto výrobců podívat blíže.

Text: Manfred Flohr, [autor@chip.cz](mailto:autor@chip.cz)

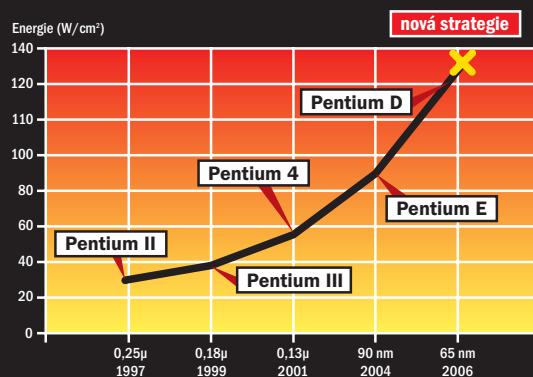
**T**y nejrychlejší z dnešních CPU se zahřívají na teplotu desetkrát vyšší než elektrická varná deska. Výrobci jako Intel a AMD se tak ocitají v bodě, z něhož už lze jen velmi těžko dále zvyšovat rychlost čipů osvědčenými metodami. Nyní dosahovaných 100 wattů na čtvereční centimetr považují experti za jakousi magickou hranici. S důmyslnými chladičnými mechanismy by sice procesor ještě dokázal přečkat i 300 wattů, ale to by vývojářům na dlouho nevystačilo – brzy by pro dosažení ještě vyšších výkonů bylo zapotřebí 1000 wattů, a to už se opravdu nedá realizovat.

V posledních čtyřiceti letech měli vývojáři k dispozici elegantní východisko – stále menší struktury na čipu. Ty vystačily s nižšími elektrickými kapacitami, a to při menším ztrátovém výkonu. Výrobci přitom pronikali stále hlouběji do nanosvěta. U současné generace procesorů měří subkomponenty tranzistorů v průměru už jen 65 nanometrů – zhruba tisícinu průměru lidského vlasu.

Ovšem důležité struktury už mají tloušťku jen několika vrstev atomů, takže například dnes jako materiál používaný oxid křemičitý už neposkytuje dostatečnou izolaci. Kromě toho produkují procesory při

## JÁDRA SE ZAHŘÍVAJÍ STÁLE VÍCE

Se zmenšováním struktur na čipu (vlevo křemíkový plát z 45nanometrové výroby u Intelu) vzrůstá žár v jádrech procesorů exponenciálně. V současnosti je dosaženo kritické hranice – výrobci musí hledat jiné cesty.



# procesory od Intelu

→ narůstajících svodových proudech zase více tepla. A samozřejmě: zmenšování sice vytváří místo pro více tranzistorů, když se ale všechny rozežřejí, celkového tepla už je přespříliš. Co bylo získáno miniaturizací, přijde vniveč čistě kvůli množství tranzistorů.

## Čipy budou chytřejší a efektivnější

Teplotu vyhánějí vzhůru také vyšší pracovní frekvence. Gigahertzové dostihy uplynulých let jsou proto definitivně ty tam. Slibované deseti-gigahertzové CPU už nepijdou. Intel stejně jako jeho konkurent AMD mají za lubem něco lepšího. „V laboratoři jsme už 10 GHz samozřejmě dosáhli,“ prozrazuje Joseph Schütz, ředitel mikroprocesorové laboratoře Intelu v Hillsboro, „ale to není ten správný směr.“ Poněvadž takový procesor by se ani nedal hospodárně vyrábět, ani by nepracoval efektivně, nemá smysl sledovat tuto cestu za každou cenu. Cílem je v prvé řadě šetřit proud a přitom čipy stále zefektivňovat.

„Pracovní frekvence už se asi příliš zvyšovat nebudou,“ říká profesor Rainer Waser z výzkumného střediska v Jülichu. Waser se tam věnuje základnímu výzkumu počítačů budoucnosti. Jeho práce by jednoho dne mohly přijít vhod polovodičovému průmyslu, až definitivně využije všech možností současných technologií. Tak daleko to

však ještě není. Namísto honby za vyššími frekvencemi by vývojáři podle Waserova mínění mohli z osvědčené techniky ještě leccos vytěžit – distribuovanými systémy, komplexnější logikou na čípech a především vyšší paralelitou.

