

Název veřejné zakázky:

Dodávka univerzálního multifunkčního depozičního zařízení s diagnostikami pro projekt NTIS

Odůvodnění vymezení technických podmínek veřejné zakázky ve vztahu k potřebám veřejného zadavatele podle § 156 odst. 1 písm. c) zákona č. 137/2006 Sb., v platném znění

Technická podmínka:

Odůvodnění

Univerzální depoziční vakuová aparatura musí splnit následující minimální základní parametry:

1. Mezní tlak vakuové komory alespoň 5×10^{-5} Pa.
2. Depoziční uniformita (rovnoměrnost) vrstev lepší než ± 2.0 % na ploše o průměru 10 cm.
3. Možnost depoziice (naprašování) ze všech čtyř magnetronů najednou (jeden magnetron napájený z vysokovýkonného pulzního zdroje, dva z duálního zdroje a jeden ze stejnosměrného zdroje), za současné rotace, vyhřívání a RF předpětí vzorků.
4. Přesné a reprodukovatelné nastavení teploty vzorků (± 5 °C) za současného radiofrekvenčního předpětí vzorků.
5. Udržení (stabilizace) konstantního tlaku pracovních plynů ve vakuové komoře za použití následujících technik:
 - regulace čerpací rychlosti vakuového systému pomocí řízení pozice deskového ventilu při konstantním průtoku pracovních plynů (Downstream control);
 - regulace průtoků pracovních plynů při konstantní čerpací rychlosti systému (neměnná pozice deskového ventilu) (Upstream control).

Jedná se o nutné základní požadavky na depoziční aparaturu, které mají zajistit optimální podmínky pro využití aparatury k vědecko-výzkumné činnosti v programu P4:

Uvedený mezní tlak zajišťuje minimální znečištění (řádu několika %) vakuové komory (a tím i připravovaných vrstev) zbytkovými plyny, požadovaná uniformita vrstev (dle našich zkušeností postačují uvedená 2 %) zaručuje praktickou shodu všech vrstev deponovaných na celé ploše, možnost současné práce všech instalovaných zdrojů plazmatu umožňuje vytváření směsných vrstev a multivrstev nových vlastností.

Udržení konstantní teploty vzorků (podle našich zkušeností postačuje přesnost požadovaných 5 %), možnost připojení radiofrekvenčního předpětí a stabilita depozičního plazmatu zaručují stabilitu a opakovatelnost fyzikálních podmínek depoziice, které jsou nutné pro pochopení a teoretický popis procesů probíhajících při růstu deponovaných vrstev, což jsou základní podmínky nalezení žádoucí možnosti řízení složení vrstev a jejich reprodukovatelnosti.

Dva požadované módy regulace pracovního tlaku (downstream, upstream control) jsou nejvýhodnější při depoziici tenkých vrstev a jsou aktuálně používány v našich laboratořích (a rovněž ve všech světových výzkumných laboratořích).

A) Hlavní depoziční (naprašovací) komora

1. Válcovitá (vnitřní průměr 55-61 cm nebo 22-24 inch; vnitřní výška 43-46 cm nebo 17-18 inch) ultra-vysokovakuová depoziční komora z nerezové oceli, dobře přístupná ze všech stran a vhodná pro naprašování směrem nahoru [pro těsnění přírub je možné použít měděné nebo gumové těsnění (např. fluorokaučukové těsnění).
2. Standardní otvory:
Čtyři (4) otvory pro magnetrony, dále pro čerpací systém, držák substrátů, systém pro výměnu vzorků (load lock system), tlakové měrky, clonku držáku substrátů a zavzdušňovací ventil.

Další otvory:

3. Jeden extra otvor pro magnetron umístěný ve středu dolní příruby.
4. Jedno okénko do depoziční komory zabezpečené proti úniku

A)

Všeobecné rozměrové a další technické požadavky na hlavní depoziční komoru umožní její napojení na ostatní části depoziční aparatury a dovolí připojení přídavných analytických přístrojů pro výzkum depozičního plazmatu, které jsou v programu P4 Evropského centra excelence NTIS naplánovány (např. optická emisní spektroskopie, hmotnostní a energiová analýza, laserová optická analýza CRDS, rovněž případné připojení hledače netěsností)

Požadované rozměry komory jsou optimalizované pro instalaci a rozmístění všech požadovaných vnitřních součástí a všech vnějších provozních částí depoziční aparatury, pro parametry čerpacího systému a požadovaný mezní tlak.

Požadované ultra-vysokovakuové provedení, materiál nerezová ocel a nerezové vložky komory zaručují dosažení požadovaného mezního tlaku a spolu s ním

radiofrekvenčního záření z komory a kryté clonkou.

5. Jeden víceúčelový otvor pro připojení plynového analyzátoru nebo hledače netěsností.

6. Speciální otvory:

- Dva protilehlé pravoúhlé otvory (vnitřní průměr 150 mm a vnitřní výška 200 mm) umístěné symetricky vzhledem k ose procházející skrz dva magnetronové terče a vzhledem k centrální ose depoziční komory.
- Horní hrana vzpřímeného magnetronu alespoň 60 mm nad spodním okrajem otvorů.
- Drážky pro těsnění přírub (např. pro fluorokaučukové těsnění) vyhloubené do depoziční komory, aby bylo možné použít deskovou přírubu bez drážky.

7. Záslepné příruby pro všechny nepoužité otvory.

8. Jeden zavzdušňovací ventil.

9. Dvě sady vložek do komory z nerezové oceli na ochranu stěn komory.

10. Pomocný (např. hydraulický nebo elektropneumatický) mechanismus pro manipulaci s odnímatelnými těžkými částmi komory (např. s horním víkem).

11. Jedna náhradní horní příruba s otvorem DN63CF ve středu této příruby.

B) Vakuový čerpací systém

1. Uzavírací a škrticí deskový ventil s krokovým motorem (alespoň 1000 pozic) mezi turbomolekulární vývěvou a hlavní depoziční komorou vybavený vstupním/výstupním signálem.
2. Širokorozsahová turbomolekulární vývěva s čerpací rychlostí alespoň 1200 l s^{-1} (pro N_2) a s magnetickým ložiskem alespoň pro vysokovakuový konec vývěvy.
3. Měrka pro měření tlaku na výstupu turbomolekulární vývěvy vybavená analogovým výstupním signálem.
4. Vhodná bezolejová mechanická vývěva (čerpací rychlost alespoň $7,5 \text{ l s}^{-1}$ pro N_2 , mezní tlak menší než 10 Pa) s ventilem proti zpětnému nasátí.

C) Plazmové (naprašovací) zdroje

1. Čtyři konfokální magnetrony (průměr terče 2 inch nebo 5 cm) v ultra-vysokovakuovém provedení, které musí umožnit činnost ve vyváženém i nevyváženém módu a rovněž práci s magnetickými materiály.
2. Naklápěcí mechanismus pro každý magnetron.
3. Příslušenství pro napouštění plynu u terče (gas ring), ochrana

zajišťují minimální znečištění vakuové komory zbytkovými plyny a tím také vysokou čistotu, kvalitu a reprodukovatelnost deponovaných tenkých vrstev.

Zvláštní otvor umožní přesun jednoho z magnetronů do středu komory a následnou kontrolu symetrie jeho depozice.

Okénko (4) do komory umožňuje optickou kontrolu umístění vnitřních částí komory a probíhající depozice vrstev.

Nestandardní obdélníkové otvory 150x200 mm, vakuově utěsněné, jsou potřebné pro optické analýzy depozičního plazmatu, kdy umožňují vertikální a horizontální posuvy světelného paprsku, procházejícího napříč celou komorou (a tím také průchod paprsku zvoleným místem plazmatu).

Aktuálně nepoužité otvory do vakuové komory je nutno zaslepit pro zajištění její těsnosti.

Zavzdušňovací ventil umožňuje napuštění komory vzduchem po ukončení depozice vrstev a následné otevření komory (po vyrovnání vnitřního a vnějšího tlaku).

Pomocný mechanismus umožní manipulaci s těžkým víkem komory při úpravách vnitřního uspořádání a při čištění komory.

Náhradní příruba s definovaným otvorem umožní připojení dalších, stávajících, přídavných zařízení, používaných v současnosti v našich laboratořích (plazmový monitor).

B)

Uvedené technické podmínky a parametry čerpacího systému zaručují (pro vakuovou komoru výše definované velikosti) relativně rychlé dosažení požadovaného mezního tlaku (max. 3 hodiny) a jsou předpokladem pro velmi čisté, bezolejové prostředí ve vakuové komoře, nutné pro vysokou kvalitu vytvářených tenkých vrstev.

Požadovaný řízený uzavírací a škrticí deskový ventil je nezbytný pro požadovanou stabilizaci pracovního tlaku ve vakuové komoře ve dvou nejpoužívanějších modech činnosti (downstream, upstream).

Velký počet pozic (1000) je nutný pro kvazispojitý průběh regulace v širokém oboru tlaků, používaných při našem výzkumu (0,05 Pa až 50 Pa).

C)

Průměr terče 5 cm je optimálně stanoven na základě našeho aktuálního výzkumu magnetronových plazmových depozic tenkých vrstev, ultra-vysokovakuové provedení je kompatibilní se stejným provedením vakuové komory.

