

Fyzika v informačních technologiích

Petrásek Jan

UFY a UAI Jihočeské University

Microsoft®
Microsoft DreamSpark™
DREAM TODAY. CREATE TOMORROW

©2015

mva
Microsoft Virtual Academy

Obsah přednášky

- Jaké oblasti fyziky se využívají nejvíce?
- Jaké oblasti ICT využívají nejvíce fyziku?
- Polovodiče typu P
- Polovodiče typu N
- Přejchod PN (dioda a tranzistor)
- DRAM a SRAM z pohledu fyziky
- Strojový kód a fyzika

Jaké oblasti fyziky se využívají nejvíce?

- Elektřina
- Magnetismus
- Termika
- Optika
- Atomová fyzika
- Mechanika

Jaké oblasti fyziky se využívají nejvíce?

- Elektřina se nám projevuje na veškerém HW
- Elektřina má zásadní vliv na napájení a přenos informace
- Informace se přenáší elektrickým signálem
- Pomocí elektrického náboje se uchovává informace v RAM, na SSD a na flash a dalších čipových pamětech
- Elektrický signál slouží pro načtení informace ze vstupů i zobrazení informace na výstupu

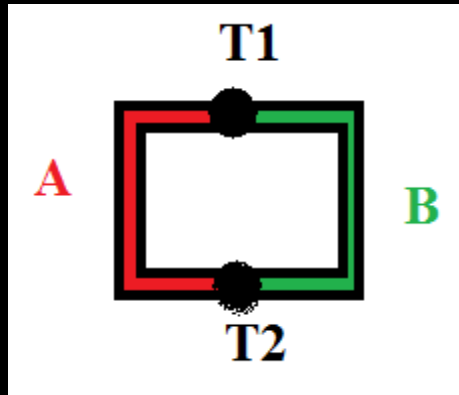
Jaké oblasti fyziky se využívají nejvíce?

- Magnetismus se využívá především pro uchování informací na HDD a audio vstupu a výstupu
- Magnetismus se také využívá ve všech motorech
- Na magnetismu jsou založené steam zálohovací technologie (banky, velké servery)
- Magnetismus měl zásadní vliv na tvorbu obrazu u starých CRT monitorů
- Odstínění rušivých vlivů napájení a galvanické oddělení s transformací napětí

Jaké oblasti fyziky se využívají nejvíce?

- Termika se využívá ve chlazení
- Její využití je jak u pasivního, tak aktivního chlazení počítačů
- Přenos tepla sáláním a kontaktem se využívá pro termočlánky řídící chlazení
- Využívá se Seebeckova jevu a vzácně ve v mikročipech Peletierova Jevu

Seebeckův jev



$$T_1 > T_2$$

$$U_{AB} = U'_{AB} + U''_{AB}$$

U'_{AB} je napětí způsobené rozdílnou elektronovou hustotou

U''_{AB} je napětí způsobené rozdílnou teplotou ($T_1 > T_2$)

$$U''_{AB} = \frac{k}{l} T_1 \ln \left(\frac{\rho_A}{\rho_B} \right)$$

ρ = je hustota elektronů

$$U_{AB} = \varphi_1 - \varphi_2 + \frac{k}{l} T_1 \ln \left(\frac{\rho_A}{\rho_B} \right)$$

$$U_{BA} = \varphi_2 - \varphi_1 + \frac{k}{l} T_2 \ln \left(\frac{\rho_B}{\rho_A} \right)$$

Seebeckův Jev

$$\xi = \frac{k}{l} \left(T_1 \ln \left(\frac{\rho_A}{\rho_B} \right) + T_2 \ln \left(\frac{\rho_B}{\rho_A} \right) \right)$$

Využívá se toho v termočláncích

Termočlánek generuje napětí 0,01 až 0,001 V/°C

Běžné dvojice kovů:

- Konstantan - měď
- Chromel - alumel
- Chrom - nikl

$$\xi = at + bt^2$$

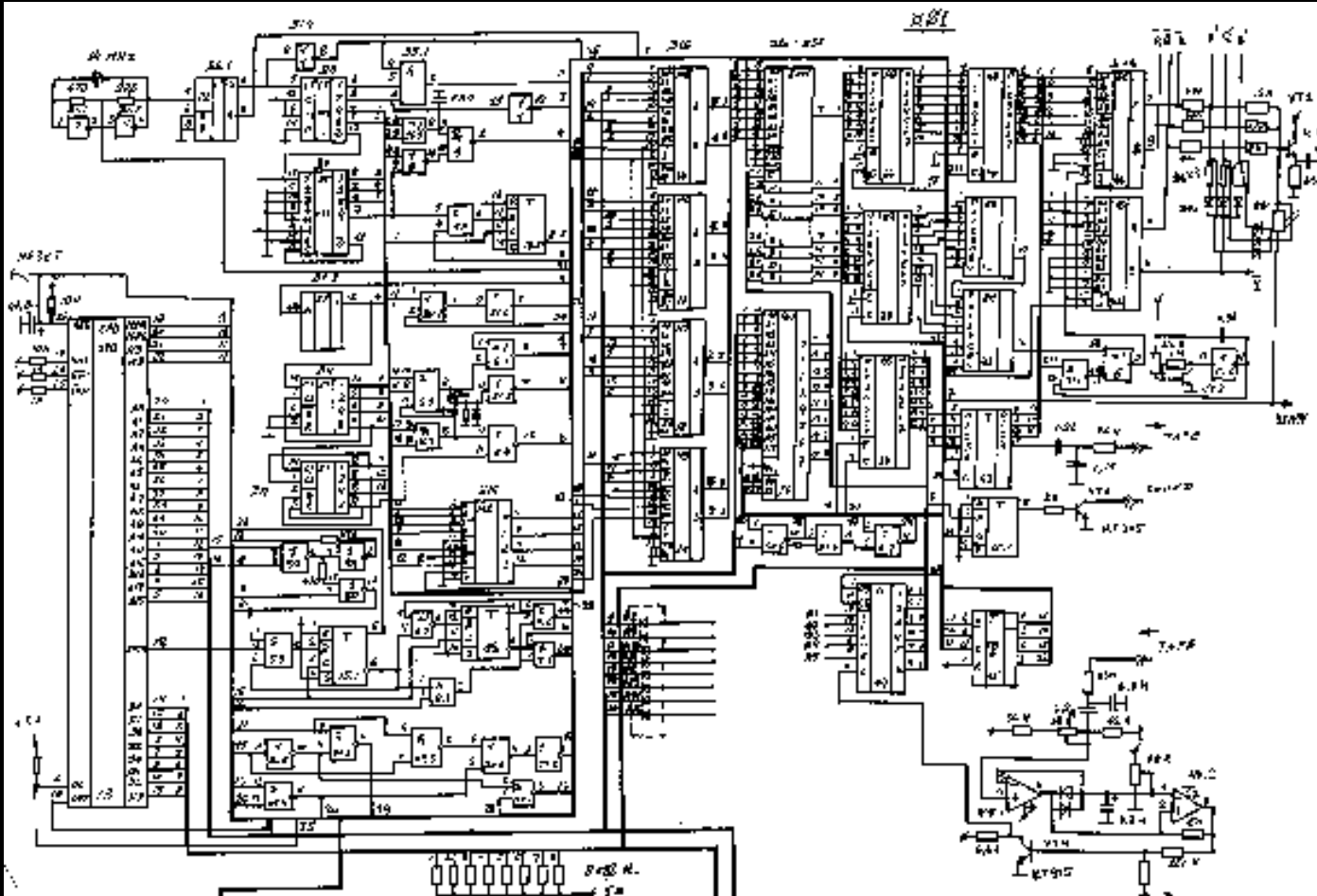
Kvadratický člen zanedbáváme => termoelektrické napětí je úměrné teplotě

