



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2004 00930

(22) Data de depozit: 25.10.2004

(41) Data publicării cererii:
29.08.2014 BOPI nr. 8/2014

(71) Solicitant:
• TEODORESCU CRISTIAN MIHAIL,
ALEEA CÂMPUL CU FLORI NR.10,
BL. A48, SC.D, ET.3, AP.55, SECTOR 6,
BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• TEODORESCU CRISTIAN MIHAIL,
ALEEA CÂMPUL CU FLORI NR.10,
BL. A48, SC.D, ET.3, AP.55, SECTOR 6,
BUCUREȘTI, B, RO

(54) CUPTOR CU ÎNCĂLZIRE REZISTIVĂ DIRECTĂ PRIN DOUĂ
TUBURI CONDUCTOARE CONCENTRICE. UTILIZAREA
ACESTUI CUPTOR CA SURSĂ DE NANOPARTICULE PRIN
DESTINDERE ADIABATICĂ

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un cuptor cu încălzire rezistivă pentru obținerea de nanoparticule pentru depunerea în vid de straturi subțiri. Cuptorul conform invenției are în componență două tuburi cu pereți subțiri, concentrice, exterior și, respectiv, interior, montate la un capăt pe un separator ceramic, la exteriorul tubului exterior fiind montat un ecran termic, în legătură cu separatorul ceramic fiind montată o flanșă, ambele fiind străbătute de o conductă, prin care în tubul interior este introdus un gaz tampon, constituit din Ar care ajunge în contact cu cel puțin unul dintre elementele chimice constituite din S, Se, P, As, dispuse într-un creuzet plasat în tubul interior, în legătură cu conducta fiind racordate niște conducte laterale, având montate în cuprins niște robinete prin care sunt vehiculate gazul tampon și, respectiv, alte gaze diatomice constând din N₂ și O₂ și vapori sublimați de S, pentru a se produce într-o regiune de destindere adiabatică nanoparticule de stoechiometrie variabilă, formată în fața unui inel de capăt care unește tuburile și în cel al unei duze prevăzute în dreptul tubului interior.

Revendicări: 5
Figuri: 3

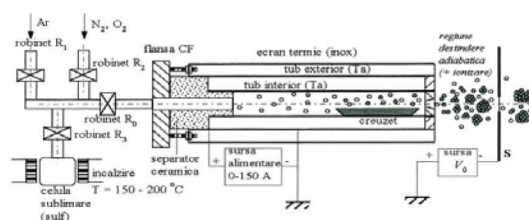


Fig. 3

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



Cuptor cu incalzire rezistiva directa prin doua tuburi conductoare concentrice. Utilizarea acestui cuptor ca sursa de nanoparticule prin destindere adiabatica

Autor: Dr. Cristian-Mihail Teodorescu

Descrierea inventiei:

1. Introducere

Depunerea de straturi subtiri sub vid este un procedeu din ce in ce mai aplicat, atat pentru studii fundamentale, cat si cu scopuri aplicative. Printre procedeele de obtinere a straturilor subtiri, evaporarea ofera avantajul unui ridicat control al structurii si omogenitatii straturilor depuse. In general, (i) evaporatoarele (celulele Knudsen) folosite in acest scop sunt constituite dintr-un corp izolant (ceramica, nitrura de bor etc.) incalzit printr-un filament. Se mai utilizeaza si (ii) evaporarea prin bombardament electronic, in care materialul de evaporat (de regula, metal) este bombardat cu electroni produsi de un filament, accelerati de o inalta tensiune. Cele doua procedee enuntate ofera cateva dezavantaje, dintre care enuntam:

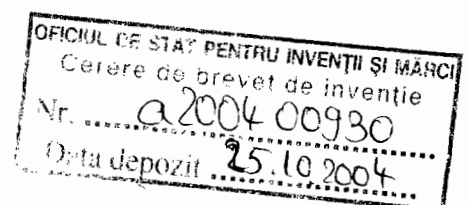
Pentru celulele Knudsen (i):

- inertie termica ridicata;
- necesitatea de a se folosi piese ceramice complicate, cu cresterea implicita a costului;
- limitare a temperaturii maxime accesibile (1 000 - 1 200 K).

Pentru evaporatoarele cu bombardament electronic (ii):

- probleme de stabilitate: materialul de evaporat se consuma pe masura evaporarii si aceasta influenteaza geometria dispozitivului si implicit puterea disipata in material prin bombardament electronic;
- necesitatea de a se utiliza surse de alimentare de inalta tensiune (cativa kV) si curent relativ ridicat (sute de mA);
- risc de descarcari, clacaje etc.

