

Oponentský posudek disertační práce
na téma

Studium spinové dynamiky v hybridních strukturách založených na feromagnetickém polovodiči (Ga,Mn)As

vypracované paní Mgr. Dagmar Butkovičovou

Doktorská práce Mgr. Dagmar Butkovičové se zaměřuje na studium magnetooptických jevů v heterostrukturách feromagnetický polovodič/polovodič, resp. feromagnetický polovodič /polovodič/piezoměnič. Práce je přehledně členěna. Obecný úvod (kapitola 1) a přehled dosavadního výzkumu heterostruktur (Ga,Mn)As z hlediska magnetooptiky (kapitola 2) podávají ucelený přehled o současném stavu poznání a jsou velmi obsáhlé. To dokumentuje i poměrně vysoký počet citovaných zdrojů v práci -- celkem 220 položek. Taktéž popis použitých metod (kapitola 3) a studovaných vzorků (kapitola 4) je velmi podrobný, což oceňuji.

Kapitoly 5 a 6 velmi dobře ilustrují možné překážky, které klade základní výzkum při časově omezeném doktorském studiu. Z kapitoly 5 je zřejmé, že Dagmar Butkovičová věnovala značné úsilí velmi obtížné optimalizaci přípravy vzorku pro indukci mechanického napětí s cílem dosáhnout netermálního přepnutí magnetizace. Tato optimalizace byla do značné míry úspěšná a potvrdila nutnost hlubšího porozumění této problematice. Bohužel, principiální potíže odhalené v kapitole 6, konkrétně nereprodukovatelnost výsledků při opětovném zchlazení vzorku, neumožnily přeměnit tuto přípravu na původně zamýšlená měření. Zdánlivě jde tedy o nezdařený záměr. Z dlouhodobého hlediska se ale může ukázat tato metodika zásadním krokem pro jiné materiály a ve výsledku významným počinem.

Nejvýraznějším výsledkem je studium dynamiky interakce spinu elektronů s magnetickým polem ve feromagnetické vrstvě (Ga,Mn)As na substrátu GaAs v kapitole 7. Pomocí série vzorků, které umožňují porovnat efekt přenosu spinově orientovaných nosičů ze substrátu (GaAs) do feromagnetické vrstvy (GaMnAs), je pozorován vliv výměnné interakce ve feromagnetu. Byl vytvořen fyzikální model, který popisuje všechny provedené experimenty a zároveň interpretuje předchozí publikovaná data na jiných typech vzorků, kde byl pozorován magnetooptický signál elektronů z feromagnetické vrstvy, který má vlastnosti odpovídající nemagnetickému substrátu.

Práce tedy přináší významné výsledky, z nichž některé (kapitola 7), mají výrazný impakt již nyní, zatímco jiné (kapitola 5) mají potenciál výrazně posunout budoucí výzkum.

Práci je možné vytknout některé formální nedostatky. Pro snadnou čitelnost textu bych doporučoval používat konzistentně anglické zkratky výrazů, což v práci převažuje, a vyhnout se českým modifikacím – např. šedé filtry ŠF. Překlepy (laboratoř OptoSpintorniky) a chyby v odkazech na číslo obrázků (viz str. 7) nebo popisích grafu (obr. 6.7. popisky panelů uvnitř grafu) jsou v textu výjimečně. V některých případech (viz např. rovnice 3.2) jsou rovnice převzaty z jiných zdrojů jako kopie obrazu, což je z typografického hlediska nevhodné řešení. Ve všech případech ale tyto formální chyby nijak nenarušují pochopení předkládaného textu a interpretaci dat.

Jako více matoucí považuji fakt, že v disertační práci nejsou specificky označeny obrázky, které jsou převzaty z cizích publikací a nejsou výsledkem práce doktorandky. Např. větou "Tento obrázek byl převzat z Ref. [XY] autorů A. Utor et al." Ačkoli je odkaz na danou publikaci vždy uveden v textu obrázku, ne vždy je zřejmé, zda je odkaz použitý jako cizí zdroj, ze kterého byl obrázek přejat

(viz např. obr. 5.7., str. 75) a jde o cizí práci, nebo zda je odkaz použit pro upřesnění obrázku a odkaz na práci autorky (obr. 5.8. a 5.9, str. 76 a 78) a jde o výsledky doktorandky.

Celkově je však práce na vysoké vědecké úrovni – zejména díky pozorování reorientace spinů elektronů v heterostrukturách feromagnetický polovodič/polovodič. Práce doktorandky vedla přímo k publikaci dalšího článku a k vytvoření široké vědomostní báze ohledně přípravy vzorků na piezoaktuátorech. Taktéž se doktorandka podílela na experimentálních pracích v dalších šesti publikovaných článcích.

Předložená práce tedy bezpochyby splňuje požadavky kladené na disertační práci a Dagmar Butkovičová prokázala, že je schopná samostatné vědecké činnosti. Práci proto doporučuji k obhajobě.

Doplňuji otázky k diskusi během obhajoby:

- 1) Při úvodu do netermální kontroly magnetizace (str. 22) je popisováno, že je výhodné vyhnout se využívání vnějšího magnetického pole ke kontrole magnetizace, protože magnetická interakce mezi polem a magnetickými momenty je delší než ~ 2 ps (první odstavec části 2.1.3). Když odhlédneme od faktu, že i kontrola magnetizace na frekvencích stovek GHz působí poměrně rychle, jaké jsou limity v rychlosti přepnutí magnetizace u netermální kontroly?
- 2) Tabulka 5.5 (str. 81) má patrně chybně uvedenou změřenou tloušťku nebo chybu měření. Je možné toto uvést na pravou míru?
- 3) Mapy homogenity frekvence signálu na obr. 6.3. a 6.4. jsou interpolovány z 10-20 naměřených bodů. Jak dlouhé je měření jednoho bodu? Existuje potenciálně jiná metoda, která by dokázala vytvořit podobnější mapy? Projevuje se např. mechanické napětí také v anizotropii indexu lomu, které by měnilo polarizaci dopadajícího světla? Bylo by možné takovou změnu odlišit od magnetooptických jevů?
- 4) V kapitole 7 byla data fitována od zpoždění 50 ps, což je jasně zdůvodněno nesouvisejícími signály v prvních 50 ps po excitaci vzorku. Některá data (viz. např. 7.2. (d)) viditelně nesouhlasí s fitem i pro mnohem vyšší zpoždění (až po cca 200 ps). Jaký je zde důvod? V některých bodech fitovaných fází δ (vložené grafy 7.2) jsou viditelně vyšší chyby určení, což je při takto "pomalých" (z hlediska rozlišení metody) oscilacích neobvyklé. Co je zdrojem této velké chyby určení fáze?

V Turnově dne 1.12.2021

Karel Žídek

**Regional Centre for Special Optics and Optoelectronic
Systems
Institute of Plasma Physics
Academy of Sciences of the Czech Republic**

Za Slovankou 1782/3
182 00 Prague
Czech Republic