

Oponentský posudek k diplomové práci „Pulzní reaktivní magnetronové naprašování termochromických povlaků na bázi VO₂“ Pavla Čurdy

Práce Pavla Čurdy je v rámci výzkumu termochromických povlaků na KFY ZČU příspěvkem ke globálnímu úsilí ušetřit energii použitím chytrých oken, jak vysvětluje kapitola 1 Úvod, dává toto úsilí do širšího kontextu ekonomického zisku a ochrany životního prostředí a též popisuje strukturu celé práce, tj. přehled současného stavu problematiky v kapitole 2, popis experimentálního zařízení v kapitole 4 a prezentace a diskuse výsledků v kapitole 5 následované závěrem. Toto je standardní struktura, která činí práci přehlednou a dává jí vnitřní logiku.

Přehled současného stavu problematiky v kapitole 2 postupuje od obecné diskuse využití energie, přes princip chování chytrých oken založený na změnách optických vlastností materiálu až ke konkrétní realizaci těchto změn pomocí teploty v termochromických materiálech fázovým přechodem kov-izolant (polovodič), ještě konkrétněji v materiálu VO₂, případně dopovanému. Přestože práce je zaměřená na aplikaci, oceňuju, že Pavel v diskusi VO₂ vychází z vysvětlení koncepční termodynamické podstaty fázových přechodů a jejich dvou druhů obecně, a konkrétně pro fázový přechod kov-izolant, zejména ve VO₂, vychází z klasických prací Nevilla Motta o těchto přechodech a Johna Goodenougha o pásové struktuře a ze složitého fázového diagramu systému V-O. Dále následuje sekce popisující reaktivní vysokovýkonové pulzní magnetronové naprašování, která by možná mohla být až na konci této kapitoly spolu s popisem alternativní hydrotermální syntézy a dosažených výsledků, kam by více logicky zapadala a vytvořila by plynulejší přechod k následující kapitole. Zbylé dvě sekce této kapitoly se věnují roli dopování a dosti podrobné diskusi optických vlastností a jejich optimalizace zejména pomocí antireflexních vrstev a případně dodatečné tenké stříbrné vrstvy.

Kapitola 4 nejprve dosti podrobně popisuje experimentální zařízení použité na přípravu vrstev a řídicí systém umožňující reaktivní vysokovýkonové pulzní magnetronové naprašování aktivní vrstvy a okolních antireflexních vrstev. Poté následuje popis přípravy a seznam parametrů pro tyto vrstvy tvořící termochromický povlak a kapitola končí sekcí popisující analytické metody použité pro zjištění vlastností výsledných povlaků. V kapitole 5 pak Pavel prezentuje a diskutuje vlastnosti povlaků nanesených na sodnovápenaté a flexibilní sklo po úvodní definici veličin popisujících výbojové charakteristiky. Zjistil, že v případě obou substrátů mají povlaky připravené za méně náročných podmínek než předchozí vzorky na KFY vlastnosti blížící se aplikačním požadavkům.

Pavel v práci citoval dostatečné množství literatury, jak staré klasické články, o kterých už jsem se zmínil, tak nové aktuální. Práci napsal jasným slohem a s minimem překlepů a gramatických chyb. V příloze jsou některé možné drobné překlepy a možné drobné nepřesnosti, které jsem našel. Pro obhajobu jsem vybral tyto tři otázky:

Str. 41: Proč jsi pro W a Zr použil bipolární zdroj?

Str. 45: Je schéma algoritmu na Obrázku 4.4 tvoje vlastní nebo převzaté? Proč se začíná s $X_z > X_a$?

Str. 56: Proč na rozdíl od jiných povlaků tady vznikla jen R-M1 fáze, a ne též nějaká z dalších blízkých fází ve složitém fázovém diagramu na Obr. 2.8?

Celkově práce splnila všechny cíle, takže ji doporučuju k obhajobě a po obhájení navrhuju známku výborně.

