

**Zápis z priebehu obhajoby habilitačnej práce Ing. Mariána Mikulu, PhD.,  
na tému „Tvrde nanoštruktúrované vrstvy“ a návrh habilitačnej komisie.**

Dňa 13.2.2018 sa v posluchárni „C“ FMFI UK v Mlynskej doline za prítomnosti členov habilitačnej komisie a oponentov (podľa priloženej prezenčnej listiny) konala po skončení habilitačnej prednášky obhajoba habilitačnej práce Ing. Mariána Mikulu, PhD., s názvom „Tvrde nanoštruktúrované vrstvy“. Po vstupnom úvode Prof. RNDr. Peter Kúš, DrSc., odovzdal slovo Ing. Mariánovi Mikulovi, PhD. Po prezentácii práce boli prečítané odborné posudky oponentov. Všetky odborné posudky boli kladné.

**Z vyjadrenia oponentov v oponentských posudkoch:**

**Prof. Ing. Dušan Galusek, DrSc.**

Na základe dostupných podkladov konštatujem, že Ing. Mikula je medzinárodne uznávanou vedeckou osobnosťou, čo dokumentuje 18 publikácií evidovaných v databáze Current Contents, na ktoré zaregistroval k dátumu podania habilitačnej práce 103 ohlasov evidovaných v medzinárodných citačných databázach. Samotná práca obsahuje pomerne rozsiahly sumarizujúci úvod, v ktorom habilitant prehľadne uvádza najdôležitejšie výsledky svojej práce získané počas vedeckého pôsobenia na Katedre experimentálnej fyziky Fakulty matematiky, fyziky a informatiky UK, zamerané na prípravu nanoštruktúrovaných tvrdých povlakov nanášaných metódami magnetronového naprašovania. Prehľad je doplnený 9 vlastnými prácami autora publikovanými v renomovaných recenzovaných zahraničných periodikách. Úvod je písaný formou vedeckého pojednania, kde autor vlastné výsledky vhodne dopĺňa a kriticky diskutuje na základe poznatkov publikovaných v predmetnej oblasti v zahraničí, pričom nezostáva v rovine fenomenologického popisu zistených skutočností, ale rozvíja problematiku do hĺbky s využitím rozsiahleho teoretického aparátu a pokročilých metód modelovania. Z formálneho hľadiska môžem konštatovať, že predkladaná práca je pripravená na veľmi vysokej úrovni, je vyvážená, prehľadná a napriek vysokej vedeckej úrovni ľahko čitateľná. Na základe predložených materiálov môžem konštatovať, že Ing. Martin Mikula, PhD. je erudovaným vedeckým pracovníkom a medzinárodne uznávaným odborníkom v oblasti prípravy nanoštruktúrovaných tvrdých povlakov. Po zhodnotení jeho vedeckých výstupov a pedagogických aktivít jednoznačne odporúčam prijať jeho habilitačnú prácu ako podklad k habilitačnému konaniu na Fakulte matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského a po jej úspešnom obhájení udeliť menovanému vedecko-pedagogickú hodnosť „docent“.

**Prof. Mgr. Petr Vašina, PhD.**

Habilitační práce je velmi kvalitní a představuje ucelený pohled na problematiku přípravy a charakterizaci tenkých ochranných vrstev, Ing. Mikula nejen komentuje své vlastní originální výsledky a poznatky, ale také je velmi odborně dává do kontextu se stávajícím stavem poznání v oboru. Pro všechny posuzované výsledky je charakteristické skloubení osvědčených experimentálních metod přípravy tenkých vrstev s moderními přístupy v jejich analýze, z kterých Ing. Mikula vyvozuje dobře vyargumentované a originální výsledky o vztahu mezi mikrostrukturou, chemickým a fázovým složením vrstvy a jejich mechanickými vlastnostmi a termální stabilitou. Experimentální výsledky jsou vhodně podpořeny ab initio modely připravovaných

vrstev. Mohu konstatovať, že dosažené výsledky jsou originální, dokazují, že se Ing. Mikula velmi dobře orientuje v problematice přípravy a charakterizaci tenkých vrstev. Z doložených materiálů je zřejmé, že kromě vědecké činnosti, je Ing. Mikula také aktivním pedagogem. Předložené materiály, dle mého názoru, jasně splňují požadavky kladené na habilitační práci.

