

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informačních technologií

Historie a vývoj procesorů
Bakalářská práce

Autor: Michal Horák

Studijní obor: AI

Vedoucí práce: prof. RNDr. Peter Mikulecký, PhD. - KIT

Hradec Králové

duben 2020

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne:

.....

Michal Horák

Anotace

Cílem této práce je shrnout dosavadní historii vývoje , kategorizovat je a naznačit možnosti jejich dalšího očekávaného vývoje. Práce dále obsahuje základní definice prvků týkajících se procesorů, stručnou historii hlavních společností, které se věnují vývoji procesů, AMD a Intel, a v neposlední řadě samotnému postupu při výrobě mikroprocesorů.

Anotation

Title: The history and evolution of processors

The aim of this work is to summarize the history of development of microprocessors, categorize them and indicate the possibilities of their further expected development. The thesis also contains basic definitions of elements related to processors, a brief history of the main companies that are devoted to the development of processors, AMD and Intel, and last but not least the process of manufacturing processors.

1.	Úvod.....	8
2.	Definice	9
2.1.	Procesor	9
2.2.	Strojové instrukce	9
2.3.	Patice.....	9
2.4.	Výrobní technologie (nm)	10
2.5.	Jádra	11
2.6.	Vlákna.....	11
2.6.1.	Symmetric multiprocessing (SMP)	11
2.6.2.	Superthreading s vícevláknovým procesorem	12
2.6.3.	Simultánní multithreading (SMT).....	13
2.7.	Přetaktování.....	14
2.8.	Frekvence procesoru.....	15
2.9.	Mezipaměti a vyrovnávací paměť.....	15
2.10.	Integrovaný grafický čip	16
2.11.	DirectX.....	17
2.12.	Chladiče procesoru	17
2.13.	Sběrnice.....	18
3.	Historie a vývoj.....	22
3.1.	Intel	22
3.1.1.	Význam označování a generace Intel Core	22
I.	1. Generace	23
II.	2. Generace	23
III.	3. Generace	24
IV.	4. Generace	24
V.	5. Generace	25
VI.	6. Generace	25
VII.	7. Generace	25
VIII.	8. Generace	26
IX.	9. Generace	26
3.1.2.	Sokety, které Intel sdílí s ostatními společnostmi.....	26
3.1.3.	Technologie Dual in-line package a Plastic-leaded chip carrier	27
3.1.4.	Sokety, které Intel vytvořil	27
I.	Osobní počítače.....	27
II.	Servery	28
3.1.5.	Přehled generací procesorů společnosti Intel	29

3.1.6.	Historie Mikroprocesorů Intel.....	30
3.1.7.	4bitové mikroprocesory.....	30
I.	Intel 4004	30
II.	Intel 4040	30
3.1.8.	8bitové mikroprocesory.....	31
I.	Intel 8008	31
II.	Intel 8080	31
III.	Intel 8085	31
3.1.9.	16bitové mikroprocesory.....	31
I.	Intel 8086	31
II.	Intel 8088	31
III.	Intel 80186	32
IV.	Intel 80188	32
V.	Intel 80286	32
3.1.10.	32bitové mikroprocesory (AI-32).....	32
I.	Intel 80386	32
II.	Intel 80486	33
3.1.11.	Architektura P5	33
3.1.12.	Architektura P6	34
	Pentium MMX	34
	Pentium II	34
	Pentium III.....	35
	Pentium M, základ pro první „Core“	35
3.1.13.	Architektura NetBurst.....	35
	Pentium 4 Willamette	36
	Pentium 4 Northwood	36
	Pentium 4 Prescott.....	36
	Pentium 4 Cedar Mill	37
3.1.14.	Architektura Intel Core.....	37
	Intel Core Conroe	38
	Intel Core Wolfdale	38
3.1.15.	Architektura Nehalem.....	38
	Intel Lynnfield	39
	Intel Clarkdale	39
	Intel Westmere	39
3.1.16.	Architektura Sandy Bridge	40

Intel Ivy Bridge	41
3.1.17. Architektura Haswell.....	41
Intel Broadwell	42
3.1.18. Architektura Sky Lake.....	42
Kaby Lake	43
Coffee Lake.....	43
Architektura Whiskey Lake MOBIL.....	44
Architektura Cannon Lake.....	44
Architektura Cascade Lake	44
Architektura Ice Lake	44
3.2. AMD	46
3.2.1. Přehled architektur procesorů vytvořené společnosti AMD	46
3.2.2. Přehled patič procesorů společnosti AMD.....	47
3.2.3. Historie mikroprocesorů společnosti AMD.....	47
I. Integrované obvody	47
3.2.4. Architektura x86.....	47
I. Převzaté procesory	47
3.2.4.I.1. AM9080.....	47
3.2.4.I.2. AM8086.....	48
3.2.4.I.3. AM186.....	48
3.2.4.I.4. AM286.....	48
3.2.4.I.5. AM386.....	48
3.2.4.I.6. AM486.....	49
3.2.4.I.7. AM5x86	49
3.2.5. Architektury společnosti AMD	49
I. Architektura X86	49
3.2.5.I.1. K5	49
3.2.5.I.2. K6	50
K6v2.....	50
K6v3.....	51
3.2.5.I.3. K7	51
3.2.5.II.1. K8	53
3.2.5.II.2. K9	54
3.2.5.II.3. K10	54
3.2.5.II.4. Architektura Bulldozer	56
Architektura Piledriver	56

Architektura Steamroller	57
Architektura Excavator.....	57
3.2.5.II.5. Architektura Zen „Ryzen“	58
2. Generace Zen+	59
3. Generace Zen 2	60
4. Proces výroby křemíkového procesoru	61
4.1. Základní materiál.....	61
4.2. Fyzikální vlastnosti	61
4.3. Proces zpracování křemíku	63
4.4. Bipolární tranzistor	65
4.5. Unipolární tranzistor	67
4.6. Výroba integrovaného obvodu na křemíkový plát	69
4.7. Zapouzdření integrovaného obvodu.....	70
4.8. Technologie – oxidace.....	72
4.9. Technologie – epitaxe	73
4.10. Technologie – Difúze	73
4.11. Technologie – Iontová implantace.....	74
4.12. Technologie – Fotolitografie	75
4.13. Technologie – Metalizace	76
5. Gordon Moore a jeho zákon	77
5.1. Gordon Moore	77
5.2. Moorův zákon	77
5.3. Aktuálnost Moorova zákona	78
6. Závěr.....	79
7. Použité zdroje	80
7.2. Seznam použité literatury	80
7.2. Dokumenty volně dostupné na internetu.....	80
7.3. Odborné články	80
8. Seznam obrázků	82

1. Úvod

Cílem této práce je shrnout dosavadní historii vývoje mikroprocesorů dvou hlavních společností, které se věnují vytváření procesorů, Intel a AMD. Práce obsahuje přehled hlavních procesorů pro stolní počítače od roku 1971 až po rok 2019. V práci jsou též zmíněny procesory i pro mobilní zařízení a serverové stanice, přestože tato práce není primárně zaměřena na tyto kategorie.

Práce obsahuje čtyři hlavní kapitoly:

- 1) Definice – Cílem této kapitoly je objasnění všech pojmů, které se týkají mikroprocesorů a jsou potřebné k pochopení výkonnostního potenciálu jednotlivých mikroprocesorů.
- 2) Historie společnosti Intel a jejich mikroprocesory.
- 3) Historie společnosti AMD a jejich mikroprocesory.
- 4) Výrobní proces mikroprocesorů – Tato kapitola vysvětluje, jak se postupuje při výrobě mikroprocesoru a jaké technologie jsou používány k výrobě.

V obsahu této práce budou používány výrazy Procesor a Mikroprocesor jako ekvivalentní.

Procesory je možné zařadit do celé řady kategorií. Například podle typu zařízení (stolní počítač, mobilní zařízení, serverová stanice), počtu jader, výkonu, generace, určitých technologií. V této práci je použit systém, kdy se postupuje od nejstarších architektur mikroprocesorů (od roku 1971) po nejnovější architektury (rok 2019) a v rámci jednotlivých architektur se rozeznávají případné generace, pokud jich architektura měla více.

2. Definice

2.1. Procesor

Procesor, pod jinými názvy CPU (Central processing unit / Centrální procesorová jednotka), nebo mikroprocesor, je základní elektronická součást počítače, která slouží pro vykonávání strojové instrukce, ze kterých je tvořen počítačový program, a obsluhování jeho vstupu a výstupu.

Procesory existují už od 0. generace počítačů ale až od 3. generace (Integrované obvody) se mluví o procesoru, jako o "mikroprocesoru", protože oproti prvním třem generacím se vyznačuje pokročilou miniaturizací, zvyšováním výkonu a paměťových kapacit.

Mezi hlavní součásti procesoru patří aritmeticko-logická jednotka (Arithmetic-Logic Unit), registry, matematický koprocesor (Floating Point Unit) a řadič, který řídí činnost procesoru (načítání strojových instrukcí z paměti, jejich dekódování, provedení a uložení výsledků).

Existují i "vedlejší" součásti procesoru: jsou to např. vstupní/výstupní jednotka, přijímač GPS signálu, komunikátor s bezdrátovou sítí Wi-Fi a další součástky.

Pokud obsahuje obvod více procesorových jednotek, tak je tento procesor označován jako "procesor s více jádry".

2.2. Strojové instrukce

Každá rodina procesorů či architektura má vlastní instrukční sadu s vlastními mnemonikami, kterou vytváří výrobce procesorů. Funkce ve strojových instrukcích se nazývají "mnemonikou". Za funkcí mohou následovat parametry dané strojové instrukce.

Příklady mnemoniky jsou: přičítání, odečítání, porovnání, přesunutí.

Kategorie: přesuny, aritmetické, logické, rotace, násobení a dělení, skoky, zásobníkové, systémové instrukce.

Parametry mohou být konstantou nebo adresou do paměťového prostoru počítače (registry, operační paměť).

V případě adresy mohou nastat tyto dvě možnosti:

- a) přímé adresování – Konstanta určující index buňky v operační paměti.
- b) nepřímé adresování – parametrem je registr, jehož obsah je index buňky v operační paměti.

2.3. Patice

Patice neboli Socket / Slot, je specializovaná elektro-technická součástka, která slouží k mechanickému upevnění a následnému elektrickému propojení mezi procesorem a základní deskou počítače.

Je nutné rozeznávat výrazy soket a Socket, protože pojem soket je ekvivalentní výraz k výrazu patice a výraz Socket je určitá značka patice.

Patice rozlišujeme na několik kategorií:

- Patice pro procesory AMD
 - Osobní počítače
 - Servery
 - Mobilní zařízení
- Patice pro procesory Intel
 - Osobní počítače
 - Servery
 - Mobilní zařízení
- Patice kompatibilní pro procesory AMD, Intel i jiných výrobců

Existují tři možné typy pouzdra integrovaného obvodu pro procesory.

PGA (Pin grid array)

Krátké piny procesoru jsou uspořádány do čtvercového pole tak, aby souhlasily s otvory v patici. Do roku 2007 hojně používané.

LGA (Land grid array)

Toto řešení má na místech pinů dotykové plošky z pozlacené mědi, které se dotýkají vyčnívajících pinů z patice. Všechny řádky a sloupce nemusí být použity. Kontakt se základní deskou může být přes LGA patici, nebo přes pájecí pastu.

BGA (Ball grid array)

Spodní strana procesoru je pokryta kontakty do tvaru pravoúhle mřížky. Tato mřížka nemusí být zcela pravidelná a některé části mohou být vynechány. Na jednotlivé kontakty jsou nanášeny kuličky, které po zapojení tvoří vodič mezi paticí a BGA pouzdrům. Nejméně používaný typ pouzdra pro procesor.

2.4. Výrobní technologie (nm)

Výrobní technologie značí vzdálenost mezi dvěma elementy na čipu, které tvoří jeho strukturu. Typicky jde o vzdálenost mezi elektrodami source a drain, mezi nimiž je hradlo řídící tok elektronů, jak se značí v případě unipolárních tranzistorů, základní stavební jednotky procesorů.

Existují tři možnosti, jak zvýšit výkon procesoru v rámci technologie:

- Na stejnou plochu čipu dostat více tranzistorů.
- Vyrobit čip s menší plochou se stejným počtem tranzistorů.
- Nižší napájecí napětí, což má za následek nižší spotřebu.

2.5. Jádra

Jádro procesoru se označuje v případě, kdy se na pouzdru integrovaného obvodu nachází více než jeden procesor. Takovýto procesory se nazývají právě jádra. Počet jader procesoru se rovná počtu procesorů na pouzdře.

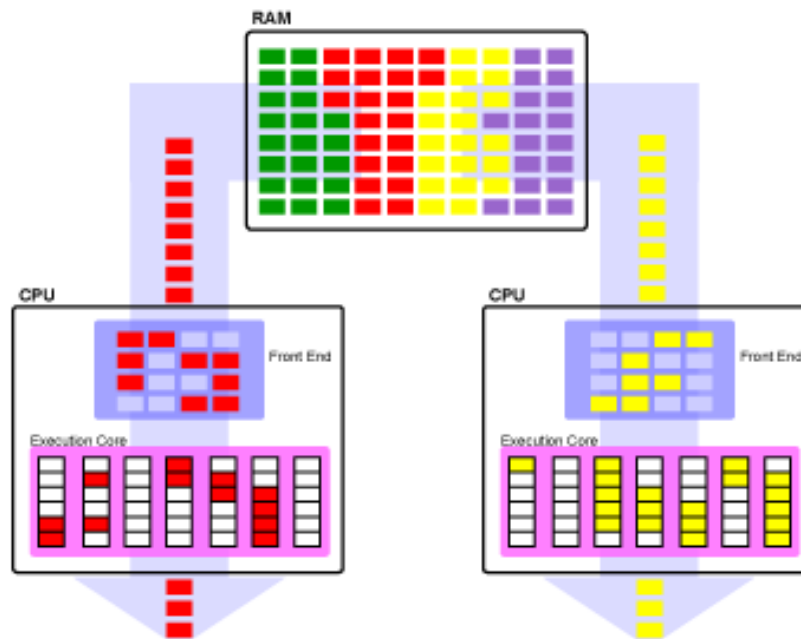
Společná činnost jader se nazývá multitasking, což znamená schopnost zpracování několik procesů zdánlivě "současně". Jádro operačního systému rychle střídá na procesoru běžící procesy, což uživatel vnímá, jako že fungují souběžně.

2.6. Vlákna

Jednolitý tok příkazů se nazývá vláknem. Původně uměly procesory zpracovávat jediné vlákno. Pak se objevil termín „multithreading“, což je skupina technologií, umožňujících zvýšit počet vláken, které se mohou zpracovávat v jeden okamžik na jednom jádru procesoru. Fyzický procesor je stále jeden, ale systém vnímá více virtuálních procesorů.

2.6.1. Symmetric multiprocessing (SMP)

Jedním ze způsobů, jak nejen omezit počet přepínání mezi vlákny a jak poskytnout více času pro provádění na procesoru pro každý proces, je vytvořit systém, který může současně vykonávat více než jeden proces. Běžným způsobem, jak vytvořit takovýto systém na PC, je přidat druhý procesor. V systému SMP může operační systém naplánovat dva procesy pro provádění ve stejném čase, přičemž každý proces je prováděn na jiném procesoru. Žádný proces nesmí monopolizovat procesor (proces převezme procesor a odmítá předat procesor dalším procesům), takže každý běžící proces musí stále čekat, až bude jeho čas na časovém řezu. Jelikož nyní existují dva procesory, které obsluhují časové řezy, tak proces nemusí čekat téměř tak dlouho, než bude jeho šance na spuštění. Konečným výsledkem je, že systém má k dispozici více celkového času k provedení. Z toho vyplývá, že proces tráví menší množství času ve stavu čekání na procesor a větší množství času ve stavu probíhající. takže v daném časovém intervalu každý běžící proces stráví více času ve stavu spuštěný a méně času ve stavu čekající na okamžik, kdy mu bude přiřazen čas na procesoru.



Obrázek č.1 Single-threaded SMP – Lze vidět, že se seřadí „čtverečky“ podle barvy (programu) do jednotlivých řádků

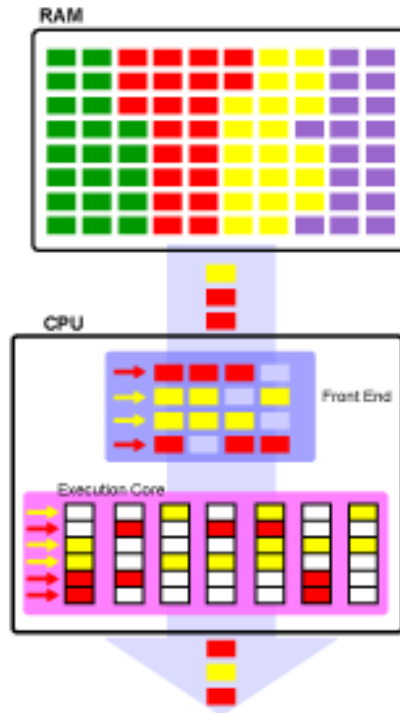
Ve výše uvedeném schématu jsou čtverečky několika barev, kdy každá barva zastupuje jednu úlohu, která čeká na okamžik, kdy obdrží procesor. Na schématu je vidět, že dvě odlišná vlákna (červené čtverečky a žluté čtverečky) se provádějí současně, jeden na každém procesoru. Jakmile se jejich příslušné časové řezy zvýší, jejich kontexty se uloží, jejich kód a data budou vypuštěny z procesoru a budou připraveny dva nové procesy.

Na předchozím diagramu si lze všimnout, že nejen počet procesů, které lze současně provést, se zdvojnásobí, ale i počet bílých políček se zdvojnásobí. Tyto bílé čtverečky znázorňují režijní čas, což je čas, kdy procesor nezpracovává žádný proces a jenom čeká na další úkol. V systému SMP je tedy běžícím programům k dispozici dvakrát více času na provádění činnosti úlohy, ale protože technologie SMP nevykonává nic, aby tyto jednotlivé programy byly efektivnější v časové optimalizaci, kdy využívají svůj časový řez, je to dvakrát více času, kdy se žádná operace neprovádí.

SMP nezvyšuje přímo výkon, ale snižuje čekací dobu procesu, než úloha dostane procesor. Nevýhodou je, že se zvyšuje režijní čas procesoru.

2.6.2. Superthreading s vícevláknovým procesorem

Jedním ze způsobů, kterým počítače snižují režijní čas procesoru je multithreading s časovým řezem neboli superthreading. Procesor, který používá tuto techniku, se nazývá vícevláknovým procesorem a tyto procesory jsou schopny provádět současně více než jedno vlákno.



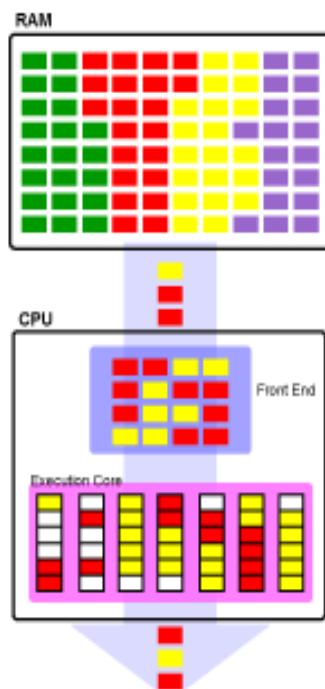
Obrázek č.2 Superthreaded CPU

Na obrázku výše lze rozpoznat, že oproti technologii SMP je zde poloviční počet „bílých čtverečků“, přičemž se tentokrát zpracovávají čtverečky 2 barev. Tyto červené a žluté čtverečky jsou instrukce, které požadují zpracování a pocházejí z jednoho vlákna. Tato technologie nezpracovává současně instrukce z různých vláken.

Př.: Případ vícevláknového procesoru provádějícího dvě vlákna (červeně a žlutě zbarvené buňky). Pokud červené vlákno požaduje data z hlavní paměti a tato data nejsou obsažena v mezipaměti, pak by toto vlákno mohlo zůstat zastavené po dobu několika cyklů procesoru při čekání na doručení požadovaných dat. Mezitím však procesor mohl provést do konce druhé vlákno, žlutě zbarvené, zatímco červeně zbarvené vlákno je zastaveno, čímž se linka udržuje v plném proudu a získává se užitečná práce z toho, co by jinak bylo v cyklu, ze kterého by se vlákno nemohlo dostat.

2.6.3. Simultánní multithreading (SMT)

Simultánní multithreading (SMT), pod jiným názvem hyper-threading, zvyšuje úroveň technologie superthreading. Hyper-threading oproti předchozím superthreading technologiím pracuje bez omezení, takže všechny instrukce vydané front-endem na každém cyklu jsou ze stejného vlákna. Následující schéma tento bod ilustruje:



Obrázek č.3 Hyper-threaded CPU.

Z pohledu operačního systému a uživatele je současně vícevláknový procesor rozdělen na dva nebo více logických procesorů a podprocesy lze naplánovat tak, aby se spouštěly na kterémkoli z logických procesorů, stejně jako na každém procesoru systému SMP.

Silnou stránkou Hyper-threadingu je, že umožňuje plánováním flexibilně zaplnit frontu procesů, které čekají na procesor. Procesor oproti předchozím technologiím zpracovává instrukce různých vláken. Toto flexibilní zaplňování způsobuje, že Hyper-threading má minimální režijní čas. Porovnání diagramu SMP s diagramem hyper-threading, může být vidno, že stejné množství práce se provádí v obou systémech, ale systém Hyper-threading je efektivnější.

2.7. Přetaktování

Přetaktování neboli overclocking je činnost, která je zaměřená na zvýšení pracovní frekvence čipu procesoru a tím i zvýšení výkonu počítače. Každý počítačový čip není nastaven na nejvyšší možný výkon, z důvodu bezpečnosti a stability. Většinou čipy jsou nastaveny na 85% maximálního výkonu.

Přetaktování procesoru má i vedlejší negativní účinky na procesor a to:

- Příliš vysoké přetaktování může vést k nestabilitě počítače, častému pádu aplikací, nereagování operačního systému.
- Zvyšování teploty vydávané procesorem.
- Zničení komponent.

- Ztráta záruky na procesor.

Obecně se nejlépe taktují Low-end procesory, hlavně procesory se sníženou velikostí vyrovnávací paměti L2 oproti plnohodnotným procesorům, přestože jejich výkon na stejné frekvenci je prakticky totožný s původními High-end procesory, z nichž jsou odvozeny, a to za zlomek ceny.

Interní násobič

Násobič neboli multiplikátor určuje konečnou frekvenci procesoru tím, že základní frekvence sběrnice, na kterou je procesor napojen, se vynásobí hodnotou multiplikátoru.

Příklad: Základní frekvence sběrnice FSB je 100 MHz a násobič je nastaven na 36x. Konečná frekvence procesoru je 3 600 MHz.

Násobič je součástí procesoru a může být „odemknut/otevřen“, nebo „zamknut/zavřen“. U procesorů s otevřeným násobičem lze přes speciální program, nebo v systému BIOS, změnit číslo v násobiči.

Příklad: Procesor používá sběrnici FSB se základní frekvencí 100Mhz a má přednastavenou hodnotu v násobiči na 36x. Protože je otevřen násobič, tak uživatel může nastavit frekvenci na 4 000Mhz, přes změnění násobku 36x na 40x. Tímto uživatel zvýšil výkon procesoru, ale zároveň zvýšil i produkci tepla, takže může dojít k poškození procesoru, pokud procesor nemá dostatečné chlazení.

2.8. Frekvence procesoru

Rostoucí frekvence však nemá jen kladné stránky. Zvyšování frekvence má i vedlejší negativní efekty, a to vyšší produkci tepla a větší požadavky na paměť RAM. Produkce tepla je dána dvojnásobkem vykonávané frekvence.

$$\text{Produkované teplo} = 2 * \text{Frekvence}$$

Určení základní frekvence pro procesory, které používají DDR (dual-data rate) sběrnice (AMD ATHLON, AMD DURON) a QDR (quad-data rate) sběrnice (všechny procesory INTEL od Pentium 4) výkon sběrnice by měl být vydělen 2 pro AMD a 4 pro Intel.

2.9. Mezipaměti a vyrovnávací paměť

Mezipaměti neboli paměti typu Cache, jsou hardwarové, nebo softwarové komponenty, které dokáží ukládat data a při požadavcích i vydat.

