

Oponentní posudek doktorské disertační práce

„Spectroscopic studies of new generation of optical and magneto-optical materials“

RNDr. Eva Butková

Posuzovaná doktorská disertační práce shrnuje výsledky studia několika systémů tenkých vrstev, které jsou zajímavé zejména pro své optické a magnetooptické vlastnosti: GdFe, yttrito-železitý granát substituovaný Bi nebo Bi, Nd a Ga, a CeO₂ substituovaný Hf a Co. Ke studiu těchto systémů byly použity experimentální metody spektroskopické elipsometrie a magnetooptické spektroskopie využívající Kerrova jevu a Faradayova jevu. Interakce elektromagnetického záření se zkoumanými vrstvami v provedených experimentech byla v práci analyzována až po odvození úplného tensoru permitivity dané struktury. Výsledky pak byly interpretovány i mikroskopicky, jak ve vztahu k reálné vrstevnaté struktuře vzorků, tak k elektronové struktuře jednotlivých funkčních vrstev.

Tenké vrstvy s magnetooptickými vlastnostmi se používají v široké a pestré škále zařízení a i do budoucna mají velký aplikační potenciál. Jde tedy o aktuální téma, které je navíc fyzikálně zajímavé. Skloubením spektroskopické elipsometrie a magnetooptické spektroskopie lze vlastnosti těchto tenkých vrstev zkoumat z unikátního pohledu, který je nejbližší k zamýšlené aplikaci. Kromě toho získání optických a magnetooptických parametrů ze spekter tenzoru permitivity dává ve spojení s teoretickými modely důležitou informaci o elektronové struktuře zkoumaných látek.

Text práce je přehledně členěn: v úvodní kapitole je zdefinován tensor permitivity a popsán jeho vztah k přechodům mezi energetickými hladinami elektronového systému. V dalších kapitolách jsou podrobně popsány spektroskopická elipsometrie a oba magnetooptické jevy použité v práci. Je rozpracován formalismus pro analýzu experimentů, potřebný pro získání tensoru permitivity. Dále následuje popis uspořádání všech prováděných experimentů a také popis technologie přípravy zkoumaných tenkých multivrstev. Nejrozsáhlejší část práce představuje kapitola s dosaženými původními výsledky, která je rozdělena podle zkoumaných systémů: vrstvy slitiny GdFe s různou stechiometrií, vrstvy yttrito-železitého granátu substituovaného Bi nebo Bi, Nd a Ga, a vrstvy CeO₂ substituovaného Hf a Co.

Práce je psána anglicky, i když poměrně úspornou formou (např. některé formulace se v mírných variacích nadbytečně opakují). Nicméně text obsahuje jen malé množství překlepů nebo formálních chyb. Fyzikální závislosti jsou prezentovány přehlednou a jednotnou formou, pouze v obrázcích s fity spektroskopické elipsometrie nejsou legendy ke grafům kompletní (i když zde bylo zřejmě hlavním záměrem autorky jen demonstrovat kvalitu fitů). Provedené experimenty a jejich analýza jsou popsány dostatečně detailně, nicméně fyzikální interpretace je v některých případech jen navržena a ponechána bez podrobnější diskuse: např. spektra vzorku CeO₂ plně substituovaného Hf se výrazně liší od ostatních vzorků v sérii, což je logicky zdůvodněno tím, že tento vzorek neobsahuje žádný Ce. Není ale už nastíněn konkrétní fyzikální mechanismus, který by za to měl být zodpovědný. I přes tuto výhradu disertační práce jako celek působí velmi kompaktně, a přehledně a srozumitelně prezentuje dosažené výsledky.

Dle mého názoru autorka prokázala předpoklady k samostatné vědecké činnosti a předložená práce velmi dobře vyhovuje požadavkům na disertační práci, doporučuji ji proto k obhajobě.

Během čtení práce mne zaujaly některé věci, na které bych se rád zeptal:

1) Pro některé vzorky docházelo u měření Kerrova jevu na nižších energiích k nežádoucím interferencím na rozhraních v multivrstvách. Pro analýzu dat se proto v části spektrálního rozsahu místo výsledků z Kerrova jevu využily výsledky z Faradayova jevu. **Jak byla data na sebe napojena, že se to viditelně neprojeví např. nějakým skokem nebo zubem ve výsledných závislostech permitivity?**

2) Parametrizace spekter Bi:YIG vrstev využila dva paramagnetické a tři diamagnetické přechody. Fyzikální interpretace dvou nejsilnějších diamagnetických přechodů na 2,5 a 3,3 eV je taková, že se jedná o přeskoky mezi energetickými hladinami 3d elektronů Fe kationtů. **Znamená formulace $t_2(\text{Fe}^{3+}) \rightarrow t_{2g}(\text{Fe}^{2+})$ přechod z Fe v tetraedrických pozicích do neobsazeného stavu Fe v oktaedrických pozicích?** (A analogicky pro druhý typ přechodu.)

Tyto přechody jsou zodpovědné za nárůst úhlu Faradayovy rotace se zvyšující se koncentrací Bi, což je zdůvodněno vlivem Bi na supervýměnu mezi Fe. 6p stavy Bi se vskutku v mnoha systémech a mnoha ohledech chovají zvláště, je ale poměrně překvapivé, že by se Bi ze svých krystalových pozic přímo účastily supervýměny mezi Fe v oktaedrických a tetraedrických pozicích. **Může být nárůst supervýměny způsoben také např. změnami v geometrii Fe-O-Fe v důsledku substituce Y \rightarrow Bi?** Dále je v práci zmíněno, že se 6p stavy Bi míchají s orbitaly kyslíkových a železných atomů a že lze Bi svým způsobem považovat za magnetický iont. Práce na téma možného magnetismu Bi atomů existují, nicméně magnetismus p-stavů je obecně dosti exotický. **Zde se navíc 6p stavy Bi účastní kovalentních vazeb v kyslíkovém dodekaedru, jak si tedy lze představit jejich spinovou polarizaci?**

3) V systému Hf:CeO₂ byla experimentální data parametrizována čtyřmi nebo pěti diamagnetickými a jedním paramagnetickým přechodem, jeden z nejvýznamnějších těchto přechodů dle interpretace autorky odpovídá přeskoky z lokalizovaných 4f stavů. **Jak ale přiřazení tohoto přechodu lze vysvětlit, vzhledem k tomu, že 4f elektrony Ce se v CeO₂ podílejí na chemických vazbách, a v případě Hf 4f elektrony nejsou již vlastně valenční, ale leží energeticky hlouběji?**

V Praze dne 16. 2. 2021

RNDr. Vojtěch Chlan, Ph.D.