

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

*Ústav elektrotechniky a měření*

# ***Základní pojmy elektroniky***

Přednáška č. 1

*Milan Adámek*

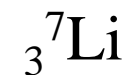
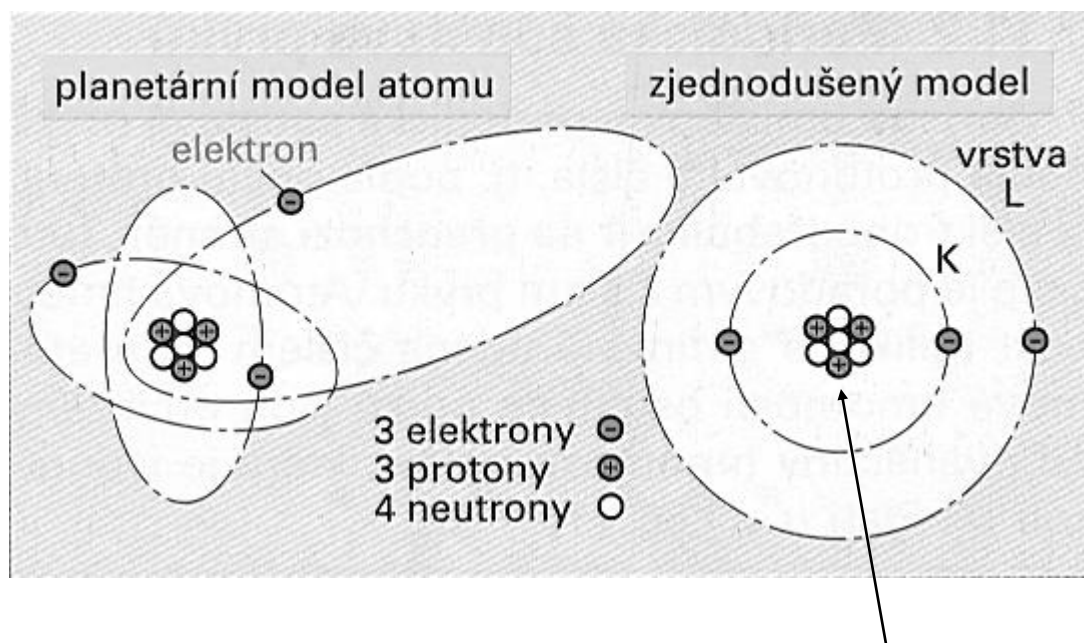
[adamek@ft.utb.cz](mailto:adamek@ft.utb.cz)

U5 A711

+420576035251

# Model atomu

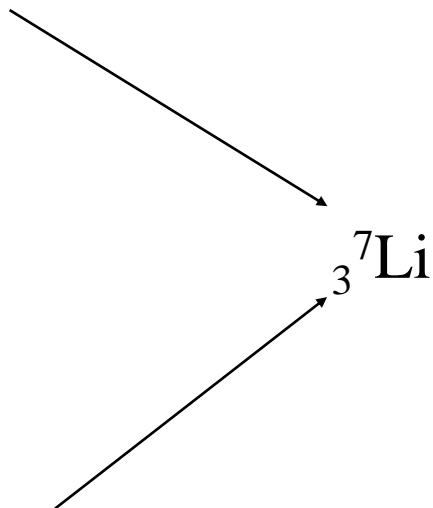
průměr atomu  $10^{-10}\text{m}$



nukleony = protony + neutrony

Atom neutrální: počet protonů = počet elektronů

Nukleonové (hmotnostní) číslo  $A$  – udává počet protonů a neutronů



Protonové (pořadové) číslo  $Z$  – udává počet protonů (i elektronů)

### *Slupky (vrstvy):*

- elektrony se vyskytují jen v určitých vrstvách (slupkách)
- nejbližší k jádru je slupka K (max. 2 elektrony, slupka L 8 elektronů, M 16 elektronů, nevdálenější je N s 32 elektrony

### *Podslupky (hladiny):*

- slupky se dělí na hladiny označované písmeny s, p, d, f...

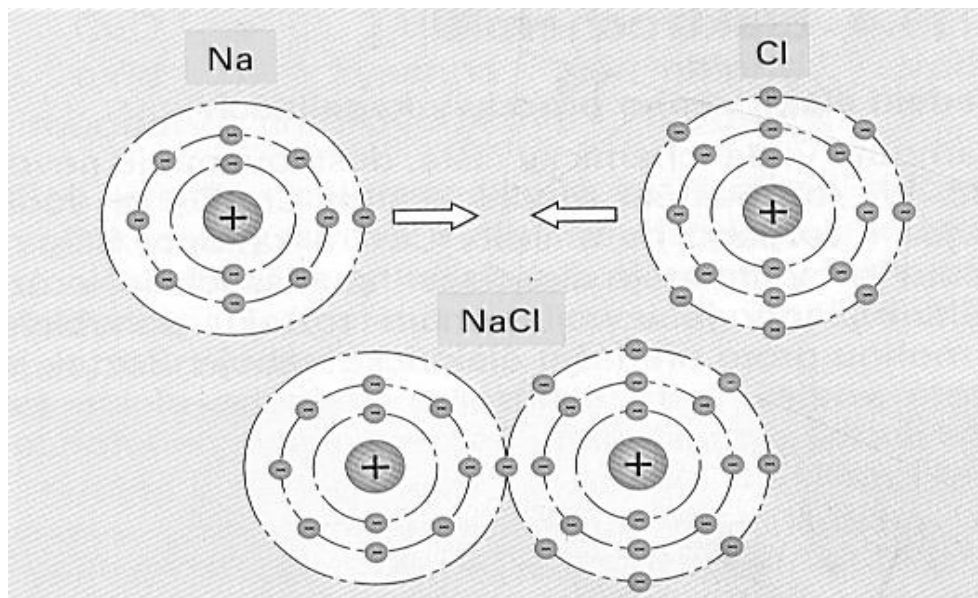
### *Valenční vrstva a valenční elektrony:*

- nejvyšší obsazená vrstva
- je důležitá pro chemické a elektrické vlastnosti látek