Termočláanky mají rychlou odezvu

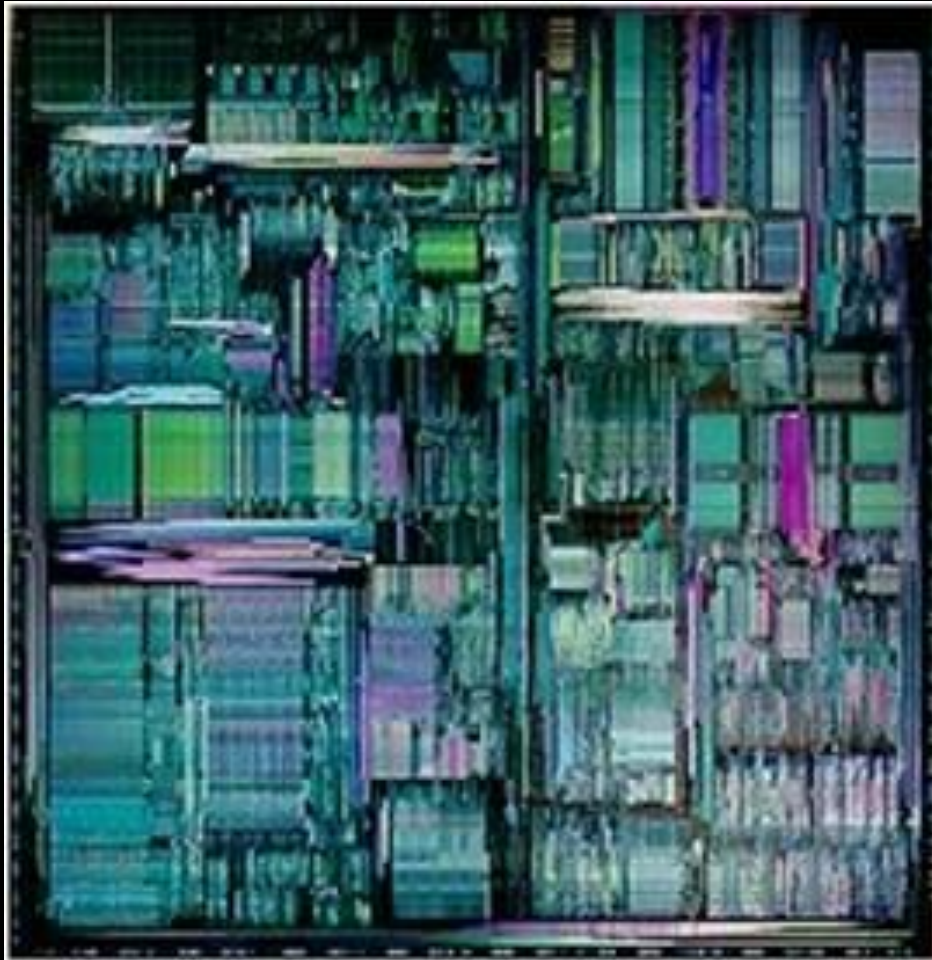
Jaké oblasti fyziky se využívají nejvíce?

- Optika se využívá především v datových sítích
- Další uplatnění má v myších a scannerech
- Optická informace je vždy pomocí polovodičů převedena na informaci elektrickou
- Dnes ustupující využití má optika v CD a DVD mechanikách k zápisu a čtení dat
- Největší využití optiky je při návrhu a výrobě počítačových komponent

Optika a návrh komponent - microprocesor



Optika a návrh komponent – Intel Pentium Pro



- CPU má 5,5 mil. tranzistorů + 15,5 mil. v sekundární cache
- napájecí napětí 2,9 V
- spotřeba 20 W
- Výsledná velikost procesoru cca 3 x 3 cm
- Obrázek je zhruba 80 x zvětšený pohled na pod kryt procesoru
- Rok výroby: 1995

Jaké oblasti fyziky se využívají nejvíce?

- Mechanika se uplatňuje především v ložiscích chlazení a ložiscích pevných disků
- Dále se uplatňuje v ložiscích polohovacích mechanismů čtecích hlav u HDD
- Další uplatnění jsou ložiska a ozubené mechanismy CD a DVD mechanik, pružinové vratné mechanismy u Floppy jednotek a konstrukce vlastních kříní
- Velké uplatnění je pro mechaniku kapalin ve chlazení, nejčastěji vzduch, ale někdy i voda či dusík

Jaké oblasti fyziky se využívají nejvíce?

- Atomová fyzika se uplatňuje v polovodičích, vlastnostech vodičů a vlastnostech kondenzátorů
- Její velké uplatnění je především v kvantových počítačích, které jsou fenoménem posledních let
- Vlastnosti elektrického náboje se projevují v návrhu jednotlivých čipů
- Vlastnosti plynoucích z atomové fyziky stanovují omezení pro výkony procesorů (max. frekvence 8 GHz)

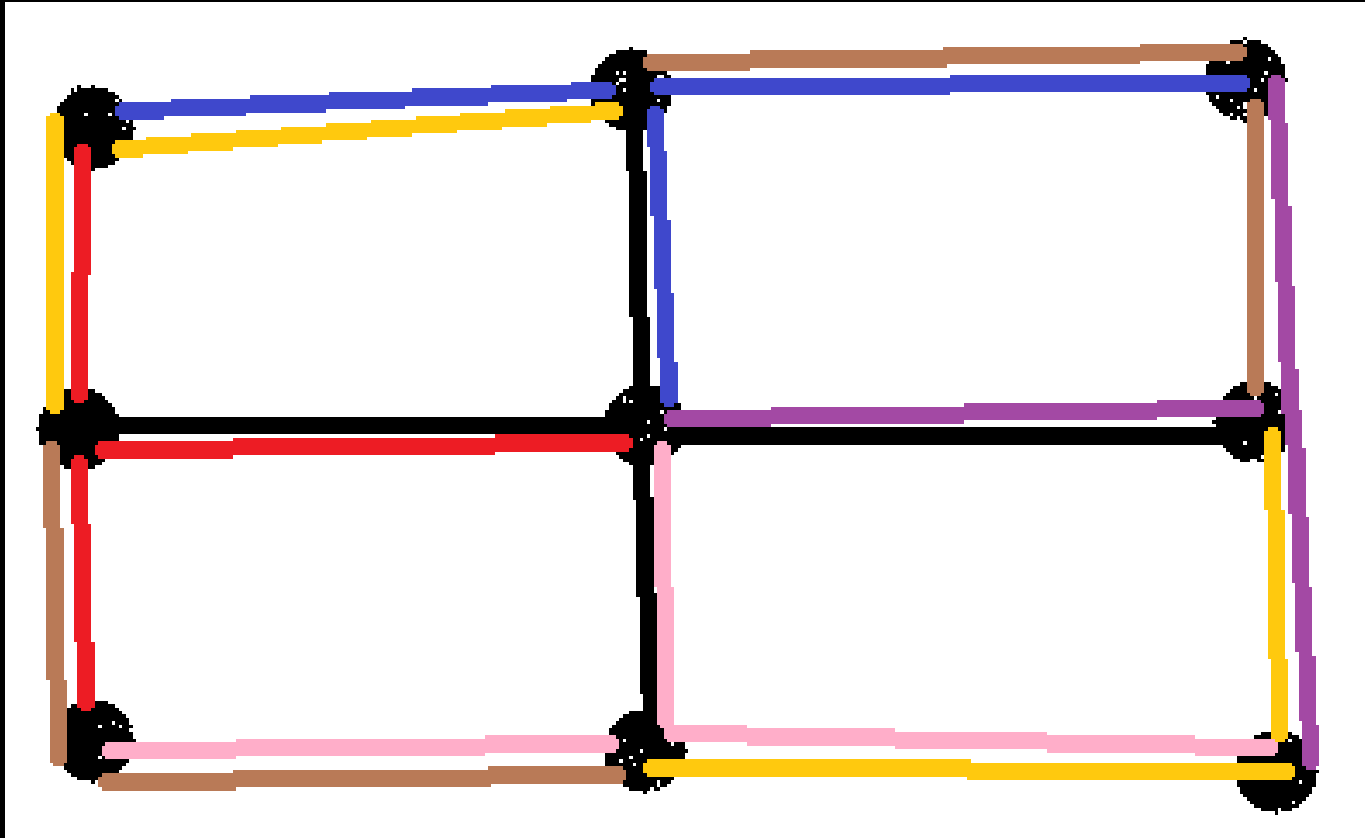
Jaké oblasti ICT využívají nejvíce fyziku?

- Nejvíce se uplatňuje v Hardware
- Dále je její znalost nutná při tvorbě ovladačů
- Nezastupitelné uplatnění má při návrhu počítačových, mobilních a datových sítí
- Fyziku nelze od informatiky oddělit, prolíná se takřka vším
- Fyzikální vlastnosti signálu i prostředí jsou také určující pro fyzickou topologii sítí

Polovodiče

- Máme dvojího typu: P a N
- Nejběžnější je křemík, germanium, selen (mají 4 valenční elektrony)
- Elektrony jsou vázány kovalentní vazbou s energií 1,1 eV
- Elektrický odpor je v rozsahu 10^{-4} až 10^8 Ohm/metr
- Vodivost s teplotou exponenciálně klesá
- Při uvolnění elektronu z vazby vznikají díry
- Díry rekombinují s volnými elektrony
- Elektrický proud je veden ne jen elektrony, ale i dírami
- Pro čistý polovodič je stejná koncentrace elektronů jako děr

Polovodiče – SI



- Černá tečka na obrázku je atom SI a na každé čáře je jeden elektron

Polovodiče typu P

- Je příměsovým polovodičem (není čistá přírodní látka)
- Do vlastního polovodiče přidáváme třímocnou příměs (3 valenční elektrony, např.: indium)
- Obsahuje díru
- Díry jsou majoritní vodiče
- Elektrony jsou minoritní vodiče
- Příměsi je zhruba desetitisícina až statisícina procenta objemu

Polovodiče typu N

- Je příměsovým polovodičem (není čistá přírodní látka)
- Do vlastního polovodiče přidáváme pětímocnou příměs (5 valenčních elektronů, např.: fosfor)
- Obsahuje volný elektron
- Majoritní nosiče jsou elektrony
- Minoritní nosiče jsou díry
- Příměsí je zhruba desetitisícina až statisícina procenta objemu

