



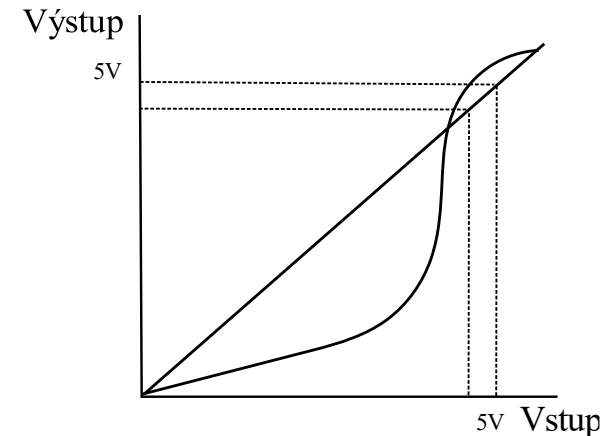
Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta

Využití nanotechnologií v optoelektronice

Jan Roik

Požadavky na elektroniku

- Schopnost masové výroby.
- Požadavky na konstrukční materiál.
 - Cenová dostupnost.
 - Bezpečnost.
- Dobrá rozlišitelnost vstupní a výstupní informace.
(např. nelineární potlačení šumu)
- Možnost rozvětvení výstupu .
- Dobrá průchodnost signálu.
(snížení tepelných ztrát, snížení odporu)
- Tolerance ke změnám podmínek.



Tunelování vs. PN přechod

- + Malé rozměry
- + Velká rychlost
- + V-A charakteristika (záporný diferenciální odpor)
- Příprava
- Náchylnost na okolní podmínky (např. fluktuace proudu)
- + Technologicky lépe zvládnutý
- + Větší tolerance na změny podmínek
- Větší rozměr
- Pomalejší
- Příprava (nikdy není ostrý)

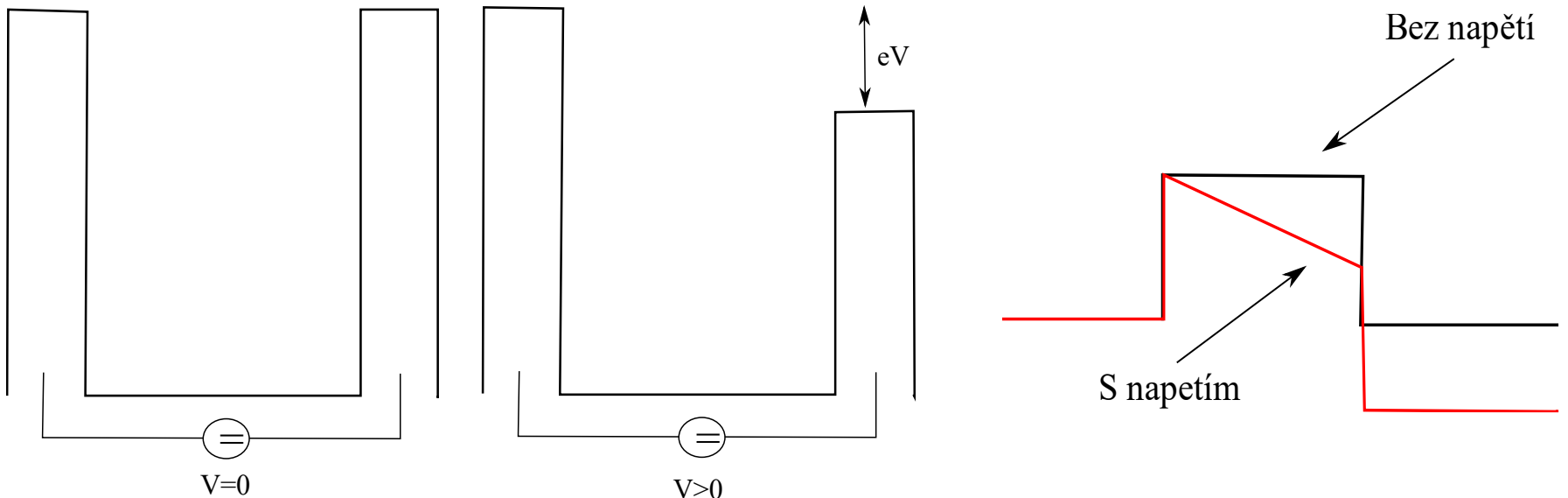
Prvky založené na kvantových jevech:

Úprava klasických prvků PN přechod nahrazen tunelovacím přechodem.