## Druhy chemických vazeb

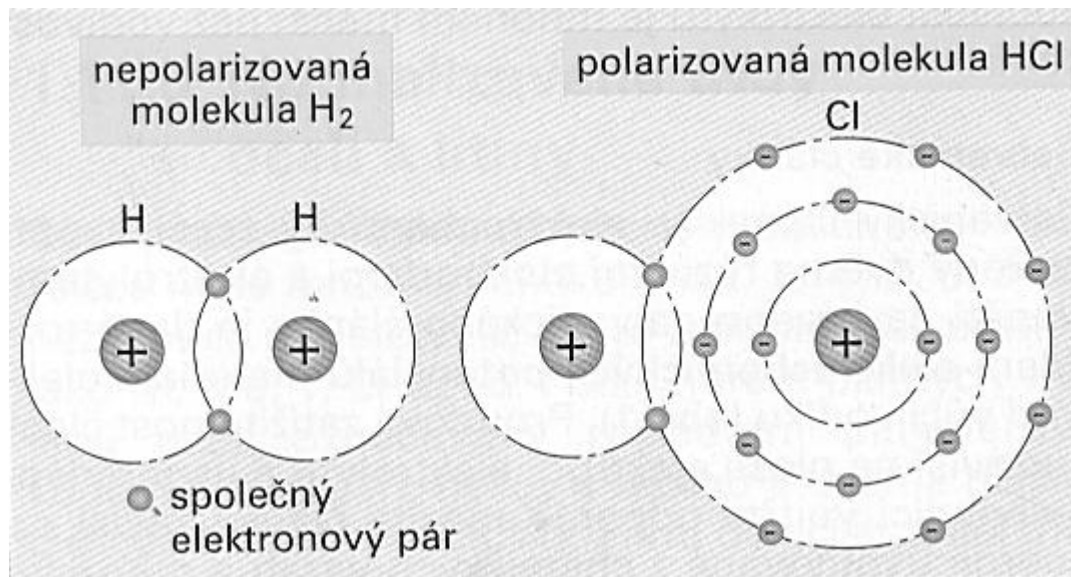
druh vazby	iontová vazba	kovalentní vazba		kovová vazba
		nepolarizovaná	polarizovaná	
skupiny prvků vázané daným druhem vazeb	kovy s nekovy, většinou alkalické kovy ze skupiny I.A s halogeny ze skupiny VII.A (F, Cl, Br, I)	většinou nekovy a vodík, atomy téhož prvku mezi sebou (vodík, diamant, křemík, selen), prvky skupin III.A, IV.A, V.A, VI.A mezi sebou a s vodíkem (GaAs, PbS, organické sloučeniny)		kovy a slitiny kovů
vznik vazby	přechod elektronu z alkalického kovu k atomu halogenu	vznik společných elektronových párů mezi atomy		husté uspořádání předání valenčního elektronu
vzniklé struktury	anionty a kationty v roztoku nebo krystaly	elektricky neutrální molekuly	většinou polarizované molekuly typu dipól	kovová struktura s volnými elektrony
příklady	$\text{Na}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{NaCl}$	$\text{H}\cdot + \text{H}\cdot \rightarrow \text{H}:\text{H}$	$\text{H}\cdot + \cdot\ddot{\text{Cl}}: \rightarrow \text{H}:\ddot{\text{Cl}}:$	Cu

# Iontová vazba



- založena na přitažlivé síle opačně nabitých iontů
- zpravidla mezi kovem a nekovem
- atom kovu předá valenční elektron (vznikne z něho anion) nekovu (vznikne něho kation)
- vytvořený kation a anion se přitahují

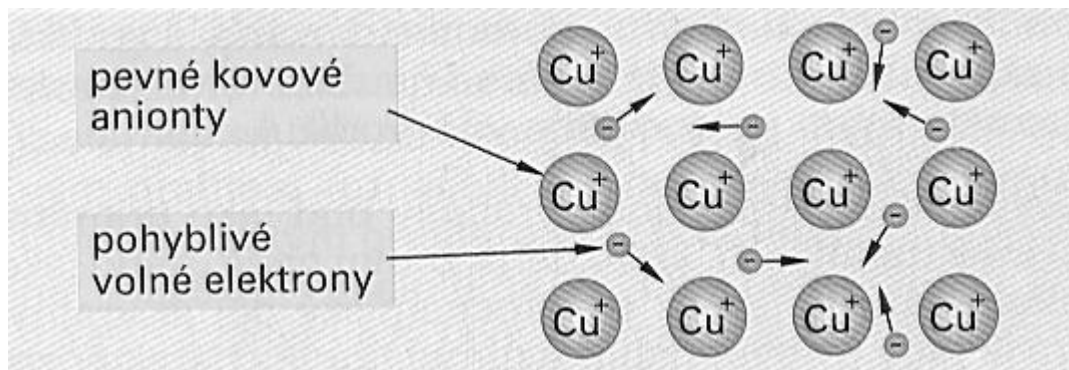
# Kovalentní vazba



- dochází při této vazbě k průniku valenčních pásů a valenční elektrony jsou přitahovány oběma jádry



# Kovová vazba



- na vazbě se podílí elektrony z vnitřních slupek
- valenční elektrony se uvolní a mohou se pohybovat mimo dosah jádra



# Vodivé materiály

vodič	vlastnosti	použití
měď Cu	Hustota 8,9 kg/dm <sup>3</sup> , elektrická vodivost 56 m/(Ωmm <sup>2</sup> ), tj. rezistivita 0,0178 Ωmm <sup>2</sup> /m, bod tání 1085°C, bod varu 2595°C, druhý nejlepší vodič elektrického proudu i tepla, lehce tvárná (válcováním i tažením), špatně třískově obrobitelná (maže se), po tváření zastudena křehká, po vyžehání opět měkká. Ve vlhkém prostředí se pokrývá vlivem vzdušného CO <sub>2</sub> zelenou měděnkou, což je zásaditý uhličitán měďnatý CuCO <sub>3</sub> · Cu (OH) <sub>2</sub> . Měděnka chrání měď proti další korozi. Proti působení síry z pryžové izolace je nutno měď chránit pocínováním. Sloučeniny mědi jsou většinou jedovaté.	Elektrotechnická měď je materiálem pro vodiče vedení, vinutí cívek a plošných spojů. Používá se pro vodiče a sběrnice v rozvodnách, pro chladiče odvádějící teplo polovodičových součástek, pro pajedla a chladicí trubky. Používá se na lamely komutátorů komutátorových elektrických strojů a do slitin.
hliník Al	Hustota 2,7 kg/dm <sup>3</sup> , elektrická vodivost 36 m/(Ωmm <sup>2</sup> ), bod tání 658°C, dobrý vodič elektřiny i tepla, na vzduchu se pokrývá elektricky špatně vodivou a kompaktní ochrannou vrstvou oxidu Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . Malá mechanická pevnost, malá odolnost proti louhům.	Vodiče kabelů a integrovaných obvodů. Pouzdra kondenzátorů a polovodičových součástek, chladiče, antény, stínící kryty, fólie kondenzátorů, brzdy vířivými proudy.
stříbro Ag	Hustota 10,5 kg/dm <sup>3</sup> , elektrická vodivost 60 m/(Ωmm <sup>2</sup> ). Bod tání 960°C, nejlepší vodič elektřiny i tepla, odolné proti korozi, měkká, vrstva oxidu je vodivá, působením SO <sub>2</sub> se pokrývá tmavým Ag <sub>2</sub> S (černá). Příměsemi Cu, Pt, Ir, Pd nebo Cd získá dobré vlastnosti, např. tvrdé stříbro (3% Cu) je odolné proti elektrickému oblouku a je pevné, palladiové stříbro (30% Pd) je tvrdé a odolné proti síře.	Vodiče pro vf techniku (vf lanka). Kontakty relé a stykačů. Kontaktní bimetal pro spínání směrových světel.