Přechod PN

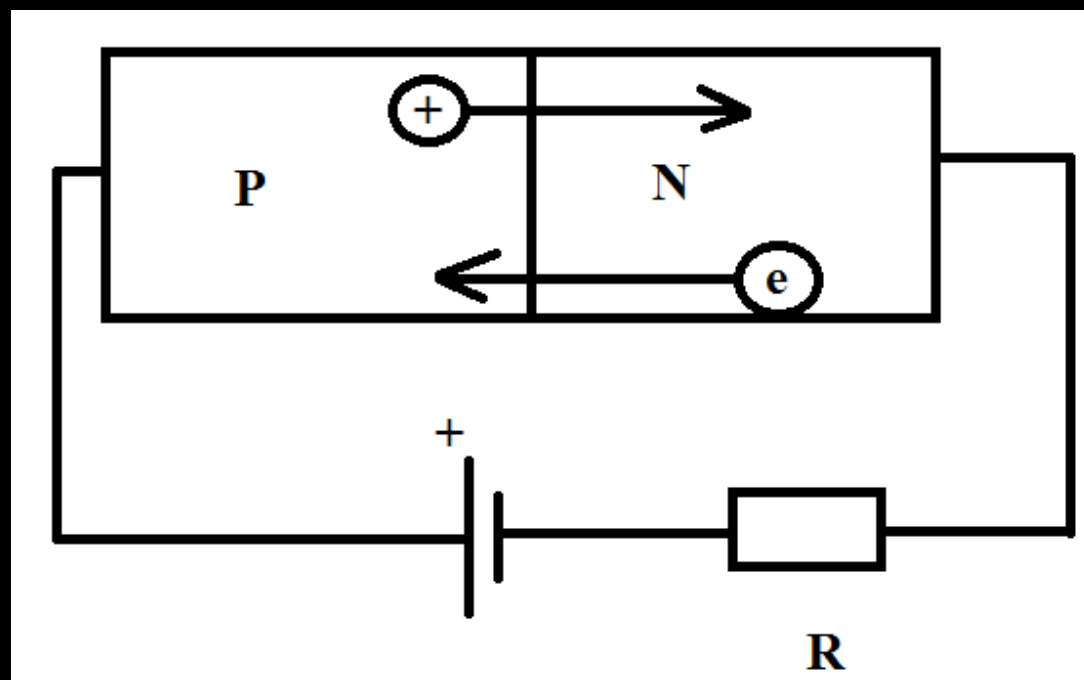
- Vznikne v místě slisování (moderněji napaření) polovodiče P na polovodič N
- Má zajímavé vlastnosti
- Umožňuje usměrnění elektrického proudu
- Umožňuje průchod eklektického proudu až od určitého potenciálu (pro křemíkový základ je to 0,6 V)
- V technické praxi se využívá v diodách
- Umožňuje emitaci fotonů

Přechod PN

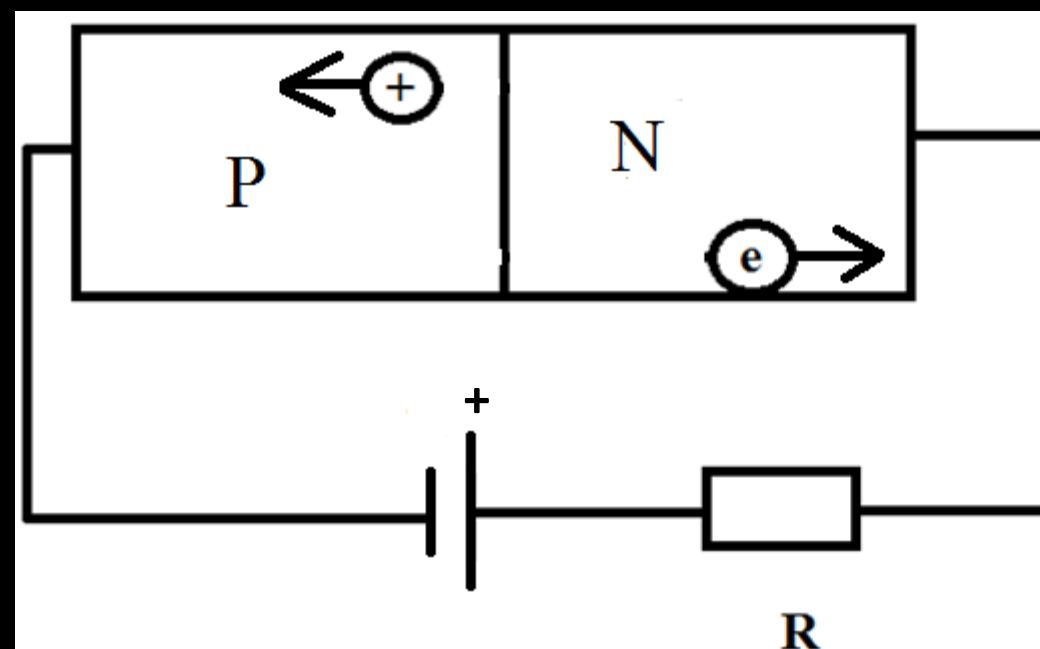
- Určitý potenciál lze nahradit energií dopadajících fotonů
- Pomocí příměsí a pomocných vrstev lze vybrat jen fotony o určité energii jak pro emitaci tak pro dopad
- Umožňují polarizovanou emisi (laserové diody) i spontánní emisi (LED)
- Krom hrotových speciálních diod nejsou diody určeny pro velké proudy a napětí

Přechod PN

vede



nevede

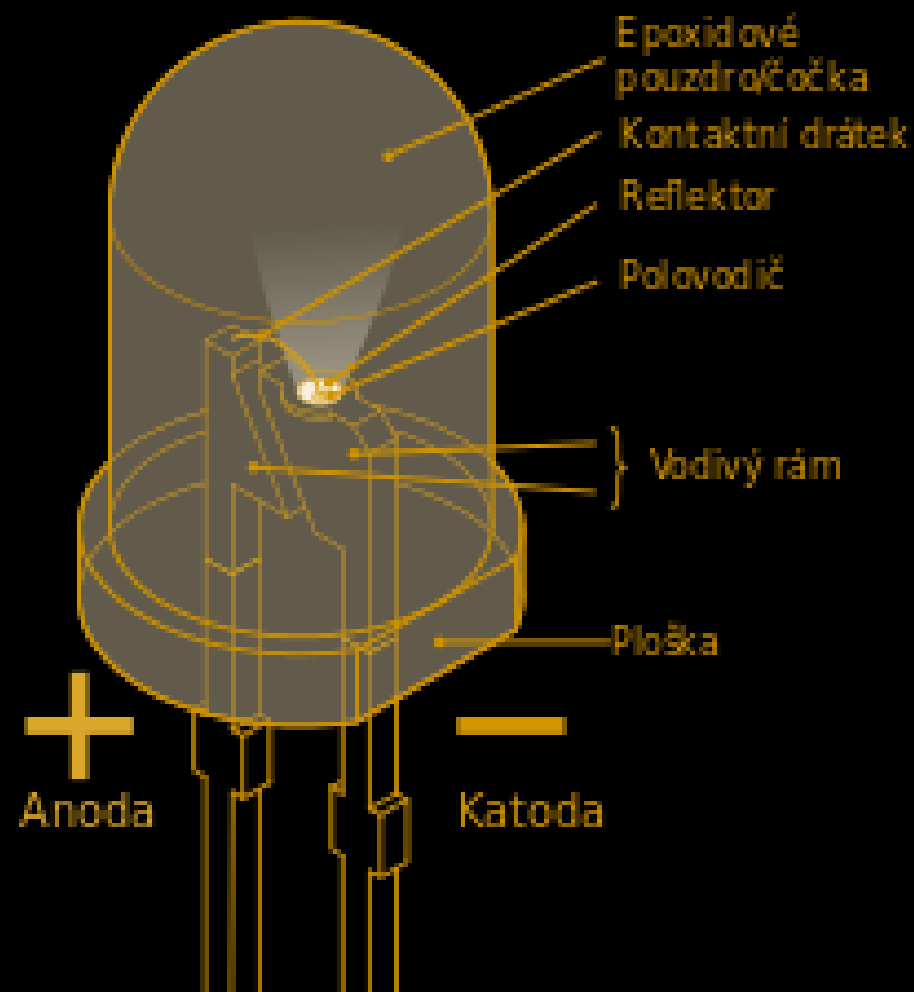
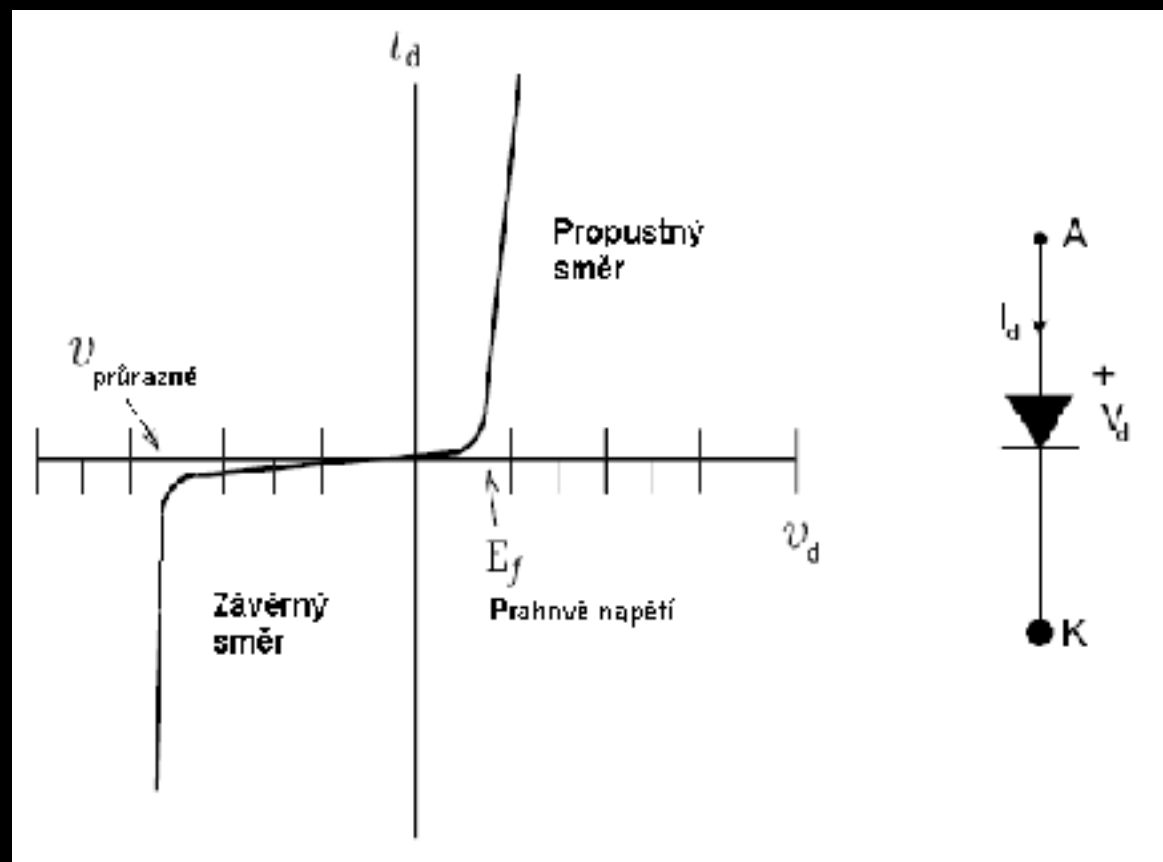


