

## **Oponentní posudek na Doktorskou disertační práci Jana Klusoně** *Impulsní plazmatické systémy*

Předložená doktorská disertační práce se zabývá problematikou diagnostiky dvou pulzně provozovaných plazmatických systémů, a to plazmového jetu využívajícího dutou katodu a pulzního magnetronového naprašovacího zařízení. Protože v případě plazmového jetu byla diagnostika teprve vyvíjena, byla realizována i řada referenčních měření v kontinuálním režimu výboje. Práce je rozdělena do 6 zásadních kapitol doplněných o nezbytnou motivaci k celé práci a závěrečné shrnutí. Po grafické i jazykové stránce je disertační práce na velmi vysoké úrovni a je vypracována s minimem překlepů s nejasných formulací.

První kapitola podává základní teoretický přehled potřebný pro následnou aplikaci při vlastním řešení práce. Zde se autor dopustil asi jediné zásadnější nepřesnosti, když tvrdí, že kladný sloupec doutnavého výboje emituje čárové spektrum (strana 11). To je pravda v inertních plynech (s ohledem na to, že autor používal argon, je to v pořádku), ale neplatí to pro molekulární plyny.

Druhá kapitola pak představuje jednotlivé experimentální systémy, které byly při řešení práce použity. Jsou zde uvedeny velmi přehledná schémata a nákresy jednotlivých zařízení, z nichž značnou část autor sám realizoval. Tato část tak může být výbornou základnou pro jeho následovníky, neboť takto kompletní dokumentace obvykle nebývá k dispozici.

Další tři kapitoly pak podávají detailní přehled výsledků získaných na plazmovém jetu, kde byla realizována celá řada velmi precizních měření pomocí Pitotovy trubice i jednoduché Langmuirovy sondy, částečně pak i in situ hmotnostního spektrometru s analýzou iontových energií. Výsledky těchto měření jsou vzájemně ve velmi dobré shodě a jasně prokázaly, že v prostředí plazmového jetu za nízkého tlaku lze dosahovat jak podzvukových, tak i nadzvukových rychlostí proudění plynu, rovněž bylo provedeno detailní zmapování rychlostního profilu jetu. Následně byla pomocí sondových měření získána mapa elektronové koncentrace i elektronové rozdělovací funkce. Všechny tyto veličiny byly studovány v závislosti na tlaku ve výbojové komoře, v případě kontinuálního režimu pak i na velikosti průtoku plynu tryskou a velikosti výbojového proudu. U pulzního režimu byl navíc studován i časový průběh parametrů a vliv střidy výboje, resp. opakovací frekvence výboje. Veškeré získané výsledky jsou přímo v textu detailně konfrontovány a jsou podány i velmi pravděpodobné fyzikální principy, které je vysvětlují.

V poslední části autor uvádí výsledky získané na magnetronovém zdroji. I zde je studován zejména vliv tlaku a výbojového proudu na parametry plazmatu. Měření probíhala pouze s pomocí hmotnostní spektrometrie, a proto jsou podány výsledky o distribuci iontů v závislosti na podmínkách výboje. I zde jsou získané výsledky poměrně detailně komentovány a interpretovány.

K práci a získaným výsledkům mám následující otázky:

1. Na stranách 41 a 42 je diskutována existence dvou skupin iontů – pomalejších a rychlejších. Jak by se jejich existence dala vysvětlit? Podle toho, co je uvedeno v grafech, lze soudit, že rychlejší skupina rychle zaniká a objevuje se také jen při vyšším průtoku, navíc je více zastoupena při nižších tlacích. Nemohlo by toto být způsobeno např. existencí vícenásobných iontů případně iontů jiného druhu (např. rychlejší jsou argonové ionty, pomalejší titanové)? Dalo by se toto nějak experimentálně ověřit?
2. Na obrázku 4.11 (a následně i na řadě dalších) je pro dané podmínky vždy dvojkřivka. Znamená to, že se sonda napřed vsunovala do plazmatu a pak vysunovala? Pokud tomu

tak je, tak mohlo být okomentováno, že toto jasně dokazuje, že během depozice se její vlastnosti nijak zásadně nemění. Jak dlouho vlastně trvalo pořízení jedné této závislosti?

3. Jaký byl přesně průměr sondy? V popisu experimentu je pod obr. 3.7 uvedena hodnota 45 mikronů, v dalším textu je pak uváděno 50 mikronů.
4. Uvádíte, že při měření rychlosti proudění nebylo možné z konstrukčních důvodů jít se sondou blíže než na 27 mm, v následující kapitole jste ale měřil již od cca 8 mm. Znamená to, že jste upravil konstrukci sondy?
5. K výsledkům na str. 55 – možná by stálo za to nechat jako anodu jen limitovanou plošku v oblasti substrátu (přímo proti trysce) a ostatní části reaktoru ukrýt za nevodivou stěnu. Tím by se dal prokázat vliv reaktoru na profil jetu, což může být významné zejména pro depozice na silně strukturované povrchy.
6. Nemůže za vyšších tlaků hrát roli v nárůstu koncentrace nabitých částic i ionizace indukovaná srážkami mezi argonovými metastabily?
7. Podle grafů 6.4 a 6.5 se mi jeví, že vliv indukce po zapnutí výboje je spíše 50 mikrosekund než Vámi uváděných 30 mikrosekund.
8. V obrázku 6.15 jsou v grafu uvedeny 3 frekvence, ale v titulku ke grafu tvrdíte, že jsou 4.
9. K hmotnostnímu spektru na obr. 7.1 by nebylo od věci doplnit i identifikaci jednotlivých píků. V textu dále sice je, ale přispělo by to k přehlednosti.

Celkově považuji předloženou doktorskou disertační práci Jana Klusoně za velmi kvalitní a přínosnou a plně splňující kritéria kladená na tyto práce. Proto ji doporučuji k obhajobě a po jejím úspěšném završení doporučuji přiznání odpovídajícího titulu.

V Brně dne 3. května 2013

doc. RNDr. František Krčma, Ph.D.