

EIROPAS REĢIONĀLĀS ATTĪSTĪBAS FONDS

Uzlabotas litija tehnoloģijas izstrāde plazmas attīrīšanas iekārtu (divertoru) aktīvo virsmu aizsardzībai

Projekts Nr. 2DP/2.1.1.0/10/APIA/VIAA/176 (Progresa ziņojums – 5)

> 2011 - 2012 01.11. - 31.01.

1.Ūdeņraža izotopu detektēšana šķidrā litijā kā divertora aizsargmateriālā (Aktivitāte Nr.1.)

Mērķis – uzlabot tehnoloģiju ūdeņraža izotopu absorbcijai un evakuācijai kodoltermiskā reaktora divertorā

Sorbcijas desorbcijas iekārtas funkcionalitātes prasības

Sorbcijas desorbcijas iekārtai izgatavošanai zvēlētā tērauda marka reaktora aktīvajai zonai ir "*Stainless Steel 304l*" (*ASV standarts*). Sistēmai jābūt izturīgai pret agresīvām vielām, kā litijs, kas ir aktīvs sārmu metāls, un augstākās temperatūrās labprāt stājas dažādās aizvietošanas reakcijās ar citiem metāliem. Metālam jāsaglabā savas īpašības augstās temperatūrās - 800 $^{\circ}C$, tas nedrīkst oksidēties vai radikāli izmainīt savu struktūru (*karsējot*, *dzesējot*). Sistēmai jāiztur samērā ekstremāli apstākļi (- 800 $^{\circ}C$), tai laikā jāievēro dažādu metālu izplešanās koeficienti. Nedrīkst pieļaut hermētiskuma izmaiņas paaugstinot temperatūru, kas varētu rasties, bultskrūvēm izplešoties ātrāk nekā citām reaktora daļām. Sistēmai jābūt hermētiskai, lai nepieļautu tritija gāzes noplūdi, kā arī sasmērēšanos, ar radioaktīvo piesārņojumu vai tritija avotu beriliju. Tā sauktā, reaktora, kur atrodas šķidrais litijs, aktīvās zonas tērauda sieniņu biezumam jābūt pietiekošam, lai novērstu tritija caurspiešanās iespējas.

Reaktora aktīvajai zonai jābūt maksimāli vienkāršas konstrukcijas, lai tā saturētu pēc iespējas mazāk vītņoto detaļu, lai novērstu tritija iespiešanos vītnēs, kas apgrūtinātu tā izvadīšanu uz tritija detektoru. Sistēmai ir divvirzienu aktīvās zonas komunikācijas, tas ir, ir divi atsevišķi pieejas kanāli pie reaktora, no kuriem viens saistīts ar tritija detektoru. Reaktors ir viegli izjaucams un neliela izmēra, lai varētu ērti manipulēt hermētiskajā inertas gāzes boksā ar ierobežotu tilpumu, kā arī ir ērti pārvietojams. Svarīgs moments reaktora konstrukcijā ir tā tīrīšana un dezaktivācija pēc eksperimenta.

Efektīvākai reakcijai reaktora telpa ir cilindrveidīga, reaktors tiek rotēts vidēji ātrumu 2 – 3 apgriez. min-1. Tādā veidā, šķidrais litijs, kas slapina tērauda virsmu aptuveni ~400 $^{\circ}C$ saskaras ar tritiju.

Sistēma ir multifunkcionāla, tā konstruētā tā, ka ir iespēja vienlaicīgi karsēt litiju ar T_2 avotu vai arī pievienot atsevišķi sagatavotu sistēmu ar uzkrātu tritija. Tritija izdalīšanos un reakcija ar litiju pārtrauc atdzesējot reaktoru. Tritija avotu izkarsē atsevišķā kamerā (*nesaistītu ar reaktoru*), un pēc pietiekoša T_2 daudzuma iegūšanas, tritiju ievada reaktora tilpumā.