Dispozitivul descris in prezenta inventie ofera posibilitatea de a se obtine temperaturi ridicate (peste 2 000 K), fara a se folosi surse de alimentare de inalta tensiune, cu stabilitate ridicata si inertie termica foarte scazuta.



Studiul fizicii si chimiei nanoparticulelor, ca si explorarea aplicatiilor lor tehnologice in electronica, spintronica, senzori, biologie, medicina etc. a luat o amploare considerabila de la mijlocul anilor '80 incoace. In ciuda acestui fapt, in momentul de fata nu este accesibila din punct de vedere. Cercetarile in vederea obtinerii si perfectionarii unei astfel de surse sunt mai degraba disparate si fiecare echipa de cercetare "se descurca cu mijloacele de bord", punand la punct o tehnica specifica si cu spectru mai degraba restrans de aplicabilitate, pentru obtinerea tipului de nanoparticule dorit. In ciuda rezultatelor remarcabile obtinute in aceste grupuri, transferul de tehnologie spre un eventual producator al unui asemenea dispozitiv este cuasi-inexistent. Un lucru extrem de important este faptul ca *marea majoritate a cercetarilor actuale in domeniul fizicii si chimiei nanoparticulelor si agregatelor se limiteaza la nanoparticule si agregate obtinute in mod "miraculos", utilizand anumite configuratii specifice*. Putine studii actuale pornesc in mod efectiv cu nanoparticule de dimensiuni si, eventual, structura pre-formate, definite in mod explicit de experimentatori.

Singurul producator care pana in prezent a acceptat provocarea de a fabrica o sursa de nanoparticule este firma americana Coltron Research Co. (www.colutron.com), insa sursa de nanoparticule comercializata are randament scazut si flux limitat de nanoparticule; de asemenea, parametrii de productie sunt greu controlabili. In inventia de fata se propune o sursa de nanoparticule cu parametri controlabili, putand fi utilizata pentru obtinerea de nanoparticule cu un spectru larg, atat din punct de vedere al legaturilor chimice, cat si al naturii atomice si al aplicatiilor posibile (agregate metalice, covalente sau ionice, nanoparticule magnetice, agregate cu proprietati de luminescenta sau fotochimice, nuclee active pentru ingineria enzimelor etc.).

Utilizatorii potentiali ai unei asemenea surse de nanoparticule apartin fizico-chimiei catalizei, studiul legaturilor chimice in nanoparticule libere si impactul lor asupra mediului, saracirea stratului de ozon si modalitati de a se preveni aceasta, obtinerea si prelucrarea cauciucului sintetic si a altor polimeri, nanoparticule cu aplicatii in enzimologie, in optoelectronica, magnetoelectronica, spintronica, memorii de inalta densitate, productia de nanosenzori si nano-actuatori. Practic, in fiecare laborator european de stiinta materialelor exista cel putin un grup a carui activitate este axata pe nanoparticule, deci piata estimata pentru acest tip de sursa este considerabila.

In continuare, in capitolul 2 este descris cuptorul-evaporator (principii de functionare, parametri tehnologici asteptati), iar in capitolul 3 este descrisa sursa de nanoparticule.

2. Principiul de functionare al cuptorului

Schema de principiu a cuptorului-evaporator este data in Fig. 1. Este vorba de doua tuburi concentrice de diametre $d_1 = 2r_1$ si $d_2 = 2r_2$, cu pereti foarte subtiri (0,1 - 0,2 mm), prin care se trece un curent de valoare ridicata. Cele doua tuburi sunt fizate pe un suport de ceramica, la o extremitate, iar la cealalta extremitate sunt conectate printr-un inel de diametru exterior $\approx d_2$ si diametru interior $\approx d_1$. Valorile tipice constructive pentru un cuptor-evaporator de utilizat in incinte standard de vid inaintat sau ultravid sunt $d_{1,2} \approx 10-30$ mm. Vom arata ca, in conditii standard de functionare, pierderile energetice cele mai importante sunt prin radiatie.

La o temperatura de 900 K, un metal utilizat in mod standard pentru astfel de dispozitive, tantalul, are rezistivitatea electrica de cca. $4 \times 10^{-7} \Omega\text{m}$. Se poate calcula ca un ansamblu de tuburi cu lungime de 100 mm, diametru tub interior $d_1 = 10$ mm si diametru tub exterior $d_1 = 15$ mm, grosime $g = 0,1$ mm pentru ambele tuburi va avea rezistenta data de:

$$R = \frac{l\rho}{\pi g} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right) \approx 0,02 \Omega \quad (1)$$

Deci un curent $I = 100$ A va produce o putere $P = R I^2 \approx 200$ W. Aceasta putere va conduce la incalzire sistemului la temperatura sus-mentionata, dupa cum se va detalia in paragraful 2.2.