**Doc. Ing. Zoltán Lenčoš, PhD.**

Veľmi si cením interdisciplinárny prístup k riešeniu danej problematiky ako aj kombinovanie experimentálneho a teoretického prístupu pri výskume a vývoji tvrdých nanoštruktúrovaných vrstiev. Z formálneho hľadiska môžem konštatovať, že predkladaná práca je napísaná prehľadne, logicky a na veľmi dobrej vedeckej i grafickej úrovni. Predložená práca spĺňa všetky požiadavky kladené na prácu predloženú k habilitačnému konaniu a preto odporúčam vedeckej rade Fakulty matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave udeliť Ing. Mariánovi Mikulovi, PhD. Po úspešnej obhajobe habilitačnej práce a habilitačnej prednáške vedecko-pedagogický titul „docent“ v odbore fyzika.

Po prečítaní posudkov uchádzač zodpovedal na položené otázky oponentov z odborných posudkov ako aj na ďalšie doplňujúce otázky od členov komisie.

**Priebeh diskusie:**

**Prof. Galusek:** Ako vylúčiť indentation size effect pri supertvrdých materiáloch a ako sa dá veriť nameraným hodnotám?

**Ing. Mikula:** Hĺbka vpichu by nemala presahovať desatinu hrúbky vrstvy. Samozrejme by sa mala použiť dostatočná záťaž, na vyvolanie Mal by sa nájsť isté plató v závislosti tvrdosti od hĺbky vtlačku.

**Prof. Vašina:** Potvrdil význam, merania v oblasti konštantnej tvrdosti pri meniacej sa záťaži.

**Prof. Galusek:** Existuje experimentálny dôkaz, že počas žihania dochádza k odplyňovaniu Ar z vrstiev a k preusporiadaniu atómov v mriežke do energeticky výhodnejších polôh?

**Ing. Mikula:** Odplyňovanie Ar je možné kvantifikovať EDS analýzou. Ar ióny sa však nielen zabudovávajú do mriežky, ale vytvárajú defekty a vysunutia atómov, čo vedie k nárastu vnútorných napätí, po žihaní vrstva zrelaxuje.

**Prof. Galusek:**  $K_{IC}$  reflektuje šírenie dobre definovanej trhliny. Ako je to s výpovednou hodnotou vašich výsledkov

**Ing. Mikula:** Výsledky sú samozrejme nepriame a naznačujú trend zlepšovania húževnatosti. Začíname pracovať aj na priamych dôkazoch novými meracími technikami.

**Prof. Varga:** Aký je váš najvýznamnejší výsledok, jednou vetou?

**Ing. Mikula:** Preukázanie spinodálnej dekompozície v Ta-Al-N systéme.

**Prof. Vašina:** Prečo sa pridával Ta do Cr-Al-Y-N vrstiev, čo je veľmi drahý kov?

**Ing. Mikula:** Motivácia bola v tom, že Ta vytvára kompaktný oxid na povrchu vrstvy, ktorý má veľmi pomalú kinetiku vzniku. Pridávame aj Nb, čo je niekoľkonásobne lacnejší materiál.

**Doc. Lenčoš:** Vyzdvihol prínos práce najmä to, že kombinuje teoretický a experimentálny prístup. Prečo pozorujete pokles tvrdosti pri vysokých predpätiach vo vrstvách TiB<sub>x</sub>?