V Plzni 10.6.20

Šimon Kos

Šimon Kos

Příloha: možné drobné překlepy, možné drobné nepřesnosti, poznámky a otázky k textu:

- Anotace: „...a jejich možné dosažení využitím dopování dalších prvků a antireflexní vrstvy. Mezi často dopované prvky patří wolfram, který efektivně snižuje přechodovou teplotu.“ Jsou wolfram a další prvky dopované, nebo naopak dopujou? Taktéž v anglické verzi.
- str. 10: „je žádoucí hledat způsoby, jak snížit celkovou spotřebu energie při zachování stejné životní úrovně.“ Čárka navíc?
„Konkrétně na jeho potenciální aplikaci ve formě termochromických povlaků na tzv. chytrá okna.“ Není úplná věta? Také jinde v textu.
„Uvedeny jsou také možné metody přípravy tenkých vrstev VO₂ jako je...“ chybí čárka?
„...je však třeba dosáhnout požadovaných vlastností jako je dostatečně nízká přechodová teplota,...“ chybí čárka? Také jinde v textu.
- str. 12: „Kromě větší ekologické šetrnosti, je možné očekávat...“ čárka navíc? Také jinde v textu.
„Jedním z materiálů vykazující termochromické vlastnosti...“ vykazujících?
- str. 13: „Naměřená červená křivka značí kovovou fázi...“ křivka značí fázi nebo data změřená v té fázi?
- str. 14: mohly být grafy v Obr. 2.2 větší a kvalitnější?
- str. 15: „Fázový přechod spočívá ve změně vnitřní struktury materiálu.“ Platí jen pro strukturní fázové přechody?
„Jednou z příčin nevodivého chování je lokalizace Coulombického odpuzování mezi dvěma elektrony...“ Coulombickým odpuzováním?
Tady je hned příklad nestrukturního fázového přechodu.
„rozdělením první Brillouinovy zóny...“ Brillouinovy?
„vykazují fázovou přeměnu do kovového stavu při Néelově teplotě.“ Jsou všechny tyto oxidy antiferomagnetické?
„...kde H je volná entalpie...“ H je entalpie, kdežto G je volná entalpie?
„Fázový přechod prvního druhu tedy nastane, když při dané teplotě entropie kovové fáze převyší volnou energii polovodičové fáze a...“ možná dát lepší formulaci?
- str. 16: „Ačkoliv se má monokrystal při opakovaném přechodu tendenci rozpadat,...“ ačkoliv má tendenci se rozpadat?
„Konfigurace jednodílné fáze je na Obr. 2.5.“ struktura?
- str. 17: „Příčinnou výsledné struktury je distorze kovové tetragonální fáze.“ Jedno n? Je distorze příčina?
„Kratší (0,265 nm) a delší (0,312 nm) V⁴⁺—V⁴⁺ vazby se střídají podél jednodílné a osy a sklopeným podél c osy rutilu“ jak střídání podél osy c a sklápění od osy c?
- str. 22: „Reaktivní depozice vyžadují vyšší nároky na řízení celého procesu“ kladou?
„...dojde ke skokovému přechodu z kovového do reaktivního módu po křivce A-B, doprovázeného významným snížením...“ doprovázenému?
- str. 24: „...optických vlastností, které jedna čistá vrstva VO₂ nemůže poskytnout.“ Samotná vrstva čistého VO₂?
„Důležitým faktorem je také odolnost...“ důležitým?
- str. 26: Rozdělit popisek obrázku na věty? Také jinde u dlouhých popisů obrázků.
- str. 28: pro získání rovnice 2.7 potřebujeme znát také koeficienty t,r?
- str. 30: „...a dopadá na ni světlo skrze VO₂ vrstvu...“ na ni?
„Nesmí být opomenuta podmínka z rovnice 2.8.“ navíc s lichým m?
