

Posudek oponenta na dizertační práci Mgr. Michala Zanášky

Probe methods for diagnostics of plasmatic systems for deposition of thin films

Diagnostika plazmatu, ve kterém probíhá depozice nevodivých materiálů, je obtížnou výzvou, protože nevodivé vrstvy rostoucí například na sondách znemožňují využít standardní elektrické metody. Zároveň je to ale téma velmi aktuální, protože depozice patří mezi hlavní oblasti využití plazmatu a rozšíření možností studia depozičního plazmatu tedy může mít velký praktický dopad. Dizertační práce Michala Zanášky se pouští právě do problematiky elektrických měření při plazmové depozici nevodivých vrstev a rozvíjí jak sondová měření, tak i in-situ diagnostiku rostoucích vrstev.

V první části výsledků se autor věnuje sondovým měřením vhodným i pro diagnostiku depozice nevodivých vrstev. Používá jednoduchou a dvojitou plovoucí harmonickou sondu. Obě metody byly už dříve zavedeny jinými autory, za přínos Michala Zanášky ale považuji důkladné testování těchto metod, které zahrnovalo srovnání různě velkých sond, aplikaci různě velkých amplitud sondového napětí a použití různých teorií popisujících iontový proud tekoucí na sondu. Sondy byly testovány v různých typech výbojů, výsledky měření byly srovnány s údaji získanými pomocí standardní Langmuirovy sondy a byl stanoven rozsah možného použití plovoucí harmonické sondy. Věřím, že na základě předložené dizertační práce bude možné plovoucí harmonickou sondu ve studovaných typech výbojů spolehlivě použít. Za další přínos autora považuji testování sond v časově proměnných – pulzních výbojích. Líbí se mi nápad snížit problematickou kapacitu sondy vůči zemi použitím dvojitě harmonické sondy. Je ale škoda, že práce neuvádí žádné použití otestované metody dvojitě harmonické sondy pro výzkum reálné pulzní depozice nevodivých vrstev. Těžiště práce leží v testování diagnostických metod, do hlubší analýzy fyziky vlastního plazmatu se autor prakticky nepouští.

V druhé části výsledků se Michalovi Zanáškovi podařilo vytvořit novou metodu diagnostiky rostoucích vrstev přímo během depozičního procesu, což má značný přínos pro monitorování depozic. Kromě rozboru vlastního měření během depozice byla provedena i analýza deponovaných vrstev, což pomohlo vysvětlit vlastnosti vrstev měřené novou metodou.

Práce je psaná anglicky. Text je dobře srozumitelný, formální stránka práce je dobrá. Členění práce je logické, autor v motivační kapitole studovanou problematiku vhodně zasazuje do kontextu současného výzkumu a v kapitole č. 1 čtenáře uvádí do potřebné teorie použitých metod. Druhá kapitola představuje experimentální uspořádání, následující kapitoly 3 až 5 postupně popisují výsledky získané pomocí sondových měření ve stejnosměrném výboji, sondových měřeních v pulzním výboji a při diagnostice deponovaných vrstev a závěrečná kapitola přehledně shrnuje dosažené výsledky. O pečlivosti práce svědčí, že jsem našel jen málo překlepů a drobných typografických nedokonalostí. (V prostřední části vztahu (1.16) chybí symbol e . Obr. 3.10 neukazuje koncentraci iontů, jak je omylem napsáno na str. 53. Zavádějící může být tvrzení na str. 16, že pro využití rovnice (1.25)

není potřeba přesné určení potenciálu plazmatu, protože hodnota koncentrace elektronů spočítaná pomocí této rovnice na hodnotě potenciálu plazmatu závisí. Jen jako doporučení již uvádím, že symboly Besselových funkcí se běžně nesázejí kurzívou, ale stojatým písmem, což by i v rovnici (1.28) lépe odlišilo Besselovy funkce od proudu označovaného také symbolem I . Doporučuji také oddělovat číselnou hodnotu a jednotku veličiny jezd zúženou mezerou, ale to už zabíhám spíše do libůstek.)

Kvalitu výsledků potvrzuje skutečnost, že Michal Zanáška publikoval svou práci ve třech impaktovaných časopisech (dva články jsou přílohou dizertační práce), vždy jako první autor, a ve dvanácti konferenčních příspěvcích. Dizertační práce Michala Zanášky přináší nové výsledky a přispívá k rozvoji studovaného oboru. Autor prokázal schopnost samostatné tvůrčí práce. Domnívám se tedy, že dizertační práce Michala Zanášky **splňuje** požadavky standardně kladené na dizertační práce v oboru fyzika plazmatu, a navrhuji, aby byla přijata jako úspěšná dizertační práce.

K práci mám následující otázky:

1. Použitá teorie plovoucí harmonické sondy (FHP) předpokládá konstantní iontový proud nezávislý na napětí, což je typické pro rovinnou sondu, ale ne pro použitou válcovou sondu. Bylo by obtížné tento předpoklad opustit a použít vztah (1.13)? (V úvahu připadá i numerické zpracování FHP charakteristik.) Je šance, že by po takovémto zpřesnění teorie vyšla získaná koncentrace iontů konstantní nebo alespoň méně závislá na amplitudě střídavého sondového napětí, jak je v současnosti vidět na obr. 3.5?
2. Bylo by možné rozvinout popisované sondové metody pro použití nejen ve stejnosměrných a pulzních, ale i ve vysokofrekvenčních kapacitních výbojích, kde potenciál plazmatu výrazně osciluje?
3. Nová metoda in-situ měření elektrických vlastností tenkých vrstev byla vyzkoušena během růstu vrstev. Byly získané výsledky po depozici ověřeny i nějakou jinou (ex-situ) metodou?

v Brně, 15.5.2019

Pavel Dvořák