

Oponentský posudek

disertační práce na téma

Dynamika spinově polarizovaných nosičů náboje v polovodičích vypracované panem RNDr. Danielem Sprinzelem

Tato disertační práce se zabývá experimentálním studiem spinové dynamiky nositelů náboje v CdTe. Autor využívá polarizované časově rozlišené optické femtosekundové spektroskopie metodou excitace – sondování k získání experimentálních dat a těžištěm celé práce je jejich velmi pečlivá a detailní interpretace. Téma předložené práce je vysoce aktuální z hlediska současného dynamického rozvoje spintroniky a vzhledem k velkému aplikačnímu potenciálu koherentních spinových jevů.

Disertační práce je členěna do devíti kapitol, z nichž první tři jsou rešeršní a seznamují čtenáře se základy spintroniky, s obecnými fyzikálními mechanismy relaxace spinů v polovodičích a s dosud publikovanými výsledky studia spinové relaxace v GaAs (jakožto nejvýznamnějším a nejvíce studovaným představitelem polovodičů se sfaleritovou strukturou) a v CdTe. Popis a diskuse mechanismů spinové relaxace jsou provedeny velmi důkladně a autor je pak intenzivně využívá při volbě strategie analýzy vlastních výsledků, případně i pro návrh doplňkových experimentů.

Čtvrtá kapitola obsahuje zdařilý stručný popis použitých experimentálních metod a v páté kapitole autor představuje studované vzorky (jejich základní vlastnosti a metody přípravy). Kapitoly 6–8 tvoří vlastní příspěvek autora k problematice spinové relaxace v CdTe a obsahují zejména určení dominantního spinového relaxačního mechanismu v závislosti na teplotě, charakterizaci spinové relaxace a určení g faktoru elektronů pro vzorky s různým typem a velikostí dotování a studium vlivu defektů a mechanického napětí na spinovou koherenci. Rád bych vyzval autorův rigorózní přístup, kdy identifikuje všechny mechanismy, které k danému jevu mohou přispívat a pomocí dodatečného experimentu nebo pomocí popisu získaného v literatuře se je snaží co nejpřesněji kvantifikovat a dojít tak k jednoznačným závěrům, což se mu ve většině případů daří. Tímto způsobem například stanovil, že dominantním mechanismem spinové relaxace elektronů pro vysoké teploty je Dyakonov-Perelův mechanismus a pro nízké teploty Bir-Aronov-Pikusův mechanismus za účasti fotoexcitovaných děr.

Níže uvádím několik připomínek a dotazů, z nichž ty významnější pak mohou tvořit podklad pro diskusi po přednesení obhajoby.

Vzorec (2.5) na str. 28 platí pro DP mechanismus a vztahuje se tedy k τ_s^{DP} .

Analýza vlivu opakovací frekvence laseru na měřený signál s relaxační dobou mnohonásobně převyšující vzdálenost mezi pulsy je zjevně provedena pro případ nízké excitační hustoty (tj. hluboko pod saturací signálu) — tento předpoklad by měl být v textu uveden (alespoň u obr. 4.7).

Při prezentaci měřených křivek, které pak dále interpretuje (str. 80, vzorky F36Y1-3), se autor odkazuje na disertační práci Dr. P. Horodyské; prosím, aby při obhajobě vymezil své vlastní experimentální výsledky a výsledky získané kolegy v laboratoři.

Rozptyl elektronů na ionizovaných nečistotách se ukazuje jako velmi důležitý z hlediska interpretace nízkoteplotních dat. Význam tohoto členu roste s klesající teplotou, neboť způsobuje dramatický pokles pohyblivosti ($\sim T^{3/2}$). Myslím, že neprůhledný vztah (6.14) by vzhledem k jeho významu pro interpretaci zasluhoval alespoň elementární rozbor a disertace by měla obsahovat fyzikální zdůvodnění faktu, že rozptyl na ionizovaných nečistotách roste s klesající teplotou.

V kapitolách 7 a 8 se objevuje rychlá složka (s indexem 1) jako výsledek fitů kinetiky signálu. Autor však interpretuje pouze pomalou komponentu (s indexem 2), která je svázána se spinovou koherencí. Může být rychlá složka též svázána s relaxací spinů? Lze vyslovit hypotézu, že se pozoruje zároveň spinová relaxace děr (rychlejší) a elektronů (pomalejší)? Bylo by možné teoreticky nebo experimentálně potvrdit či vyvrátit tuto hypotézu?

Na str. 139 a 140 jsou uvedeny měřené signály Kerrovy rotace; popisky k obrázkům jsou však zavádějící neboť udávají černou čáru jako model z odstavce 7.3.2 a červenou čáru jako (blíže nespecifikovaný) fit. Ve skutečnosti obě křivky vyplývají z modelu (7.5) v odstavci 7.3.2, pokud vezmeme v úvahu jeden resp. dva členy sumy přes n .

Velký prostor je v práci věnován diskusi teplotní závislosti rozptylového času elektronů (který určuje jejich pohyblivost). Autor se pokouší získat jeho hodnotu experimentálně i teoreticky. Rád bych upozornil na rozdíl mezi driftovou eventuelně Hallovo pohyblivostí na jedné straně a tzv. mikroskopickou pohyblivostí (nebo pohyblivostí fotoexcitovaných nositelů) na straně druhé, viz krátká diskuse na str. 4 v publikaci J.C. Delagnes et al., J. Phys. D – Appl. Phys. **42**, 195103 (2009) a v ní citovaných referencích. Zejména v neuspořádaných polovodičích nebo v polovodičích s velkou koncentrací defektů může být mikroskopická pohyblivost několikanásobně (i o řád, viz Delagnes et al.) vyšší než pohyblivost driftová nebo Hallova. Z hlediska interpretace spinové relaxace fotoexcitovaného CdTe je pak rozhodující pohyblivost mikroskopická. Nicméně relaxační doby momentu hybnosti určené pomocí čtyřvlenného směšování (~5 ps) jsou podle mé zkušenosti skutečně příliš veliké. Je tedy možné, že tato dlouhá časová komponenta souvisí s nějakou další excitací, kterou autor nechal v úvahu. Zajímavé by též mohlo být srovnání s klasickým experimentem přechodné difrakční mřížky vytvořené dvěma ultrakrátkými pulsy dopadajícími současně. Dohasínání reliefu mřížky je určeno difúzním koeficientem nositelů, ze kterého je možné vypočítat mikroskopickou pohyblivost pomocí Einsteinova vztahu.

Předložená disertační práce obsahuje původní výsledky získané kombinací několika časově rozlišených experimentálních technik, autor provádí jejich detailní analýzu, na jejímž základě navrhuje solidní interpretaci. Domnívám se, že práce svojí úrovní jednoznačně splňuje požadavky kladené na práce tohoto druhu. Autor prokázal předpoklady k samostatné vědecké činnosti a proto doporučuji tuto disertační práci k obhajobě.

V Praze dne 23.9.2009

