

Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě
Univerzity Karlovy

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> posudek vedoucího | <input checked="" type="checkbox"/> posudek oponenta |
| <input type="checkbox"/> bakalářské práce | <input checked="" type="checkbox"/> diplomové práce |

Autor/ka: **Bc. Erik Hendrych**

Název práce: **Terahertzová vodivost nositelů náboje v polovodičích**

Studijní program a obor: **Optika a optoelektronika**

Rok odevzdání: **2024**

Jméno a tituly vedoucího/opponenta: RNDr. Lukáš Nadvorník, Ph.D.

Pracoviště: Katedra chemické fyziky a optiky, MFF UK

Kontaktní e-mail: lukas.nadvornik@matfyz.cuni.cz

Odborná úroveň práce:

- vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Věcné chyby:

- téměř žádné vzhledem k rozsahu přiměřený počet méně podstatné četné závažné

Výsledky:

- originální původní i převzaté netriviální kompilace citované z literatury opsané

Rozsah práce:

- veliký standardní dostatečný nedostatečný

Grafická, jazyková a formální úroveň:

- vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Tiskové chyby:

- téměř žádné vzhledem k rozsahu a tématu přiměřený počet četné

Celková úroveň práce:

- vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Slovní vyjádření, komentáře a připomínky vedoucího/oponenta:

Předkládaná diplomová práce Bc. Erika Hendrycha se věnuje experimentálnímu studiu komplexní vodivosti slabě dopovaného polovodiče GaAs typu N a P pomocí terahertzové (THz) spektroskopie v časové doméně. Důraz je kladen na teplotní závislosti od 12 K po pokojovou teplotu, fitování získaných komplexních spekter a získání základních transportních parametrů jako je hustota nosičů náboje a jejich pohyblivost.

Práce je členěna do osmi kapitol. V prvních třech kapitolách je kromě úvodu do THz spektroskopie a techniky optické excitace a THz sondování pozornost věnována také pásové teorii polovodičů, statistice nosičů náboje a popisu několika modelů jejich THz vodivosti. Čtvrtá kapitola přináší kratší rešerši o výzkumu polovodičů v této spektrální oblasti. Pátá kapitola se zaměřuje na popis aparatur pro statické a také pump-probe měření THz vodivosti. Šestá a sedmá kapitola se pak věnuje samotnému experimentu a prezentaci výsledků, zakončenými krátkým závěrem.

Diplomová práce je obsahově a také z pohledu kvality značně nevyrovnaná. Teoretický úvod a rešeršní pasáže jsou na výborné formální i odborné úrovni a vytváří jasný vědecký záměr diplomového projektu: změřit statická spektra vodivosti a srovnat je se spektry ultrarychlé fotovodivosti pomocí metody excitace a sondování. Tento cíl je také formulován i v Zásadách vypracování práce. Experimentální kapitoly obsahují ovšem pouze nepříliš obsáhlé měření statické vodivosti, jakékoli pump-probe experimenty chybí. Tento nesoulad mezi zadáním práce nebo jejími částmi, které pump-probe experimenty popisují z teoretické i metodické stránky, případně explicitními tvrzeními, že „*používáme časově rozlišenou terahertzovou spektroskopii, kde excitujeme vzorek pomocí optických laserových pulzů a poté měříme transmisní THz spektra v závislosti na zpoždění THz pulzu vůči fotoexcitaci*“ a zároveň jejich neokomentovaná nepřítomnost v samotných experimentálních výsledcích je pro čtenáře nesrozumitelná a práce působí nedokončeně.

Kriticky se musím také vyjádřit k obsahové stránce experimentální kapitoly, kde chybí standardní interpretace výsledků a vědecká diskuze s literaturou, případně formulace hlubšího vědeckého závěru projektu. Zatímco změřené výsledky na N-typovém polovodiči a jejich fity jsou alespoň základním způsobem fyzikálně okomentované, měření na P-typu a jejich fity jsou ponechány bez jakékoli diskuze, případně omezené na krátkou formulaci v závěru, kterou vídám spíše v protokolech ze základního praktika. Absenci vědecké diskuze, např. nad otázkami kratšího rozptylového času na nízké teplotě oproti pokojové u N-typu a přesně opačného trendu u P-typu, nebo třeba nad důvodem započítání pouze těžkých děr u P-typu, případně proč je nafitovaná koncentrace nosičů na nízké teplotě o řády vyšší než očekávání, považuji za hlavní slabinu této diplomové práce.

Zatímco první polovina práce je formálně bezproblémová, experimentální část je opět nižší kvality: obsahuje podstatnější překlepy a záměny, dokonce i v prezentaci výsledků. Např. špatné jednotky ve výsledcích označených jako rovnice (7.6) a (7.26), špatný řád vypočtené veličiny nízkoteplotní koncentrace v N-typu (7.16), kde mi vychází o dva řády nižší hodnota, záměna symbolu pro koncentraci za mobilitu (7.16), chybějící dopočítání koncentrace a pohyblivosti na nízké teplotě u P-typu, nebo prohození N-typu za P-typ v posledním odstavci.

Z výše zmíněného vyplývá, že práce splnila své zadání pouze částečně, postrádá standardní vědeckou diskuzi a obsahuje formální chyby ve své experimentální části. Ovšem s ohledem na

výbornou odbornou a obsahovou úroveň teoretické a rešeršní části, zajímavý vědecký projekt a pečlivé provedení náročného experimentu a jeho vyhodnocení doporučuji práci uznat za diplomovou s navrhovaným hodnocením *dobře*.

Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:

1. V části 7.2.2 zmiňujete, že pro účely výpočtu vodivosti a pohyblivosti nosičů náboje v P-typu započítáváte pouze těžké díry. Proč lze příspěvek lehkých děr k vodivosti zanedbat?
2. V úplném závěru práce uvádíte, že jste na nízké teplotě očekával nulovou hustotu nosičů v N-typu, ale naměřil jste koncentraci v řádu 10^{18} cm^{-3} , což je pravděpodobně způsobeno nedokonalostí modelu a nutností použití kvantového popisu. Můžete toto tvrzení rozvést a diskutovat?
3. Jaká je hodnota koncentrace nosičů a jejich pohyblivosti na nízké teplotě u P-typu? Jak byste tyto hodnoty interpretoval ve srovnání s pokojovou teplotou?
4. Výsledky jsou z velké části založeny na prokládání závislostí modelem s větším množstvím volných parametrů. Jak robustní tyto fity byly? Lze nějak zhruba odhadnout chybu nafitovaných parametrů?

Práci

doporučuji

nedoporučuji

uznat jako diplomovou/bakalářskou.

Navrhuji hodnocení stupněm:

výborně velmi dobře dobře neprospěl/a

Místo, datum a podpis vedoucího/oponenta:

Praha, 31. 1. 2024