Aceasta putere se disipa in doua cai:

1) Radiativ. In cele ce urmeaza, vom folosi in mod extensiv teoria radiatiei corpului negru pentru a evalua toate pierderile prin radiatie. Vom folosi, pentru densitatea radiatiei emise de un corp incalzit la temperatura T: $\phi = \sigma T^4$, unde σ este constanta Stefan-Boltzmann, $\sigma = 5,670512 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$. Cu aceasta, se poate calcula ca un tub de diametru $d_2 = 15$ mm si lungime $l = 100$ mm, incalzit la $T = 900$ K radiaza 175,3 W.

2) Prin conductivitate termica. La temperatura sus-mentionata, ceramica are un coeficient de conductie termica de cca. 8 W / (m K) . Gradientul de temperatura va fi de cca. $(900 - 273) \text{ K}$ pe o distanta de cca. 20 mm (lungimea suportului de ceramica), adica $31\,350 \text{ K/m}$, corespunzator unui flux de caldura de $250\,800 \text{ W/m}^2$. Daca aria totala de contact al tuburilor incalzite cu suportul de ceramica este de ordinul 1 cm^2 , rezulta o pierdere de cca. 25 W prin conductivitate termica, cca. 10 % din pierderea totala.

Avand in vedere faptul ca pierderile prin radiatie sunt proportionale cu puterea a patra a temperaturii, e de la sine inteles ca, la temperaturi si mai ridicate, aceste pierderi vor reprezenta cuasi-totalitatea pierderilor energetice in sistem. In continuare, ne vom concentra in exclusivitate asupra bilantului acestor pierderi.

2.1. Consideratii asupra ecranarii termice

Asa cum s-a precizat, vom folosi in exclusivitate legile radiatiei corpului negru.

a) *Un corp (1) izolat* de arie S_1 , incalzit cu puterea P_1 , se va stabili la temperatura T_1 astfel incat pierderile sale prin radiatie sa compenseze puterea injectata in sistem:

$$P_1 = S_1 \sigma T_1^4 \quad (2)$$

De aici se deduce temperatura la care ajunge corpul, odata ce stim puterea injectata. Fie

$$T_1^{(0)} = [P_1 / (\sigma S_1)]^{1/4} \quad (3)$$

aceasta temperatura.

b) *Principiul ecranarii termice simple.* Acum, consideram corpul din exemplul anterior ca fiind in totalitate inconjurat de un ecran (2) de arie $S_2 > S_1$, ecran care se va incalzi prin radiatia emisa de corpul (1) la temperatura $T_2 < T_1$, astfel incat bilantul energetic total al sistemului este:

$$P_1 = S_2 \sigma T_2^4 \quad (4)$$

In ceea ce priveste corpul (1), el se va afla, in afara de campul de radiatie emis de el insusi, intr-un fond de radiatie de temperatura constanta T_2 emis de corpul (2) inspre interior, astfel:

$$P_1 + S_1 \sigma T_2^4 = S_1 \sigma T_1^4 \quad (5)$$

De unde deducem:

$$T_1 = T_1^{(0)} \left(1 + \frac{S_1}{S_2} \right)^{1/4} \quad (6)$$

In cazul extrem in care corpul (2) este foarte apropiat de corpul (1), adica $S_2 \approx S_1$, rezulta o posibila crestere a temperaturii corpului (1) prin simpla ecranare cu un factor $2^{1/4} \approx 1.1892$, deci cu cca. 19 %.

c) *Ecranul termic incalzit.* De data aceasta, injectam puterea P_1 in corpul din interior (1) de arie S_1 si puterea P_2 in corpul exterior (2) de arie S_2 . Bilantul energetic va fi:

- pentru corpul (2), conservarea energiei totale:

$$P_1 + P_2 = S_2 \sigma T_2^4 \quad (7)$$

- pentru corpul (1), ramane acelasi bilant ca in cazul anterior, adica dat de relatia (5).

Rezolvarea sistemului de ecuatii (5) si (7) conduce la:

$$T_2 = \left(\frac{P_1 + P_2}{S_2 \sigma} \right)^{1/4} \quad (8a)$$

$$T_1 = T_1^{(0)} \left[1 + \frac{S_1}{S_2} \left(1 + \frac{P_2}{P_1} \right) \right]^{1/4} = \left\{ \left(\frac{P_1}{S_1 \sigma} \right) \left[1 + \frac{S_1}{S_2} \left(1 + \frac{P_2}{P_1} \right) \right] \right\}^{1/4} \quad (8b)$$

O aplicatie simpla este cazul extrem in care $P_2 = P_1$ si $S_2 \approx S_1$. In acest caz, se obtine $T_1 = T_1^{(0)} \times 3^{1/4} \approx 1,302$, ceea ce reprezinta o crestere a temperaturii corpului interior fata de cazul incalzirii simple (punctul a) de mai sus) cu cca. 30 %.

