

Obsah

[Nano v elektronice]

Autoři: [Christopher Fischer, Andrea Deißberger, Peter Grambow]

Datum poslední úpravy: [05.11.2021]

Nano a elektronika už jsou spolu nějakých 56 let.

Úvod

Nanotechnologie a elektronika, to je spojení s dlouhou historií. Jedním z milníků v této historii byl zásadní výrok, který přibližně před 56 lety pronesl Gordon Moore. Ten jako jeden ze spoluzakladatelů společnosti Intel (jednoho z předních světových výrobců polovodičů) zformuloval svou představu o rozvoji tohoto oboru do jednoho prostého pravidla. Předpověděl, že zhruba každé dva roky se zdvojnásobí počet tranzistorů, které mohou být umístěny na IO (integrováný obvod, důležitá součást elektronických zařízení). To byl ve své době úžasný výrok, protože většina lidí si tehdy vůbec nedokázala představit, že by to bylo možné. A hraniční podmínky tohoto pravidla jsou globální hnací silou celého odvětví až do dnešních dnů. Maximální kapacita úložišť a rychlost přenosu dat se neustále zvyšují. Bez tohoto vývoje by nebylo chytrých telefonů ani počítačů.

Praktický význam – zde uplatníte své znalosti a dovednosti

Moderní elektronické produkty jako chytré telefony a tablety by neexistovaly bez hlubokých znalostí nanotechnologií. Proto je třeba pochopit význam velikostí jednotlivých struktur v této oblasti.

Přehled vzdělávacích cílů a kompetencí

Jedním z nejdůležitějších faktorů v současné elektronice je velikost. Výroba co nejmenších prvků je jedinou cestou k ovládnutí velkých objemů dat, s nimiž pracuje například chytrý telefon nebo tablet. Seznámíte se s nejdůležitějšími prvky hry zvané elektronika. S hlavními trendy současného vývoje i s fyzikálními limity budoucnosti.

Vzdělávací cíle	Dílčí cíle
LO_Příklady v elektronice 01	FO_Kapacita úložišť před 20 lety a nyní_01_01 FO_Prvky a funkce počítačů dnes a před 30 lety_01_02 FO_Chytré telefony a telefonní budky_01_03 FO_Příklady současných senzorů / phyphox_01_04
LO_Kouzelný prvek jménem tranzistor 02	FO_Co je počítač?_02_01 FO_Co je IO?_02_02 FO_Co je tranzistor?_02_03
LO_Na velikosti záleží, v elektronice zejména 03	FO_Nejmenší elektronické prvky viditelné pouhým okem_03_01 FO_Omezení optických mikroskopů_03_02 FO_Jednou z dnešních výzev pro elektroniku je konstrukce co nejmenších zařízení. Jak se to dělá?_03_03 FO_Vysvětlení Moorova zákona_03_04

1. Příklady v elektronice

V této části poznáme, jak nanotechnologie ovlivňují elektroniku. Můžeme si to pěkně ilustrovat na příkladu, jak během velmi krátké doby podstatně vzrostl výkon počítačů. Počítač se v podstatě skládá z několika „čipů“, které se také označují jako „integrovane obvody“. Na ty se podrobně podíváme později. Prozatím nám stačí vědět, že klíčovými prvky těchto čipů jsou „tranzistory“. Ty fungují jako stavební kameny, které nám umožňují určit, zda má určitým vodivým spojem protékat elektrický proud, nebo nikoli. Počítač tak rozlišuje mezi dvěma stavy: s proudem, nebo bez proudu. Ty se následně označují jako binární číslice 1 a 0 a nazývají se „bity“. Pomocí těchto dvou číslic jsou kódovány veškeré informace, s nimiž počítač pracuje. Jinak řečeno, počítač si každou úlohu rozdělí tak, že nakonec pracuje jen s jedničkami a nulami.

Důležitá fakta

Základní koncepce počítače

Počítač si každou úlohu rozdělí tak, že nakonec pracuje jen s jedničkami a nulami. Ty vznikají tak, že proud buď prochází (1), nebo neprochází (0).

Po tomto úvodu už je jasné, že vyšší počet tranzistorů na čipu s sebou nese vyšší výpočetní výkon nebo obecněji rychlejší zpracování dat. Tyto požadavky samozřejmě v moderním světě nabývaly na významu, což vedlo k intenzivnímu výzkumu a vývoji čipů. Teď to samozřejmě dává logický smysl, ovšem kdysi tento trend nebyl tak zřejmý. Proto je skutečně obdivuhodné, že Gordon E. Moore předpověděl nejen růst počtu tranzistorů na čipu, ale dokonce jej i správně kvantifikoval. Uvedl, že počet tranzistorů na integrovaném obvodu se přibližně každé dva roky zdvojnásobí. A graf níže dokazuje, že jeho predikce byla správná.