Tranzistor	→	Jednoelektronový tranzistor
Dioda	→	Rezonanční tunelovací dioda

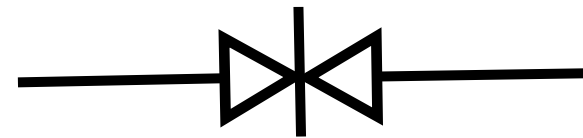
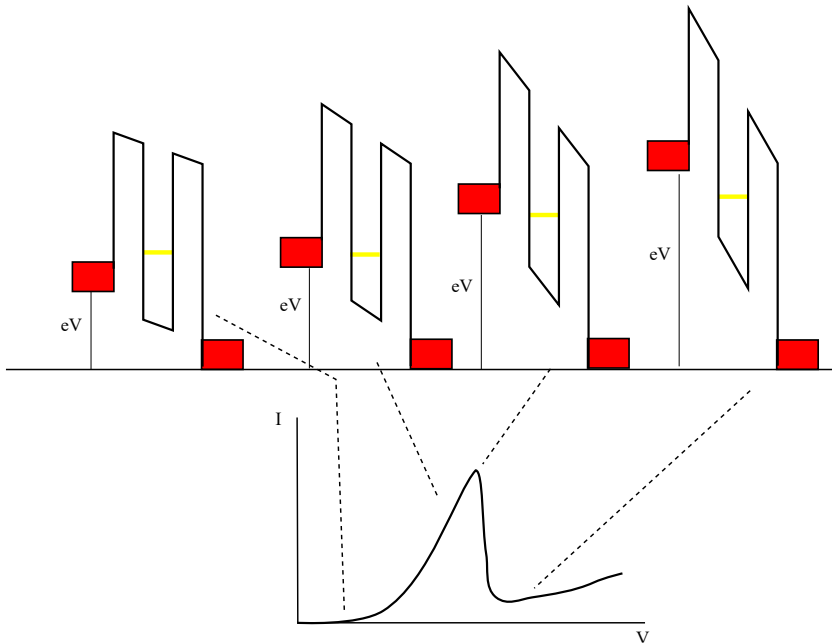
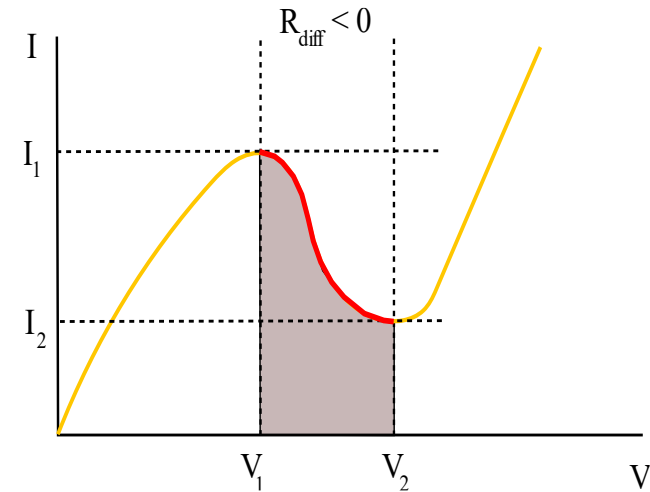
Principy uplatňující se v nanooptoelektronice

- Vytvoříme soustavu potenciálových jam.
- Klasický proud neprochází.
- Uplatnění tunelování (není funkcí teploty).
- Přiložením napětí na potenciálovou jámu jsme schopni ovlivnit vlastnosti bariéry.
- Coulombova blokáda.
- Jednoelektronové tunelování (víceelektronové tunelování).