S dále rostoucím počtem tranzistorů na čipu ovšem nabývá na závažnosti jiný problém – takové množství elementů už se skoro nedá zvládnout. Počet tranzistorů v serverových CPU už překročil miliardovou hranici. „Již u dnešních procesorů se vlastním zpracováním dat zabývá méně než jedno procento všech tranzistorů,“ říká Rainer Waser. Zbývajících 99 % se stará o lokální paměť, přenosy dat a kontrolní činnosti.

„Počet použitelných tranzistorů roste rychleji než možnosti, jak je jedním designem smysluplně využít,“ připomíná také International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) ve své aktuální verzi nezvykle otevřeně. Tato „cestovní mapa“ je jakýsi společný jízdání řád, který si polovodičová branže vytýčuje vždy na příštích patnáct let. Na více než sto stránkách je v něm shrnuto, které technické požadavky průmyslu bude nutno zvládnout.

V tabulkách ITRS jsou jednotlivé požadavky barevně odlišeny: bílé jsou označeny úlohy, které už jsou řešeny ve výrobě, žlutá znamená problémy se známými možnostmi řešení a červená vyznačuje požadavky dosud bez praktického východiska. S těmi si doposud branže příliš velké starosti nedělala a spoléhala na to, že hledané technologie vždy stihne vyvinout včas. V nejnovější aktualizaci ITRS však nyní zaznívají úplně jiné tóny. „Mnohé mezery ve vývojářských technologiích jsou krizemi,“ píše se varovně v kapitole o designu. Zatímco →

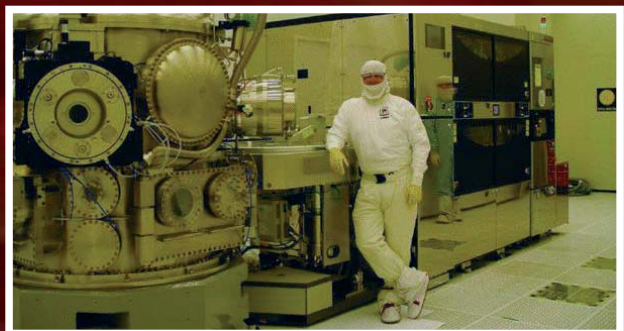


## MIKROCHLAZENÍ ČIPŮ

Při důmyslném odvodu tepla se dá z procesorů vyždímat ještě větší výkon. Vědci na americké Purdue University proto vyvíjejí tzv. mikrochlazení. Při něm je přímo v čipu integrován malý čerpadlový systém, z něhož se chladicí kapalina rozvádí vlasově jemnými kanálky.

## TECHNIKA HVĚZDNÝCH VÁLEK U INTELU

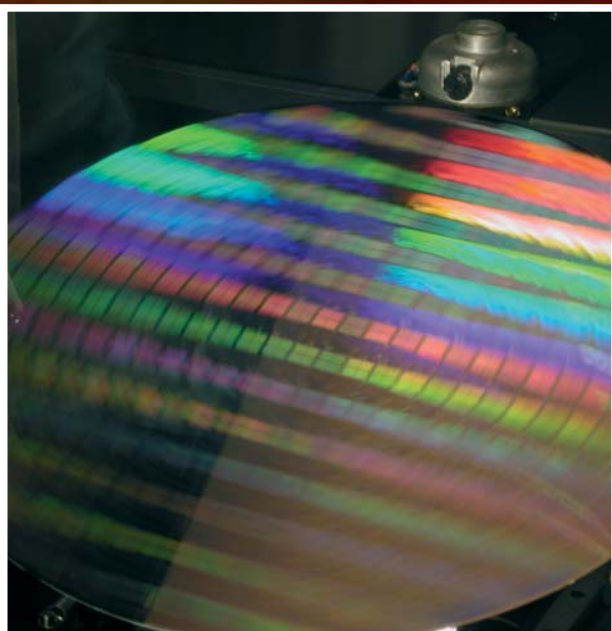
Lasery, které byly v období studené války původně vyvinuty pro program tzv. „hvězdných válek“ USA, nakonec posloužily jako zdroj světla pro EUV litografii. Intel chce touto technologií od roku 2010 vyrábět procesory, jejichž nejmenší struktury budou měřit pouhých 32 nanometrů. Testovací zařízení už je v provozu.





