

2004-03-15

## POLOVODIČOVÉ PRVKY

### Polovodiče:

- Ü Základem polovodičových prvků je obvykle čtyřmocný (obsahuje 4 valenční elektrony) **krystal křemíku** (Si).
- Ü Čisté krystaly křemíku mají za pokojové teploty jen velmi malou elektrickou vodivost. Pokud ale do jejich krystalové mřížky zabudujeme některé jiné prvky (tzv. **příměsy**), jejich vodivost se podstatně zvýší.

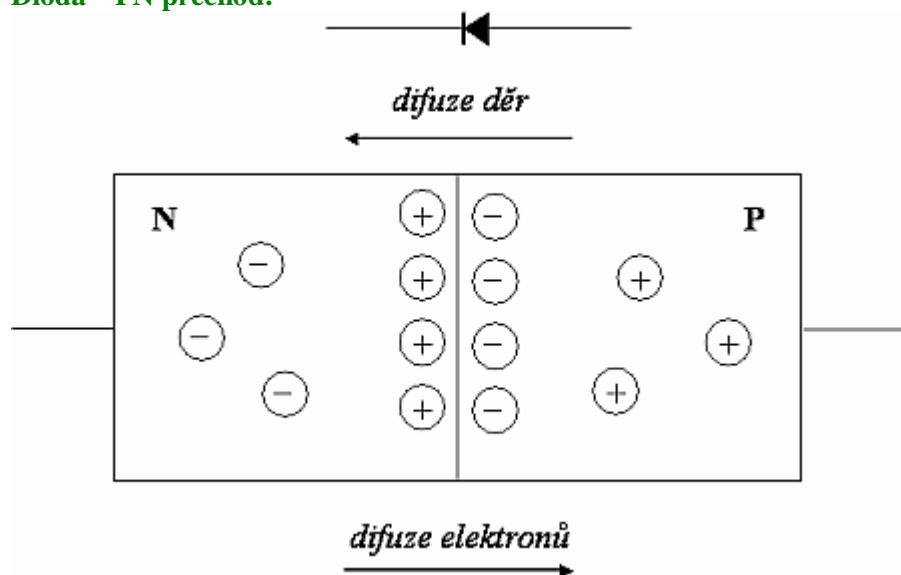
### Donor:

- Ü Pokud dotujeme krystal křemíku **pětimocným prvkem** (např. arsenem (As) nebo fosforem (P)), zůstanou v krystalu, po zabudování příměsí do atomové mřížky, **volné elektrony**.
- Ü Pokud takto dotovaný krystal vložíme do elektrického pole, volné elektrony se začnou pohybovat. Elektrická vodivost krystalu se podstatně zvýší.
- Ü Takto dotovaný krystal se nazývá **polovodič typu N**. Prvek, kterým jsme křemík dotovali, se nazývá **donor**.

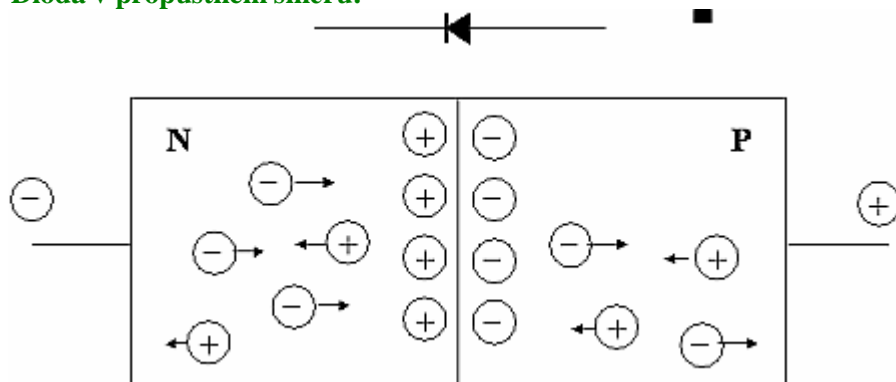
### Akceptor:

- Ü Pokud krystal křemíku dotujeme **třímocným prvkem** (např. galiem (Ga) nebo indiem (In)), zůstanou v krystalové mřížce křemíku některé vazby neobsazeny. V místě těchto neobsazených vazeb vzniknou tzv. **díry**.
- Ü Pokud krystal vložíme do elektrického pole, jsou některé elektrony z krystalové mřížky vytrženy, začnou se pohybovat ve směru elektrického pole a záhy jsou pohlceny některou ze sousedních děr.
- Ü Elektrický proud tedy vzniká přesunem elektronů mezi sousedními atomy krystalové mřížky. Tento proud se jeví také tak, jako kdyby se díry pohybovaly v opačném směru než se přemisťují elektrony.
- Ü Takto dotovaný krystal se také nazývá **polovodič typu P**. Prvek, kterým byl krystal dotován se nazývá **akceptor**.