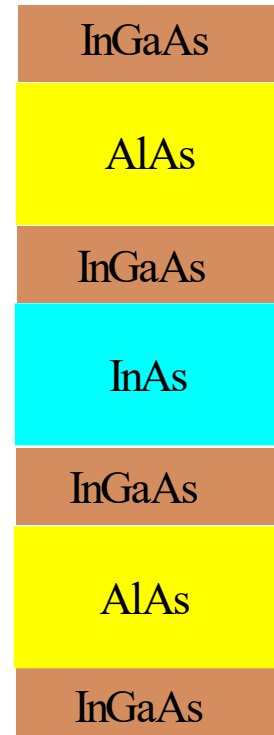
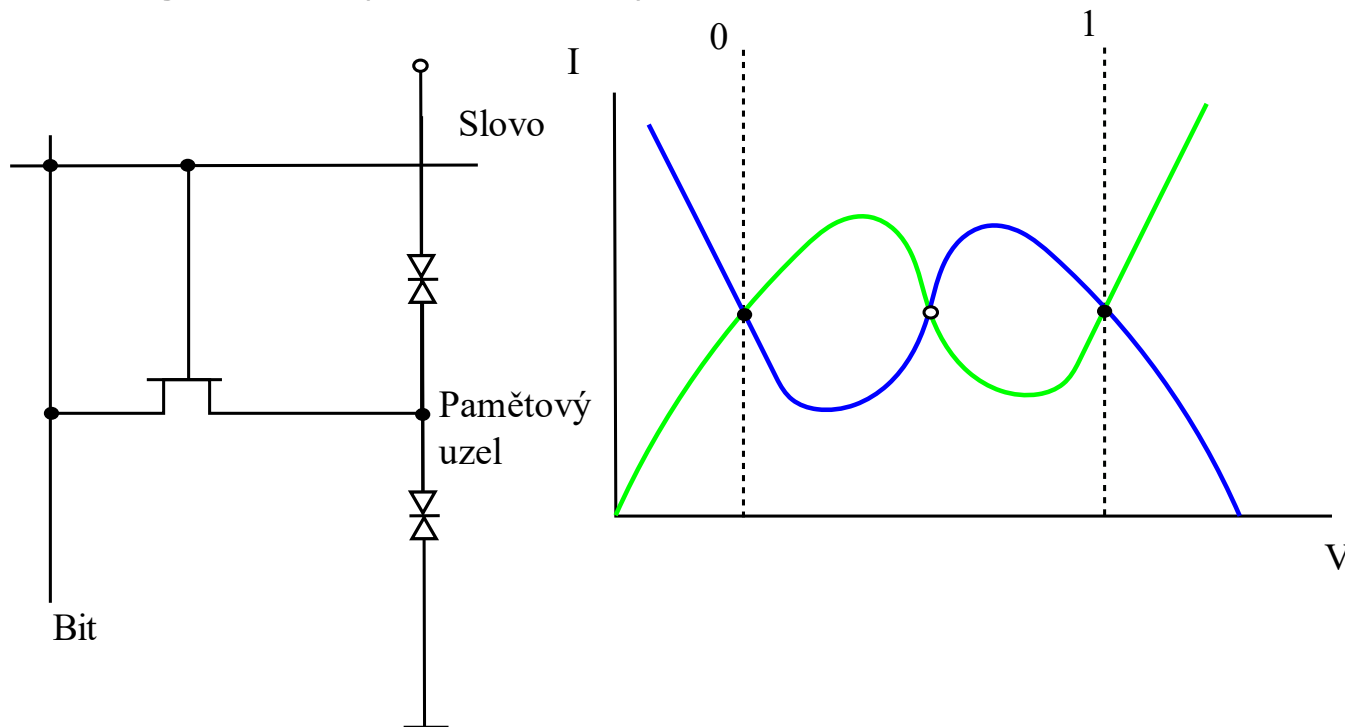
Rezonanční tunelovací dioda

- Heterostruktura s dvojitou tunelovou bariérou.
- Záporný diferenciální odpor .
- Schopnost pracovat v THz.
- Krátký spínací čas.
- Malý vstupní výkon μW .
- Rozměry desítky až stovky nm závisí na počtu vrstev.



