

Světém vládnou procesory

Gordon Moore patřil zřejmě už od raného mládí k legendárním snilkům, fantastům a myslitelům, kterým se daří zdánlivě hladce a bez zvláštního úsilí posouvat fiktivní hranice lidských možností do oblastí, jejichž dosud by jen částečně odhalená tajemství přinášeli současnému lidstvu například sladkokyselé plody informační a komunikační revoluce.

V polovině šedesátých let minulého století získal G. Moore doktorát z fyziky a chemie na Kalifornském technologickém institutu, a protože se chtěl zabývat především řešením významných problémů, nabídl rovnou spolupráci budoucímu nositeli Nobelovy ceny za objev tranzistoru dr. Williamu Shockleyovi. Koncem šedesátých let spolupracoval G. Moore firmu Fairchild Semiconductor. V polovině sedmdesátých let publikuje první práce zabývající se zkoumáním časových závislostí růstu hustoty integrace polovodičových prvků na čipu číslíkové integrované obvodu. Koncem sedmdesátých let zakládá spolu s pány Noycem a Grovem společnost Intel, která je dodnes živým důkazem už čtyřicetileté platnosti „zákonu“ o dvojnásobném růstu výkonu procesoru každých 18 měsíců. Při příležitosti kulatého výročí první zmínky o existenci Moorova zákona se nám podařilo získat od jeho autora s podporou společnosti Intel virtuální rozhovor vedený z Evropy do křemíkového údolí.

Představa dlouhodobé lineární závislosti růstu hustoty integrace a potažmo i výkonu procesoru musela být před čtyřiceti lety myšlenkou hodně odvážnou, která mohla poměrně snadno – kdyby se ukázalo, že nefunguje – ohrozit Vaše odborné renomé....

Snažil jsem se být opatrný. První vážnější upozornění na souvislosti, později nazývané Moorovým zákonem, se objevují v článku, který jsem publikoval v roce 1965. Bylo to na počátku éry integrovaných obvodů, v době, kdy jsme se snažili umístit pár součástek na jeden čip. Při příležitosti 35. výročí založení časopisu Electronic Magazine jsem byl požádán o předpověď vývoje růstu hustoty polovodičových prvků na křemíkovém plátku v průběhu příštího desetiletí. Zmapoval jsem si proto aktuální situaci ve vývojových laboratořích. Nejsložitější vyráběné integrované obvody měly tehdy zhruba 30 součástek, začínalo se s přípravou obvodů se 60 komponenty. Najednou jsem si všiml, že od doby, kdy se v roce 1959 začal vyrábět křemíkový tranzistor, jsme vcelku pravidelně každý rok zdvojnásobili počet součástek na jednom



Obr. 1 Gordon Moore

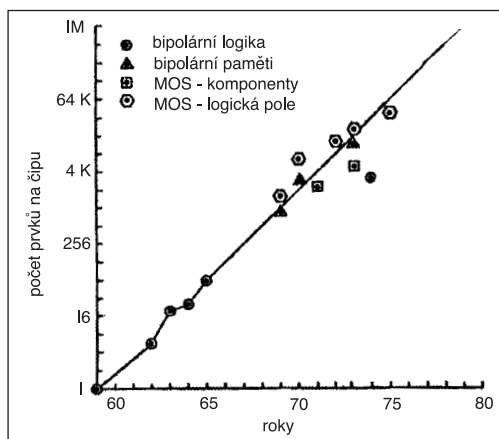
čipu. A tak jsem vzal pár prvních let výroby, 60 komponent pro rok 1965, a nahrubo je extrapoloval pro dalších 10 let. Došel jsem tehdy k tomu, že v roce 1975 budeme mít na jednom čipu zhruba 60 tisíc součástek. Tehdejší skutečný stav ukazuje obr. 1. V článku jsem pak rozvíjel představy, jak by se tímto postupem mohlo dařit postupně zlevňovat elektronické produkty. To však u prvních kusů integrovaných obvodů neplatilo. Ve skutečnosti byla cena překvapivě vyšší než suma cen jednotlivých součástek, které v nich byly směstnány. Nicméně v laboratoři jsem již viděl cesty, jak dosáhnout výrazného poklesu nákladů, dokonce při současném zvýšení výtěžnosti výroby a dramatickém poklesu ceny jednotlivého tranzistoru. Neměl jsem ani ne-

Vycházel jste tedy pouze z empirických a statistických údajů?

