

## 1. Uvod

Vse načine črpanja plinov ali par iz prostora z lovljenjem njihovih molekul na hladne površine imenujemo kriočrpanje. Ime izvira iz grške besede "kryos", kar pomeni zamrznjen. Pojav kriočrpanja zajema zelo različne oblike: od enostavnih-vsakdanjih, ki jih opazujemo pri kondenzaciji vodne pare in pri tvorbi ledenih rož na hladni površini okenskih stekel v zimskem času, do črpanja v UVV sistemih z uporabo ohlajenega helija, ki kroži znotraj posebnih hladilnih površin. V industriji in raziskovalnih laboratorijih uporabljajo za doseganje vakuumu razne sisteme odprtega ali zaprtega ciklusa kriočrpanja.

Primer uporabe odprtega sistema predstavljajo različne oljne pasti pri difuzijskih črpalkah in sorpcijske črpalke, ki jih hladimo s tekočim dušikom pri temperaturi 77 K.

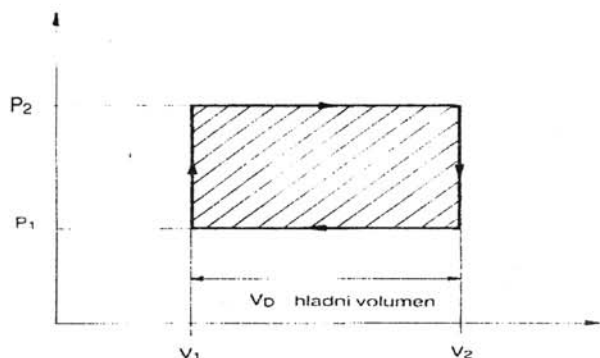
Med zaprte prištevamo vse tiste sisteme, ki uporabljajo kot hladilni medij freon ali helij. V vakuumski tehniki se je za kriočrpanje v zadnjem desetletju močno uveljavil zaprti sistem s plinskim helijem za eno in večstopenjske hladilnike. Zaprti sistem hlajenja je poznan že več kot sto let odkar ga je izumil škotski inženir A. Kirk. Kasneje so drugi avtorji kot Gifford in McMahon ter Turner in Hogan tak sistem za uporabo v vakuumski tehniki močno izpopolnili. /1/

## 2. Princip zaprtega sistema hlajenja

Osnova za razlago vseh hladilnih procesov so termodinamske krožne spremembe, ki obravnavajo dodajanje oz. odvzemanje dela in toplote nekemu sistemu.

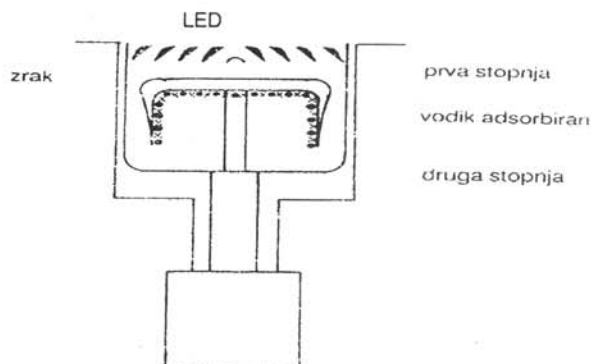
Hladilni cikel je sestavljen iz komprimiranja plinskega helija in odvajanja sproščene toplote, ki nastane pri kompresiji s pomočjo hladilne vode ali močnega zračnega hlajenja ter hitre ekspanzije (razširjanja) ohlajenega helija, kar povzroči še nadaljnje močno ohlajanje plina. Na sliki 1 je v pV diagramu prikazan Gifford-McMahonov cikel zaprtega sistema hlajenja /2/.

Kompresor in uparjevalnik (hladilna glava) sta lahko v enem kosu ali pa funkcijsko ločena dela. Pri večini vakuumskih kriočrpalk prevladujejo sistemi, pri katerih ima



Slika 1: Gifford-McMahonov cikel hlajenja s helijem

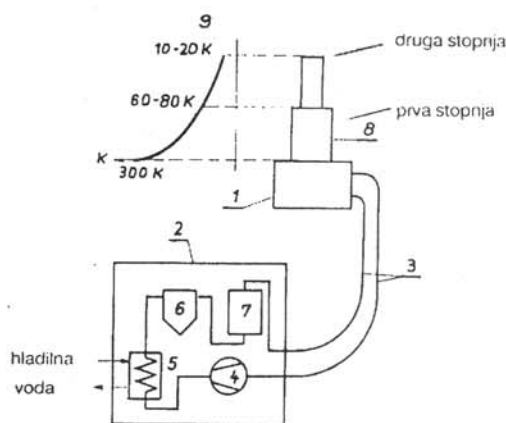
hladilna glava najmanj dve hladilni stopnji. Prva stopnja je ohlajena na temperaturo med 50 in 75 K in porablja 5 do 7 W hladilne moči ter druga stopnja s temperaturo cca 10 K, ki porablja 1 do 2 W hladilne moči. Kriočrpanje razdelimo v dva procesa in sicer kondenzacijo in sorpcijo.