Důležitá fakta

Moorův zákon

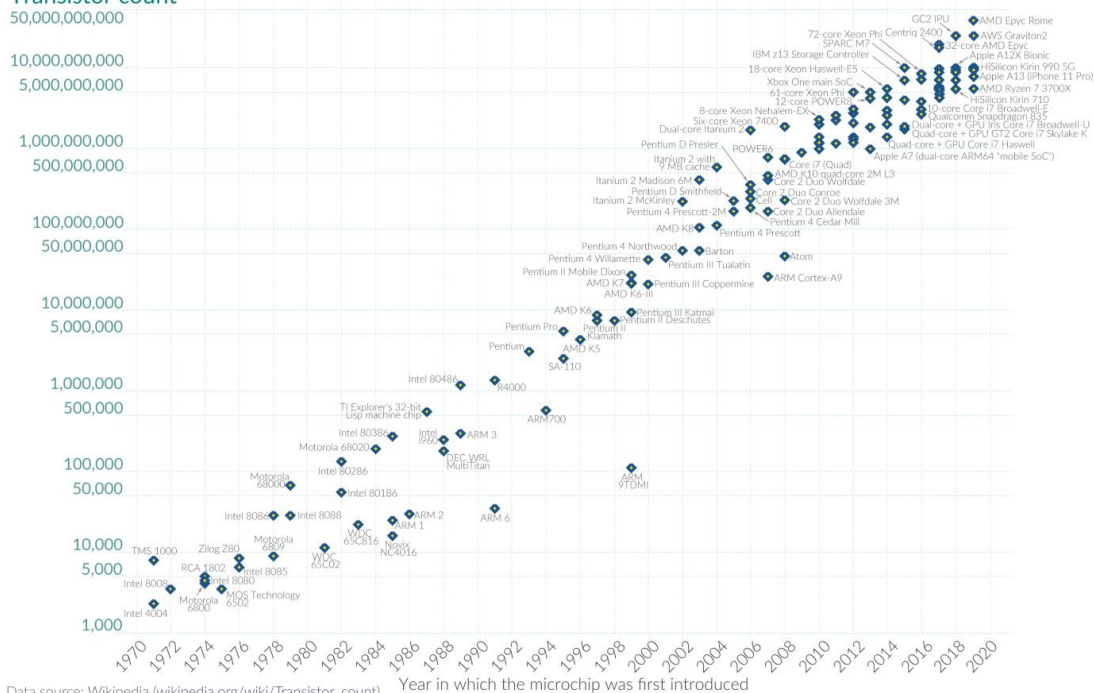
Počet tranzistorů určuje výpočetní výkon počítačového čipu. Počet tranzistorů na čipu se zdvojnásobí přibližně každé dva roky.

Moore's Law: The number of transistors on microchips doubles every two years

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important for other aspects of technological progress in computing – such as processing speed or the price of computers.

Our World
in Data

Transistor count



Obř. 1: Zvyšování počtu tranzistorů za posledních padesát let.

V zásadě všechno, co právě teď děláte na svém počítači – posunujete kurzor, procházíte tento text – probíhá na základě jednoduchých součtů, porovnávání dat a jejich krátkodobého ukládání. O to se stará základní stavební kámen v podobě „CPU“ (Central Processing Unit, procesor). A samozřejmě obrovské množství tranzistorů. Tak se podívejme, jaký vliv má Moorův zákon na tuto oblast a jaké počítačové prvky byly v průběhu let v tomto kontextu zavedeny. První čip vyrobila v roce 1971 firma Intel. Označoval se jako Intel 4004, disponoval 2300 tranzistory a jeho takt 108kHz postačoval k zajištění funkcí programovatelné kalkulačky. Takt vyjadřuje rychlost zpracování dat. Později zjistíte, že takt udávaný v kHz je v porovnání s dnešními standardy velmi nízký. V následujících letech se ovšem efektivita procesorů rychle zvyšovala. V roce 1972 měl Intel 8008 již 3500 tranzistorů a takt 200 kHz; o dva roky později měl Intel 8080 už 6000 tranzistorů a takt 2 MHz. V roce 1976 byl nejvýkonnější 5 MHz čip Intel 8085 s 6500 tranzistory. Do té doby nacházely čipy hlavní uplatnění např. při řízení semaforů nebo strojů ve výrobě. V roce 1982 umožnil vývoj počítačových čipů o taktu 25 MHz průlom v podobě stolních počítačů typu PC. A když se nad tím zamyslíme, tak právě slovo „stolní“ tehdejší vývoj skvěle vystihuje: nyní bylo možné koncentrovat dostatek výkonu do prostoru tak malého, že „počítač stroj“ se vešel na stůl. A to předtím rozhodně nebylo obvyklé. Další významné období přišlo v letech 1990 až 1999, kdy Intel vyvinul čipy s taktům přesahujícím hranici 1 GHz. V období 2000 – 2008 se objevil nový způsob zvyšování výkonu čipů. Kromě většího počtu tranzistorů bylo na čip možno umístit více než jedno „jádro“. Jedno jádro může vždy zpracovávat jednu úlohu při určitém taktu. Takt je dán počtem tranzistorů. Pokud tedy přidáte další jádro, lze zpracovávat více úloh současně. Můžeme to přirovnat k situaci, kdy člověk čeká ve frontě na baru na objednaný drink. Pokud obsluhu tvoří jen jeden barman, bude čekání mnohem delší, než když budou barmani dva. V roce 2006 dosáhl Intel taktu 3,33 GHz se dvěma jádry 2006. Mezi roky 2008 a 2013 se počet jader zvýšil ze dvou na čtyři. A v dnešní době už v segmentu nejvýkonnějších čipů najdeme plných 16 jader. Tím se například vysvětluje, proč dnešní graficky úchvatné a realistické videohry běží tak plynule a bez problémů.