Izveidota tritija sorbcijas –desorbcijas šķidrā litijā iekārtas shēma, kas paredzēta 2 gadījumiem- tiešai tritija padevei šķidro litiju saturošā tritija sorbcijas- desorbcijas kamerā un pakāpeniska 2 pakāpju padeve. Abos gadījumos par tritija avotu izmanto neitronos starotas Be lodītes.

1. Izveidotā tritija sorbcijas -desorbcijas iekārta

Iekārta sastāv no vairākiem blokiem, par katru no tiem dotas shēmas, dots slēgumu un plānotā darba procesa apraksts.

Reaktora aktīvā zona kopā ar integrēto tritija iegūšanas kameru



Zīm 1.1. Reaktora aktīvās zonas uzbūve, iekļaujot tritija termiskās difundēšanas kameru no Be lodītēm.

A, B – reaktors izjauktā veidā; C – reaktors savienotā veidā

1 – reaktora aktīvā zona, 2- Be lodīšu kasete, 3 – tritija avots, 4 – tērauda sietiņš, 5 – Cu blīvējums, 6 – reaktora galva, 7, 8 – gāzu apmaiņas kapilāri, 9, 10 – kapilārus noslēdzošie vārsti.

Reaktora noslēgšana



Zīm. 1.2. Reaktora pilnīga noslēgšana A – nenoslēgts reaktors; B – pilnīgi noslēgts reaktors 1 – skrūves, 2 – blīvējuma paplākšņi, 3 – reaktora apakšējais atloks, 4 – bultskrūves, 5 – reaktora augšējais atloks, 6 – distanceri, 7 – centra balsts, 8 – centrs

Atsevišķā tritija iegūšanas kamera

Tritija gāzi izdala no lodītēm, kurās kodolreakciju rezultātā akumulēts tritijs, to veic atsevišķi no sorbcijas – desorbcijas iekārtas.



 $Z\overline{i}m$ 1.3. Iekārta tritija termiskai izdalīšanai atsevišķi no reaktora 1 – tērauda caurulīte, 2 – Be lodīte(s), 3, 4 – noslēdzošie vārsti

2. Eksperimenta norise

Eksperiments izmantojot integrēto Be lodīšu kameru

Reaktora sagatavošana un savienošana sk. zīm.1.1.)

Iekārtu ievietota hermētiskā, vakumētā un dearētā boksā, He atmosfērā. Noteiktu litija iesvaru ievieto reaktora aktīvā zonā (1). Be lodīšu kasetē (2) ievieto tritija avotu - vairākas neitronos starotas Be lodītes (3), un pašu kaseti ievieto reaktorā (1). Reaktoru savieno ar reaktora galvu (6), kur starp reaktora aktīvo zonu (1) un reaktora galvu (6) ir metāla (Cu vai misiņš) blīvējums (5). Pie reaktora aktīvās zonas ir divi gāzu apmaiņas pievadi (7), (8), kurus noslēdz noslēdzošie vārsti (9) un (10).

Reaktora saslēgšana (skat. Zīm.1.2.)

Savienoto reaktoru (skat. 1.1. att. C) noslēdz ar noslēdzošajiem atlokiem (3) un (5). Atloki saskrūvēti ar četrām nerūsējošā tērauda bultskrūvēm (1) un (4). Noslēdzošā atloka (5) centru (8), kas ir pievienots centra balstam (7), pievieno jebkurai rotācijas iekārtai (*maisītājam*).

Tritija sorbcija -desorbcija

Reaktoru (*skat. Zīm. 1.2.B*) ievieto mufeļkrāsnī un veic karsēšanu izvēlētā temperatūrā intervālā (*no 200 – 700* 0 C). Šajā laikā iekārtas telpā noris divi paralēlie procesi - tritija izdalīšana no *Be* lodītēm un tritija sorbēšanās (*reakcija*) ar šķidro litiju, pēc noteikta laika reaktoru izņem no mufeļkrāsns un ļauj tam atdzist.