# Vodivé materiály

zlato Au	Hustota 19,3 kg/dm <sup>3</sup> , elektrická vodivost 46 m/(Ωmm <sup>2</sup> ), bod tání 1063°C, chemicky stálé, měkké.	Pozlacení kontaktů, přívodní drátky v integrovaných obvodech.
mosazi, slitiny Ms: Cu – Zn	Hustota kolem 8,6 kg/dm <sup>3</sup> , elektrická vodivost kolem 15 m/(Ωmm <sup>2</sup> ), větší pevnost než měď, obsah Zn je 5–37%. Např. slitina Ms63 obsahuje 63% Cu, 37% Zn a je velmi houževnatá. Mosazi je možno pájet měkkou i tvrdou pájkou. Rozlišují se dobře slévateľné mosazi a tvárné mosazi.	Osy, šrouby, svorky, nýty, objímky, kontakty ve spínačích. Profily, armatury, plechy.
cínový bronz slitina Cu – Sn	Hustota kolem 8,8 kg/dm <sup>3</sup> , elektrická vodivost kolem 10 m/(Ωmm <sup>2</sup> ), bod tání kolem 1000°C, velká houževnatost. Příklady: CuSn8 (92% Cu, 8% Sn), CuSn6 (6% Sn) jsou pružné a mají dobré kluzné vlastnosti.	Pérové kontakty, membrány, kluzné vodivé dráhy.
hliníkové slitiny	Používají se tvářené hliníkové slitiny (válcované, tažené i kované) s malými příměsemi Mg, Cu, Mn, Si, Zn, Ni, Cr aj., čímž se všeobecně zlepšuje jejich pevnost (Mg,Mn), třísková obrobiteľnost (Mg), tvrdost (Cu), slévateľnost (Si). Příklady: aldrej E-AlMgSi, dural AlCu4Mg, AlMg3, AlMg2Mn. Určité hliníkové slitiny, např. AlCuMg, AlCuNi se vytvrzují tepelným postupem (žihání, rychlé chlazení, stárnutí).	Vzdušná (venkovní) vedení, dráty, sběrnice v rozvodnách, šrouby, pouzdra a kryty, klecové rotory asynchronních motorů. Kotouč nesoucí hlavy videorekordéru.



# Vodiče a kabely

**Tabulka 1: Systém značení rozvodných kabelů a vodičů do 1 kV**  
podle ČSN 34 7409 (idt HD 361) : □ □□ □ □ □□ – □□□

□ označení předpisu	□□ jmenovité napětí	□ – izolace – kovové krytí	□ materiál pláště	□□ vlastnosti pro montáž	□ druh vodiče	□□□ – počet žil – ochranný vodič – průřez vodiče
H: harmoni- zovaný předpis A: uznávaný národní typ	03: 300/300 V 05: 300/500 V 07: 450/750 V	V: PVC	V: PVC	H: ploché rozdělitelné vedení	U: jeden drát	1, 2, 3, 4, 5
		V2: PVC do 90°C	R: přírodní nebo syntetický kaučuk	H2: ploché nerozděli- telné vedení	R: vícedrátový	X: bez ochran- ného vodiče
		R: přírodní nebo syntetický kaučuk	S: silikonový kaučuk	Bez značky: kabel kruho- vého průřezu	K: z tenkých drátů pro pevné uložení	G: s ochran- ným zelenožlu- tým vodi- čem
		S: silikonový kaučuk	N: chlorpre- nový kaučuk	H8: spirálový přívod,	F: z tenkých drátů pro pohyblivé uložení	číslo: jmeno- vitý průřez jádra v mm <sup>2</sup>
		E7: polypro- pylen	J: skelné vlákno	další viz elektrotech- nické tabulky	H: z jemných drátů	Y: leonské jádro
		Q: polyuretan, další viz elektro- technické tabulky	T: textilní vlákno		Y: slaněný	

H07RN-F 2 × 1,5 označuje harmonizovaný kabel pro napětí do 450 V proti zemi a do 750 V mezi fázemi s pryžovou izolací žil i pryžovým pláštěm, kruhového průřezu s 2 lanky průřezu 1,5 mm<sup>2</sup>.

# Vodiče a kabely

**Tabulka 2: Barvy žil ohebných kabelů a šňůr**

počet žil	vodiče a kabely (vedení)	
	s ochranným vodičem	bez ochranného vodiče
1	zežl, mod, čer, hn a další barvy	
2	zežl-čer <sup>1</sup>	čer-mod (hn-mod) <sup>2</sup>
3	zežl-čer-mod zežl-hn-mod <sup>2</sup>	čer-mod-hn
4	zežl-čer-mod-hn	čer-mod-hn-čer
5	zežl-čer-mod-hn-čer	čer-mod-hn-čer-čer
6 a více	zežl-černé s natištěnými čísly 1, 2, 3, ...	černé s natištěnými čísly 1, 2, 3, ...

<sup>1</sup> jen pro pevná uložení při průřezu jádra > 10 mm<sup>2</sup> Cu

<sup>2</sup> pro ohebná vedení a šňůry

zežl = zelenožlutá, čer = černá, mod = modrá, hn = hnědá  
podle IEC 757: čer = BK (black), mod = BU (blue),  
žl = YE (yellow), hn = BN (brown)



# Vodiče a kabely

**Tabulka 1: Instalační vodiče a kabely do 1 kV (příklady)**

typ, označení	vyobrazení	použití
instalační jednožilový vodič H 07V – U H 07V – R H 07V – K		Vedení v instalačních trubkách v rozváděcích, v přístrojích, spotřebičích, v elektrickém nářadí, ve strojích a ve svítlidlech.
úložný kabel CYKY 2 až 5 žil 1,5 až 4 mm <sup>2</sup> Cu		Pro pevný rozvod elektrické energie v budovách na omítku i pod omítku, ve ztížených podmínkách, na lávkách, v kolektorech i šachtách.
silové ploché vedení CYND (měkčí PVC) CYNV (tvrdší PVC) 2 nebo 3 žíly 1,5 nebo 2 mm <sup>2</sup> Cu		Na rozvod v budovách, na instalaci ve zdech přímo pod omítkou. Může být uložen také přímo na hořlavý podklad.
ohebný kabel v těžkém provedení H 07RN – F (dříve CGSG) 1 až 5 žil 1,5 až 300 mm <sup>2</sup> Cu		Nechráněné a pohyblivé přívody ke spotřebičům s velkým příkonem, ke strojům v průmyslových provozech a na stavbách, v suchém i vlhkém prostředí.