**Ing. Mikula:** Vysoké predpätie a nárast energie iónov vedie k prežihaniu vrstiev a zotaveniu štruktúry.

**Doc. Lenčoš:** Pozorovali ste vznik nanotrhlín v TiBTaN vrstvách po prežihaní?

**Ing. Mikula:** TEM analýza nám neumožnila vidieť takéto malé detaily a určiť ich pôvod.

**Doc. Lenčoš:** Pozorovali ste úbytok dusíka po žíhaní vo vákuu. Neskúšali ste žíhať v dusíku ?

**Ing. Mikula:** Nerobili sem to, lebo nás zaujímalo správanie sa materiálu, s čo najlepším vylúčením vplyvu okolitého prostredia.

**Doc. Lenčoš:** Ako je to s koncentračným gradientom v zložení vrstiev TiBSi. Nedá sa odstrániť rotovaním?

**Ing. Mikula:** Nedá, vzorky sú naukladané na držiaku oproti terčom a ich poloha a rozmer definujú konkrétne chemické zloženie vrstiev.

**Doc. Lenčoš:** Dalo by sa zabrániť vzniku silicidov v Si-Cr-N vrstvách počas žíhania?

**Ing. Mikula:** Pravdepodobne nie, bolo by treba by vykonať experimenty v dusíkovej atmosfére.

**Prof. Hotový:** Sledovali ste závislosti depozičnej rýchlosti na parciálnom tlaku dusíka?

**Ing. Mikula:** Našou snahou bolo pripravovať stechiometrický pomer dusíka k iným prvkom a nesledovali sme zvyšovanie rýchlosti rastu. Zvyšovanie depozičnej rýchlosti je skôr priemyselný problém kvôli efektívnosti depozičných procesov.

Na všetky otázky z posudkov Ing. Marián Mikula, PhD., podľa vyjadrenia oponentov, zodpovedal erudovane s hlbokou znalosťou predmetnej problematiky. Túto skutočnosť potvrdili všetci členovia habilitačnej komisie a vyjadrili spokojnosť aj s odpoveďami na nimi položené otázky. Ďalej nasledovalo rokovanie habilitačnej komisie v zmysle čl. 18 ods.2 Zásad habilitačného konania bez prítomnosti uchádzača.

#### **Návrh habilitačnej komisie.**

Komisia posúdila úroveň prednesenej habilitačnej prednášky ako aj zhodnotila obhajobu habilitačnej práce. Zhodnotila tiež pedagogickú, vedeckú a publikačnú úroveň uchádzača ako aj jeho občiansky a morálny profil. Následne prebehlo tajné hlasovanie.

**Všetky hlasy boli kladné.**

Na základe skutočností uvádzaných vyššie konštatovali členovia habilitačnej komisie a oponenti, že Ing. Marián Mikula, PhD., vo svojej habilitačnej práci preukázal, že má široký prehľad v problematike tvrdých nanoštruktúrovaných vrstiev ako aj ich aplikácií vrátane zvládnutia a používania rôznych experimentálnych a diagnostických metód vo fyzikálnom výskume tuhých látok a je vyhranenou vedeckou ako aj pedagogickou osobnosťou. Odborná kvalita práce bola potvrdená všetkými posudkami. Celkový dojem z priebehu obhajoby habilitačnej práce bol mimoriadne dobrý.

Na základe uvedených skutočností komisia a oponenti odporúčajú Vedeckej rade FMFI UK vymenovanie Ing. Mariána Mikulu, PhD., za docenta vo vednom odbore 4.1.1 fyzika.

V Bratislave 13. 2. 2018

**Habilitačná komisia:**

Prof. RNDr. Peter Kúš, DrSc.

Prof. RNDr. Rastislav Varga, DrSc.

Prof. Ing. Ivan Hotový, DrSc.

**Oponenti:**

Prof. Ing. Dušan Galusek, DrSc.

Prof. Mgr. Petr Vašina, PhD.

Doc. Ing. Zoltán Lenčéš, PhD.