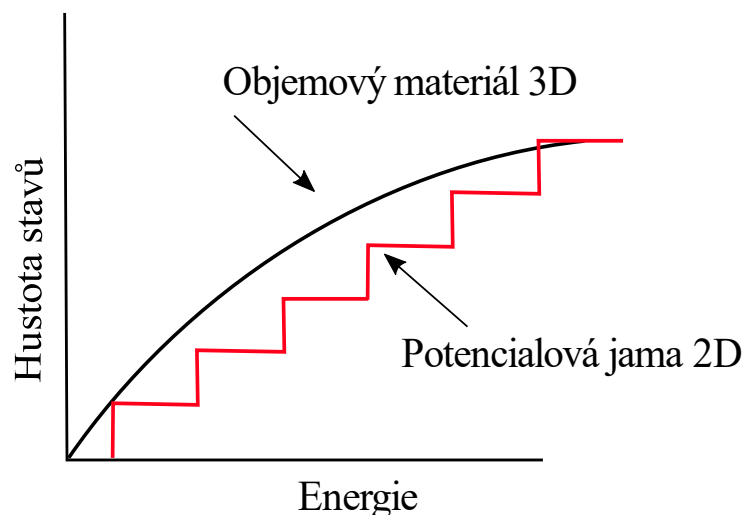
Rezonanční tunelovací dioda

- Konstrukce: 3 vrstvy + okolní vrstvy pro stabilitu (základ).
- Integrace do: frekvenčních násobičů, oscilátorů, směšovačů, spínačů.
- Vykazují bistabilitu – možnost logických operací (OR , Invertor).
- Využití jako druh paměti.
- Integrace do polem řízených tranzistorů.



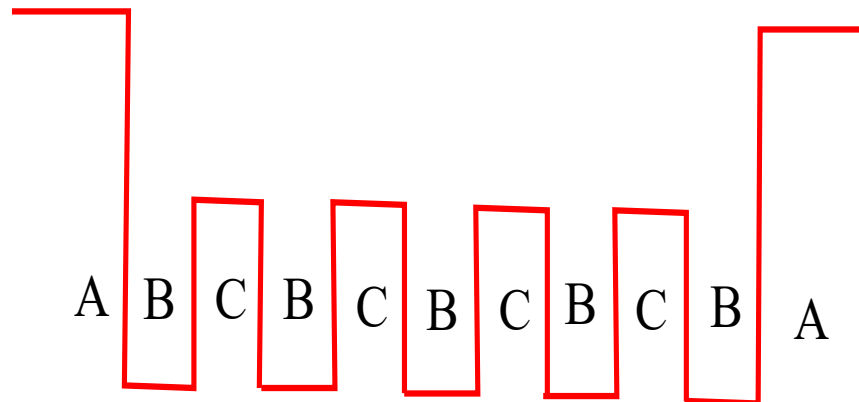
Laser s kvantovou jámou

- Funkce podobná jako klasický laser:
Rekombinace elektronů a děr → vznik fotonů.
- Snížení dimenze vede k vylepšení některých charakteristik:
Nízký prahový proud, úzké spektrum.
- Schodovité spektrum: omezení energie elektronů → omezení vlnové délky vyzářených fotonů.
- Struktura: materiál s malou šířkou zakázaného pásu (GaAs) je obklopen dvěma vrstvami s větší šířkou zakázaného pásu ($\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$).



Laser s kvantovou jámou

- Šířka zakázaného pásu souvisí s indexem lomu - čím větší index lomu, tím menší zakázaný pás materiál má.
- Není znám teoretický vztah, znalost na základě empirické zkušenosti.
- Využíváno k udržení záření v naší struktuře a tudíž podpoření stimulované emise.
- Jáma rozdělená na menší jámy udrží n^2 více záření.
- Výsledná vlnová délka nezávisí na použitém materiálu. Závisí především na šířce potenciálové jámy. Ta se dá vytvořit i tak, aby laser svítil v IČ.