# Pájky a tavidla

Pájka – vodivý spoj s nižší teplotou tavení než teplota tavení spojovaných kovů

*Měkká pájka* – teplota tavení nižší než 450°C

*Tvrdá pájka* – teplota tavení vyšší jak 450°C

Pozn. zpravidla pájka ve formě dutého drátu s kalafunovým tavidlem uvnitř dutiny

Tabulka 2: Důležité měkké a tvrdé pájky

název	značka	složení	bod tání	použití
měkká pájka	L-Sn60Pb	60% Sn, 40% Pb	183–190°C	pocínování a pájení drátů
měkká pájka	L-Sn60PbCu2	60% Sn, 38% Pb, 2% Cu	183–190°C	pájení spojů a součástek
měkká pájka	L-Sn60PbAg	60% Sn, Pb, 3–4% Ag	178–180°C	pájení elektronických součástek
stříbrná pájka (tvrdá pájka)	L-Ag40Cd	40% Ag, 20% Cd, 19% Cu, 21% Zn	610°C	pájení mědi, oceli, niklu a jejich slitin
mosazná pájka (tvrdá pájka)	L-MS60	60% Cu, 40% Zn	900°C	pájení mědi a oceli

**Olovo a jeho sloučeniny jedovaté – snaha o bezolovnaté pájení**



# Izolanty

Izolační odpor – dán délkou, průřezem a rezistivitou materiálu

Průrazné napětí – efektivní hodnota sinusového napětí, při kterém dojde k průrazu materiálu

	název	vlastnosti	použití	
látky	(nezměněné)	slída (muskovit) $\text{Al}_3\text{KH}_2(\text{SiO}_4)_3$	$U_p \approx 30$ až $70$ kV/mm; $\rho \approx 10^6 \Omega\text{cm}$ ; $\epsilon_r \approx 6$ až $8$ ; $\text{tg } \delta \approx 0,0005$ ; nerost štípatelný po plátcích, elastický, průhledný, žáruvzdorný, není hyroskopický.	Dielektrikum kondenzátorů. Izolační podložky pod výkonové polovodičové součástky, okénka pro radioaktivní záření. Podložky pro topné vodiče.
		křemen $\text{SiO}_2$	$\rho \approx 10^{13}$ až $10^{20} \Omega\text{cm}$ ; dobrý tepelný vodič. Oxidací lze vyrobit na povrchu Si vrstvičku $\text{SiO}_2$ .	Písek v tavných pojistkách pro zhašení jisker, izolační vrstvy v integrovaných obvodech.
	přepřacované	sklo $\text{Na}_2\text{CaSiO}_4$	$\rho \approx 10^8$ až $10^{15} \Omega\text{cm}$ , $\epsilon_r \approx 5$ až $16$ ; $\text{tg } \delta \approx 0,001$ ; vyrábí se tavením křemenného písku s vápnem a sodou, je tvrdé, křehké, není hyroskopické.	Baňky žárovek, elektronek, výbojek, obrazovek, magnetronů, zářivek. Světlovodná vlákna, skelná tkanina laminátových desek plošných spojů.
		keramika např. porcelán steatit, oxidová keramika	$U_p \approx 40$ kV/mm, dobrý izolant, odolná proti elektrickému oblouku, není hyroskopická, je teplotně a chemicky stabilní, odolná proti stárnutí.	Izolátory, pouzdra výkonových polovodičových součástek, podložky vrstevných obvodů a odporů, dielektrikum kondenzátorů, vložky do zásuvek, vypínačů. Tělesa pojistek, objímky žárovek.



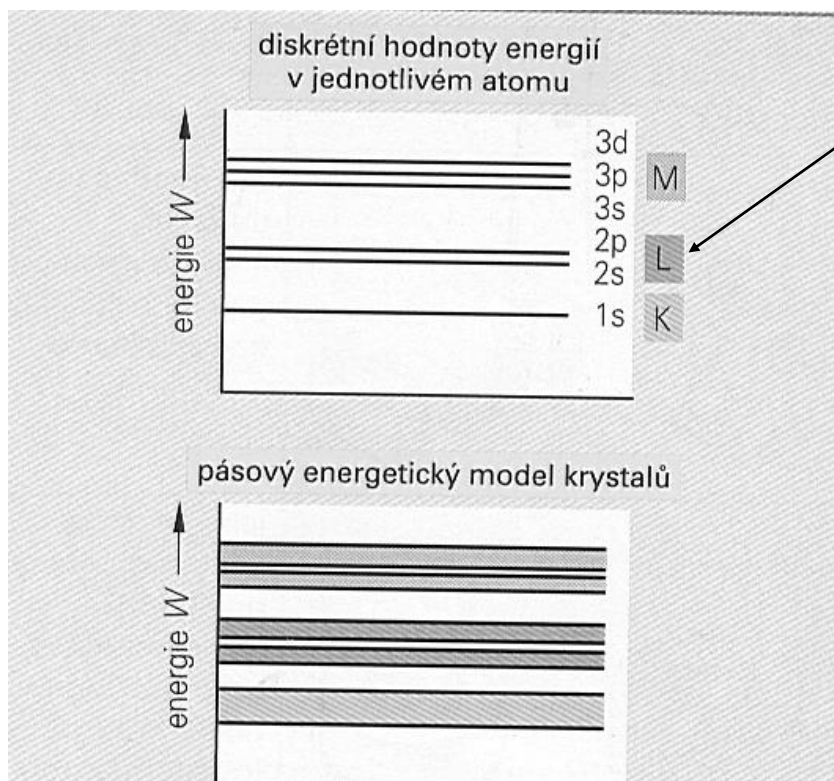
# Izolanty

Termoplasty – lze za tepla vstříkovat svařovat

Duroplasty – nelze ani za tepla tvarovat

umělé hmoty (plasty)	termoplasty	polyvinylchlorid PVC	$U_p \approx 20$ až $50$ kV/mm, $\rho = 10^6 \Omega\text{cm}$ ; $\text{tg } \delta \approx 0,02$ ; odolávání louchům, solím a slabým kyselinám, olejům i benzínu, špatně hořlavý. Samotný tvrdý, ale změkčitelný a elastický pomocí přísad.	Izolace vodičů a kabelů, izolační a instalační trubky, lepicí pásy. Při hoření uvolňuje chlorovodík a toxické dioxiny.
		polystyren PS	$U_p \approx 50$ kV/mm; $\rho = 10^6 \Omega\text{cm}$ , sklovitě průhledný, křehký, hořlavý, hustota $1,1 \text{ kg/dm}^3$ .	Kostry vf cívek, svorkovnice izolace vodičů, izolační fólie. Pěnový polystyren – výplně přepravních obalů
		polyetylen PE	$U_p \approx 60$ až $150$ kV/mm; $\rho \approx 10^{15} \Omega\text{cm}$ ; $\text{tg } \delta \approx 0,0004$ ; elektrické vlastnosti téměř nezávislé na kmitočtu a teplotě, chemicky stálý, odpuzuje vodu, dobře hořlavý, svařitelný, nelepitelný; hustota $0,92 \text{ kg/dm}^3$ .	Dielektrikum a izolace anténních koaxiálních svodů, balicí fólie. Instalační trubky, pláště kabelů.
	duroplasty	epoxidová pryskyřice EP	Pevná, chemicky stálá, velmi dobré elektrické vlastnosti, tepelně odolná.	Epoxidová lepidla, laky, zalévací tmely, izolace vodičů. K zalévání cívek a transformátorů. Se zpevňující tkaninou desky plošných spojů, kostry cívek. Krabice a další díly spínačů a rozvodných krabic.

