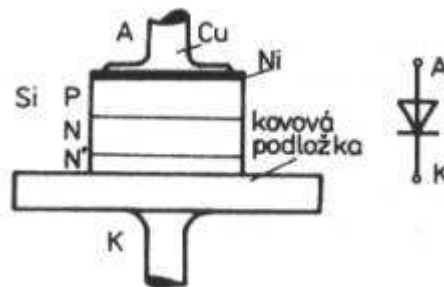


DIODY A JEJICH VÝZNAM PRO ELEKTRONICKÉ OBVODY

Diody pro síťové usměrňovače:

Diody pro síťové usměrňovače jsou plošné diody určené pro usměrnění proudů řádově jednotek až desítek ampér při napětí desítek až stovek voltů technických frekvencí. Jsou vyráběny z křemíku převážně difúzní technologií. Základní destička má nevlastní vodivost typu N. Na ní se difúzí boru nebo galia vytvoří vrstva typu P. Silně dotovaná vrstva N⁺ umožňuje neusměrňující dobře vodivé spojení krystalu s kovovou podložkou, která pomáhá odvádět teplo a tvoří vývod katody. Vrstva niklu vytváří neusměrňující spojení s vývodem anody.

Důležité vlastnosti usměrňovacích diod popisuje katalog. Pro diodu KY 130/600 se uvádí : střední usměrněný proud $I_{rav} \leq 300 \text{ mA}$, největší anodové napětí v přímém směru $U_F < 1 \text{ V}$, napětí ve zpětném směru $U_R < 600 \text{ V}$, proud ve zpětném směru $I_R \leq 10 \mu\text{A}$, při $U_R = 600 \text{ V}$ a teplotě $+25 \text{ }^\circ\text{C}$.



Diody pro usměrňování malých vysokofrekvenčních proudů

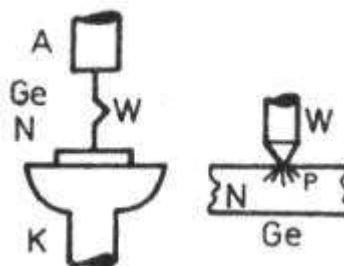
Plošné diody :

Plošné diody pro usměrňování malých vysokofrekvenčních proudů do frekvence několika megahertzů se vyrábí z křemíku. Základem je destička s nevlastní vodivostí typu N, která tvoří katodu. Anoda je vyrobena difúzní technologií. Krystal má rozměry asi 1 x 1 (mm). Je připájen na základní kovovou destičku, která zvětšuje mechanickou pevnost diody a pomáhá odvádět teplo. Celek je připájen na přívodní dráty procházející skleněnou průchodkou a je neprodyšně uzavřen v kovovém pouzdru.

Dovolená napětí ve zpětném směru jsou 100 až 200 V. Střední hodnota usměrněného proudu je maximálně několik desítek miliampérů.

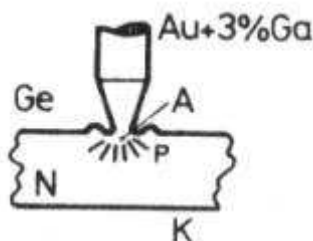
Hrotové diody :

V současné době se vyrábí několik druhů hrotových diod určených k usměrňování malých vysokofrekvenčních proudů. Proti plošným diodám má jejich charakteristika pozvolnější průběh a větší zakřivení při malých hodnotách proudu. Proto jsou k některým účelům hrotové diody výhodnější než diody plošné. Nejdůležitější jsou germaniové hrotové diody a germaniové diody se zlatým hrotem.