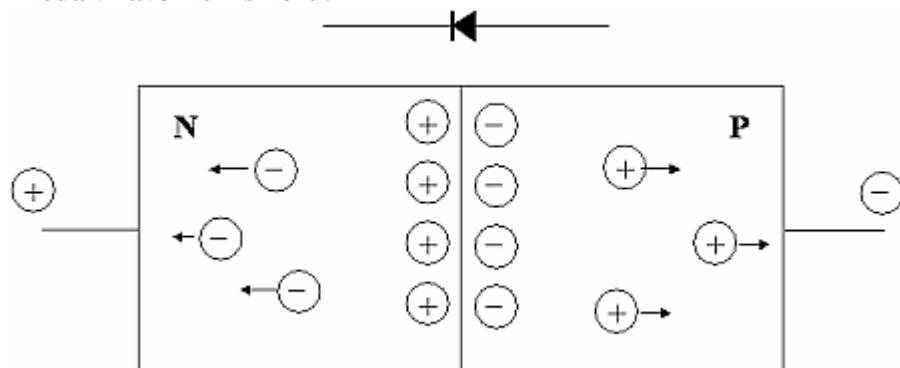
### Dioda – PN přechod:



### Dioda v propustném směru:

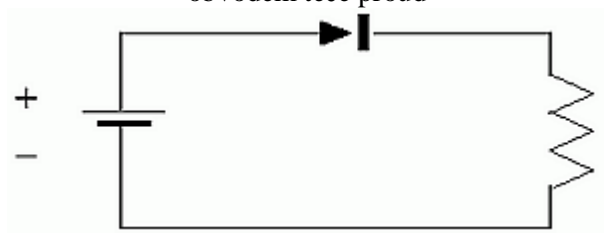


## Dioda v závěrném směru:

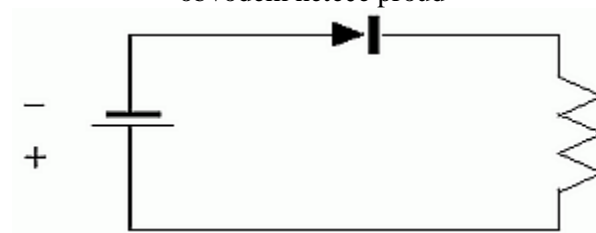


## Zapojení diody:

Polarizace diody v propustném směru, obvodem teče proud



Polarizace diody v závěrném směru, obvodem neteče proud

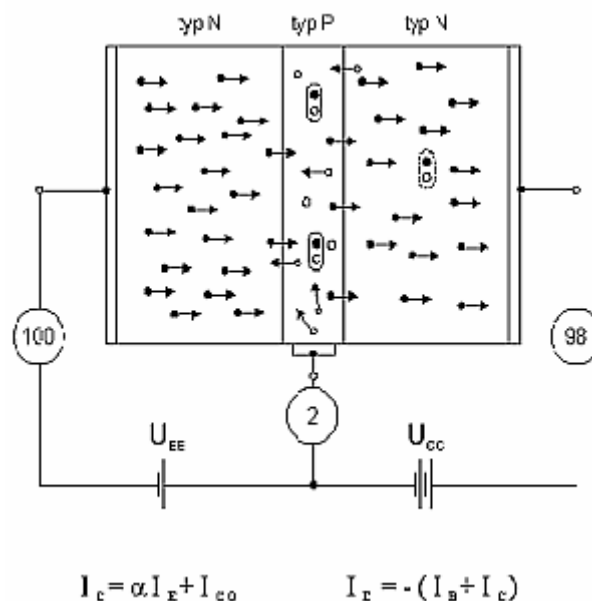
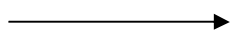


## Tranzistor:

- Transistory řízené proudem (bipolární transistory): typ NPN nebo PNP
- Transistory řízené elektrickým polem: FET (field effect transistors)  
MOSFET, MOS (metal oxide transistors)