Vyrovnávací paměť slouží pro uložení dat, které směřují ze vstupního zařízení (klávesnice), nebo směřují na výstupní zařízení (tiskárna, disk). Vyrovnávací paměť slouží pro vyrovnání rozdílů, kdy rychlost čtení je vyšší, než rychlost zápisu/zpracování. Toto vyrovnání se

uskutečňuje tak, že je implementována fronta, kde se rychle vkládají přesouvaná data na začátek fronty a ze začátku se pomalu odebírají. Tímto způsobem je zajištěno, že pomalejší zařízení není zahlceno daty a ani se žádná data neztratí.

Mezipaměť může poskytovat uložená data neomezeně, dokud jsou data uložena v mezipaměti, oproti vyrovnávací paměti, která uložená data po předání okamžitě odstraňuje, aby vytvořila místo pro další data.

Data uložená v mezipaměti mohou být výsledkem dřívějších výpočtů, nebo kopií dat uložených v jiných datových uložiscích, u kterých se předpovídá, že budou v brzké době požadovány. Jedná se o nejrychlejší paměť, protože v případě shody požadovaných dat v mezipaměti, se data načtou z této paměti. Tento způsob je zdaleka rychlejší, než přepočítávání výsledků/čtení z pomalejších datových uložišť. Čím více požadavků lze vyřešit z načtení z mezipaměti, tím rychleji může systém provádět operace.

Aby byly mezipaměti nákladově efektivní a umožňovaly efektivní využití dat, musí být relativně malé. Paměti cache se osvědčily v mnoha oblastech výpočetní techniky, protože typické počítačové aplikace přistupují k datům s vysokým stupněm referenční lokality.

Mezipaměť je tvořena rychlou pamětí, ale kvůli ceně má menší velikost než jiné typy paměti.

Hardwarové cache paměti jsou na mikroprocesorech a na grafických kartách.

Softwarové cache paměti mohou být na pevných discích, ve webových prohlížečích a webových proxy serverech a ve spoustě dalších softwarových technologiích.

Cache v řídicích jednotkách vyrovnává rozdíl mezi nepravidelným předáváním/přebíráním dat počítačem (sběrnici) a pravidelným tokem dat do/z magnetických hlav, jehož rytmus je dán rychlostí otáčení disku.

Mezipaměť je tvořena třemi stupni. Paměť L1, která má malou kapacitu, ale je přímou součástí procesoru a má velmi vysokou rychlost. Druhý stupeň paměť L2, která se oproti L1 má nižší rychlost, ale větší kapacitu. Paměť L3, která byla přidána jako poslední a byla pomalejší než L2, ale zase o to větší a sdílěna napříč všemi jádry. Paměť L2 se dříve nacházela mezi operační pamětí a procesorem. Novější procesory od tohoto systému opustily a umísťuje se už do pouzdra procesoru.

2.10. Integrovaný grafický čip

Pokud se v jednom pouzdře integrovaného obvodu nachází procesor a zároveň i grafický čip, tak se toto řešení se nazývá APU (Accelerated Processing Unit).

Toto řešení zrychluje komunikaci mezi procesorem a grafickým čipem a zlepšuje poměr výkon/cena. Toto řešení má níženou energetickou spotřebu.

Integrovaný grafický čip se používá kromě osobních počítačů i u mobilních zařízení a herních konzol (Playstation 4, Xbox One).

První "APU" (CPU a GPU v jednom pouzdře) přišlo v roce 2006 s procesorem Intel Atom (procesor, který se hlavně využíval v noteboocích, tabletech, PDA a smartphonech). První

"APU" od AMD přišlo v roce 2010 v rámci projektu AMD Fusion (Projekt, který měl za cíl vydat více modelů CPU s GPU, lišících se počtem jader, frekvencí a výkonem grafické a centrální procesorové jednotky).

Toto řešení se využívá hlavně u Low-end počítačů, kdy počítač nebude mít dedikovanou (samostatnou) grafickou kartu. Například kancelářské počítače.

Společnost AMD opustila od toho řešení u svých Main-stream a High-end procesorů, protože toto APU řešení snižovalo výkon PC sestavy.

2.11. DirectX

Sada knihoven poskytujících aplikační rozhraní pro umožnění přímého ovládní hardware. Jejich cílem je maximální využití možností hardware jak po stránce nabízených funkcí, tak z hlediska maximálního výkonu, což je využíváno pro tvorbu počítačových her, multimediálních aplikací i grafického uživatelského rozhraní.

Tato knihovna se uvádí u dedikovaných grafických karet a u procesorů, které mají integrovaný grafický čip.

V této době se používají tyto DirectX verze:

- DirectX 11 - Tato verze podporuje operační systémy Windows Vista, W7 a W8.
- DirectX 11.1 - Tato verze je součástí operačního systému Windows 8.
- DirectX 11.2 - Tato verze je pouze pro počítače s operačním systémem Windows 8.1.
- DirectX 12 - Tato verze je pouze pro počítače s operačním systémem Windows 10.

2.12. Chladiče procesoru

Chladič procesoru je zařízení, který má za úkol chladit určité zařízení. Chladiče se používají u procesorů, grafických karet anebo jsou samostatné chladiče, které mají za úkol chladit skříň počítače (case).

Chladiče se dělí na tyto tři kategorie:

- **Pasivní**

Pasivní chlazení se provádí připevněním kovového bloku, který vodí teplo. Pro připevnění se používá speciální „vodící“ pasta, která odolává vyšším teplotám. Takovýto chladič blok je tvořen takzvanými „žebry“ aby se zvětšil povrch, který vodí teplo. Tepelná vodivost kovu je daleko vyšší než vzduchu u aktivního chlazení. Pasivní chlazení je tvořeno většinou z mědi, nebo z hliníku, protože tyto materiály nejlépe vodí teplo. Pasivní chladiče z mědi jsou účinnější než z hliníku, ale zároveň i dražší, proto se někdy využívá i kombinace těchto dvou materiálů. Pasivní chladič neprodukuje žádné zvuky, protože neprovádí žádnou činnost.

• Aktivní

Aktivní chlazení je prováděno přes ventilátor, který může být zasazen do počítačové skříně, na procesoru, na grafické kartě nebo do rozšiřovacího slotu. Ventilátory mohou nabývat velikostí 40 mm, 60 mm, 80 mm, 92 mm, 120 mm, 140 mm, 200 mm, 230 mm, 250 mm a 300 mm. Největší ventilátory se používají v osobních počítačích s vysokým výkonem. Přičemž tyto ventilátory mohou ventilovat v rozmezí 550 až 4000 otáček za minutu.

• Vodní

Vodní chlazení je vysoce účinný způsob, jak odstranit přebytečné teplo, přičemž nejběžnější pro přenos tepla je u stolních počítačů použita voda, většinou destilovaná. Výhodou vodního chlazení, oproti aktivnímu chlazení vzduchem, je vyšší tepelná vodivost a vyšší tepelná kapacita.

Tato možnost chlazení je tvořena cirkulací vody přes vodní čerpadlo skrze trubičky, které prochází kolem procesoru, a i kolem dalších prvků (např. grafická karta) ve skříní počítače. Následně ohřátá voda trubičkou opouští skřín počítače a směřuje do výměníku, který má většinou podobu radiátoru, kdy je i samotný radiátor dodatečně chlazen pomocí ventilátoru. Nakonec se ochlazená voda vrací do trubiček v počítačové skříní. Často je i zásobník chladicí kapaliny připojen do tohoto chladicího systému.

Tato možnost chlazení neodvádí teplo, ale jenom přesouvá na místa, kde se přebytečné teplo „uloží“, a v případě samotného radiátoru se i teplota sníží. Vodní chlazení je nejdražší varianta chlazení.

2.12.1. Kombinované

Nejčastější možnost chlazení je kombinace předchozích možností. Na procesoru je zasazen pasivní chladič, které odvádí teplo z mikroprocesoru, a na tomto pasivním chladiči je usazen aktivní ventilátor, který prohání vzduch přes žebra pasivního chladiče, což má za následek ještě větší snížení teploty.

2.13. Sběrnice

Sběrnici se v počítačové architektuře nazývají komunikační systémy uvnitř počítačů, které mají za úkol přenášet data mezi komponentami počítače, anebo mezi počítači. Tímto výrazem se může označovat způsob připojení hardwarových komponent. První sběrnice byly paralelní a dovozovaly připojení více zařízení na jednu sběrnici, ale tyto sběrnice jsou v dnešní době nahrazeny sériovými sběrnici, které dosahují znatelně vyšší rychlosti. Moderní počítače mohou používat paralelní i sériové sběrnice, a i rozbočovače sběrnice (např. USB).

Sběrnice lze dělit z několika hledisek:

1) Podle umístění:

- a) Interní sběrnice, které slouží k připojení komponent k základní desce počítače. Tyto sběrnice musí být rychlejší než ostatní, protože přenáší data v rámci počítače a slouží i

pro přístup k operační paměti. Tyto sběrnice lze rozlišit na paměťové sběrnice, které se používají pro připojení operačních pamětí, grafické sběrnice, které slouží k připojení grafických karet, sběrnice k připojení rozšiřujících karet a procesorové sběrnice, které jsou nejrychlejší v počítači a přenáší data mezi čipovou sadou a procesorem.

- b) Externí sběrnice, které slouží pro připojení externích zařízení k počítači. Tyto sběrnice jsou pomalejší než interní sběrnice. Příkladem externí sběrnice jsou sběrnice typu USB, které jsou v dnešní době univerzální a slouží pro připojení zařízení k počítači. Příkladem jsou tiskárny, klávesnice, fotoaparáty, myši a sběrnice IEEE1394, která je používána pro připojení čteček karet, připojení externích disků a pro připojení optických mechanik.

2) Podle přenosu dat:

- a) Sériové připojení.
b) Paralelní připojení

Sběrnice mají 3 důležité parametry:

- Frekvence, která označuje kolik hodinových impulsů za jednu vteřinu je vykonáno.
- Šířka sběrnice, která označuje kolik vodičů je ve sběrnici. Sériálové sběrnice jsou 1bitové a tento parametr se používá jenom u paralelních sběrnic.
- Přenosovou rychlost, která označuje kolik bitů je přeneseno za jednu vteřinu.

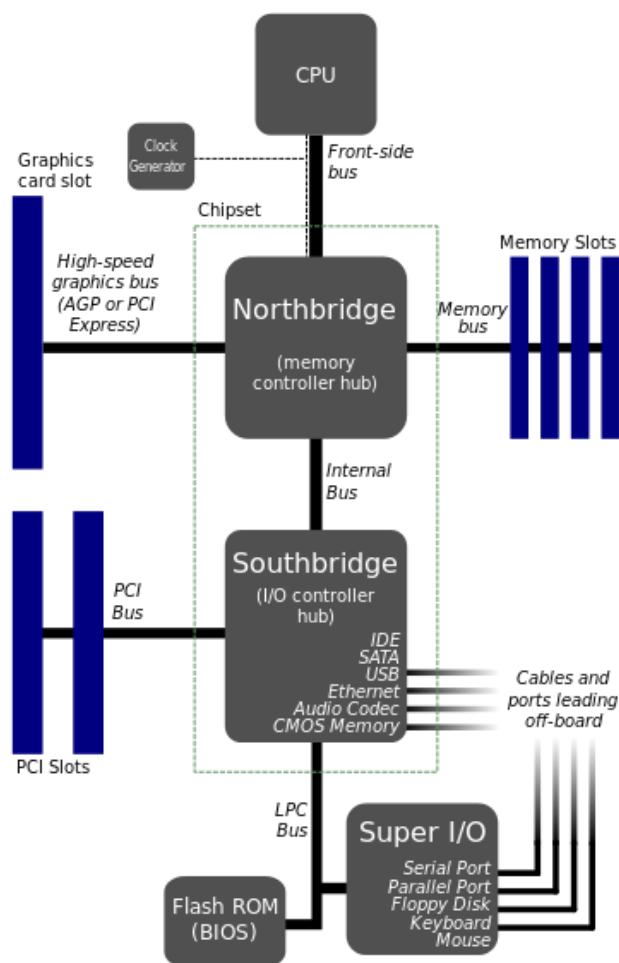
Příklady sběrnic:

- Paralelní: PC Card, IEEE -488, LPC, IEEE 1196, Parallel ATA, PC/104.
- Sériové: Camera Link, Esata, ExpressCard, IEEE 1394 interface, USB, PCI Express, Sériál ATA, UNI/O, HyperTransport.

V rámci tématu musí být zmíněny i systémové řadiče, které jsou tvořeny základními čipy na základové desce. Tyto čipy mají za úkol přenášet data mezi jednotlivými sběrnici.

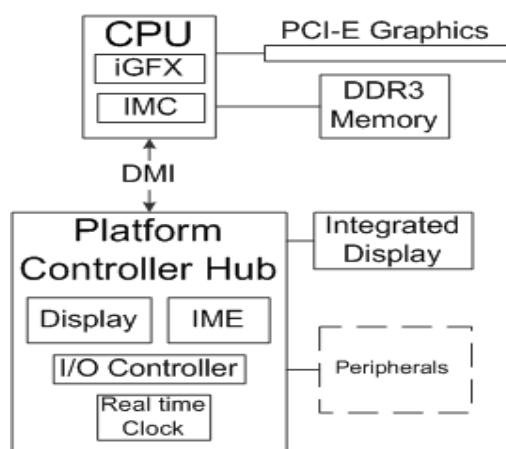
Existují dvě kategorie schématu, jak jsou implementovány systémové řadiče:

- Na základové desce jsou dva systémové řadiče a nazývají se Severní a Jižní most (Northbridge a Southbridge). Tento model se vyznačuje tím, že Severní most zajišťuje komunikaci mezi procesorem, operační pamětí a s operačním čipem grafické karty. Jižní most zajišťuje komunikaci se zařízeními a perifériemi, které využívají sběrnice typu SATA, PATA, DMA, PCI a další typy připojení. Komunikaci s Jižním mostem řídí Severní most.



Obrázek č. 4 Severní a Jižní most se sběrnici FSB (zdroj: https://cs.wikipedia.org/wiki/Front_Side_Bus)

- Model Platform Controller Hub, který se vyznačuje tím, že procesor je přímo propojen s grafickou kartou a s operační pamětí a Severní a jižní můstek je nahrazen Platform Controller Hubem, který zajišťuje veškeré ostatní komponenty, periférie a zařízení.



Obrázek č.5 Platform Controller Hub (zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/Platform_Controller_Hub)

Existují další modely, kdy si každá společnost produkující procesor vytvořila svůj vlastní model, ale u všech modelů se vyskytují podobné prvky, nebo jsou použity nové sběrnice mezi samotným čipem a procesorem, a proto jsou zmíněny jenom tyto dva modely, protože všechny modely mají jeden, nebo dva systémové řadiče.

3. Historie a vývoj

Cílem této kapitoly je podat přehled historie mikroprocesorů. Kvůli zaměření této bakalářské práce budou opomenuty procesory pro mobilní zařízení a pro serverové stanice. Tyto procesory budou zmíněny v případě, pokud existence takového procesoru vedla k pokroku u osobních počítačů. Existuje řada možností, jakým způsobem třídit, seskupovat, nebo porovnávat mikroprocesory, a proto pro přehled budou procesory tříděny prvně podle producentů a následovně podle architektury, a v rámci architektury podle edice.

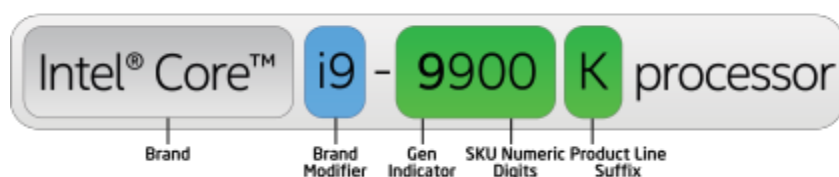
3.1. Intel

3.1.1. Význam označování a generace Intel Core

Generaci Intel Core procesoru lze rozpoznat z počtu čísel v názvu po Ix, kdy Ix označuje I3, I5, I7 a I9:

- Tři číslice – Tento počet čísel může označovat jenom první generaci, protože od druhé generace se zvýšil počet číslic. Proto označení XYZ označují přímo výkonnostní řadu v rámci první generaci.
- Čtyři číslice – Tento počet čísel označuje 2. až 9. generaci procesoru Intel Core. Z formátu AXYZ, kdy A označuje generaci a XYZ označuje výkonnostní řadu v rámci generace A.
- Pět číslic – Tento počet čísel označuje 10. řadu generace procesoru Intel Core. Z formátu ABXYZ, kdy AB označuje generaci a XYZ označuje výkonnostní řadu v rámci generace AB.

Po označení výkonu v rámci generace jsou prefixy, které označují určité vlastnosti, funkce, nebo „vhodné pro zařízení“.



Obrázek č.6 Příklad označení Intel Core I9 (zdroj: <https://www.intel.com/content/www/us/en/processors/processor-numbers.html>)

I. 1. Generace

Prefix	Význam
E	Procesor pro stolní počítače, který má 2 jádra a produkci tepla větší, nebo rovno 55 W
L	Procesor pro mobily, který má nízkou spotřebu a produkci tepla mezi 12-19 W
P	Procesor pro mobily, který má nízkou spotřebu a produkci tepla mezi 20-29 W
Q	Procesor pro mobilní zařízení se 4 jádry a vysokým výkonem
QX	Procesor pro stolní počítače, nebo pro mobilní zařízení s „extrémním“ výkonem
S	Procesor optimalizovaný na výkon
T	Procesor optimalizovaný na spotřebu energie
U	Procesor pro mobilní zařízení s nízkou spotřebou a produkcí tepla nižší nebo rovno 11.9 W
X	Procesor pro stolní počítač, nebo mobilní zařízení, který se vyznačuje „extrémním“ výkonem

II. 2. Generace

Prefix	Význam
K	Odemčený násobič, který slouží pro přetaktování
S	Procesor optimalizovaný na výkon
T	Procesor optimalizovaný na spotřebu energie
M – pouze pro mobilní zařízení	Pro mobilní zařízení
QM – pouze pro mobilní zařízení	Procesor má 4 jádra

III. 3. Generace

Prefix	Význam
K	Odemčený násobič, který slouží pro přetaktování
S	Procesor optimalizovaný na výkon
T	Procesor optimalizovaný na spotřebu energie
M – pouze pro mobilní zařízení	Pro mobilní zařízení
QM – pouze pro mobilní zařízení	Procesor má 4 jádra
MX – pouze pro mobilní zařízení	„Extrem“ verze pro mobilní zařízení
U – pouze pro mobilní zařízení	„Ultra“ nízká spotřeba energie
Y – pouze pro mobilní zařízení	„Extrémně“ nízká spotřeba energie

IV. 4. Generace

Prefix	Význam
K	Odemčený násobič, který slouží pro přetaktování
R	Procesor, který je založen na mobilním balení s grafickým čipem, který má vysoký výkon
S	Procesor optimalizovaný na výkon
T	Procesor optimalizovaný na spotřebu energie
HQ – pouze pro mobilní zařízení	Integrovaný grafický čip s vysokým výkonem, procesor má 4 jádra
M – pouze pro mobilní zařízení	Pro mobilní zařízení
MQ – pouze pro mobilní zařízení	Procesor má 4 jádra
MX – pouze pro mobilní zařízení	„Extrem“ verze pro mobilní zařízení
U – pouze pro mobilní zařízení	„Ultra“ nízká spotřeba energie
Y – pouze pro mobilní zařízení	„Extrémně“ nízká spotřeba energie

V. 5. Generace

Prefix	Význam
C	Odemčený procesor, který má patičku LGA 1150 s integrovaným grafickým čipem, který má vysoký výkon
R	Procesor, který je založen na mobilním balení s grafickým čipem, který má vysoký výkon
H – pouze pro mobilní zařízení	Integrovaný grafický čip s vysokým výkonem
HQ – pouze pro mobilní zařízení	Integrovaný grafický čip s vysokým výkonem, procesor má 4 jádra
U – pouze pro mobilní zařízení	„Ultra“ nízká spotřeba energie

VI. 6. Generace

Prefix	Význam
K	Odemčený násobič, který umožňuje přetaktování
T	Optimalizovaná spotřeba energie
H – pouze pro mobilní zařízení	Integrovaný grafický čip s vysokým výkonem
HK – pouze pro mobilní zařízení	Integrovaný grafický čip s vysokým výkonem, Odemčený násobič, který umožňuje přetaktování
HQ – pouze pro mobilní zařízení	Integrovaný grafický čip s vysokým výkonem, procesor má 4 jádra
U – pouze pro mobilní zařízení	„Ultra“ nízká spotřeba energie

VII. 7. Generace

Prefix	Význam
H	Integrovaný grafický čip s vysokým výkonem
HK	Integrovaný grafický čip s vysokým výkonem a odemčený násobič, který sloužil pro přetaktování
HQ	Integrovaný grafický čip s vysokým výkonem, Procesor se 4 jádry
U	„Ultra“ nízká spotřeba energie
Y	„Extrémně“ nízká spotřeba energie

VIII. 8. Generace

Prefix	Význam
K	Odemčený násobič, který umožňuje přetaktování
G – pouze pro mobilní zařízení	Včetně grafického čipu v balení
U – pouze pro mobilní zařízení	Verze s velice nízkou spotřebou energie

IX. 9. Generace

Prefix	Význam
K	Odemčený násobič, který umožňuje přetaktování
F	Vyžadována dedikovaná grafická karta
T	Optimalizovaná spotřeba energie
S	Speciální edice
H – pouze pro mobilní zařízení	Integrovaný grafický čip s vysokým výkonem
HK – pouze pro mobilní zařízení	Integrovaný grafický čip s vysokým výkonem a odemčeným násobičem, který umožňuje přetaktování

3.1.2. Sokety, které Intel sdílí s ostatními společnostmi

Socket	Počet pinů	Uvedeno na trh
Socket 1	169	1989
Socket 2	238	1989
Socket 3	237	1989
Socket 4	273	1993
Socket 5	320	1994
Socket 6	235	1989
Socket 7	321	1995
Socket 8	387	1999

3.1.3. Technologie Dual in-line package a Plastic-leaded chip carrier

Kromě soketů Socket 1 až Socket 8, používala společnost Intel i technologii Dual in-line package (DIP nebo DIL) a technologii Plastic-leaded chip carrier (PLCC), které obě technologie sloužili k tomu, aby chránili mikroprocesorový čip. Tyto Technologie se vyznačují tím, že z pouzdra čipu vedl určitý počet pinů, které se měly spojit se soketem typu DIP/DIL, nebo PLCC. Patice pro mikroprocesory, v letech před prvním použitím Socket 1, používaly právě patice, které se nazývali stejně jako technologie, které chránili čip, tedy DIP/DIL, nebo PLCC. U této technologie nelze jednoznačně určit kolik pinů měly tyto technologie, protože se počet pinů měnil podle potřeby mikroprocesoru.

Mikroprocesory těchto technologií musely mít stejný počet pinů jako soket, proto se postupem času tyto technologie vyměnili za patice, což z historického hlediska umožnilo zvýšit množství existujících procesorů, místo toho, aby každý mikroprocesor měl unikátní počet pinů a k tomu potřebnou patici.

3.1.4. Sokety, které Intel vytvořil

I. Osobní počítače

Soket	Kódové označení	Počet pinů	Rok uvedení
Slot 1	Slot 1	242	1999
370	PGA370	370	1999
423	PGA423 / Socket W	423	2000
478	mPGA478 / Socket N	478	2001
LGA 775	Socket T	775	2004
LGA 1136	Socket B	1366	2008
LGA 1156	Socket H	1156	2009
LGA 1155	Socket H2	1155	2011
LGA 2011	Socket R	2011	2011
LGA 1150	Socket H3	1150	2013
LGA 1151	Socket H4	1151	2015
LGA 2066	Socket R4	2066	2017

LGA 3647	Socket P	3647	2019
----------	----------	------	------

II. Servery

Socket
Socket 8
Slot2
Socket 603
Socket 604
Pac418
Pac611
Socket J
Socket N

3.1.5. Přehled generací procesorů společnosti Intel

Architektura	Generace v rámci architektury	Rok vytvoření	Výrobní technologie	Kódové označení pro stolní počítače
P5	x	1993	800nm	Pentium
P6	x	1995	500nm	Pentium 2, Pentium 3
NetBurst	Willamette	2000	180nm	Willamette
	Northwood	2002	130nm	Northwood
	Prescott	2004	90nm	Prescott
	Presler	2006	65nm	Presler
	Cedar Mill	2006	65nm	Cedar Mill
Core	Conroe	2006	65nm	Conroe
	Wolfdale	2007	45nm	Wolfdale
Nehalem	Nehalem	2008	45nm	Lynnfield
	Westmere	2010	32nm	Clarkdale
Sandy Bridge	Sandy Bridge	2011	32nm	Sandy Bridge
	Ivy Bridge	2012	22nm	Ivy Bridge
Haswell	Haswell	2013	22nm	Haswell-DT
	Broadwell	2014	14nm	Broadwell-DT
Skylake	Sky Lake	2015	14nm	Skylake – S
	Kaby Lake	2016	14nm	Kaby Lake – S
	Coffee Lake	2017	14nm	Coffee Lake – S

	Cannon Lake	2018	10nm	Desktopová verze neexistuje
	Cascade Lake	2019	14nm	Desktopová verze neexistuje
	Ice Lake	2019	10nm	Desktopová verze neexistuje

3.1.6. Historie Mikroprocesorů Intel

V případě společnosti Intel lze obtížně určit architektury od prvního mikroprocesoru 4004 společnosti Intel v roce 1971 až do roku 1982, kdy vyšel mikroprocesor 80286, protože mikroarchitektury v tomto období společnosti Intel nesly vždy stejný název, jako mikroprocesor. Kvůli této problematice v následujících kapitolách budou mikroprocesory z tohoto období rozděleny na kapitoly, podle toho, kolika bitovou architekturu měly tyto procesory.