Zapamatujte si

Vlastnosti počítačů v průběhu doby

Váš počítač funguje díky tomu, že CPU zpracovává veškerá data. Výkon čipů se brutálně zvýšil. Na počátku postačoval jen na řízení semaforů, v dnešní době můžete na počítači plynule přehrávat filmy nebo hrát nejnovější videohry.

Zatím jsme se tedy dozvěděli, jak probíhá miniaturizace počítačového hardwaru a optimalizace jeho výkonů. Toto téma ale není zajímavé jen pro odborníky. Jeho obrovský vliv na náš každodenní život si uvědomíme, když si porovnáme situaci před 30 lety a nyní. Přinejmenším v Evropě měla většina lidí doma telefon. Někdy ale bylo složité dovolat se, protože když jste chtěli někomu zavolat, museli jste být doma a doma musel zrovna být i volaný. V té době byly částečným řešením telefonní budky. Lidé si díky nim mohli zavolat, i když nebyli doma... tedy pokud zrovna budka nebyla obsazená, měli jste po ruce drobné, pamatovali jste si telefonní číslo volaného a poblíž se zrovna nějaká budka nacházela. Když si vezmeme všechny tyto nevýhody, asi není třeba vysvětlovat přínos triumfálního pokroku chytrých telefonů. Je ale důležité zdůraznit, že telefon už neslouží jen k telefonování. Vývoj, který jsme si popsali na úvod tohoto tématu, dospěl už tak daleko, že dnes v kapse nosíme přístroj, jehož výkon je milionkrát větší než výkon raných počítačů typu PC. Můžeme tedy s určitostí říci, že nanotechnologie umožnily koncentrovat veškerý výkon do čipu o velikosti drobné mince, kterou jste kdysi vhadzovali do telefonního automatu.

Kromě ohromného výpočetního výkonu moderních miniaturních zařízení můžete na podobně malém prostoru najít i větší množství senzorů. Podívejme se tedy, jaké druhy senzorů existují a jaké jsou jejich funkce. Snímače polohy určují, kde se váš telefon nachází. Magnetometr vždy ukazuje na sever, snímač přiblížení vypne displej, když přijmete hovor, takže nic omylem nezmáčknete, a GPS (Global Positioning System) pomocí družic určuje vaši polohu. Další typ senzorů analyzuje váš pohyb na základě detekce rychlosti a rotace. Gyroskop určuje orientaci zařízení v trojrozměrném prostoru. Akcelerometry snímají vibrace a zrychlení a můžete díky nim v navigaci zjistit rychlost vašeho pohybu, případně automaticky měnit orientaci displeje při otočení telefonu. Součástí moderních chytrých telefonů je navíc celá řada snímačů stavu okolí. Jejich funkci dostatečně vystihují už samotné názvy: teploměr, vlhkoměr, barometr, snímač intenzity okolního světla. Kombinace funkcí těchto senzorů nám pak dává podrobný přehled o našem každodenním životě. Přináší ale i celou řadu výhod. Například díky spolupráci gyroskopu a magnetometru je do map možno přidat náklony a otočení, a zlepšit tak v budoucnu funkčnost navigace. Praktický přehled o všech senzorech, které si s sebou nosíte, poskytuje aplikace „phyphox“. Ta umožňuje provádět fyzikální pokusy přímo na telefonu. Pokud vás například někdy zajímalo, jakou rychlostí se pohybuje váš výtah, tato aplikace vám to pomůže zjistit. Pomocí barometru v chytrém telefonu lze zjistit hodnotu atmosférického tlaku a její změny, a následně z nich vypočítat rychlost. Až si vyzkoušíte různé pokusy, získáte představu, jak přesně váš telefon detekuje různé hodnoty ve vašem okolí a jak dokáže na jednom displeji spojit celou řadu věcí, například karty a údaje z fitness zařízení.

