

Oponentský posudek na doktorskou disertační práci

Jan Klusoň:

Impulsní plazmatické systémy

Motivací předkládaná práce je pokročilá diagnostika nízkoteplotního plazmatu generovaného v duté katodě (plazmové trysce) a planárním magnetronu. Výše uvedené plazmové systémy jsou v převážné míře používány pro technologické aplikace nanášení tenkých vrstev nebo úpravy povrchů. Jak sám autor konstatuje, v posledních letech nabývá na významu pulzní nebo pulzně modulované buzení výboje za účelem získání vylepšených vlastností deponovaných tenkých vrstev. Hlavním cílem disertační práce je právě diagnostika výše uvedených systémů pracujících v pulzním režimu případně v tzv. HiPIMS módu.

Experimentálně zaměřená disertační práce se zabývá měřením rychlosti proudění plazmatu a neutrálního plynu v plazmové trysce. Získané výsledky lze v kontextu současných znalostí považovat za unikátní a přínosné pro hlubší pochopení a optimalizaci depozičního procesu pomocí plazmových trysek. Sondová diagnostika stejného systému pak dále prohlubuje v současnosti známé vlastnosti plazmatu generovaného v duté katodě o poznatky chování výboje v duté katodě v případě pulzního stejnosměrného buzení plazmatu. Je třeba vyzdvihnout mapování parametrů plazmatu ve velké oblasti kolem výstupu trysky. Dále výsledky měření časově rozlišené hmotnostní spektroskopie s energetickým rozlišením obzvláště v pulzním režimu přinášejí zcela nové informace o chování iontové toku na substrát při buzení magnetronového výboje v režimu HiPIMS.

Lze tedy konstatovat, že koncepce a obsah disertační práce odpovídá současným trendům experimentálního výzkumu depozičních plazmatických technologií. Mgr. Klusoň navíc prokázal i značnou experimentální zručnost při konstrukci pulzních dc jednotek, diagnostických zařízení nebo modernizaci vakuových aparatur. O kvalitě předložené práce svědčí i fakt, že výsledky prezentované v disertační práci byly publikovány ve třech impaktovaných časopisech. Mgr. Klusoň je autorem či spoluautorem 6 recenzovaných publikací a řady příspěvků v konferenčních sbornících.

Práce je poměrně pečlivě sepsaná, nicméně i tak jsem v ní našel několik drobných formálních nepřesností a nedostatků:

- Str. 4 – autor uvádí, že pomocí obloukového výboje lze docílit jen omezené kvality deponované vrstvy. Pro čtenáře by bylo vhodné uvést, o jaké konkrétní kvalitativní omezení se jedná, v čem je depoziční pomoci obloukového výboje nevýhodná.
- Str. 10 – autor uvádí, že pro výbojový proud větší jak 1 A přechází doutnavý výboj v obloukový. Je to zavádějící tvrzení, neboť ve velkých průmyslových plazmatických

systemech se používá doutnavý výboj při proudu desítek A. Správně by měla být uvedena hodnota proudové hustoty.

- Str. 13 a 35 – v textu autor dává do souvislosti atmosférický pochodňový bariérový výboj s výbojem v duté katodě. To je pro čtenáře matoucí, neboť tyto výboje nemají spolu nic společného kromě skutečnosti, že hoří v kanále proudícího plynu.
- Str. 15 – autor mylně uvádí, že mikrovlnný výboj je založený na elektron cyklotronové rezonanci. Ve skutečnosti je v plazmatu efektivně absorbován induktivně vázaný RF výkon díky rezonanci EM vlny s elektronovou cyklotronovou vlnou.
- V kapitole 3.3, autor uvádí průměr Langmuirovy sondy 45 μm . V kapitolách 4.1 a 5. však píše, že sonda měla průměr 50 μm . Který rozměr je tedy správně?
- Str. 79 – autor uvádí, že byla použita tloušťka magnetronového titanového terče 0,7 mm, aby byla zachována stabilita výboje při tlacích v řádu jednotek Pa. V běžné praxi se používají tloušťky terčů o řád vyšší pro nižší pracovní tlaky. Pokud nejde o překlep, tak by měl autor blíže specifikovat, o jaký jde magnetron a jak byl technicky schopen provozovat tak tenký terč.

Po obsahové stránce považuji práci za velmi kvalitní. Přesto bych byl rád, aby se autor při obhajobě vyjádřil k následujícím dotazům:

- Při měření proudění plynu Pitotovou trubicí autor předpokládal, že teplota plynu je na pokojové teplotě. Je známo, že v plazmatu se plyn může značně zahřívat. Lze odhadnout vliv teploty proudícího plynu na měřenou rychlost proudění plynu? Případně má autor práce představu, jaké teploty mohl proudící neutrální plyn dosahovat, když byl zapálen výboj v duté katodě?
- Změřená hmotnostní spektra ukazují nemalou přítomnost vody v systému. Autor tvrdí, že voda pochází z vnitřního prostoru spektrometru. Může to nějak dokázat? Typicky mezní tlak v EQP systémech se blíží 9 řádu v milibarech a předpokládá se, že plyn z vnitřních částí spektrometru nijak výrazně nepřispívá k měřenému signálu.
- Z literatury je známé, že ionty generované v HiPIMS výboji dosahují energií až 100 eV v blízkosti substrátu pro tlak v řádu jednotek Pa, i když potenciál plazmatu je velmi nízký. Toto anomální chování není dodnes plně objasněno. Mohl by autor práce komentovat skutečnost, že v jeho měřeních s EQP systémem měřil energii iontů v HiPIMS módu výboje s velikostí maximálně cirká 20 eV?

Výše uvedené připomínky nijak nesnižují celkovou vysokou úroveň předložené práce, která podle mého názoru splňuje požadavky na doktorskou disertaci. Autor tedy prokázal schopnost samostatné vědecké práce, a proto doporučuji práci k obhajobě.

V Praze, 12. května 2013

Mgr. Martin Čada, Ph. D.