Nosaka neizreaģējošā (*neabsorbētā*) tritija daudzumu. Pieslēdz reaktora pievada vārstam (9) (*skat. Zīm 1.1.*) tritija detektoru, bet vārstam (10) Ar gāzes pievadu. Atver abus vārstus. Caur vārstu (10) konstantā plūsmā laiž Ar, argons būdams smagāks par reaktorā esošo hēliju un tritiju, caur reaktora pievadu (7) (*skat. zīm. 1.1.*) izspiež abas gāzes uz tritija detektoru. Hermētiskajā boksā, izjauc reaktoru un izņem *Be* lodīšu kaseti. Atkārtoti saslēdz reaktoru.

Sorbcijas procesā ar litiju saistīto tritiju *LiT*, nosaka veicot *LiT* termisko sadalīšanu. Caur vārstu (10) izskalo reaktora telpu ar *He*, un reaktoru ievieto atpakaļ mufeļkrāsnī, karsē *LiH* sadalīšanās temperatūrā (~680 - 700 $^{\circ}C$). Pēc noteikta izkarsēšanas laika šoreiz neizņemot no mufeļkrāsns, atkārti veic tritija izpūšanu uz tritija detektoru.

Eksperiments izmantojot atsevišķo Be lodīšu kameru

Tritija izdalīšana atsevišķā blokā (skat. zīm. 1.3.)

Eksperimenta būtība ir tāda, ka tritiju izdala no *Be* lodītes atsevišķā iekārtā, atsevišķi no reaktora. Savas vienkāršās uzbūves dēļ, tas dod iespēju izkarsēt lodīti daudz augstākās temperatūrās (1000 + ${}^{0}C$), nekā to tehniski atļauj pats reaktors. *Be* lodīti (2) ievieto nerūsējošā tērauda "U" veida caurulītē (1), kur abos galos tā tiek noslēgta ar noslēdzošajiem vārstiem (3) un (4). Caurulītes "U" veida gals līdz pusei tiek ievietota mufeļkrāsnī un karsēta ap 1000 ${}^{0}C$, kur šajā laikā no *Be* lodītes efektīvāk un ātrāk tiek izdifundēts tritijs.

Reaktora sagatavošanu, savienošanu (skat. zīm. 1.1.)un **reaktora saslēgšanu** (skat. zīm. 1. 2) veic kā aprakstīts iepriekš aprakstīts.

Tritija ievadīšanu reaktora telpā veic pēc reaktora saslēgšanas, reaktora vienu vārstu (*vienalga*) pieslēdz vakumsūknim, un rada reaktora zonā maksimāli zemu retinājumu (*cik iespējams*). Izveido slēgto trauku sistēmu. Reaktora vienu no vārstiem (*skat. 1. att.*) ar cauruli savieno kopā ar vienu no tritija kameras vārstiem (*skat. zīm. 3.*). Caurulītes otrajam (*brīvajam*) vārstam pieslēdz *He* balonu, un atver attiecīgo vārstu, panākot He ieplūšanu "U"

veida caurulītē un spiediena pieaugumu tajā. Atver reaktora vārstu (*to kas saslēgs pie "U" caurulītes*) un "U" caurulītes otro vārstu. Notiek visu gāzu iesūkšana reaktora telpā. Reakcijas norise ir analoģiska veic karsēšanu līdz 300 - 400 C temperatūrā (nav nepieciešams posms par lodīšu izņemšanu) ⁰C notiek litija tritīda termiska sadalīšanās un nosaka tritija daudzumu.