Důležitá fakta

Příklady současných senzorů

Dnešní chytré telefony jsou vybaveny celou řadou senzorů v nano velikosti, které jim umožňují zajišťovat celou řadu funkcí.

2. Kouzelný prvek jménem tranzistor

V samém úvodu jsme si stručně popsali, jak funguje počítač. Teď se na celou věc podíváme postupně a začneme na úrovni samotného tranzistoru.

Na počítači můžete psát dokumenty, posílat emaily svým přátelům, nebo brouzdat po internetu. Co ale při všech těchto činnostech probíhá uvnitř počítače? Velmi zjednodušeně řečeno, počítač pouze manipuluje s daty. Tedy ukládá, načítá a zpracovává informace. O jakých datech nebo informacích tu ale hovoříme? Kdysi dávno byl vstup a výstup výhradně číslicový, proto je také název zařízení odvozen od slovesa „počítat“. A moderní PC sice dokáží zpracovávat písmena a zvuky, ale i ty jsou kódovány pomocí číslic. Počítač tedy v podstatě zůstal „prostým“ počítačím strojem až do dnešních dnů. Tady je namístě si připomenout, že ke kódování se používá dvojková soustava pracující pouze s jedničkami a nulami. Například každé písmeno je kódováno určeným počtem binárních číslic a jejich pořadím. Každý film, obrázek či písnička se tak ve vašem PC stává sledem jedniček a nul.

Když teď známe základní princip fungování počítače, zbývá nám už jen jedna otázka: Jak tyto jedničky a nuly vytvoříme? Počítač si můžeme představit jako řadu spínačů. Každý z nich lze zapnout, nebo vypnout, což je vyjádřeno jako 0, nebo 1. Zvýšením počtu spínačů zvyšujete i počet 0 a 1.

Definice

Co je počítač

Počítač je výpočetní stroj. Pracuje pouze s číslicemi 0 a 1. Ty se vytvářejí pomocí miniaturizovaných spínačů.

K pochopení principu funkce počítače se přiblížíme zodpovězením otázky: Jak tyto obvody se spínači vypadají? Jaký se liší od těch, které známe ze školních hodin fyziky nebo z pojistkové skříňky doma? Ty „velké“ tvoří diskrétní součástky, jako jsou tranzistory, diody, kondenzátory a odpory. Oproti tomu obvod ve vašem počítači integruje všechny jednoduché diskrétní funkce těchto zařízení do jednoho jediného čipu. A to je důvod používání názvu „integrováný obvod“. Pokud jste někdy podobné elektronické zařízení otevřeli, možná jste si jich všimli v podobě černých čtverečků či obdélníků podobných těm na obrázku níže.



Jedna taková černá „krabička“ obvykle obsahuje jeden křemíkový čip, na němž jsou natištěny všechny zmíněné stavební prvky. Skutečnost, že na tyto polovodiče je dnes možno umístit miliardy elektronických součástek, otevřela cestu ke zmenšení mikroprocesorů na několik málo milimetrů čtverečních. Asi si dokážete představit, že s miniaturizací IO nabyl na významu vývoj inovativních technologií fyzikálního a chemického zpracování. Jen poznámka na okraj: právě zde se nanotechnologie opět setkávají s různými vědními obory a společně vytvářejí ona báječná moderní zařízení. A pokud si znovu vybavíme graf dokazující platnost Moorova zákona, uvědomíme si, že úsilí mnoha vědeckých pracovníků přineslo své ovoce. V onom grafu jsme viděli, že počet tranzistorů na jednom čipu ohromně vzrostl a roste dál. Teď už by nám mělo být jasné, že čím více těchto prvků se na čipu nachází, tím vyššího výkonu může mikroprocesor dosáhnout, protože dokáže zpracovat více 0 a 1 zároveň. A pokud chceme na čip o stejné velikosti vtěsnat stále více komponentů, musejí se tyto stavební kameny logicky zmenšovat. Proto je teď ten správný okamžik podívat se podrobněji na tranzistor, který si můžeme představit jako miniaturní spínač.

Definice

Co je IO

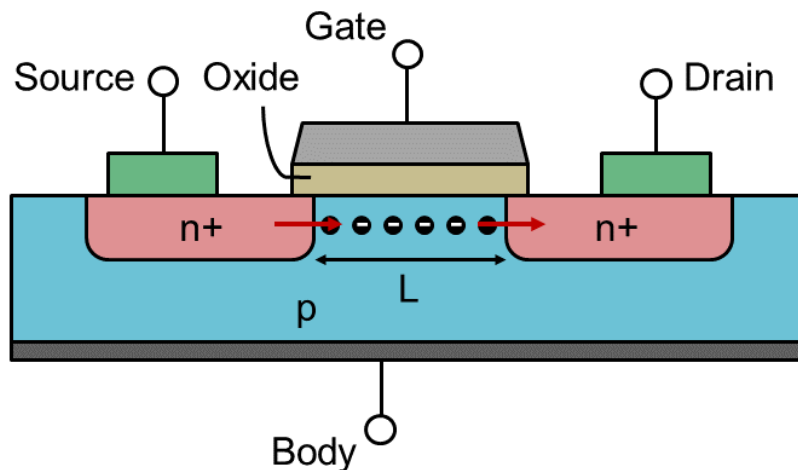
Integrovaný obvod tvoří diskrétní elektronické součástky na jednom křemíkovém čipu.