Germaniové hrotové diody : Germaniový krystal s nevlastní vodivostí typu N čtvercového tvaru o rozměrech asi 1 x 1 (mm) tloušťky 0,1 mm je připájen ke kovové destičce přivařen= k přívodnímu drátu. Na povrch germaniové destičky, která tvoří katodu diody, je pružně přitlačován hrot tenkého wolframového drátku spojeného s druhým přívodním drátem diody. Wolframový drátek tvořící vývod anody má pouze mechanický kontakt s povrchem polovodičové destičky. Celý systém diody je zataven do skleněného pouzdra. Vývod katody je barevně označen. Dobrého usměrňovacího účinku se dosáhne tzv. formováním, které se provádí na konci výrobního postupu impulsem proudu asi 1 A, který projde diodou v přímém směru. V místě dotyku hrotu a polovodiče dojde ke značnému zahřátí, při kterém některé atomy wolframu přejdou do povrchové vrstvy polovodiče. Vznikne tak miniaturní oblast s vodivostí typu P těsně pod místem dotyku hrotu. Nejlepších výsledků se dosáhne, obsahuje-li hrot příměsi způsobující v germaniu vodivost typu P (např. Indium).

Miniaturní přechod PN vytvořený popsaným způsobem má kapacitu asi 1 pF. Proto je mezní frekvence těchto diod značně vysoká (kolem 100 MHz; ve speciálním provedení až 1000 MHz). Závěrná napětí jsou však pouze několik desítek voltů a přípustné hodnoty usměrněných proudů jen 10 až 20 mA.



Diody s přivařeným zlatým hrotem : Rozdíl mezi diodou se zlatým hrotem a hrotovou diodou popsanou výše je patrný z obrázku. Základem diody je opět destička z germania typu N, která je katodou. Drátek tvořící přívod k anodě je však zlatý s příměsí galia. Při formování dojde k přivaření zlatého drátku k polovodičovému krystalu. Zároveň se galium rozpustí v roztaveném germaniu a vytvoří silně dotovanou oblast typu P. Vznikne dioda s miniaturním slitinovým přechodem PN. Takto vyrobená dioda sdružuje v sobě výhodné vlastnosti hrotových i plošných diod. Má vysokou mezní frekvenci, která dosahuje běžně 100 MHz a u některých typů diod až 1000 MHz. Výhodou je též menší odpor v přímém směru a větší odpor i menší proud ve zpětném směru, než mají diody hrotové.

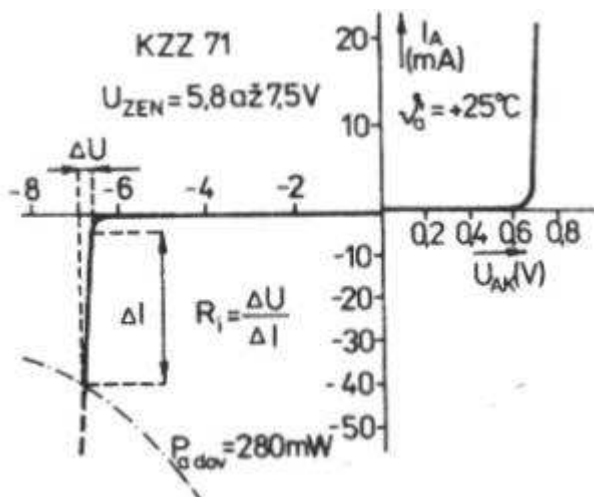
Diody pro stabilizaci napětí (Zenerovy diody):

Pro stabilizaci stejnosměrných napětí je možné využít vlastností přechodu PN plošných křemíkových diod vyrobených vhodným způsobem, které jsou polarizovány ve zpětném směru.

Má-li dioda velmi tenký přechod PN, vzniká při působení napětí ve zpětném směru v její velmi tenké vyprázdněné oblasti tak velká intenzita elektrostatického pole, že dochází k vytrhávání elektronů z vazeb krystalové mřížky. Počet minoritních nosičů náboje v důsledku toho velmi vzroste. To se projeví prudkým růstem zpětného proudu diody při téměř stálém napětí. Přitom se dynamický vnitřní odpor diody zmenší z hodnoty několik M Ω na několik desítek až jednotek Ω .