3.1.7. 4bitové mikroprocesory

I. Intel 4004

Intel 4004 byl 4bitový procesor, který byl úplně první veřejně obchodovatelný produkt, v rámci mikroprocesorů, společnosti Intel. Produkce tohoto Mikroprocesoru začala v listopadu 1971 a pokračovala až do roku 1981. Pro vložení na základní desku byla použita technologie DIP/DIL, a to typu DIP16, což znamenalo 16 pinů. Mikroprocesor obsahoval 2300 tranzistorů a byla použita výrobní technologie 10 000nm. Maximální frekvence mikroprocesoru byla 740kHz a paměť programu 4Kib. Tento mikroprocesor byl původně používán pro kalkulátory značky Busicom, ale později Intel začal tento mikroprocesor používat i pro jiné účely, kvůli programové univerzálnosti.

II. Intel 4040

Intel 4040 byl 4bitový procesor, který vystřídal procesor Intel 4004 podzimem roku 1974. Oproti předchozímu procesoru používal patičku DIP24 a skládal se z 3000 tranzistorů. Frekvence zůstala stejná, ale velikost paměť programu se zdvojnásobila na 8 Kib. Další změny se týkaly zvýšení počtu instrukcí v instrukční sadě, počtu registrů a počtu zpětných kroků. Výrobní technologie zůstává na 10 000nm.

3.1.8. 8bitové mikroprocesory

I. Intel 8008

První osmibitový mikroprocesor, který byl navržen v dubnu 1972. Tento mikroprocesor používal technologii DIP18 s 18 piny. Oproti procesoru Intelu 4004 se zvýšila maximální frekvence na 800 kHz a paměť programu na 16KiB. Intel 8008 se skládal z 3500 tranzistorů. Výrobní technologie zůstává na 10 000nm. Tento Mikroprocesor byl pomalejší, než Intel 4004 a 4040 v oblasti zpracování instrukcí za vteřinu, ale kvůli tomu, že využíval 8bitovou sběrnici, tak byl celkově 3x až 4x rychlejší než 4bitové mikroprocesory.

II. Intel 8080

Mikroprocesor, který vystřídal Intel 8008 v dubnu 1974 a tato změna znamenala obrovský pokrok. Byla použita patice typu DIP40 s 40 piny. Frekvence se skokově dostala na hodnotu 2 až 3,125 MHz, oproti předchůdcům, kteří dosáhli maximální frekvence 800kHz. Paměťový program se zvýšil z 16KiB na 65KB. Mikroprocesor se skládal z 4500 tranzistorů a byla použita výrobní technologie 4 500nm, oproti povodím 10 000nm. Byl poprvé použit programovací jazyk Assembler u procesorů značky Intel. Celkově se zvýšil výkon přibližně 10x.

III. Intel 8085

Mikroprocesor byl uveden na trh v březnu 1976. Byla použita technologie DIP40 s 40 piny. Počet tranzistorů se zvýšil na 6 500 tranzistorů při výrobní technologii 3 000nm. Paměť mikroprocesoru se zvýšila na 3 až 5 MHz.

3.1.9. 16bitové mikroprocesory

I. Intel 8086

První 16bitový mikroprocesor značky Intel, který přišel na trh v červnu 1978. Byla použita technologie DIP40 s 40 piny pro připojení k základní desce. Počet tranzistorů se zvýšil skokově z původních 6500 na 20 000. Výrobní technologie zůstala na 3 000nm. Frekvence mikroprocesoru se zdvojnásobila na 5 až 10 MHz. Paměť se zvýšila na 1 MB a počet registrů na 64 000 jednotek, což znamenalo značné zvýšení výkonu.

II. Intel 8088

Velice důležitý mikroprocesor, který byl představen v červnu 1979 a byl použit v počítači IBM 5150 v roce 1981. Tento procesor znamená obrovský pokrok, kdy vyšla 4. generace počítačů, a to osobních počítačů. Frekvence se pohybovala v rozmezí 4,77MHz a 10 MHz. Počet tranzistorů se zvýšil na 29 000 při výrobní technologii 3 000nm. Paměť byla nastavena na 1MB. Změnou oproti předchůdci bylo to, že se použila 8bitová vnější sběrnice místo 16bitové, ale řadí se k 16bitovým procesorům, protože registry byly právě 16bitové. Pro patici byla opět použita technologie DIP40 s 40 pinů a byla i varianta, kde byla patice s technologií PLCC s 44 pinů.

III. Intel 80186

Mikroprocesor I80186 společnosti Intel přišel na trh v roce 1982 a přinesl vylepšenou verzi, která se zakládala na procesorech Intel 8086 a 8088. Procesor měl 16bitovou vnější sběrnici a 20bitovou adresní sběrnici. Počet tranzistorů se zvýšil na 55 000 při výrobní technologii 3 000nm. Frekvence se pohybovala mezi 6 a 25 MHz. Změnou oproti starším procesorům bylo přidání několika funkcí jako řadič přerušování a časovač. Starší procesory prováděli tyto funkce samostatnými obvody. Bylo několik variant tohoto mikroprocesoru s různými patnicemi, a to ve verzích PLCC68, PGA68 a LCC68, kdy ve všech případech měl čip 68 pinů. Tento mikroprocesor nebyl často využíván pro počítače, ale spíše pro mikrořadiče.

IV. Intel 80188

Tento mikroprocesor byl totožný s mikroprocesorem Intel 80186. Jediným rozdílem bylo to, že vnější sběrnice byla jenom 8bitová místo 16bitové sběrnice. Mikroprocesor přišel na trh v roce 1982.

V. Intel 80286

Mikroprocesor byl představen 1. ledna 1982. Počet tranzistorů se téměř ztrojnásobil oproti Intelu 80186, který měl 55 000, na celkový počet 134 000. Výrobní technologie se snížila z 3 000nm na 1 500nm. Byla použita 16bitová vnější sběrnice a 24bitová paměť. Tento mikroprocesor přišel poprvé s technologií „Memory management“, což se dá přeložit jako správa paměti.

Frekvence se pohybovala mezi 4 a 25 MHz. Tento vysoký rozptyl lze vysvětlit tím, že bylo více edic, které postupně zvýšily minimální a maximální frekvenci. První edice měla frekvenci 6 až 8 MHz. Druhá edice měla frekvenci kolem 12,5MHz a poslední edice měla končených 25MHz, přičemž obsahovala chladič a kvůli tomu si mohla dovolit zvýšení frekvence.

Nově byla integrovaná funkce, která dovolila změnit až 16MB paměti do „chráněného režimu“. Tato funkce byla předpokladem v budoucnu pro bezpečný multitasking. Ochranný režim nebyl dlouho využíván po mnoho let po svém vydání, protože náklady na rozšíření paměti byly vysoké, a protože nebylo mnoho softwaru, který by tuto paměť využil. Tento mikroprocesor vyšel v roce 1982 a v roce 1986 byl jen jeden program, který by tuto vlastnost využil, a to byl program VDISK, který byl součástí operačního systému PC DOS 3.0.

3.1.10. 32bitové mikroprocesory (AI-32)

I. Intel 80386

První mikroprocesor společnosti Intel, který fungoval na 32bitové architektuře. Mikroprocesor vyšel v roce 1986 a stejně jako jeho předchůdce Intel 80286 obsahoval chráněný režim. Počet tranzistorů bylo 275 000 při výrobní technologii 1 000nm. Byla použita technologie PGA se 132 piny pro soket. Nově byla integrována funkce stránkování pamětí, přičemž tato technologie byla už delší dobu známa, ale používala se jenom u sálových počítačů, které vyžadovaly velký výpočetní výkon.

Přechod na 32bitovou architekturu znamenal možnost se dostat ve virtuálním adresním prostoru až na 64TB a v operační paměti na 4 GB.

Mikroprocesor měl možnost používat reálný, chráněný a virtuální režim. Právě virtuální režim dovolil v systému Windows sdílet operační systém MS-DOS.

II. Intel 80486

Mikroprocesor přišel na trh v roce 1989. Novou vlastností byla paměť typu „Cache“ a nově se implementovala technologie pipeline, která dovolila mít rozpracované až 3 instrukce v jeden okamžik. Mikroprocesor měl několik edic a ty používaly patice PGA 196 pinů a sockety 1,2 a 3. Tento Mikroprocesor byl první, který měl více než milion tranzistorů a to celkem 1 180 235 tranzistorů při výrobní technologii 1000nm. V prvotní verzi čipu byla frekvence 20 až 50 MHz. Existovalo dalších 12 verzí, u kterých se měnila frekvence, spotřeba, napětí a mezi-paměť.

Poznámka:

Do tohoto okamžiku se nemohlo mluvit u mikroprocesorů značky Intel o generacích, protože nebylo tolik mikroprocesorů a jednalo se pouze o několik mikroprocesorů s několika verzemi. Toto se změnilo v roce 1993 a u Intelu se začali mikroprocesory zařazovat pod generace a architektury, proto v následujících podkapitolách budou zmiňovány jenom důležité mikroprocesory, které byly průlomové a byly takzvané „vlajkové lodě“ generace.

3.1.11. Architektura P5

Tato architektura byla představena 22. března 1993. Číslice 5 v názvu znamenala, že toto je pátá generace pro Intel a první generace super-skalárních procesorů. Tato architektura přinesla mikroprocesory značky Pentium, proto v názvu P jako Pentium.

První verze Pentium obsahovala 31 000 000 tranzistorů při výrobní technologii 800nm. Počáteční verze měla problémy s vysokou spotřebou energie, a to způsobovalo přehřívání procesorů. Edice Pentium této generace využívala patice Socket 4,5 a 7. Frekvence se pohybovala v počátcích kolem 60 MHz a poslední verze se dostaly až na maximální hodnotu 200MHz.

Největšími změnami pro tuto architekturu byly tyto změny:

- Super-skalární architektura dovolila, aby procesor měl dvě pipeline. Toto umožnilo, že hlavní pipeline U mohla zpracovávat jakoukoliv instrukci, zatímco další pipeline V mohla obsluhovat většinu základních jednoduchých instrukcí.
- 64bitová externí databáze zdvojnásobila dosavadní množství informací, které bylo možno číst nebo zapisovat při každém přístupu do paměti. Toto dovolilo procesorům značky Pentium rychlejší načítání z mezipaměti kódu než u Intelu 80486.

- Došlo k rozdělení mezipaměti na prostor pro kód a pro data, což snížilo problémy s načítáním a zapisováním informací. Oba tyto prostory měly samostatný přístup, který byl obousměrný.
- Upravila se práce s floating-point unit, což by se dalo přeložit jako „s plovoucí desetinou čárkou/tečkou“. Tato změna zrychlila tyto operace až 15x.
- Byl přidán plně hardwarově založený násobič, který snížil výkonný čas z 13 až 42 cyklů na 10 až 11 cyklů.

3.1.12. Architektura P6

Architektura P6 byla představena v listopadu 1995 a „vlajkovou lodí“ této architektury byl procesor Pentium Pro. Tato architektura byla označována jako šestá generace procesoru Intel.

Pentium Pro mělo původně nahradit procesory značky „obyčejné“ Pentium, ale kvůli vysoké ceně a vysokému výkonu bylo Pentium Pro využíváno téměř výhradně v serverových počítačích anebo v počítačích, u kterých se vyžadoval vysoký výkon. Dalším důvodem, proč se neprosadil na osobních počítačích pro běžné použití bylo to, že nejvíc byly rozšířeny 16bitové operační systémy, ale tento procesor byl 32bitový. Pentium Pro bylo možno přidat nově i do dvou až čtyř procesorových systému.

Procesory této architektury měly zvýšenou minimální frekvenci na 150MHz z původních 60MHz. Mezipaměť L1 byla integrována přímo v procesoru a mezipaměť L2 byla integrována na pouzdře procesoru. Výrobní technologií bylo 500nm a na procesor se dostalo 5 500 000 tranzistorů.

Největšími změnami pro tuto architekturu byly tyto změny:

- Upravil se systém pipeline, kdy se umožnilo zřetězit provádění instrukcí.
- Bylo umožněno okamžité provedení instrukce, bez ohledu na frontu instrukcí, v případě potřeby systému.

Pentium MMX

22. října 1996 přišel na trh procesor Pentium Multi Media Extension. Tento procesor přinesl rozšíření instrukční sady, které mělo za cíl zvýšení výkonu v multimediálních programech. Toto rozšíření zůstává v instrukčních sadách a dočkala se jenom v průběhu let menších změn.

Pentium II

Procesor, který byl oznámen 7.5. 1997 a architektura byla založena na kombinaci Pentia Pro, které dodalo vyšší výkon, a na Pentiu MMX, které dodalo rozšířenou instrukční sadu. První edice „Klamath“ fungoval na frekvenci 233 až 266 MHz. Procesory měly 7 500 000 tranzistorů při výrobní technologii 350nm. Procesory této řady se vyznačovaly vysokou produkcí odpadního tepla.

Nově se zavádí procesory označení Celeron a označení Xeon.

Procesory značky Celeron se vyznačovaly téměř stejnou architekturou jako Pentium (II), ale měly nižší výkon a první verze „Covington“ neobsahovala mezipaměť L2. Procesory Celeron pracovaly na nižší frekvenci v porovnání s „obyčejnými“ procesory, ale přetaktováním se mohly dostat na frekvenci ostatních procesorů. Tato značka byla uvedena v roce 1998.

Procesory značky Xeon jsou určeny pro servery a pro počítače, u kterých se vyžaduje vysoký výkon. Procesory Xeon se vyznačují vyšším výkonem a značně vyšším počtem jader. oproti „obyčejnému“ procesoru. Možnými nevýhodami této značky je nízká frekvence, která se stává zanedbatelnou při velkém množství jader, nemožnost přetaktovat, absence integrované grafické karty a vyšší cena. Tato značka byla uvedena v roce 1998.

Značky Celeron a Xeon fungují v rámci procesorů Intel dodnes a tyto „charakteristiky“ stále platí, přestože se mění vlastnosti procesorů, tak stále označují nižší/vyšší řadu procesorů oproti střední třídě procesorů.

Pentium III

Tato řada byla uvedena na trh 26.2. 1999. Tyto procesory v porovnání s procesory řady Pentium II měly podobný výkon, ale hlavním vylepšením bylo rozšíření instrukční sady o 70 instrukcích SSE, které rozšířily možnosti práce s 128bitovými registry ,práce s desetinnými i s celými čísly a správou paměti. Od této řady se u společnosti Intel zavedlo zaznamenání sériového čísla do procesorového čipu.

Pentium M, základ pro první „Core“

Procesor, který byl představen 12. března 2003. Tento procesor byl používán v „mobilních“ zařízeních, což značí právě M v názvu. Architektura Pentia M byla pozměněná oproti Pentium 4, kdy se cílilo na nízkou spotřebu energie a nižší produkci odpadového tepla. Tento procesor pracoval na nižší frekvenci než Pentium 4, ale měl stejný výkon, kvůli změněné architektuře P6. Tento procesor byl sice používán pro laptopy, ale daleko důležitější roli hrál u stolních počítačů, kdy Intel použil pozměněnou architekturu tohoto procesoru při vytvoření Architektury Intel Core.

První použití označení Core bylo použito u procesoru Intel Core Solo, kdy bylo jedno jádro, a Intel Core Duo, kdy byly dvě jádra. Tyto „Core“ procesory byly vytvořeny pod architekturou Yonah, která byla určena, stejně jako Pentium M, pro mobilní zařízení a vycházela z architektury Pentium M. Právě proto se někdy označuje Pentium M, jako první Intel Core procesor.

3.1.13. Architektura NetBurst

Nová mikroarchitektura pro procesory, která přišla na trh 20. listopadu 2000. Někdy se používá interní název P68. Podobnost s architekturou P6 byla minimální.

Tato architektura se dočkala několika vylepšení:

- Technologie „Hyper Pipelined“, která zvýšila počet fází pipeline z původních 10 u architektury P6 na počet 20 u běžných procesorů a u určitých procesorů na počet 31.

- Technologie Rapid Execution Engine, která zdvojnásobila rychlost aritmeticko-logické jednotky.
- Technologie Quad-Pumped Front-Side Bus. Nová datová sběrnice, která zvýšila čtyřikrát rychlost přenášení dat, při nezměněné frekvenci.
- Technologie Execution Trace Cache, která dovolila uložení instrukce do podoby mikroinstrukcí do mezipaměti úrovně L1. Tato technologie ušetřila zbytečný krok, kdy před spuštěním samotné instrukce bylo nutné ji dekodovat. Nevýhodou byla zvýšená produkce odpadního tepla a složitější hardwarové schéma.
- Technologie Replay Systém, která sloužila pro zachycení operací, které byly omylem poslány do plánování úloh pro procesor.
- Technologie Hyper-Threading.

Další změnou bylo, že společnost Intel začala využívat vlastní patici LGA 775, která byla první verzí, místo patice typu Socket X.

Pentium 4 Willamette

První procesor Mikroarchitektury NetBurst, který se dostal na trh 20. listopadu 2000. Tento procesor obsahoval 42 000 000 tranzistorů při výrobní technologii 180nm. Pracovní frekvence se pohybovala mezi 1,3 a 2,0Ghz. Tento procesor se vyskytoval ve verzích se sokety Socket 423 a Socket 478. Byla použita sběrnice FSB s frekvencí 400MHz. Mezipaměť typu L1 měla velikost 8Kib pro data a mezipaměť typu L2 měla velikost 256Kib.

Pentium 4 Northwood

Druhý procesor Mikroarchitektury NetBurst, který se dostal na trh 7. ledna 2002. Tento procesor obsahoval 55 000 000 tranzistorů při výrobní technologii 130nm. Pracovní frekvence se pohybovala v rozmezí 1,6 a 3,4Ghz. Tento procesor se vyskytoval pouze ve verzi se soketem Socket 478. Byly použity sběrnice FSB s frekvencí 400, 533 a 800MHz. Mezipaměť typu L1 měla velikost 8Kib pro data a mezipaměť typu L2 měla velikost 512Kib.

Pentium 4 Prescott

Třetí procesor Mikroarchitektury NetBurst, který se dostal na trh 2. února 2004. Tento procesor obsahoval 112 000 000 tranzistorů při výrobní technologii 90nm. Pracovní frekvence se pohybovala mezi 2,26 a 3,8Ghz. Tento procesor se vyskytoval ve verzích se soketem Socket 478 a Socket T. Byly použity sběrnice FSB s frekvencí 533 a 800MHz. Mezipaměť typu L1 měla velikost 16Kib pro data a mezipaměť typu L2 měla velikost 1Mib v prvních verzích tohoto procesoru.

Pentium 4 Cedar Mill

Čtvrtý a poslední procesor Mikroarchitektury NetBurst, který se dostal na trh 5. ledna 2006. Tento procesor obsahoval 184 000 000 tranzistorů při výrobní technologii 65nm. Pracovní frekvence se pohybovala mezi 3,0a 3,6Ghz. Tento procesor se vyskytoval pouze ve verzi se soketem Socket T. Byly použity sběrnice FSB s frekvencí 800MHz. Mezipaměť typu L1 měla velikost 16Kib pro data a mezipaměť typu L2 měla velikost 2Mib.

Kvůli vysoké produkci odpadního tepla v poměru pracovní frekvence byla tato architektura opuštěna a začaly se používat procesory mikroarchitektury Core

3.1.14. Architektura Intel Core

Mikroarchitektura, která přišla na trh 20.7 2006. Označení Core bylo už použito u procesoru Pentium M, a proto se nesmí plést procesor Core a architektura Core (viz. Kapitola architektura P6, podkapitola Pentium M). Tato architektura byla založena na pozměněné architektuře P6 z procesoru Pentium M.

Tato architektura měla několik změn:

- Nižší pracovní frekvenci.
- Efektivnější dekodování, využívání cyklu procesoru, provádění operací a správa paměti.
- Technologii Streaming SIMD Extensions ve verzi SSSE3, která přidala 16 nových instrukcí.
- Většina procesorů, kromě určitých serverových procesorů značky Xeon, neměla integrovanou technologii hyper-threading.

Procesory této mikroarchitektury se označovaly „Core 2“ a dělily se do 4 kategorií:

- Solo

Procesory s jedním jádrem, které se vyznačovaly nízkou spotřebou energie a také nízkou produkcí odpadového tepla. Byla využita technologie „Dynamic Acceleration“, která dovolila dočasně zvýšit pracovní frekvenci.

- Duo

Procesory, které měly přibližně stejnou pracovní frekvenci sběrnice a stejně velkou mezipaměť typu L2 jako předchozí Pentia, ale kvůli jiné architektuře dosahovaly znatelně vyššího výkonu. Procesory měly 2 jádra.

- Quad

Procesory vyšší třídy, které se skládaly ze dvou čipů Core 2 Duo a celkově měly tedy 4 jádra. Toto balení vypadalo tak, že dvě jádra byly umístěny na jedné matrici, další dvě jádra na druhé matrici a tyto matrice jsou navzájem propojené. Toto propojení sice umožnilo zapojení

4 jader pro 1 procesor, ale také dovoluje přístup k mezipaměti typu L2 jenom dvěma jádrům procesoru místo čtyř. Tyto procesory se vyznačovaly přibližně 50% navýšením produkce odpadového tepla oproti Core 2 Duo. Výkonem se procesory Quad rovnají procesorům Duo v případě, že se jedná o aplikace s jedním vláknem, ale v případě, že se jedná o aplikace s více vlákny, tak Core Quad mělo vyšší výkon až o dvacet procent.

- Extreme

Procesory nejvyšší třídy Core 2. Byly to nejvýkonnější procesory, které zdatelně přesahovaly výkon všech ostatních procesorů. Oproti ostatním procesorům měly jenom verze Extreme otevřený násobič, který dovoloval přetaktovat procesor. Určité procesory verze Extreme měly speciálně další funkce jako vyšší frekvenci pro sběrnici, dvojnásobný počet jader anebo vyšší mezipaměť typu L2. Cena procesoru Core 2 Extreme byla skoro dvojnásobná oproti Core 2 Quad.

Intel Core Conroe

Procesory, které byly vypuštěny 27. července 2006 a byly tvořeny 291 000 000 tranzistory při výrobní technologii 65nm. První procesory Intel Core 2 Duo, které měly nahradit předchozí procesory Pentium 4, oproti kterým měl mít o 40% navýšení výkonu a o 40% nižší spotřebu, v případě Pentia D. Všechny verze Intel Core 2 Duo „Conroe“ měly 4 MB mezipaměti. Jedinou výjimkou byly procesory E6300 a E6400, které měly pouze 2 MB mezipaměti. Conroe bylo kódové označení pro řady Core 2 E4xxx a pro Core 2 E6xxx.

Pracovní frekvence se pohybovala v rozmezí 1.2 GHz a 3.0 GHz. Frekvence sběrnice byla od 800MHz až 1333 MHz, podle verze. Byla použita patice LGA 775.

Core 2 Extreme existovaly pro tuto řadu pouze v jednom modelu a to X6800. Pracovní frekvence bylo 2.93 GHz a frekvence sběrnice FSB bylo 1066MHz.

Intel Core Wolfdale

Procesory, které se dostaly na trh v prosinci 2007 a obsahovaly 411 000 000 tranzistorů při výrobní technologii 45nm. Pracovní frekvence procesorů bylo 2500 MHz až 3500 MHz. Frekvence sběrnice se pohybovala od 800MHz až po 1333MHz. Byla použita pouze technologie LGA 775 pro patici. Wolfdale bylo kódové označení procesorů řady E8000 a výše.