Tranzistorů je více druhů. My se podíváme na strukturu a princip funkce typu „MOSFET“. Zkratka MOSFET znamená Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor a tento název představuje anglický popis tranzistoru. Základem je křemíková destička úmyslně obsahující nečistoty. Těm se říká „doping“. Destička obsahuje buď prvky p (NMOS), nebo n (PMOS). Oba typy materiálu se liší nosiči napětí, kterými jsou elektrony v případě NMOSFET a díry u PMOSFET. My se budeme věnovat typu NMOSFET.

V tomto případě je křemíkový substrát s prvky p (můžete si jej představit jako oblast s mírně pozitivním nábojem) na obrázku níže vyznačen modře. V tomto materiálu jsou dvě červené oblasti s jiným typem iontů. Vznikají tak oblasti s materiálem typu n (tedy oblast s mírně záporným nábojem), nazvané „source“ a „drain“. Oblast mezi nimi označená jako „channel“ je překryta izolační vrstvou oxidu. Na vrstvě oxidu je pak vodivý kovový materiál označený jako „gate“.

Základní koncepce MOSFET spočívá v řízení toku elektronů mezi „source“ a „drain“, který vyvolává napětí mezi source a drain. Tok elektronů se pak řídí napětím na gate, které vytváří elektrické pole a ovlivňuje nosiče náboje v „dopovaném“ materiálu. To pak ovlivňuje přesun elektronů ze source na drain. Podívejme se ale na jednotlivé kroky tohoto procesu.

Nejprve si popíšeme stav, kdy je spínač „vypnutý“. Pokud na gate není žádné napětí, nenacházejí se v kanálu (channel) žádné volné nosiče náboje (v našem případě elektrony). Ze source na drain tedy neproudí žádné elektrony a neprotéká proud. A takto jednoduše se pro potřeby počítače definuje 0. A jak dostaneme hodnotu 1? Musíme na gate přivést napětí, tzv. gate-voltage. V případě NMOSFET je toto napětí vždy kladné. U moderních procesorů může postačovat hodnota gate-voltage cca. 0,2 V, což je velmi málo. Abychom si to dali do souvislostí: běžná baterie pro domácí použití pracuje s napětím 1,5 V, domovní zvonek 8 V a akumulátor osobního automobilu 12 V. Takže opravdu nepotřebujeme moc energie. K čemu ale gate-voltage slouží? Toto napětí s sebou nese elektrické pole ovlivňující materiál s „dopingem p“ i přes vrstvu oxidu. Tím se uzavírají díry v substrátu typu p poblíž izolační vrstvy. S růstem napětí se tedy snižuje počet děr v tomto povrchu. Dává tedy smysl, že této oblasti se říká „zóna vyčerpání“. Následně jsou do této dřívější zóny vyčerpání přitahovány elektrony z oblastí typu n (source a drain) a vytváří se kanál s množstvím nosičů záporného náboje. Můžeme jej nazývat „inverzní vrstva“. Pro lepší představivost je tato situace ilustrována na obrázku níže.



A skončíme kanálem typu n mezi source a drain typu n. Ten umožňuje průtok elektronů zařízením, což ilustrují červené šipky. Tím jsme dosáhli svého cíle a můžeme pro potřeby počítače definovat hodnotu 1. Mimochodem: můžeme si představit, že vyšší napětí gate-voltage přitahuje více nosičů náboje, inverzní vrstva se rozšiřuje a vytváříme kanál, který dokáže přenášet více elektronů.

Definice

Co je tranzistor

Nejčastějším typem v IO je MOSFET (metal-oxide-semiconductor field effect transistor). Tyto tranzistory mimo jiné vytvářejí jedničky a nuly v počítačích, jak jsme uvedli výše.

3. Na velikosti záleží, v elektronice zejména

V neposlední řadě se chceme podívat, jak velké, totiž vlastně malé tyto IO a tranzistory jsou a jaké výzvy jsou s jejich velikostí spojené. Po seznámení se schématem MOSFET je na čase si jeden prohlédnout přímo na čipu. Pro lepší pochopení: v úplně prvním textu jsme si řekli, jak tenký je lidský vlas (50 – 80 μm), a na jeho příkladu si přiblížili nano měřítko. I když položíme dva vlasy na sebe, je obtížné pozorovat jejich průřez. A přitom by se za plochu v průřezu skryly tisíce tranzistorů MOSFET.

