

RAPORTARE STIINTIFICA SI TEHNIC (RST)

Contract: 319 PED/2020, *Sinteza de nanoparticule oxidice cristaline utilizand un generator de plasma cu microunde* Cod Depunere: PN-III-P2-2.1-PED-2019-2949,

Etapa: 1 (2020), *Proiectarea si dezvoltarea unui generator de plasma cu microunde pentru producerea de nanoparticule cristaline RMO – model experimental*

Proiectarea si dezvoltarea PDR implica studiul si evaluarea cavitatilor rezonante si a ghidurilor de unda, a surselor de microunde precum si a componentelor electronice de ultima generatie necesare la realizarea sursei de alimentare a PDR. Proiectarea si dezvoltarea incintei de lucru sub vid a urmarit realizarea si adaptarea sistemului de pompaj si de admisie a gazelor in incinta de lucru. Sistemul de vid, care consta dintr-o pompa mecanica preliminara uscata (pentru evitarea contaminarii nanostructurilor de oxizi metalici depuse cu vapori de carbohidruri) si o pompa turbomoleculara, impreuna cu o joja de vid pentru masurarea vidului in domeniul $1000-10^{-8}$ mbar, a fost adaptat printr-o flansa mecanica la instalatia de productie a nanostructurilor. Am proiectat si realizat un montaj cu sonda Langmuir pentru a extinde aria investigatiilor si la masurarea curentilor de electroni si ioni din plasma. Acest sistem este complementar sistemului de spectroscopie optica si are avantajul ca poate determina cantitatea si energia electronilor din plasma. O problema noua, care a aparut recent, este legata de prepararea probelor pentru investigatii de microscopie electronica prin transmisie. Metodele uzuale de preparare a probelor folosind sau subtierea ionica cu ioni de Ar sau fasciculul de ioni de Ga focalizati (FIB, focused ion beam) sunt extrem de complexe si scumpe, ceea ce ar limita drastic numarul de probe ce pot fi analizate in cadrul bugetului disponibil. Din acest motiv am investigat posibilitatea transferului mecanic al nanostructurilor pe membrane de carbon amorf, care sunt transparente pentru fasciculul electronic al microscopului.

1. Studiu preliminar in vederea demararii proiectarii (PDR)

Proiectarea si dezvoltarea PDR implica studiul si evaluarea cavitatilor rezonante si a ghidurilor de unda, a surselor de microunde precum si a componentelor electronice de ultima generatie necesare la realizarea sursei de alimentare a PDR. Utilizarea ghidurilor de unda metalice complet ecranate, cu dielectrici aer sau vid este preferata in instalatiile de putere mare deoarece:

- nu au pierderi prin radiatie, deci conductivitatea metalului este infinita ($\sigma = \infty$);
- prezinta pierderi mici in metal si in dielectric si este caracterizat prin permitivitatea ϵ , permeabilitatea μ si conductivitatea σ
- permit transmiterea unor puteri mari
- sunt de constructie simpla si robusta.

Cele mai utilizate ghiduri de unda pentru transferul eficient al energiei electromagnetice sunt ghidurile circulare cele cilindrice, rectangulare, sau eliptice. Studiul propagarii undelor electromagnetice in ghiduri de unda vizeaza urmatoarele probleme:

- conditiile de propagare a oscilatiilor de RF in ghidurile uniforme;
- distributia campului electromagnetic in ghid;
- influenta conductivitatii metalului si dielectricului asupra propagarii;
- posibilitatile de excitare a undelor in ghid;
- posibilitatile de adaptare a ghidului cu sarcina electrica.

Pentru calculul propagarii campului electromagnetic intr-un mediu se pleaca de la ecuatiile lui Maxwell, care se integreaza in anumite conditii initiale date. Astfel se pot deduce parametrii caracteristici propagarii campului electromagnetic si anume: frecventa critica, constanta de defazare, lungimea de unda in ghid, viteza de faza si viteza de grup. In ghidurile metalice uniforme transmiterea energiei poate avea loc numai daca frecventa depaseste o anumita valoare numita frecventa critica sau frecventa de taiere. Frecventa de taiere depinde de forma si dimensiunile sectiunii transversale ale ghidului. Intr-un ghid dat se pot propaga mai multe structuri ale campului electromagnetic (moduri). Modul care are cea mai joasa frecventa critica se numeste mod fundamental sau dominant in ghidul respectiv. Situatiile curente din ghiduri si cavitati rezonante este cea in care frecventa de lucru este situata intre frecventa critica a modului fundamental si frecventa critica a unui mod superior, propagarea prin ghid fiind unimodala.