Slika 2: Shema ohlajenih površin kriočrpalke

Shema prereza kriočrpalke, na sliki 2 prikazuje temperaturo na hladilnih površinah prve in druge stopnje ter hkrati mesta kondenzacije in sorpcije. Na prvi stopnji s temperaturo 50 do 75 K se črpa voda, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> in Ar. Na drugi stopnji, ki je (zaradi toplotnega sevanja) zgrajena tako, da ima notranjo stran prevlečeno s tanko plastjo aktivnega oglja, dosežemo temperaturo 10 K in tlak. Na tej površini poteka pretežno kriosorbpcija H<sub>2</sub> in He saj so ostali plini in pare (zaradi ustrezne konstrukcije) izčrpani že na prvi stopnji.

Cikel ohlajanja v kriočrpalki prikazan na sliki 3 poteka tako, da helij kot hladilni medij v kompresorju /4/ ki je ločen od črpalke, stisnemo na tlak 20 barov (2x10<sup>6</sup> Pa).



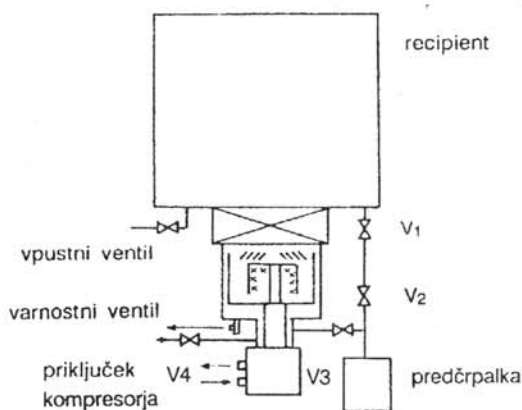
Slika 3: Sistem zaprtega ciklusa hlajenja v kriočrpalki; 1-hladilna glava, 2-kompresor, 3-gibljava cev, 4-kompresor za He, 5-hladilnik, 6-oljni separator, 7-adsorber za oljne pare, 8-hladilne površine, 9-temperaturni gradient na hladilni površini.

Zaradi stiskanja se plin ogreje, zato ga je potrebno ohladiti nazaj na sobno temperaturo s tekočo vodo ali zrakom /5/. Kapljice olja, s katerim je mazan kompresor, se iz helija izločijo na filtru v oljnem separatorju /6/.

Zadnje ostanke oljnih par v heliju odstranimo z aktivnim ogljem v adsorberju /7/. Stisnjen in ohlajen helij vodimo preko gibljive kovinske cevi do hladilne glave/3/. V hladilni glavi helij hipoma ekspandira na tlak 5 barov ( $5 \times 10^5$  Pa), zato se glava močno ohladi. Sistem za izmenjavo toplote doseže na hladnem koncu druge stopnje hladilne glave temperaturo 10 K, medtem ko je helij na vstopni in izstopni strani na sobni temperaturi /9/. Po ekspanziji teče nato helij skozi drugo gibljivo nizkotlačno cev nazaj v kompresor /4/ in tako se zaprti cikel ponavlja /3, 4/.

### 3. Vakuumski sistemi s kriočrpalko

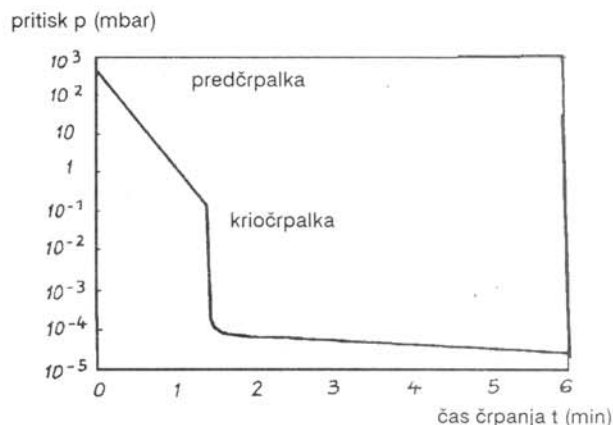
Pred obratovanjem kriočrpalke na vakuumskem sistemu je potrebno recipient in črpalko izčrpati z rotacijsko črpalko. Običajno zadostuje, da izčrpamo ves sistem na tlak okoli 0,01 mbar (1 Pa), predno vključimo kriočrpalko. Na ta način zmanjšamo izmenjavo toplote s sevanjem med ohišjem črpalke in hladnimi paneli. V praksi uporabljamo pri tem dvostopenjske rotacijske črpalke ter pasti za oljne pare, da preprečimo povratni tok oljnih par (back streaming) iz rotacijske črpalke v kriočrpalko. Na sliki 4 je shematsko prikazan tipičen visokovakuumski sistem opremljen s kriočrpalko. Ko se prične kriočrpalka ohlajati, kar lahko opazujemo na termometru, ki deluje na osnovi meritve tlaka vodika, ločimo kriočrpalko in vakuumsko posodo od rotacijske črpalke z ventilom V3.