Je vyžadována schopnost práce ve všech plazmových modech, v současnosti používaných v našich i všech světových laboratořích (vyvážený, nevyvážený,

terče před kontaminací z jiných magnetronů (magnetron chimney) a pneumatická clona pro každý magnetron.

magnetický materiál).

Naklápečí mechanismus pak zaručuje vysokou hodnotu depoziční uniformity tenké vrstvy. Příslušenství je potřebné pro rovnoměrné napouštění plynu a pro ochranu terče magnetronu

D) Kruhový magnetron s nastavitelným magnetickým polem

- Kompatibilita s naprašovacími terči o průměru 4" nebo 10 cm
- Kompatibilita magnetronu s UHV
- Přímé vodní chlazení rozprašovaného terče
- Přesný systém pro nezávislý axiální posuv vnitřních a vnějších magnetů uvnitř magnetronu umožňující změnit tvar magnetického pole a/nebo jeho sílu bez zavzdušnění naprašovací komory
- Vnější přichycení magnetronu k naprašovací komoře (t.j., magnetron je přímo přichycen k připevňující přírubě bez jakékoli prodlužující části)
- Maximální hloubka magnetronu 130 mm (t.j., vzdálenost mezi povrchem terče a vnitřní stranou připevňující příruby)

D) Kruhový magnetron s nastavitelným magnetickým polem

Nedávno jsme v naší práci (J. Čapek et al., J. Phys. D: Appl. Phys. 46 (2012) 205205) ukázali, že optimalizace výbojových podmínek pomocí kontroly magnetického pole je velmi důležitá v případě vysokovýkonového pulzního magnetronového naprašování. Kruhový magnetron s nastavitelným magnetickým polem nám umožní pokračovat v našem výzkumu.

- Kompatibilita s naprašovacími terči o průměru 4" nebo 10 cm
Naprašovací terč o průměru 10 cm je optimální s ohledem na rozměr depozičního systému a také s ohledem na homogenitu naprašovaných vrstev
- Kompatibilita magnetronu s UHV
Kompatibilita magnetronu s UHV nám zaručí vysokou kvalitu magnetronu.
- Přímé vodní chlazení rozprašovaného terče
Přímé chlazení nám umožní aplikovat vyšší výkonové hustoty při rozprašování terče.
- Přesný systém pro nezávislý axiální posuv vnitřních a vnějších magnetů uvnitř magnetronu umožňující změnit tvar magnetického pole a/nebo jeho sílu bez zavzdušnění naprašovací komory
Tento systém nám umožní kontrolovat tvar a sílu magnetického pole, což povede k optimalizaci výbojových podmínek při vysokovýkonovém pulzním naprašování.
- Vnější přichycení magnetronu k naprašovací komoře (t.j., magnetron je přímo přichycen k připevňující přírubě bez jakékoli prodlužující části)
Tento způsob uchycení magnetronu je jediný možný s ohledem na rozměry depozičního systému.
- Maximální hloubka magnetronu 130 mm (t.j., vzdálenost mezi povrchem terče a vnitřní stranou připevňující příruby)
Maximální hloubka magnetronu s ohledem na rozměry depozičního systému.

E) Hmotnostní filtr klastřů

1. Hmotnostní filtr klastřů se musí skládat z následujících částí
 - Nerezová komora filtru (kompatibilita s UHV; vstupní a výstupní montážní příruby kompatibilní s přírubou DN150CF)
 - Iontová optika pro fokusaci klastrového svazku při vstupu do filtru
 - Vodicí iontová optika pro vedení vyfiltrovaného svazku

E) Hmotnostní filtr klastřů

Nová depoziční aparatura bude využívána, mimo jiné, pro přípravu nových tenkovrstvých materiálů. Pro dosažení unikátních vlastností těchto vrstev plánujeme využít klastry (shluky atomů určitého materiálu), které budeme připravovat pomocí stávajícího klastrovacího zdroje. Tento zdroj však produkuje klastry v širokém rozsahu velikostí. Hmotnostní filtr klastřů nám umožní vybrat klastry pouze o určité velikosti, které následně

klastrů směrem k substrátu

- Fokusační iontová optika na konci vodící iontové optiky pro ovládání fokusačního bodu klastrového svazku
- Turbomolekulární vývěva (čerpací rychlost alespoň 350 l/s) pro čerpání filtrové komory
- Vhodná bezolejová předčerpávací vývěva pro turbomolekulární vývěvu (čerpací rychlost alespoň 5 m³/hour)
- Vhodná tlaková měrka pro nízké tlaky pro měření uvnitř filtrové komory
- Deskový ventil na výstupu filtrové komory
- Vhodné napájecí zdroje pro klastrový hmotnostní filtr a iontové optiky
- Vhodný software pro ovládání klastrového hmotnostního filtru a iontových optik

2. Hmotnostní filtr klastrů musí splnit následující technické požadavky

- Minimální hmotnost klastrů na výstupu filtru menší než 50 amu
- Maximální hmotnost klastrů na výstupu filtru větší než 20E+6 amu
- Žádné elektricky neutrální klastry ve výstupním klastrovém svazku
- Hmotnostní rozlišení $\pm 3\%$ nebo lepší
- Vzdálenost mezi výstupní přírubou filtru a šterbinou fokusační iontové optiky 275 mm

zabudujeme do rostoucí vrstvy. Tímto způsobem budeme schopni dosáhnout unikátních elektrických, mechanických i tribologických vlastností tenkovrstvých materiálů.

1. Hmotnostní filtr klastrů se musí skládat z následujících částí

- Nerezová komora filtru (kompatibilita s UHV; vstupní a výstupní montážní příruby kompatibilní s přírubou DN150CF)
Filtrovací zařízení musí mít kompatibilní (shodné) ultra-vysokovakuové (UHV) provedení jako vakuová komora, aby jeho připojení nezhoršilo vakuové vlastnosti aparatury, definovaná velikost přírub je potřebná pro připojení ke stávajícímu zařízení, používanému v našich laboratořích (plazmový zdroj).
- Iontová optika pro fokusaci klastrového svazku při vstupu do filtru
Klastry vylétají z klastrovacího zdroje do různých směrů. Tato iontová optika nám umožní klastry optimálně fokusovat na vstup do filtru.
- Vodící iontová optika pro vedení vyfiltrovaného svazku klastrů směrem k substrátu
Klastry jsou obecně elektricky nabitě částice, jejichž dráha od filtru směrem k substrátu může být ovlivněna elektrickým polem. Vodící iontová optika nám umožní minimalizovat tento efekt a přivést tak do blízkosti substrátu maximální počet klastrů.
- Fokusační iontová optika na konci vodící iontové optiky pro ovládání fokusačního bodu klastrového svazku
Fokusační iontová optika nám umožní měnit velikost stopy klastrového svazku na substrátu.
- Turbomolekulární vývěva (čerpací rychlost alespoň 350 l/s) pro čerpání filtrové komory
Klastrový filtr je obecně nutné diferenciatně čerpat na vysoké vakuum pomocí turbomolekulární vývěvy.
- Vhodná bezolejová předčerpávací vývěva pro turbomolekulární vývěvu (čerpací rychlost alespoň 5 m³/hour)
Turbomolekulární vývěvu je nutné pro správnou funkci předčerpávat jinou předčerpávající vývěvou. Bezolejová konstrukce zamezí kontaminaci komory filtru olejovými parami.
- Vhodná tlaková měrka pro nízké tlaky pro měření uvnitř filtrové komory
Tato tlaková měrka nám umožní sledovat a nastavit optimální podmínky pro filtraci klastrů.
- Deskový ventil na výstupu filtrové komory
Tento deskový ventil nám umožní oddělit filtr spolu s klastrovacím zdrojem od komory.
- Vhodné napájecí zdroje pro klastrový hmotnostní filtr a iontové optiky
Napájecí zdroje nám umožní provozovat hmotnostní filtr klastrů a také všechny iontové optiky.

- Vhodný software pro ovládání klastrového hmotnostního filtru a iontových optik
Software, který nám umožní ovládat a nastavovat hmotnostní filtr klastů a také všechny iontové optiky.

2. Hmotnostní filtr klastů musí splnit následující technické požadavky

- Minimální hmotnost klastů na výstupu filtru menší než 50 amu
Tato minimální hmotnost nám umožní zkoumat vliv velmi malých klastů na různé vlastnosti připravovaných vrstev.
- Maximální hmotnost klastů na výstupu filtru větší než $20E+6$ amu
Tato maximální hodnota nám umožní zkoumat vliv i velmi velkých klastů na různé vlastnosti připravovaných vrstev.
- Žádné elektricky neutrální klastry ve výstupním klastrovém svazku
Elektricky neutrální klastry není možné efektivně filtrovat, proto je nutné jím zamezit další postup směrem k substrátu.
- Hmotnostní rozlišení $\pm 3\%$ nebo lepší
Uvedené rozlišení je dostatečné pro naše experimenty.
- Vzdálenost mezi výstupní přírubou filtru a šterbinou fokusační iontové optiky 275 mm
Optimální vzdálenost vzhledem k pohyblivému držáku substrátu.