Původní odhad zněl, že každý rok se v podstatě zdvojnásobí složitost integrovaného obvodu. V roce 1975 jsem pak musel pravidlo upravit. Všiml jsem si, že ztrácíme jeden z klíčových faktorů, jež tento úžasný pokrok umožňovaly, který měl na svědomí zhruba polovinu dosahovaných úspěchů. Když jsem tomu přizpůsobil výhledy do budoucna, vycházelo mi, že ke zdvojnásobení dojde každé dva roky. To byly dvě předpovědi, které jsem já osobně učinil. Nyní se nejčastěji uvádí zdvojnásobení výkonu procesoru každých 18 měsíců. Myslím, že to byl Dave House, který kdysi pro Intel pracoval, kdo vyhodnotil, že díky zdvojnásobení složitosti čipů každé dva roky a zvyšující se rychlosti tranzistorů dojde ke zdvojnásobení výkonu počítačů každých 18 měsíců. Nějak se to dostalo na webové stránky Intelu a všude možné. Ačkoliv se tato skutečnost běžně uvádí, já jsem nikdy netvrdil, že časová konstanta pro zdvojnásobení výkonu procesorů je zrovna 18 měsíců. V současnosti jsou to ve skutečnosti dva roky, ale někdy se nám to daří i o malinko dříve.

A myslíte, že bude stejná nebo velmi podobná závislost platit i v budoucnosti, třeba za dalších 40 let?

Já jsem to tak od začátku plánoval, ale je zřejmé, že nikdo nemůže v této oblasti vidět tak daleko dopředu. Když byl Intel založen, obrat celosvětového trhu polovodičů činil zhruba 2 miliardy dolarů. Dnes se pohybuje v řádu 200 miliard dolarů. Celý trh se za tu dobu rozrostl zhruba stonásobně. Takový vývoj nemohl předpokládat, a také nepředpokládal, nikdo z nás. Můj odhad, to byla spíše šťastná náhoda, řekl bych zdařilá extrapolace, která ukázala obdivuhodnou životaschopnost.



Obr. 2 Růst hustoty integrace polovodičových prvků v jednom pouzdře IO podle G. Moora z roku 1975

jmenší zdání, jak přesný odhad jsem vlastně udělal. Jaké bylo mé překvapení, když během příštích deseti let nedošlo ke zdvojnásobení desetkrát, ale devětkrát v souladu s původními předpoklady lineární závislosti. Jeden z mých přátel, Dr. Carver Mead, profesor z Kalifornské techniky, to pojmenoval Moorovým zákonem.

Jak vidíte, jako autor proslaveného zákona, současný stav v oblasti vývoje technologií výroby čipů s vysokou hustotou integrace?

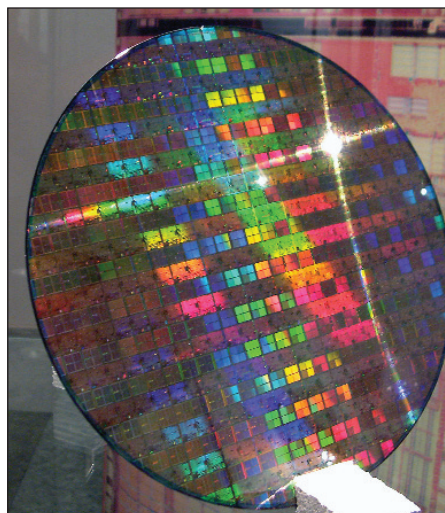
Všechno se změnilo. Původně se jednalo pouze o pozorování, pokus o prognózu vývoje levné elektroniky. Průmysl z toho časem udělal samonaplňující se proroctví. Plány průmyslové výroby jsou založeny na pokračování tohoto tempa inovací. Klíčové výrobní postupy a nové technologie jsou koncipovány tak, aby nás na této křivce udržely. Všichni producenti součástek mají za to, že kdyby se tímto tempem nepohybovali, tak technologicky zaostávají. Změnila se celá koncepce. Z toho, co bylo původně pozorování probíhajícího děje, se stal zákon, který řídí to, co se stane v budoucnosti. Něco takového jsem na začátku nemohl předpokládat, protože podobná věc se v exaktních oborech stává jen ojediněle.