## AMD A IBM NEZŮSTANOU POZADU

Firma AMD chce své 45nanometrové procesory vyrábět po přechodu na imerzní litografii. Společnost IBM, její průmyslový partner, už předvedla, že tímto speciálním osvitem lze vyrobit struktury menší než 30 nm, což oddaluje nástup technologie EUV. TSMC na Tchajvanu už postup využívá pro malé čipy.

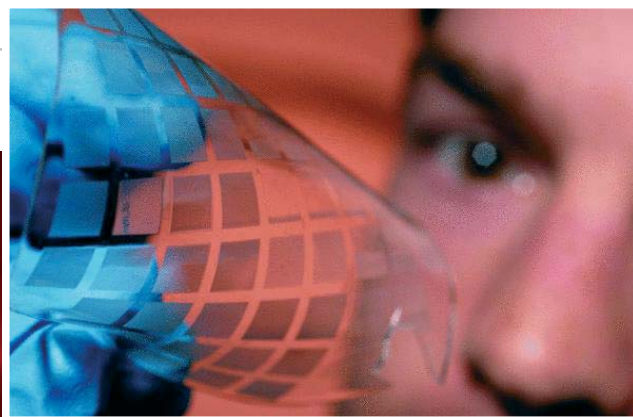


→ výrobní cykly měřené na týdny se dají přesně plánovat, vývoj trvá měsíce a roky a nese s sebou mnoho nejistot, konstatuje ITRS.

### Přijde velká změna technologie

Výčítky ITRS mohou přinejmenším Intel nechat chladným – premiant branže své domácí úkoly splnil. Šéf Intelu Paul Otellini nyní předložil vlastní „cestovní mapu“ svého podniku. Vyplyvá z ní, že v Santa Claře předstihují mezinárodní roadmap evidentně o celé roky: Otellini oznámil, že do roku 2010 bude Intel každoročně uvádět na trh nový design CPU. V tomto rytmu hodlá procesorový gigant zavádět nejen nové výrobní postupy pro menší struktury, ale také etablovat nové mikroarchitektury. Jak se zdá, Intel chce tímto ctižádostivým plánem zasadit silný úder konkurenční firmě AMD.

Detailnější plány Intelu pro letošní rok předpokládají ještě uvedení procesorů Core 2 Duo s 65nanometrovou strukturou a novou mikroarchitekturou, vyvíjených pod kódovými jmény „Conroe“ a „Merom“. Tyto čipy se pak v roce 2008 „smrsknou“ na 45nanometrovou strukturu a budou vyráběny pod názvem „Penryn“. V témže roce se má v čipu „Nehalem“



## RAZÍTKO MÍSTO SVĚTLA

Tzv. nanoimprintová litografie už nepracuje s maskami a fotografickými vrstvami. Místo toho nejprve elektronový paprsek „vygravíruje“ jemný razník, který je schopen takto vzniklou strukturu vytlačit do měkkých materiálů. Vědci v laboratořích Sandia zkoumají praktickou použitelnost tohoto postupu.

lem“ objevit také nová mikroarchitektura. A v roce 2010 by se už měl „Nehalem-C“ pochlubit strukturami o velikosti 32 nm. V témže roce má pak intelskou agendu uzavřít nová architektura „Gesher“.

Aby bylo možné vyvíjet nové čipy tímto tempem, pracuje u Intelu na budoucích CPU více týmů paralelně. V posledních letech bylo mnoho výzkumné práce vynaloženo na nové materiály, které mají na kritických místech nahradit dosud jako izolátor používaný oxid křemíčitý. 45nanometrové čipy chce Intel ještě vyrábět obvyklou optickou litografií. Pro 32nm výrobní proces už je však ohlášen významný přechod na EUV litografii (Extreme Ultra Violet). Tento krok Intel dlouho připravoval a cílový termín několikrát odložil. Vedle nepostižitelných aspektů nové technologie jsou to především enormní náklady, které celé toto průmyslové odvětví přiměly přechod na EUV co nejdříve zdržet. Při cenách kolem 50 milionů dolarů za kus totiž potřebná osvitová zařízení stojí několikanásobek ceny oproti dosavadní optické litografii. A to je v jedné továrně zapotřebí takových strojů zhruba deset!