F) Měření tlaku pracovního plynu

1. Přesná kapacitní měrka (s rozsahem 0,1 mbar) pro hlavní naprašovací komoru s analogovým výstupním signálem.
2. Měrka pro nízké a vysoké vakuum nebo měrka s širokým rozsahem pro hlavní naprašovací komoru vybavená analogovým výstupním signálem
3. Ochranný uzavírací ventil (1 ks) pro kapacitní měrku.

F)

Je vyžadováno měření tlaku ve vakuové komoře v oboru nízkého i vysokého vakua, tj. až k meznímu tlaku.

Přesná kapacitní měrka je nezbytně nutná pro přesné absolutní měření tlaku směsi plynů při depozici tenkých vrstev, její rozsah zahrnuje celou oblast možných tlaků pro požadované plazmové zdroje. Analogové výstupy jsou optimální pro kontrolu a řízení tlaku.

Z důvodů vysoké citlivosti přesných kapacitních měrek je potřebný ochranný ventil, který umožní její odpojení při zavzdušnění komory.

G) Držák substrátů

1. Držák (1 ks) umožňující uchycení nosiče vzorků (substrate carrier) o průměru 4 inch nebo 10 cm a připojení radiofrekvenčního (RF) předpětí.
2. Jeden standardní nosič vzorků (průměr 4 inch nebo 10 cm)
3. Dva (2) speciální nosiče vzorků (průměr 4 inch nebo 10 cm) vhodné k uchycení 1 x křemíkového vzorku (5x35x0.64mm), 1 x křemíkového vzorku (20x20x0.64mm), 1 x kovového vzorku (20x20x1mm), 1 x skleněného vzorku (20x20x1mm) a minimálně pět (5) křemíkových vzorků (10x10x0.64mm).
4. Systém plynulé rotace vzorků (až do 20 otáček min^{-1}).

G)

Držák substrátů je nedílnou součástí depoziční aparatury. Udržuje substráty (kovové nebo křemíkové podložky, na kterých vznikají tenké vrstvy) v požadované vzdálenosti od zdrojů plazmatu.

Pro výzkum a řízení procesu vzniku nových unikátních nanostrukturních tenkovrstvých materiálů musí toto zařízení také zajistit ohřev, měření teploty a připojení radiofrekvenčního (RF) předpětí, při současné rotaci vzorků. Rovněž je nezbytná možnost zakrytí vzorků clonou při čištění katod plazmových zdrojů.

Rozměrové údaje nosiče vzorků zajišťují uchycení požadovaného počtu a druhu substrátů, které jsou potřebné pro různé analýzy vrstev.

Další číselné údaje (vzdálenost vzorků od terče,

5. Systém ohřevu vzorků (nejméně do 850 °C) kompatibilní s pracovní atmosférou, která je převážně tvořena plyny argonu, kyslíku a dusíku o celkovém tlaku do 5 Pa.
6. Clona umožňující ochranu vzorků připevněných na nosiči v hlavní naprašovací komoře.
7. Možnost plynule nastavit vzdálenost vzorků od terče (alespoň v rozmezí 50 až 100 mm).

maximální teplota ohřevu a rychlost rotace vyplývají z výsledků výzkumu depozice tenkých vrstev, který aktuálně probíhá v našich stávajících laboratořích.

H) Systém pro výměnu vzorků bez zavzdušnění depoziční komory (load lock)

1. Pomocná vakuová komora umožňující výměnu nosiče vzorků (substrate carrier) o průměru 4 inch nebo 10 cm.
2. Deskový ventil mezi depoziční komorou a komorou pro výměnu nosiče vzorků.
3. Vhodná bezolejová mechanická vývěva (přídavná vývěva nebo vývěva sdílená s hlavní naprašovací komorou).
4. Vhodná turbomolekulární vývěva (alespoň 60 l s⁻¹ pro N₂).
5. Měrka pro kontrolu tlaku v komoře pro výměnu nosiče vzorků vybavená analogovým výstupním signálem.

H)

Jde o pomocný, ale zásadně důležitý systém, který umožní výměnu deponovaných vzorků bez otevření depoziční vakuové komory.

Zamezí se tak kontaminaci vnitřku komory venkovní atmosférou a následnému znečištění vytvářených tenkovrstvých materiálů a také se výrazně zkrátí doba potřebná na vložení dalšího vzorku (až 100krát), čímž výrazně klesají náklady a zvyšuje se efektivita práce. Její rozměry jsou určeny požadovaným rozměrem nosiče vzorků.

Uvedené požadavky na mechanickou a turbomolekulární vývěvu zaručují rychlé vyčerpání systému pro výměnu vzorků (do 15 minut).

Deskový ventil je nutný pro vakuové oddělení obou komor, tlaková měrka umožňuje sledování tlaku a nalezení vhodného okamžiku po otevření ventilu.

I) Přívod pracovních plynů

1. Čtyři nezávislé vstupy pro plyny (Ar, O₂, N₂ a jeden náhradní vstup) do hlavní depoziční komory (mixování plynu mimo depoziční komoru není možné).
2. Uzavíratelný pneumatický ventil pro každý přívod plynu.
3. Hmotnostní regulátor průtoku (4 ks) a jeho ovladač pro každý přívod plynu (100 sccm pro Ar a 50, 20, 10 sccm pro reaktivní plyny) vybavené analogovým vstupním/výstupním signálem.
4. Jeden distributor plynu, který je možné připojit k jednomu z přívodů plynů.
5. Flexibilní trubičky (4 ks) (z nerezové oceli) pro každý přívod plynu, které umožní přivedení plynu do libovolného místa depoziční komory.
6. Náhradní průtokoměr pro každý přívod plynu (100, 50, 20 a 10 sccm)

I)

Tyto požadavky zajišťují nezávislé přívody požadovaných reaktivních i nereaktivních pracovních plynů, používaných při našem výzkumu.

Distributor plynu s flexibilními trubičkami rozvádí plyny do potřebných míst depoziční komory.

Možné uzavření přívodu každého jednotlivého plynu, jeho regulaci (a měření) průtoku je nezbytné pro stanovení aktuálního složení plazmatu.

Uvedené číselné rozsahy regulátorů jsou zvoleny podle zkušeností z našeho současného výzkumu plazmových depozic tenkých vrstev.

Jsou požadovány náhradní hmotnostní regulátory, protože rovněž podle našich zkušeností bývají tyto přístroje relativně často poruchové a jejich opravy výrazně zpomalují výzkumné práce.

J) Napájecí jednotky (elektrické zdroje)

1. Zdroj pro vysokovýkonové pulzní magnetronové naprašování (HiPIMS):
 - Obdélníkový tvar pulzu.
 - Průměrný výkon 10 kW.
 - Maximální napětí v pulzu alespoň -2 kV.
 - Maximální proud v pulzu alespoň 1 kA.
 - Minimální opakovací frekvence pulzů méně než 50 Hz.

J)

Jde o pět elektrických zdrojů pro napájení plazmových magnetronových zdrojů (jeden zdroj je dvojitý) a pro radiofrekvenční předpětí vzorků.

Požadované technické parametry zdrojů zajišťují, aby při výzkumu a vývoji nových unikátních nanostrukturních tenkovrstvých materiálů bylo možno využít široké spektrum vlastností depozičního plazmatu vytvářeného elektrickými výboji v magnetronových zdrojích – od běžného nízko ionizovaného

- Maximální opakovací frekvence pulzů alespoň 500 Hz.
 - Maximální délka pulzu alespoň 200 μ s.
 - Minimální délka pulzu méně než 20 μ s.
 - Signál pro synchronizaci jiných zařízení.
 - Konektor pro analogovou kontrolu.
2. Zdroj pro duální magnetronové naprašování:
- Průměrný výkon 10 kW (5 kW pro každý magnetron + nezávislá kontrola výkonu pro každý magnetron).
 - Maximální napětí v pulzu alespoň -800 V.
 - Maximální proud v pulzu alespoň 15 A.
 - Minimální opakovací frekvence pulzů 0 kHz (DC mód).
 - Maximální opakovací frekvence pulzů alespoň 350 kHz.
 - Maximální zápalné napětí alespoň -1500 V.
 - Minimální střída při 350 kHz menší než 15 %.
 - Maximální střída při 350 kHz alespoň 45 %.
 - Signál pro synchronizaci jiných zařízení (pokud možno).
 - Konektor pro analogovou kontrolu.
3. Zdroj pro stejnosměrné (DC) magnetronové naprašování:
- Maximální napětí alespoň -1000 V.
 - Maximální proud alespoň 1 A.
 - Konektor pro analogovou kontrolu.
4. Dva (2) vhodné zdroje s ladícími jednotkami pro radiofrekvenční (RF) předpětí vzorků:
- Dostatečný výkon (alespoň 100 W) při dosažení předpětí na vzorcích alespoň -300 V při tlaku 0.5 Pa argonového plynu.
 - Konektor pro analogovou kontrolu.

stejnosměrného výboje až po vysokovýkonné, vysokofrekvenční a pulzní výboje, které vytvářejí plazma specifických vlastností, s vysokou ionizací a hustotou, s podílem ionizovaného materiálu katod, při možném využívání vodivých i nevodivých odprašovaných materiálů.