„Pro výrazné zlepšení optické propustnosti v oblasti viditelného světla je výhodné využít dvou antireflexních vrstev.“ Obou, když už se o nich mluvilo?
- str. 31: zavést v popisku Obr. 2.17 zkratky RT a především HT?
- str. 34: „Optické vlastnosti zmíněného povlaku byly spočteny pomocí modelování...“ byly spočteny z modelu?
V popisku Obr. 2.21 uvést také zelenou barvu?
- str. 37: „Výsledné možnosti připravených materiálů zahrnují mikroporézní krystaly, nadzvukové vodiče,...“ Jsou krystaly, vodiče atd. možnosti? Podobná formulace také v další větě.
„Do roztoku se následně přidává V₂O₅ nebo N₂H₄·HCl, dokud roztok neobsahuje žádné ionty VO₂⁺ nebo V₃⁺.“ dokud obsahuje? V³⁺?
- str. 43: „Část kinetické energie iontů dopadajících na terč je přeměněna na teplo.“ Spíš naprostá většina?
„Pokud by teplota magnetronu stoupla nad Curieovu teplotu, došlo by k narušení požadovaných magnetických vlastností.“ Dá se říct přesněji a jasněji? Zmizelo by magnetické pole? Co když se teplota jen blíží Curieově teplotě zdola a magnetizace se snižuje?
„využívající směs vody a etylenglykolu jako chladicí kapaliny“ proč zrovna tahle směs?
- str. 44: „Při reaktivní depozici je třeba přesně kontrolovat množství přítomného reaktivního plynu.“ Kontrolovat nebo řídit?
- str. 45: „Mezi zkoumané parametry patří parciální tlak reaktivního plynu a střední hodnota proudu na terč během jedné periody pulzního zdroje.“ Je to celý seznam možných řídicích parametrů, nebo jsou ještě nějaké další?
„Citlivější z těchto dvou veličin, je vybrána jako řídicí parametr.“ Je citlivější veličina nebo její odezva? Zase čárka navíc?
- str. 46: proč je v Tab. 4.1 kyslík ležatě? Také v Tab. 4.2? Zirkon je oxid kovového prvku zirkonium?
- str. 48: „...plní zároveň i ochrannou funkci.“ Ochrannou?
- str. 49: lepší větná struktura kolem rovnice 4.3?
- str. 51: stejný krok chlazení jako ohřívání?
„...jako primární činidlo tak byly použity elektrony.“ Jsou elektrony činidlo?
- str. 53: dolní mez integrálu v 5.4 má být t_e?
„Časový průběh napětí U_d, řídicího proudu I_d, průtok kyslíku Φ_{ox} a proudové hustoty J_t zaznamenaný...“ řídicího parametru? průtoku?
V popisku Obr. 5.1 napsat, která čára odpovídá které veličině?
- str. 54: „Pokud je hodnota I_d menší než nastavená podmínka je průtok kyslíku...“ podmínka nemá hodnotu, nýbrž určuje hodnotu? Chybí čárka?
„stupeň pokrytí terče tzv. "otrávenosti"těmito oxidy“ obojí uvozovky konečné a chybí mezeře? Také jinde v textu. Chybí čárka?
- str. 55: „Nadruhou stranu potřeba...“ Na druhou?
- str. 56: „V grafu jsou označeny vrcholy jednotlivých fází...“ mají fáze vrcholy?
„Výrazně byla ale prodloužena doba depozice tak, aby měl vzorek dostatečnou tloušťku...“ takže tady je tloušťka větší než 70nm na začátku kapitoly 5?
- str. 57: „Na grafu je patrné, že povlak má lokální maximum právě v oblasti viditelného světla...“ Pro vysoké teploty dokonce globální?
„Pro delší vlnové délky od 780 od 2500 nm...“ do?
- str. 62: „Důležité je, že se termochromické povlaky podařilo připravit i při relativně nízké teplotě substrátu v průběhu depozice Ts ≈ 330 C, maximální hodnoty proudové hustoty na terč v pulzu J_t < 3 Acm⁻² a...“ hodnotě?