3.1.15. Architektura Nehalem

Architektura, která přišla na trh 11. listopadu 2008 a nesla tyto změny a nové technologie:

- Nově byl integrován paměťový řadič, který podporoval paměti typu DDR3 a SDRAM spolu s paměťovými kanály v počtu 1-6. Tento řadič byl původně ve sběrnici FSB umístěn na severním můstku a nově se přemístil přímo na procesor. Tato změna zrychlila přístup procesoru do paměti.
- U procesorů nižších řad se integroval grafický čip, který byl umístěn na pouzdře procesoru.

- Sběrnice Front Side Bus (FSB) byla nahrazenou novou point-to-point sběrnicí Intel QuickPath Interconnect.
- Oproti architektuře Intel Core byla opět použita technologie hyper-threading.
- U procesorů se čtyřmi, nebo osmi jádry bylo použito nové rozmístění, kdy všechny jádra byly přímo na jednom čipu, oproti Intel Core, kdy se skládaly jádra na více čipů a ty se dávaly na pouzdro.
- Nově byla přidána úroveň mezipaměti L3, která byla sdílena všemi jádry procesoru.
- Všechny procesory této architektury měly mezipaměť L1 o velikosti 32KB pro instrukce a 32Kb pro datovou část na každém jádře procesoru, každé jádro procesoru mělo dále mělo 256KB mezipaměť L2.

Nově bylo zavedeno označení Intel Core I3, Intel Core I5 a Intel Core I7. Číslice má spojitost výkonem procesoru, kdy vyšší číslo znamená vyšší výkonovou řadu.

Procesory této architektury používaly patice LGA 1156, která se používala u procesorů pro stolní počítače, 1366 a 1567, které se používaly u serverových procesorů.

Intel Lynnfield

Kódové označení první řady procesorů Nehalem pro stolní počítače, která byla představena v listopadu 2009. Obsahoval 731 000 000 tranzistorů při výrobní technologii 45nm. Pracovní frekvence se pohybovala mezi 2.40 GHz a 3.06 GHz. Procesory této řady měly 4 jádra. Tato řada měla několik verzí, a to Core I5 7xx a Core I7 8xx.

Intel Clarkdale

Kódové označení druhé řady procesorů Nehalem pro stolní počítače, která byla uvedena na trh 7. ledna 2010. Tato řada obsahovala 382 000 000 tranzistorů při výrobní technologii 32nm. Pracovní frekvence se pohybovala mezi 2.27 GHz a 3.6 GHz. Procesory této řady měly 2 jádra. Tato řada měla několik verzí, a to Core I5 6xx a Core I3 5xx, Pentium G6xxx a Celeron G1xxx.

Intel Westmere

Westmere neboli Nehalem-C je druhá generace v rámci architektury Nehalem, kdy první generace je samotný Nehalem. Tato architektura byla vytvořena 7. ledna 2010 a s generací Nehalem sdílí CPU patice LGA 1156, LGA 1366 a LGA1567.

Novými prvky byly:

- Intel HD, UHD a Iris Graphics. Tyto označení nesly rodiny integrovaných grafických čipů od Intelu. Rozdíl mezi nimi byl ve výkonu, kdy od nejnižšího výkonu to byl Intel HD, dále Iris Graphics a nejvýkonnější Intel „Ultra“ HD.
- Procesory se šesti jádry „Gulftown“ a s deseti jádry „Westmere – EX“.

- Nová instrukční sada, která ztrojnásobila rychlost šifrování/dešifrování.
- Zvýšená rychlost virtualizace.
- Podpora stránkování paměti o velikosti 1 GB.

Počáteční procesory měly 382 000 000 tranzistorů při výrobní technologii 32nm a poslední procesory této architektury dosahovaly až množství 2 600 000 000 tranzistorů (Xeon procesor Westmere-EX) při stejné výrobní technologii. Mezipaměť L1 měla velikost 64KB, L2 měla 256KB a L3 od 4 MB do 30MB paměti. Stolní počítače měly pracovní frekvenci 2.26 až 3.6 GHz. Procesory pro stolní počítače se označují „Clarkdale“.

3.1.16. Architektura Sandy Bridge

Mikroarchitektura, která přišla na trh 9. ledna 2011 a představuje současně svůj TICK-TOCK model, který říká, že každá nová architektura bude mít své dvě generace, kdy první generace architektury (Jmenuje se vždy jako samotná architektura) bude dokončení procesorů při určité výrobní technologii X a druhá generace už bude vytvořena na nové výrobní technologii Y, kdy ale obě generace budou mít stejný základ neboli architekturu. Společnost Intel už tento model použil při Architektuře Nehalem, kdy první generace architektury Nehalem byla vytvořena na výrobní technologii 45nm a druhá generace Westmere už byla na technologii 32nm.

Procesory této architektury, první generace, měly v počátcích 504 000 000 tranzistorů při výrobní technologii 32nm a poslední procesory dosahovali 2 720 000 000 tranzistorů při stejné výrobní technologii. Pro patičky byly použity LGA 1155 a LGA 2011. Mezipaměti měly velikost L1 64KB, L2 256Kb a L3 od 1 MB do 8 MB u běžných procesorů. Procesory Extreme měly L3 o velikosti 10–15 MB a Xeony o velikosti 3–20 MB.

Nové prvky a technologie:

- Intel Turbo Boost – Technologie, která umožňuje automaticky zvýšit frekvenci jader procesoru, pokud to neohrožuje samotný procesor.
- Sdílení úrovně L3 mezipaměti i pro grafický čip.
- Nově bylo zvýšen počet operací uložit/načíst za jeden CPU cykl na 2 pro každý paměťový kanál.
- Mezi jádry byla zavedena sběrnice, která tvoří kruh a umožňuje přenášet potřebná data mezi jádry rychlostí 256bitů za jeden cyklus CPU.
- Procesory mohou mít nově 8 jader fyzických a pomocí virtualizační technologie 16 virtuálních jader.
- Zvýšení pozic v pipeline pro instrukce na 14 až 19 pozic, podle procesoru.

Intel Ivy Bridge

Druhá generace architektury Sandy Bridge, která přišla na trh 29. dubna 2012.

První procesory obsahovaly 1 400 000 000 tranzistorů při nové výrobní technologii 22nm. Používaly se patice LGA1155, LGA 2011, LGA 2011-1 a LGA 1356.

Nové prvky a vylepšení:

- Technologie F16C – Instrukce pro používání 16bitové desetinné tečky a převody.
- Sběrnice PCI Express 3.0.
- Zvýšení CPU násobiče až na 63x. Sandy Bridge měla jenom 57x.
- Podpora pamětí typu RAM až na 2800 MT/s při 200MHz.
- Zlepšení integrovaného grafického čipu – Nově grafický čip obsahoval 6, nebo 16 prováděcích jednotek, podle verze. Grafický čip nově pracuje s DirectX 11, OpenGL 3.1 a OpenCL 1.1.
- Podpora až pro 3 monitory.

3.1.17. Architektura Haswell

Architektura, která přišla na trh 4. června 2013. První procesory obsahovaly 1 860 000 000 tranzistorů při výrobní technologii 22nm. Tato architektura byla speciálně navržena, aby byla optimalizace výkonu a spotřeby energie. Procesory pro stolní počítače používaly patice LGA 1150 a LGA 2011-V3. Všechny procesory pro stolní počítače nesly v názvy „-DT“.

Nové prvky a vylepšení:

- Mezipaměť typu L3 se zvětšila na 2–45 MB.
- Byla přidána 4. aritmeticko-logická jednotka a třetí jednotka adresování.
- Nové instrukce – Přidání generátoru náhodných čísel. Zlepšení práce s vektory. Rozšíření datového typu Integer na 256bitů. Manipulace s bitovými instrukcemi.
- Hardwarová podpora Direct 3D 11.1 a OpenGL 4.3
- Podpora pamětí typu DDR4.
- Nový pokročilý systém pro úsporu energie.
- Platform Controller Hubu se zmenšil z 65nm na 32nm.
- Nově plně integrován voltage regulator.

Intel Broadwell

Architektura, která přišla na trh 27. října 2014. První procesory obsahovaly 1 900 000 000 tranzistorů při výrobní technologii 14nm.

Nové prvky a vylepšení:

- Podpora u integrovaného grafického čipu technologie Direct3D 11.2, OpenGL 4.4 a OpenCL 2.0. Už při vydání byly procesory předem připraveny na technologii Direct3D 12.
- Nová verze Intel Turbo Boost Max Technology 3.0.
- Nová technologie Intel Quick Sync Video Hardware – Technologie, která přidala nový kódový formát pro kódování a dekódování, novou kompresní technologii. Dále přidává nezávislý bit stream decoder, který umožňuje na jedné straně kódovat a na druhém konci bit stream decoderu dekódovat v tom samém okamžiku.

3.1.18. Architektura Sky Lake

Architektura, která přišla na trh 5. srpna 2015. První procesory obsahovaly 1 750 000 000 tranzistorů při 14nm výrobní technologii.

Existují 5 variant procesorů Sky Lake:

- „S“ určený pro stolní počítače a používá technologii LGA pro patici.
- „X“ určený pro serverové počítače a používá technologii LGA pro patici.
- „H“, „U“ a „Y“, které byly určeny pro mobilní zařízení a používaly technologii BGA pro patici.

Oproti předchozí generaci se zvýšil výkon procesoru a integrovaného grafického čipu a snížila spotřeba energie.

Velikost mezi-pamětí se neměnila o velikostech L1 64KB, L2 256 KB, ale mezipaměť L3 měla nově velikost X krát počet jader, kdy X mohlo být až 2 MB. Tato architektura používá patice LGA 1151, LGA 1356, LGA 2066 a LGA 3647.

Nové prvky, technologie a změny:

- Intel oficiálně ukončil podporu přetaktování u všech procesorů Skylake, které nemají prefix „K“ a „X“.
- Byl odstraněn plně integrovaný regulator napětí, který byl přidán v architektuře Haswell a je nahrazen samostatným Platform Controller Hubem (PCH).
- Interface Direct Media 2.0 je nahrazen novou verzí DMI 3.0, která umožňuje přenášet data rychlostí až 8 GT/s.
- procesory „S“ mají podporu dvou DIMM slotů na jeden kanál.

- Nahrazení slotu pro karty operační paměti DDR3 SDRAM novou verzí slotu DDR4. Nehledě na změnu slotu, jsou stále podporovány dřívější verze operačních pamětí.
- Nově přidána technologie Thunderbolt 3.0, která využívá USB verze 3.0 pro připojení periférií. Tato technologie nahradila původní verze Thunderbolt, které využívaly speciální port „Mini Display Port“.
- Ukončena podpora VGA portu.
- Podpora připojení až 5 monitorů při použití HDMI portu verze 1.4, Display Portu 1.2.
- Byla změněna instrukční sada, která nově obsahuje instrukční sadu Intel MPX, která zajišťují větší ochranu paměti, a Intel SGX, která má hlídat software.
- Integrované grafické čipy podporují DirectX verze 12, OpenGL verze 4.6 a OpenCL verze 2.0. Nově je přidána podpora kódování/dekódování videa ve formátu VP9, VP8 a HEVC.
- Podpora PCI express verze 3.0 16x , 20x a 44x, podle edice procesoru.
- Přidána mezipaměť L4, která měla velikost 64-128 MB.

Kaby Lake

2. generace architektury Sky Lake, která přišla na trh 30. srpna 2016. Počet tranzistorů se u této generace pohyboval 1 750 000 000 tranzistorů při 14nm výrobní technologii a přerušuje „Tick – Tock“ model, protože by podle modelu měla být generace založena na nižší výrobní technologii. Procesory této generace používají patiči LGA 1151, LGA 1356 a LGA 2066.

Nové prvky, technologie a změny:

- Zvýšena rychlost procesorových hodin.
- Nová architektura integrovaného grafického čipu, která zvyšuje výkon u 3D grafiky a podporu pro přehrávání videí ve 4K.
- Přidána podpora HDCP 2.2, která chrání práva digitálního obsahu a zabraňuje kopírování zvuků a videa, které má licenci, přes konektory.

Kaby Lake procesory jsou první Intel Core procesory, které podporují hyper-threading.

Coffee Lake

3. generace architektury Sky Lake, která byla uvedena na trh 5. října 2017.

Tato generace byla jenom optimalizací Kaby Lake architektury, a proto změn není mnoho:

- Představena 9. generace Intel Core a nově i řada Intel Core I9.
- Zvýšen počet jader u Core I5 na 6 jader, u I3 na 4 jádra a 9. generace I7 a nové řady I9 na 8 jader.
- Mezipaměť L3 se zvyšuje podle počtů vláken.

- Zvýšena rychlost Turbo frekvence až na 400 MHz.
- Podpora paměti DDR4 na frekvenci 2666MHz pro Core I5, I7 a I9 a podpora 2400MHz pro určité procesory Core I3.
- U procesorů s patičí LGA 1151 je zrušena podpora paměti typu DDR3.

Architektura Whiskey Lake MOBIL

3. Generace architektury Sky Lake, která vyšla na trh 28. srpna 2017.

Architektura Cannon Lake

4. generace architektury Sky Lake, která vyšla v květnu 2018.

Oproti předchozím generacím byla použita nově výrobní technologie 10nm a je nahrazena 256bitová instrukční sada pro práci s Vektory novou verzí, která je 512bitová.

Tato architektura sloužila pouze pro přechod na novou výrobní technologii a žádné nové technologie, krom výše zmíněné AVX-512, nebyly integrovány.

Architektura Cascade Lake

5. generace architektury Sky Lake, která vyšla na trh 2. dubna 2019.

Procesory této architektury byly určeny pro serverové stanice a pro počítače, které vyžadovaly až extrémní výkon. Procesory používaly 14nm výrobní technologii a obsahovaly, podle edice, 4 až 56 jader. Tato architektura obsahovala 512bitovou instrukční sadu, jako architektura Cannon Lake. Nově byla přidána podpora paměti typu 3D XPoint, která finančně byla mezi paměti typu DRAM a Flash. Dalšími nově integrovanými technologiemi bylo Deep learning boost instruction, které sloužilo pro zrychlení práce s instrukcemi a snížení zranitelnosti proti technice Spectra, která útočila přes software, a technice Meltdown, která útočila přes hardware.

Architektura Ice Lake

6. generace architektury Sky Lake. Ice Lake slouží jako kódové označení pro 10. generaci procesorů Intel Core a přišla na trh během listopadu 2019.

Je to druhá generace, která použila 10nm výrobní technologii. Došlo k navýšení mezipaměti o 50%. Mezipaměť L1 obsahuje 80 Kib paměti na jedno jádro, L2 obsahuje 512 Kib paměti na jedno jádro a L3 obsahuje 8Mib paměti, která je sdílena mezi všemi jádry. Jádra jsou nyní širší a místo 8 portů obsahují 10 portů. Pomocí zvětšení určitých částí procesorů se zvýšilo maximum virtuálního pamětního prostoru z 256 TB na 128 PB a maximum fyzického adresního prostoru z 64 TB na 4 PB.

Došlo k menší změně v označování procesorů. První dvě čísla už označují generaci (V tomto to připadá to je 10. generace, takže označení začíná číslicí 10). Třetí číslo označuje rodinu

procesor (V případě procesoru I3 by třetím číslem bylo 3). Čtvrté číslo označuje napětí(0 označuje 9W, 5 označuje 15W a 7 označuje 28W). Následuje GX, kdy x označuje sílu grafické karty (Toto se označuje pomocí výkonných jednotek (EUs), kdy 1 označuje, že karta obsahuje 32 EU jednotek, 4 značí 48 EU jednotek a 7 označuje 64 EU jednotek). Například procesor 1035G7 by byl procesor 10. generace, obsahoval by procesor I3, měl by napětí 15W a obsahoval by integrovanou grafickou kartu, která by měla 64 výkonných jednotek a značilo by to vysoký výkon u integrované grafické karty.

3.2. AMD

3.2.1. Přehled architektur procesorů vytvořené společností AMD

Pozn.: Tento přehled obsahuje všechny procesory, které společnost AMD nesdílela s ostatními společnostmi, proto tento přehled začíná až architekturou K5.

Architektura	Rok vytvoření	Výrobní technologie	Kódové označení pro stolní počítače
K5	1995	500nm	K5
K6	1997	350nm	K6
K6v2	1998	250nm	K6v2
K6v3	1999	250nm	K6v3
K7	1999	250nm	Athlon
K8	2003	130nm	Athlon 64
K9	2006	90nm	Athlon 64 x2
K10	2007	65nm	Phenom
Bulldozer	2011	32nm	Bulldozer
Piledriver	2012	32nm	Piledriver
Steamroller	2014	28nm	Steamroller
Excavator	2015	28nm	Excavator
Zen „Ryzen“	2017	14nm	Ryzen
Zen+	2018	12nm	Ryzen
Zen 2	2019	7nm	Ryzen

3.2.2. Přehled patic procesorů společnosti AMD

Socket A
Socket 754
Socket 939*
Socket AM2 a verze AM2+
Socket AM3 a verze AM3+
Socket FM ve verzích 1, 2 a 3
Socket AM4
Socket TR4

3.2.3. Historie mikroprocesorů společnosti AMD

I. Integrované obvody

Společnost AMD v roce 1975 začala produkovat rodinu integrovaných obvodů s kódovým označení AM2900 a v prvním roce tato značka obsahovala 42 druhů integrovaných obvodů, kdy každý integrovaný obvod byl specializovaný na určitý aspekt počítačové kontrolní jednotky. Tyto integrované obvody byly navrženy jako modulární součástky, které byly vytvořeny s bipolárním zařízením a technologií Bit slicing, která dovolila tomuto integrovanému obvodu spolupracovat s řídicími jednotky, které měly téměř jakýkoliv násobek 4 bitů. Kvůli modularitě měly tyto „moduly“ vyšší počet integrovaných obvodů pro svou činnost, přestože by tuto činnost dokázal vykonávat jeden procesor.

3.2.4. Architektura x86

I. Převzaté procesory

Společnost AMD mělo se společností Intel od roku 1976 smlouvu o sdílení patentů, která dovozovala společnosti AMD produkovat, používat, a prodávat procesory, které byly patentovány společností Intel a společnost Intel měla stejná práva na patenty společnosti AMD. Tato smlouva byla v roce 1982 prodloužena a v roce 1987 byla definitivně ukončena.

3.2.4.I.1. AM9080

První procesor společnosti AMD, který přišel na trh v roce 1975. Tento procesor byl navržen pomocí reverzního inženýrství na procesoru Intel 8080 a byl úplně identický vůči I8080. Jediný rozdíl oproti I8080 bylo, že čip AM9080 byl o něco menší.

AM9080 obsahoval 4 500 tranzistorů při výrobní technologii 6000nm. Procesor byl 8bitový a pracoval na frekvenci 500 až 2000 KHz. Jako patice byla použita technologie DIP40.

Společnost Intel vedla se společností AMD právní jednání, protože tento procesor byl důkazem toho, že společnost AMD nezákonně použila patent společnosti Intel. V roce 1976 byla uzavřena smlouva o sdílení patentů mezi společnostmi AMD a Intel, kdy společnost

AMD zaplatila společnosti Intel 300 000 \$ a společnost Intel se zavázala, že dřívější nezákonné použití patentů společnosti AMD je touto smlouvou zapomenuto a nepoužije to k vytvoření soudního procesu.

3.2.4.I.2. AM8086

Druhý procesor společnosti AMD, který přišel na trh v roce 1982 a byl založen na procesoru 8086 společnosti Intel a byl to první zákonně použitý patent v rámci smlouvy o sdílení patentů. Tento procesor byl téměř identický s Intel 8086.

Procesor byl 16bitový, obsahoval 29 000 tranzistorů při výrobní technologii 3 000nm a pracoval na pracovní frekvenci 5 až 10 MHz. Patice používala technologii DIP40.

Před vydáním tohoto procesoru byla prodloužena smlouva o sdílení patentu mezi společnostmi AMD a Intel. Toto prodloužení bylo způsobeno společností IBM, která chtěla využít procesor Intel 8088, ale politika společnosti IBM vyžadovala, aby byly minimálně 2 výrobci tohoto procesoru, proto společnost Intel byla nucena souhlasit s prodloužením smlouvy, a tím se společnost AMD stala druhým požadovaným výrobcem pro IBM.

3.2.4.I.3. AM186

Procesor, který přišel na trh v roce 1984 a byl identický k procesoru 80186 společnosti Intel. Procesor obsahoval 55 000 tranzistorů při výrobní technologii 3000nm. AM186 byl první 16bitový procesor společnosti AMD a k této architektuře přišlo AMD přes dohodu o sdílení patentů s Intelem a pracoval na frekvenci 6Mhz. Pro patici byla použita technologie Thin Quad Flat Package-68.

3.2.4.I.4. AM286

První oficiální procesor společnosti AMD, který přišel na trh v roce 1984. Tento procesor obsahoval 134 000 tranzistorů při výrobní technologii 1500nm. Procesor AM286 byl ve všech vlastnostech identický s procesorem 80286 společnosti Intel, protože v 1982, kdy procesor 80286 vyšel, měly společnosti AMD a Intel smlouvu o sdílení patentů.

3.2.4.I.5. AM386

Procesor, který začala vyrábět společnost AMD v roce 1991 a byl kopií procesoru 80386 společnosti Intel, který přišel na trh 1985. Zpoždění AMD verze procesoru bylo 6 let, protože společnost Intel chtěla, aby konkurent měl zpoždění a tím by se i Intel stal monopolem. Právě kvůli tomuto problému byl několika měsíční soudní proces během roku 1986 mezi společností AMD a Intelem, kdy AMD vyhrálo kauzu a smělo produkovat procesor bez zpoždění, které by způsobila společnost Intel. V 1987 skončila platnost smlouvy o sdílení patentů mezi Intel a AMD a nebyla více obnovena.

AM386 se oproti verzi společnosti Intel vyznačovala tím, že maximální frekvence, bez nutného chlazení, byla o 7MHz vyšší a celkově dosahovala 40MHz. I sběrnice FSB mezi procesorem a severním můstkem měla 40Mhz, a kvůli této rychlosti byl procesor AM386 rychlejší, než procesor Intelu 80486, kde FSB sběrnice pracovala na 33MHz. Rychlost AM386 se ještě zvýšila případným přidáním matematicky specializovaného procesoru 80386,

který zvýšil rychlost, přestože nemohl překonat procesor společnosti Intel 80486, který měl vyšší rychlost při počítání čísel s plovoucí desetinou čárkou. Procesor obsahoval 275 000 tranzistorů při výrobní technologii 800nm, přičemž stejné množství tranzistorů při stejné technologii obsahoval procesor Intel 80386.

3.2.4.I.6. AM486

Procesor AM486 byl představen v roce 1993. Procesor AM486 obsahoval přibližně 1 100 000 tranzistorů při výrobní technologii 700nm. Pracovní frekvence byla v rozmezí 33MHz až 120MHz a frekvence sběrnice v rozmezí 25MHz až 40MHz. O tomto procesoru se mluvilo jako o „Výkonnějším Pentiu s nižší cenou“. Během životnosti této architektury společnost AMD snížila napájecí napětí z 5V na pouhé 3,3, a tím dosáhla zdvojnásobení pracovní frekvence na 66MHz. Tato změna měla nevýhodu toho, že se zmenšil okruh základních desek, které mohly pracovat s těmito procesory, protože ne všechny základní desky měly i jiné podporované napájecí napětí než 5V. AM486 měl 3 edice, kdy každá edice měla jinou patici, a to ve variantách Socket 1, Socket 2 a Socket 3.

3.2.4.I.7. AM5x86

Procesor AM586 byl představen v roce 1995 a byl to poslední procesor, který vycházel z procesoru Intel 80486. Procesor obsahoval 1 600 000 tranzistorů při výrobní technologii 350nm. Pracovní frekvence byla v rozmezí 133MHz až 160MHz a frekvence sběrnice v rozmezí 33MHz až 50MHz. AM5x86 mělo 3 edice, kdy každá edice měla jinou patici, a to ve variantách Socket 1, Socket 2 a Socket 3.

U procesorů AM5x86 společnost AMD zavedla parametr „PR“, který ukazoval srovnání výkonu procesoru s procesorem řady Pentium. Například „AM5x86 PR75“, který parametrizoval procesor, který měl výsledky jako Pentium 75MHz.