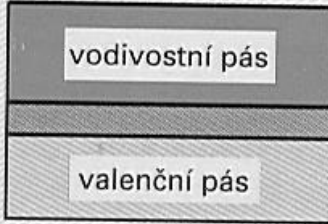
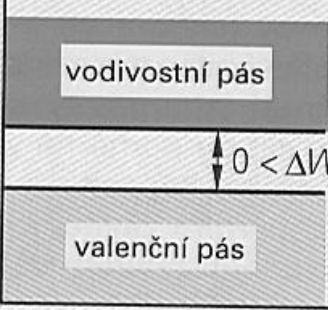
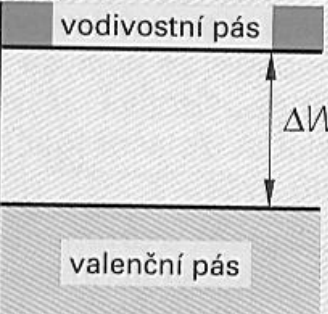
# Elektrický proud v pevných látkách



*Potenciální energie* elektronu roste se vzdáleností od jádra.

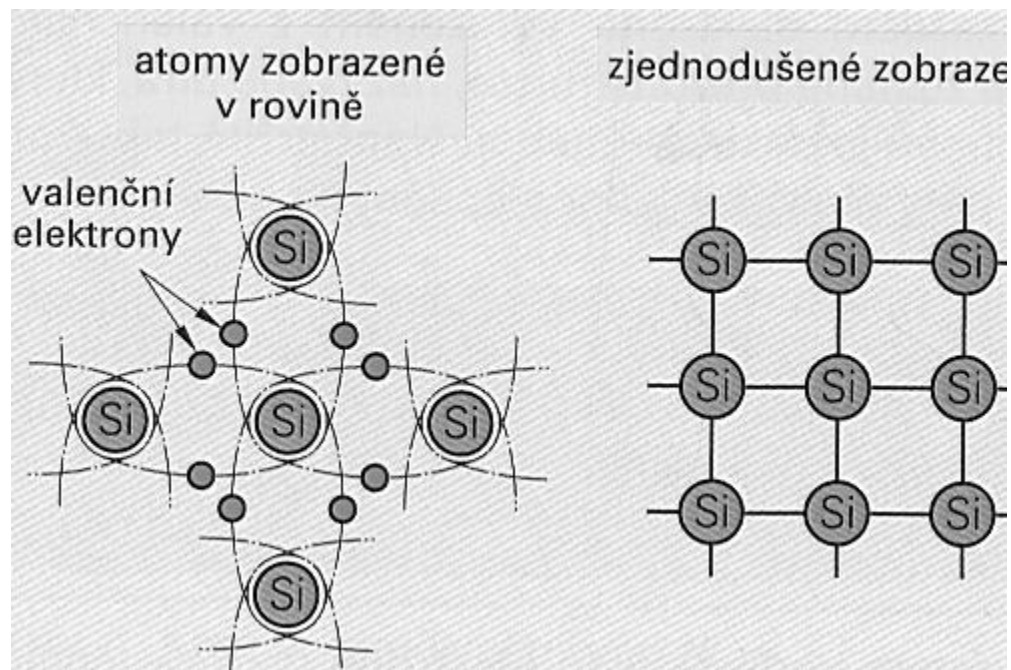
Ve *valenčním pásu* jsou elektrony vázány k jádru atomu.

Ve *vodivém pásu* jsou elektrony volně pohyblivé.

látky	energetický pásový model
kovy	 <p>Diagram showing the energy band structure for metals. The valence band (valenční pás) and conduction band (vodivostní pás) overlap, resulting in <math>\Delta W &lt; 0</math>. An upward arrow labeled <math>W</math> indicates increasing energy.</p>
vlastní polovodiče	 <p>Diagram showing the energy band structure for intrinsic semiconductors. The valence band (valenční pás) and conduction band (vodivostní pás) are separated by a small gap, with <math>0 &lt; \Delta W &lt; 3\text{eV}</math>. An upward arrow labeled <math>W</math> indicates increasing energy.</p>
izolanty	 <p>Diagram showing the energy band structure for insulators. The valence band (valenční pás) and conduction band (vodivostní pás) are separated by a large gap, with <math>\Delta W &gt; 3\text{eV}</math>. An upward arrow labeled <math>W</math> indicates increasing energy.</p>



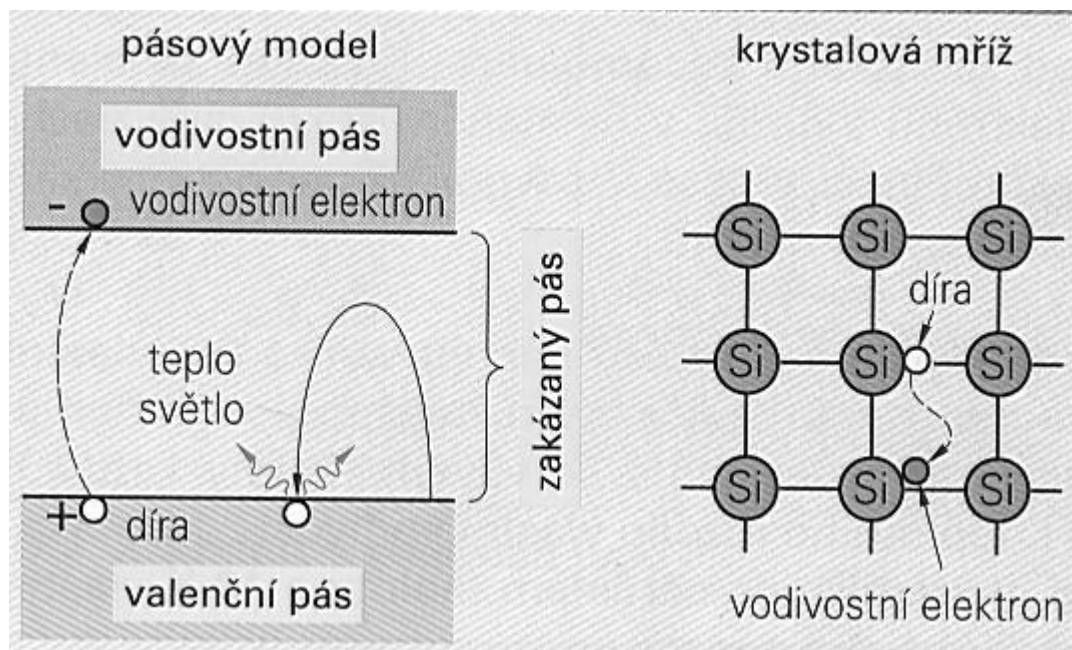
# Elektrický proud v polovodičích



Kovalentní vazby mezi atomy křemíku

- má 4 valenční elektrony ve valenčním pásu, je čtyřvazný
- každý atom křemíku je vázán 4 kovalentními vazbami na 4 sousední atomy

