



Posudek oponenta habilitační práce

Masarykova univerzita

Fakulta

Obor řízení

Uchazeč

Pracoviště uchazeče, instituce

Habilitační práce

Oponent

Pracoviště oponenta, instituce

Prírodovedecká fakulta

Fyzika plazmy

RNDr. Tomáš HOMOLA, PhD.

Katedra experimentálnej fyziky

Plasma Processing of Surfaces and Nanostructured Coatings
for Flexible and Printed Electronics

Doc. RNDr. Karol HENSEL, PhD.

Univerzita Komenského,

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorologie

Habilitačná práca sa zaoberá tematikou plazmového opracovania povrchov rôznych teplocitlivých materiálov a nanoštruktúrnych vrstiev pre výrobu lacnej flexibilnej a tlačenej elektroniky. Konkrétne účinkami studenej plazmy na materiály PET a PEN, na povrchovú úpravu skla a aktiváciu transparentného ITO nanoseného na skle, resp. na opracovanie funkčných mezoporéznych TiO₂ fotoanód nanosených na skle a flexibilných fóliách.

Práca pozostáva z dvoch častí, hlavnej práce a prílohy, ktorú tvoria vybrané publikácie uchádzača. Hlavná práca predstavuje integrujúci sprievodný komentár k publikáciám a je rozdelená do štyroch kapitol, z ktorých každá sa venuje užšiemu monotematickému okruhu. Prvá kapitola poskytuje prehľad o zdrojoch atmosférickej plazmy. Druhá kapitola prezentuje povrchovú úpravu rôznych flexibilných substrátov. Tretia, z môjho hľadiska najzaujímavejšia, kapitola je venovaná atraktívnej problematike post-plazmatickej úpravy vrstiev pre flexibilnú elektroniku, v ktorej uchádzač okrem vlastných výsledkov sumarizuje aj hlavné aspekty flexibilnej a tlačenej elektroniky a diskutuje otázky ďalšieho použitia plazmy pre rýchlejšiu, lacnejšiu a konkurencieschopnejšiu výrobu elektroniky v porovnaní s existujúcimi konvenčnými technikami. Posledná kapitola tejto časti obsahuje krátke zhrnutie predchádzajúcich troch kapitol. Druhá časť práce, príloha, obsahuje 7 vybraných publikácií uchádzača.

Problematika habilitačnej práce je veľmi aktuálna nielen z hľadiska základného výskumu ale najmä s ohľadom na významný aplikačný potenciál získaných výsledkov. Oceňujem, že hlavná časť práce nie je len jednoduchým sprievodným textom k priloženým publikáciám, ale predstavuje relatívne fundovaný komentár na tému využitia plazmy generovanej atmosférickými výbojmi na opracovanie povrchov teplocitlivých materiálov a s tým súvisiacich aplikácií. Text je síce stručný, ale hutný, logicky postavený a dobre zacielený na zvolené problémy. Dobré sa číta a je vhodným vstupným materiálom pre ďalších študentov a záujemcov o túto oblasť. Práca je písaná jasne, zrozumiteľne s veľmi dobrým pomerom časti integrujúcej známe skutočnosti a časti obsahujúcej nové výsledky uchádzača. Z prehľadu publikácií je zrejmé, že sa uchádzač problematikou plazmového opracovania povrchov rôznych materiálov/substrátov a nanoštruktúrnych vrstiev nielen dlhodobo zaoberá ale získal aj celý rad nových unikátnych vedeckých poznatkov.

Za najdôležitejší prínos habilitácie považujem získanie nových unikátnych výsledkov najmä v oblasti nanášania TiO₂ fotoanód na flexibilné PET/PEN fólie, čo má významný potenciál pre aplikácie

tlačenej elektroniky. Okrem toho uchádzač získal aj nové poznatky v oblasti použitia DCSDB na účinnú povrchovú modifikáciu rôznych teplocitlivých materiálov, skúmaním povrchových zmien materiálov a vrstiev (zmáčavosť, povrchová energia, morfológia a zloženie) pomocou rôznych analytických metód (XPS, AFM, SEM, FTIR a pod.). Za veľmi významný považujem fakt, že sa uchádzač neobmedzil len na skúmanie aplikácií výboja, ale pozornosť venoval tiež aj jeho teoretickému štúdiu a popisu elementárnych procesov vo vybraných zmesiach plynov (elektrické merania, emisná spektroskopia). Je tiež sympatické, že okrem získaných kvalitných výsledkov spomenul uchádzač aj niektoré svoje neúspechy, napr. pokusy pri vytvrdzovaní sol-gélových TiO_2 vrstiev pomocou nízkoteplotnej plazmy rôznymi metódami, ktoré sa ukázali ako nepoužiteľne pre flexibilnú elektroniku. Jeho nadšenia a zápal pre vedecké skúmanie, ho však neskôr priviedli k nápadu pracovať s poréznymi a mezoporéznymi vrstvami a hypotéze, že povrchovú plazmu je možné generovať aj v samotných vrstvách, čo sa neskôr aj potvrdilo.