Podívejme se na další možnosti zviditelnění malých prvků, např. optický mikroskop. Dostaneme se tak i k problémům, které jsou spojeny s výrobou MOSFETů. V optické mikroskopii v podstatě speciálně navržená soustava čoček vytváří zvětšený obraz menšího objektu. V tomto kontextu prochází paprsek světla skrz objekt a čočky do lidského oka. A teď si možná položíte otázku: Jak malý může ten objekt být? K odpovědi na tuto otázku je třeba vědět, že optické mikroskopy pracují s viditelnou částí světelného spektra. To znamená, že existuje pouze určitý daný rozsah a že velikost nejmenšího objektu, který lze takovým mikroskopem pozorovat, je rovna polovině nejkratší vlnové délky. Nebo jinak řečeno: pokud má být možno rozlišit dvě linky, musí mezi nimi být vzdálenost rovnající se polovině nejkratší vlnové délky. Toto pravidlo je známo jako Abbeho difrakční limit a lze je vyjádřit tímto vzorcem:

$$d = \frac{1\lambda}{2NA}$$

V tomto případě představuje λ vlnovou délku, NA numerickou aperturu (obsahující refrakční index a úhel světla). Výpočtem tak získáme limitní rozlišení d , které určuje, jak daleko od sebe musejí linky být, aby bylo možno je vzájemně rozlišit. Vzorec také naznačuje, jak je možno vylepšit schopnosti mikroskopu: buď zvýšením numerické apertury, nebo využitím kratších vlnových délek.

Rozsah vlnových délek ve viditelné části světelného spektra činí 380 až 780 nm, při využití Abbeho vzorce tedy můžeme odhadnout, že nejmenší rozlišení optického mikroskopu činí 200 nm. Pro účely tohoto výpočtu počítáme s nejkratší vlnovou délkou cca. 400 nm a numerickou aperturou (NA) vzduchu cca. 1.

Zapamatujte si

Omezení rozlišení

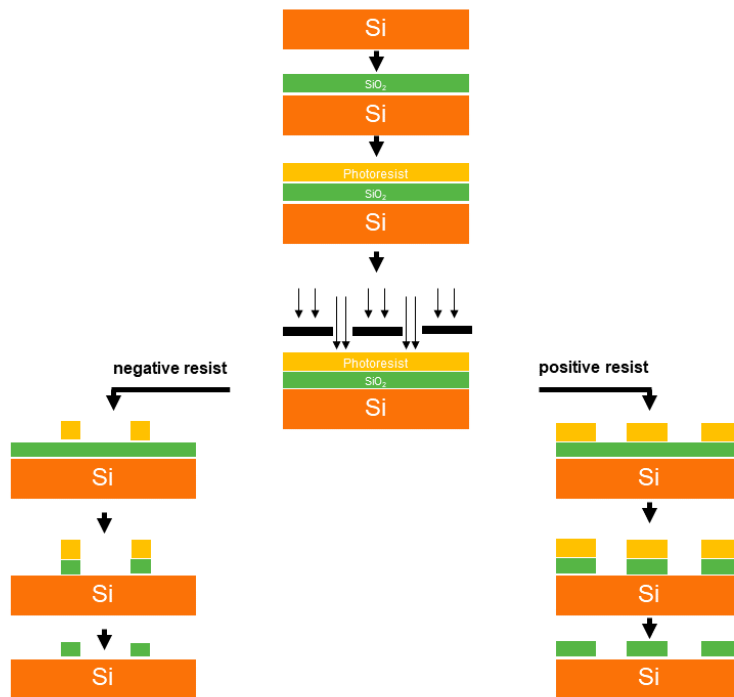
Abbeho difrakční limit je vzorec pro výpočet rozlišení v závislosti na vlnové délce: v tomto případě kratší vlnová délka umožňuje vyšší rozlišení.

Teď nastal ten vhodný okamžik podívat se na výrobu čipů. Jak lze vyvinout něco tak malého, že to ani není vidět? V moderní době využíváme postup zvaný „fotolitografie“. V rámci tohoto postupu se na povrch křemíkového plátku (wafer) přenese maska se vzorem. Wafer je materiál, který jsme si představili už dříve v rámci našeho schématu. Celá koncepce se velmi podobá funkčnímu principu vaší domácí tiskárny. Rozdíl spočívá v tom, že místo inkoustové trysky je zde světelný paprsek. A to lze skvěle využít při výrobě velmi malých prvků, protože velikost molekul barviva násobně překračuje vlnovou délku světla.

Definice

Fotolitografie

Proces tisku velmi malých prvků na křemíkový povrch. Pro vyšší rozlišení musí být krátká vlnová délka.