IZVEIDOTĀS IEKĀRTAS FOTOATTĒLI



Zīm. 1.4. A - Sorbcijas – desorbcijas iekārta izjauktā stāvoklī B - Sorbcijas – desorbcijas iekārta darba stāvoklī C - Sorbcijas – desorbcijas iekārtas gāzu padeves pievadi pie aktīvās zonas 2. Mijiedarbības procesu izpēte uz litija un nerūsējošā tērauda SS316L kontaktvirsmas (Aktivitāte Nr.2)

Mērķis – izstrādāt tehnoloģiju šķidra litija un nerūsējoša tērauda matricas kontaktvirsmu slapināšanai

Uzdevums : Ar mikrostruktūras metodēm izpētīt litija slapināšanas iespējas pie 350°C speciāli konstruētā vakuuma kamerā, kur litija virsmai jabūtu absolūti tīrai.

1. Ievads .

Iepriekš pētot Li/SS316L kontaktvirsmas parādījām, ka nosacīti netīrs litijs pie 350° C tērauda virsmu praktiski neslapina. Process tika aktivizēts tikai pie temperatūras 500° C. Savukārt, litija tīras virsmas slapināšana pie 500° C ir ļoti laba, slapināšanas leņķis θ =0. Bet tā kā TIN tipa tokomaka tehnoloģiskās prasības ir saistās ar Li plūsmas organizēšanu pie pazeminātas temperatūras (Li iztvaikošanas dēļ,), bija svarīgi izpētīt litija slapināšanas iespējas pie 350° C. Pie tam eksperimenti veikti statikā (paraugs iemērkts litijā) un dinamikā (litijs plūst zem spiediena pa slīpu tērauda parauga virsmu).

2. Eksperimentālā daļa

Lai veiktu eksperimentus ar tīru šķidrā litija brīvo virsmu, LU Fizikas institūtā bija izstrādāts un izgatavots speciāls vakuuma stends, zīm. 2.1., kas ļauj iegūt vienmērīgu *Li* slāņa plūsmu pa tērauda SS316L pamatnes slīpo virsmu, un veikt eksperimentus pie dažādām temperatūrām – līdz 500 °C.





Zīm.2.1. Vakuuma stends A - stenda kopskats; B – stenda principiālā shēma

1 – paraugs; 2 – vakuuma kamera; 3 – trauks ar litiju (Li); 4 – parauga trauks; 5 – ksilola slēdzis; 6 – piltuve;7 – aukstā kamera ar šķidru slāpekli (N2); 8 – difūzijas vakuumsūknis; 9 – mehāniskais vakuumsūknis; 10 – balons ar argonu (Ar); 11 – līmeņrādis; 12 – tvertne ar litiju (Li); 13 – sildelements; P – vakuummetrs; T – termopāris; V1...V8 – ventiļi. Li tika karsēts speciālā tvertnē (12) un zem Ar gāzes spiediena padots kamerā (2), kur bija ievietots tērauda paraugs. Parauga temperatūra 350^o C , spiediens kamerā - tuvu 10⁻⁶mm Hg. Tērauda parauga virsma bija pulēta un attaukota. Vakuuma kamera un atsevišķi stenda mezgli bija iepriekš degazēti, karsējot tos pie temperatūras 500^oC. Tas nozīmē, ka tērauda virsma, kas pulēšanas rezultātā bija daļēji deformēta, izgāja atkvēlināšanas apstrādi. Slapināšanas process, strādājot ar eļļu pārklātiem Li/SS316L paraugiem, tika pētīts ar atoma spēka ASM (Veeco) un optiskiem mikroskopu Neophot 30, Eclipse L150 palīdzību.





В



С

Α

Zīm.2.2. Vakuumkamera ar instalētu tērauda paraugu A- kameras augsttemperatūras stikla vāks daļēji nobīdīts B- skats caur kameras stikla vāku C- ar litiju saslapināts tērauda paraugs

3.Rezultāti

Zīm.2. 3,a,b,c,d. parādīta Li pārklājuma struktūra statikā , kas iegūta pēc parauga atdzēšanas līdz istabas temperatūrai. Ir redzams, ka slapināšana ar Li pie 350⁰ C notiek- veidojas gan plāns (a), gan biezs (b) Li slānis. Biezajam slānim ir rupjāka struktūra un lielāka fāžu nevienmērība, daudz vietu, kur redzama Li mijiedarbība ar vides produktiem (b), Li₂O oksīdi (c) un arī vietas , kur slapināšanas nav, bet atrodas Li reakcijas pēdas ar citiem elementiem (d).