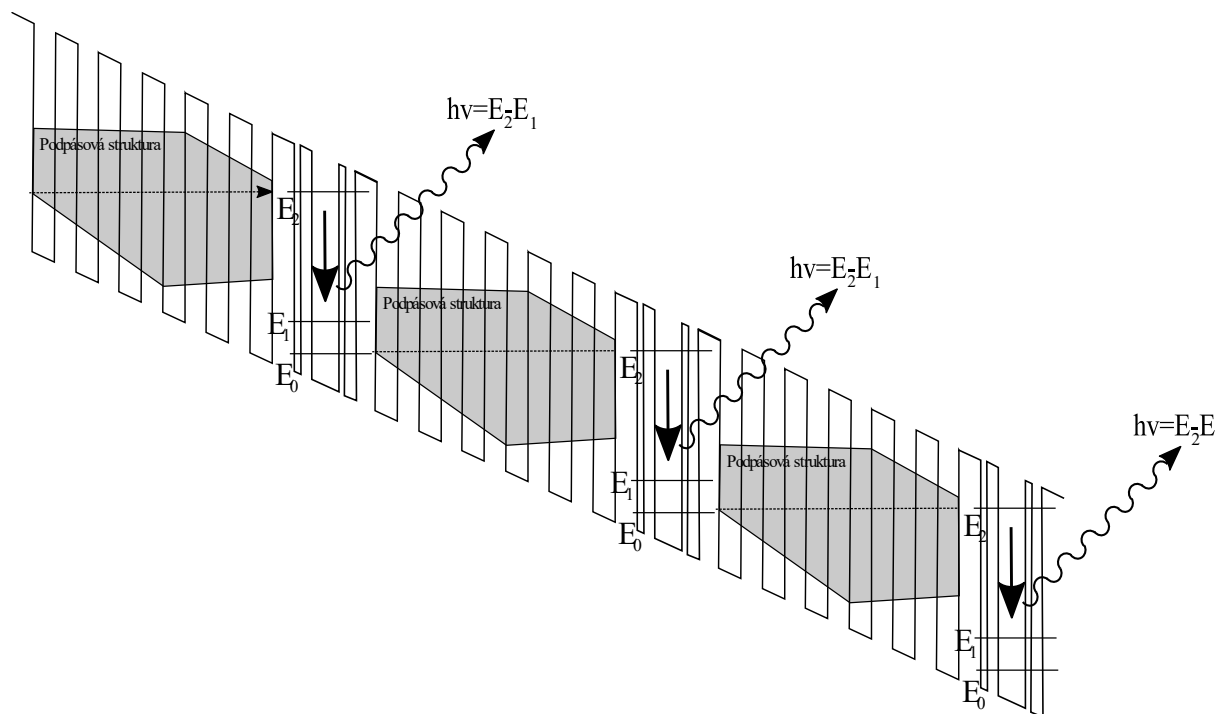
Laser s kvantovou kaskádou

- Unipolární: nedochází k rekombinaci elektronů a děr podstatné jsou jenom elektrony.
- Pravidelným rozmístěním atomů vytvoří zakázané pásy.
- Periodickým rozmístěním materiálu vytvoří podpásy.
- Vznik podpásů (K-P model) Kronig-Penney Model



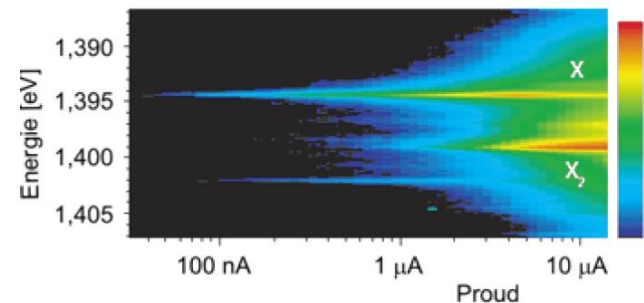
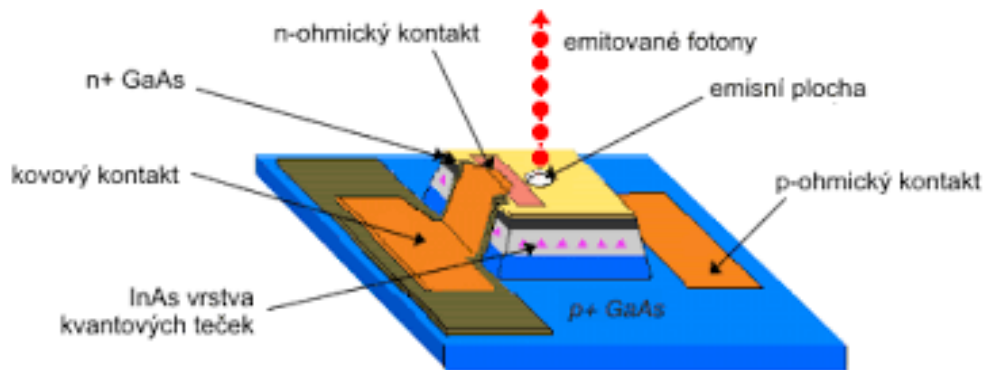
Laser s kvantovou kaskádou