Tento procesor se přestal vyrábět v roce 1999, ale dlouho po této době se ještě vyráběli mikrokontrolery, které byly založeny na tomto procesoru.

3.2.5. Architektury společnosti AMD

I. Architektura X86

3.2.5.I.1. K5

Společnost AMD byla nucena po ukončení smlouvy, o sdílení patentů se společností Intel, začít vytvářet vlastní architekturu a výsledkem byla právě architektura procesorů K5. Tato architektura byla představena v roce 1995 a v květnu 1996 byla uvedena na trh. Společnost AMD, když představovala architekturu, plánovala, že procesory K5 budou orientované na výkon jako Pentium Pro, ale v konečné podobě K5 byl procesor, který byl blíže Pentiu a jedinou výraznou změnou byla vyšší pracovní frekvence.

Procesory K5 obsahovaly 4 300 000 tranzistorů při výrobní technologii 500nm. Pracovní frekvence byla v rozmezí 75MHz až 133 MHz. Rychlost sběrnice byla 50MHz až 66MHz.

Mezipaměť L1 měla velikost 8KB a L2 velikost 16KB. Procesory K5 měly 2 edice, podle patice, a to s paticí Socket 5 a Socket 7. Nevýhodou těchto procesorů byl pomalejší matematický koprocessor než u Pentia a procesory K5 neobsahovaly od roku 1997 technologii Multi Media Extension, kterou vyvinula společnost Intel.

Procesory K5 měly 2 řady a to „SSA/5“ a „5K86“, kdy řada 5K86 měla vždy vyšší frekvenci. U procesorů K5 společnost AMD pokračovala se zavedeným parametrem „PR“, který ukazoval srovnání výkonu procesoru s procesorem řady Pentium. Například „K5 PR166“, který parametrizoval procesor z druhé řady, který měl 116MHz. Společnost AMD přestala vyrábět procesory architektury K5, když byl vydán procesor K5 PR200, který byl srovnatelný s prvními procesory architektury K6.

3.2.5.I.2. K6

První procesory architektury K6 byly představeny v roce 1997 a marketingově byly označovány jako „Procesory s výkonem Pentium II, ale s výrazně nižší cenou“. Jádra čipů byla navržena společností NexGen, kterou společnost AMD koupilo v roce 1996.

Procesory K6 obsahovaly 8 800 000 tranzistorů při výrobní technologii 350nm. Pentium II měla o 1 300 000 tranzistorů méně při stejné výrobní technologii. Pracovní frekvence byla v rozmezí 166MHz až 300MHz. Frekvence sběrnice zůstala stejná, a to na hodnotě 66MHz. Oproti předchozí architektuře byla už implementována technologie Multi Media Extension. Pro patici byla použita technologie Socket 7.

I u této řady byl zaveden parametr „PR“, ale tentokrát označoval relativní výkon procesoru s porovnáním k Pentiu II a neslo to označení „PR2“. Tento parametr „PR2“ byl v průběhu životnosti této architektury zrušen.

K6v2

Druhá verze architektury K6, který byla představena 28 května 1998.

Procesory této verze obsahovaly 9 300 000 tranzistorů při výrobní technologii 250nm. Pracovní frekvence byla v rozmezí 266MHz až 550MHz a frekvence sběrnice byla v rozmezí 66MHz až 100MHz. Nově byla použita patice Super Socket7, a právě tato patice dovolila zvýšení rychlost sběrnice.

Společnost AMD představila a použila svou vlastní rozšíření pro x86 instrukční sadu a to 3DNOW!. Tato instrukční sada umožnila pracovat lépe s vektorovou grafikou. Aplikace, které pracovaly s 3D grafikou, u procesorů, které obsahovaly tuto technologii, dosáhly dvojnásobného až čtyřnásobného výkonu oproti aplikacím u procesoru bez 3DNOW. Tato instrukční sada nikdy nezískala na popularitě a v srpnu 2010 společnost AMD oznámila, že budoucí procesory nebudou využívat tuto instrukční sadu. Pouze dvě instrukce z této instrukční sady PREFATCH a PREFETCHW nebyly odstraněny a byly využívány dalšími procesory. Tyto instrukce slouží k načtení referenčních objektů dříve než v okamžiku potřeby.

K6v3

Architektura, která vycházela z architektury K6v2 a první procesory této architektury přišly na trh 22. února 1999. Procesory obsahovaly 21 300 000 tranzistorů při výrobní technologii 250nm. Procesorům této architektury se kódově označovali jako „Sharptooth“, neboli „Ostrý zub“. Procesory pracovaly na frekvenci v rozmezí 350MHz až 550MHz a frekvence sběrnice v rozmezí 66MHz až 100MHz. Nově se přidala úroveň L2 mezipaměti a když procesor obsahoval i mezipaměť úrovně L3 o velikosti 1MB u základních desky, která podporovala 400MHz a 450MHz, tak takovýto procesor převýšil výkon i procesoru Pentium III „Katmai“, který by takovýto procesor pracoval na frekvenci v rozmezí 400MHz až 500 MHz.

U těchto procesorů byla použita základní verze, nebo rozšířená verze instrukční sady 3DNOW, a i instrukční sada od společnosti Intel MMX. Procesory této architektury používaly technologie Socket 7 a Super Socket 7 pro patiči. Tato architektura byla poslední v rámci společnosti AMD, která používala patice typu Socket 7.

Během období této architektury společnost AMD navrhla a zahájila výrobu procesorů K6v2+ a K6v3+, které se vyznačovaly značně nižší spotřebou energie a byly cíleny pro mobilní zařízení. Nově byla integrována technologie PowerNow!, která právě sloužila ke snížení spotřeby energie.

3.2.5.I.3. K7

Nová architektura společnosti AMD, která přišla na trh v 23. června 1999. Procesory této architektury nesly označení „Athlon“ a byla to už 7. generace procesorů, které používaly 32bitovou instrukční sadu a mohlo se tak označovat jako „AM7x86“.

Procesory této architektury obsahovaly 22 000 000 tranzistorů při výrobní technologii 250nm. Největší změna této architektury byla značně zvýšená pracovní frekvence, která poprvé dosáhla 1GHz a tím překonala procesory společnosti Intel v tom okamžiku. Pracovní frekvence byla v rozmezí 500MHz až 2 330MHz a frekvence sběrnice byla v rozmezí 200 až 400 MHz. Pro patiči byly využity technologie Slot A, Socket A a Socket 563.

Nově do instrukční sady byla přidána technologie Digital signal processing DSP, která měla nahradit signály analogové. Mezipaměť se změnila na obousměrnou asociativní mezipaměť, která byla rozdělena 2 stejně velké paměti, kdy byla jedna paměť pro jeden směr dat. Mezipaměť L1 byla velká 2x64KB a oproti předchozí generaci velikostně 2x větší a oproti Pentiu II byla tato mezipaměť 4x větší. U Athlonu s patičí Slot A byla mezipaměť úrovně 2 L2 o velikosti 512KB a pracovala na rozmezí 33 % až 50 % rychlosti procesoru. Toto omezení bylo důsledkem navržení mezipaměti SRAM, která nestíhala spolupracovat s procesorovými hodinami. Proto první procesory této architektury měly mezipaměť úrovně L2, která pracovala na frekvenci až 350MHz místo 750MHz.

Během této architektury se vystřídal několik řad procesorů:

- Athlon, někdy označovaný jako Athlon „Classic“. Pro patiči byla použita technologie Slot A.

První řada architektury K7, který přišla na trh 23 června 1999.

- Thunderbird, někdy označovaný jako „T-Bird“.

Druhá řada architektury K7, která přišla na trh 5. června 2000. Tato řada použila technologii PGA, která se vkládala do patice Socket A. Byl změněn návrh mezipaměti, která místo jednotné 512KB paměti s omezenou rychlostí použila původní mezipaměť úrovně 2, která měla velikost o 256KB a neměla omezenou rychlost. Touto změnou se dosáhlo vyššího výkonu.

- Athlon XP, někdy označovaný jako „Athlon MP“

Třetí řada, která přišla na trh 9. října 2001 a používala čipy s kódovým označením „Palomino“ a používal se u názvu Athlon XP, kdy prefix znamenal rozšířený výkon. U této řady se znova začal používat parametr PR, který označoval výkon procesoru oproti Pentiu. Athlon XP začínal s parametrem PR1500+ u procesorů s frekvencí 1.33GHz a PR1800+ u frekvence 1.53GHz. Tento PR systém byl u této řady použit až do PR 2100+. Tato řada se vyznačovala snížením spotřeby energie.

Procesory Athlon XP byla první řada, která byla schopná využívat dvě jádra procesoru, a proto se někdy označuje jako „MP“ (Multiple Processing neboli vícenásobné zpracování).

- Thoroughbred, někdy označovaný jako „T-Bred“.

Čtvrtá řada procesorů architektury K7, která přišla na trh 10. června 2002 a byla označována jako PR2200+ procesory. Tato řada obsahovala 37 600 000 tranzistorů při nové výrobní technologii 130nm. Během této řady došlo ke 2 revizím čipu a tyto revize se někdy označují jako „T-Bred A“ a „T-Bred B“. První revize byla změna výrobní technologie 180nm na 130nm a vyšší počet tranzistorů. Procesory po této revizi nebyly schopny zvýšit taktovací rychlost a pracovaly pouze na frekvencích v rozmezí 1333MHz až 1800MHz. Přestože žádnou změnu, kromě změny výrobní technologie, tato revize nepřinesla, tak procesory T-Bred A nahradily procesory s čipem Palomino, protože výrobní náklady po této revizi byly značně nižší. Druhá revize T-Bred B přinesla novou vrstvu v návrhu čipu, který před druhou revizí měl 8 vrstev a pro porovnání se společností Intel čip Pentium 4 Northwood obsahoval pouze 6 vrstev. Nová vrstva zvýšila komplexnost čipu, ale přinesla i vyšší flexibilitu pro práci s logickými a výkonovými mosty, které bránily dosáhnout vyšší rychlosti.

- Barton

Řada procesorů, která přišla na trh 10. února 2003 a vycházela z návrhu Thoroughbred po 2. revizi. Procesory Barton obsahovaly 54 300 000 tranzistorů při výrobní technologii 130nm. Tyto procesory pokračovali s parametrem PR a začínali na PR2500+ a končili na 3200+. Tyto procesory neměly vyšší taktovací rychlost oproti Thoroughbred, ale měly dvojnásobně velkou mezipaměť L2, která obsahovala 512Kb paměti. Pozdější modely této řady měly podporovali frekvenci 200MHz pro sběrnici. Během této řady byly vytvořeny procesory Thorton, které byly identické s pozdějšími verzemi procesoru Barton, ale měly opět poloviční mezipaměť L2, anebo měly úplně tuto mezipaměť L2 odstraněnou. Jméno Thorton bylo vytvořeno zkomolením názvů Thoroughbred a Barton.

- Mobile Athlon XP, někdy označovaný jako „Athlon XP-M“.

Řada procesorů pro mobilní zařízení, která byla založena na identickém návrhu čipu Athlon XP, kdy jediná změna byla v návrhu snížení spotřeby energie. Tato změna ve spotřebě energie přináší to, že baterie v mobilním zařízení má vyšší životnost, pracuje se pod nižším

napětím a produkuje se nižší odpadové teplo oproti stolním procesorům. Procesory této řady dále nemají otevřený násobič. Pro patici byla použita technologie Socket 563, která měla menší rozměry než Socket A.

II. Architektura X86 - 64

3.2.5.II.1. K8

První 64bitová architektura od společnosti AMD, která přišla na trh 23. září 2003 a procesory této řady se označovali jako „Athlon 64“. Procesory obsahovaly 105 900 000 tranzistorů při výrobní technologii 130nm. Pracovní frekvence byla v rozmezí 1GHz až 3.2 GHz. Nově byla vyměněna sběrnice Front Side Bus za sběrnici HyperTransport, která pracovala na frekvenci 800MHz až 1000MHz. Procesory této řady používaly postupně různé technologie pro patici a to Socket 754, Socket 939, Socket 940, Socket F, AM2 a AM2+.

Tato řada přinesla několik důležitých změn. Byla přidána podpora pro paměti typu DDR2 SDRAM a s tím související řadič paměti, který pracoval na stejné frekvenci jako procesor. Tento řadič snížil dobu potřebnou pro přenos signálů z a do paměti. Tímto se snížila latence oproti sběrnici FSB, kdy se muselo k paměti přistupovat přes severní most. Sběrnice FSB byla vyměněna za sběrnici HyperTransport, která přenášela data mezi procesorem a mostem. Procesor si přistupoval k paměti sám přes řadič paměti. Procesory byly též vybaveny technologií Cool and Quiet, která fungovala na podobném přístupu jako technologie SpeedStep od společnosti Intel, a to automatické snížení taktu procesoru a tím i produkce tepla v době, kdy není potřeba vysoký výkon při nenáročných aplikacích. Nově byla integrována i technologie No Execute (NX BIT), která sloužila pro operační systémy Windows XP SP2, Linux 2.6.8 a FreeBSD 5.3 a sloužila pro zajištění, že nedojde k přetečení vyrovnávací paměti a následnému ukončení operačního systému.

23 května 2006 vydala společnost AMD svojí první patici a to AM2. Tato patice přinesla výše zmíněnou podporu DDR2 SDRAM.

Existovaly 3 řady procesorů Athlon 64:

- Athlon 64
- Athlon 64 FX

Procesory, které měly otevřený násobič a umožňovaly přetaktování. Oproti Athlon 64 pracovaly procesory verze FX na vyšším taktu.

- Mobile Athlon 64

Procesory této řady byly zaměřeny pro mobilní zařízení. Tyto procesory se vyznačovaly nízkou spotřebou energie a nízkou produkcí tepla. Byla integrována opět technologie PowerNow!, která byla použita u předchozí řady pro mobilní zařízení Mobile Athlon XP.

Nově do rodiny procesorů společnosti AMD přibyla nová značka procesorů Opteron, které byly zaměřeny jako procesory pro pracovní stanice, které vyžadovaly vysoký výkon, a pro servery.

3.2.5.II.2. K9

Tato architektura přišla na trh 23. května 2006 a jednalo se o přechod procesorů z jednoho jádra na dvě jádra.

Prvním procesorem této architektury byl procesor Athlon 64 X2, kdy X2 značilo procesor se dvěma jádry. Tento procesor obsahoval 243 000 000 tranzistorů při výrobní technologii 90nm. Pracovní frekvence byla v rozmezí 1.9GHz až 3.2 GHz a frekvence sběrnice HyperTransport byla v rozmezí 1GHz až 1.8GHz. Pro patici byla použita technologie Socket 939, AM2 a AM2+.

Bylo několik řad procesoru Athlon 64 X2, kdy každá řada pracovala s novým typem čipu:

- Athlon 64 X2 s čipem Manchester (2005)
- Athlon 64 X2 s čipem Toledo (2005)
- Athlon 64 X2 s čipem Windsor (2006)
- Athlon 64 X2 s čipem Brisbane (2006)
- Athlon X2 s čipem Brisbane (2006)

Z názvu zmizelo číslo 64, protože v okamžiku vydání této řady bylo jisté, že se postupně všechny 32bitové procesory nahrazují za 64bitové. Nově tato řada používala výrobní technologii 65nm.

- Athlon X2 s čipem Kuma

Tento procesor vyšel už v rámci architektury K10 a používal patici AM2+.

Výhodou této řady oproti předchůdci byla dvojnásobná rychlost při práci s aplikacemi, které měly více vláken.

Další změnou bylo přejmenování mobilních řad Mobile Athlon na „Turion“ a Mobile Athlon 64 na „Turion 64“. Do této rodiny mobilních procesorů se přidala nová řada, a to Mobile Athlon 64 X2, která se přejmenovala na Turion 64 X2. Tato nová řada obsahovala procesory, které pracovaly se dvěma jádry.

3.2.5.II.3. K10

Nová architektura, společnosti AMD, která přišla na trh 10. října 2007 a byla založena na architektuře K8.

Tato generace procesorů byla poslední řada, která byla označována jako KX, kdy X označovalo kolikátá to byla generace.

Nejlepší procesory této architektury v roce 2007 obsahovaly 463 000 000 tranzistorů při výrobní technologii 65nm a v roce 2008 nejlepší procesor obsahoval 758 000 000 tranzistorů při výrobní technologii 45nm.

Technické novinky architektury K10:

- Zvýšení počtu jader procesorů, správa jader a energie pro jádra

Oproti předchozí generaci, u které procesory obsahovaly maximálně 2 jádra, vznikly nové varianty procesorů s třemi a čtyřmi jádry. Společně se zvýšením počtu jader se i změnil způsob dodávání energie, kdy nově se dodávání energie rozdělilo na část, která směřovala do jader procesorů, a na část, která směřovala do řadiče paměti a do severního můstku.

Byla použita technologie Dynamic Independent Core Engagement, která řídila množství dodávané energie.

Byla přidána nová technologie CoolCore, která vypínala/zapínala jádra, podle potřebného výkonu procesoru.

- Nová řada procesorů:

Do rodiny procesorů společnosti AMD přibyla nová řada procesorů Phenom, která byla určena pro stolní počítače. Procesory Phenom se během této architektury vyskytovaly v edicích se 3, nebo 4 jádry.

Během této architektury byla 3. generace procesorů Opteron, které jsou určeny pro serverové zařízení a pracovní stanice.

- Přibyla nová patice AM3, která nahradila AM2+.
- Podpora DRAM pamětí.

U předchozí generace, která využívala patici AM2+, procesory podporovaly paměti DDR2 RAM. Architektura K10 přišla s novou paticí AM3, která přinesla podporu pamětí typu DDR2 RAM a DDR3 RAM a snížila problémy s odezvou těchto pamětí.

- Změna ve správě adresního prostoru

V architektuře K10 jsou dva 64bitové nezávislé řadiče paměti, které mají své vlastní adresní prostory. Už v předchozích generacích byly 2 řadiče paměti, ale ty sdílely adresní prostor a mohlo dojít ke komplikacím v rámci náhodných přístupů v prostředí, kde převládaly aplikace s více vlákny.

Zvýšení podpory stránkování paměti až na 1GB paměti.

- Nově pro virtualizaci byla použita technologie AMD-V Nested Paging, která snížila dobu pro přepínání dat pro virtuální části o 25 % oproti předchozím metodám.
- U této architektury došlo ke změně označování, a kromě K10 je i označována jako K10H, nebo rodina 10H. Už architektura K8 se mohla označovat jako rodina 0FH neboli 08H. 10H a 0FH je reference na výsledek instrukce procesoru CPUIDx86.

3.2.5.II.4. Architektura Bulldozer

Architektura, která přišla na trh 12 října 2011. První architektura, která přerušila označování KX. Architektura Bulldozer se někdy nazývá také jako Rodina 15H.

Nejvýkonnější procesor Bulldozer v roce 2012 obsahoval 1 200 000 000 tranzistorů při výrobní technologii 32nm. Vyššího počtu tranzistorů se dosáhlo odstraněním redundantních elementů v čipu.

Oproti předchozí generaci procesory Bulldozer podporují většinu instrukčních sad od společnosti Intel. Další změnou bylo sdílení mezipaměti typu L2. Procesory dosáhly vyššího počtu jader, kdy 4 jádra byla reálná a pomocí virtualizace se přidaly další 4 jádra. U procesorů pro stolní počítače se dosáhlo s virtualizací celkem na 8 jader a u serverových procesorů Opteron se celkem dosáhlo na 16 jader, kdy 8 bylo reálných a 8 bylo přidáno virtualizací. Tyto změny označila společnost AMD jako „Moduly“. Procesor s 16 jádry by obsahoval právě 8 takových modulů. Pro sběrnici byla využita technologie HyperTransport verze 3.1, která pracovala na maximální frekvenci 3.20 GHz. Pro patice byla použita jenom nová patice AM3+.

Změnil se způsob, jak procesor pracuje s aplikacemi s několika vlákny. Do té doby se používala technologie Simultaneous MultiThreading (SMT). Procesory Bulldozer používají novou technologii Clustered MultiThreading (CMT), která používá jiný způsob zpracování. CMT je jednodušší systém než SMT, ale pracuje na podobném principu. CMT sdílí určité části procesoru mezi dvě a více vlákna anebo jsou některé části procesoru unikátní pro každé vlákno. U technologie SMT docházelo ke ztrátě výkonu v případě, kdy dvě vlákna se dožadovaly zpracování v stejný moment. Tento problém byl vyřešen právě sdílením určitých částí procesoru. Nevýhodou technologie CMT je ten, že větší počet výkonných jednotek je ve stavu nečinnosti. U aplikací s jedním vláknem se u technologie CMT používá maximálně polovina výkonných jednotek oproti technologii SMT, kde není žádný limit.

Architektura Piledriver

Architektura, která přišla na trh 15. května 2012. Architektura Piledriver není novou architekturou, ale je to častěji označováno jako „druhá generace“ procesoru Bulldozer, protože v návrhu procesoru, který využívá „moduly“, nedošlo ke změně.

Změny oproti procesoru Bulldozer jsou ve zlepšení technologii plánovače Aritmeticko-logické jednotky, kdy se zlepšila práce s celými čísly, a i s desetinnými čísly, zpřesnění předvídání, kdy se aplikace bude větvit. Pro patice byly využity technologie AM3+, FM2, FS1R2 a FP2. Novým prvkem byla podpora instrukční sady AVX 1.1, která zvýšila výkon při práci s vektory. Další výhodou bylo snížení spotřeby energie. Kvůli těmto optimalizacím se zvýšila pracovní frekvence přibližně o 10 % a výkon se zvýšil přibližně o 15%. Příklad zlepšení výkonu je procesor FX-9590, který dosáhl o 40% více výkonu oproti procesoru Bulldozer FX-8150, kdy oba procesory měly podobné charakteristiky.

Výrobní technologie zůstala na 32nm. Pracovní frekvence se pohybovala v rozsahu 3,3 GHz až 4,7 GHz.

Architektura Steamroller

Architektura, která přišla na trh 14. ledna 2014 a vystřídala architekturu Piledriver. Byla to 3. generace architektury Bulldozer.

Steamroller používá stejný „modulový“ systém po vzoru architektury Bulldozer. Výrobní technologie se snížila z 32nm na 28nm.

Oproti předchozím generacím se tato generace zaměřila na zvýšení výkonu pomocí paralelním výpočtům, kdy probíhá více výpočtů v jeden okamžik. U této generace se upravil systém plánovače pro instrukce, vylepšil se opět systém pro předvídání větvení aplikací. Dosáhlo se přibližně o 30% snížení počtu chyb, které byly způsobeny instrukcemi určené pro práci s mezi-pamětí. Nově byla integrována fronta pro mikro-operace. Zlepšil se řadič paměti a mezipaměť typu L2 je poprvé dynamicky obnovitelná.

Kvůli těmto optimalizacím se zvýšil výkon, oproti první generaci Bulldozer, přibližně o 30%.

Architektura Excavator

Architektura, která byla odhalena již během roku 2011 a během roku 2015 byl zahájena produkce prvních procesorů a vystřídala generaci Steamroller. Byla to 4. generace architektury Bulldozer a stejně jako generace Steamroller výrobní technologie byla 28nm.

U této generace se přidala podpora více sad instrukcí, například AVX2, BMI2 a RdRand. Procesory používají systém zvané „Tenké/Hubené knihovny“, které se už dříve používaly v souvislosti s grafickými kartami. Pomocí tohoto systému se snížila spotřeba přibližně o 30 %. Menšími změnami v návrhu jádra se dosáhlo toho, že procesor zvládá zpracovat přibližně o 15 % více instrukcí za určitý čas oproti generaci Steamroller.

U procesorů určených pro stolní počítače byla nově využita technologie „Architektura heterogenního systému“, která integrovala možnost, že úkoly typu výpočet funkcí pro procesor budou vypočítávány v čipech grafických karet. U těchto procesorů nebyly integrovány grafické čipy, protože by se celkově snížil výkon a zvýšila cena.

U procesorů, které byly určeny pro stolní počítače anebo pro mobilní zařízení, byla přidána podpora paměti typu DDR4 RAM a podpora patičky typu Socket AM4.

U procesorů pro serverové zařízení byla přidána podpora pro paměti typu DDR3 a DDR4. Dále byla přidána podpora sběrnice typu PCI express verze 3.0. Byla integrována technologie „Architektura heterogenního systému“.

3.2.5.II.5. Architektura Zen „Ryzen“

Architektura Zen byla oznámena už v červnu 2016 a první procesory vyšly v květnu 2017.

