

Posudek disertační práce

"Transport and optical properties of CdTe/CdZnTe single crystals"

Štěpána Uxy
z Fyzikálního ústavu UK Praha

Předložená disertace je věnována studiu binárních a ternárních teluridových monokrystalů, především ve strukturách pro detekci záření s vysokou energií. V této tematice má pracoviště doktoranda dlouholetou zkušenost a bylo na něm dosaženo mimořádných výsledků. Těžiště práce je ve studiu vnitřního elektrického pole v detektorových strukturách CdTe a CdZnTe pomocí měření účinnosti sběru náboje a časové závislosti přechodných proudů. Relativně nezávislou část pak tvoří studium teplotní závislosti absorpce CdTe pomocí dlouhovlnné transmise světla.

Krátká úvodní část shrnuje relevantní vlastnosti studovaných materiálů, zejména s ohledem na jejich využití jako detektorů záření fungujících při pokojové teplotě. Ve specifikaci cílů autor zdůrazňuje příspěvky k metodice, jak v návrhu a realizaci dvou experimentálních aparatur, tak v postupech zpracování naměřených dat.

Rozsáhlejší část věnovaná měření vnitřního elektrického pole začíná diskusí jednoduchých modelových představ o přenosu nosičů náboje v detektorech záření. Omezení na lineární profily intenzity elektrického pole je přiměřené, stejně jako sledování transportu jediného druhu nosičů, buď elektronů, nebo děr. Rozbor průběhu časové závislosti proudu je dále založen na předpokladu o nezávislosti pohyblivosti nosičů na elektrickém poli. Výsledkem je sada souvislostí mezi měřitelnými veličinami a parametry fyzikálního modelu transportu náboje; je zde i modelová závislost účinnosti sběru náboje na napětí na detektoru pro lineární polohovou závislost vnitřního pole v přítomnosti neaktivní vrstvy. V komentáři ke vztahům (I.2.22-23) je neobratné upozornění na „divergenci rovnice (I.2.22) pro $\mu a \pm 1 = 0$, následované konstatováním o její použitelnosti pro všechny hodnoty a . Protože při numerickém výpočtu hodnoty CCE ze vztahu (I.2.22) mohou nastat problémy při dělení dvou malých čísel spočtených s omezenou přesností (neboť to jsou rozdíly dvou blízkých hodnot), doporučuji při obhajobě doplnit diskusi v tomto směru.

V odst. 2.4.1 a 2.4.2 autor navrhuje dva postupy k určení hodnot parametrů modelu, μ , τ (především jejich součinu $\mu\tau$) a $a(U)$, ze změřené závislosti $CCE(U)$ a časových závislostí přechodných proudů pro každé předpětí U , v notaci disertace dvojicí hodnot c a t_{tr} . Instruktivní je ukázka použití obou postupů na syntetických datech, se zadanými parametry modelu pro generování „experimentálních“ dat a návrat k nim při startu iteračních postupů s výchozími odhady vychýlenými ze „správných“ hodnot (odst. 2.5). Zde nepřekvapuje odchylka výsledku v případě zjednodušeného modelu (konstantní pole proti gradovanému, nebo efektivní gradování proti závislosti na U). V případě použití kompletního modelu by případné odchylky výsledných hodnot od očekávaných měly být závislé na výchozích odhadech (shoda v případě, použijeme-li „správné“ hodnoty jako odhad) a na kvalitě iteračních procedur (zejména kritérií pro zastavení). V každém případě by byla užitečná informace o citlivosti, tedy o chybách parametrů modelu způsobených chybami v datech. V tomto ohledu je disertace dosti skoupá a představu o nejistotách je možné vytvářet pohledem na obrázky s naměřenými daty a náznaky modelových závislostí. Podle mého názoru by bylo užitečné použít některou z gradientních minimalizačních metod k nalezení nejlepší shody

modelu s daty. V kovarianční matici by pak byly k dispozici odhady nejistot a upozornění na případné silné korelace mezi parametry. U obhajoby doporučuji shrnout zkušenosti s použitím obou iteračních postupů hledání modelových parametrů s naměřenými daty. Těch je v práci dostatek (celkem 10 detailně proměřených detektorů); přestože autor v úvodu zdůrazňuje metodické přínosy, je zřejmě i kvantita provedené experimentální práce značná.


V disertaci je několikrát zmíněna souvislost účinnosti sběru náboje a Pockelsova jevu (dvojlomu vyvolaného elektrickým polem v krystalech bez středu symetrie) v detektorových strukturách. Byl na vzorcích z tabulky I.3.1, případně podobných polarizovaných krystalech, navíc sledován i Pockelsův jev? Pokud ne, jaké úpravy vzorků by byly žádoucí/nutné?

Teplotní závislost propustnosti CdTe byla studována v jednobandovém uspořádání, se stabilitou signálu lepší než 1% pro energii fotonu 1 eV. Měření při vysokých teplotách byla umožněna umístěním vzorku do ampule s parami Cd, zabraňujícími sublimaci materiálu vzorku. „Energie absorpční hrany“ je v práci určována extrapolací exponenciálního segmentu ve spektrech absorpčního koeficientu ke zvolené hodnotě. Měřené vzorky s tloušťkou zhruba 1 mm nedovolují registrovat silnou absorpci v blízkosti přímého gapu a extrapolace je jistě choulostivá operace. Intervaly s Urbachovou (exponenciální) spektrální závislostí jsou pro studované vzorky podle textu na str. 69 široké pouze 10-100 vlnových čísel (1.2-12 meV), hledané extrapolované energie jsou nejméně 100 meV nad tímto intervalem. Kromě odchylek spektrálního chodu absorpce od Urbachova pravidla v blízkosti gapu je ve hře ještě spolehlivost určení hodnot absorpčního koeficientu. V odstavci 2.3 je rozbor chyb výpočtu, který nepostihuje rychlou ztrátu citlivosti v oblasti silné absorpce (při růstu energie fotonu). V diskusi u obhajoby doporučuji rozbor závislosti relativní chyby $\delta\alpha/\alpha$ na součinu αd , kde d je tloušťka vzorku. Užitečná by byla rovněž diskuse o schematické závislosti absorpce kolem gapu (obr. II.4.7 a experimentální data z S. Gilliland *et al.*, phys. stat. sol. (b) 235, 441 (2003), kde je rovněž jeden z pokusů o určení teplotního koeficientu energie gapu).

Práce je napsána srozumitelnou angličtinou a formálně dobře provedena. Čtení občas ztěžují neobratné formulace, kterých jsem zaznamenal několik desítek v první třetině práce (dokud jsem je zapisoval). Mám zato, že se bez výjimky dají poměrně rychle korigovat, jako např. „damped exponential“ na str. 21 nebo „because there is no $\mu\tau$ in Eq. ...“ na str. 28. Počet překlepů je velmi malý, bohužel se jeden z nich objevil i tučným písmem v nadpisu odstavce 2.4.2. Mezi překlepy zřejmě patří i šipka od zdroje vysokého napětí směřující k předzesilovači namísto vzorku (obr. I.3.2).

Shrnutí: předloženou disertaci doporučuji k obhajobě. Podle mého názoru tato práce prokázala jednoznačně schopnosti autora k samostatné vědecké práci a obsahuje původní a autorem publikované výsledky (v souladu s §47, odst. 4 zákona č. 111/98 Sb.).

Brno, 17.10.2014


J. Humlíček
Ústav fyziky kondenzovaných látek
Přírodovědecká fakulta MU Brno