

Metodický návod:

1. Spuštění souborem „a.4.5_Lavinový jev.exe“.

Zobrazeno je pásové schéma P-N přechodu, v rovnovážném stavu bez přiloženého vnějšího napětí, majoritní i minoritní nositelé náboje (elektrony – červené, díry – modré), Fermiho energetická hladina (čárkovaná čára). Pásové schéma je doplněno jednoduchým obvodem se Zenerovou diodou a V-A charakteristikou. Na ovládacím panelu je nyní možné pouze zvyšování vnějšího napětí v závěrném směru pomocí posuvníku.

2. Zvyšování vnějšího **napětí** na **6 V** (polarita označena +, – na okrajích pásového schématu).

Dochází k zakřivování energetických hladin. Přechodem prochází proud v podobě minoritních nositelů, ten je však vzhledem k jejich koncentraci zanedbatelný. Nositelé jsou v blízkosti rozhraní P-N urychlováni silným elektrickým polem.

3. Zvýšení vnějšího **napětí** na **9V**.

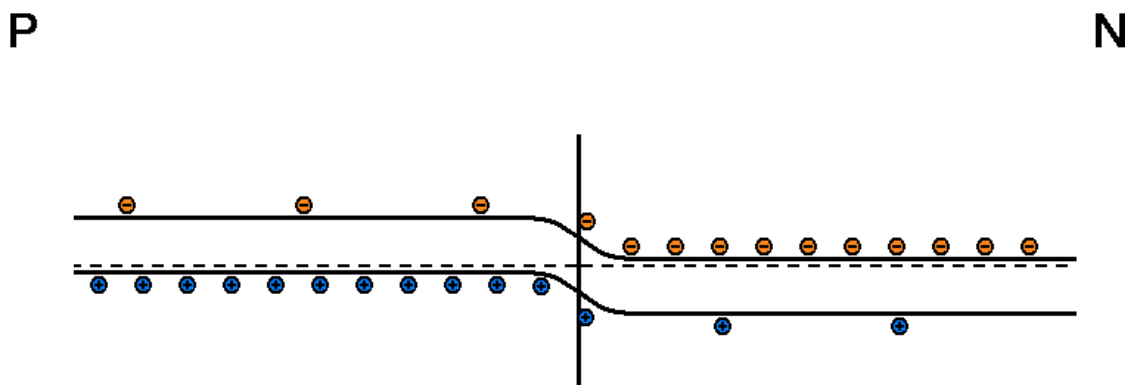
Dojde k dalšímu zakřivení energetických hladin. Elektrony (jejichž pohyblivost je větší než u děr) jsou v blízkosti rozhraní P-N urychlovány natolik, že mohou při nárazu do krystalové mřížky vyrazit další elektron z valenčního do vodivostního pásu. Přechodem protéká proud, znázorněný i ve V-A charakteristice a v obvodu pohyblivými se čárkovanými čárkami. Nyní je k dispozici tlačítko **Detail**.

4. Stisknutí tlačítka **Detail**.

Je otevřeno nové okno se zvětšeným výřezem centrální oblasti P a N přechodu. Děje zde probíhají pomaleji, aby byl zřetelně vidět vznik páru elektron-díra a následný směr pohybu elektronu.

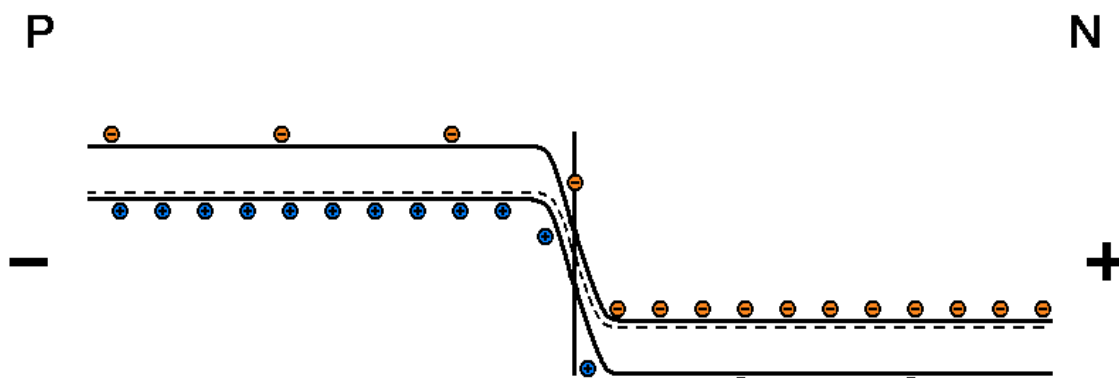
Výklad:

Po spuštění se otevře okno, kde je znázorněno pásové schéma energetických hladin P-N přechodu v rovnovážném stavu (obr. 5.3). Na posuvníku je nastaveno vnější napětí 0V. V tomto modelu jsou narozdíl od ostatních kromě majoritních zobrazeny i minoritní nositelé náboje, kteří při tomto jevu hrají důležitou roli. Je třeba zdůraznit, že počty elektronů a děr ani zdaleka neodpovídají realitě. Ve skutečnosti je minoritních nositelů zhruba 10^{10} krát méně než majoritních.