Popsaný děj se nazývá Zenerův děj podle svého objevitele. Napětí, při kterém Zenerův jev nastává, se nazývá Zenerovo napětí. K vyvolání Zenerova jevu je třeba, aby intenzita elektrostatického pole v křemíku dosáhla hodnoty řádově 10^7 V/m. Intenzita elektrostatického pole ve vyprázdněné oblasti je při určitém napětí nepřímo úměrná její tloušťce. U nejtenčích vrstev se dosahuje kritické intenzity pole (Zenerova napětí) asi při 3 V. Při zvětšování tloušťky přechodu Zenerovo napětí postupně stoupá. Zároveň se však objevuje další jev zvětšující proud ve zpětném směru. Elektrony získávají při průchodu přechodem v důsledku velké intenzity pole značnou kinetickou energii. Je-li přechod široký, je velká pravděpodobnost, že letící elektron narazí ve vyprázdněné oblasti na jiný elektron a uvolní ho z vazby. Oba elektrony jsou polem dále urychlovány a během své cesty uvolní nárazem další elektrony, ty podobným způsobem opět další. Nastává lavinová ionizace v oblasti přechodu, projevující se podobným způsobem jako Zenerův jev.

Zenerův jev se uplatňuje v tenkých přechodech. Začíná působit při napětí asi 3 V a v důsledku zvětšování šířky přechodu při napětích vyšších než asi 6 V postupně mizí a je plynule vystřídán jevem lavinovým. Oba jevy se z hlediska stabilizace napětí projevují stejným způsobem. Při Zenerově jevu vyvolá zvýšení teploty pokles průrazného napětí, při lavinovém jevu zvýšení průrazného napětí. V okolí 6 V se teplotní závislost obou jevů kompenzuje. V důsledku toho je dioda stabilizující napětí 6 V téměř nezávislá na teplotě.



Kapacitní diody :

Kapacitní diody jsou součástky, které využívají závislosti na přiloženém napětí. Polarizují se ve zpětném směru. Jsou to plošné diody vyráběné z křemíku nebo z arzenidu galia technologickým postupem, který je určen požadovanou závislostí kapacity diody na přiložené napětí. Je-li přechod strmý (slitinový), závisí

$$C_d = \frac{k}{\sqrt{U_R}}$$

kapacita diody na napětí přibližně podle vztahu $C_d = \frac{k}{\sqrt{U_R}}$, kde k je konstanta závislá na materiálu a provedení diody a U_R je napětí mezi anodou a katodou ve zpětném směru. Pro přechod pozvolný vznikly difúzí

$$C_d = \frac{k}{\sqrt[3]{U_R}}$$

nebo epitaxní technologií dostáváme $C_d = \frac{k}{\sqrt[3]{U_R}}$. Vhodným rozdělením příměsí v okolí přechodu lze získat též lineární závislost kapacity na přiloženém napětí.

Z obrázku je patrné, že změnou anodového napětí v přípustném rozsahu je možné dosáhnout změny kapacity v poměru asi 7:1.

Jednotlivé vyráběné typy kapacitních diod se od sebe liší velikostí kapacity C_d , která může být při $U_R = 0$. Kolem deseti pikofaradů až na několik stovek pikofaradů.

Základními parametry, které charakterizují kapacitní diodu, jsou kromě kapacity C_d a její závislosti na napětí činitel jakosti Q a horní mezní frekvence f_h . Tyto veličiny můžeme určit z náhradního obvodu kapacitní diody. Při vysokých frekvencích má reaktance kapacity malou hodnotu a neuplatní se proti ní

$$Q = \frac{1}{2\pi f R_s C_d}$$

paralelní odpor R_p . Pro činitel jakosti platí při vysokých frekvencích dosáhneme $Q = \frac{1}{2\pi f R_s C_d}$. Mezní frekvence kapacitní diody je frekvence, pro kterou je její činitel jakosti roven jedné. Z předcházejícího vztahu