Slika 4: Shema tipičnega visoko vakuumskega sistema s kriočrpalko

Kriočrpalka v zelo kratkem času, običajno nekaj minut, izčrpa sorazmerno velike volumne (cca 50 l) do tlaka  $10^{-7}$  mbar ( $10^{-5}$  Pa). Črpalna hitrost je odvisna od velikosti kriočrpalke; relativno je zelo velika in znaša za vodno paro in zrak več 1000 l/s. Na diagramu na sliki 5 je prikazan tipičen potek črpanja VV sistema.

Celotna količina izčrpanih plinov ostane ob koncu črpalnega ciklusa ujeta v kriočrpalki. Zato je potrebno črpalko občasno ustaviti in ogreti na sobno temperaturo ter regenerirati s pomočjo rotacijske črpalke. S tem postopkom obnovimo kapaciteto kriočrpalke. Čas, potreben za regeneracijo, je odvisen od tipa kriočrpalke in vrste plinov, ki jih je črpala.



Slika 5: Tipičen potek črpanja vakuumskega sistema z rotacijsko in krio vakuumsko črpalko

Pri izbiri kriočrpalke za doseganje VV ali UVV je potrebno upoštevati številne faktorje. Običajno izberemo kriočrpalko predvsem zato, ker omogoča zelo čiste ultravakuumske pogoje brez oljnih par ter zaradi velike črpalne hitrosti. Kriočrpalke delujejo v širokem področju tlakov od  $10^{-1}$  do  $10^{-10}$  mbar (1 do  $10^{-8}$  Pa).

Kriočrpalke pogosto uporabljajo tako v znanosti kot v industriji. Montaža črpalke je možna pod katerim koli kotom. Predčrpalka je potrebna le kratek čas ob startu. Kriočrpalko lahko za kratek čas tudi preobremenimo /5/.

### 4. Zaključek

Kriočrpalke med svojim delovanjem zadržujejo načrpane pline na hladnih površinah, pri ogrevanju jih oddajo in se regenerirajo. Uporabljamo jih za številne aplikacije predvsem pa za pridobivanje čistih vakuumskih pogojev kot npr.: v VV in UVV sistemih pri proizvodnji tankih vakuumskih plasti z naprevanjem in naprševanjem, ionski implantaciji, elektronski spektroskopiji (XPS), vakuumskih pečeh itd.

Ker črpalke nimajo gibljivih delov, so relativno neobčutljive za prah in poškodbe. Črpajo lahko tudi korozivne in toksične pline, ki jih je potrebno ob regeneraciji odstraniti iz črpalke. Črpalke za svoje delovanje ne potrebujejo tekočega dušika ampak le električni tok. Vzdrževanje črpalke je enostavno, ker nimajo gibljivih delov in ne uporabljajo olja. Njihova značilnost je velika črpalna hitrost za vodno paro in zrak, ki predstavljata pretežni del residualne atmosfere v recipientu.

### 5. Literatura

1. Kimo M. Welch and Cris Flegal, Elements of Cryopumping, VR-131 "Varian", Reprinted with permission from Industrial Research/ Development 1978
2. R. Frank, H.J. Forth, R. Heisig, H.H. Klein, A New Development of Refrigerators of High Operational Reliability for Use in Cryopumps Proceedings of the Eight Int. Vacuum Congress, Vol. II, p. 269-274, 1980
3. Refrigerator Cryopumps and Pumping Systems, Balzers Aktiengesellschaft, Fürstentum, LI. F-1-F-16

4. Basic of Cryopumping, Air Products and Chemicals, Inc. Allentown, PA, 1980, p. 1-29
5. Guy S. Venuti, Use of vibration - isolated cryopumps to improve electron microscopes and electron beam lithography units, J.Vac. Sci. Technol., A1(2), 1983, p. 237-240

Andrej Banovec, dipl.ing.  
Inštitut za elektroniko in  
vakuumsko tehniko  
Teslova 30, 61000 Ljubljana