## Bipolární tranzistor:

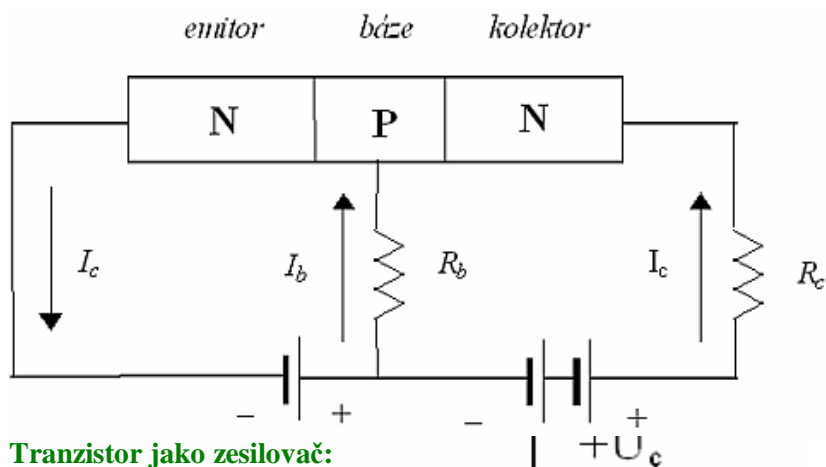
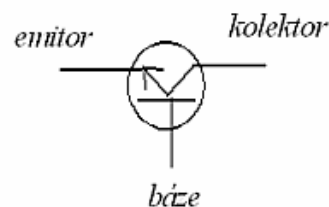
- Funkce tranzistoru spočívá na transistorovém jevu: Pokud přechod emitor-báze polarizujeme v propustném směru a přechod báze-kolektor v závěrném směru, začne tranzistorem téci bázevý proud ( $I_b$ ) a kolektorový proud ( $I_c$ ).



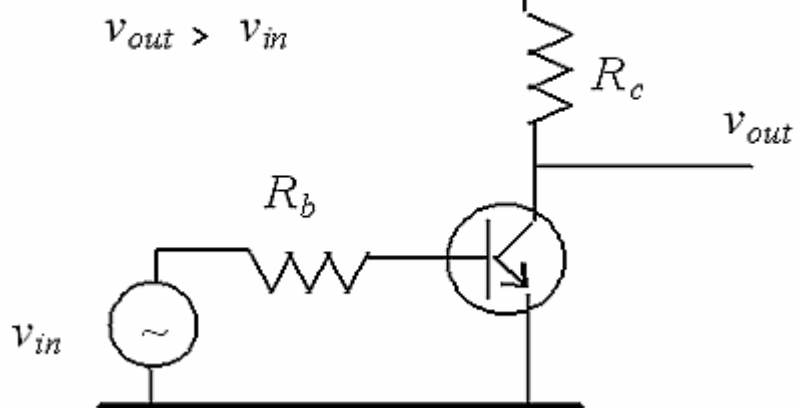
- Platí:

$I_c = h I_b$ , kde  $h$  je tzv. stejnosměrný zesilovací činitel tranzistoru.

## Schematická značka transistoru NPN

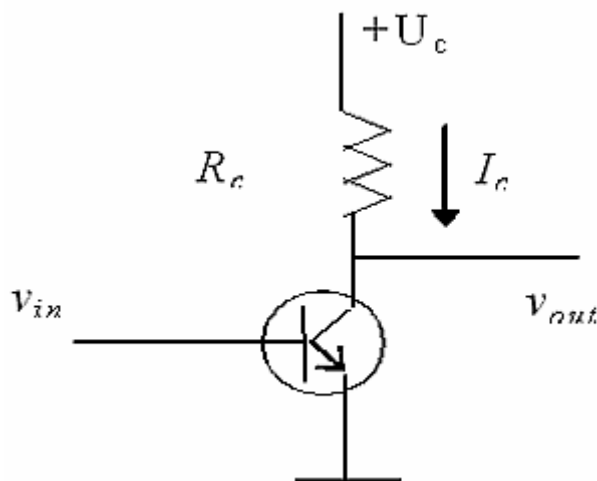


### Tranzistor jako zesilovač:



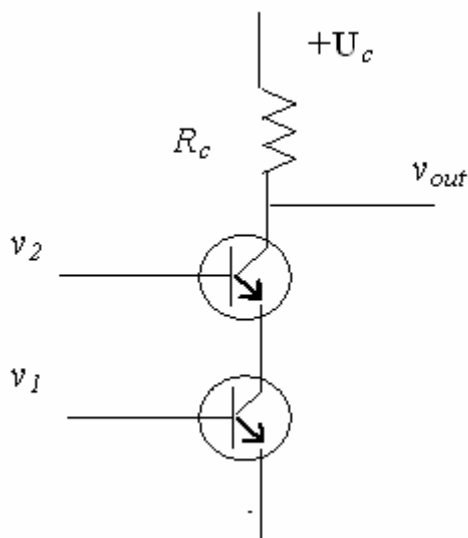
### Realizace invertoru tranzistorem:

- Pokud je vstup transistoru  $V_{in}$  na úrovni **L**, je transistor uzavřen a jeho výstup  $v_{out}$  je roven napětí zdroje  $U_c$  a je tedy na úrovni **H**.
- Pokud je vstup transistoru  $V_{in}$  na úrovni **H**, je transistor otevřen. Průchod kolektorového proudu  $I_c$  odporem  $R_c$  způsobí úbytek napětí na výstupu:  $V_{out} = U_c - R_c \cdot I_c$
- Parametry obvodu musí být stanoveny tak, aby v tomto případě výstup  $V_{out}$  byl na úrovni **L**.



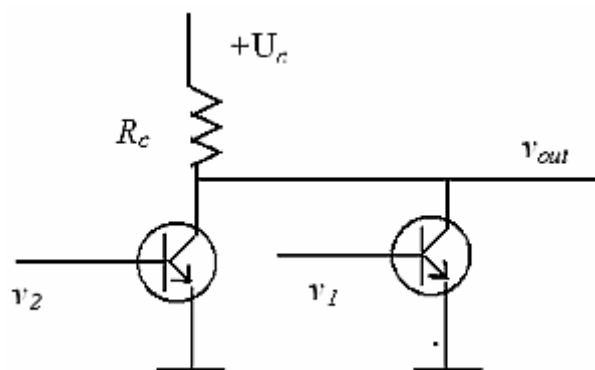
$V_{in}$		$V_{out}$	
<b>L</b>	<b>0</b>	<b>H</b>	<b>1</b>
<b>H</b>	<b>1</b>	<b>L</b>	<b>0</b>

### Realizace NAND a NOR:



$V_1$	$V_2$	$V_{out}$
<b>L</b>	<b>L</b>	<b>H</b>
<b>L</b>	<b>H</b>	<b>H</b>
<b>H</b>	<b>L</b>	<b>H</b>
<b>H</b>	<b>H</b>	<b>L</b>

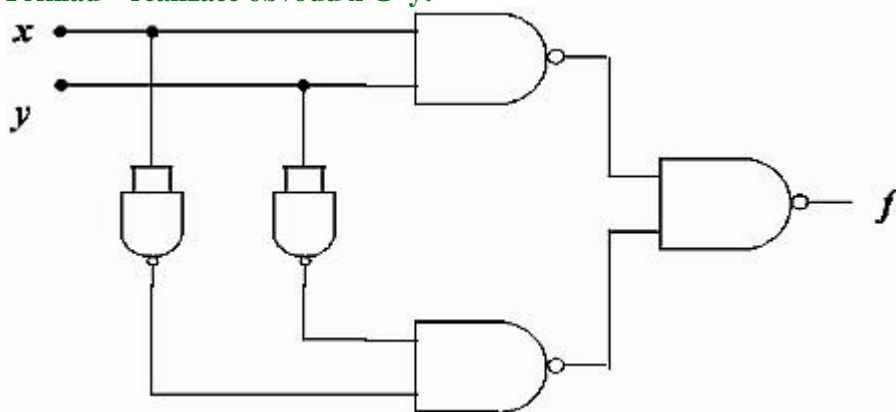
V pozitivní logice obvod realizuje NAND:			V negativní logice obvod realizuje NOR:		
$V_1$	$V_2$	$V_{out}$	$V_1$	$V_2$	$V_{out}$
0	0	1	1	1	0
0	1	1	1	0	0
1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	1



$V_1$	$V_2$	$V_{out}$
L	L	H
L	H	L
H	L	L
H	H	L

V pozitivní logice obvod realizuje NOR:			V negativní logice obvod realizuje NAND:		
$V_1$	$V_2$	$V_{out}$	$V_1$	$V_2$	$V_{out}$
0	0	1	1	1	0
0	1	0	1	0	1
1	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	1