2.2. Calculul temperaturilor cuptorului

Revenim la cuptorul a carui schema de principiu este data in Fig. 1. In continuare, vom nota prin $r_{1,2}$ si $g_{1,2}$ razele si grosimile peretilor tuburilor interior (indicele 1), respectiv exterior (indicele 2). Lungimea ambelor tuburi este l . Presupunem cele doua tuburi formate din acelasi material sau din materiale cu proprietati similare (rezistivitate, coeficient termic al rezistivitatii). Puterile disipate vor depinde de rezistivitatea materialului, care si ea este functie

de temperatura. Vom presupune ca aceasta dependenta este liniara in domeniul de interes (500 - 2 500 K), de genul $\rho = \beta T$. Cu aceasta, puterile disipate pe cele doua tuburi vor fi:

$$P_{1,2} = T_{1,2} \beta \frac{l}{2\pi r_{1,2} g_{1,2}} I^2 \quad (9)$$

Inlocuindu-se aceste puteri in ecuatiile (8) cu $S_{1,2} = 2\pi r_{1,2} l$, se obtine un sistem de ecuatii neliniare:

$$\begin{cases} T_1^4 = T_2^4 + \frac{I^2 \beta}{4\pi^2 \sigma} \frac{T_1}{r_1^2 g_1} \\ T_2^4 = \frac{I^2 \beta}{4\pi^2 \sigma} \left(\frac{T_1}{r_1 r_2 g_1} + \frac{T_2}{r_2^2 g_2} \right) \end{cases} \quad (10)$$

Rezolvarea acestui sistem de ecuatii neliniare se face numeric, dupa algoritmul urmat: se porneste de la doua estimari ale temperaturilor T_1 si T_2 , care se introduc in membrul drept al ecuatiilor (10), dupa care se evalueaza noile temperaturi T_1 si T_2 , care la randul lor se introduc in membrul drept al ecuatiilor s.a.m.d., pana cand diferenta intre doua valori succesive (obtinute in iteratii succesive) pentru $T_{1,2}$ este mai mica de o valoare stabilita.

O aproximatie interesanta, permitand a deduce niste solutii simple ale ecuatiilor (10), poate fi facuta daca se poate neglija produsul $r_1 g_1$ fata de produsul $r_2 g_2$: $r_1 g_1 \ll r_2 g_2$. In acest caz:

$$T_1 \approx \left(\frac{I^2 \beta}{4\pi^2 r_1 r_2 g_1 \sigma} \right)^{1/3} \left(\frac{r_1 + r_2}{r_1} \right)^{1/3} \quad (11a)$$

$$T_2 \approx \left(\frac{I^2 \beta}{4\pi^2 r_1 r_2 g_1 \sigma} \right)^{1/3} \left(\frac{r_1 + r_2}{r_1} \right)^{1/12} \quad (11b)$$

Solutii ale ecuatiilor (10), precum si curbele obtinute din aproximariile (11) sunt date in Fig. 2, pentru trei cazuri de interes practic: (a) diametre ale tuburilor de 7 si 20 mm, grosimi de 0,1 respectiv 0,2 mm; (b) diametre de 7 si 20 mm, grosimi de 0,15 si 0,2 mm; (c) diametre

de 7 și 30 mm, aceleași grosimi ca în cazul (b). Ca material, s-au folosit datele pentru tantal (Ta), cu rezistivitatea dată de $\rho_{Ta} [\Omega \text{ m}] \approx 4,508 \times 10^{-10} T [\text{K}]$. Iterațiile succesive de rezolvare a sistemului (10) au fost sistate când diferența de temperaturi între două iterații a fost sub 0,01 K. Se observă că soluția tehnologică propusă este absolut viabilă, și anume:

- 1) Se pot obține temperaturi ridicate cu valori nu foarte mari ale curentului care străbate tuburile: $T_1 \approx 1\,500 - 1\,700 \text{ K}$ cu $I \approx 150 \text{ A}$; temperaturi de peste 2 000 K folosindu-se intensități ale curentului de ordinul a 200 A.
- 2) Tubul exterior se încălzește considerabil mai puțin decât cel interior. La limita, pentru temperaturi ale tubului interior nedeșind 1 500 K, tubul exterior nu depășește temperaturi de ordinul a 1100 K $\approx 800 \text{ }^\circ\text{C}$; cu alte cuvinte, în această situație tubul exterior nu ar trebui în mod neapărat să fie confecționat dintr-un metal refractar (Ta, Mo), ci poate fi confecționat și din inox, de exemplu. Aceasta va reduce considerabil costul de fabricație a cuptorului.
- 3) De asemenea, se remarcă proportionalitatea destul de bună între soluțiile aproximative (11) și soluțiile exacte ale sistemului (10).

