

Optické vlastnosti InAs/GaAs kvantových teček

T. Jirman^{*}, F. Kopřiva^{**}, Z. Procházková^{***}

^{*}Gymnázium, Nad Alejí 1952, Praha 6, 160 20,

^{**}Gymnázium Dr. Josefa Pekaře, Palackého 211, Mladá Boleslav
293 01,

^{***}Gymnázium, Na Vítězné pláni 1160, Praha 4, 140 00

^{*}jirman.tomas@gmail.com

Abstrakt:

Pro optimální využití křemenných optických vláken je velmi vhodné využívat kvantové tečky (KT), které kombinují vlastnosti atomů a pevných látek. Naše práce se věnovala studiu vlastností GaAs/InAs KT a vlivu pnutí redukující vrstvy na jejich luminiscenci. Účelem bylo zjistit, které parametry posunou emisi KT co nejlíže 1300 a 1550 nm, protože v této oblasti dochází k nejmenšímu útlumu signálu v optických vláknech. Maximum luminiscence jsme naměřili u 1525 nm pro KT kryté GaAsSb pnutí redukující vrstvou. Bez této vrstvy se povedlo dosáhnout maxima emise pouze 1238 nm.

1 Úvod

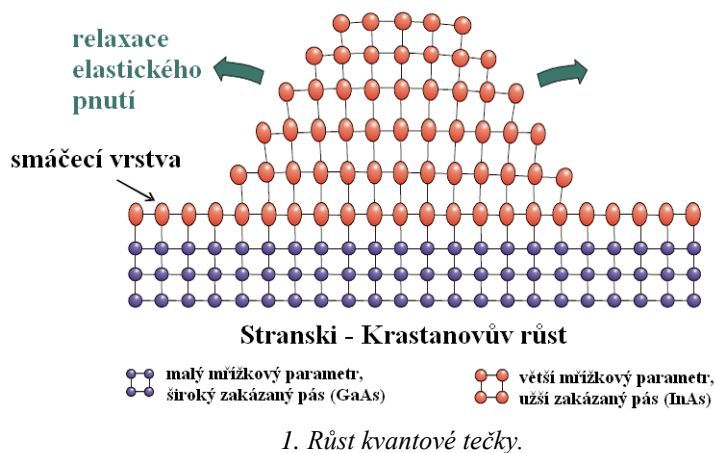
Pravidlem odhadujícím poptávku společnosti po zvýšení výpočetní kapacity počítačů je tzv. Moorův zákon, který předpokládá nutnost zdvojnásobení všech tranzistorů v integrovaných obvodech každé dva roky. Tento růst jsme jen stěží s to uspokojit rozvojem současných technologií, kvůli dosažení limitu velikosti mikročipů nezbyvá než dříve či později přejít na nové technologie.

Slibným řešením se jeví být optická vlákna, která na rozdíl od kovových vodičů nevyžadují zásadní chlazení systému a jsou schopna vést i více signálů najednou. Pro maximalizaci efektivity přenosu dat je vhodné posílat vláknem signály o vlnové délce zhruba 1300 a 1550 nm, jelikož tyto délky se ve vlákně nejméně tlumí. Bohužel v současné době je dosažení této vlnové délky složité a nákladné. Slibné se jeví být InAs KT na substrátu GaAs, které mohou díky optimálnímu přizpůsobení energetických hladin emitovat požadované vlnové délky. Na bázi KT můžeme vytvořit lasery, detektory, zesilovače, solární články apod. [1, 2, 3], které se dají používat za pokojových teplot, mají úzký profil vyzařování a jsou časově stabilní [4].

2 Kvantové tečky

Kvantové tečky jsou nízko-dimenzionální objekty, které se na Fyzikálním ústavu vytvářejí pomocí epitaxního růstu na aparatuře MOVPE (organokovová epitaxe z plynné fáze). Heteroepitaxe je metoda uspořádaného růstu krystalické vrstvy na jiném krystalickém materiálu, v našem případě byly takto pěstovány InAs KT na GaAs substrátu (obr. 1, 2). Tím, že se jinak větší mřížka InAs při epitaxním růstu přizpůsobí mřížce GaAs, dojde

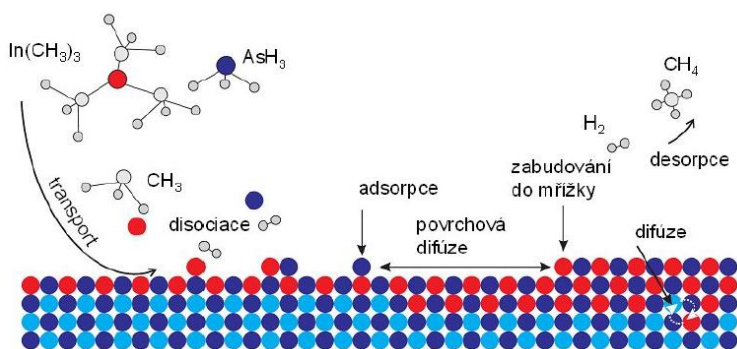
k posunutí energetických hladin v InAs KT. Při přechodu z hladiny s větší energií na hladinu o menší energii tak elektron odevzdá více energie, což se projeví kratší vlnovou délkou záření, než by tomu bylo u samotného InAs.