Obr. 5.3 P-N přechod bez vnějšího napětí, zobrazeny jsou i minoritní nositelé

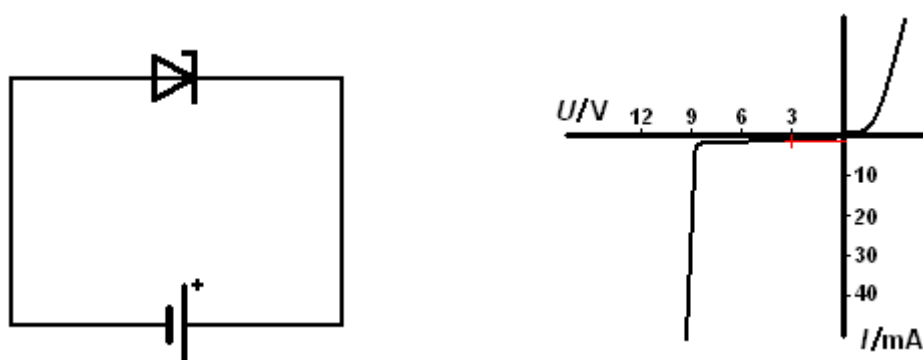
Pomocí posuvníku lze na P-N přechod připojit vnější napětí. Propustný směr je pro vysvětlení lavinového jevu nepodstatný, proto je možné nastavovat pouze napětí v závěrném směru. Při zvyšování vnějšího napětí dochází k zakřivování energetických hladin (obr. 5.4).



Obr. 5.4 P-N

N přechod se závěrným napětím, přechodem procházejí minoritní nositelé

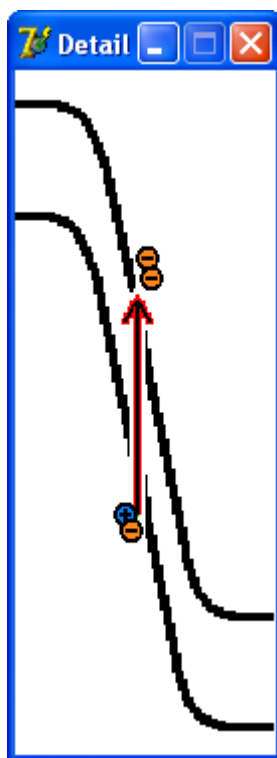
Pokud je hodnota vnějšího napětí nenulová, začnou přechodem procházet minoritní nositelé. Zde dochází ke zkreslení. Z modelu by se dalo soudit, že přechodem prochází proud. Avšak vzhledem k tomu, že minoritních nositelů je o několik řádů méně, je tento proud téměř nulový (řádově pikoampéry). Tuto skutečnost znázorňuje V-A charakteristika a obvod, kterým neprochází proud v podobě čárkovaných čárek (obr. 5.5).



Obr. 5.5 Při menším napětí než je napětí průrazné, stabilizační diodou téměř neprochází proud

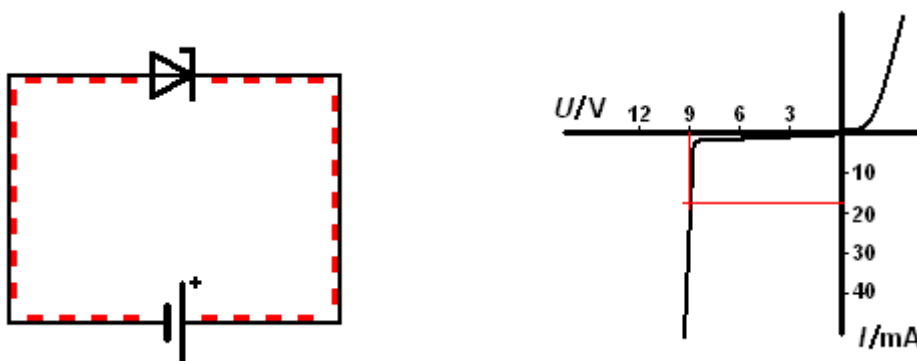
Hradlová vrstva má proti zbytku polovodiče podstatně větší odpor, proto se na něm rozloží většina napětí. V této úzké oblasti proto vzniká silné elektrické pole, které urychluje procházející minoritní nositele. Při určité hodnotě, které se nazývá průrazné napětí, (v našem případě 9 V), jsou elektrony mezi dvěma srážkami s krystalovou mřížkou urychleny natolik, že jejich energie stačí na vyražení dalšího elektronu z valenčního pásu do pásu vodivostního. Ve valenčním pásu po něm zůstává díra. Takto vzniklý volný elektron je také urychlován a způsobuje další ionizaci. Lavinově tak vzniká velký počet nositelů náboje, proud prudce vzrůstá.

Tento děj je poměrně rychlý, proto je na ovládacím panelu umístěno tlačítko **Detail**, které je možné použít, pokud je nastaveno napětí 9V. Po jeho stisknutí se otevře nové okno, ve kterém probíhá děj zpomalně. Je zde dobře vidět, že elektrony přeskakují z valenčního do vodivostního pásu ve svislém směru (obr. 5.6). To znamená, že elektron se po nárazu nachází stále na stejném místě krystalové mřížky. Srážkou však získá energii na přechod na vyšší energetickou hladinu – do vodivostního pásu, kde mu již nic nebrání v cestě ke kladnému pólu zdroje. Díra putuje k pólu zápornému.



Obr. 5.6 Nárazovou ionizací se elektrony dostávají do vyšších energetických hladin

V modelu je nastíněno využití tohoto jevu ve stabilizačních diodách. Tyto součástky se vyznačují velmi strmou charakteristikou v závěrném směru, proto jsou vhodné ke stabilizaci napětí (obr. 5.7).



Obr. 5.7 Stabilizační dioda s V - A charakteristikou po dosažení průrazného napětí

Lavinového jevu se využívá ve stabilizačních diodách s průrazným napětím vyšším než 6V. Při nižším napětí totiž dochází s větší pravděpodobností k Zenerovu jevu.