3. Producerea de nanoparticule prin destindere adiabatică

3.1. Principiul destinderii adiabatice. Dimensiunea medie a nanoparticulelor produse prin condensare într-un jet în destindere adiabatică

Principiul destinderii adiabatice se bazează pe destinderea unui gaz pornind de la o presiune relativ ridicată, inspre vid, printr-un orificiu de diametru redus. În cursul destinderii, gazul nu efectuează lucru mecanic, ceea ce justifică denumirea de destindere adiabatică. Cum densitatea gazului se micșorează prin destindere, rezultă de aici răcirea gazului și posibilitatea lui de condensare spre a forma nanoparticule. În inventia de față, se va presupune că gazul în destindere adiabatică este fie (i) format din vaporii unui material încălzit folosindu-se procedeul descris în capitoul precedent, fie (ii) este un gaz nobile (cel mai adesea, Ar) care "transportă" vaporii evaporati.

Pentru simplitate, vom considera numai cazul (i), pentru vapori monoatomici (de exemplu, vapori metalici). Fie n și T densitatea, respectiv temperatura gazului, iar n_0 , respectiv T_0 densitatea și temperatura inițiale ale gazului, înaintea procesului de destindere adiabatică (de exemplu, în interiorul celulei de evaporare). Ecuația destinderii adiabatice este:

$$n T^{-3/2} = n_0 T_0^{-3/2} = \text{const.} \quad (12)$$

Jetul de vapori se va afla in destindere pana la termalizarea sa. O presupunere rezonabila este ca jetul aflat in destindere adiabatica se raceste pana cand temperatura sa devine egala cu temperatura ambianta (T_r), iar densitatea sa egala cu densitatea gazului rezidual (n_r). In acel moment, insa, jetul de vapori nu va mai fi format din atomi izolati, ci din nanoparticule, cu o anumita distributie dupa dimensiuni. Pentru simplitate si numai pentru evaluarea ordinelor de marime, vom presupune ca toate nanoparticulele au aproximativ aceeasi dimensiune medie, pe care o vom nota cu $\langle N \rangle$. Densitatea de atomi la sfarsitul procesului de destindere va fi egala cu dimensiunea medie a nanoparticulelor inmultita cu densitatea de nanoparticule, care am presupus ca este egala cu cea a gazului rezidual, n_r . Cu alte cuvinte, se obtine:

$$n_{\text{nanoparticule}} = \frac{n_0}{\langle N \rangle} \left(\frac{T_r}{T_0} \right)^{3/2} \approx n_r \quad (13)$$

De aici, se gaseste dimensiunea medie a nanoparticulelor:

$$\langle N \rangle \approx \frac{n_0}{n_r} \left(\frac{T_r}{T_0} \right)^{3/2} \quad (14)$$

In continuare, se va utiliza ecuatiile Boltzmann ($p_j = n_j k_B T_j$) atat pentru vaporii inaintea procesului de destindere, cat si pentru gazul rezidual (indicii j dinainte vor fi "0" si "r"), adica se presupune ca gazul este in echilibru in ambele situatii. De asemenea, pentru presiunea vaporilor aflati la o anumita temperatura T_0 , se va utiliza formula:

$$P_0 = C_0 \exp\left(-\frac{W_0}{T_0}\right) \quad (15)$$

unde parametrii C_0 si W_0 pot fi gasiti in literatura. Inlocuindu-se P_0 in ecuatiile Boltzmann, se deduce densitatea n_0 si, de aici, din (14), dimensiunea medie a nanoparticulelor:

$$\langle N \rangle \approx \frac{C_0}{P_r} \left(\frac{T_r}{T_0} \right)^{5/2} \exp\left(-\frac{W_0}{T_0}\right) \quad (16)$$