Přechod PN - dioda



- Obsahuje jeden přechod PN
- Je nejjednodušší polovodičovou součástí
- Samotná, nebo ve čtveřici tvořící můstek, se užívá k usměrnění
- LD se užívají pro zápis a čtení dat
- LED se užívají pro signalizaci a podsvícení zobrazovacích jednotek

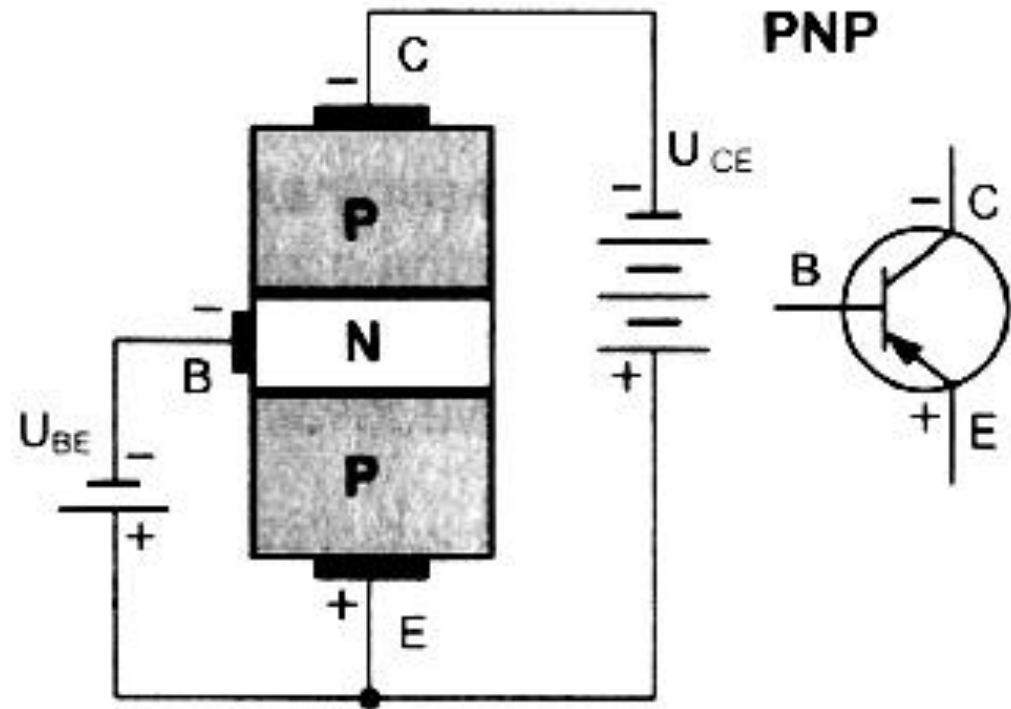
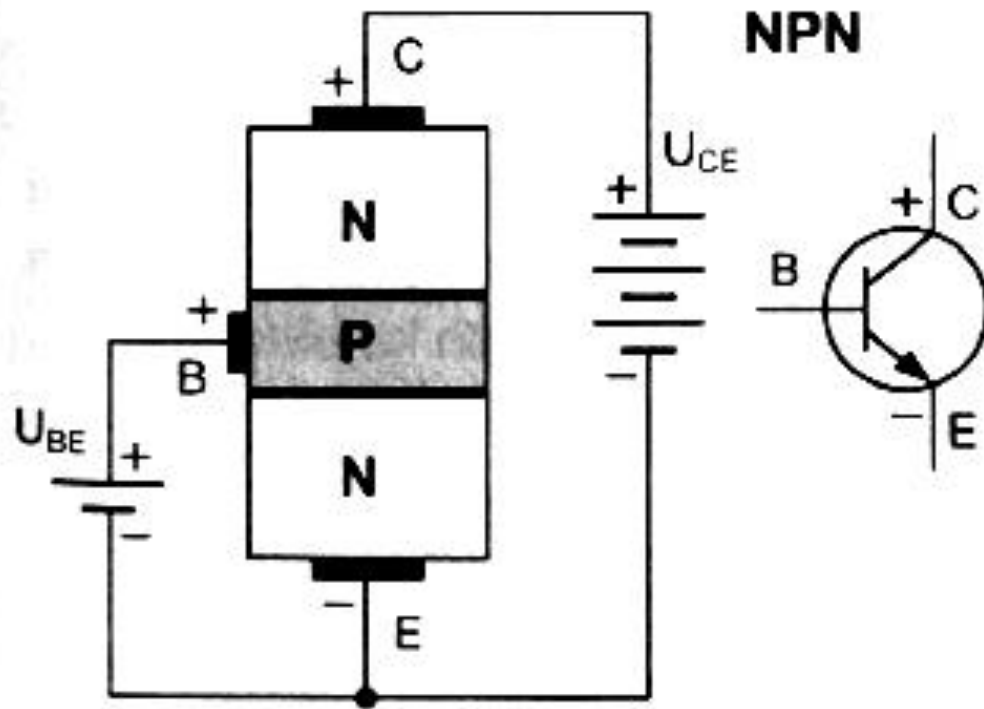
Přechod PN - dioda



Přechod PN – tranzistor

- Obsahuje dvojici PN přechodů
- Máme typy: PNP a NPN
- Máme typy: Bipolární (řízení proudem) a Unipolární (řízené napětím, užívají se v informatice)
- Principem jsou to spínače s možností regulace
- Užívají se v zesilovačích, procesorech, Cache pamětech, Flasch pamětech atd.
- Stojí na nich veškerá moderní elektronika

Přechod PN – tranzistor



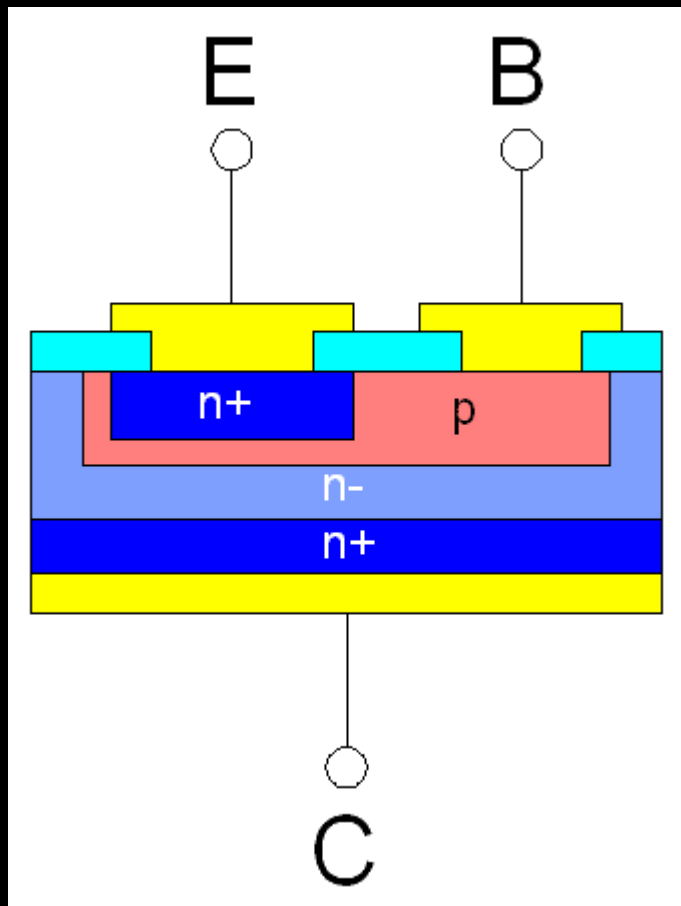
Přechod PN – tranzistor

- Tranzistorový jev byl objeven a tranzistor vynalezen 16. prosince 1947 v Bellových laboratořích týmem ve složení William Shockley, John Bardeen a Walter Brattain.
- Za tento objev jim byla roku 1956 udělena Nobelova cena za fyziku
- byl zároveň potvrzen dosavadní stálý trend miniaturizace jednotlivých a později integrovaných součástek, shrnutý Mooreovým zákonem jako v čase konstantní proces koncentrace polovodičových součástek.