Architektura Zen byla vytvořena úplně od začátku a nebrala si z návrhu architektury a všech generací Bulldozeru nic. Výrobní technologie se snížila z 28nm na pouhých 14nm a byla použita technologie FinFET. Technologie FinFET (Fin Field-Effect Transistor), která nahradila technologii Cmos (Complementary metal-oxide-semiconductor), je výrobní technologie, která slouží pro umístění tranzistorů na čip. Čipy procesoru Zen byly přibližně o 10% menší, než čipy procesoru Skylake a Kaby Lake společnosti Intel, která použila stejnou výrobní technologii pro tyto procesory. Pomocí FinFETu a výrobní technologii 14nm se snížila spotřeba energie při stejné pracovní frekvenci.

Počet tranzistorů u prvních procesorů této architektury bylo 4 800 000 000. Počet jader bylo maximálně u procesoru pro stolní počítače 8 jader reálných a 8 jader virtuálních.

U procesoru Zen se zvýšil výkon v přepočtu na jednom jádru přibližně o 40% a celkově se zvýšil výkon přibližně až o 15% oproti generaci Excavator u architektury Bulldozer. Taktéž se zvýšil počet operací za určitý čas oproti generaci Excavator. Nově byla začleněna technologie Simultaneous multithreading, která dovolila na jednom jádru procesoru zpracovávat v jednom okamžiku dvě vlákna aplikací. U procesoru byla využita technologie senzorů napříč procesorem, které dynamicky nastavovaly frekvenci a napětí, podle vytíženosti procesoru. Tyto senzory také umožnily ochladit procesor, když nebyl vytížen.

Procesory podporují nové instrukční sady a nově se přidala se podpora pro instrukční sadu AVX2, která pracuje s vektorovou grafikou a pochází od společnosti Intel. Přestože se přidala podpora pro tyto instrukční sady, tak ne vždy se zpracovávají instrukce z těchto sad rychlostí 1:1 jako na procesorech, které byly pro ně primárně určeny. Procesory Zen zpracovávají instrukce AVX2 poloviční rychlostí vůči procesorům Intel.

Zen se dočkal podpory pamětí typu DDR4, a to podpora až 8 paměťových kanálů. Nově byla integrována technologie „Error-correcting code memory“, která má za cíl nalézt narušená data a pokusí se je napravit, či odstranit úplně. Takové chyby jsou nepřijatelné u programů určených například pro vědecké, nebo finanční výpočty.

Další integrované technologie jsou AMD Secure Memory Encryption (SME) a AMD Secure Encrypted Virtualization (SEV). Technologie SME zajišťuje kryptování paměti v reálném čase při každém vložení do tabulky stránkování paměti a následném dekryptování při vyžádání dat z tabulky a zvyšuje bezpečnost neoprávněnému přístupu paměti anebo úplné kontrole zařízení přes paměť. Technologie SEV zařizuje kryptování obsahu paměti u virtuálních zařízení, kdy klíč ke kryptování, a i následnému dekryptování je vždy unikátní pro každý virtuální zařízení.

Poprvé od architektury K7 se změnil systém názvů, kdy procesory pro stolní počítače Athlon byly vystřídány procesory Ryzen a procesory pro serverové a výkonné stanice Opteron byly vystřídány procesory Epyc. Nejlepší procesor Epyc, který měl 16 fyzických jader a spolu s virtuálními měl 32 jader, obsahoval 19 200 000 000 tranzistorů.

V rámci řady Ryzen jsou 3 kategorie procesorů. Procesory Ryzen 3, které byly používány jako procesory s nízkým výkonem a takové procesory jsou označovány jako Ryzen 3 1200 anebo 1300. Procesory Ryzen 5, které poskytovali střední výkon a byly označovány jako Ryzen 5 1400, 1500, nebo 1600. Procesory Ryzen 7, které byly určeny pro počítače, které vyžadují vysoký výkon a byly označovány jako Ryzen 7 1700 anebo 1800. Ve všech případech označení YXXX písmeno Y označuje generaci architektury Zen. Například Ryzen 1700 označuje první generaci architektury Zen. Pro procesory řady 5 a 7 je možné najít postfix x (např.: Ryzen 7 1700X), kdy X označuje, že procesor je možné přetaktovat.

Kromě řady Ryzen pro stolní počítače existuje i řada Threadripper, která poskytuje vysoký výkon, který je vyšší než v případě Ryzen 7. Tyto procesory se označují jako Ryzen Threadripper 1900X, 1920, nebo 1950. Procesor Threadripper 1950 se prodával za dvojnásobnou cenu Ryzenu 7, tedy za 1000\$.

Pro patice byly použity technologie Socket AM4, který používala řada Ryzen, Socket TR4, který používal Threadripper, a Socket SP3, který používal Epyc.

2. Generace Zen+

První procesory 2. generace přišly na trh během dubna 2018.

Výrobní technologie se snížila ze 14nm na 12nm. Nezvýšil se počet tranzistorů, protože společnost AMD se rozhodla zvětšit prázdný prostor mezi tranzistory a tím zlepšit přenos energie a snížit teplotu, která by zůstávala právě v prázdném prostoru mezi tranzistory. Následkem této optimalizace bylo i to, že se zvýšila rychlost procesoru a snížila se i spotřeba energie oproti první generaci. Dalšími změnami bylo snížení doby odezvy mezipaměti a paměti, zvýšení průchodnosti paměti a podpora paměti typu DDR4 SDRAM.

Nově byly integrovány technologie Precision Boost 2 a eXtended Frequency Range 2. Obě tyto technologie jsou algoritmy, které optimalizovaly práci jader, energie a vydávané teplo. První generace těchto technologií byly už v první generaci Zenu, ale byly to technologie, které se daly v systému vypnout a zapnout. Tato druhá generace těchto technologií je integrována do systému takovým způsobem, kdy nelze tyto technologie vypnout.

Následkem těchto změn je 3 % zvýšení rychlosti provádění instrukcí za jeden cykl procesorových hodin. Spolu se s 6 % zvýšením rychlosti procesorových hodin se zvýšil celkový výkon o 10 %.

U této generace se zachoval systém pojmenovávání procesorů a řad z první generace. Jedinou změnou v tomto systému bylo to, že změnilo číslování pro určité řady. Ryzen 3 obsahoval jen řadu Ryzen 3 2300X. Ryzen 5 obsahoval řady Ryzen 5 2500, 2600m, kdy se objevil nový prefix u řady 2600E, kdy E znamená nižší produkci tepla. U procesoru 2600 bez atributu E byla produkce tepla 65W a s tímto atributem byla produkce tepla 45W. U řady Ryzen 7 byly řady jenom 2700, ale byly verze s nižší spotřebou (E), s přetaktováním (X). U řady procesorů Threadripper byly číselné řady 2920, 2950, 2970 a 2990, kdy byly verze s přetaktováním (X) a verze s vysokým výkonem v grafických modulech (WX).

Během této generace nebyly vydány nové serverové procesory značky Epyc.

3. Generace Zen 2

3. generace architektury Zen, která přišla na trh v červenci 2019 a přinesla změnu výrobní technologie 12nm na 7nm.

U této generace se provedla další optimalizace, která zvýšila rychlost zpracování instrukcí za jeden cykl procesorových hodin přibližně o 13 %. U procesorů této generace se změnil způsob napojení čipu procesoru na čip I/O (přístupní/výstupní), kdy u 1. a 2. generace byl tento čip I/O součástí procesoru, ale u této generace se tyto čipy osamostatnily. Toto schéma se nazývá „Modul s více čipy“, a umožňuje snadněji provádět změny ve výrobě těchto procesorů. Byla přidána podpora pro sadu instrukcí AVX verze 2, která vylepšují práci s vektorovou grafikou a oproti první verzi se instrukce zpracovávají rychlosti 1:1.

Zlepšila se hardwarová ochrana před „Přízraky“. Přízraky se nazývají programy, které dokáží získat citlivá data přes přístup k paměti.

Procesory se označují jako řady 3000. Tato generace přinesla 2. generaci serverových procesorů Epyc, které používaly výrobní technologii 7nm a výrobní technologii 14nm pro příchozí a odchozí sběrnice na každém procesoru. Následkem těchto změn procesory Epyc podporují 64 fyzických jader a dokáží zpracovávat 128 vláken v jeden okamžik na jedné patici.

Procesory pro stolní počítače Ryzen 5,7 se rozšířily o novou řadu 9, která dosahovala ještě vyššího výkonu, než řada Ryzen 7. Příkladem je procesor Ryzen 3700X, který obsahoval 5 990 000 000 tranzistorů, a procesor Ryzen 3900X, který obsahoval 9 890 000 000 tranzistorů. U těchto procesorů pro stolní počítače je podpora pro 8 fyzických jader a dalších 8 jader virtuálních. U procesoru se využívá modulový systém, kdy jeden modul obsahuje dvě fyzická jádra. Procesory s 8 jádry obsahují 4 tyto moduly.

Během této generace nebyly vytvořeny procesory řady Ryzen 3. Ryzen 5 obsahuje číselné řady 3500 a 3600. Ryzen 7 obsahuje číselné řady 3700 a 3800. Nová řada Ryzen 9 obsahuje číselné řady 3900 a 3950. U všech těchto řad se vyskytují verze, které umožňují přetaktování (X).

4. Proces výroby křemíkového procesoru

4.1. Základní materiál

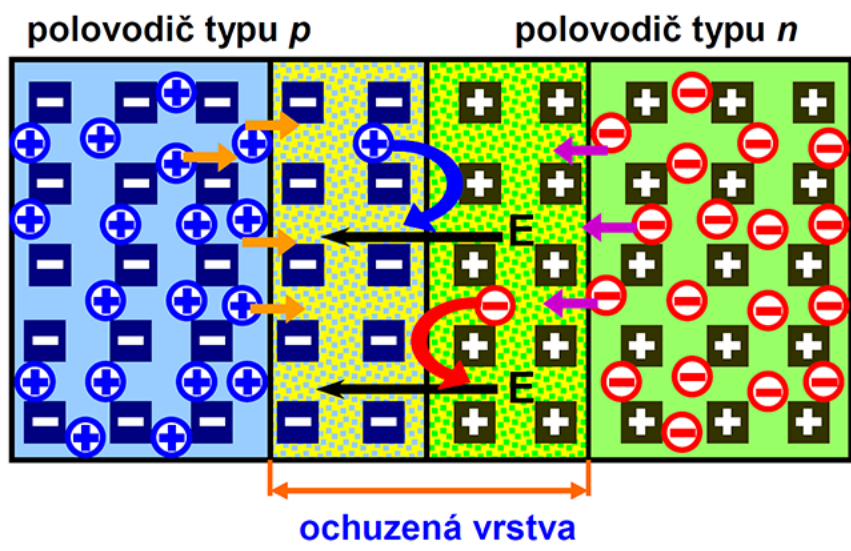
V dnešní době jsou v počítačích využívány obvody s velmi vysokou integrací, přičemž tyto obvody se skládají z tranzistorů. Tranzistor je součástka tvořená polovodičovým materiálem, jenž má vysokou elektrickou vodivost. Mezi polovodičové materiály patří hlavně křemík, kvůli svému množství na zemi (14,5 %) a méně častěji germanium a arsenid galia. Křemík se nevyskytuje v přírodě v čistém stavu, ale jen ve formě sloučenin. Pro výrobu se využívá proto křemenný písek ve složení SiO_2 .

4.2. Fyzikální vlastnosti

Křemík je prvek, který se krystalizuje do plošně centrované kubické mřížky s celkem čtrnácti atomy křemíku. Křemík je čtyřvázný prvek, což znamená, že každý atom křemíku vytváří pevnou vazbu se svými čtyřmi nejbližšími sousedy. Pokud je tato vnitřní struktura dodržena v celém svém objemu, tak se označuje křemík jako monokrystalický. Právě monokrystaly křemíku mají díky své pravidelné struktuře ideální vlastnosti a používají se jako základ k výrobě integrovaných obvodů.

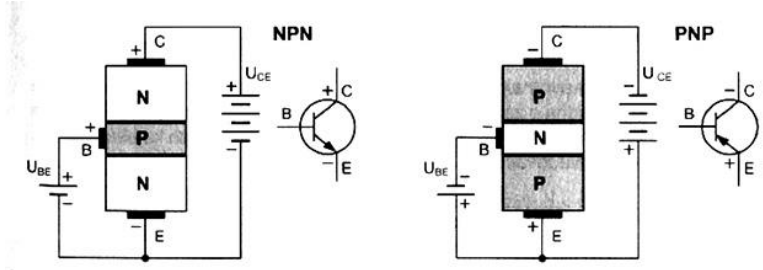
Při výrobě tranzistorů se velice často přidávají příměsi do téměř čistého křemíku, aby se změnila elektronické vlastnosti. Křemík je čtyřvázný prvek a každý z atomů vytváří vazbu se čtyřmi nejbližšími sousedy. Pokud se přidá do křemíku pětivázný prvek (fosfor, arzen, antimon), tak se navážou atomy tohoto prvku čtyři silné vazby s křemíkem a pátá vazba bude velice slabá. Nadbytečný elektron v takové vazbě bude držen jen slabě, a právě takový elektron bude uvolněn do vodivostního pásu, kde se chová jako volný nosič náboje. Na místě uvolněného elektronu vznikne tzv. kladná díra, což je místo, které vyjevuje kladný elektrický potenciál. Všechny elektrony vyjevuje záporný elektrický potenciál. Tento jev, přidání pětivázného prvku do čtyřvázného prvku, se nazývá nevlastní vodivost a polovodič se nazývá nevlastním polovodičem typu N, kdy N znázorňuje počet vazeb.

V případě, že se do křemíku přidá prvek s tříváznou vazbou (bor, indium), tak vzniknou tři stabilní vazby a čtvrté vazbě bude chybět jeden elektron a bude se chovat jako kladně nabitý nosič. Tento jev, přidání třívázného prvku do čtyřvázného prvku, se nazývá nevlastní vodivost a polovodič se nazývá nevlastním polovodičem typu P, kdy P znázorňuje počet vazeb.



Obrázek č.7 polovodiče typu P a N po přiložení a vznik ochuzené vrstvy (zdroj: UMEL, FEKT VUT)

Právě vazbou PN jsou tvořeny tranzistory, respektive přechody mezi dvojicemi PNP a NPN. Další informace o tranzistorech v kapitole 4.



Obrázek č.8 tranzistory NPN (vlevo) a PNP (vpravo) (zdroj: klopneobvody.hys.cz/tranzistory.html)

Pro výrobu je důležité orientace krystalografické mřížky vůči povrchu křemíkového plátu (tzv. waferu), neboli vůči povrchu čipu. Pro znázornění této orientace se používají dva způsoby.

- A) Orientace 111, kdy je pomyslná krychle z krystalografické mřížky pootočena o 45° vůči povrchu čipu.
- B) Orientace 100, kdy je jedna stran pomyslné krychle z krystalografické mřížky rovnoběžná s povrchem čipu.



Obrázek č.9 označení natočení mřížky vůči povrchu waferu (zdroj: PCTuning – Týden)

4.3. Proces zpracování křemíku

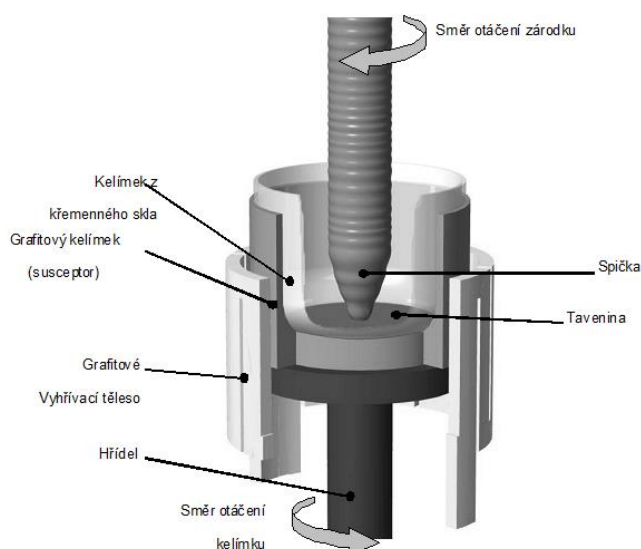
Pro výrobu waferu se využívá Křemenný písek, který je potřeba před dalším zpracováním vyčistit a dosáhnout téměř dokonalé čistoty o hodnotě 99,999%.

Nejprve se provede chemická reakce křemenného písku s uhlíkem, kdy vznikne tzv. hutní křemík a oxid uhelnatý. Hutní křemík však není dostatečně čistý, provede se proto reakce s chlorovodíkem a vznikne trichloristan. Ten se destilací opětovně čistí a po další reakci s vodíkem vzniká dostatečně čistý křemík vhodný pro použití v integrovaných obvodech.

Vyčištěný křemík má polykrystalickou strukturu, která je pro použití v integrovaných obvodech nevhodná. Pro elektrotechniku je vyžadována monokrystalická struktura, která má shodnou orientaci krystalografické mřížky v celém svém objemu. Monokrystal se získává přetavením polykrystalu s následnou přesně řízenou krystalizací pomocí Czochralského metody v zařízení nazvaném tažička. Nejprve se střepy polykrystalického křemíku nasypou do kelímku, který se skládá z vnitřní a vnější části.

Vnitřní kelímek je vyroben z křemenného skla a v něm je uložen polykrystalický křemík. Tento kelímek je pak vložen do vnějšího kelímku, který je tvořen grafitem, a je zahříván, kdy pomocí svého složené rozvádí rovnoměrně teplo do vnitřního kelímku.

V první fázi výroby monokrystalu se kelímek s polykrystalickým křemíkem spouští do topné zóny s vyhřívacím tělesem a dochází k tání polykrystalu. Teplota taveniny se udržuje jen lehce nad teplotou tání křemíku (okolo 1450 °C).



Obrázek č.10 Průřez tažičkou

(zdroj: http://webs.zcu.cz/fel/kev/SOV/Text/ON_Semiconductor/SiW_Cz.pps.)

Jakmile je křemík roztavený, pomalu se do něj zanoří držák se zárodkem. Zárodek je malý monokrystal se stejnou krystalografickou orientací, jakou požadujeme u výsledného

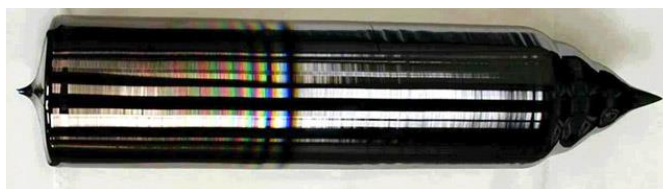
monokrystalu. Ponořená část zárodku se v tavenině začne tavit, čímž dojde k roztavení případných vad způsobených předchozím použitím zárodku, a začne se vytvářet vazba na taveninu.

Zárodek se semínkem se začíná vytahovat z taveniny, přičemž rychlost vytahování je výrazně vyšší, aby tak vznikl úzký krček s průměrem jen několik milimetrů a délkou několik centimetrů. Jeho účelem je odstranit případné poruchy krystalografické mřížky (dislokace), které mohly vzniknout teplotním šokem při prvotním ponoření zárodku do taveniny.

Průměr těchto monokrystalů se zvyšuje se zlepšujícím se řízením výroby. Během roků 2018 a 2019 by se mělo začít používat 450 mm monokrystalů, přičemž se prozatím využívají monokrystalu s průměrem 300 mm. V minulosti se využívaly monokrystalu s průměrem 80 mm na mezi lety 60. a 70.léta, od 90. let se používaly monokrystalu s průměrem 200 mm a od roku 2000 do současnosti monokrystalu s průměrem 300 mm.

Když monokrystal naroste do požadované šířky, tak se provede zarovnání a stabilizace všech parametrů tak, aby se průměr monokrystalu při dalším tažení už neměnil. V okamžiku, kdy je monokrystal zarovnán a byl nastaven průměr krystalu, tak se provede tažení samotného těla monokrystalu, ze kterého se vyrobí integrované obvody. Tento proces, tažení těla monokrystalu, musí probíhat v homogenních podmínkách.

Po vytažení těla monokrystalu následuje tvorba špice krystalu, kdy se rychlost tažení postupně zvyšuje, čímž klesá průměr monokrystalu. Zúžení zamezuje vzniku poruch krystalové mřížky, ke kterému může dojít vlivem teplotního šoku po vytažení celého krystalu z taveniny. Křemíkový monokrystal se následně pomalu chladí.



Obrázek č.11 křemíkový ingot — nalevo zbytek krčku a hlava, uprostřed tělo, dole špice (zdroj: PCTuning – Týden)

Hotový křemíkový monokrystal se nazývá ingot, odštříhne se z tažičky u krčku a je připraven k dalšímu zpracování. Výroba ingotu z polykrystalického křemíku většinou trvá dva až tři dny. Ingot může být přes metr dlouhý a váží přes 100 kg.

Z hotového křemíkového ingotu se následně odřeže nepotřebná hlava a špice a samotné tělo ingotu se rozřeže na maličké části, přičemž z několika různých míst se odeberou tenké vzorky. Na těchto vzorcích se testují základní fyzikální vlastnosti, a pokud tyto vlastnosti odpovídají požadovaným stavům, může se přejít k následujícímu kroku, což je přesné zbroušení ingotu do válcovitého tvaru s požadovaným průměrem (v současnosti se využívá průměr 300mm a vybroušení hlavní a vedlejší fasety označující typ polovodiče. Tyto fasety se do monokrystalu brousí radiálně.

Následuje nařezání těl ingotů na malé úzké desky, tzv. wafery, s šířkou v řádu stovek mikrometrů (desetina milimetru). Nařezané wafery mají ostré hrany, které je nutné zabrousit, čímž se výrazně zvýší pevnost. Wafer se umístí na pomalu se otáčející držák a k její hraně je

přitlačen rychle se otáčející brusný kotouč. Ten má ve drážce tlačící na hranu kotouče diamantový prášek, který je používán k zabroušení hrany.

Na povrch křemíkových desek se provede proces lapování, aby se povrch vyrovnal. Proces louhování zanechává na waferu řadu malých poruch, které je nutné opět odstranit.

K odstranění těchto poruch se využívá chemické leptání, které dokáže je odstranit a zároveň po sobě nezanechá nové poruchy.

Existují dva způsoby, jak povrch křemíkových desek leptat:

- 1) Louhové leptání – Při tomto procesu se křemíková deska ponoří na několik desítek vteřin do roztoku hydroxidu draselného.
Výhody: Snadné řízení procesu.
Nevýhody: Nerovnoměrný povrch waferu, tento způsob může vytvořit malé důlky na povrchu.
- 2) Kyselinové leptání – Při tomto procesu se křemíková deska ponoří na několik desítek vteřin do roztoku kyseliny dusičné a fluorovodíkové
Výhody: Proces nevytváří poruchy na povrchu křemíkové desky.
Nevýhody: Obtížné řízení procesu, tvoří se ekologicky nebezpečné výpary.

Při zpracování křemíkových desek se silně příměsovým křemíkem je důležité chránit zadní stranu desek před únikem příměsí, aby se nezměnili elektrické vlastnosti materiálu. Z tohoto důvodu se nanáší silan (SiH_4), který při vysoké teplotě chemicky reaguje a na desce vzniká tenká vrstva oxidu křemičitého (SiO_2), který příměs z waferu nepropustí.

Jelikož povrch křemíkových desek není dokonale rovný, tak se provádí zarovnání a vyhlazení leštěním. Během tohoto procesu se wafery přisáté k podložce pohybují po kotouči s leštící podložkou. Prostor, mezi křemíkové desky a podložkou, je naplněn vodní emulzí s částicemi oxidu křemičitého a čistidly. Po tomto procesu je povrch křemíkové desky dokonale zarovnán a vyleštěn, ale na povrchu se nachází množství nečistot, které se následně v několika krocích vyčistí, aby byly připraveny k použití.

Připravené wafery je potřeba před výrobou samotných integrovaných obvodů zkontrolovat. Měření probíhají bezkontaktně a měří se elektrické parametry waferů (měrný odpor), mechanické vlastnosti (zakřivení desky), tloušťka desky a její proměnnost. Protože po měření mohou být na desce opět nečistoty, probíhá poslední čištění, kdy desku oplachuje roztok hydroxidu amonného a současně ji mechanicky čistí jemné kartáče z polyvinyl alkoholu (PVA). Po optické kontrole jsou wafery připraveny k nainstalování integrovaných obvodů.