- Vhodný návrh \rightarrow inverze populace mezi dvěma sousedními podpásky.
- Vlnová délka závisí na rozdílu energií v jámě.
- V každém kroku emituje jeden foton.



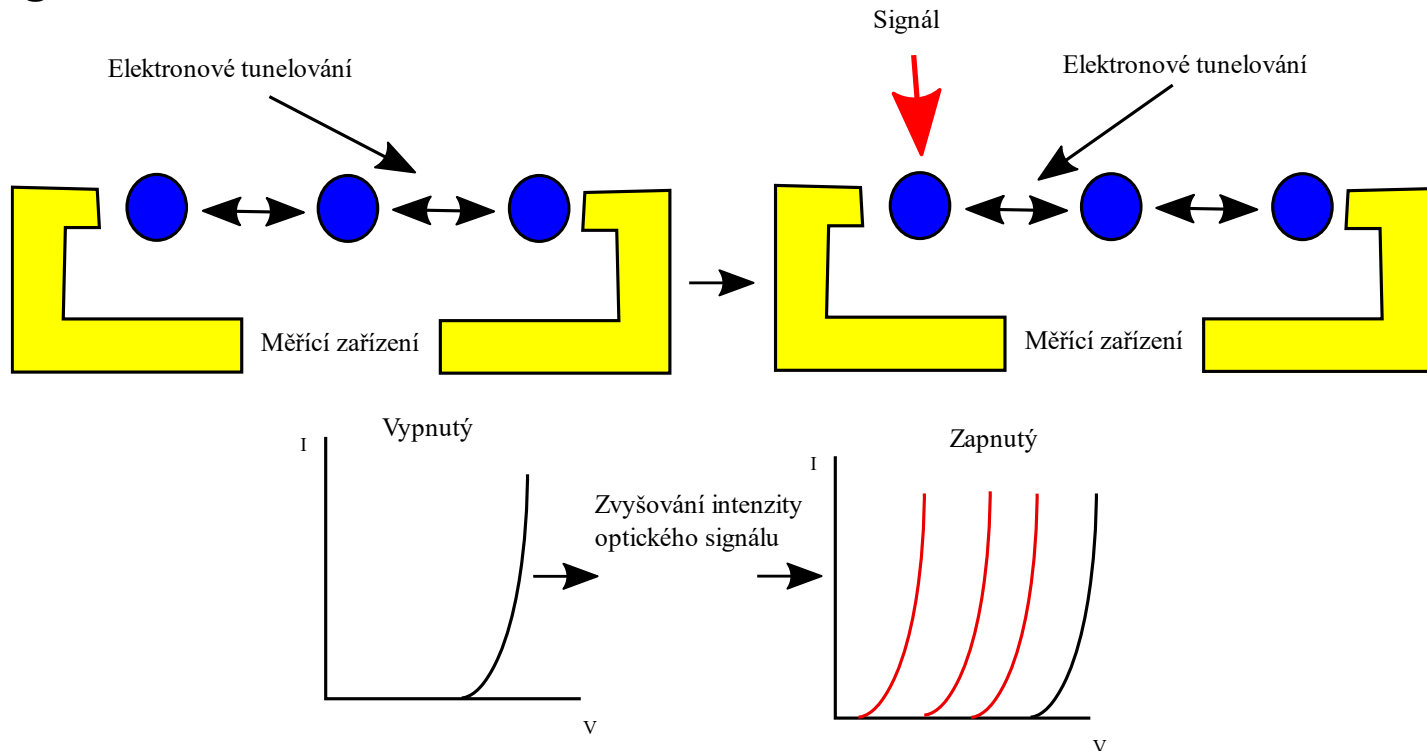
Jednofotonová dioda

- Rozšíření LED technologie pomocí nanoteček.
- Nanotečky se připraví ve formě tenké vrstvy. Poté se nanese neprůhledná vrstva, která nechá odkrytou jenom jednu tečku.
- Po vybuzení elektronu na vyšší energetickou hladinu dojde po čase k vyzáření právě jediného fotonu.
- Pokud budeme dodávat proud pulzně, dostaneme pulzy fotonů.
- Při malých proudech emise na 1,374 eV, při vyšších proudech druhá čára 1,399 eV (biexcitony).



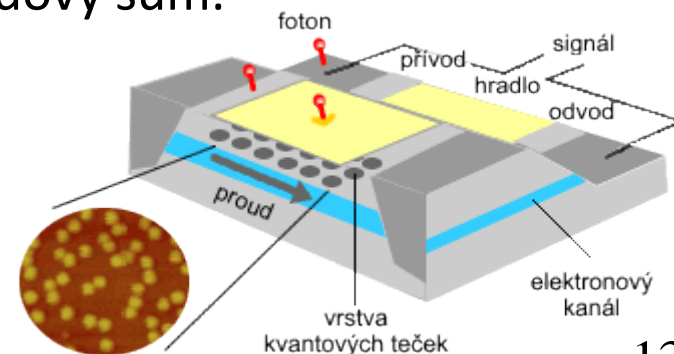
Fotonové detektory z nanoteček

- K tunelování dochází buď za použití vysokých napětí, nebo pokud jsou Q-tečky blízko sebe.
- Elektrony s vyšší energií mají větší pravděpodobnost protunelovat.
- Dopadající signál zvyšuje pravděpodobnost tunelování díky fotogeneraci elektronů.



Jednofotonový detektor

- Konstrukce je podobná tranzistoru.
- Zásadní část je vrstva nanoteček v blízkosti vodivého kanálu.
- Detekce je založena na změnách vlastnosti kanálu:
 - Dopadající foton emituje pár elektron díra.
 - Tečka zachytí elektron.
 - Tímto se změní odpor kanálu protékající proud poklesne.