Přechod PN – tranzistor

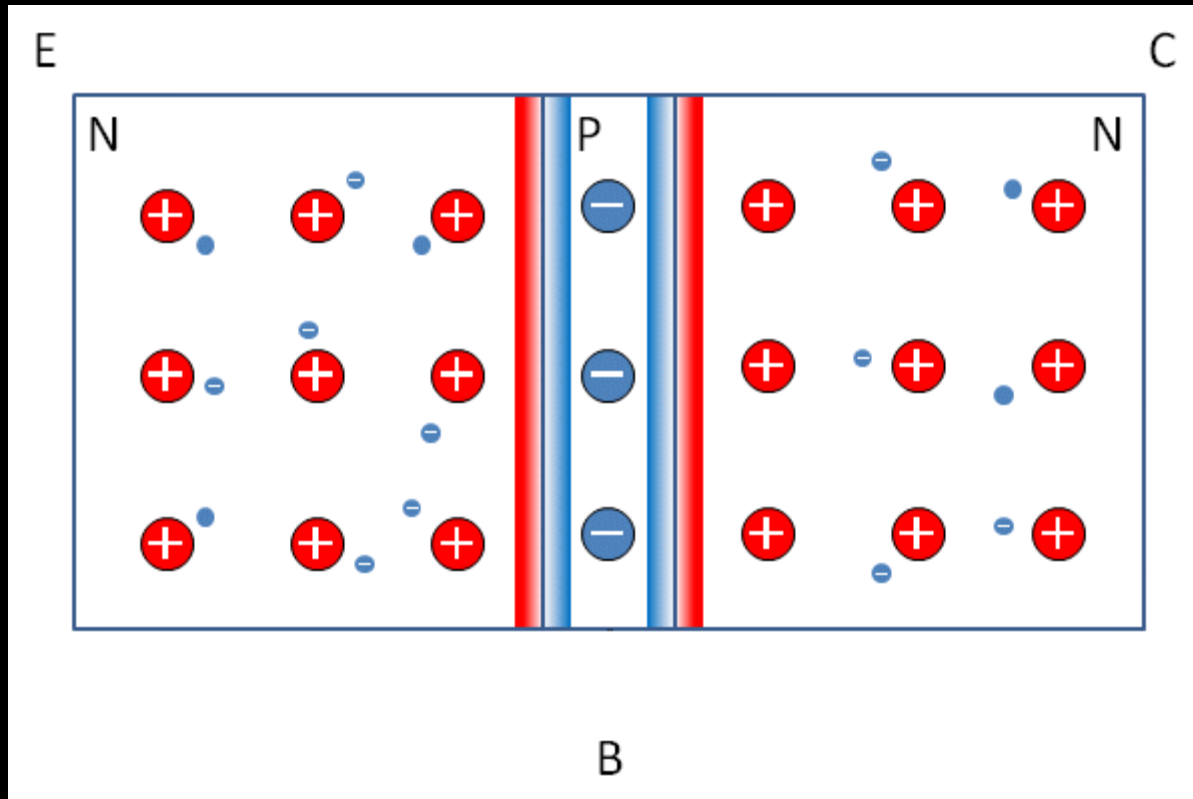
- Polovodičové přechody tranzistoru vytvářejí strukturu odpovídající spojení dvou polovodičových diod v jedné součástce
- Dvojicí diod nelze nahradit!!
- Každý tranzistor má tři elektrody, které se u bipolárních tranzistorů označují jako kolektor (C, příp. K), báze (B) a emitor (E), u unipolárních jako drain (D), gate (G) a source (S).

Přechod PN – tranzistor



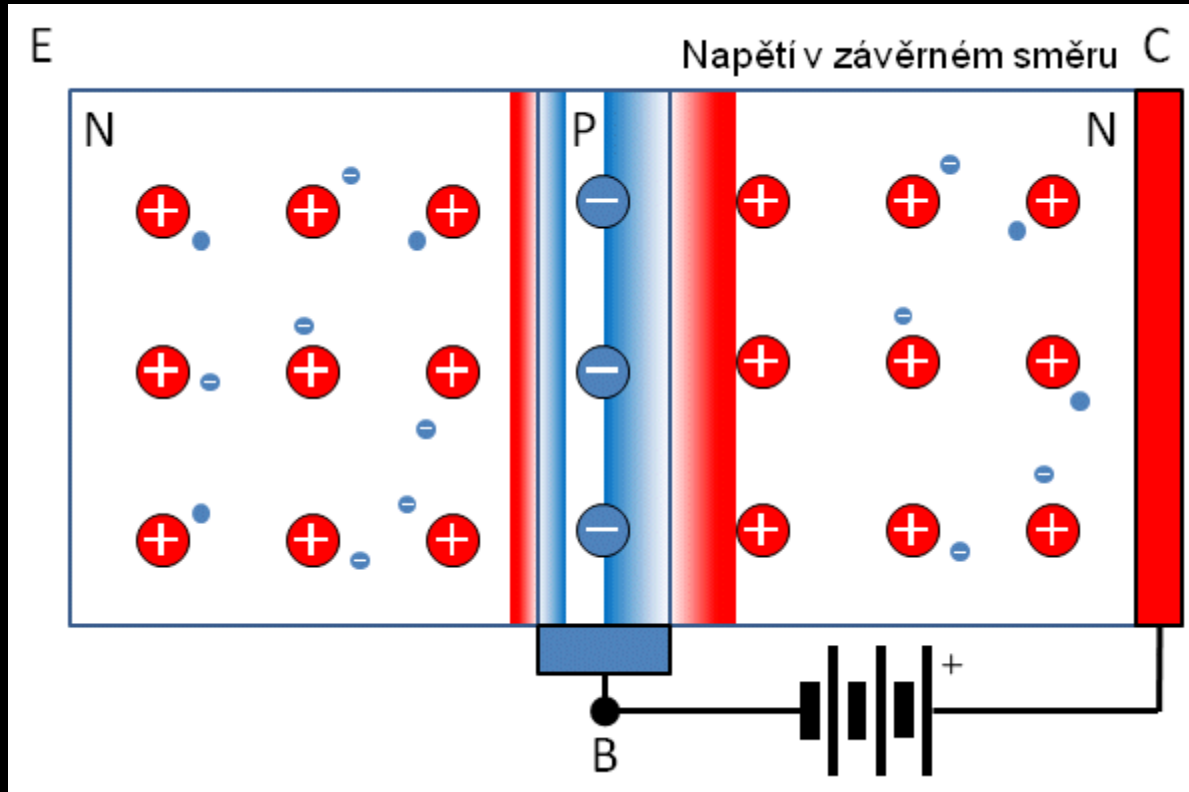
- Řez tranzistorem v čipu
- C je kolektro
- B je Báze
- E je emitor

Přechod PN – tranzistor – činnost



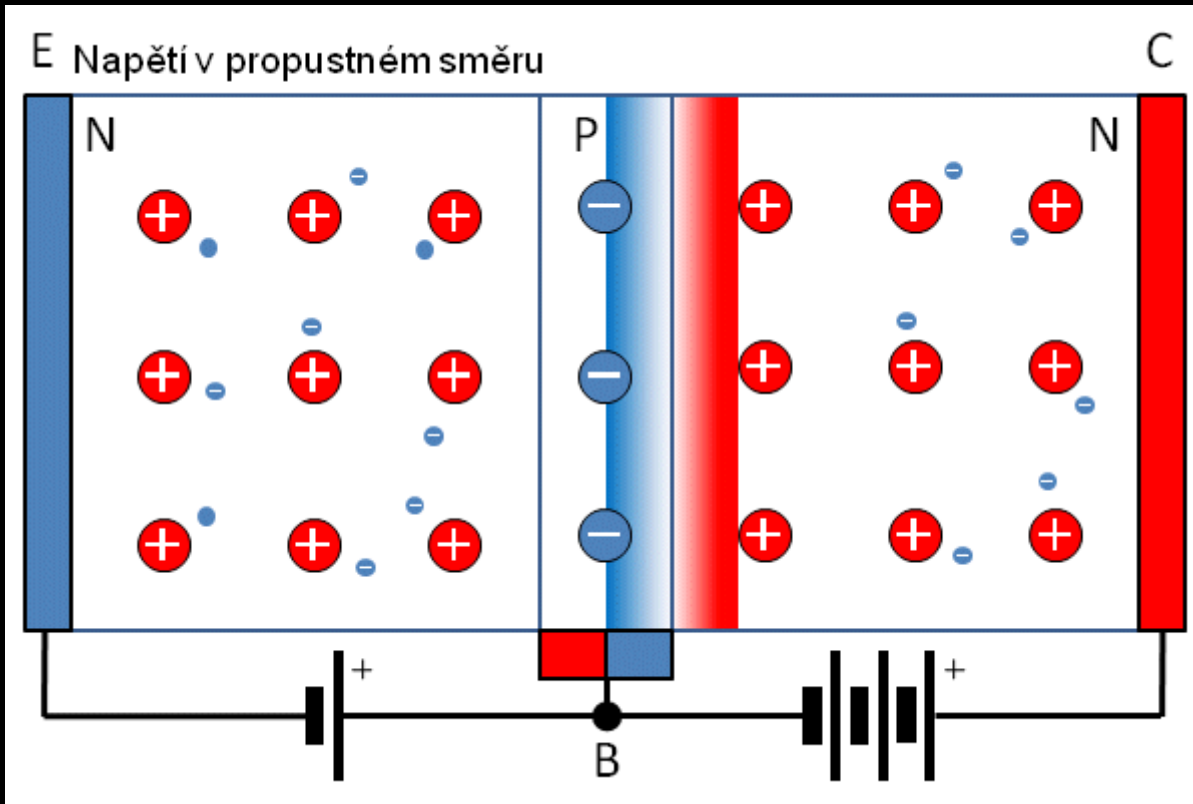
- Bez vnějších zdrojů se na obou přechodech vytvoří vyprázdňené oblasti.