1. Obdélníkový tvar pulzu je nutný pro udržení konstantní hodnoty napětí i při velkých změnách impedance plazmatu v průběhu pulzů.

Uvedený výkon, maximální napětí a proud a rozsah opakovacích frekvencí umožní podle našich zkušeností dosažení velmi vysoké výkonové hustoty v pulzu (více než 100 kW) a tím využívání výhod, které přináší **vysokovýkonové pulzní** magnetronové naprašování oproti jiným technikám magnetronového naprašování : až o několik řádů vyšší hustota plazmatu vede k výraznému nárůstu ionizace terčových částic a tím k řádovému nárůstu podílu iontů v celkovém toku částic na substrát. Tato vlastnost je klíčová z hlediska iontového inženýrství, neboť ionty lze na rozdíl od neutrálních atomů snadno ovládat elektrickým polem (jde o nabitě částice) a tím významně ovlivňovat výslednou strukturu, morfologii, hustotu a další vlastnosti připravovaných materiálů.

Maximální délka 200 μ s postačuje pro vysokovýkonnou depozici kovů a polovodičů, minimální délka 20 μ s je pak potřebná při depozici dielektrických vrstev, neboť náboj, nahromaděný během krátkého pulzu je nedostatečný k tomu, aby došlo k elektrickému průrazu a tedy ke vzniku mikrooblouků, které výrazně znehodnocují deponovanou vrstvu.

Synchronizace je nutná pro použití osciloskopu, analogová kontrola umožňuje řízení pomocí řídicího systému depoziční aparatury.

2.

Požadovaný duální (dvojitý) elektrický zdroj umožní realizaci duálního pulzního vysokofrekvenčního vysokovýkonného magnetronového naprašování, které je jedním z nejeffektivnějších plazmových depozičních procesů a umožňuje například vytváření nových unikátních materiálů na bázi víceprvkových oxidů, nitridů a oxinitridů, neboť superpozice různých rozprašovacích procesů na jednotlivých terčích (proto je požadována nezávislá kontrola výkonu pro každý magnetron) dovoluje řízení chemického složení a struktury vznikajících tenkých vrstev.

Podle našich zkušeností definované maximální výkony obou částí zdroje, maximální napětí a proud a rozsah opakovacích frekvencí umožní na obou plazmových zdrojích (magnetronech) dosažení velmi vysoké výkonové hustoty v pulzu (cca 100 kW) a tím vznik **vysokofrekvenčního** a také **vysokovýkonového pulzního** magnetronového naprašování, což má zásadní význam pro stabilní depozici vysoce kvalitních dielektrických oxidových, nitridových a oxinitridových tenkých filmů, jako je Al_2O_3 , ZrO_2 , HfO_2 , Ta_2O_5 , TaON, a mnoho dalších.

Požadavek na minimální opakovací frekvenci 0 kHz umožňuje kombinovat tuto depozici se stejnosměrným naprašováním, což přinese další možnosti řízení složení vrstvy.

Minimální a maximální hodnota střídý určuje minimální a maximální délky aktivní části pulzu, přičemž podle našich experimentů jsou maximální hodnoty vhodné pro depozici částečně vodivých materiálů a minimální hodnoty vyžadují materiály velmi nevodivé, u kterých dochází k mikroobloukům neblaze působícím na kvalitu vrstvy

Synchronizace je opět nutná pro použití osciloskopu, analogová kontrola umožňuje řízení pomocí řídicího systému depoziční aparatury.

3.

Stejnoseměrný zdroj umožňuje klasickou stejnosměrnou magnetonovou depozici kovových vrstev, které se při výzkumu nových materiálů používají zejména jako podkladové a srovnávací vrstvy, případně jako mezivrstvy.

Maximální hodnoty napětí a proudy jsou stanoveny podle našich experimentálních výsledků jako postačující pro depozice všech běžných kovů v argonovém plazmatu.

4.

Požadovaný výkon pro radiofrekvenční předpětí je stanoven dle našich současných výzkumů jako minimální, který umožňuje při různých druzích depozičního plazmatu a při nejpoužívanějším tlaku 0,5 Pa argonu dosažení předpětí alespoň -300 V, které je postačující pro výrazné řízení energie iontů dopadajících na vrstvu, což otevírá nové možnosti pro vytváření materiálů s unikátní strukturou a s řízeným vnitřním pnutím vrstev.

K) Elektrické sondy

1. Jedna vysokoproudová sonda + zesilovač pro proudovou sondu (pokud je nutný)

- Šířka pásma alespoň 15 MHz
- Maximální stejnosměrný proud alespoň 150 A
- Maximální proud v pulzu alespoň 500 A
- BNC výstup

2. Čtyři standardní proudové sondy + zesilovače pro proudovou sondu (pokud jsou nutné)

- Šířka pásma alespoň 100 MHz
- Maximální stejnosměrný proud 30 A
- Maximální proud v pulzu alespoň 50 A
- BNC výstup

3. Jedna vysokonapěťová sonda pro standardní vstup osciloskopu (1 MΩ BNC)

- Šířka pásma alespoň 250 MHz
- Dělicí poměr 100:1
- Maximální napětí -4 kV

4. Tři standardní napěťové sondy pro standardní vstup osciloskopu (1 MΩ BNC)

- Šířka pásma alespoň 200 MHz
- Dělicí poměr 100:1
- Maximální napětí -1.5 kV
- Délka kabelu alespoň 2 m

K)

Tyto součásti jsou nezbytné pro sledování a přesné měření elektrických pracovních parametrů plazmových zdrojů (vstupního napětí a protékajícího proudu) v procesu vytváření tenkovrstvých materiálů v depoziční komoře.

Časová závislost (průběh) napětí a proudu je u pulzních zdrojů dosti komplikovaná, zasahuje do kladných i záporných hodnot a zásadním způsobem ovlivňuje procesy probíhající v plazmatu a tím i všechny vlastnosti deponovaných vrstev.

Je proto naprosto nutné jejich exaktní stanovení a případná průběžná korekce časových průběhů těchto veličin pomocí regulace plazmového zdroje.

Je vyžadováno pět proudových a čtyři napěťové sondy, jejichž uvedené rozsahy obsáhnou proudové a napěťové možnosti výše uvedených napájecích jednotek depoziční aparatury pro různé druhy plazmatu (od stejnosměrného po vysokovýkonné pulzní plazma).

Uvedené šířky pásma u jednotlivých sond jsou dle našich zkušeností minimálně postačující k přenosu vyšších harmonických frekvencí při měření a tím zaručují dostatečně zřetelné a nezkreslené zobrazení časového průběhu měřeného napětí a proudu.

BNC výstupy a délka kabelu jsou nutné pro připojení sond k dalším přístrojům.

L) USB osciloskop s ovládacím programem

- USB připojení k počítači
- Čtyři vstupy BNC + externí synchronizační signál (trigger)
- Šířka pásma alespoň 350 MHz
- Svislé rozlišení alespoň 8 bitů
- Vyrovnávací paměť alespoň 32 MS
- Funkční generátor
- Spektrální analyzátor
- Dekódování sériové sběrnice

M) Chladicí systém

1. Vodou chlazený chladič s uzavřeným okruhem pro chlazení depoziční aparatury o výkonu alespoň 4 kW.

N) Řídicí systém depoziční aparatury

1. Osobní počítač s monitorem schopný plně řídit systém depoziční aparatury (včetně schopnosti zpracování a uložení dat včetně vizualizace).
2. Spolehlivé ovládací jednotky a software umožňující:
 - Vizualní reprezentaci celého depozičního systému.
 - Ovládání každého napájecího zdroje (DC, RF, HiPIMS, Duální).
 - Zobrazovat a ovládat parametry pracovního plynu (otevřít/zavřít ventily, aktuální průtok, zpětná vazba průtoku).
 - Ovládání pozice deskového ventilu mezi depoziční komorou a turbomolekulární vývěvou.
 - Zobrazení aktuálních hodnot tlaků a nastavování požadovaného tlaku.
 - Ovládání clony pro každý magnetron a držák substrátů.
 - Ovládání čerpacího systému.
 - Ovládání systému pro výměnu vzorků.
 - Ovládání rotace, vytápění a předpětí vzorků.
 - Ovládání chladicího systému.
 - Vytvářet, ukládat a spouštět procedury pro přípravu jednotlivých vrstev i multivrstev.
 - Ukládat všechny důležité vstupní a výstupní parametry během depozice (tlak, průtoky plynů, pozice clon, všechny výstupní hodnoty napájecích zdrojů, rychlost rotace, předpětí a teplota vzorků, atd.).
 - Uživatelský účet umožňující neomezenou manuální kontrolu depozičního systému.
3. Možnost deaktivovat následující části ovládacího systému bez ovlivnění zbývajících nastavení:

L)

USB osciloskop je připojen k elektrickým sondám (čtyři BNC vstupy) a zobrazuje a měří časové průběhy napětí a proudu ze všech plazmových zdrojů

USB připojení a sériová sběrnice zaručují připojení k běžnému počítači, dle našich zkušeností stanovená minimální šířka pásma, rozlišení a minimální vyrovnávací paměť zajišťují opět dostatečně zřetelné a nezkreslené zobrazení časového průběhu měřeného napětí a proudu, které je nutné pro případné průběžné korekce časových průběhů těchto veličin.