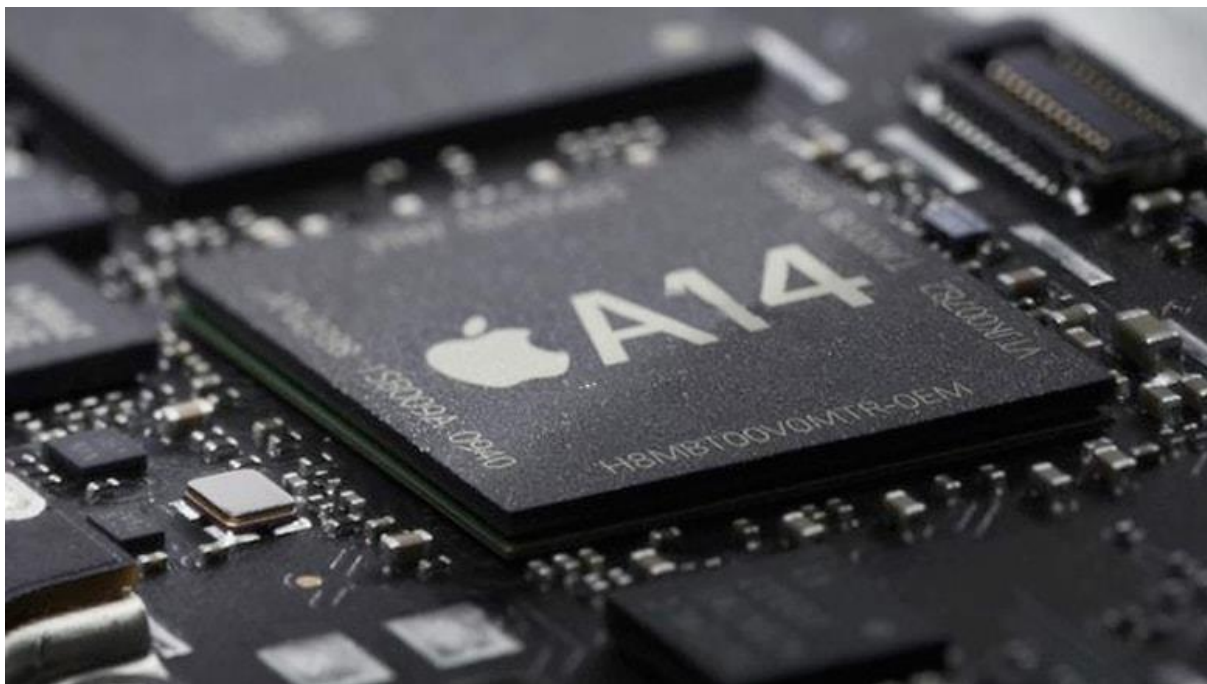
Litografický postup znázorňuje schéma výše. Na začátku se křemíkový substrát překryje vrstvou oxidu křemičitého. Na tuto vrstvu se následně procesem zvaným „spin-coating“ nanese fotorezist. Poté může proběhnout vlastní tisk: nad celou soustavu se umístí maska s určitým vzorem a osvítlí se. Světlo tedy dopadá jen na některá místa fotorezistu. Fotorezist existuje ve dvou typech: první z nich (na schématu vlevo) je „negativní rezist“. V tomto případě se změní struktura osvětlené oblasti tak, že získá odolnost vůči rozpouštědlu. Zamaskované plochy lze tedy smýt. Poté jsou nechráněné oblasti vyleptány chemikáliemi, čímž se na wafer přenese příslušný vzor. Posledním krokem je opláchnutí, při němž dojde k odstranění zbývajících fotorezistu. V pravé části schématu vidíme „pozitivní rezist“. Zde jsou rozpustné osvětlené oblasti, které lze smýt. Tím se tedy oba postupy liší. Na tomto příkladu jsme si tedy vysvětlili, jak strukturu MOSFET, kterou jsme si představili dříve, opatříme izolační vrstvou SiO_2 .

A teď si všechny díly skládačky můžeme složit dohromady, čímž získáme celkový obrázek. Ukázali jsme si, že délka izolační vrstvy přibližně odpovídá délce „gate“. Dále jsme si ukázali výrobu tohoto komponentu fotolitografickým postupem. Už tedy víme, že výkon fotoprocessingu je naprosto zásadní pro výrobu velmi malých povrchových struktur, respektive miniaturních MOSFETů. A závěr? Pokud máme i nadále naplňovat princip Moorova zákona a umisťovat více tranzistorů na menší prostor, musíme dále vylepšovat fotolitografické postupy. Omezení fotolitografie jsou v zásadě dána Abbeho difrakčním limitem.