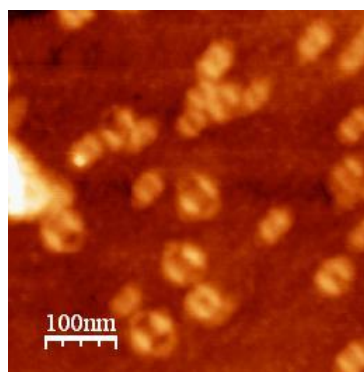
Příprava struktur s kvantovými tečkami

V aparatuře MOVPE se substrát GaAs se nejprve zahřeje asi na 700°C, aby se z něj odstranily povrchové nečistoty, a pak se vyhladí nanesením dvou vrstev GaAs. Na substrát se následně za teploty okolo 510 °C nechá proudit In a As. Atomy InAs přejmou mřížkovou strukturu GaAs, ale jsou kvůli tomu hodně stlačené (v normálním stavu je vzdálenost mezi atomy v InAs asi o 7% větší než v GaAs). Zároveň se tyto atomy snaží zachovat objem elementární buňky InAs, takže se protáhnou ve vertikálním směru a následně se díky pnutí přeskupí (samospořádají) a vytvoří polokulové útvary. Tyto útvary nazýváme KT. Jejich výška se je asi 5-8 nm, šířka asi 20-30 nm.

KT můžeme následně překrýt pnutí redukující vrstvou GaAsSb (PRV), nebo přímo GaAs. Použití PRV má za následek „konzervaci“ KT, zachovává jejich tvar a brání jejich rozpouštění. Je tomu tak proto, že mřížková konstanta GaAsSb se nachází zhruba uprostřed mezi konstantami GaAs a InAs, takže snižuje pnutí mezi těmito dvěma mřížkami.



2. Průběh epitaxního růstu.



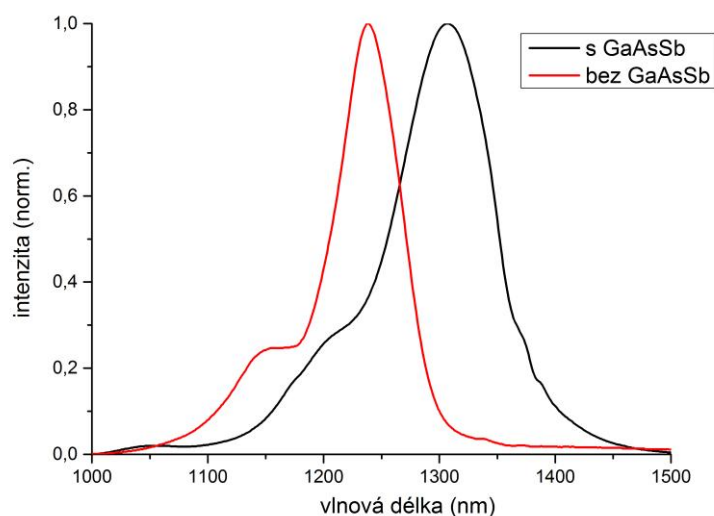
3. Povrch substrátu s InAs KT zobrazený mikroskopií atomárních sil (AFM).

3 Výsledky

Srovnání vzorků s pnutí redukující vrstvou a bez ní

Naším cílem bylo zjistit, u jaké vlnové délky kvantové tečky emitují nejvíce záření, k čemuž jsme použili fotoluminiscenci. Fotoluminiscence je jev, při kterém je systému dodána energie (v našem případě ozáříme vzorek s KT laserem o vlnové délce 678 nm), která se projeví vybuzením elektronů do vyšších energetických hladin. Po uplynutí určité doby elektrony

samovolně spadnou zpátky na nižší hladinu a přebytečnou energii vyzáří. Intenzitu tohoto záření v závislosti na jeho vlnové délce jsme měřili.