Poněvadž je toto záření o vlnové délce pouhých 13,5 nm silně pohlcováno, je nutné pracovat ve vakuu. Z téhož důvodu není možné používat žádné skleněné čočky. Jejich úlohu při osvitě proto přebírají nákladnější zrcadlové systémy.

Avšak podle Otelliniho prohlášení se Intel nespokojí pouze s už obvyklým zmenšováním čipů a slibuje nové architektury. Až dosud přicházely jen každých čtyři až šest let. Za oznámeným dvouletým cyklem zavádění nových architektur stojí u Intelu výzkumný program Tera-Scale. V něm po celé zeměkouli pracují stovky výzkumníků na

více než 80 dílčích projektech.

Tento program má co nejintenzivněji rozvinout vícejádrovou strategii Intelu. Letos mají čipy dvě procesorová jádra, za rok už by měly být na světě první kusy se čtyřmi jádry – a vzdáleným cílem jsou pak CPU se stovkami jader.

Před nedávnem zahájil Intel výzkumné práce pro Tera-Scale i v Německu. Návštěva nové mikroprocesorové laboratoře v Braunschweigu nás přesvědčila, že uto- →

## NOVÝ DESIGNOVÝ PROGRAM INTELU

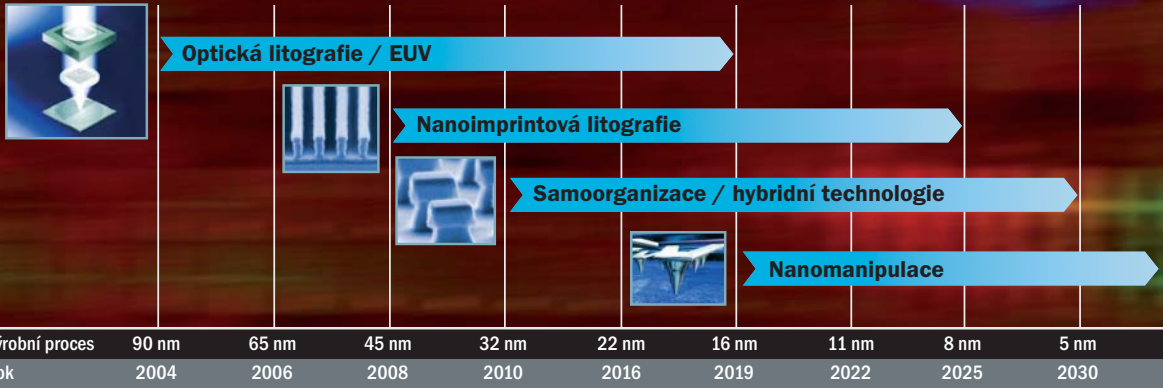
Napříště chce Intel každé dva roky zmenšit předchozí generaci procesorů nebo dát na trh její derivát – a současně také zavést novou mikroarchitekturu.

ROK	VÝROBNÍ PROCES	PROCESOR
2006	65 nm	Zmenšení/derivát: Presler, Yonah, Dempsey Nová mikroarchitektura: Merom, Conroe, Woodcrest
2008	45 nm	Zmenšení/derivát: Penryn Nová mikroarchitektura: Nehalem
2010	32 nm	Zmenšení/derivát: Nehalem-C Nová mikroarchitektura: Gesher

## TECHNOLOGICKÉ TRENDY A MOŽNÉ ALTERNATIVY

Optická a nanoimprintová litografie jako „Top-Down“ techniky vytvářejí prohlubně v materiálu. Na rozdíl od nich „Bottom-Up“ techniky produkují jemnější struktury pomocí samoorganizace.