Domníváte se, že základní výzkum, vývoj a výroba vícejádrových procesorů vydrží tempo diktované Moorovým zákonem ?

Myslím, že Moorův zákon vydrží alespoň tak dlouho, jako starý Moore! Stále mne překvapuje, jakého pokroku dokážeme dosáhnout. V průběhu doby bylo několik okamžiků, kdy jsem si říkal, že jsme již na konci této cesty. A naši tvořiví technici pak vždy našli způsob, jak každou překážku obejít. Teď si vzpomínám na tři nebo čtyři problémy, které vypadaly jako nepřekonatelná bariéra a dnes je máme úspěšně za sebou.

Na poradách vedení jsem viděl schémata, která jdou v miniaturizaci tranzistorů o mnoho generací dál, než jsem si kdy dříve dokázal představit. Řekl bych, že máme ještě docela dost elánu. Nikdy jsem nevi-

děl dál než na tři příští generace technologií. Tři generace, to je zhruba šest až osm let, což je horizont, o kterém se domnívám, že je pod kontrolou, a zde zatím naše



Obr. 3 Křemíková deska s obvody s vysokou hustotou integrace v závěrečné fázi výroby (z výstavy v Národním technickém muzeu)

pravidlo platí. Nakonec samozřejmě platit přestane, musí. Materiály se skládají z atomů a my se v nejnovějších strukturách dostáváme podezřele blízko atomovým dimenzím. Nicméně bych si dovolil – při vědomí všech problémů a bariér, které jsme už překonali, ale i těch, které nás ještě bezprostředně čekají – říci, že se nám na jeden čip nakonec stejně podaří vměstnat daleko více aktivních prvků, než si v současnosti dovedeme reálně představit.

Když se ohlédnete za uplynulými 40 lety, za svou celou kariérou, za založením jedné z největších společností světa, máte jistě právem pocit naplnění cílů, s ni-

miž jste před léty do světa elektroniky a číslicových systémů vstupoval...

Je to samozřejmě příjemné, být ve správnou dobu na správném místě. Bylo pro mne mimořádným štěstím, že se mi podařilo dostat se k polovodičům na samém počátku jejich zrodu. Měl jsem příležitost růst od dob, kdy jsme nedokázali vyrobit jediný křemíkový tranzistor, až do současnosti, kdy jich do jediného čipu vměstnáme 1,7 milionu! Byla to neuvěřitelná jízda... Pokud budeme poměřovat polovodičový průmysl počtem výrobních tranzistorů, což s oblibou dělávám, potom nenajdeme další odvětví, které by ve stejném časovém rámci rostlo ani vzdáleně podobnou rychlostí. Obrat většiny technologických firem trvale roste, včetně Intelu, ale mnohem víc roste jejich produkce, která dokonce významně ovlivňuje růst světové ekonomiky. Ten pocit při pohledu zpět na tu fantasticky dobrodružnou cestu, kterou jsme urazili v řádu pouhých několika desítek let, je mimořádně příjemný.

Na tomto místě cítím povinnost poděkovat všem svým spolupracovníkům, současným i minulým, za jejich skvělou práci, protože to jsou právě ti více či méně anonymní vývojáři, kteří uvedli většinu našich myšlenek do života a technologický pokrok dostali tam, kde dnes je... A to samozřejmě platí i do budoucna.

Děkujeme, že jsme mohli, díky tomuto rozhovoru, seznámit čtenáře ST s životním posláním a příběhem tak zajímavé osobnosti, jakou bezesporu jste, a na závěr dovolte, abychom Vám upřímně popřáli ještě mnoho desítek let života stráveného ve zdraví a s typicky moorovským tvůrčím optimizmem.

Jik,Noh