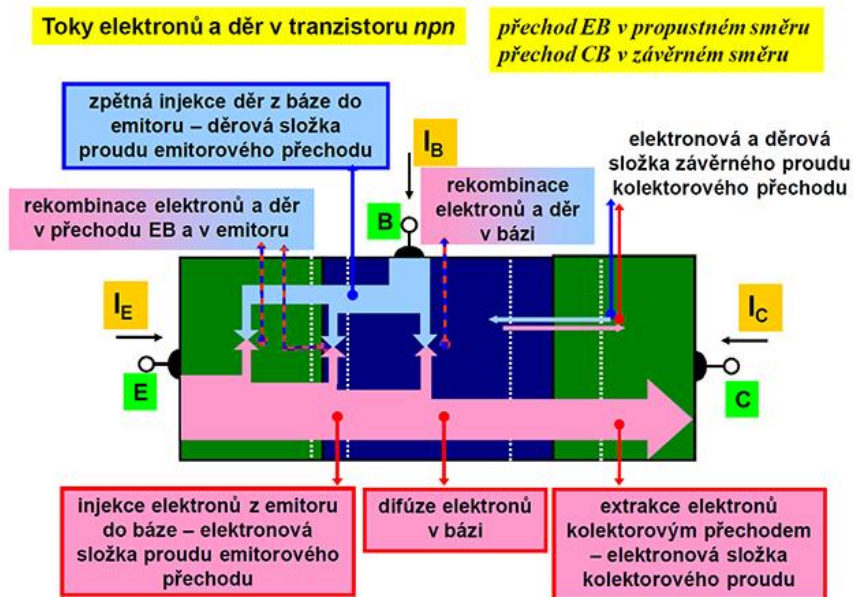
4.4. Bipolární tranzistor

kapitola se odkazuje na kapitolu 4.2.– fyzikální vlastnosti – na přechod NPN a PNP

Bipolární tranzistory se nazývají bipolárními, protože proud vedou majoritní i minoritní nosiče náboje (díry i elektrony), na rozdíl od unipolárních tranzistorů, u kterých vede proud pouze minoritní nosiče náboje (jenom díry, nebo jen elektrony, podle typu kanálu)

V praxi se využívají tranzistory typu NPN a PNP Oba typy fungují stejným způsobem, ale mezi nimi je jen jeden rozdíl. U tranzistorů typu PNP jsou majoritní nosiče děr. Tranzistory

typu NPN jsou majoritními nosiči elektrony. V následujícím popisu se bude vysvětlovat tranzistor typu NPN, protože rozdíl je téměř nepatrný.

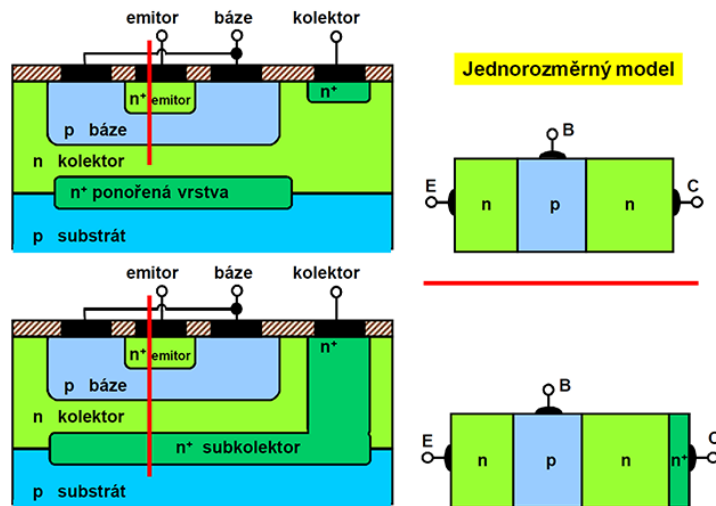


Obrázek č.12 – toky elektronů a děr v tranzistorů NPN (zdroj: UMEL, FEKT VUT)

U bipolárních tranzistorů je řídicím prvkem báze-emitor. Tento prvek je polarizován v propustném směru a funguje na stejné bázi jako dioda. Na přechod je přiloženo napětí nutné pro odstranění ochuzené vrstvy U_{BE} (0,65 V u křemíku). Přechodem tečou elektrony (u tranzistoru typu PNP díry) z emitoru do báze a v menší míře také díry (u typu PNP méně elektronů) z báze do emitoru. Tento jev se nazývá emitorový proud I_E .

Rozdíl mezi diodou a bipolárním tranzistorem je, že by u klasické diody veškerý proud odešel bázi, ale u bipolárního tranzistoru je odsáván vysokou intenzitou elektrického pole, které produkuje závěrně polarizovaný přechod báze-kolektor. Většina elektronů proudících z emitoru proto skončí až v kolektoru a odejdou kolektorovým kontaktem (tento jev se nazývá proud I_C), zatímco bázi teče menší proud I_B (u běžných bipolárních tranzistorů v řádu stovek menší než proud I_C).

Přestože majorita proudu teče mezi emitorem a kolektorem, je tento proud přímo řízen malým proudem mezi bázi a emitorem. Bipolární tranzistor se proto nazývá též jako zdroj proudu řízeném proudem. Čím vyšší je proud bázi, tím vyšší je i kolektorový proud.



Obrázek č.13 Struktury bipolárního tranzistoru NPN na waferu (zdroj: UMEL, FEKT VUT)

4.5. Unipolární tranzistor

Druhý typ tranzistorů. U unipolárních tranzistorů existuje několik rozdílů oproti bipolárních tranzistorů:

- 1) Bipolární tranzistory fungují jako zdroje proudu, které jsou řízené proudem.
Unipolární tranzistory fungují jako zdroje proudu, které jsou řízené napětím.
- 2) Bipolární tranzistory mají vyšší ztrátový výkon a s tím i vyšší zbytkové teplo.
Unipolární tranzistory mají nižší ztrátový výkon a s tím i nižší zbytkové teplo.
- 3) V digitální elektronice se používají téměř výhradně jenom unipolární tranzistory, kvůli prvním dvěma rozdílům.
V analogové elektronice používají oba typy tranzistorů.
- 4) Rozdíl v označení prvků – u unipolárních tranzistorů se používá název hradlo/gate (G) místo označení báze, source(S) místo označení emitoru a drain(D) místo kolektoru.
- 5) Hradlo, oproti báze, je vždy izolované vrstvou dielektrika tak, aby hradlem procházel co nejmenší proud.

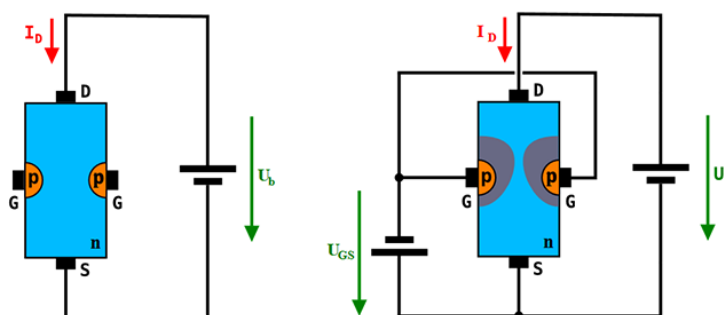
V praxi se používají dva odlišné druhy unipolárních tranzistorů.

JFET (někdy se používá název JUGFET – „*Junction gate field-effect transistor*“, v češtině se využívá pojem „*tranzistor řízený přechodovým hradlem*“)

MOSFET (někdy se používá název IGFET- „*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*“, v češtině se využívá pojem „*polem řízený tranzistor*“,).

Oba druhy tranzistorů mohou být typem P, nebo N, přičemž princip funkce je podobný, proto se v následujícím popisu bude vysvětlovat tranzistor typu JFETa MOSFET s kanálem typu N, protože rozdíl je téměř nepatrný.

Princip funkce tranzistoru JFET spočívá v proudu, který teče mezi kontakty drain-source a je řízen napětím na hradle G. V našem případě se jedná o JFET s kanálem typu N. Pokud na hradle není přiloženo žádné napětí, může kanálem téct volně proud. Pokud však na hradlo přiložíme napětí tak, aby byl přechod PN polarizovaný v závěrném směru, začne se kanálem okolo hradla typu P rozšiřovat ochuzená oblast (viz. kapitola – fyzikální vlastnosti). Tato oblast vytváří elektrické pole kolmé na směr toku elektronů mezi drainem a sourcem a stěžuje tok elektronů kanálem. Pokud na hradlo přiložíme dostatečně velké napětí, ochuzené oblasti rozšiřující se z obou stran kanálu se protnou a zamezí elektronům průchod kanálem.

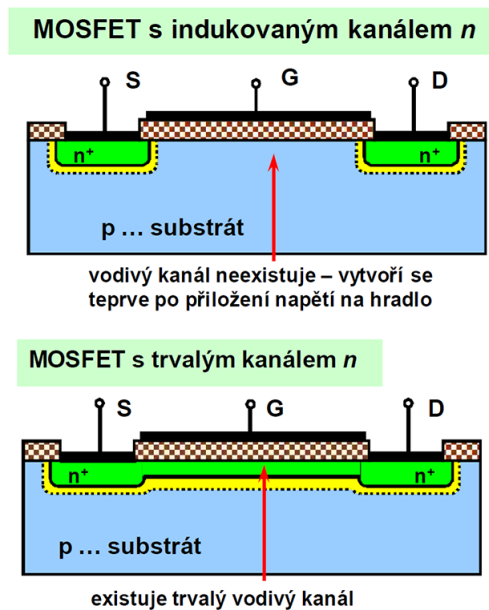


Obrázek č.14 Tranzistor JFET bez přiloženého napětí na hradle (vlevo) a s přiloženým napětím (vpravo); (zdroj: (zdroj: PCTuning – Týden))

Tranzistory MOSFET pracují podobně jako JFET na principu modifikace šířky kanálu mezi drainem a sourcem pomocí napětí, které je přiloženo na hradlo. Rozdíl je však v tom, že zatímco u tranzistoru JFET kanál pomocí napětí přiškrucujeme a tranzistor tím zavíráme, u tranzistoru MOSFET je tomu naopak.

V případě tranzistoru MOSFET bez vodivého kanálu neteče mezi drainem a sourcem při nulovém napětí na hradle žádný proud. Pokud na hradlo se přiloží kladné napětí, jsou díry v substrátu odpuzovány a pod hradlem se vytvoří ochuzená vrstva (viz. Obrázek – žlutě naznačená okolo source a drain). Tato vrstva je tím větší, čím větší je napětí na hradle. Od určitého momentu je však napětí na hradle a intenzita elektrického pole odpuzující díry tak velká, že v ochuzené oblasti začnou převládat minoritní elektrony nad původně majoritními děrami, vznikne tzv. inverzní vrstva s vodivostí typu N a dojde ke vzniku kanálu. Tím pak může mezi drainem a sourcem téct proud.

V případě tranzistoru s trvalým kanálem je princip funkce stejný. Kanál je však vodivý i při nulovém napětí na hradle a přiloženým napětím se jen zvětšuje. Teoreticky je možné jej „zaškrtnout“ přiložením napětí opačné polarity.



Obrázek č.15 Struktura tranzistoru MOSFET s indukovaným (nahore) a trvalým (dole) kanálem na waferu (zdroj: UMEL, FEKT VUT)

4.6. Výroba integrovaného obvodu na křemíkový plát

Na vyleštěném a připraveném waferu se hromadně vyrábí stovky až tisíce stejných integrovaných obvodů současně. Cílem tohoto procesu je, aby byla výroba co nejlevnější a pokud možno beze ztrát. Ty jsou dané například kruhovým tvarem waferu. Čím je kruh menší, tím větší jsou ztráty dané nevyužitým místem. Současně však velké wafery vyžadují dokonalejší technologie.

Základním předpokladem pro výrobu integrovaných obvodů je připravený wafer (označovaný jako substrát). V následujícím případě bude se popisovat postup výroby bipolárního tranzistoru NPN na křemíkovém substrátu typu P. Na substrátu se nechá vyrůst vrstva oxidu, ve které se vyleptají okna pro vytvoření utopené vrstvy.

Celý wafer je vystaven silné dotaci příměsí, během které do waferu v oblastech s otevřenými okny proniká příměs (v ostatních oblastech pronikání brání vrstva oxidu). V tomto případě (tranzistor NPN a substrát typu P) se jedná o pětimocnou příměs, která je do substrátu s vodivostí typu P (obsahuje třímocnou příměs) dodána tolik, až část substrátu změní svou vodivost z typu P na silně dotovaný typ N+. Jakmile je proces dotace ukončen, jsou okna opětovně uzavřena oxidy křemíku.

Následuje nárůst epitaxní vrstvy. V této části je důležité nejprve odleptat veškerý oxid z povrchu křemíkového plátu a následně, co nejrychleji, zahájit proces epitaxního růstu nového polovodiče na povrchu křemíkového plátu (v tomto popisovaném případě křemík s vodivostí typu N+). Pokud se tento proces nezahájí v rámci hodiny po dokončení předchozího procesu, tak se začne na běžném vzduchu povrch křemíkového plátu samovolně opětovně oxidovat. Po ukončení epitaxního růstu je celý povrch křemíkového plátu opětovně cíleně zoxidován.

Na povrchu křemíkového plátu se budou tvořit miliardy tranzistorů současně, proto je velice důležité samotné tranzistory izolovat, aby se navzájem neovlivňovali. Tranzistory jsou izolované ze spodní strany křemíkovým plátem s vodivostí typu P, a i boky tranzistoru musí být izolovány prvkem, který má vodivost typu P. Proto se v oxidu vytvoří okna pro izolaci a následně se do epitaxní vrstvy s vodivostí typu N dopovává třímocná směs. Tento proces se opakuje, dokud epitaxní vrstva pod otevřenými okny nezmění typ vodivosti z typu N na typ P. Tímto procesem se dosáhne boční izolace tranzistorů. Opět se okna uzavřou za využití oxidace.

Dalším krokem je vytvoření báze tranzistoru. Toho se dosáhne tak, že se v oxidu opět otevřou okna pro bázi a současně se i znovu otevírají okna pro izolaci. Báze tranzistoru NPN a izolace mají stejnou vodivost (typu P) a při dotaci příměsí je vytvořena báze a současně i izolace součástek pod povrchem se vylepší. Po této dotaci se okna opět uzavřou.

Následujícím krokem je vytvoření emitoru s opačnou vodivostí a silně dopovaný kontakt kolektoru (u tranzistoru NPN musí mít tyto dva prvky vodivost typu N a u tranzistoru PNPN musí mít vodivost P). V oxidu se vytvoří okna v oblastech těchto prvků a následnou dotací pětímocné příměsí jsou vytvořeny pod okny silně dopované oblasti typu N+, v případě tranzistoru NPN, nebo P+, v případě tranzistoru PNP. Po této dotaci jsou okna opět uzavřena.

Po předchozích krocích je tranzistor už hotový, ale potřebuje propojit s ostatními tranzistory, aby mohli tvořit síť spojů mezi sebou. V místech kontaktů s dalšími tranzistory jsou v oxidu vytvořena okna a následně se na celý křemíkový plát nanese vrstva kovu. Tímto způsobem vznikají integrované obvody.

4.7. Zapouzdření integrovaného obvodu

Integrovaný obvod je velice křehký, protože po zbrúšení jeho tloušťka pohybuje kolem 50 μm , a v běžných podmínkách by byl velice brzy zničen nečistotami, statickou elektřinou, mechanickým poškrábáním. Proto se provádí zapouzdření, aby se předešlo poškození. V minulosti se používaly keramická pouzdra, ale ty už jsou skoro ve všech případech nahrazeny pouzdry kovovými. Pouzdro má funkci, kromě ochranné funkce, rozvodu odpadového tepla z integrovaného obvodu na větší plochu. Toto samotné pouzdro u složitých obvodů, jako je procesor, nestačí pro odvod takového množství tepla, proto se dává na pouzdro chladič.

Výběr vhodného pouzdra se provádí podle počtu výstupních kontaktů integrovaného obvodu. Pokud má integrovaný obvod menší počet výstupních kontaktů a nebude vydávat moc odpadového tepla, tak se použije levné plastové pouzdro s několika „nožičkami“ po stranách. Pokud jde o složitý obvod se stovkami výstupních kontaktů a odpadní teplo bude příliš vysoké, tak je vhodné zvolit dražší keramické/kovové pouzdro s potřebným množstvím kontaktů ze spodní strany.

Následuje přilepení integrovaného obvodu neaktivní stranou do pouzdra. V tomto případě záleží opět, jak moc složitý je integrovaný obvod. V případě jednoduchého obvodu, který nebude třeba chladit, vystačí vhodné (epoxidové) lepidlo. V případě složitějšího obvodu je nutné přiletování vodivým kovem.

V případě, kdy je několik integrovaných obvodů na sobě, mluvíme o 3D integrovaném obvodu.

Následujícím krokem je nakontaktování, což znamená vodičové propojení integrovaného obvodu s pouzdrem.

Propojení mikrodrátky z technologií:

Termokoprese

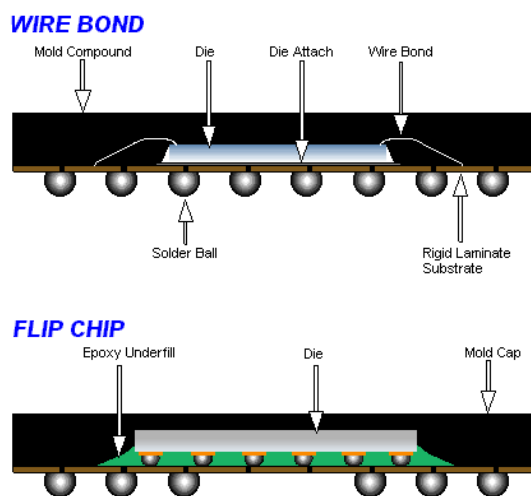
Při termokompresi se svár vytváří kombinací teploty a tlaku. Zlatý drátek je přiložen ke kontaktní plošce a rozžhaven na teplotu 250-380 °C. Následně je k plošce přitlačen, čímž dojde k roztavení zlata, které se jinak taví až při teplotě 1064 °C a vzniku sváru.

Ultrazvukové svařování

Ultrazvukové svařování je založeno na kmitání drátku a kontaktní plošky s frekvencí 30-120 kHz. Při této frekvenci dojde na základě smykového tření k prolínání atomu obou kovů a vzniku sváru. Spoj se vytváří při pokojové teplotě a nejčastěji používaným materiálem drátků je hliník.

Termosonické svařování

Termosonické svařování je kombinací ultrazvukové a termokompresí metody. Drátek i kontaktní ploška jsou totiž současně jak zahřívány, tak jsou rozkmitávány na frekvenci v řádu desítek kHz.



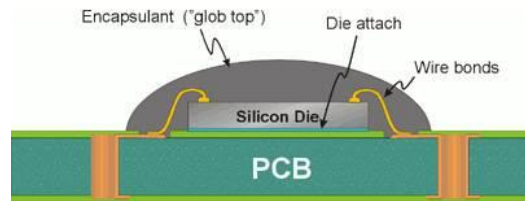
Obrázek č.16 Nahoře obvod propojení s pouzdrem mikrodrátky, dole technologie flip chip (zdroj: pcmag.com)

Technologie flip chip (obrácený čip)

Integrovaný obvod je obrácený aktivní stranou směrem dolů (oproti předchozím způsobům). Vodičové propojení obvodu s pouzdrem je zajištěno kuličkami pájky, nebo elektricky vodivého lepidla. Horní strana integrovaného obvodu, která je neaktivní, je přilepena/přiletována ke krytu pouzdra.

Chip on board (čip připojený přímo na desce)

V tomto případě se nepoužívá žádné pouzdro a integrovaný obvod je připevněn přímo na desku plošných spojů. Obvod je na tištěný spoj přilepen/přiletován neaktivní stranou. Tištěným spojem je aktivně propojen pomocí mikrodrátků. Výsledný celek je následně zalepen lepidlem, nebo jiným tuhoucím plastem. Tento celek funguje jako jediné pouzdro a ochrana obvodu. Náklady za využití této technologie jsou nižší, ale integrovaný obvod není tak odolný, jako u ostatních technologií.



Obrázek č.17 Chip on board (zdroj: pcmag)

Posledním krokem je dokončení zapouzdrění, čehož se dosáhne spojením horní a dolní části pouzdra. V levnějších případech se pouzdra spojí pomocí lepidla. V případech procesorů a grafických karet se pouzdro přiletuje, aby se zlepšil odvod tepla.

4.8. Technologie – oxidace

Nejčastěji při výrobě integrovaných obvodů se využívají oxidy křemíku. Tyto oxidy vznikají, když se povrch křemíkové desky nechá tzv. zoxidovat. Při tomto procesu se křemíkové desky uloží na křemennou lodičku a vloží se do oxidační pece. Tato pec musí být rozehrátá na teplotou 900–1200 °C a pustí se do ní čistý kyslík (tato technika se nazývá suchá oxidace), nebo vodní pára (tato technika se nazývá mokrá oxidace). Kyslík proudící okolo desek se usadí na povrch křemíkových desek. Následně kyslík reaguje s křemíkem a vzniknou oxidy křemíku, které na křemíkové desce zůstanou. Pro tento proces platí, že průběh oxidace není lineární, ale parabolický (čím déle tento proces trvá, tím se menší vrstva průběžně vytváří na předchozích vrstvách). Kromě čistého kyslíku/ vodní páry vhání i kyselina chlorovodíková v poměru 1:99. Právě tato kyselina slouží pro odstranění případných nečistot do odtahu pece, aby se tyto nečistoty neusadily na křemíkové desce. Tloušťka vrstvy oxidu se různí, podle cíle. Pokud se vytváří oxid pro kondenzátory, nebo hradla unipolárních tranzistorů, tak vrstva je široká několik desítek nanometrů. V případě maskování je vrstva širší v řádě stovek nanometrů.

Vyšší teploty se při oxidaci používají pouze pro urychlení procesu, jinak však povrch křemíkových desek na běžném vzduchu oxiduje téměř neustále. To je absolutně nežádoucí a při výrobě integrovaných obvodů je potřeba s tímto jevem počítat. Tento jev je kritický při růstu epitaxní vrstvy. V tomto případě je potřeba téměř okamžitě po odleptání oxidu začít s epitaxním procesem, jinak deska opět zoxiduje.

Rychlost tvorby oxidové vrstvy závisí na teplotě pece, metoda oxidace (mokrá oxidace je přibližně 10x rychlejší , než oxidace kyslíkem) a krystalografická orientace křemíku.

Samotný proces oxidace může trvat od jednotek minut až do řádu desítek hodin, kdy rozhoduje žádoucí šířka vrstvy a faktory tvorby.

4.9. Technologie – epitaxe

Epitaxe je proces, při kterém se na křemíkovou desku nechá narůst nová vrstva monokrystalového polovodiče. Nejčastěji se jedná o křemíkovou epitaxní vrstvu na křemíkový substrát, kdy typ vodivosti, a i koncentrace příměsí substrátu a epitaxní vrstvy mohou být úplně odlišné.

Nejrozšířenější typ epitaxe je plynná epitaxe. Při této metodě se křemíkové desky umístí do epitaxního reaktory, kdy v reaktoru je teplota mezi 900-1400 °C a proudí plyny s atomy křemíku. Nejčastěji se používá chlorid křemičitý, anebo silan. Jelikož je většinou potřeba, aby epitaxní vrstva nebyla úplně křemíková, ale aby byla směsí, kdy se jedná o příměsový křemík s požadovaným typem vodivosti a koncentrací směsí, tak proudí epitaxním reaktorem příměsové plyny, jako je diboran (pro polovodič typu P), fosfin nebo arsin (pro polovodič typu N). Požadovaná příměs se na křemíkové desce usazuje společně s křemíkem. Koncentrací příměsí lze řídit koncentrací plynu v reaktoru.

Rychlost procesu epitaxe je závislá na teplotě plynu, kdy při teplotách kolem 1200 °C je rychlost růstu vrstvy přes jeden mikrometr za minutu. Tento proces roste lineárně a v průběhu času se výrazně nezpomaluje.

4.10. Technologie – Difúze

Difúze je proces, společně s iontovou implantací, jeden ze dvou způsobů, jak lze dopovat polovodiče, což je způsob, jak měnit koncentraci příměsí polovodičů a tím i měnit typ vodivosti mezi typy P a N.