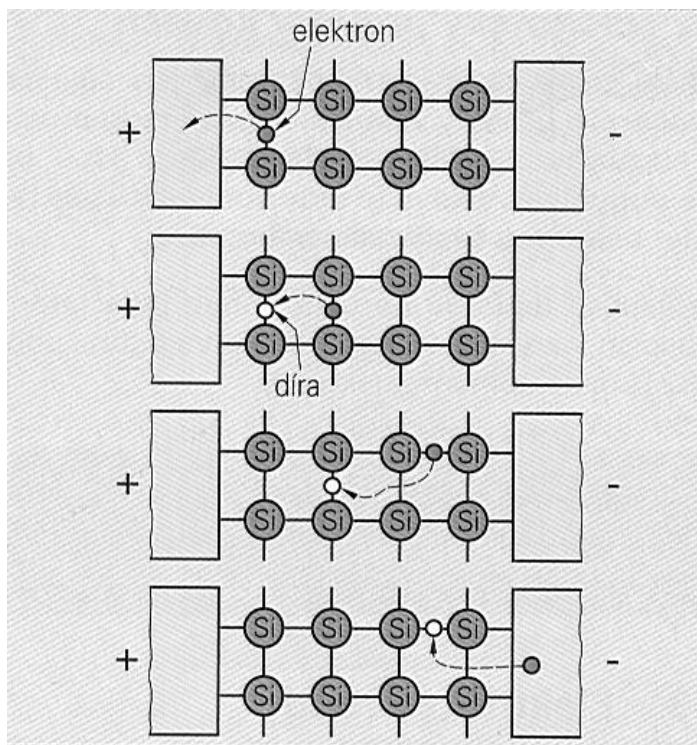
# Elektrický proud v polovodičích



**Vznik páru nosičů nábojů elektron – díra**

## Vlastní vodivost v polovodičích

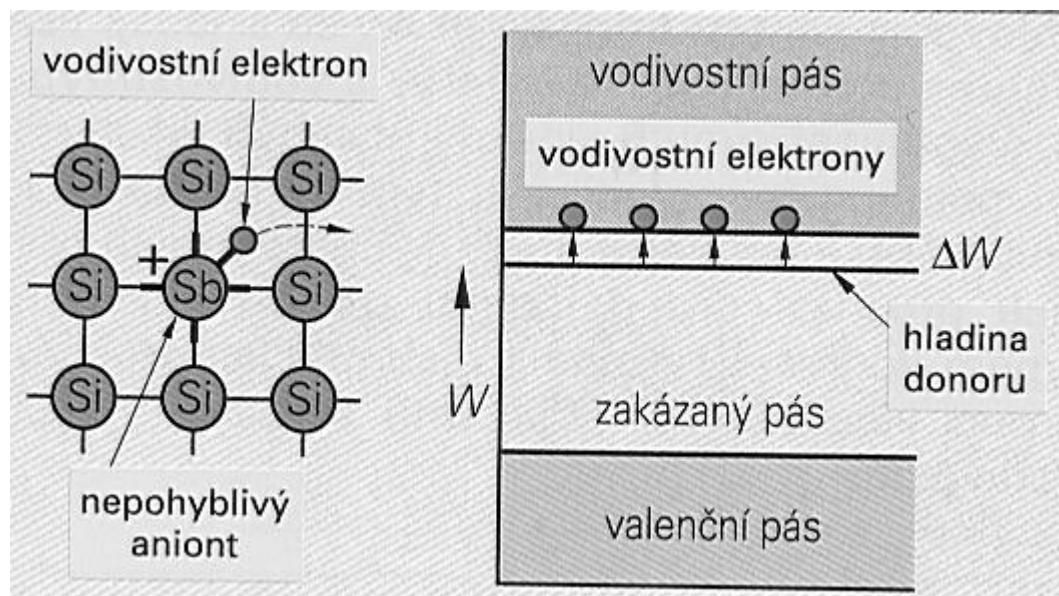
- elektron přeskočí z valenčního do vodivého pásu získáním energie
- vznikne díra – jde o generaci páru elektron díra
- dochází k zaplnění díry elektronem – jde o rekombinaci



# Nevlastní vodivost v polovodičích

## *Polovodič typu N*

- přidána pětímocná příměs – jde o dárce elektronu tzv. donor
- prvky 5. hlavní skupiny (Sb, As, P)
- nosiči náboje v polovodiči typu N jsou volné elektrony