M)

Jde o důležitý doplňkový systém, který odvádí teplo vznikající při činnosti plazmových zdrojů a tím zajišťuje, že citlivé díly depoziční aparatury nebudou poškozeny zvýšenou teplotou.

Jeho výkon je stanoven podle předpokládaného maximálního středního tepelného zatížení citlivých dílů aparatury a jejich předpokládaného maximálního oteplení 50 °C.

N)

Řídicí systém s osobním počítačem, softwarem a zobrazovací jednotkou je nezbytný pro bezpečný provoz všech komponent čerpacího systému v potřebných pracovních režimech a pro komplexní řízení celého procesu vytváření tenkovrstvých materiálů v depoziční komoře.

Musí ovládat minimálně všechny vyjmenované řízené části depoziční aparatury (které zásadně ovlivňují průběh depozice, případně bezpečný stav aparatury), zobrazovat a ukládat jejich aktuální provozní stav, stejně jako veškeré depoziční parametry.

Pro výzkumné a vývojové práce je nezbytné, aby hardware i software řídicího systému umožnil naprogramování a kompletní automatizované řízení celého depozičního procesu, stejně jako deaktivaci vyjmenovaných částí systému (které řídí elektrické zdroje plazmatu a parametry pracovního plynu), případně jejich manuální řízení, bez ovlivnění zbývajících nastavení

- Ovládání stejnosměrného (DC) zdroje.
- Ovládání radiofrekvenčního (RF) zdroje.
- Ovládání vysokovýkonového pulzního (HiPIMS) zdroje.
- Ovládání zdroje pro duální magnetronové naprašování.
- Ovládání parametrů pracovního plynu (otevřít/zavřít ventily, aktuální průtok, zpětná vazba průtoku).

O) Monitor tloušťky rostoucí vrstvy

1. Systém pro monitorování tloušťky vrstvy pomocí křemenných krystalů.
2. Minimálně třicet (30) náhradních krystalů.
3. Přípravek pro nastavení polohy krystalu.

P) Systém pro časově a prostorově rozlišenou optickou emisní spektroskopii (systém OES)

1. Zobrazovací spektrograf s jedním vstupem a dvěma výstupy pro zobrazovací detektory
 - Minimální ohnisková vzdálenost 750mm.
 - Apertura 75mm či větší.
 - Optimalizace pro UV-VIS včetně portu pro pročišťování.
 - Přesnost spektrografu v nastavení vlnové délky (wavelength accuracy) 0,1nm nebo lepší.
 - Motorizovaná vstupní a výstupní šterbina s minimální šířkou 10μm nebo užší.
 - Elektronicky řízená zatemňovací jednotka na vstupu (shutter unit).
 - Motorizovaná volba výstupu.
 - Plně osazená vyměnitelná hlava pro minimálně 3 mřížky instalovaná ve spektrografu (mřížky: 3600vr/mm optimalizace UV, 2400vr/mm optimalizace UV-VIS a 1800vr/mm optimalizace VIS), motorizovaná volba mřížky.
 - Další plně osazená výměnná hlava pro minimálně 3 mřížky (mřížky: 2400vr/mm optimalizace UV, 1200vr/mm optimalizace UV-VIS a 600vr/mm optimalizace VIS).
 - Motorizované kolo filtrů s minimálně 5 pozicemi.
2. Spektrograf s echelle mřížkou a výstupem pro čtvercový zobrazovací detektor
 - Simultánní záznam spektra v rozsahu minimálně 220-850nm bez mezer.

0)

Toto doplňkové zařízení je nutné pro sledování a řízení rychlosti růstu tenké vrstvy a je tak nezbytným prostředkem při výzkumu a vývoji nových unikátních nanostrukturních tenkovrstvých materiálů. Požadovaný počet náhradních krystalů by měl postačit minimálně po celou záruční dobu depoziční aparatury.

Polohu krystalu je nutno vždy nastavit dle polohy deponovaných vrstev.

P)

Optická emisní spektroskopie s časovým a prostorovým rozlišením dovolí provádět analýzy výbojového plazmatu během pulzní magnetronové depoziice vrstev bez narušení samotného depozičního procesu, a získat tak hlubší porozumění komplikovaným dějům probíhajícím jak v blízkosti rozprašovaného terče, tak současně i v objemu plazmatu a u substrátu. Tyto poznatky jsou důležité pro optimalizaci procesu depoziice a zvyšování užitečných hodnot deponovaných vrstev.

Požadovaný OES systém sestává z dvou spektrografů, tří detekčních systémů a příslušenství.

Zobrazovací spektrograf je určen pro časově i prostorově rozlišenou optickou emisní spektroskopii se zaměřením na detailní studium spektra (současná analýza v různých místech výboje, časový vývoj rotačních pásů molekul apod.), proto je u spektrografu požadována ohnisková vzdálenost nejméně 750mm, šterbiny o nejmenší šířce 10μm či nižší, přesnost v nastavení vlnové délky 0,1nm či lepší a celkem 6 různých difrakčních mřížek ve výměnných hlavách (mřížky: 3600vr/mm, 2400vr/mm, 1800vr/mm v první hlavě a 2400vr/mm, 1200vr/mm, 600vr/mm v hlavě druhé) k zajištění optimálního spektrálního rozlišení, pásma propustnosti (band-pass) a účinnosti. Optimalizace spektrografu pro UV-VIS oblast včetně portu pro pročišťování je nutná k nasazení systému v zamýšlených výbojích. Kolo filtrů je nezbytné k omezení vyšších difrakčních řádů. Spektrograf je volen v plné motorizaci k urychlení experimentů a minimalizaci chyb měření vzniklých v důsledku postupné změny parametrů výbojů v čase.

Spektrograf s echelle mřížkou je zaměřen na časově rozlišenou optickou emisní spektroskopii se současným záznamem v širokém rozsahu vlnových délek (minimálně 220-850nm) pro rychlé analýzy a monitoring depozičního procesu. Spektrální rozlišení ($\lambda/\Delta\lambda$) minimálně 6000 je nezbytné k odlišení spektrálních čar v hustém spektru magnetronových

- Apertura 20mm či větší.
- Elektronicky řízená zatemňovací jednotka na vstupu (shutter unit).
- Spektrální rozlišení ($\lambda/\Delta\lambda$) minimálně 6000.

3. Obdélníkový ICCD detektor kompatibilní s výstupem zobrazovacího spektrografu

- Integrovaný zesilovač světla s průměrem minimálně 18mm, s více než 10 bitovým řízením zesílení, se spektrálním rozsahem minimálně 200-850nm a kvantovou účinností v oblasti 200-500nm minimálně 10%.
- Minimální rychlost optické závěrky 3ns nebo kratší.
- CCD čip pro spektroskopické použití s rozměrem aktivní oblasti minimálně 690x250 pixelů.
- 16 bitová digitalizace signálu z CCD čipu.
- Integrovaný generátor zpoždění s rozsahem od maximálně 0,1ns do minimálně 1s a s krokem po 0,1ns či kratším.
- Chlazení CCD čipu na teplotou -30°C či nižší.
- Equivalent Background Illumination detektoru maximálně 0,3e⁻/pixel/s.
- Vyčítací šum detektoru maximálně 18e⁻.

4. Čtvercový intenzifikovaný EMCCD (emICCD) detektor kompatibilní s výstupem echelle spektrografu a výstupem zobrazovacího spektrografu

- Integrovaný zesilovač světla s průměrem minimálně 18mm, s více než 10 bitovým řízením zesílení, se spektrálním rozsahem minimálně 200-850nm a s kvantovou účinností v oblasti 500-850nm minimálně 5%.
- Minimální rychlost optické závěrky 50ns nebo kratší.
- EMCCD čip pro spektroskopické použití s rozměrem aktivní oblasti minimálně 950x950 pixelů.
- 16 bitová digitalizace signálu z EMCCD čipu.
- Integrovaný generátor zpoždění s rozsahem od maximálně 0,1ns do minimálně 1s a s krokem po 0,1ns či kratším.
- Chlazení EMCCD čipu na teplotou -30°C či nižší.
- Equivalent Background Illumination detektoru maximálně 0,3e⁻/pixel/s.
- Vyčítací šum detektoru maximálně 18e⁻.

5. Systém pro skenování spektra včetně 2 pouzder pro fotonásobič

výbojů.

U obou spektrografů jsou požadovány jak dostatečná apertura (minimálně 75mm u zobrazovacího spektrografu a 20mm u echelle spektrografu), která umožní detekci i slabých emisních čar, tak i osazení zatemňovací jednotkou, která bude chránit detektory před intenzivním osvětlením mimo dobu měření.