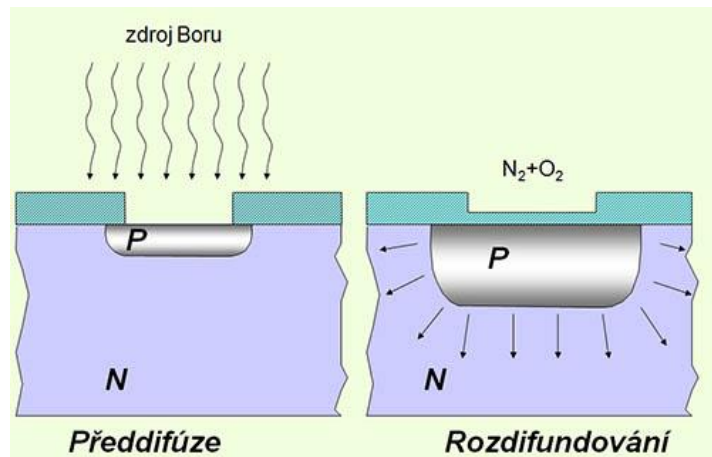
Difúze se skládá ze dvou částí:

1) Před-difúze

Atomy příměsí přecházejí ze zdroje do křemíkové desky a usazují se na povrchu.

2) Rozdifundování

Atomy příměsí se rozprostřou do větší plochy a do hloubky několika mikrometrů pod povrch. Sníží se koncentrace atomu příměsí u povrchu a vytvoří cílový tvar.



Obrázek č.18 Předdifúze a Rozdifundování(Zdroj: On Semiconductor)

Zdrojový materiál s příměsí (označován jako dopant) pro difúze může nabývat všech skupenství. V plynném skupenství dopant proudí okolo křemíkové desky. V kapalném skupenství se dopant nachází ve vaničce, kde se odpařuje a usazuje na křemíkové desce. V pevném skupenství dopantu je křemíková deska obložena dopantem. Difúze probíhá při vyšších teplotách, například u termické difúzi pohybuje okolo 1000 °C.

Výhodami difúze jsou neporušení struktur křemíkových desek, možnost zpracování více křemíkových desek současně.

Nevýhodami difúze jsou horší řízení procesu, kdy se špatně dosahují malé dávky příměsí, nutnost časově dlouhého rozdifundování a teplotní namáhání křemíkových desek.

4.11. Technologie – Iontová implantace

Iontová implantace je druhý způsob ze dvou, jak lze dopovat polovodiče, což je způsob, jak měnit koncentraci příměsí polovodičů a tím i měnit typ vodivosti mezi typy P a N.

Iontová implantace se provádí ve vakuu pomocí zdroje iontů, kterým bývá zpravidla speciální urychlovač částic, který částice urychlí elektrickým polem na rychlost více než 300 tisíc km/hodinu, a ionty s požadovanou hmotností vybere pomocí magnetického pole.[1] V případě nízkého urychlovacího napětí bez hmotnostního výběru mluvíme o vakuové depozici tenkých vrstev. Hloubka průniku závisí na implantovaném materiálu a velikosti iontů. Vhodnou volbou urychlovacího napětí lze měnit rychlost a tím i hloubku vniknutí.

Výhodou iontové implantace jsou přesné řízení dávky, místa i hloubky příměsí do křemíkové desky, relativní rychlost procesu (ve srovnání s difúzí).

Nevýhodou je nemožnost zpracování více křemíkových desek současně, případné poškození krystalografické mřížky. Některé poruchy lze napravit zahřátím křemíkových desek na vysokou teplotu.

4.12. Technologie – Fotolitografie

Fotolitografie slouží k výrobě masek, přes které následně probíhají samotné výrobní operace, jako je difúze nebo iontová implantace.

Fotolitografie je proces, který se skládá z osmi základních kroků:

1. Hydrofobizace povrchu

Proces, při kterém je povrchu křemíková deska očištěna a chemicky ošetřena, aby se na povrch dobře přilnul fotorezist.

2. Nanesení fotorezistu

Fotorezist, což je látka citlivá na světlo, která vlivem světla určité vlnové délky změní své vlastnosti (rozpadne se/ ztvrdne), podle této změny se rozlišuje pozitivní a negativní fotorezist. Před nanesením se křemíková deska umístí na podstavec do jeho středu se nanese několik kapek kapalného fotorezistu. Následně se podstavec roztočí a kapky fotorezistu se rovnoměrně rozloží po celé ploše křemíkové desky. Případně nějaké zbytky z křemíkové desky odletí a z tenké vrstvy na křemíkové desky se rychle odpaří rozpouštědlo, což způsobí, že fotorezist ztuhne na povrchu křemíkové desky.

3. Vysušení fotorezistu

Křemíková deska se umístí na plotnu, která je zahřata na teplotu přesně 100 °C. Během několika minut fotorezist, který byl dosavad mírně tuhý, ještě více zatvrdí na ploše křemíkové desky.

4. Expozice

V tomto kroku se umístí křemíková deska do speciálního držáku a následně prochází světlo přes masku s požadovanou vlnovou délkou a osvětlují se jednotlivé integrované obvody na křemíkové desce.

5. Vysušení a vytvrzení osvětleného fotorezistu

6. Vyvolání fotorezistu

7. Opětovné vysušení fotorezistu

Druhé sušení probíhá opět na zahřáté plotýnce stejně jako to první, teplota je však o něco vyšší. Obvykle okolo 120–140 °C. Po něm se wafer nechá vychladnout a ponoří se do vývojky. Ta z waferu odplaví veškerý fotorezist, který nebyl vytvrzen během expozice a byl skrytý pod maskou (negativní fotorezist), případně se během expozice vlivem světla uvolnil (pozitivní fotorezist).

8. Zkontrolování fotorezistu pod mikroskopem

Tento postup je použit na obě strany křemíkové desky

Pokud je motiv v pořádku, může se přejít k samotnému procesu, kvůli kterému byl motiv vytvořen. Tím je například leptání oxidu v místech, kde křemíková deska není zakryta fotorezistem. Fotorezist slouží současně jako leptání odolná vrstva a chrání zakryté části

křemíkové desky před odleptáním. Z tohoto důvodu je nutné, aby byl fotorezist nanesený z obou stran křemíkové desky.

Po ukončení leptání a očištění křemíkové desky od zbytků kyseliny naplnil fotorezist svůj účel (vytvoření oken pro další technologický krok) a je z křemíkové desky odstraněn rozpuštěním v příslušné chemické lázni.

4.13. Technologie – Metalizace

Základním předpokladem pro vytvoření vodivé sítě je vytvoření kontaktů na součástkách. Tento proces se skládá z několika částí — depozice metalu na povrch waferu, v jehož oxidu jsou fotolitografií vytvořena okna pro kontakty, vytvoření ochranné masky pro kontakty z fotorezistu, leptání odkrytého metalu a následné odstranění fotorezistu.

Právě metalizace zajišťuje nanášení kovové vrstvy. V praxi používají dvě různé technologie – vakuové napařování a katodové napařování.

Vakuové napařování

Vakuové napařování je založeno na principu odpařování materiálu ze zdroje a jeho kondenzaci na cíli (křemíkových deskách nebo tzv. substrátech). Zdrojový materiál napařování (měď, nebo případně hliník) je umístěn ve výparníku, kde je elektricky zahříván na velmi vysokou teplotu tak, aby začal vařit a odpařovat se. Atomy odpařené látky následně kondenzují po stěnách zařízení i na substrátech.

Z důvodu zvýšení dráhy doletu atomů odpařené látky je z celého prostoru čerpán plyn (probíhá vakuově pod tlakem 10^{-4} až 10^{-6} Pascalů) a zbylý plyn je inertní (například dusík).

Katodové napařování

Katodové napařování je svým principem podobné vakuovému napařování. Rozdíl je, že zdrojový materiál není zahříván jako u napařování, ale je na něj přivedeno vysoké záporné napětí (elektrická katoda), zatímco na substráty (křemíkové desky) jsou uzemněny (elektrická anoda). Silou elektrického pole vzniká mezi katodou a anodou doutnavý výboj, kdy kladně nabití ionty narážejí do katody (zdrojového materiálu) a vyrážejí z něj atomy kovu. Ty se následně usazují na okolních tělesech včetně substrátů, čímž na křemíkové desce vzniká tenký kovový povrch. Podobně jako vakuové napařování probíhá i katodové napařování při sníženém tlaku inertního plynu (dusíku). Vzhledem k povaze procesu však stačí menší vakuum s tlakem okolo 10^{-1} Pascalů.

5. Gordon Moore a jeho zákon

5.1. Gordon Moore

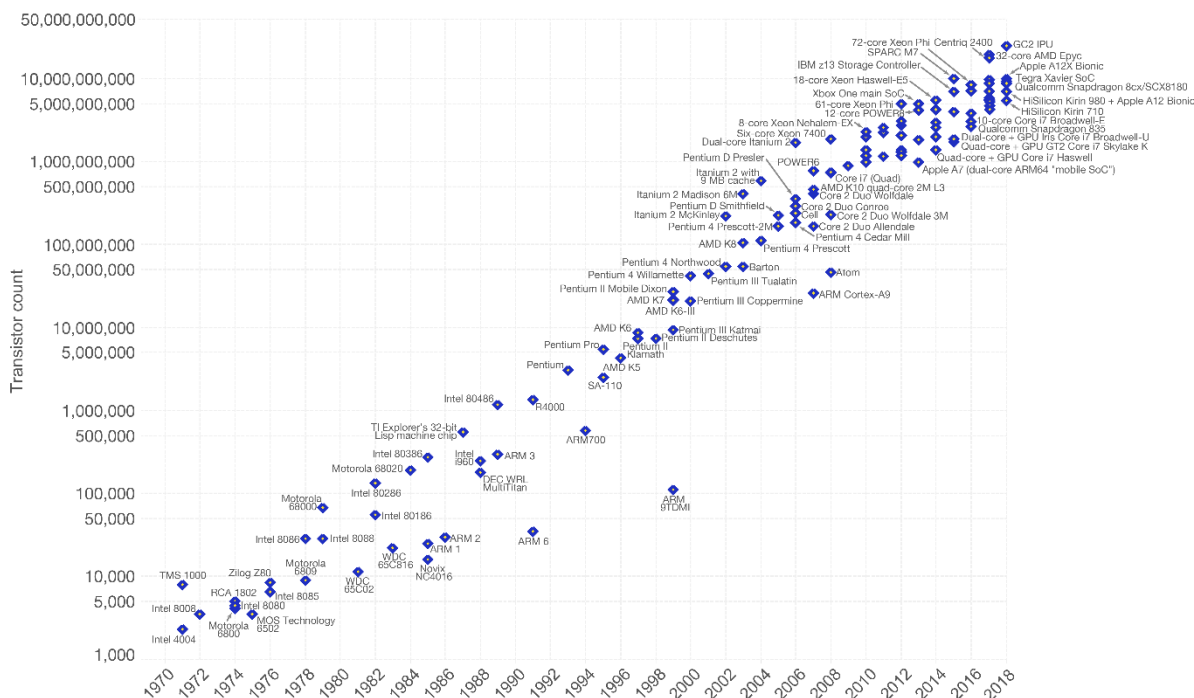
Gordon Moore byl obchodník, inženýr a spoluzakladatel společnosti Intel Corporation. Moore získal mnoho ocenění za přínos vědě. V roce 1976 se stal členem národní akademie Inženýrství. V roce 1990 dostal národní medaili za přínos Vědě a vývoji od prezidenta George H.W. Bushe. A spousty dalších ocenění.

5.2. Moorův zákon

Moorův zákon je předpověď, že se počet tranzistorů v integrovaných obvodech zdvojnásobí přibližně každé dva roky. U této předpovědi z roku 1965 se předpokládalo, že bude pravdivá přinejmenším další desetiletí.

Moore's Law – The number of transistors on integrated circuit chips (1971-2018)

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



Data source: Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count)

The data visualization is available at [OurWorldinData.org](https://ourworldindata.org). There you find more visualizations and research on this topic.

Licensed under CC-BY-SA by the author Max Roser.

Obrázek č.19 Moorův zákon (zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/Moore%27s_law)

V roce 1975 Gordon Moore upravil tuto předpověď z dvou let na 18 měsíců, kvůli výkonnému řediteli Intelu Davidu Housovi, který vydal prohlášení, že se tranzistory zefektivní a budou rychlejší během následujících let.

Moorova předpověď se ukázala být přesná pro několik dekad a byla používána v polovodičovém průmyslu pro řízení dlouhodobého plánování a stanovené cíle pro výzkum

a vývoj. Tento zákon ovlivnil pokrok v technologii jako ceny mikroprocesorů s upravenou kvalitou, kapacitu pamětí, senzory, počet a velikost pixelů v digitálních fotoaparátech. Digitální elektronika takto ovlivněna přispěla ke světovému hospodářskému růstu koncem dvacátého a počátku dvacátého prvního století. Moorův zákon popisuje hnací sílu technologických a sociálních změn, produktivity a hospodářského růstu.

Moorův zákon je pozorování a projekce historického trendu, a ne fyzikálního či přírodního zákona. I když se míra od roku 1975 do roku 2012 udržovala stabilní, v prvním desetiletí byla rychlost rychlejší. Obecně není logicky rozumné extrapolovat z historické míry růstu na neurčitou budoucnost. Například aktualizace Mezinárodního technologického plánu pro polovodiče v roce 2010 předpověděla, že růst se v roce 2013 zpomalí, a v roce 2015 Gordon Moore předpokládal, že míra pokroku by dosáhla saturace a prohlásil „Vidím, že Moorův zákon tu umírá v příštím desetiletí nebo tak“.

Intel v roce 2015 uvedl, že tempo pokroku se zpomalilo, počínaje šířkou 22 nm kolem roku 2012 a pokračováním 14 nm. Bývalý generální ředitel společnosti Intel Brian Krzanich oznámil: „Náš cykl ve vývoji je dnes spíše dva a půl roku než rok a půl.“ Společnost Intel také v roce 2017 uvedla, že hyperscaling by mohl pokračovat v duchu Moorova zákona a kompenzovat agresivním škálováním za typickým zdvojením tranzistorů. Krzanich citoval Mooreovu revizi z roku 1975 jako precedens pro současné zpomalení, které vyplývá z technických výzev a je "přirozenou součástí historie Moorova zákona".

5.3. Aktuálnost Moorova zákona

Z předchozí kapitoly lze na obrázku č.19 Moorova zákona vidět, že od roku 1970 byl tento zákon víceméně přesný a skoro každé dva roky se přibližně zdvojnásobil počet komponent na mikroprocesoru. Až rokem 2012-2013 lze říci, že dochází k výkyvu a nezdvójnasobuje se výkon. Což historicky lze platnost tohoto zákona obhájit tím, že v roce 1989 byla výrobní technologie mikroprocesoru 1000nm, v roce 1993 to bylo 600 a tak dále. Skoro každé dva roky se výrobní technologie snížila přibližně o 1/3 z předchozí hodnoty. V době dokončení této práce platnost tohoto zákona je nejistá, protože se výrobní technologie pohybují u 7nm, ale už jsou připravovány mikroprocesory s technologií 5nm.

Důvod, proč Moorův zákon „přestává / přestal“ platit v dnešních dnech, souvisí s tím, že se prodlužuje doba, než se zdvojnásobí počet tranzistorů v integrovaném obvodu, a blíží se okamžik, kdy se bude muset vyhledat nový způsob navyšování výkonu než zvyšováním počtu tranzistorů. Dalším důvodem je ten, že se ekonomicky společností nevyplatí vyvíjet, už tak drahé, technologie miniaturizace a výrobní technologie se už tak blíží k okamžiku, kdy nebude možné překonat určitý bod miniaturizace, kvůli fyzikálním zákonům.

Nelze říci, až na jakou velikost nm se technologie v příštích letech dostanou, ale lze jistě říci, že technologie se budou muset zaměřit na jiný způsob, jak zvyšovat výkon mikroprocesorů než zvyšováním komponentů.

Způsobem, jak zvýšit výkon v blízkých letech, by mohla být integrace nových nebo vylepšení stávajících technologií, a zvýšení počtu jader v mikroprocesoru.

6. Závěr

Tato bakalářská práce měla několik cílů a to:

- Vytvořit stručný přehled pojmů a definic, který by umožnil i člověku, který nechápal funkčnost mikroprocesoru, aby snadno pochopil danou problematiku.
- Shrnout dosavadní historii vývoje mikroprocesorů od společností Intel a AMD od roku 1971 až do roku 2019.
- Stručné vysvětlení postupu při vytváření mikroprocesorů a vysvětlení klíčových technologií při této výrobě.

Tyto tři cíle byly splněny v tomto pořadí ve 2., 3. a 4. kapitole. Dalším cílem bylo naznačit očekávané možnosti vývoje. Tento cíl nemá samostatnou kapitolu, ale je několikrát zmíněn ve 2. a 3. kapitole a dovolil bych se zde opakovat.

Po zkoumaných 48 letech mikroprocesorů můžeme říci, že celé toto období se vyznačovalo miniaturizací a snižováním výrobní technologie. Tento trend je představen v 5. kapitole. Moorův zákon jistě přestává platit, protože miniaturizace se nemůže dostat pod 5nm, protože fyzikální zákony to nedovolují. Následující roky by měly pokračovat v miniaturizaci, přestože s každým dalším nanometrem se zvyšuje cena. Společnost Intel plánuje novou řadu procesorů pro stolní počítače, u které by měly snížit výrobní technologii pod 12nm.

V současné době se vytváří specializované čipy, které jsou navrženy pro rychlejší výpočty u konkrétních typů výpočtů. Příkladem takového specializovaném integrovaném obvodu může být „Google's Tensor Processing Unite“. Tento Integrovaný obvod je složený z 256 čipů, které pracují paralelně a byly speciálně vyvinuty pro programy se strojovým učením. Tento experiment je teprve na začátku vývoje. Dále se vytváří univerzální procesory pro analýzu dat a pro strojové učení.

V následujících letech se může změnit i základní materiál procesorů z mědi na grafen. Grafen je nový materiál, který je 40x odolnější než diamant a má značně vysokou elektrickou vodivost.

Závěrem nelze odhadovat, jak se bude vyvíjet odvětví mikroprocesorů, když další případná miniaturizace by byla ekonomicky nevýhodná a průmyslové společnosti zatím neoznámily všechny své projekty.

7. Použité zdroje

7.2. Seznam použité literatury

- [1]. Tan, C. S., Gutmann, R. J., & Reif, L. R. (2008). Wafer level 3-D ICs process technology. New York: Springer.
- [2]. Bradley Sanford. "Integrated Graphics Solutions for Graphics-Intensive Applications". Retrieved on 2007-09-02.
- [3]. Hattori, T. (1998). Ultraclean surface processing of silicon wafers: Secrets of VLSI manufacturing. Berlin: Springer.
- [4]. Kaeslin, H. (2008). Digital integrated circuit design: From VLSI architectures to CMOS fabrication. New York, NY: Cambridge University Press.
- [5]. Pinker, J. (2004). Mikroprocesory a mikropočítače. Praha: BEN – technická literatura.
- [6]. Osborne, A. (1980). An introduction to microcomputers. Berkeley, CA: Osborne/McGraw-Hill.
- [7]. Jedlička, P. (2005). Přehled obvodů řady CMOS 4000. Praha: BEN – technická literatura.
- [8]. Nemirovsky, M., & Tullsen, D. M. (2013). Multithreading architecture. S.l.: Morgan & Claypool.
- [9]. Wainner, S., & Richmond, R. (2003). The Book of overclocking tweak your PC to unleash its power. San Francisco: No Starch Press.
- [10]. Handy, J. (1998). The cache memory book. San Diego: Academic Press.
- [11]. Gook, M. (2006). Hardwarová rozhraní. Brno: Computer Press.

7.2. Dokumenty volně dostupné na internetu

- [1]. Design Guide: mPGA604 Socket for Intel® Xeon® Processors. Intel | Data Center Solutions, IoT, and PC Innovation [online]. Copyright © Intel Corporation [cit. 25.01.2019]. Dostupné z: <https://www.intel.com/content/www/us/en/processors/xeon/mpga604-socket-guide.html>

7.3. Odborné články

- [1]. Od písku k procesoru — Tajemství tranzistorů. PCTuning – Titulní stránka [online]. Copyright © 2009 [cit. 12.12.2018]. Dostupné z: <https://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/33819-od-pisku-k-procesoru-tajemstvi-tranzistoru>

- [2]. Od písku k procesoru: Jak se pouzdří integrované obvody. PCTuning – Titulní stránka [online]. Copyright © 2009 [cit. 12.12.2018]. Dostupné z: <https://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/34357-od-pisku-k-procesoru-jak-se-pouzdr-i-integrované-obvody>
- [3]. Od písku k procesoru: tajemství technologií výroby čipů. PCTuning – Titulní stránka [online]. Copyright © 2009 [cit. 12.12.2018]. Dostupné z: <https://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/34087-od-pisku-k-procesoru-tajemství-technologie-vyroby-cipu>
- [4]. Od písku k procesoru — výroba křemíkového waferu. PCTuning – Titulní stránka [online]. Copyright © 2009 [cit. 12.12.2018]. Dostupné z: <https://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/24350-od-pisku-k-procesoru-vyroba-kremikoveho-waferu?start=7>
- [5]. Jak se vyrábí procesory: Od písku po čip – Živě.cz. Živě.cz – O počítačích, IT a internetu [online]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/jak-se-vyrabi-procesory-od-pisku-po-cip/sc-3-a-168201/default.aspx>
- [6]. From sand to hand: How a CPU is made - Geek.com. Geek.com - Tech News, Reviews & Tips [online]. Copyright © 1996 [cit. 25.01.2019]. Dostupné z: <https://www.geek.com/chips/from-sand-to-hand-how-a-cpu-is-made-832492/>
- [7]. Developer.com. [online]. Dostupné z: <https://www.developer.com/net/cplus/article.php/2197621/Managed-Unmanaged-Native-What-Kind-of-Code-Is-This.htm>
- [8]. Machine code – Wikipedia. [online]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_code
- [9]. Thermal design power – Wikipedia. [online]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_design_power
- [10]. Stokes, Jon. “Introduction to Multithreading, Superthreading and Hyperthreading.” *Ars Technica*, 3 Oct. 2002, arstechnica.com/features/2002/10/hyperthreading/.
- [11]. List of AMD microprocessors – Wikipedia. [online]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_AMD_microprocessors
- [12]. List of Intel microprocessors – Wikipedia. [online]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Intel_microprocessors

8. Seznam obrázků

Obrázek č.1 Single-threaded SMP – Lze vidět, že se seřadí „čtverečky“ podle barvy (programu) do jednotlivých řádků	12
Obrázek č.2 Superthreaded CPU.....	13
Obrázek č.3 Hyper-threaded CPU.....	14
Obrázek č. 4 Severní a Jižní most se sběrnici FSB (zdroj: https://cs.wikipedia.org/wiki/Front_Side_Bus).....	20
Obrázek č.5 Platform Controller Hub (zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/Platform_Controller_Hub) 20	
Obrázek č.6 Příklad označení Intel Core I9 (zdroj: https://www.intel.com/content/www/us/en/processors/processor-numbers.html)	22
Obrázek č.7 polovodiče typu P a N po přiložení a vznik ochuzené vrstvy (zdroj: UMEL, FEKT VUT)	62
Obrázek č.8 tranzistory NPN (vlevo) a PNP (vpravo) (zdroj: klopneobvody.hys.cz/tranzistory.html)..	62
Obrázek č.9 označení natočení mřížky vůči povrchu waferu (zdroj: PCTuning – Týden)	63
Obrázek č.10 Průřez tažičkou (zdroj: http://webs.zcu.cz/fel/kev/SOV/Text/ON_Semiconductor/SiW_Cz.pps .).....	63
Obrázek č.11 křemíkový ingot — nalevo zbytek krčku a hlava, uprostřed tělo, dole špice (zdroj: PCTuning – Týden)	64
Obrázek č.12 – toky elektronů a děr v tranzistorů NPN (zdroj: UMEL, FEKT VUT)	66
Obrázek č.13 Struktury bipolárního tranzistoru NPN na waferu (zdroj: UMEL, FEKT VUT).....	67
Obrázek č.14 Tranzistor JFET bez přiloženého napětí na hradle (vlevo) a s přiloženým napětím (vpravo); (zdroj: (zdroj: PCTuning – Týden))	68
Obrázek č.15 Struktura tranzistoru MOSFET s indukovaným (nahore) a trvalým (dole) kanálem na waferu (zdroj: UMEL, FEKT VUT).....	69
Obrázek č.16 Nahore obvod propojení s pouzdem mikrodrátky, dole technologie flip chip (zdroj: pcmag.com)	71
Obrázek č.17 Chip on board (zdroj: pcmag).....	72
Obrázek č.18 Předdifúze a Rozdifundování(Zdroj: On Semiconductor)	74
Obrázek č.19 Moorův zákon (zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/Moore%27s_law)	77