Avand in vedere procesele fizice implicate la realizarea proiectului, dintre cele trei forme de cavitati rezonante enumerate mai sus a fost selectata cavitatea rezonanta cilindrica, cu modul de propagare TM. Aceasta cavitate rezonanta este cea mai eficienta pentru concentrarea densitatii de energie electromagnetica pe firele de metal din interiorul ei. In cavitatea rezonanta, vaporizarea si ionizarea firelor de metal se realizeaza de campul electric, componenta a radiatiei electromagnetice. Prin urmare, pentru a calcula dimensiunile cavitatii rezonante se va avea in vedere modul de propagare a campului electric al radiatiei electromagnetice ce se propaga in cavitatea rezonanta. Lungimea de unda in ghid este determinata de frecventa de lucru si de frecventa de taiere.

Modul de excitare al cavitatii rezonante'

Antena sursei de microunde (in cazul nostru un magnetron) este dispusa in centrul cavitatii rezonante. In aceste conditii, campul electric componenta a campului electromagnetic se va propaga de-a lungul cavitatii rezonante. Magnetronurile sunt generatoare de radiatie electromagnetica utilizate in diferite scopuri pentru incalzirea substantelor. La baza incalzirii substantelor stau fenomenele de absorbtie a radiatiilor de microunde de catre substanta. Frecventa radiatiei de microunde generate de un magnetron este, in principiu, egala cu 2,451GHz. In general, magnetronurile lucreaza la tensiuni inalte intre 3 kV si 10 kV. Frecventa radiatiei electromagnetice generata de magnetron depinde de urmatoorii parametrii: cavitati rezonante ale anodului, tensiunea de alimentare si puterea campului magnetic. Magnetronurile pot functiona in regim continuu sau in impulsuri. In regim continuu, magnetronul poate furniza puteri ale microundelor de ordinul 20 kW, iar in regim de impuls poate furniza puteri ale radiatiei de microunde de ordinul megawatilor.

Comparativ cu alte generatoare de radiatie electromagnetica, magnetronul are un randament foarte bun de pina la 80%. Banda de frecvente de lucru a magnetronelor este ingusta, aceasta deoarece magnetronul utilizeaza cavitati rezonante dedicate anumitor frecvente ale radiatiei electromagnetice.

2. Proiectarea si dezvoltarea componentelor mecanice si electronice ale PMG

Proiectarea si dezvoltarea cavitatii rezonante.

O cavitate rezonanta cilindrica consta dintr-un tub metalic inchis la ambele capete. Cavitatile rezonante cilindrice pot avea doua moduri de propagare a radiatiei electromagnetice. Modul de propagare TE (transversal electric) in care campul magnetic componenta a radiatiei electromagnetice se propaga in directia axei Z a cavitatii rezonante cilindrice si modul de propagare TM (transversal magnetic) in care campul electric componenta a radiatiei electromagnetice se propaga in directia axei Z. Pentru realizarea modelului experimental vom utiliza cavitatea rezonanta cilindrica avand modulul de propagare TM₀₁₁ in care campul electric al radiatiei de microunde se propaga in directia Z a cavitatii rezonante

Propagarea undelor electromagnetice din cavitatea rezonanta se realizeaza prin reflexia radiatiei electromagnetice de catre peretii cavitatii. Din acest motiv materialul conductiv din care se va realiza cavitatea rezonanta trebuie sa aiba o conductivitate electrica (ρ) cat mai buna, astfel se vor limita pierderile de energie electromagnetica prin efect Joule, pierderi generate de peretii cavitatii rezonante.

Prin urmare, pentru a realiza cavitatea rezonanta fost ales cupru deoarece are conductivitate buna in raport cu alte materiale. Pentru proiectarea cavitatilor rezonante cilindrice am utilizat ecuatiile Maxwell. Indicele nml al modului de propagare TM se refera la numarul de jumate de lungime de unda in directia radiala, axiala si longitudinala a modulului cavitatii rezonante. Puterea unde electromagnetice ce se gaseste in cavitatea rezonanta este data de vectorul Poynting.