### Příklad – realizace obvodu $x \hat{U} y$ :



### MOS tranzistory:

Ů Transistory MOS jsou dvojího druhu:

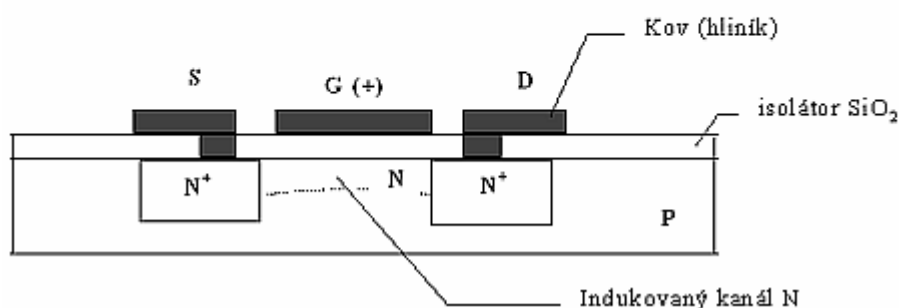
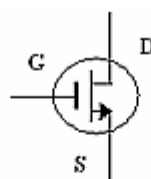
1. S indukovaným kanálem.
2. S vodivým kanálem.

Ů Oba druhy mohou mít kanál buď typu N a pak je označujeme jako **NMOS** nebo typu P a pak je označujeme jako **PMOS**.

### NMOS tranzistor s indukovaným kanálem:

Transistor je vytvořen na nosné destičce polovodiče typu P, který je zároveň velmi slabě dotován donorem. Na destičce je vytvořena oblast **emitoru** (angl. **source**) a **kolektoru** (angl. **drain**) silnou dotací donorem. Nosná destička polovodiče P je pokryta **isolační vrstvou** z oxidu křemíku ( $\text{SiO}_2$ ). **Řídící elektroda (gate, hradlo)** leží těsně nadisolační vrstvou mezi emitorem a kolektorem. S polovodičovou destičkou nemá žádné vodivé spojení.

Schematická značka NMOS tranzistoru



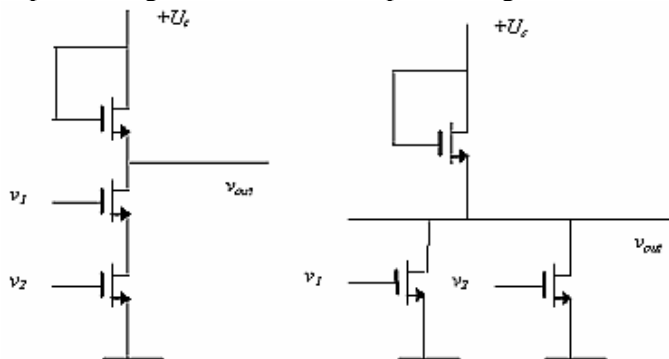
### Funkce NMOS tranzistoru:

- Ů Při přiložení kladného  $U_g$  napětí na hradlo (G) se vytvoří (indukuje) kanál N mezi emitorem (S) a kolektorem (D).
- Ů Pokud přiložíme zároveň kladné napětí na kolektor, začne transistorem protékat proud  $I_d$ , pro který platí:  $I_d = (1 / r_d \cdot ON) U_g$ , kde konstanta úměrnosti  $r_d \cdot ON$  se nazývá kolektorový odpor (drain resistance) a její hodnota se pohybuje v rozmezí  $100 \Omega - 100 \text{ k}\Omega$ .
- Ů Velikost napětí na hradle  $U_g$  tedy řídí velikost kolektorového proudu  $I_d$ . Transistor pracuje jako zesilovač řízený napětím.

## Realizace NAND a NOR tranzistorů MOS:

V pasivní logice NAND:

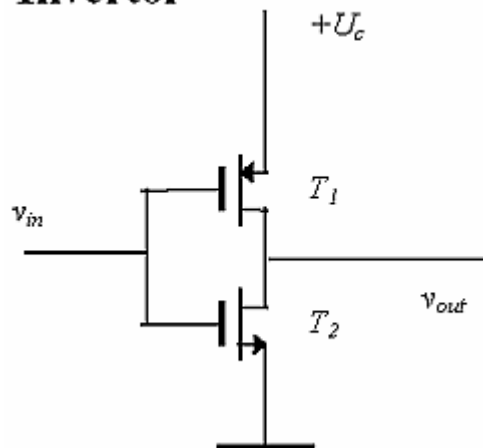
V pasivní logice NOR:



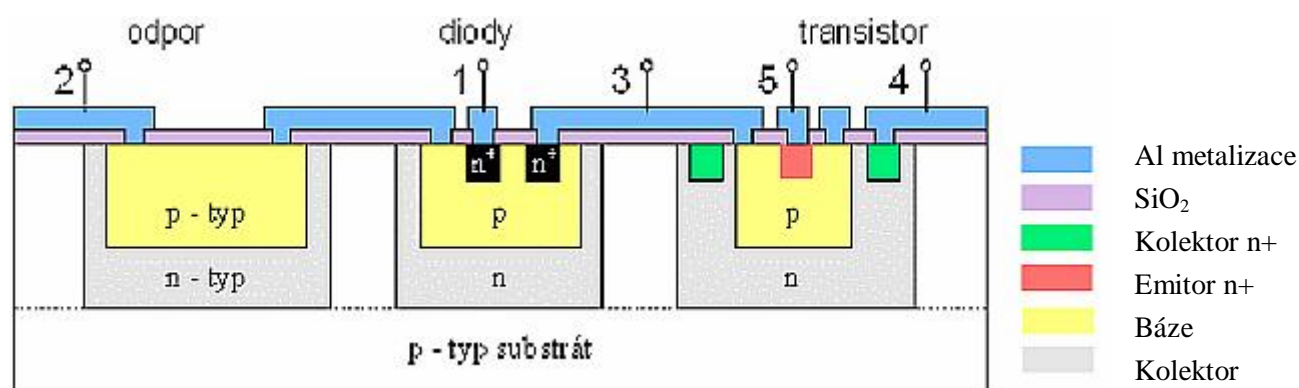
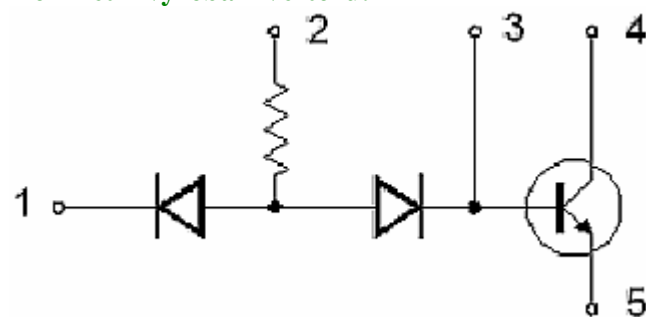
## Obvody CMOS:

- Je-li na vstupu  $v_{in}$  úroveň **H**, je transistor  $T_2$  otevřen. Na řídicí elektrodě je kladné napětí vzhledem k polovodičové destičce a mezi emitorem a kolektorem vznikne proto vodivý kanál typu N, který vodivě spojuje výstup  $v_{out}$  se zemí. Transistor  $T_1$  je uzavřen, protože potenciál na vstupu a na polovodičové destičce je zhruba stejný a vodivý kanál P (jedná se o PMOS transistor) nemůže vzniknout. Výstup  $v_{out}$  je proto na potenciálu země a tedy na úrovni **L**.
- Je-li na vstupu  $v_{in}$  úroveň **L**, je transistor  $T_1$  otevřen a transistor  $T_2$  uzavřen. Výstup  $v_{out}$  je proto na potenciálu  $U_c$  a tedy na úrovni **H**.

## Invertor



## Konkrétní výroba invertoru:

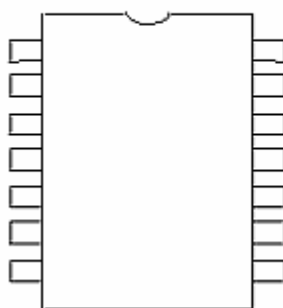


## Integrované obvody:

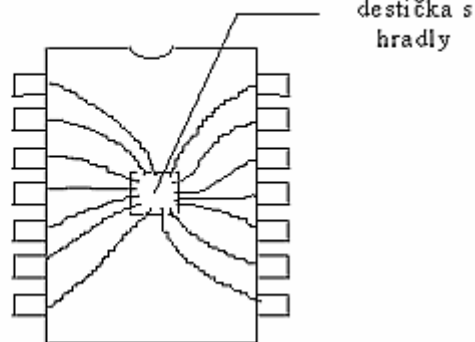
**Integrovaný obvod (chip, čip)** je čtvercová destička křemíku o rozměru kolem 5×5 mm, umístěná v plastovém nebo keramickém pouzdru.