Oba požadované detektory jsou nezbytné k simultánnímu záznamu intenzit více emisních čar v širokém rozsahu vlnových délek (200-850nm minimálně). Obdélníkovým ICCD detektorem bude osazen zobrazovací spektrograf, který bude využíván pro prostorově rozlišenou spektroskopii s vysokým spektrálním i časovým rozlišením především v oblasti kratších vlnových délek. K tomuto účelu je nezbytné, aby byl detektor vybaven vestavěným zesilovačem světla s dobrým časovým rozlišením (požadujeme 3ns či kratší) a dobrou kvantovou účinností (nejméně 10%) v rozsahu vlnových délek 200-500nm. Čtvercovým detektorem emICCD bude osazen především echelle spektrograf, ale požadujeme i kompatibilitu tohoto detektoru se zobrazovacím spektrografem, čímž se výrazně posílí možnosti jeho využití. Vzhledem k aplikaci echelle spektrografu pro rychlé analýzy a monitoring procesu požadujeme, aby čtvercový detektor byl vybaven technologií intenzifikovaného EMCCD (CCD čip s multiplikací elektronů), což díky možnosti nezávisle volit zesílení intenzifikátoru světla a multiplikaci náboje na EMCCD čipu zajistí výrazně vyšší linearitu a kratší nutnou celkovou dobu osvětlení detektoru. Obojí je velmi důležité při monitorování výboje v širokém rozsahu vlnových délek. Z důvodu nasazení emICCD detektoru k snímání širokého rozsahu vlnových délek požadujeme též, aby zesilovač světla měl dobrou kvantovou účinnost (minimálně 5%) i v oblasti vlnových délek 500-850nm. Z hlediska časového rozlišení pak postačí i delší integrační čas (50ns nebo kratší). Požadavky na počet aktivních pixelů (690x250 a 950x950) čipů optimalizovaných pro spektroskopické použití spolu s průměrem 18mm zesilovačů světla zajistí dobré spektrální rozlišení obou systémů. Digitalizace signálu 16 bitů spolu s minimálně 10 bitovým řízením zesílení zesilovačů světla poskytnou dostatečný dynamický rozsah detektorů. Chlazení čipů na -30°C či nižší a požadované šumové charakteristiky (Equivalent Background Illumination maximálně 0,3e⁻/pixel/s a vyčítací šum maximálně 18e⁻) dovolí díky nízkému celkovému šumu detektorů též měření slabých emisních čar. Požadovaný integrovaný generátor zpoždění (rozsah od maximálně 0,1ns do minimálně 1s s krokem po 0,1ns či kratším) je nezbytný k časové synchronizaci měření s průběhem pulzů napětí.

Systém pro skenování spektra fotonásobiči (jsou požadovány dvě pouzdra na fotonásobič, přičemž každé bude osazeno jiným typem fotonásobiče dle požadavků experimentů) dovolí provádět detailní analýzu spektra výbojového plazmatu s vysokým spektrálním rozlišením, a to i v oblastech vlnových

kompatibilních s výstupní šterbinou zobrazovacího spektrografu.

6. Vícekanálové UV-VIS-NIR (pro vlnové délky v rozsahu minimálně 200-850nm) optické vlákno odolné solarizaci o délce 5m

- Tři (3) samostatné optické kanály, každý kanál složen ze 7 optických vláken o průměru 200 μ m.
- Jeden konec s osamocenými kanály o délce 0,50-0,75m, každý kanál ukončen konektorem SMA.
- Na druhém konci jednotlivá vlákna umístěná pod sebou (uspořádané po jednotlivých kanálech a s mezerou mezi kanály) v konektoru kompatibilním se vstupem zobrazovacího spektrografu.
- Aperturní přizpůsobení vstupu zobrazovacího spektrografu.
- Vlákno umístěné v průchodce do vakua (ve vzdálenosti 1,5-2,0m od konce se samostatnými kanály, tj. od konce směřujícího do vakua).

7. Jednokanálové UV-VIS-NIR (pro vlnové délky v rozsahu minimálně 200-850nm) optické vlákno odolné solarizaci o délce 5m a průměru minimálně 600 μ m

- Konec směřující do vakua opatřen SMA konektorem.
- Druhý konec umístěn v konektoru kompatibilním se vstupem echelle spektrografu.
- Aperturní přizpůsobení vstupu echelle spektrografu.
- Vlákno umístěné v průchodce do vakua (ve vzdálenosti 1,5-2,0m od konce směřujícího do vakua).

8. Software pro řízení všech jednotlivých částí systému OES včetně příslušných ovladačů pro vývojové prostředí LabVIEW, které je současným vybavením zadavatele. Software musí být kompatibilní s OS Microsoft Windows, který je současným vybavením zadavatele.

9. Lampa (či lampy) pro kalibraci vlnové délky v rozsahu minimálně 200-850nm a radiometricky kalibrovaná lampa (či lampy) pro relativní kalibraci spektrální citlivosti v rozsahu minimálně 200-850nm.

10. Příslušenství nutné k plné funkci celého systému OES

- Adaptéry nutné pro instalace detektorů na spektrografy.
- Adaptéry pro C-Mount objektivy a F-Mount objektivy pro zobrazovací spektrograf a oba požadované detektory.
- UV-VIS-NIR objektiv pro C-Mount s pevnou ohniskovou vzdáleností v rozsahu 25-35mm, světelností minimálně F/4 a optimalizací v rozsahu vlnových délek minimálně 200-850nm.
- Minimálně deset (10) kusů band-pass filtrů o průměru 50mm (vlnové délky a šířky pásem filtrů budou specifikovány

délek mino rozsah citlivosti požadovaných detektorů.

Obě optická vlákna pro UV-VIS-NIR oblast (vlnové délky v rozsahu 200-850nm minimálně) o délkách 5m jsou nutná pro přivedení optického záření plazmatu na vstup spektrografů. Vícekanálové vlákno (požadovány jsou 3 kanály) je navíc nezbytné pro současnou detekci v různých částech výboje (např. u terče, v objemu plazmatu a u substrátu). Jeho konstrukce (jeden kanál složený ze 7 samostatných vláken o průměru 200 μ m, oddělení kanálů v délce 0,50-0,75m a umístění vláken pod sebe) je volena tak, aby bylo maximálně využito možnosti zobrazovacího spektrografu a obdélníkového ICCD detektoru. Obě vlákna jsou požadována odolná proti solarizaci, což zaručí jejich dlouhodobou použitelnost k měření i v UV oblasti spektra, a instalovaná do vakuové průchodky (ve vzdálenosti 1,5-2,0m od konce do vakua), aby bylo možné vlákna zavést do komory depozičního systému. Minimální průměr jednokanálového vlákna 600 μ m pak zajistí jeho dobrou světelnost a použitelnost i pro studium slabých emisních čar. Na koncích vláken směřujících do vakua jsou požadovány SMA konektory, které zajistí jeho připojitelnost ke kolimátorům. Na opačných koncích jsou požadovány konektory kompatibilní se vstupem spektrografů a aperturní přizpůsobení těmto vstupům, což zajistí optimální přenos signálu z vlákna do spektrografů.

Software pro řízení systému OES je nezbytný pro provádění měření. Navíc jsou požadovány ovladače pro vývojové prostředí LabVIEW, které je současným vybavením zadavatele, což umožní navrhovat řídicí software přesně dle požadavků experimentů. Uvedený software je požadován pro OS Microsoft Windows, který je současným vybavením zadavatele.

Kalibrační lampy (jak pro kalibraci vlnové délky, tak i pro relativní kalibraci citlivosti systému v závislosti na vlnové délce) jsou nutné pro kalibraci systému OES a zajištění konzistence změřených výsledků.

Příslušenství je nezbytné pro propojení všech částí systému OES a maximalizuje jeho možnosti využití. Jedná se jak o adaptéry pro oba detektory (připojení k spektrografům a připojení C-Mount a F-Mount objektivů), tak i UV-VIS-NIR objektiv pro C-Mount (s optimalizací v rozsahu vlnových délek minimálně 200-850nm), který díky ohniskové vzdálenosti 25-35mm a světelnosti F/4 (či lepší) dovolí ve spojení s band-pass filtry (požadujeme minimálně 10 kusů filtrů o průměru 50mm pro různé vlnové délky a redukci umožňující upevnit tyto filtry před UV-VIS-NIR objektivem) monitorovat prostorové rozložení excitačních a ionizačních procesů v plazmatu. Požadovány jsou i kolimační čočky (v počtu minimálně 5 kusů) s průměrem 20-30mm a SMA konektory na výstupu, které zajistí sběr optického signálu ze zkoumaných částí výboje a jeho optimální nasměrování do vstupů optických vláken.

později), redukce z předního šroubení UV-VIS-NIR objektivu na požadovaný průměr band-pass filtrů.

- Minimálně pět (5) kusů kolimačních čoček optimalizovaných pro rozsah vlnových délek minimálně 200-850nm, se vstupním průměrem v rozsahu 20-30mm a opatřených na výstupu konektorem SMA pro připojení optického vlákna.