Růstu pravidelných struktur se zde docílí převážně chemickými postupy. Tzv. nanomanipulace bude nakonec schopna posunovat jednotlivé atomy.



→ picky zřejmě cíl vůbec není tak vzdálený. „Zkoumáme tu věc pro příštích čtyři až šest let,“ oznámil při otevření laboratoře její ředitel Sebastian Steibe. V jedné z místností laboratoře skoro celý stůl zaplňuje 16 krát 8 jakýchsi do obdélníku uspořádaných kostek, se svými vrtulovými chladiči připomínajících procesory. Jsou to FPGA (Field Programmable Gate Array), jejichž volně programovatelné obvody umožňují simulovat pevně „zadrátované“ logické spoje – a tedy i procesorová jádra. Sestava na stole tedy imituje multicore procesor se 128 jádry! „Při použití FPGA postupujeme kupředu stokrát rychleji, než kdybychom obvody simulovali v počítači,“ líčí Steibel přednosti zvoleného řešení.

nějšimu zaostření světla využívá lomových vlastností tekutin. AMD zde úzce spolupracuje s IBM a partnerství bylo prodlouženo do roku 2011. Při přídatném využití interferenčních vzorů už společnost IBM v laboratoři předvedla, že se současně používaným ultrafialovým světlem o vlnové délce 193 nm lze vyrobit dokonce →

PLACENÁ INZERCE

„Od nynějška bude Intel architekturu svých mikroprocesorů přepracovávat každé dva roky.“

Paul Otellini, CEO Intelu



Vysoký počet budoucích procesorových jader také naznačuje, kam Intel s novými mikroarchitekturami míří. Jádra se už nebudou jako u dnešních Dual Core CPU dělit o úlohy rovnoměrně, nýbrž přinejmenším zčásti budou přebírat fixní speciální úkoly.

### AMD a Intel jdou vlastními cestami

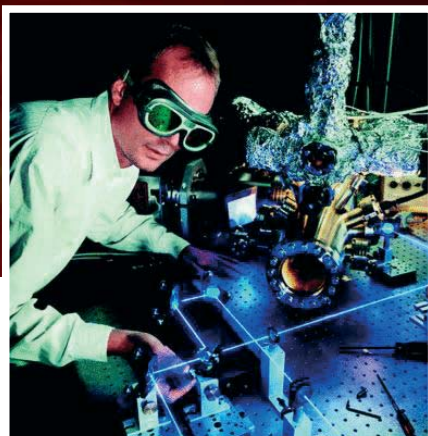
A jak že si vede hlavní rival Intelu? AMD má pro příští léta vlastní jízdni řád. Podle něj alespoň na papíře prozatím drží s Intelem krok. Dvoujádrové procesory z 65nanometrového procesu mají být k dispozici ještě letos. Stejně jako Intel i společnost AMD už vyrábí paměťové čipy s 45nm strukturou, aby si tak připravila výrobu procesorů touto technikou.

K 45nanometrové výrobě se však firmy AMD a Intel vydaly různými cestami. Zatímco Intel chce pokračovat se "suchou" litografií, společnost AMD oznámila vstup do imerzní litografie. Ta k sil-



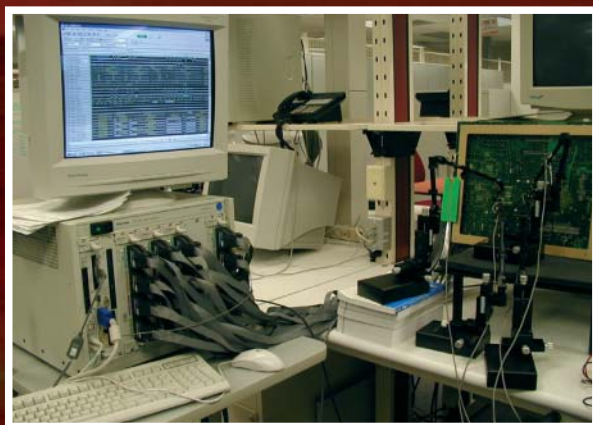
## ČIPY S NERVY POZADU

Živočichové zpracovávají informace rychleji než každý procesor. Vědci se proto pokoušejí vyvinout rozhraní mezi biologickými a elektronickými systémy, aby tak propojili například tranzistory s nervovými buňkami.