## PLAZEMSKE TEHNOLOGIJE

### 1. Uvod

V zadnjem desetletju je bilo organiziranih nekaj deset mednarodnih konferenc, ki so bile posvečene problemom razvoja plazemskih tehnologij. Prva tovrstna konferenca je bila leta 1977 v Edinburgu pod imenom IPAT (Ion & Plasma Assisted Techniques). Doslej se jih je zvrstilo že sedem. Mednarodne konference s podobno vsebino so še ISIAT (Ion Sources and Ion Assisted Technology), ICMC (International Conference on Metallurgical Coatings) in PSE konferenca (Conference on Plasma Surface Engineering), ki je bila preteklo leto organizirana prvič. Glavne teme, ki jih obravnavajo na teh konferencah so:

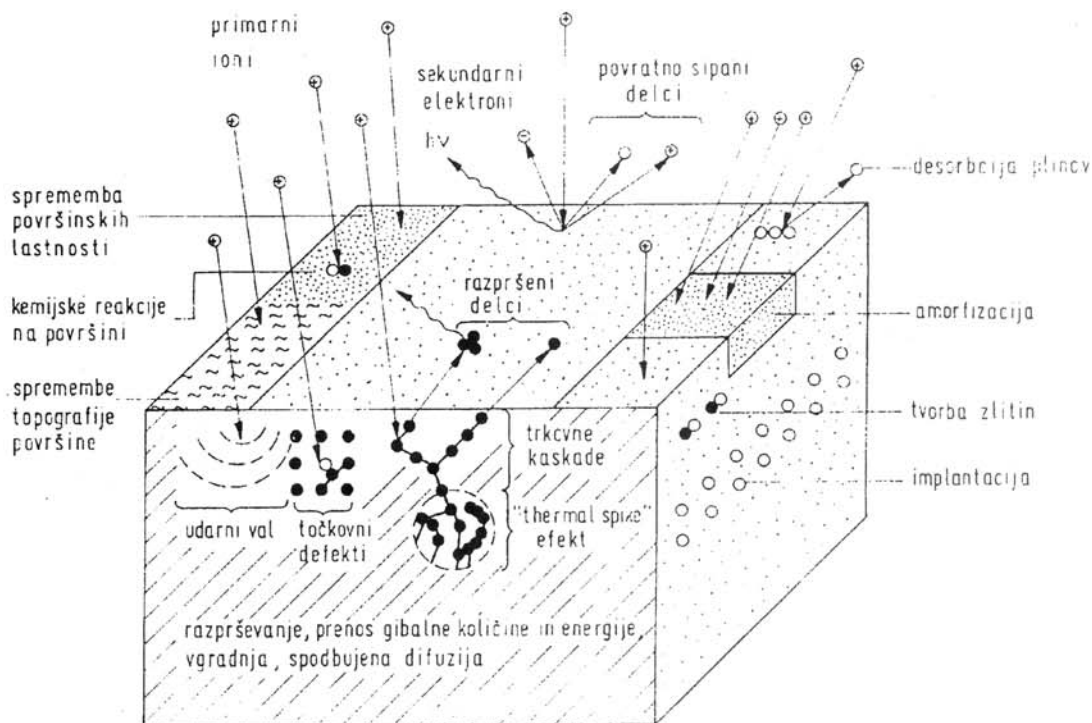
- \* fizika površin in interakcija plazme s površinami trdih snovi
- \* ionski izviri
- \* naprave za naprševanje, jedkanje in ionsko implantacijo
- \* plazemska kemija
- \* modifikacija materialov z ionskim curkom
- \* plazemska diagnostika

\* pospeševalniki

\* plazemske tehnologije v tribologiji (plazemsko nitriranje, trde zaščitne prevleke) in pri zaščiti materialov pred korozijskimi procesi itd.

Našteta tematska področja delno pokrivajo tudi vakuumske konference in konference s področja mikroelektronike.

Zanimanje raziskovalcev za plazmo je pogojeno s številnimi možnostmi njene uporabe. Tako je plazma lahko aktivacijski medij za različne fizikalno-kemijske procese. Delci v plazmi imajo visoko energijo, zato povzročajo vrsto različnih procesov, kot so disociacija, ekscitacija in ionizacija atomov ter molekul [1]. Vsi ti procesi znatno pospešujejo ali pa celo omogočajo potek kemijskih reakcij. Plazma je lahko tudi izvir najrazličnejših ionov, ki jim lahko poljubno izbiramo energijo in smer gibanja. Plazmo lahko ustvarimo z enosmerno, RF ali z mikrovalovno razelektrivijo. Do faznega prehoda v plazemsko stanje pride, če je povprečna energija sistema na delec istega velikostnega reda ali večja od vezavne energije elektronov v atomu. Najenostavnejši način za pripravo plazme je razelektritev med dvema elektrodama



Slika 1: Osnovni mehanizmi interakcije ionov s trdno snovjo