Přechod PN – tranzistor – činnost



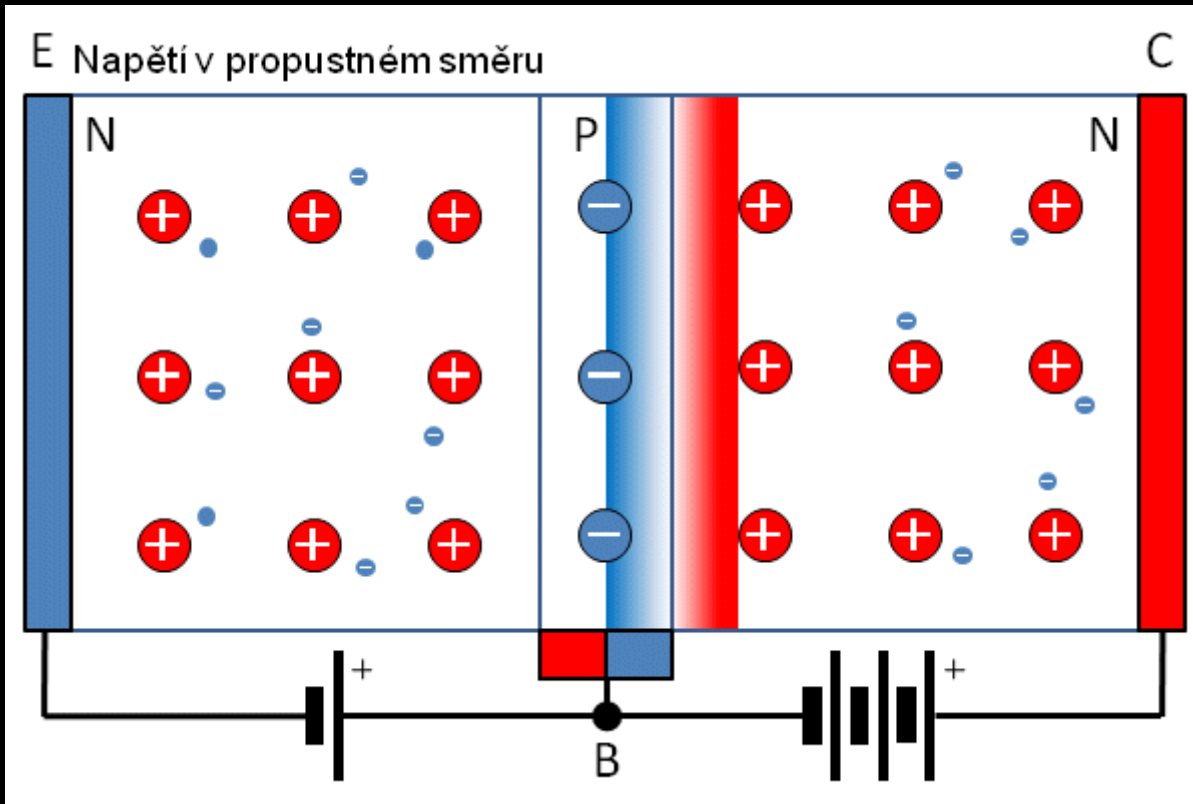
- Na kolektorový přechod B-C připojíme napětí v závěrném směru, čímž se zvětší vyprázdněná oblast na tomto přechodu, obvodem protéká jen nepatrný zbytkový proud tvořený vlastní vodivostí teplem uvolněných nosičů.

Přechod PN – tranzistor – činnost



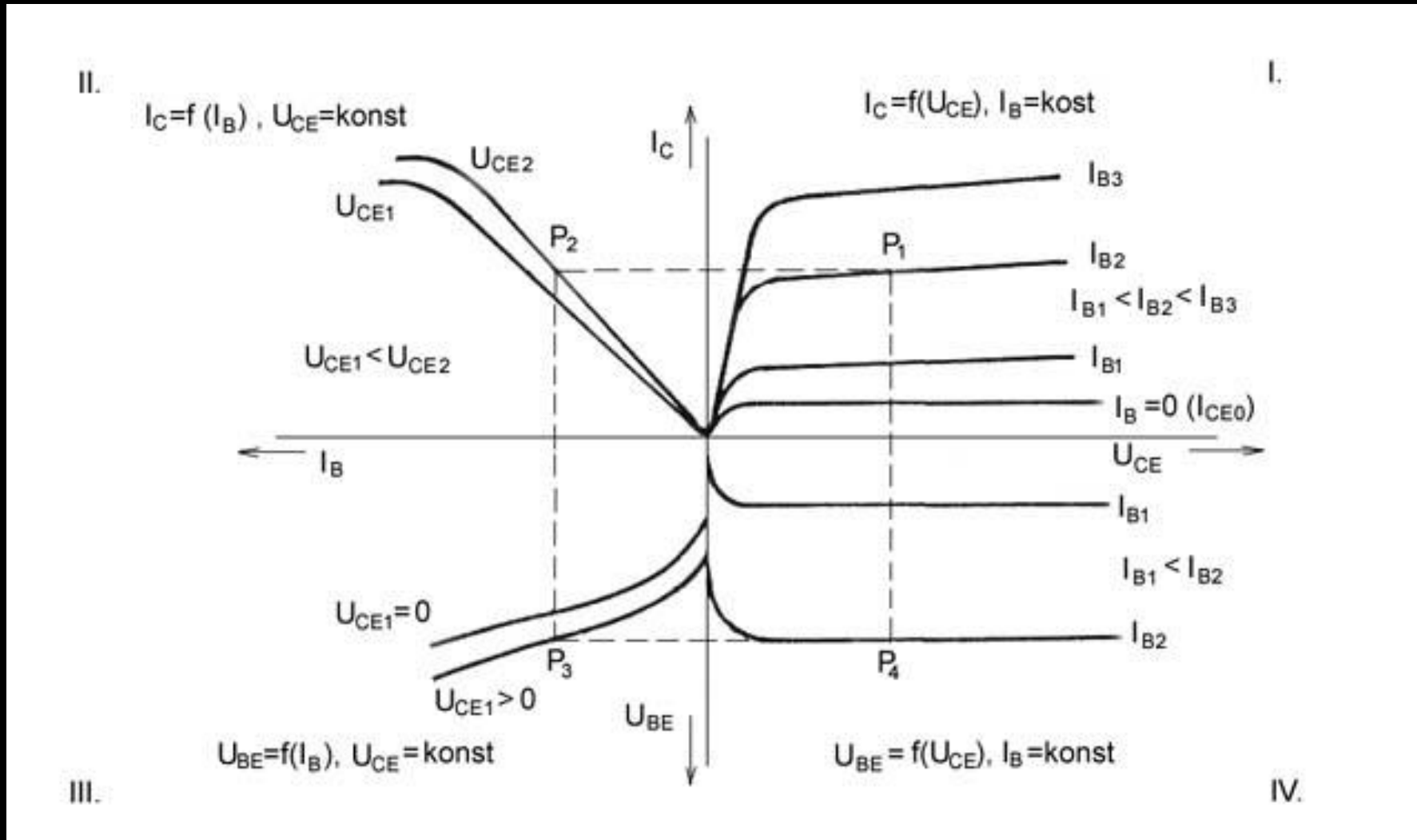
- Na emitorový přechod B-E připojíme napětí v propustném směru s vyšší hodnotou než je difuzní napětí.