Zīm.2.3.a,b,c,d. Li pārklājuma mikrostruktūra iegūta pēc tā atdzēšanas no 350 ⁰ C līdz istabas temperatūrai

Analīze parādīja, ka šajā gadījumā notiek mijiedarbība Li ar keramikas virsmu, veidojas LiAlSi fāzes (d) kas traucē slapināšanas procesu 2. Tērauda paraugi pēc to apstrādes šķidra litija plūsmā





Šajā eksperimentā Li plūsma izplatās pa gandrīz vertikālo tērauda plakni. Varētu domāt, ka Li virsma būs ļoti tīra un slapināšanas process notiks ātri. Bet diemžēl plūsmu, kā tika konstatēts eksperimenta gaitā, ietekmē dažādi faktori: Li virsma nav ideāli tīra, tā satur netīrumus noskalotus no pievadcaurulēm, arī temperatūra (350^oC) nav pārāk augsta, jo litija plūstamība lielā mērā atkarīga tieši no temperatūras. Rezultātā, salīdzinot ar tērauda izejas austenīta struktūru, (Zīm. 4.a) lielāka daļa Li pārklājuma slapina tērauda virsmu loti labi, mēs neredzam izejošo graudaino tērauda struktūru, ka parādīts Zīm. 4.b. Savukārt vietām ir redzamas Li oksīdu pēdas (Zīm.4,c).

Slēdzieni

Veikto eksperimentu rezultātā konstatēts, ka tīra Li virsma slapina tēraudu jau pie 350°C. Bet ja gadījumā Li plūsmas konstrukcijas elementi nav ideāli tīri, litijam mijiedarboties ar sienas netīrumiem vai ar citām fāzem var veidoties Li kas ir nopietns šķērslis tērauda slapināšanai. Pie tādas relatīvi zemas temperatūras (350° C) Li virsmas tīrība spēle galveno lomu.

3. Optimālo parametru noteikšana litija plūsmai uz slīpas profilētas virsmas (Aktivitāte Nr. 3)

Uz rekonstruētā litija stenda ,zīm. 3.1. atskaites periodā tika mēģināts radīt plānu litija plūsmu gravitācijas spēku ietekmē uz slīpas nerūsējoša tērauda matricas, pie tam tas ātrumam bija jābūt tikai dažiem centimetriem sekundē.



Zīm.3.1. Stenda principiālā shēma

Matrica tika ievietota vakuumkamerā 45° leņķī pret horizontu un uzkarsēta līdz 350° C. Matricas izmēri - 50 x 50mm. Līdz 300°C uzkarsēts litijs pa inžektorā speciāli izurbtiem (0.2 mm diametrā un ar definētu soli) caurumiem tika padots uz matricas virsmas. Jāatzīmē, ka matricas virsma mehāniski bija apstrādāta, toties ar litiju nesaslapināta. Bija paredzēts, ka litijs eksperimenta gaitā vienmērīgi pārklās visu matricas virsmu un to pakāpeniski saslapinās. Diemžēl uzdevums tika atrisināts tikai daļēji. Visu matricas virsmu vienmērīgi pārklāt neizdevās, litija plūsma tecēja pa atsevišķiem celiņiem, lai gan tās ātrums bija tuvs prasītajam, zīm. 3.2. Laika gaitā litija virsma pārklājās ar plānu oksīda kārtu. Tas nozīmē, ka vakuumkamerā netika nodrošināts pietiekami dziļš vakuums.