Výber publikácií v prílohe práce svedčí o cieľavedomej a intenzívnej vedecko-výskumnej i publikačnej činnosti uchádzača a jeho pracovnom nasadení v období posledných rokov. Vybrané publikácie zmysluplne zapadajú do témy habilitačnej práce, prinášajú zaujímavé a pôvodné vedecké poznatky a sú prínosom v oblasti plazmového opracovania povrchov teplocitlivých materiálov, čo potvrdzuje i fakt, že prešli náročným recenzným pokračovaním v redakciách časopisov. Celkove ide o 7 článkov publikovaných v rokoch 2012-17 vo významných svetových a vysokoimpaktovaných (3x IF3.4, 1x IF7.5) recenzovaných vedeckých časopisoch (*Polym. Degrad. Stab.*, *Coating*, *J. Adhes.*, *Plasma Chem. Plasma Process.*, *Appl. Surf. Sci.*, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, *Flex. Print. Electron.*), pričom na šiestich z nich je prvým autorom. Okrem týchto publikácií je uchádzač autorom ďalších 17 článkov z oblasti fyziky plazmy a ich aplikácií, ktoré doteraz spoločne vyprodukovali 159 citácií (h-index 7). Zo zoznamu prác uchádzača ako aj z množstva citácií je zrejmé, že v oblasti plazmového opracovania povrchov materiálov a nanoštruktúrnych vrstiev patrí medzi významných a uznávaných odborníkov. Zoznam publikácií uchádzača svedčí aj o jeho aktívnej medzinárodnej spolupráci s poprednými svetovými laboratóriami (Singapúr, Fínsko, Rakúsko, USA). Podobne je uchádzač aktívny aj v oblasti riešenia grantových projektov, kde bol/je zodpovedným riešiteľ 4 grantov a riešiteľom viacerých ďalších.

Okrem vedeckej práce sa uchádzač venuje aj pedagogickej činnosti. Od roku 2014 je pedagógom na Masarykovej Univerzite, podieľa sa na prednáškach, vedení cvičení alebo praktík (*Fyzikální praktikum*, *Praktikum pokročilých metod*, *Pokročilé laboratorné metody*) pre študentov bakalárskych a magisterských programov. V minulosti sa podieľal aj na vedení praktík bakalárskeho štúdia na Univerzite Komenského v Bratislave (*Mechanika a molekulová fyzika*, *Elektromagnetizmus*, a pod.). Okrem priamej pedagogickej činnosti je školiteľom jedného doktoranda a tiež školiteľom študentov magisterského a bakalárskeho programu (2 práce obhájené, 2 ďalšie v procese).

Dotazy oponenta k obhajobě habilitační práce

- 1) Analýza povrchu PET/PEN ukázala, že s časom plazmového opracovania vo vzduchu kontaktný uhol postupne klesá v dôsledku začleňovania polárnych skupín kyselika (-OH, -C=O, -COOH) do povrchu polyméru (str. 8, resp. 16). Experimenty s PEN (str. 10) ukázali, že v dusíku je možné dosiahnuť porovnateľný kontaktný uhol, resp. dokonca ešte menší ako vo vzduchu. Autor to vysvetľuje začlenením dusíka do materiálu a tvorbou dusíkových funkčných skupín. O aké funkčné skupiny sa jedná? Keďže vzduch dominantne obsahuje dusík, čakal by som, že funkčné skupiny dusíka budú dominovať aj vo vzduchu. Prečo tomu tak nie je?
- 2) Pri plazmovom opracovaní dochádza aj zmene optických vlastností materiálov. Napríklad sa mení transmitancia materiálov vo viditeľnej oblasti. Ako je možné vysvetliť nárast transmitancie? Dá sa táto zmena optických vlastností aj nejakou aplikačne využiť?

- 3) V dôsledku plazmového opracovania dochádza často aj k zmene drsnosť povrchu (morfológie). Pri amorfnom PMMA dochádza k zníženiu jeho drsnosti, pri semikryštalickom PET k výraznému nárastu drsnosti, keďže amorfná časť sa degraduje pomalšie ako kryštalická. Prečo v prípade semikryštalického PEN nebol pozorovaný žiadny vplyv na morfológiu?
- 4) Mikrovýboje DCSBD pozostávajú z difúznej a filamentárnej plazmy. Umiestnením vzorky do blízkosti plazmy dochádza k zániku filamentárnej plazmy, plazma je viac difúzna a účinnejšia. Nižšiu účinnosť filamentárnej plazmy vysvetľuje autor „menšou hrúbkou streamerov, ktoré sú ďalej od povrchu“ (str. 15). Mohol by autor trochu ozrejmiť tieto rozmery (hrúbka streamerov, ďalej od povrchu)? V práci sa viackrát ako efektívna vzdialenosť vzorky od plazmy uvádza 0.1-0.3 mm, čo je aj hrúbka generovanej plazmy. Závisí hrúbka plazmy nejakým spôsobom od výkonu výboja, použitého plynu alebo vodivosti vzorky?
- 5) Posledné výsledky uvedené v práci sa týkajú $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ nanokompozitných flexibilných anód nanosených na ITO/PET fóliách. Menia sa nejaké vlastnosti vrstiev pri ohýbaní fólie? Uvažovali ste, prípadne testovali ste aj iných pojív (nielen *methyl-silica binder*), resp. iné nanočastice?

Záver

Habilitačná práca Dr. Tomáša Homolu „*Plasma Processing of Surfaces and Nanostructured Coatings for Flexible and Printed Electronics*“ **splňuje** požiadavky štandardne kladené na habilitačnú prácu v odbore Fyzika plazmy. S ohľadom na celkovo vynikajúce výsledky jeho vedeckej i pedagogickej činnosti udelenie vedecko-pedagogického titulu docent jednoznačne podporujem.

V Bratislave dňa 27. 3. 2018