Přechod PN – tranzistor – činnost

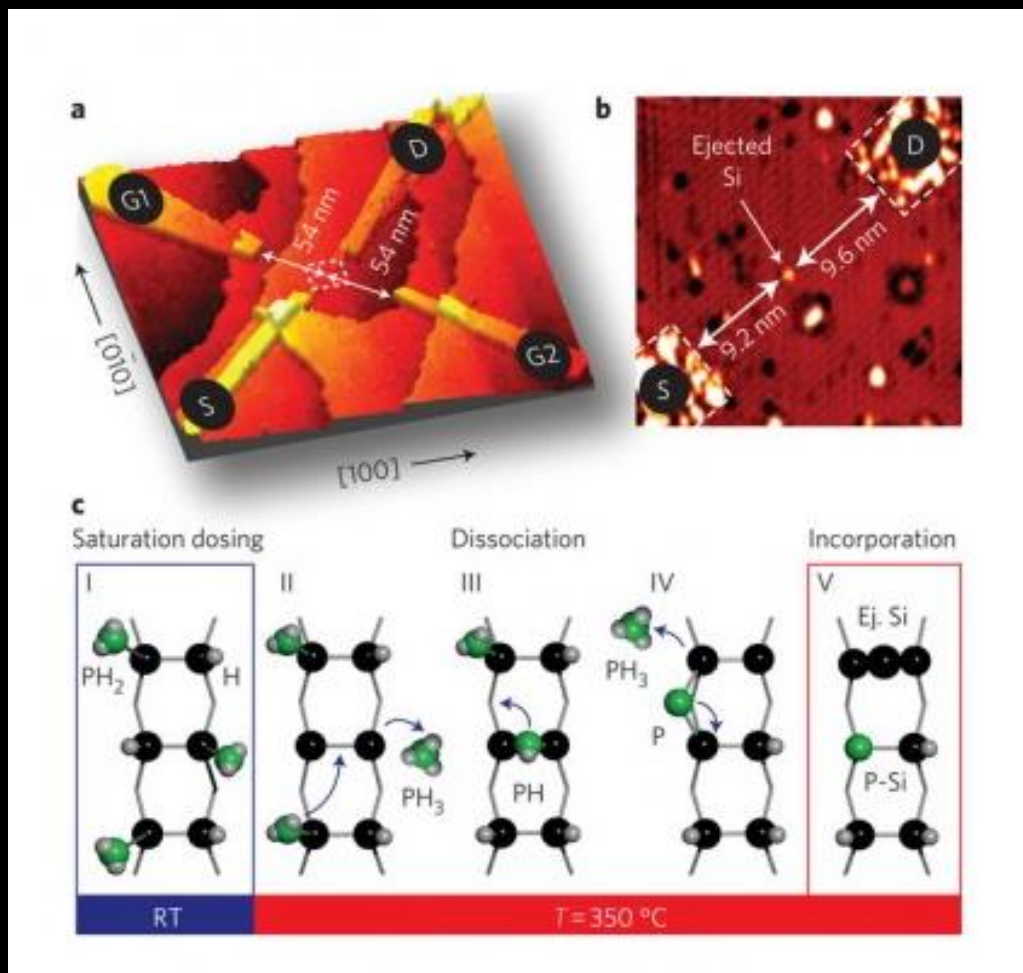


- Volné elektrony proudí z emitoru otevřeným přechodem do báze, odkud jsou odsávány do prostoru kolektoru a tvoří kolektorový proud, protože pro ně je tento přechod (na rozdíl od děr v bázi) otevřen.

Přechod PN – tranzistor

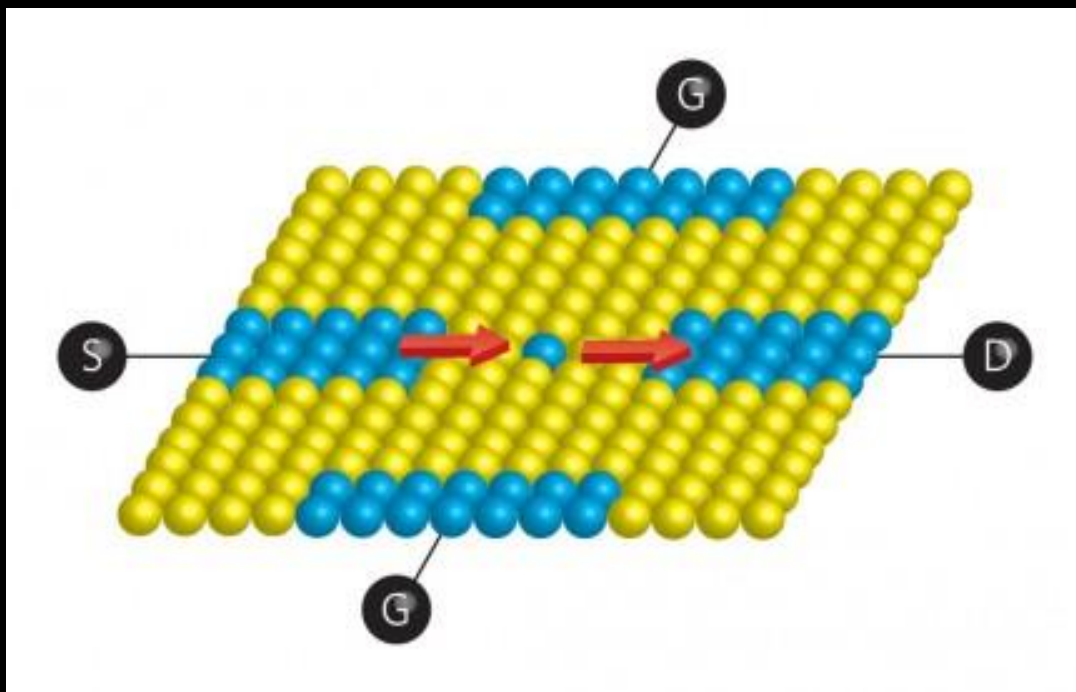


Přechod PN – tranzistor – budoucnost?



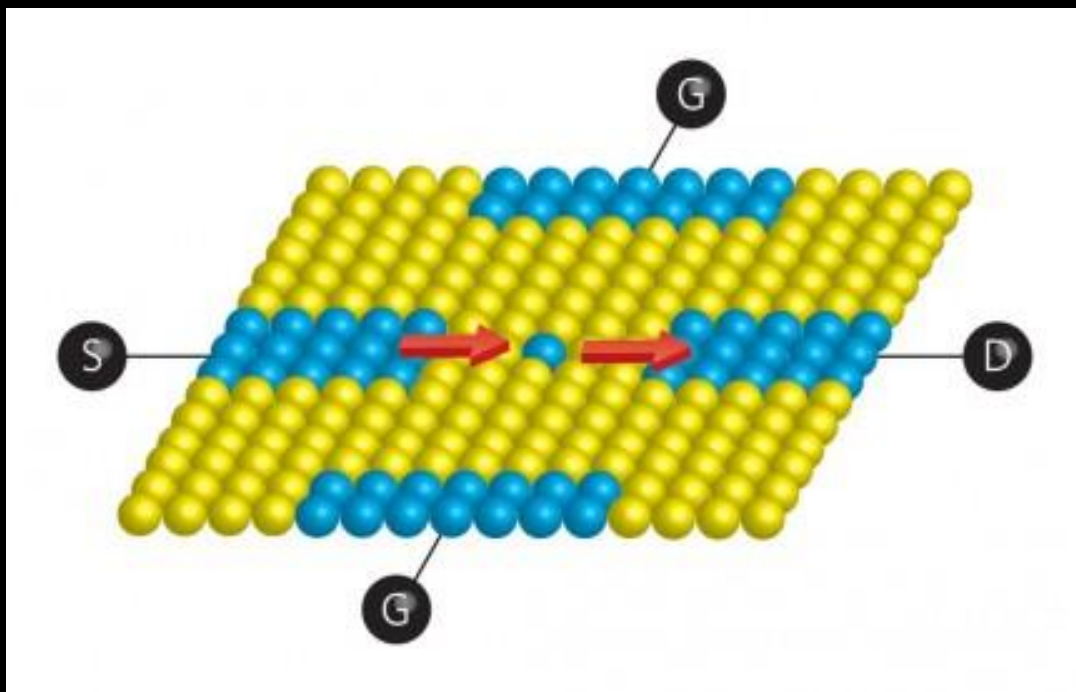
- Vědcům se podařilo vyrobit funkční tranzistor, který je tvořen pouze jedním jediným atomem.
- Manipulace se základními kameny hmoty je možná díky pokročilé nanotechnologii

Přechod PN – tranzistor – budoucnost?



- Jeden atom fosforu (modrá kulička) je pečlivě a velmi přesně umístěn na povrch z křemíkových krystalů.

Přechod PN – tranzistor – budoucnost?



- Elektrický proud postupuje od elektrody source (S) k elektrodě drain (D) v případě, je-li mezi elektrodami gate (G) potřebné napětí.

Přechod PN – tranzistor

PŘEHLED A ZNAČENÍ VYBRANÝCH TYPŮ POUZDER

Kód zapojení vývodů je uveden v popisu jednotlivých katalogových položek.