$$f_h = \frac{1}{2\pi R_s C_d}$$

plyne

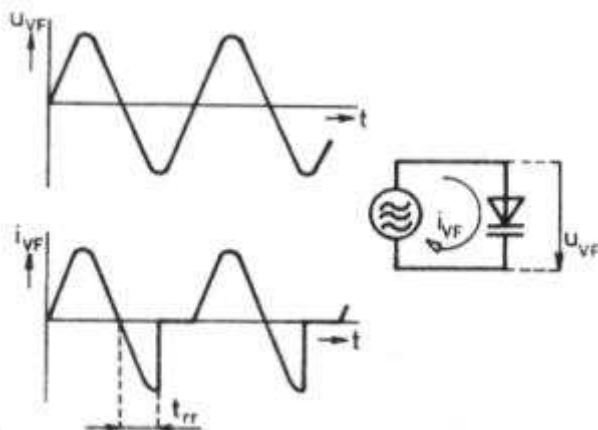
Kapacitní diody určené k přeladování rezonančních obvodů místo ladících kondenzátorů se nazývají varikapy. Jejich kapacita se mění pomocným, tzv. ladícím stejnosměrným napětím. Amplituda vysokofrekvenčního signálu v obvodu diody je ve srovnání s ladícím napětím zanedbatelně malá, takže není nutné počítat se změnami kapacity diody vlivem vysokofrekvenčního signálu. Dioda působí při určitém stálém ladícím napětím jako lineární reaktance.

Diody určené pro obvody s velkou amplitudou signálu, kdy signál mění během své periody značně kapacitu diody, se chovají jako nelineární reaktance. Pro ně se užívá název varaktory. Slouží např. ke směšování a násobení velmi vysokých napětí.

Diody pro velmi vysoké frekvence“

Mžiková dioda :

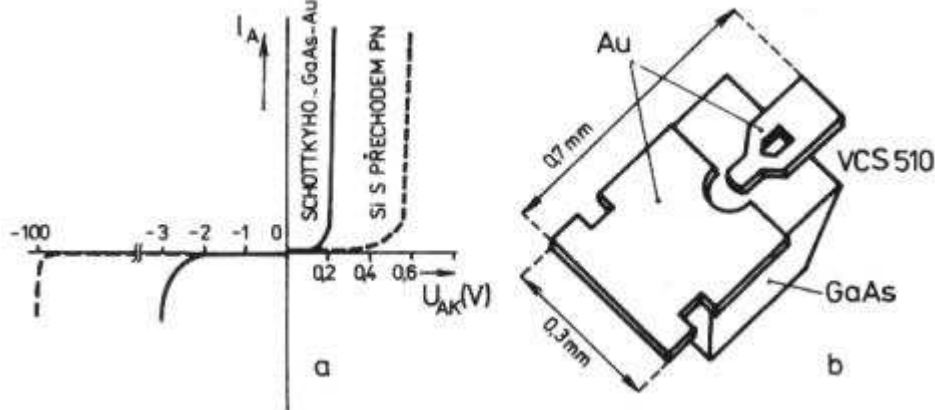
Patří mezi plošné křemíkové diody s miniaturními rozměry přechodu PN. Vhodnou technologií je dosaženo prodloužení doby zotavení na hodnotu, která je vhodná pro určité použití diody. Důležité je, že ke zvětšení odporu diody ve zpětném směru, tj. k odsátí volných nosičů náboje z oblasti přechodu dochází náhle. Tato skoková změna odporu diody je doprovázena prudkým zmenšením její kapacity. To se projeví odpovídající změnou impedance diody během záporné části periody působícího signálu. Dioda se chová jako nelineární reaktance, které se využívá při násobení velmi vysokých frekvencí.