Parametrii controlaboili din exterior sunt (i) temperatura cuptorului, egala cu temperatura initiala a destinderii adiabaticice T_0 ; (ii) presiunea gazului rezidual (prin varierea vitezei de pompare) P_r . Vom considera temperatura gazului rezidual ca fiind aproximativ temperatura ambianta, 300 K. Aplicatii ale formulei anterioare:

a) Pentru Ca, $P_0 = 1.36 \times 10^{15}$ Pa, $W_0 = 9517$ K, iar valorile obtinute pentru dimensiunile medii ale nanoparticulelor sunt date in Tabelul 1. Am ales exemplul Ca, in principal din cauza interesului fundamental (studiul evolutiei legaturilor chimice de la legatura van der Waals la legatura metalica), dar si aplicativ: interes in aplicatii biomedicale.

b) Pentru Fe, $P_0 = 1.38 \times 10^{26}$ Pa, $W_0 = 19\,574$ K, iar valorile obtinute pentru dimensiunile medii ale nanoparticulelor sunt date in Tabelul 2. Fierul a fost ales ca exemplu din cauza interesului foarte actual in ceea ce priveste magnetismul sistemelor cu dimensionalitate redusa, aplicatii in spintronica, senzori de camp magnetic, dispozitive cu injectie de purtatori de sarcina polarizati in spin.

Tabelul 1. Dimensiuni medii ale nanoparticulelor $\langle N \rangle$, pentru Ca, in functie de presiunea gazului rezidual si temperatura sursei de nanoparticule.

P_r (Pa)	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
500	-	-	-	-	7.54	75.4	753.6
600	0.93	9.33906	93.3906	933.906	9339.06	93390.6	933906
650	14.3	143.1	1431	14311	143110	1.43×10^6	1.43×10^7
675	48.0	480.3	4804	48035	480351	4.80×10^6	4.80×10^7
700	147.7	1477	14767	147676	1.48×10^6	1.48×10^7	1.48×10^8

Tabelul 2. Dimensiuni medii ale nanoparticulelor $\langle N \rangle$, pentru Fe, in functie de presiunea gazului rezidual si temperatura sursei de nanoparticule.

P_r (Pa)	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
1200	-	-	-	-	-	2.75	27.5
1250	-	-	-	-	1.18	11.86	118.6
1300	-	-	-	-	4.56	45.63	456.3
1350	-	-	-	1.59	15.87	158.7	1586.8
1400	-	-	-	5.04	50.42	504.2	5041.6
1450	-	-	1.48	14.77	147.7	1477.2	14772

Din tabellele anterioare se poate deduce si temperatura necesara functionarii sursei de nanoparticule. Observam ca, pentru presiuni reziduale de ordinul a 10^{-5} Pa (10^{-7} Torr), pentru inceperea procesului de condensare al unui metal alcalino-pamantos (Ca) sunt necesare temperaturi de ordinul a 500-600 K, in timp ce pentru un metal de tranzitie (Fe), sunt absolut necesare temperaturi mult mai ridicate, de ordinul a 1 350 K.

3.2. Descrierea schemei constructive a sursei de nanoparticule

Schema de constructie a sursei de nanoparticule este data in Fig. 3. Cele doua tuburi concentrice sunt fixate pe un suport de ceramica. S-a adaugat un ecran termic suplimentar, pentru cresterea temperaturii, atat a tubului exterior, cat si a tubului interior. De asemenea, s-a figurat dispozitivul de introducere a gazului tampon (Ar) prin spatele cuptorului. In circuitul de introducere de gaz, s-a prevazut eventualitatea unei celule incalzite pentru vaporizarea elementelor care sublimeaza usor, cum ar fi S, Se, P, As. Acesti vapori pot fi introdusi in gazul tampon, dupa cum se pot introduce si alte gaze diatomice (N_2 , O_2) printr-un robinet separat. Scopul introducerii in gazul tampon atat a gazelor diatomice de tipul azot, oxigen, cat si a vaporilor sublimati intr-o celula separata, este de a se putea produce nanoparticule cu stoichiometrie variabila, de tipul oxizi sau sulfuri de Fe (de interes in hematologie, enzimologie), $Ga_N P_M$, $Cd_N Te_N$ (de interes in optoelectronica) etc.

Experientele preliminare au aratat ca fluxul de nanoparticule contine si o proportie deloc neglijabila de nanoparticule ionizate. Aparitia acestor procese de ionizare este datorat

radiatiei termice emise de capatul cuptorului. Acesta este un efect pozitiv, intrucat deschide posibilitatea selectionarii ulterioare a nanoparticulelor ionizate in functie de dimensiuni. In vederea acestei posibilitati, s-a prevazut o electroda suplimentara (S) pentru accelerarea nanoparticulelor.