DRAM a SRAM z pohledu fyziky

- Rozdíl je zásadní, ač hlavními aktéry zůstávají elektrony
- DRAM tvoří kondenzátory
- SRAM tvoří klopné obvody z tranzistorů
- DRAM je pomalejší a vyžaduje více energie
- SRAM je rychlá, ale drahá na výrobu
- DRAM realizuje operační paměť počítače a jsou jí řádově GB
- SRAM realizuje cache CPU a jsou jí řádově stovky kB

DRAM z pohledu fyziky

- Informace je zapsána nabitím kondenzátoru nad určité napětí
- Kondenzátor obsahuje dielektrikum („izolant“)
- Dielektrikum nevede elektrický náboj => náboj je pevně vázán
- Náboje v dielektriku jsou drženy atomovými silami
- Informace je uložena pomocí polarizace dielektrika
- Polarizace probíhá vložení dielektrika do elektrického pole

DRAM z pohledu fyziky

- Polarizaci máme posuvnou a orientační
- V DRAM se po zapnutí uplatňuje posuvná polarizace a v průběhu činnosti PC orientační
- Jako příklad si dále popíšeme posuvnou polarizaci
- Posuvná polarizace probíhá u nepolárních dielektrik

DRAM z pohledu fyziky

- Atom je elektricky neutrální $\Rightarrow$ dipólový moment je 0
- Mezi jádrem a elektronem nevzniká dipólový moment, protože na jádro se nahlíží jako na celek $\Rightarrow$ má větší náboj, nežli opačně nabitý elektron $\Rightarrow$ nevznikne dipólový moment (platí pro dielektrikum mimo elektrické pole)
- Vložení dielektrika do elektrického pole dojde k vychýlení dráhy oběhu atomu $\Rightarrow$ (při pohledu v rozlišení bodové částice) vznikne dipólový moment

DRAM z pohledu fyziky

- Polarizace indikuje velikost posunutí těžiště nepolární molekuly
- Velikost polarizace je přímo úměrná velikosti elektrického pole
- Vzniklé dipólové momenty se orientují ve stejném směru, tedy proti směru elektrické intenzity

DRAM z pohledu fyziky

- Energie v kondenzátoru je ukryta v polarizovaných molekulách
- Pro dosažení velké kapacity vložím dielektrikum s velkým vektorem polarizace, tedy snadno polarizovatelný materiál
- Velikost uložené energie je úměrná zadrženému náboji, který je úměrný potenciálu (napětí na kondenzátoru)

DRAM z pohledu fyziky

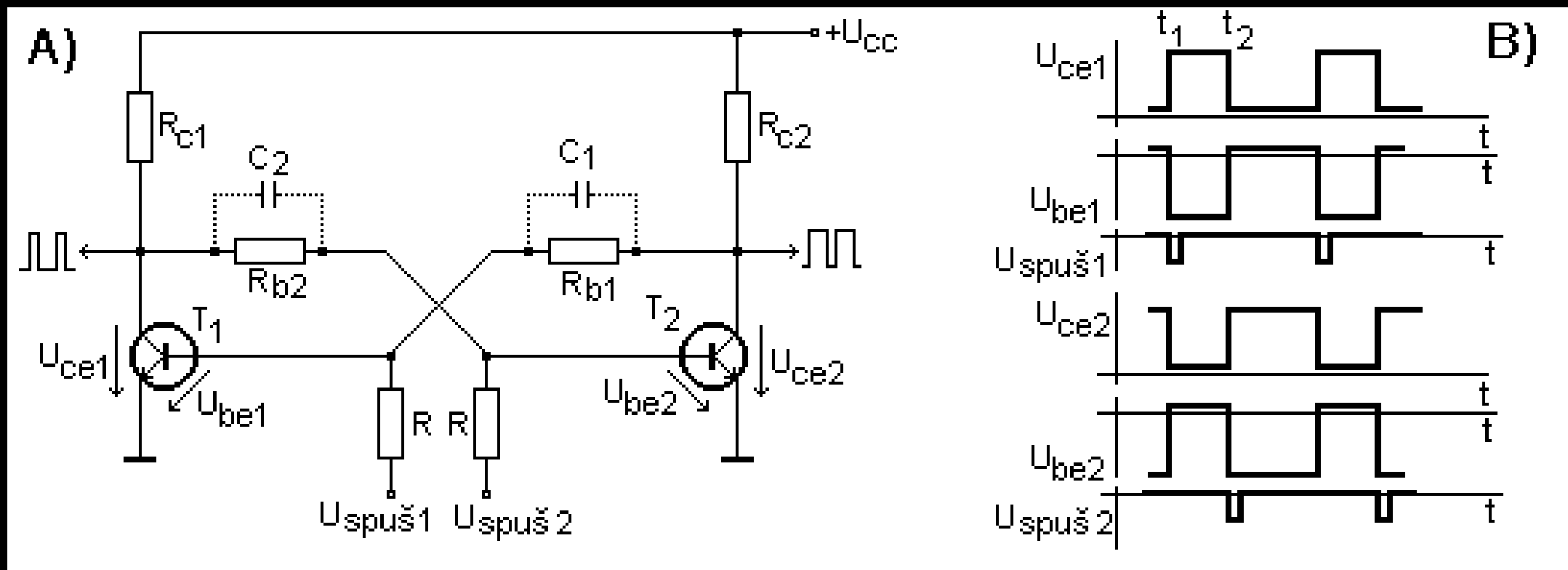
- Modul je napájen 1,5 V, buňka s napětím 1,2 V a více ukládá logickou 1, pod 0,8 V je logická 0
- Mezi 1,2 a 0,8 V je zakázaná oblast
- Jeden kondenzátor tvoří 1 bit, tedy 8 kondenzátorů tvoří jeden bajt, tedy 8192 kondenzátorů tvoří 1 KB
- Modul o velikosti 1 GB má 8 589 934 592 kondenzátorů
- Fyzikálně nejvyšší rychlost změny dat je: 10 000 000 přepisů za sekundu (teoreticky)
- Technický limit je: 3 000 000 přepisů za sekundu

SRAM z pohledu fyziky

- Buňka je tvořena klopným obvodem, tedy dvojicí tranzistorů
- Klopný obvod je bistabilní
- V jednom stavu vrací na sběrnici napětí logické 1 a ve druhém stavu logické 0
- Sběrnice jsou doplněny inventory (paměť uchovává opačný stav, nežli je požadován)

SRAM z pohledu fyziky

- Jedna buňka uchovává 1 bit



SRAM z pohledu fyziky

- Mezi spoušť 1 a spoušť dva se dává inventar, tedy pokud na spoušť 1 přivedu 1, tak se zároveň přivede na spoušť 2 nula
- Odebírá se jen jeden výstup, kde je buď logická 1 nebo 0
- Čtecí i zápisová sběrnice tvoří síť jako je na čtverečkovaném papíru, kdy v každém křížení je jedna buňka
- Každé křížení je adresou
- Informace se zapisují a čtou po blocích

SRAM z pohledu fyziky

- Po spuštění zařízení je nutné do všech buněk zapsat 0, protože se nachází v náhodných stavech
- Pro jeden bit je zapotřebí 3 tranzistorů, dva uchovávají informaci a jede se starají i invertování vstupů
- Matematicky vyjde 3,58 tranzistoru, je to dáno tím, že každá linka sběrnice je opatřena invertováním tranzistorem, proto paměťový modul obsahuje 3,58 tranzistoru na bit

SRAM z pohledu fyziky

- Rychlostní limity jsou dány závislostí vlastností polovodiče na teplotě
- Teplota je hlavní činitel, který omezuje rychlost přístupu do paměti
- Většinou jsou odezvy v řádu jednotek ns, tedy vychází rychlost na nějakých 9 000 000 000 přepisů/s

Strojový kód a fyzika

- Každý program je přeložen do binární podoby, tedy strojového kódu
- Strojový kód se uloží do paměti jako napět'ové úrovně na adresách sběrnic
- Vše bude řečeno hodně nadneseně!!
- Při provádění strojový kód programu volá z binárně uložených adres instrukce, které „spínají tranzistory, čímž propojují správné cesty v procesoru a provádí požadované operace“

Strojový kód a fyzika

- Výsledkem je sepnutí patřičných tranzistorů sběrnic a zápis binárního kódu na určené adresy
- Tento binární kód pak vodíme jako výstup, nebo opět slouží jako vstup do další operace
- Tedy jednoduše, určitý elektrický náboj na správných místech je program, vstupní data i výsledek
- Nezávisle na těchto digitálních informacích proudí počítačem i analogové informace o teplotách a řízení chlazení

Závěr

- Ačkoli si to neuvědomuje, tak každý programátor pracuje s elektronikou
- Za informatikou dnešní doby stojí velmi složitá fyzika a to, co jsme si dnes řekli by nestačilo ani na realizaci prvního průkopnického počítače
- Za dnešními počítači stojí v první řadě fyzici, kteří dávají inženýrům elektro do rukou nové možnosti a ti zase informatikům poskytují aplikace fyzikálních jevů pro to, aby se mohly počítače rozvíjet

Závěr

- Kdo chce být dobrým informatikem, tak musí umět i fyziku a z ní odvíjející se elektrotechniku, nestačí umět jen programovat
- Programátor potřebuje rozumět fyzikálnímu základu a znát základní principy
- Vývojář HW je v jistém pohledu geniální aplikovaný fyzik

Zdroje

- DOLEČEK, J.. Moderní učebnice elektroniky 2. část. Praha : BEN – technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-161-6.
- Ing. KOBRLE, P. Skriptum elektroniky a sdělovací techniky pro 2. ročník. Ústí nad Labem : SPŠUL, 2014.
- <http://lake-bodom.wz.cz/Intel/MMX+%20PRO.htm>
- <http://vtm.e15.cz/tranzistor-o-velikosti-pouheho-atomu>