Schottkyho dioda :

Schottkyho diody využívají ke své činnosti usměrňujícího kontaktu polovodič-kov. Vyrábějí se např. napařením tenké vrstvy zlata na povrch epitaxní vrstvy arzenidu galia nebo platiny na povrch křemíku apod. V místě styku polovodiče a kovu dochází k velmi rychlému odsátí volných nosičů náboje kovem. Proto je doba zotavení těchto diod neobyčejně krátká (jednotky pikosekund) a mezní frekvence je velmi vysoká (řádu desítek gigahertzů). Dovolené napětí ve zpětném směru je však malé. Pro diodu Ga-As asi -3V , pro Si-Pt asi -5V .

Schottkyho diody se užívají ve směšovačích a demodulátorech v pásmu centimetrových vln. Proti dříve používaným speciálním hrotovým diodám mají menší šum, větší účinnost a větší odolnost proti elektrickému i mechanickému namáhání.



Dioda PIN :

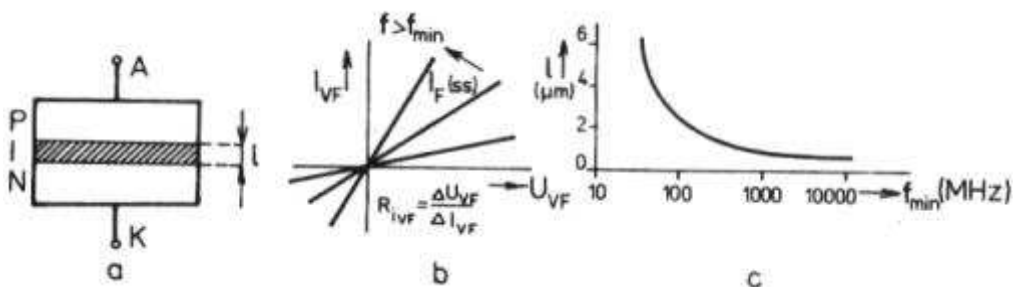
Diody PIN se vyrábějí z křemíku planární technologií nebo technologií mesa. Vrstva s nevlastní vodivostí typu P, která tvoří anodu diody, je oddělena od vrstvy s vodivostí typu N, tvořící katodu, tenkou vrstvou velmi čistého křemíku. Tato mezivrstva, tlustá několik mikrometrů není dotována žádnou příměsí. Má pouze vlastní (intrinzní) vodivost.

Vrstva I se neuplatňuje při průchodu ss proudů nebo proudů tak nízkých frekvencí, že odpovídající doba periody $1/f$ je mnohokrát delší než doba potřebná k průchodu nosičů náboje přes vrstvu I. V těchto případech se dioda chová stejně jako obyčejná křemíková dioda s malou plochou přechodu. Rovněž má stejnou voltampérovou charakteristiku.

Při vysokých frekvencích, kdy doba potřebná k průchodu nosičů náboje přes vrstvu I je srovnatelná s periodou procházejícího signálu, ztrácí dioda PIN svůj nelineární charakter a chová se jako lineární rezistor. Velikost jejího odporu pro vysoké frekvence R_{vt} je možné měnit velikostí ss proudu I_F , kterým diodu v přímém směru polarizujeme. Jak ukazuje voltampérová charakteristika diody PIN, platná pro vysoké frekvence, zmenšuje se odpor R_{vt} při zvětšování ss proudu I_F . Tloušťkou vrstvy I je určena nejnižší frekvence, při které se dioda začne chovat jako řízený rezistor.

Diody PIN se používá při frekvencích stovek až tisíců megahertzů, a proto je důležité, aby jejich parazitní kapacita a indukčnost přívodů byli co nejmenší. Z toho důvodu je krystal tvořící diodu uzavřen ve speciálním koaxiálním pouzdru.

Diodami PIN ve vhodném provedení je možné spínat vf výkony od 1 mW až do 100 kW. Přitom je výkon spotřebovaný k ovládní diody řádu miliwattů.