- Výhody oproti:
 - fotonásobičům: jednoduchá konstrukce, snadná výroba, nízké napětí, vyšší účinnost.
 - lavinovým detektorům: menší vliv šumu.
- Počítá jednotlivé fotony → odstraní amplitudový šum.
- Pracovní teplota 200 K.
- Učinnost detekce 14 %.
- Předpokládaná účinnost až 65 %.



Děkuji za pozornost

Zdroje:

- [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cascade artificielle du parc de l %27Orangerie, Strasbourg.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cascade_artificielle_du_parc_de_l%27Orangerie,_Strasbourg.jpg)
- <http://lifehacking.nl/persoonlijk-tips/weggeef-woensdag-sony-xperia-z3/>
- Prasad, Paras N. *Nanophotonics*. John Wiley & Sons, 2004.
- Fahrner, Wolfgang, ed. *Nanotechnology and nanoelectronics: materials, devices, measurement techniques*. Springer Science & Business Media, 2005.
- Nag, Biswaranjan R. *Physics of quantum well devices*. Vol. 7. Springer Science & Business Media, 2001.
- Tunnel diode - Wikipedia. [online]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Tunnel diode](https://en.wikipedia.org/wiki/Tunnel_diode)
- <http://www.mensagymnazium.cz/pdf/prace-studentu/nanotechnologie.pdf>
- *Aldebaran homepage* [online]. Dostupné z: http://www.aldebaran.cz/ls/LS06/2005_18.html