Dezvoltarea cavitatii rezonante.

Utilizarea cavitatilor rezonante pentru vaporizarea si ionizarea firelor metalice implica utilizarea modurilor de propagare a radiatiei electromagnetice. Initierea procesului de vaporizare a firelor metalice implica utilizarea unui camp electromagnetic foarte intens. Pentru a obtine un astfel de camp in proiectul "PDR" vom utiliza cavitatea rezonanta construita dupa modul de propagare electromagnetic transversal magnetic TM₀₁₁. La realizarea cavitatii rezonante cilindrice au fost utilizate materiale cu conductivitate electrica ridicata. Asa cum a fost precizat in etapa de proiectare datorita faptului ca metalele cu conductivitate ridicata sunt foarte bune reflectoare de radiatie electromagnetica pentru construirea cavitatii rezonante s-a utilizat folie de cupru (avand 0.8mm grosime) ce a fost depusa cu un strat de argint pe ambele suprafete. Datorita faptului ca argintul are conductivitate mai buna decat cupru (5.9×10^7 S/m pentru cupru si 6.2×10^7 S/m pentru argint) marirea conductivitatii electrice va micsora pierderile prin efect Joule. Avand in vedere rezultatele activitatii de proiectare a cavitatii rezonante cilindrice, dimensiunile au fost alese, astfel: 10 cm lungime si 12 cm diametru

Proiectarea si dezvoltarea sursei de alimentare

La proiectarea sursei de alimentare destinata generatorului de microunde trebuie sa avem in vedere parametrii specifici de functionare a magnetronului sum sunt: tensiunea de alimentare (aproximativ 4KV), intensitatea si puterea totala consumata de magnetron. In proiectul PDR absorbtia microundelor de catre metale este evidentiata prin vaporizarea si ionizarea firelor metalice. Pentru realizarea procesului de vaporizare si ionizare a firelor metalice cu camp de microunde este necesar generarea unui camp de microunde foarte mare (100W-1000W). Pentru a obtine aceste valori ale puterii microundelor modelul experimental generatorul de microunde are in componenta un magnetron.

Schema permite obtinerea unei puteri de RF maxime fara nici un reglaj al puterii generate de magnetron. Schema contine un transformator ridicator de tensiune o celula de amplificare a tensiunii si un inductor.

Deoarece schema de baza caracteristica magnetronului nu permite reglarea puterii de emisie a campului de microunde, pentru a controla cantitatea de metal vaporizat modelul experimental generator de microunde este necesar realizarea unei surse electronice de alimentare dedicata. Stiind ca sursa de alimentare furnizeaza impulsuri electrice de 4KV cu frecventa de repetitie 50Hz si factorul de umplere de 20ms, sursa dedicata va respecta acesti parametri. Prin urmare sursa de alimentare dedicata va permite modificarea factorului de umplere intre 2ms si 20ms. Modificand aceste valori vom obtine modificarea cantitatii de metal vaporizat si ionizat. Deoarece magnetronul functioneaza pe baza generarii si accelerarii electronilor emisi de o sursa termoelectronica, sursa de alimentare dedicata va contine un modul electronic separat care va genera tensiune continua constanta. Prin urmare, sursa termoelectronica a magnetronului va fi alimentata la tensiune de 4V si curent de 10A.

Proiectarea si dezvoltarea incintei de lucru sub vid sau in diferite atmosfere

Proiectarea si dezvoltarea incintei de lucru sub vid a urmarit realizarea si adaptarea sistemului de pompaj si de admisie a gazelor in incinta de lucru. Sistemul de vid, care consta dintr-o pompa mecanica preliminara uscata (pentru evitarea contaminarii nanostructurilor de oxizi metalici depuse cu vapori de carbohidruri) si o pompa turbomoleculara, impreuna cu o joja de vid pentru masurarea vidului in domeniul $1000-10^{-8}$ mbar, a fost adaptat printr-o flansa mecanica la instalatia de productie a nanostructurilor. Proiectarea si dezvoltarea instalatiei experimentale pentru caracterizarea plamei Am proiectat si realizat un montaj cu sonda Langmuir pentru a extinde aria investigatiilor si la masurarea curentilor de electroni si ioni din plasma. Acest sistem este complementar sistemului de spectroscopie optica si are avantajul ca poate determina cantitatea si energia electronilor din plasma.