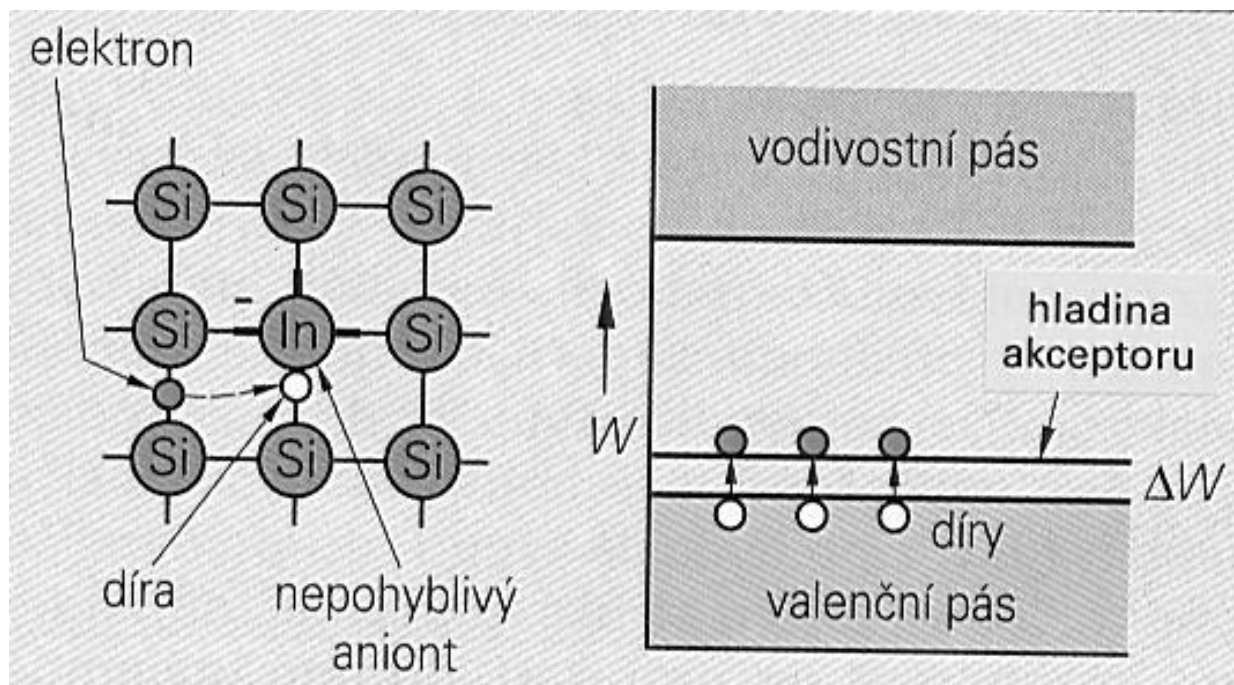




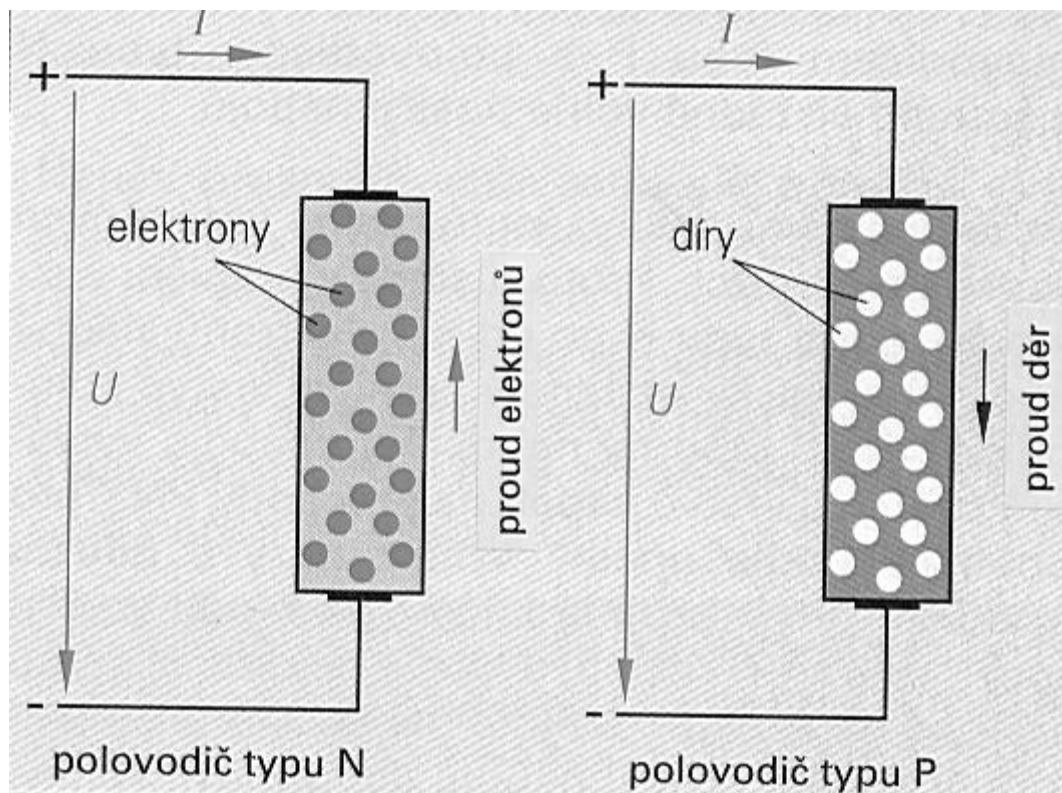
# Nevlastní vodivost v polovodičích

## Polovodič typu P

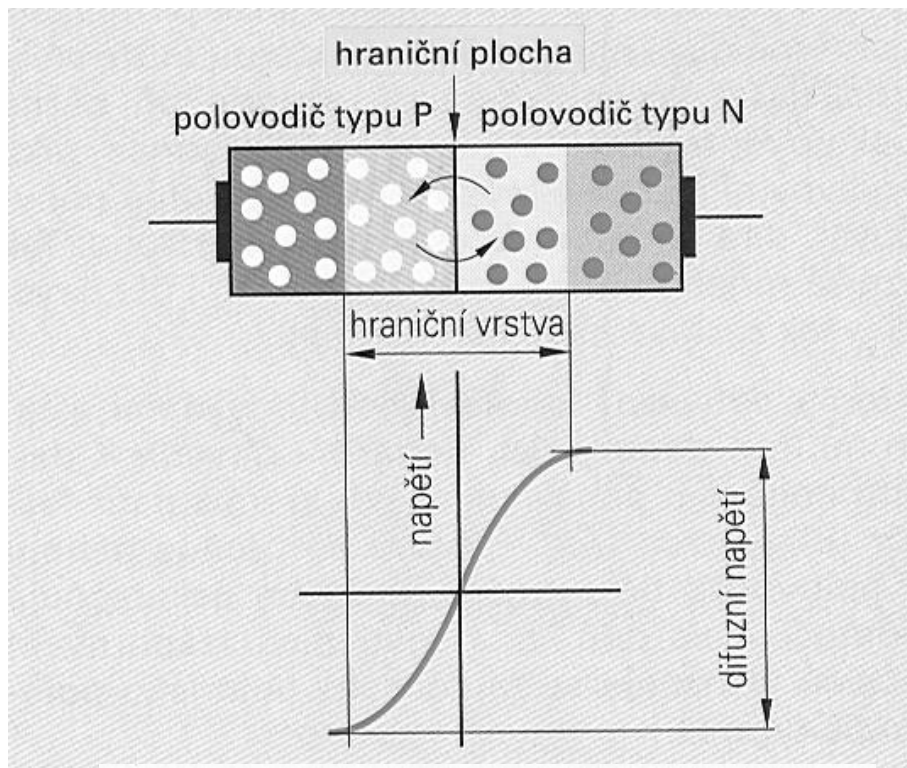
- přidána třímocná příměs – jde o příjemce elektronu tzv. akceptor
- prvky 3. hlavní skupiny (In, B, Al, Ga)
- nosiči náboje jsou kladné díry