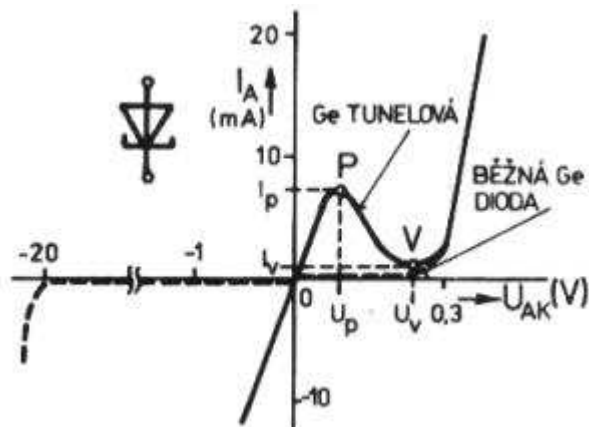


Tunelová dioda :

Dioda se vyrábí z velmi dotovaného germania nebo arzenidu galia. Proti obyčejné plošné polovodičové diodě má voltampérová charakteristika tunelové diody dva výrazné rozdíly. Při polarizaci ve zpětném směru se tunelová dioda chová jako lineární rezistor s malým odporem. V přímém směru její anodový

proud vzrůstá nejprve téměř přímo úměrně anodovému napětí. Dosahuje maxima I_p v bodě P při napětí U_p asi 0,1 V. Při dalším růstu anodového napětí anodový proud klesá až do bodu V. Při napětí asi 0,3 až 0,4 V se voltampérová charakteristika tunelové diody připojuje k charakteristice běžné germaniové diody nebo diody z arzenidu galia. Je zřejmé, že pro pracovní doby ležící mezi body P a V vykazuje dioda záporný diferenciální odpor. Této vlastnosti se dá využít k sestrojení oscilátorů nebo rychlých spínačů. Generované kmity mohou mít velmi vysokou frekvenci – až desítky gigahertzů.

Aplikace tunelových diod přináší řadu nevýhod, a proto se tyto diody v současné době používají jen zřídka.



Gunnova dioda :

V roce 1963 objevil J.B. Gunn zvláštní chování monokrystalu arzenidu galia s nevládní vodivostí typu N, který je vystaven působení silného el. Pole. Zjistil, že v obvodu diody uspořádané podle obr. Se při zvýšení intenzity el. Pole na kritickou (asi 300 až 400 kV/m) objevují v periodické proudové kmity s výkonem několika desetin Wattu a frekvencí několika GHz. Frekvence těchto oscilací je nepřímo úměrná tloušťce diody a jen málo závisí na vlastnostech vnějšího obvodu.

Vznik oscilací se vysvětluje záporným diferenciálním odporem diody, jehož příčinou je zvláštní chování elektronů pohybujících se ve vodivostním pásu arsenidu galia nevládní vodivostí typu N.

Rychlost elektronů v způsobovanou elektrickým polem můžeme vypočítat ve vztahu $v = \mu E$

Tento vztah dovoluje nakreslit závislost unášivé rychlosti v na intenzitě elektrostatického pole E . Při malé intenzitě pole mají elektrony malou energii, a proto jsou téměř všechny na hladinách s nižší energetickou úrovní. Mají velkou pohyblivost a při zvyšování intenzity pole jejich unášivá rychlost v_1 prudce stoupá a jejich kinetická energie roste. Při dosažení kritické intenzity pole získaly elektrony již tak velkou

kinetickou energii, která stačí k překonání energetického rozdílu $\Delta W_1 = 1,35 eV$ mezi částmi vodivostního pásu. Elektrony přicházejí skokem na dráhy s vyšší úrovní potenciálové energie. Přitom však jejich pohyblivost klesá na hodnotu μ_2 . Při malé pohyblivosti odpovídá působícímu elektrostatickému poli menší rychlost elektronů. Proto po přeskočení elektronů na hladiny s vyšší energetickou úrovní dochází ke zmenšování jejich unášivé rychlosti. Elektrony jsou prudce zabržděny a při vzrůstu intenzity pole roste jejich rychlost jen velmi málo.