Q) Systém Langmuirovy sondy s prostorovým a časovým rozlišením (systém LP)

1. Langmuirova jednoduchá sonda pro pulzní plazma
 - Délka sondy 500 ± 10 mm.
 - Vzduchové chlazení sondy.
2. Langmuirova dvojitá sonda pro pulzní plazma
 - Délka sondy 500 ± 10 mm.
 - Vzduchové chlazení sondy.
3. Kontrolní jednotka kompatibilní s oběma Langmuirovými sondami
 - Nejmenší časové rozlišení 15ns nebo kratší.
 - Minimálně jeden (1) synchronizační vstup.
 - Rozsah nastavitelného napětí na sondě od -150V do +150V nebo širší.
 - Rozsah měření proudů od 20nA do 1A nebo širší.
 - Měřitelná hustota plazmatu až $1 \cdot 10^{13} \text{cm}^{-3}$ nebo větší.
4. Automatický lineární posuvný systém kompatibilní s oběma Langmuirovými sondami
 - Délka posuvu 450 ± 10 mm.
 - Rozlišení posuvu 0,05mm nebo lepší.
5. Řídicí software pro systém LP včetně ovladačů pro vývojové prostředí LabVIEW, které je současným vybavením zadavatele. Software musí být kompatibilní s OS Microsoft Windows, který je současným vybavením zadavatele.
6. Příslušenství a náhradní díly nutné k plné funkci celého systému LP jako jsou vakuová těsnění, hroty sond atd.

R) Systém pro chromatografická měření

Q)

Systém Langmuirovy jednoduché a dvojitě sondy je nutný pro získání důležitých parametrů výbojového plazmatu jako jsou např. rozdělovací funkce elektronů podle energie, plazmový či plovoucí potenciál, koncentrace iontů atd. Všechny tyto parametry jsou významné pro plné porozumění chování výbojového plazmatu během magnetronové depozice, a tak i procesům vedoucím k tvorbě tenkých vrstev s unikátními vlastnostmi.

Požadovaná délka sond 500 ± 10 mm zaručí spolu s automatickým posuvným systémem o délce posuvu 450 ± 10 mm a rozlišením 0,05mm (či lepším) možnost proměřit prostorové rozložení parametrů výbojového plazmatu. Chlazení sond vzduchem je nezbytné k jejich tepelné ochraně v uvažovaných typech výbojů.

Kontrolní jednotka je nutná k plné funkci celého systému Langmuirovy sondy. Požadované minimální parametry jednotky (napětí od -150V do +150V, proud od 20nA do 1A a měřitelná hustota plazmatu do $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$) zajistí použitelnost sond v zamýšlených pulzních magnetronových výbojích. Časové rozlišení 15ns a lepší spolu se vstupem pro synchronizaci měření dovolí provádět časově rozlišenou analýzu plazmatu během pulzu napětí.

Řídicí software je nutný k provádění měření a zpracování naměřených dat. Zároveň jsou požadovány i ovladače pro vývojové prostředí LabVIEW, které je současným vybavením zadavatele a které dovolí zpracování naměřených dat dle specifických požadavků experimentů. Software je požadován pro OS Microsoft Windows, který je současným vybavením zadavatele.

Požadované příslušenství (vakuová těsnění, náhradní hroty do sond atd.) jsou potřebná pro instalaci sond do komory depozičního systému a k samotnému měření parametrů plazmatu.

R)

Depoziční aparatura bude mj. využívána také pro přípravu fotoaktivních materiálů umožňujících po

1. Požadovaný systém tvoří:
 - Plynový chromatograf.
 - Náplňová chromatografická kolona.
 - Chromatografická stanice (včetně A/D převodníku) umožňující výpočet koncentrací měřených plynů a archivaci dat v počítači.
 - Kyveta pro rozklad vody na povrchu tenkovrstvého materiálu.
 - Dvoustupňový redukční ventil pro argon (nosný plyn), určený pro velmi čisté plyny.
2. Plynový chromatograf musí splňovat následující požadavky:
 - Vybavení detektorem měřícím tepelnou vodivost (TCD detektor).
 - Možnost kontroly přetlaku nosného plynu v širokém rozmezí (maximální tlak nejméně 2 bar).
 - Možnost kontroly teploty v širokém rozmezí (maximální teplota nejméně 400°C).
 - Možnost využívat Ar jako nosný plyn.
3. Chromatografická kolona musí splňovat následující požadavek:
 - Plnění molekulovým sítím umožňujícím oddělení H₂ od všech plynů vyskytujících se ve vzduchu.
4. Kyveta pro rozklad vody musí splňovat následující požadavky
 - V kyvetě musí být možné umístit vzorek o rozměrech 3x3 cm tak (i) aby povrch vzorku mohl být pokryt vodou a (ii) aby tento povrch mohl být zvnějšku ozařován.
 - Plyn nad povrchem vody musí být oddělený od vnější atmosféry; objem plynu musí být možné měnit.
 - Z kyvety musí být možné odebrat vzorek plynu (řádově 1 cm³) a vstříknout jej do chromatografu.

ozáření viditelným světlem efektivní rozklad vody na O₂ a H₂ (čistý zdroj energie). Příkladem takových materiálů jsou polovodiče (zakázaný pás odpovídající vlnové délce viditelného světla) s kovovými nanoklastry na povrchu (viz vybavení depoziční aparatury zdrojem nanoklastrů). Chromatograf umožní vyhodnocení rozkladu vody, tj. skutečnosti zda a v jakém množství vzniká po ozáření H₂. Chromatografie je pro daný účel celosvětově využívanou metodou, viz např. Z. Zou et al., Nature 414, 625 (2001). Pro tento účel jsou optimalizovány klíčové technické požadavky (vlastnosti chromatografické kolony, volba nosného plynu, vybavení kyvetou kde bude rozklad vody probíhat).

Plynový chromatograf musí splňovat následující požadavky

- vybavení detektorem měřícím tepelnou vodivost (TCD detektor)

Na základě prostudované literatury (viz např. výše citovaná práce) je TCD chromatografie standardní, pro uvedený účel celosvětově používanou metodou. Hlavními výhodami TCD detektorů je jednoduchost, velká šířka oblasti kde je jejich odezva lineární a velké množství analyzovatelných látek.

- možnost kontroly přetlaku nosného plynu v širokém rozmezí (maximální tlak nejméně 2 bar)
- možnost kontroly teploty v širokém rozmezí (maximální teplota nejméně 400°C)

Jde o požadavky poskytující nezbytnou flexibilitu v situaci kdy není předem známo jak intenzivní bude výše zmíněné uvolňování H₂ (a O₂), a jaké budou z toho plynoucí parametry měření vedoucí na optimální parciální tlak sledovaného plynu a optimální rychlost jeho postupu chromatografickou kolonou.

- možnost využívat Ar jako nosný plyn

Ar je zároveň levný a dostatečně odlišný od H₂ (nezbytná podmínka pro nosný plyn), bude proto využíván při analýzách uvolňování H₂ při fotokatalytickém rozkladu vody (primární využití chromatografu, jak uvedeno v úvodním odstavci).

Chromatografická kolona musí splňovat následující požadavek

- plnění molekulovým sítím umožňujícím oddělení H₂ od všech plynů vyskytujících se ve vzduchu

Jde o nutnou podmínku umožňující analýzu uvolňování H₂ při fotokatalytickém rozkladu vody (primární využití chromatografu, jak uvedeno v úvodním odstavci).

Kyveta pro rozklad vody musí splňovat následující požadavky

- v kyvetě musí být možné umístit vzorek o rozměrech 3x3 cm tak (i) aby povrch vzorku mohl být pokryt vodou a (ii) aby tento povrch mohl být zvnějšku ozařován

Minimální rozměry (3x3 cm) jsou dány typickou velikostí charakterizovaných vzorků připravovaných na pracovišti Zadavatele, a skutečností že větší plocha odpovídá menší chybě měření. Zbývající požadavky jsou z definice nutné pro možnost provádět fotokatalytický rozklad vody.

- plyn nad povrchem vody musí být oddělený

od vnější atmosféry; objem plynu musí být možné měnit

Nutná podmínka pro to aby H_2 (uvolněný při fotokatalytickém rozkladu vody) neunikl do atmosféry.

- z kyvety musí být možné odebrat vzorek plynu (řádově 1 cm^3) a vstříknout jej do chromatografu

Nutná podmínka pro možnost vyhodnotit úspěšnost fotokatalytického rozkladu vody pomocí chromatografu.