4. Concluzii

Prezenta inventie propune:

- (i) un nou sistem de incalzire rezistiva directa a cuptoarelor pentru evaporarea sub vid. Acest sistem ofera stabilitate crescuta a temperaturii, inertie termica redusa si evita recurgerea la surse de alimentare de inalta tensiune.
- (ii) o sursa de nanoparticule folosind principiul de incalzire sus-mentionat si destinderea adiabatica fie a vaporilor incalziti, fie asistata de un gaz tampon. Aceasta sursa de nanoparticule produce atat nanoparticule neutre, cat si nanoparticule ionizate. Nanoparticulele pot fi monoatomice, obtinute din materialul incalzit in cuptor, sau poliatomice, obtinute in urma reactiei vaporilor din cuptor cu molecule introduse in gazul tampon aflat in destindere adiabatica.

Bibliografie:

CRC Handbook of Chemistry and Physics, 84th Edition 2003-2004 Boca Raton, Florida 2003.

**Cuptor cu incalzire rezistiva directa prin doua tuburi conductoare
concentrice. Utilizarea acestui cuptor ca sursa de nanoparticule prin
destindere adiabatica**

Autor: Dr. Cristian-Mihail Teodorescu

Revendicari:

1. Incalzirea rezistiva directa a cuptorului, trecandu-se acelasi curent prin doua tuburi metalice concentrice.
2. Ecranarea termica folosindu-se un corp incalzit.
3. Sursa de nanoparticule produse prin condensare intr-un jet de gaz purtator aflat in destindere adiabatica.
4. Sursa de nanoparticule utilizand incalzirea rezistiva directa a cuptorului, prin trecerea aceluasi curent prin doua tuburi metalice concentrice.
5. Producerea de nanoparticule prin destindere adiabatica in gaz tampon, insamantat cu molecule care reactioneaza cu vaporii din cuptor.

**Cuptor cu incalzire rezistiva directa prin doua tuburi conductoare
concentrice. Utilizarea acestui cuptor ca sursa de nanoparticule prin
destindere adiabatica**

Autor: Dr. Cristian-Mihail Teodorescu

Figuri:

