

Oponentní posudek k diplomové práci

Optická emisní spektroskopie ve vysokovýkonovém impulzním magnetronovém rozprašování multikomponentního terče

Bc. Veronika Němcová

Hlavním cílem předložené diplomové práce bylo provést časově rozlišenou optickou emisní spektroskopii (OES) v pulzním magnetronovém výboji s multikomponentním terčem NbC. V rámci diplomové práce autorka zvládla obsluhu OES, provedla měření emisních spekter, provedla kalibraci měřicího systému, zpracovala naměřené intenzity vybraných emisních čar a diskutovala získané časové závislosti koncentrací excitovaných stavů atomů a iontů pracovního plynu a prvků rozprašených z terče.

Práce má standardní strukturu, lze ji v podstatě rozdělit do tří větších částí. V první (kapitola 2) je uveden obecný přehled problematiky, ve druhé (kapitola 4) je konkrétní popis použitých přístrojů, postupu měření a metodik zpracování dat a ve třetí (kapitola 5) jsou prezentovány výsledky měření a diskuze.

Hodnocení práce

Celkově je práce na velmi dobré úrovni. Její rozsah a kvalita zpracování odpovídá požadavkům na diplomové práce. V práci se však vyskytuje nemalé množství překlepů a několik chyb, které uvádím na konci posudku.

Téma práce je aktuální a navazuje na předchozí výzkum prováděný na KFY. Velmi kladně hodnotím fakt, že autorka zkoumala optická spektra ve více pozicích, a to jak v různých vzdálenostech od terče, tak také v různých pozicích nad terčem (střed terče a nad erozivní zónou). Ačkoliv pouze na základě těchto dat je obtížné zcela rozklíčovat dynamiku pohybu atomů a iontů ve výboji, jednoznačně tyto výsledky přispívají k našemu poznání a budou dále využity.

Současný stav problematiky se věnuje všem podstatným oblastem souvisejícím s tématem práce. Dokonce si myslím, že zabírá více prostoru, než je nutné. Například podkapitoly popisující konfigurace magnetického pole magnetronu, magnetrony s proměnným polem, nebo další diagnostiky, jako Langmuirovu sondu a hmotnostní spektroskopii lze zcela vypustit nebo výrazně zkrátit. V této části je také nejvíce patrné, že autorka vycházela z anglických textů. Objevují se pro češtinu nezvyklá spojení, která jsou nejspíše důsledkem strojového překladu bez adekvátní korekce, což zhoršuje srozumitelnost textu. (Například: „vnější předpětí substrátu“, „tok atomů povlaku“, „vysoce izolačních filmů“, „frekvence defektů“, „polarizace substrátu“, apod.). V celé práci se zaměňují termíny s podobným významem, např. povlak – vrstva – film, koncentrace – hustota nebo Boltzmannův graf – *plot*.

Oproti současnému stavu problematiky, část věnující se metodologii by mohla být rozsáhlejší a detailněji zpracována. Celá kapitola působí trochu nekompaktně – na jedné straně se popisuje obecně funkce spektrografu a ICCD kamery, na druhé straně se popisuje konkrétní postup kalibrace systému pro měření OES. Kapitola 4.1.1.2 „Intenzita

a rozšíření spektrálních čar“ vůbec nepopisuje rozšíření spektrálních čar. Kapitola 4.1.1.3 „Výběr spektrálních čar“ popisuje výběrová pravidla pro elektronové přechody. Popis jednotlivých kroků měření není zcela srozumitelný, zejména u procesu kalibrace. Práce také nezmiňuje některé parametry, jako např. opakovací frekvenci pulzů na magnetronu nebo nastavení zesílení náboje na čipu kamery. Na druhou stranu, postup zpracování dat je popsán velmi dobře a přehledně prezentován v tabulkách.

Prezentace výsledků ve formě grafů v kapitole 5 je na výborné úrovni. K této části mám jen několik drobných výtek, např. v obr. 19 a 20 by podle mě bylo vhodnější, aby osa y začínala na hodnotě 0, případně aby oba grafy měly stejnou vertikální škálu. Stejně tak by bylo vhodné zachovat stejný vertikální rozsah (počet řádů) u grafů na obr. 22. Autorka velmi korektně diskutuje získané výsledky a objevila zajímavé souvislosti, přestože s ohledem na složitost zkoumaného výbojového plazmatu a dostupná data není vždy v jejích silách je dokonale vysvětlit.

Závěr

Diplomová práce se zabývá aktuálním tématem, autorka použila vhodnou metodiku a získala cenné výsledky. Zpracování je na velmi dobré úrovni i přes zmíněné nedostatky. Diplomovou práci doporučuji k obhajobě a navrhuji hodnocení **velmi dobře**.

V Plzni dne 25. 8. 2023

doc. Ing. Tomáš Kozák, Ph.D.

Otázky

1. V kapitole 4.1.3.1 se mluví o zesílení a akumulaci náboje na čipu kamery. Jakým způsobem byly tyto parametry nastavovány během měření? Byly různé při měření různých režimů a různě intenzivních čar? Jakým způsobem pak lze zaručit porovnatelnost výsledků?
2. K obr. 17: Autorka píše „Různá vzdálenost kolimátoru od terče v tomto případě měla na průběhy proudové hustoty a napětí minimální vliv“. Prosím, objasněte, čeho se týká napětí a proudová hustota a jak byly tyto veličiny měřeny. Lze očekávat vliv pozice kolimátoru na tyto veličiny?
3. K obr. 18: Poslední bod v Boltzmannových grafech na první pohled vždy výrazně vybočuje z trendu určeného ostatními body. Dokážete vysvětlit, čím je to způsobeno? Neuvažovala jste o vyřazení tohoto bodu ze souboru bodů pro fitování a určení T_{ex} ? Jak by to případně ovlivnilo hodnoty T_{ex} , potažmo další diskuzi?
4. Na str. 50 je diskutován pomalejší náběh koncentrace atomů C oproti atomům Nb. Je však obtížné porovnat rychlost náběhu koncentrace u grafů, které mají rozdílnou vertikální škálu. Můžete, např. jen pro vybrané režimy, porovnat nárůst koncentrace Nb a C v jednom grafu a znázornit rychlost nárůstu např. pomocí tečny ke grafu?

Příloha

Zde jsou vyjmenovány významnější chyby, které jsem v práci objevil.

- Str. 20, rovnice (2.4): n_i je na obou stranách rovnice, myslím, že správně má na pravé straně místo n_i být n_i .
- Str. 36, chybně uveden použitý zdroj napětí. Ve skutečnosti byl magnetron napájen pulzním HiPIMS zdrojem vlastní konstrukce a DC zdrojem GS10 (ADL). Pulzy byly řízeny zmíněným funkčním generátorem RIGOL DG4102.
- Str. 38, Tab. 2: Nb I má uvedené dvě emisní čáry. Myslím, že čára s vlnovou délkou 507.740 má být uvedena pouze v Tab. 3.
- Str. 42, rovnice (4.10): na levé straně má místo T_{ex} být $\ln(n_n/g_n)$.