# Poruchová vodivost v polovodiči



# Polovodičové diody

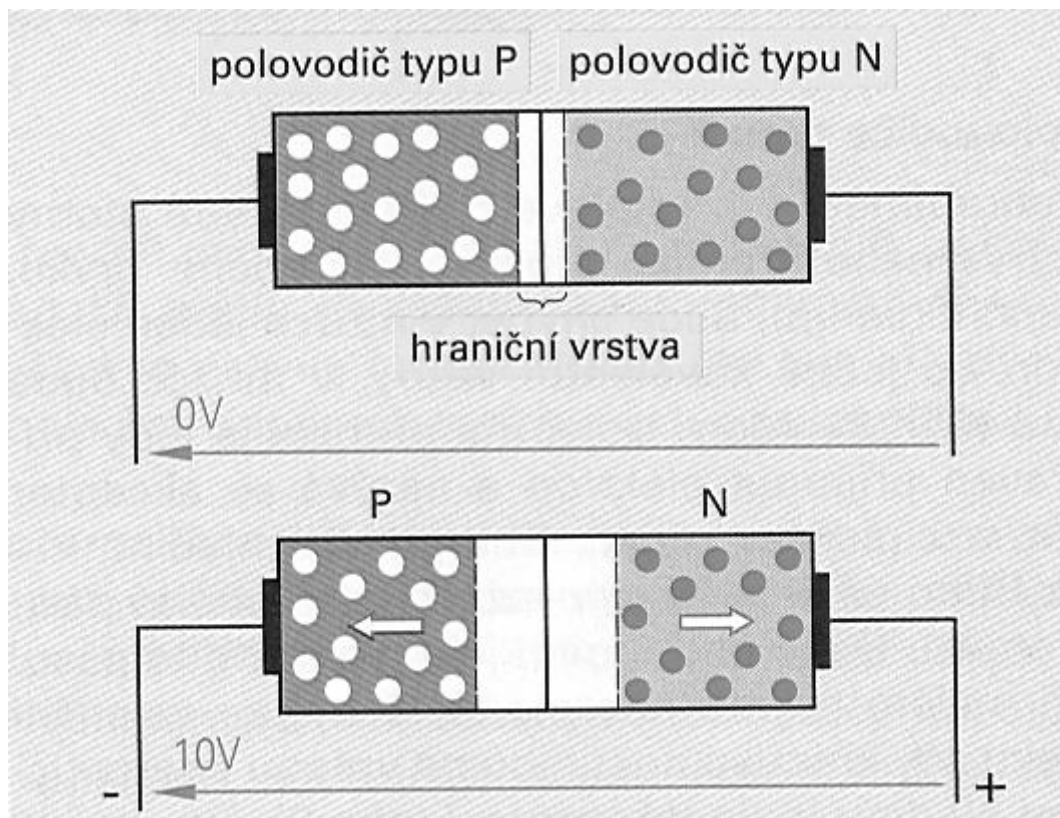


Přechod PN bez připojeného napětí

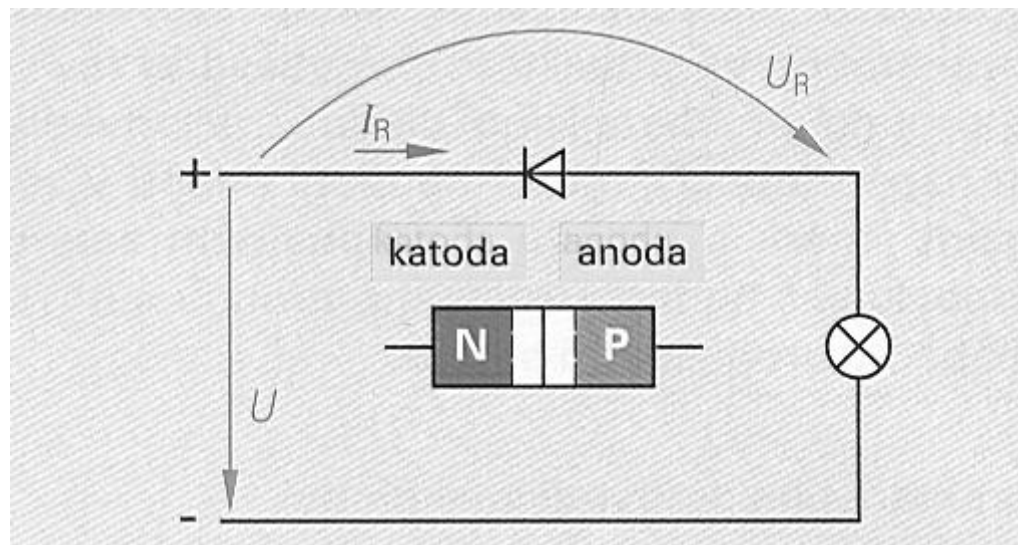
Hraniční vrstva=závěrná vrstva

**Pozn.** v hraniční vrstvě dochází k difúzi napětí  
přenos náboje je v hraniční vrstvě uzavřen –závěrná vrstva

# Polovodičové diody

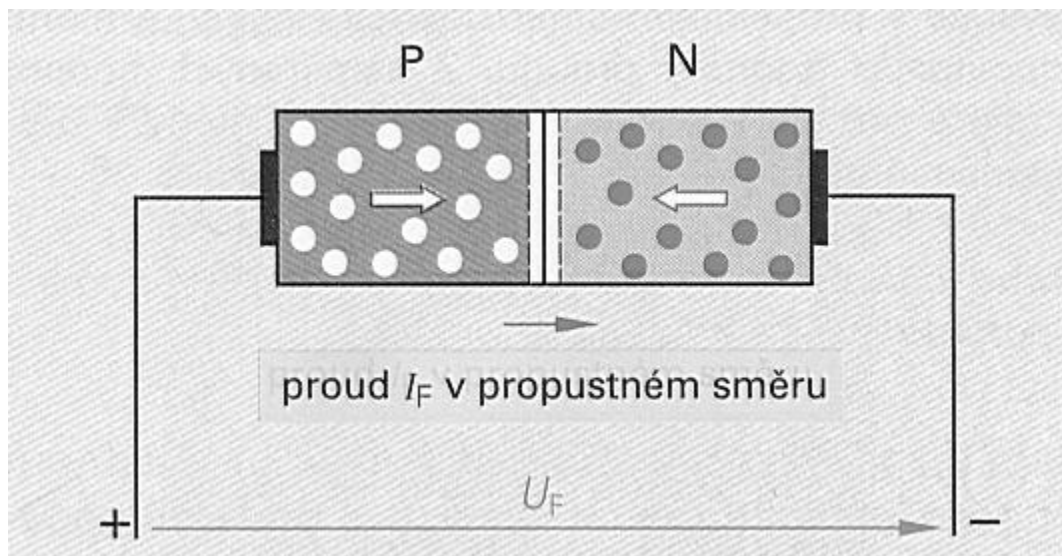


## Závěrný směr diody





## Propustný směr diody



## Měření VA charky diody