→ i struktury menší než 30 nm. Zdá se tedy, že po 45 nm bude realizovatelných i 32 nm.

To tedy zavádění drahé technologie EUV ještě dále odsouvá. Je možné, že změna technologie bude dokonce odkládána tak dlouho, dokud nedozrají pro trh levnější postupy. Jedním z možných kandidátů je zde tzv. nanoimprintová litografie, na které IBM také pracuje. Namísto osvětlování fotoláků skrz masky zde jemné struktury do materiálu tiskne razítkovací nástroj. Ty jsou pak základem pro další pracovní kroky. Času na výzkum tohoto postupu mají výzkumníci



## VÝVOJ POKRAČUJE

AMD i Intel vřhnou v příštích letech na trh nové procesory. Podle expertů bude současným CMOS procesem možné vyrábět křemíkové procesory ještě nejméně do roku 2020. Pak přijde revoluční změna. Možná to bude technologie Crossbar Latch, vyvinutá u HP. Při ní nahrazuje tranzistory a pevné spoje jemná mřížka.



## SPIN JAKO NOSIČ INFORMACE

Namísto elektrického náboje elektronů by jednou jako nosič informace mohl sloužit jejich spin („moment hybnosti“). V laboratoři už laser uvolňuje jednotlivé elektrony z nových materiálů, které by se mohly stát základem budoucích čipů.

ještě dost: podle ITRS bude přechod z 32 na 22 nanometrů potřebný nejdříve za deset let.

### Evoluce skončila, přijde revoluce

Není sporu o tom, že Intel, AMD i IBM vřhnou v příštích letech na trh své superprocesory. Díky novým výrobním postupům budou schopny jejich výkon vyšroubovat ještě po několika generacích. Podle názorů expertů bude současným CMOS procesem možné vyrábět křemíkové procesory ještě nejméně do roku 2020.

To však podle odhadu profesora Rainera Wasera nic nemění na neodvratném konci dnešní techniky. Multijádrová technika je pro experta z Jülichu jen přechodným řešením. „Dříve či později budou výrobci znovu konfrontováni s problémem tepla a pak přijde poptávka po úplně nových → technologiích,“ předpovídá. Multicore je podle něho jen další vývoj současné techniky – a po této evoluci musí přijít skutečná revoluce.

Waser už vidí i žhavého kandidáta: technologii Crossbar Latch, vyvinutou u HP. Při ní nahrazuje tranzistory a pevné spoje jemná mřížka. Podobně jako FPGA používané v laboratořích Intelu mohou být jednotlivé body této mřížky volně naprogramovány. I ony napodobují logické obvody a paměťové buňky, díky novým materiálům by však mohly být levnější než FPGA a tedy schopné hromadné výroby. Postup je i tolerantní k chybám. Na rozdíl od pevných spojů je zde možné chybná místa prostě obejít. Paměťové prvky s crossbar strukturami, na nichž se pracuje i v Jülichu, považuje Waser za realizovatelné do deseti let, procesory s touto technikou na sebe prý dají čekat ještě asi 15 až 20 let.

Daleko do budoucnosti se dívají i výzkumy, které hledají náhradu za křemík. Prvním krokem na této cestě by mohly být hybridní systémy, u nichž jiné materiály a technologie doplňují křemíkové součástky. Vědci už také nechávají na čipech narůstat do výšky uhlíkové nanotrubičky nebo na polovodičích kultivují živé buňky. V nesčetných látkách se zkoumá magnetismus a spin – v naději, že bude nalezen hodnotný nástupce křemíku. Hon za stále vyšším výkonem tedy dále pokračuje. ■ ■ ■

### ODKAZY

ITRS: [public.itrs.net](http://public.itrs.net)

„Křemíková“ stránka Intelu: [www.intel.com/technology/silicon](http://www.intel.com/technology/silicon)

AMD: [www.amd.com](http://www.amd.com)

Výzkumné středisko Jülich: [www.fz-juelich.de](http://www.fz-juelich.de)