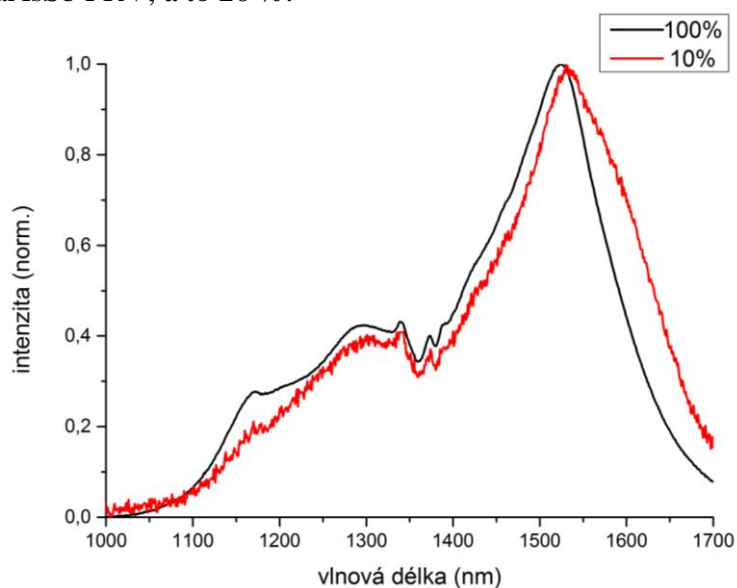


4. GaAs/InAs KT bez a s pnutí redukující vrstvou GaAsSb

V první části naší práce jsme porovnali vlastnosti kvantových teček připravených s GaAsSb PRV, kde koncentrace Sb je asi 10 %, a bez PRV. Ze zpracovaných normalizovaných dat je jasně patrné, že vzorek S PRV měl větší emisní vlnovou délku, což ukazuje na přítomnost větších KT (ve větší KT se k sobě totiž energetické hladiny přiblíží, takže emitované světlo má menší energii, tj. větší vlnovou délku). Naměřené vlnové délky luminiscenčních maxim kvantových teček byly u prvního vzorku bez PRV 1238 nm a u druhého 1307 nm.

Vzorek s vysokým obsahem antimonu v pnutí redukující vrstvě

Dále jsme změřili vzorek s KT, který opět obsahoval PRV, ale tentokrát byla větší koncentrace Sb v GaAsSb PRV, a to 20 %.



5. GaAs/InAs KT s pnutí redukující vrstvou GaAsSb s 20 % Sb. Červená linie odpovídá spektru měřenému za použití 10 % excitační intenzity (laser cloněn filtrem) oproti černé linii.

Z obrázku 5 je patrné, že maximum luminiscence se posunulo až k vlnové délce 1525 nm. Červená linie na obrázku 5 znázorňuje průběh spektra při použití 10 % excitační intenzity (světlo z laseru jsme clonili filtrem) oproti předchozímu měření (černá linie). Kromě maxima u 1525 nm je vidět ještě jedno nižší maximum u 1300 nm, kde pravděpodobně vyzařují kvantové tečky o menší velikosti.

4 Závěr

Dokázali jsme vliv PRV na velikost KT a jejich emisi. Překrytí KT pnutí redukující vrstvou zachovává jejich tvar, čímž lze posunout luminiscenční spektrum k vyšším vlnovým délkám, a to až k 1525 nm. Oproti tomu u vzorku bez PRV jsme naměřili maximum luminiscence pouze u 1238 nm. U vzorku s vysokým obsahem SB v PRV jsme zaznamenali přítomnost dvou typů KT o různé velikosti, což se projevilo dvěma luminiscenčními maximy.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat organizátorům Týdne vědy, zejména Ing. Janě Kubištové a Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za úžasné možnosti, krásné zkušenosti a poznání spojené s miniprojektem a celým Týdnem vědy. Dále děkujeme FZÚ AV ČR, v.v.i. za umožnění měření a poskytnutí obrázku.

Reference:

- [1] A. Desurvire et al, Science and technology challenges in XXIst century optical communication, C.R. Physique 12 (2011), pp 390.
- [2] K. Neudert et al., Ultrafast photoluminescence spectroscopy of InAs/GaAs quantum dots, Phys. Status Solidi C 6, č. 4, 2009, pp 853-856.
- [3] E. HULICIUS, B. VELICKÝ, Heterostruktury, které slouží všem, In: *Vesmír* [online], 2001 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://casopis.vesmir.cz/clanek/heterostruktury-kttere-slouzi-vsem>.
- [4] V.A.Shchukin, N.N. Ledentsov, D. Bimberg, Nanoscience and Technology, Epitaxy of Nanostructures, Springer, Berlin Heidelberg 2004, pp 315-333.
- [5] HULICIUS, Eduard, Epitaxe z organokovových sloučenin, MOVPE –princip, In: [online] [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.fzu.cz/~hulicius/princip2.pdf>.