Nejdůležitějším faktorem je proto vlnová délka. Několikrát jsme uvedli, že kratší vlnová délka je pro optimalizaci výroby nanostruktur hlavním faktorem. Nejnověji se tak využívá „hluboké ultrafialové“ záření, jehož vlnová délka činí 193 nm. Na rozdíl od optického mikroskopu tedy v tomto případě můžeme opustit viditelnou část světelného spektra. Cílem do budoucna je hodnota 13,5 nm a má ji umožnit „extrémní ultrafialové“ záření. I dnes ale platí Moorův zákon. V podstatě u všech druhů integrovaných obvodů stále dochází k rychlému zvyšování počtu tranzistorů na čipu.

V neposlední řadě se můžeme zhloubat do tématu „technologických uzlů“. Tímto termínem se označují ty nejmodernější výrobní postupy. Například „45 nm technologický uzel“ popisuje určitý postup. V tomto kontextu zahrnuje specifický způsob konstrukce fotolitografického zařízení se všemi jeho komponenty, vlnovou délku s níž systém pracuje, atd. Hodnota 45 nm udává „poloviční rozteč“. Jedná se o polovinu vzdálenosti mezi dvěma jednotlivými strukturami, například kontakty nebo vodivými spoji. Nejedná se tedy o délku gate (ta může být i menší). Pokud se stručně podíváme do historie vývoje tohoto procesu, uvědomíme si důležitost, jakou má až do současnosti optimalizace výrobních postupů: léta 1971 až 1998 byla obdobím uzlů 10 – 0,25 μm . V roce 1999 jsme prostřednictvím uzlu 180 nm přešli od mikrometrům k nanometrům. Následující desetiletí pak byla ve znamení obrovského pokroku až na hodnotu 5 nm

v roce 2020, jejímž výsledkem byl čip Apple A14 Bionic (na obrázku níže). V tomto kontextu jen firma TSMC dokázala umístit 11,8 miliardy tranzistorů na 88,45 mm². Mimochodem, pokud tento text čtete na iPhone 12 nebo iPadu 4. generace, pak jeden z těchto čipů právě držíte v ruce.



A protože TSMC chce držet krok s Moorovou predikcí, chystá se v roce 2022 přijít s uzlem 4 nm. IBM pak již v květnu 2021 představila prototyp čipu s 2 nm uzlem, který je prvním svého druhu na světě.

Definice

Technologické uzly

Označení postupu výroby moderních čipů. Nové generace technologických uzlů jsou nutné k udržení tempa vývoje v souladu s Moorovým zákonem.

Může ale tato miniaturizace pokračovat donekonečna? Je zajímavé, že odpověď na tuto mimořádně aktuální otázku moderní doby lze najít v éře, která skončila už před mnoha a mnoha lety. Již starořecký filozof Démokritos totiž tvrdil, že nic nelze zmenšovat donekonečna. V určitém bodě totiž dospějete k jednotce, kterou nelze dále štěpit – k atomu. Pokud si vezmeme čip s 2 nm uzlem, pak celý tranzistor tvoří nejvýše 20 atomů křemíku. Dá se tedy říci, že dříve či později bude s Moorovým zákonem konec.

Důležitá fakta

Kde leží limity Moorova zákona?

Délku „gatelength“, která se blíží velikosti jediného atomu křemíku, už nelze dále zkracovat.

1. Ukotvení znalostí

Shrnutí

Dospěli jste na konec jednotky na téma „Nano v elektronice“. Vzhledem k velkému množství nových poznatků vám předkládáme stručné opakování nejdůležitějších informací, které jste k tématu obdrželi:

Počítač se v podstatě skládá z několika „čipů“, které se také označují jako „integrováné obvody“. Klíčovými prvky těchto čipů jsou „tranzistory“. Počítač si každou úlohu rozdělí tak, že nakonec pracuje

jen s jedničkami a nulami. Tyto jedničky a nuly vznikají tak, že proud buď prochází (1), nebo neprochází (0) tranzistory.

V nedávné minulosti prošla kapacita úložišť a výkon počítačů mimořádně rychlým vývojem. Gordon Moore tento jev předpověděl už v roce 1965. A dokonce tento růst kvantifikoval výrokem, že každé dva roky se zdvojnásobí počet tranzistorů na čipu, a tedy i kapacita. Jeho predikce platí dodnes.

Vývoj menších struktur je silně spjat s nanotechnologiemi. Za to, že Moorův zákon platí i dnes, vdčíme úžasnému technologickému pokroku, zejména na poli nanotechnologií.

Díky nanotechnologiím zůstávají počítačové systémy velmi malé, přestože mají stále více funkcí. V podobě chytrého telefonu nosíte v kapse velmi výkonný a vysoce funkční počítač, který vám umožňuje sledovat filmy ve vysokém rozlišení, komunikovat kdykoli a kdekoli, hrát hry a dělat další věci, o nichž se generacím našich předků ani nesnilo.