

Oponentský posudek disertační práce Tomáše Popeláře „Ultrarychlá laserová spektroskopie polovodičů”.

Disertační práce je rozdělena do dvou vzájemně nesouvisejících částí. V první části se autor zabývá studiem elektron–děrové kapaliny v diamantu a ve druhé části studiem rekombinačních kanálů ve strukturách s křemíkovými nanokrystaly.

Obě dvě témata jsou fyzikálně velmi zajímavá a mohla být samostatně zpracována do disertační práce a netvořit poněkud nesourodý celek.

Experimentální metody použité v disertační práci představují komplexní soubor metod, které umožnily dosažení řady unikátních výsledků. Vyzvedl bych vybudování generátoru laserových pulsů ve střední infračervené spektrální oblasti, s jehož pomocí byla studována dynamika excitovaných nosičů o vysokých hustotách, tvorba elektron–děrové kapaliny a její interakce se světlem kolem plasmové frekvence.

Práce je rozdělena do pěti kapitol včetně závěru. V první kapitole jsou podrobně popsány měřicí metody; časově rozlišená fotoluminiscence měřená pomocí „streak“ kamery a „pump and probe“ metoda. V druhé kapitole je detailně popsán postup při budování generátoru laserových pulsů pro emisi ve střední infračervené spektrální oblasti včetně teorie generace rozdílových frekvencí v nelineárním krystalu. Třetí kapitola je věnována studiu elektron–děrové kapaliny v diamantu. Je rozdělena do šesti podkapitol, kde je stručně popsána příprava krystalického diamantu a shrnuty jeho fyzikální vlastnosti. Dále jsou popsány již dosažené výsledky při studiu elektron–děrové kapaliny v diamantu a připomenuta klasická Drudeho teorie absorpce světla na volných nositelích. Luminiscenční a absorpční spektra studovaného diamantového vzorku jsou ukázána v další podkapitole. Těžiště této části práce je v podkapitole 3.5, kde jsou ukázány experimentální výsledky získané metodou „pump and probe“, kde sondovací paprsek byl vybrán s frekvencí menší, větší a srovnatelnou s frekvencí cyklotronové rezonance. K popisu dynamiky termalizace musela být použita kvantová teorie absorpce na volných nosičích. Ve čtvrté kapitole autor opustil dynamiku excitovaných nosičů o vysokých hustotách v diamantu a věnoval se SiO_2 strukturám s křemíkovými nanokrystaly. Také tato kapitola je rozdělena do několika podkapitol, které popisují vlastnosti křemíkových nanokrystalů a přípravu SiO_2 struktur s křemíkovými nanokrystaly. Těžiště této kapitoly je v podkapitolách 4.4 a 4.5, kde jsou shrnuty dosažené experimentální výsledky ve zkoumání přítomnosti volných nositelů v legovaných SiO_2 strukturách s křemíkovými nanokrystaly. Přítomnost volných nositelů by umožňovala případně vytvoření PN přechodu. Objeven byl rekombinační kanál projevující se při vysokých hodnotách excitace, který byl identifikován a byl navržen mechanismus jeho fungování. V závěru jsou shrnuty všechny dosažené výsledky.

Práce sice obsahuje dvě hlavní nesouvisející kapitoly, ale jinak je psána přehledně a je logicky strukturována. Obecně mám připomínky k obrázkům, kde mohlo být uvedeno podstatně více informací o podmínkách měření.

Práce obsahuje celou řadu originálních výsledků, z kterých bych především vyzdvihl rozšíření aparatury pro měření „pump and probe“ o možnost sondování ve střední infračervené oblasti, která umožnila získání unikátních výsledků dynamiky tvorby a relaxace elektron–děrové kapaliny v diamantu. Z kapitoly o křemíkových nanokrystalech bych vyzvedl vysvětlení nového rekombinačního kanálu.

K práci mám následující dotazy a připomínky:

1. V práci mi chybí širší popis fází s vysokou hustotou nositelů v nepřímých polovodičích (plyn volných elektronů a děr, excitony, molekuly excitonů a kapalina elektronových děr). Při obhajobě by měla být tato otázka diskutována.

2. Při výpočtu E_k rovnice (3.2) byly použity nové hodnoty pro efektivní hmoty elektronů a děr, ale pro výměnnou energii E_x byla vzata hodnota z odkazu [28] se starými hodnotami efektivních hmot děr. Hodnota E_x závisí na poměru efektivních hmot děr m_{lh}/m_{hh} . Nevnáší se tím chyba do výpočtu E_x ?

3. Vlnová délka v obrázku 3.3 je v nm a má být v μm .

4. PL spektra obr. 3.5 měla být měřena při stejné teplotě, ale různé hustotě excitace, aby byla lépe srovnatelná. Také chybí podrobný popis spekter.

5. V tabulce 4.1 jsou popsány SiO_2 struktury s křemíkovými nanokrystalami, ale úplně chybí údaje o koncentraci P a B. Jaké bylo prostorové rozdělení příměsí P a B ve struktuře?

6. Jaká byla pásová struktura studovaných křemíkových nanokrystalů? Její znalost je důležitá pro vysvětlení přenosu energie na NBOHC centra.

7. Proč jste neměřili excitační centra, která mohou dát důležité informace o excitaci nanokrystalů a NBOHC center a přenosu energie?

8. V obrázku 4.5 je uvedena šířka měřicího okna 100 μs , ale v textu je uvedena hodnota 100 ms.

Přes uvedené připomínky disertační práce Tomáše Popeláře „Ultrarychlá laserová spektroskopie polovodičů“ splňuje požadavky kladené na disertační práci a prokazuje předpoklady autora k samostatné vědecké práci. Disertační práci doporučuji k obhajobě.

V Praze dne 18. 3. 2022

Ing. Jiří Oswald CSc.
Fyzikální ústav AV ČR v.v.i.