Keramické pouzdro má určitý počet nožiček (pinů), typicky 14, 16, 18, 22, 24, 28, 40 nebo 64. Nožičky jsou vodivě spojeny se vstupy a výstupy na destičce realizovaného

Pohled shora



Pohled dovnitř

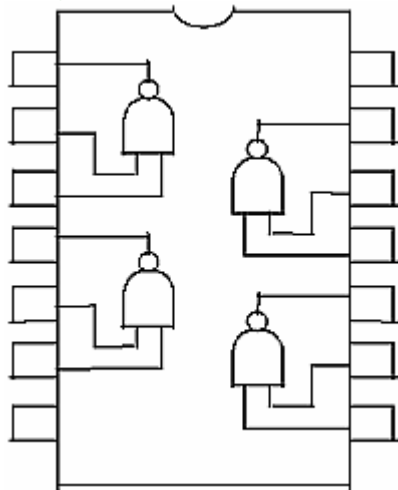


obvodu a s místy na čipu, kam je třeba přivést napájecí napětí a zem.

### Stupeň integrace čipu:

- ü **SSI (Small scale integration)** Tyto obvody obsahují zhruba 1 - 10 hradel. Typický SSI obvod je obvod 7400 firmy Texas Instruments, na kterém jsou realizována 4 hradla NAND.
- ü **MSI (Medium scale Integration)** Tyto obvody obsahují 10 - 100 hradel. Tuto integraci vyžaduje realizace dekodérů, čítačů, multiplexorů atd.
- ü **LSI (Large scale integration)** Tyto obvody obsahují 100 - 100 000 hradel. S touto integrací bývají realizovány jednoduché mikroprocesory (např. osmibitový procesor Intel 8080) a paměti s menší kapacitou.
- ü **VLSI (Very large scale integration)** Tyto obvody obsahují více než 100 000 hradel. S touto integrací jsou realizovány velké paměti a složité mikroprocesory jako např. procesor PENTIUM firmy Intel.

### Integrovaný obvod 7400 Texas Instruments:



### Technologie integrovaných obvodů:

**Technologie určuje druh použitých transistorů a jejich zapojení.**

- ü **TTL** – K realizaci hradel jsou použity bipolární transistory. Jedná se o rychlé obvody, jejich zpoždění jsou řádově nanosekundy.
- ü **ECL** – Modifikace technologie TTL. Hradla jsou opět realizována bipolárními transistory. Obvody jsou konstruovány tak, aby se transistory nedostávaly do stavu úplného uzavření nebo do stavu úplného otevření. Jeden logický stav je v ECL obvodu reprezentován přivřením transistoru a druhý jeho částečným otevřením. Obvody ECL jsou tak až 10 krát rychlejší než obvody TTL.  
**Nevýhoda:** Obvod má větší spotřebu proudu a tedy i větší výkon tepla uvnitř obvodu. To nedovoluje konstruovat obvody s velkou integrací.
- ü **NMOS MOS** transistory mají jednodušší strukturu než bipolární a proto lze touto technologií dosáhnout vyšší integrace než technologií TTL. Obvody jsou ale pomalejší.
- ü **PMOS** technologie se nepoužívá, protože je pomalejší než NMOS. (Pohyblivost děr je menší než pohyblivost elektronů.)
- ü **CMOS** hlavní technologie dneška. CMOS (Complementary MOS) vychází z použití tranzistoru NMOS jako základního spínacího prvku s aktivní zátěží tvořenou tranzistorem PMOS. To dovoluje napájet obvod napětím 3-18V. Má nejmenší spotřebu proudu a dovoluje tak dosáhnout největší možnou integraci. Rychlost je dnes srovnatelná s bipolární technologií.

### Historie vývoje integrovaných obvodů:

1960	Integrované obvody: J.Kilby, R.A.Noyce (Fairchild)
1968	Založení firmy INTEL (R. Noyce, G. Moore)
1969	T. Hoff navrhuje mikroprocesor (INTEL 4004) pro kalkulačky Vývoj mikroprocesorů: Motorola(Apple), INTEL( IBM PC)
1980	RISC procesory (ALPHA firmy DEC, POWER PC IBM)

Moorův zákon: Množství komponent na čipu se každých 18 měsíců zdvojnásobí.