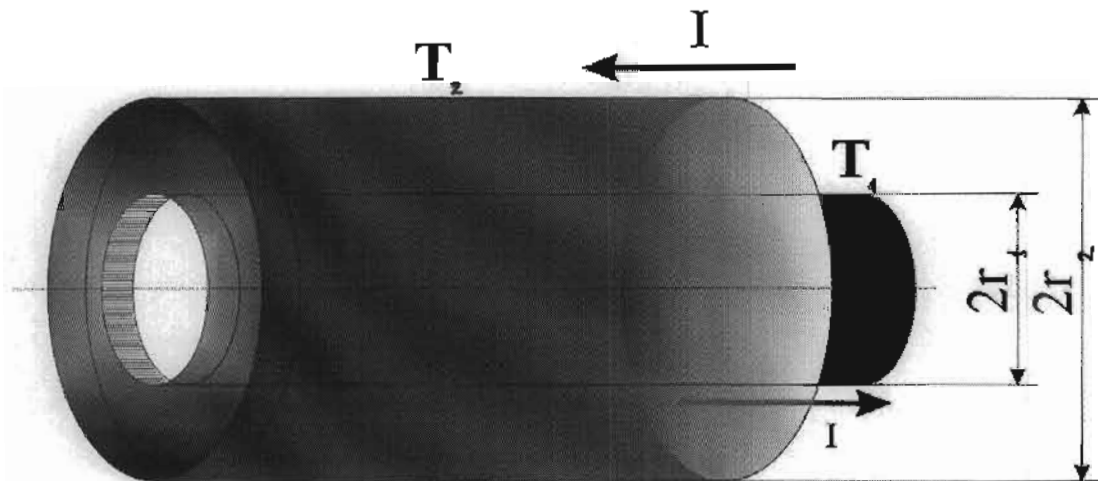


Figura 1

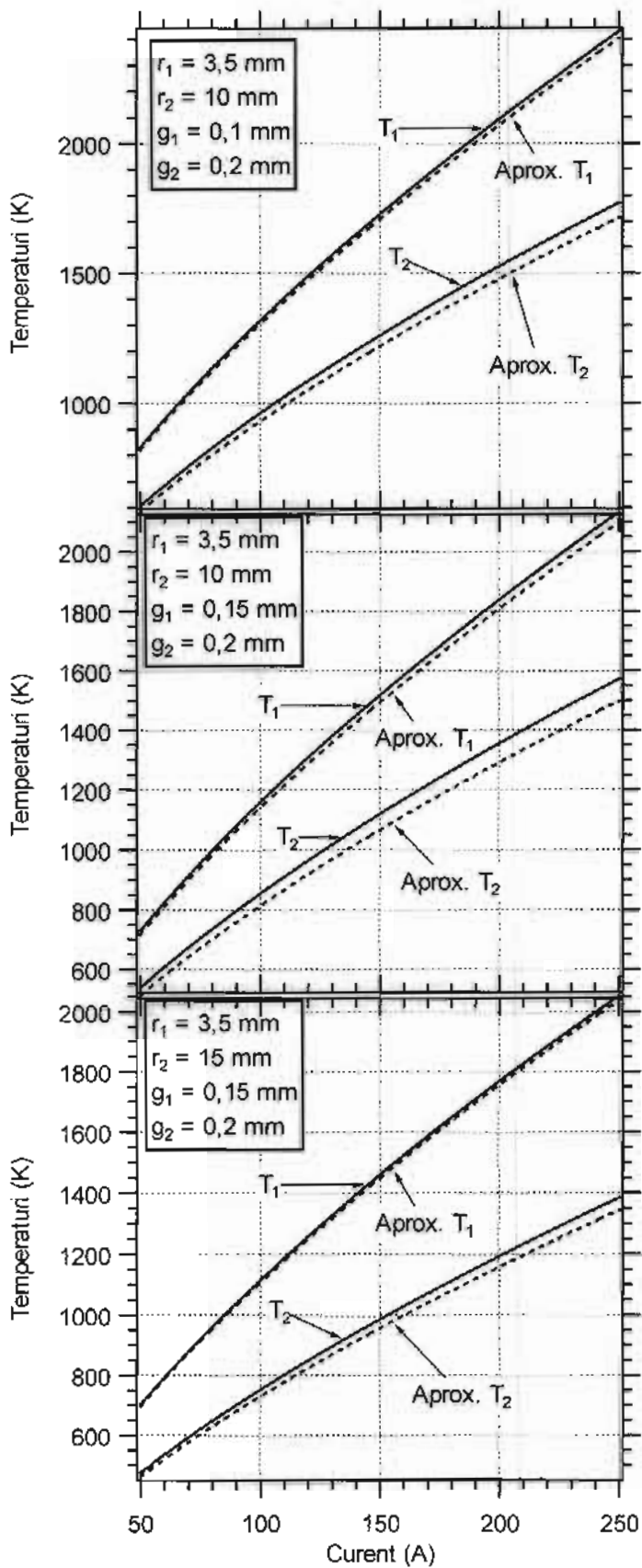


Figura 2

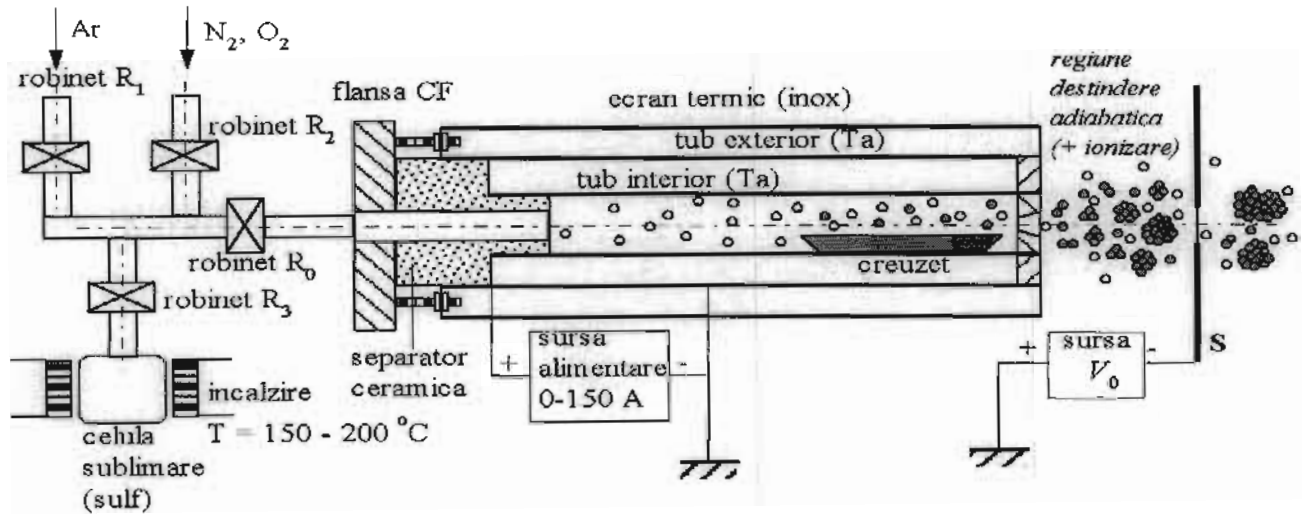


Figura 3