S) Analyzátor procesního plynu

1. Analyzátor procesního plynu se musí skládat z následujících částí

- Kvadrupólový hmotnostní spektrometer (QMS) s rozsahem 1-100 amu
- Nerezová komora pro QMS (kompatibilita s UHV)
- Vstupní příruba pro komoru QMS (kompatibilní s UHV) se sadou výměnných štěrbin (alespoň o průměru 0,1 mm a 0,03 mm)
- Turbomolekulární vývěva (čerpací rychlost alespoň 60 l/s pro N_2) pro diferenciální čerpání komory QMS
- Vhodná bezolejová předčerpávací vývěva pro turbomolekulární vývěvu
- Systém pro diferenciální čerpání prostoru mezi vstupní přírubou se štěrbinou a vstupní štěrbinou pro QMS
- Ionizační prostor pro analyzovaný plyn před vstupní štěrbinou pro QMS pro dosažení dobrého vakuového propojení mezi tímto prostorem a depoziční komorou a také pro omezení efektu signálu pozadí způsobený zbytkovým plynem v komoře QMS
- Ionizační zdroj alespoň se dvěma elektrodami
- Iontový detektor pracující na principu "Faraday cup"
- Iontový detektor pracující na principu elektronového násobiče
- Vhodná tlaková měrka pro komoru QMS
- Tlaková měrka (měřící tlak v depoziční komoře), elektropneumatický ventil a automatická kontrolní jednotka zaručující bezpečné uzavření hlavního vstupního otvoru v případě náhlého vzrůstu tlaku v depoziční komoře
- Vyhřívací systém umožňující vyhřátí komory QMS na teplotu alespoň $150\text{ }^\circ\text{C}$
- Vhodná ovládací jednotka (jednotky) pro monitor, vyhřívací systém, čerpací systém a tlakové měrky
- Vhodný software pro ovládání monitoru naprašovacího procesu, pro ukládání a prezentaci naměřených dat
- Alespoň čtyři (4) analogové výstupní signály pro přenos naměřených dat k dalším systémům
- Všechny potřebné kabely

2. Analyzátor procesního plynu musí splnit následující detekční limity

- Detekční limit pro vodní páru (v Ar) méně než 700 pbb
- Detekční limit pro vodík (v Ar) méně než 3500 pbb
- Detekční limit pro kyslík, dusík a oxid uhličitý (v Ar) méně než 150 pbb

S)

Analyzátor procesního plynu je zařízení pracující na principu hmotnostní spektroskopie, které analyzuje plyny uvnitř depoziční komory během celého procesu přípravy tenkých vrstev (tj., během čerpání na základní úroveň vakua a také během samotné depozece). Tento přístroj nám umožní následující funkce: 1) sledování úrovně zbytkových (nežádoucích) plynů uvnitř depoziční komory, 2) přesnou informaci o parciálním tlaku reaktivních plynů (O_2 , N_2), 3) zlepšení reprodukovatelnosti depozičních podmínek, 4) efektivní řízení depozičního procesu.

1. Analyzátor procesního plynu se musí skládat z následujících částí

- Kvadrupólový hmotnostní spektrometer (QMS) s rozsahem 1-100 amu
Z pohledu rozměrů, robustnosti i ceny je kvadrupólový spektrometr optimálním řešením pro naše aplikace. Další možnosti by byly řádově dražší i rozměrově daleko větší. Rozsah 1-100 amu je dostatečný pro naše aplikace a umožní nám velmi přesné měření.
- Nerezová komora pro QMS (kompatibilita s UHV)
Nerezová komora pro QMS je nutnou součástí analyzátoru v případě použití kvadrupólového hmotnostního spektrometru.
- Vstupní příruba pro komoru QMS (kompatibilní s UHV) se sadou výměnných štěrbin (alespoň o průměru 0,1 mm a 0,03 mm)
Vstupní štěrby o různém průměru nám umožní používat analyzátor za vyššího tlaku než je maximální pracovní tlak analyzátoru bez štěrby (t.j. $\sim 1\text{ Pa}$).
- Turbomolekulární vývěva (čerpací rychlost alespoň 60 l/s pro N_2) pro diferenciální čerpání komory QMS
Komuře spolu s hmotnostním spektrometerem je nutné pro správnou funkci diferenciálně čerpat na nižší tlak oproti depoziční komoře.
- Vhodná bezolejová předčerpávací vývěva pro turbomolekulární vývěvu
Turbomolekulární vývěvu je nutné pro správnou funkci na jejím výstupu předčerpávat další vývěvou. Bezolejová verze této vývěvy nekontaminuje komoru QMS olejovými parami, což by jinak znehodnotovalo samotné měření.
- Systém pro diferenciální čerpání prostoru mezi vstupní přírubou se štěrbinou a vstupní štěrbinou pro QMS

Tento prostor je mezi dvěma štěrbinami a je tedy velmi špatně čerpán. Vzniká tak takzvaný “mrtvý prostor”, kde se hromadí plyn a přístroj nefunguje optimálně. Z tohoto důvodu je nutné tento prostor také čerpat.

- Ionizační prostor pro analyzovaný plyn před vstupní štěrbinou pro QMS pro dosažení dobrého vakuového propojení mezi tímto prostorem a depoziční komorou a také pro omezení efektu signálu pozadí způsobený zbytkovým plynem v komoře QMS
Toto umístění ionizačního prostoru zaručí dobré vakuové propojení mezi tímto prostorem a depoziční komorou a také omezí efekt signálu pozadí způsobený zbytkovým plynem v komoře QMS. Výsledkem je výrazné zpřesnění samotného měření oproti konfiguraci, kde je ionizační prostor až za štěrbinou pro QMS.
- Ionizační zdroj alespoň se dvěma elektrodami
Výhoda této konfigurace je, že pokud se poškodí jedna katoda, tak je možné bez omezení používat druhou katodu až do výměny rozbité katody.
- Iontový detektor pracující na principu “Faraday cup”
Standartní detektor u plynových analyzátorů. Je méně citlivý, ale zároveň je velmi stabilní a můžeme ho použít pro měření v tlacích i nad 1 Pa.
- Iontový detektor pracující na principu elektronového násobiče
Standartní detektor, který je řádově citlivější než předchozí typ. Můžeme ho však využít pouze pro měření při tlaku do 1 Pa. Vykazuje také horší reprodukovatelnost a v čase se zhoršují jeho vlastnosti (stárne).
- Vhodná tlaková měrka pro komoru QMS
Tato měrka nám umožní sledovat aktuální tlak uvnitř komory QMS, což je velmi důležité pro udržení optimálních podmínek analyzátoru a také pro jeho ochranu.
- Tlaková měrka (měřící tlak v depoziční komoře), elektropneumatický ventil a automatická kontrolní jednotka zaručující bezpečné uzavření hlavního vstupního otvoru v případě náhlého vzrůstu tlaku v depoziční komoře
Tento systém nám umožní ochránit analyzátor při náhlém nárůstu tlaku v depoziční komoře. Díky této ochraně budou moci s analyzátozem pracovat i naši studenti.
- Vyhřívací systém umožňující vyhřátí komory QMS na teplotu alespoň 150 °C
Vyhřívací systém nám umožní dekontaminovat komoru QMS od nežádoucích zbytkových plynů, které jinak zkreslují výslednou analýzu pracovního plynu z depoziční komory.
- Vhodná ovládací jednotka (jednotky) pro monitor, vyhřívací systém, čerpací systém a tlakové měrky
Tyto ovládací jednotky nám umožní ovládat analyzátor i všechny přídavné systémy (např.

vyhřívací systém).

- Vhodný software pro ovládání monitoru naprašovacího procesu, pro ukládání a prezentaci naměřených dat
Tento software nám umožní ovládat analyzátor, dále pak ukládat a prezentovat naměřená data.
- Alespoň čtyři (4) analogové výstupní signály pro přenos naměřených dat k dalším systémům
Tyto analogové výstupy budeme moci využít jako vstupní signály pro řízení depozičního procesu pomocí našeho vlastního řídicího systému.
- Všechny potřebné kabely
Tyto kabely nám umožní pospojovat a provozovat analyzátor i všechny přídatné systémy (např. vyhřívací systém)

2. Analyzátor procesního plynu musí splnit následující detekční limity

- Detekční limit pro vodní páru (v Ar) méně než 700 pbb
- Detekční limit pro vodík (v Ar) méně než 3500 pbb
- Detekční limit pro kyslík, dusík a oxid uhličitý (v Ar) méně než 150 pbb
Tyto detekční limity nám umožní dostatečně přesné měření pro naše aplikace.

T) Softwarové a hardwarové vybavení pro počítačové řízení experimentů

- Rozšíření současného softwarového vybavení zadavatele, kterým je vývojové prostředí LabVIEW, o dvě (2) licence tohoto vývojového prostředí ve verzi Professional. Software musí být kompatibilní s OS Microsoft Windows, který je současným vybavením zadavatele.
- Dvě (2) PCI Express karty s řadičem rozhraní GPIB, plně kompatibilní s vývojovým prostředím LabVIEW.
- Jedna (1) PCI Express karta s řadičem a s analyzátozem rozhraním GPIB, plně kompatibilní s vývojovým prostředím LabVIEW.
- Propojovací kabely pro rozhraní GPIB.

Další požadavky

1. Spojovací materiál nezbytný ke kompletaci Zařízení.

T)

Vzhledem k podstatnému rozšíření vybavení pro diagnostiku plazmatu, požadujeme i rozšíření stávajícího softwarového vybavení zadavatele, kterým je vývojové prostředí LabVIEW, o další dvě (2) licence stejného vývojového prostředí, a to ve verzi Professional. Toto vybavení musí být kompatibilní s OS Microsoft Windows, který je současným vybavením zadavatele. Uvedené vývojové prostředí je nutné pro tvorbu řídicího softwaru přesně podle požadavků plánovaných experimentů. Požadované počítačové karty jsou pak potřebné k zajištění komunikace mezi vývojovým prostředím a diagnostickými systémy prostřednictvím GPIB rozhraní. Karta s analyzátozem je nutná k odstraňování problémů s komunikací přes GPIB. Kabely jsou nezbytné k propojení počítače a diagnostických systémů.

Materiál nezbytný ke kompletaci zařízení při uvádění do provozu.