Zīm. 3.2. Litija plūsmas formēšanās process uz neslapinātas nerūsējoša tērauda matricas

Pārskata -5 periodā veikto aktivitāšu rezultātā konstatēts:

- pirms litija padeves tērauda matricai jābūt saslapinātai;
- lai izslēgtu litija oksidēšanos eksperimentālajā kamerā jāpadziļina vakuums līdz 10⁻⁶mm Hg;
- jāizmaina inžektora konstrukcija;
- matricas leņķim attiecībā pret horizontu jābūt maināmam.

4. MHD procesu izpēte plūstoša Li slānī un priekšlikumu izstrāde magnētiska lauka iedarbes korekcija

(4. aktivitāte)





Zīm. 4. 1. Stenda principiālā shēma litija strūklas pētīšanai magnētiskā laukā

Saskaņā ar aktivitātes 4. plānotajiem darbiem Progresa pārskata 5 laika periodā tika turpināti elektromagnēta montāžas darbi (sk. Progresa pārskatu 4.) kā ari izstrādāta stenda tehniskā dokumentācija un izgatavoti atsevišķi stenda mezgli.

Secinājumi.

Projekta 166 Progresa pārskata 5 laika periodā 01.11.11. – 31. 01.12. darbi veikti saskaņā ar plānotajām aktivitātēm.

Projekta vadītājs

E. Platacis

Pielikums

Stenda referāts Latvijas Valsts Universitātes Cietvielu Fizikas Institūta 28. zinātniskajā konferencē

SLAPINĀŠANAS PROCESU IZPĒTE UZ *Li* UN TĒRAUDA SS316L KONTAKTVIRSMAS, IZMANTOJOT MIKROSTRUKTŪRAS ANALĪZI.

E.Platacis¹, F.Muktepāvela², A.Šiško¹, A.Sobolevs¹, A.Kļukins¹, A.Ziks¹

¹Latvijas Universitātes Fizikas institūts ²Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūts

Rezultāti

Mūsdienu kodolsintēzes iekārtu projektos liela uzmanība tiek pievērsta ar plazmu kontaktējošo divertora materiālu meklēšanai. Li ir viens no vadošajiem kandidātiem, ņemot vēra tā unikālas īpašības. Viena no galvenajām problēmām ir pilnas slapināšanas litijam ar tērauda pamatni iegūšana. Darba mērķis bija izpētīt slapināšanas procesus atkarībā no virsmas tīrības un temperatūras.





1 – paraugs; 2 – vakuuma kamera; 3 – trauks ar litiju (Li); 4 – parauga trauks; 5 – ksilola slēdzis; 6 – piltuve;7 – aukstā kamera ar šķidru slāpekli (N₂); 8 – difūzijas vakuumsūknis; 9 – mehāniskais vakuumsūknis; 10 – balons ar argonu (Ar); 11 – līmeņrādis; 12 – tvertne ar litiju (Li); 13 – sildelements; P – vakuummetrs; T – termopāris; V1...V8 – ventiļi.



Lai veiktu eksperimentus ar tīru šķidrā litija brīvo virsmu, LU Fizikas institūtā izstrādāta un izgatavota speciāla vakuuma iekārta, kas ļauj iegūt vienmērīgu *Li* slāņa plūsmu pa tērauda SS316L pamatnes slīpo virsmu, un veikt eksperimentus pie dažādām temperatūrām – līdz 500 °C.



- LU FI speciālā vakuuma iekārtā tīra Li virsma slapina tēraudu jau pie 350°C. Mikrostruktūras analīze parādīja, ka slapināšanas pirmo stadiju nodrošina ķīmiskā mijiedarbība Li ar tērauda graudu robežām. Litija plānajiem pārklājumiem (h<1µm) ir toti smalkgraudaina (d≈1-5µm) un vienmērīga struktūra.
- Tērauda oksīds sekmē slapināšanu, savukārt Li₂O nemijiedarbojas ar tēraudu un ir šķērslis slapināšanai. Slapināšanu ar netīro Li virsmu stimulē temperatūra, sakot no 450 °C.

Darbi velké saskaná ar ERAF projektu Nr. 2010/0262/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/176.