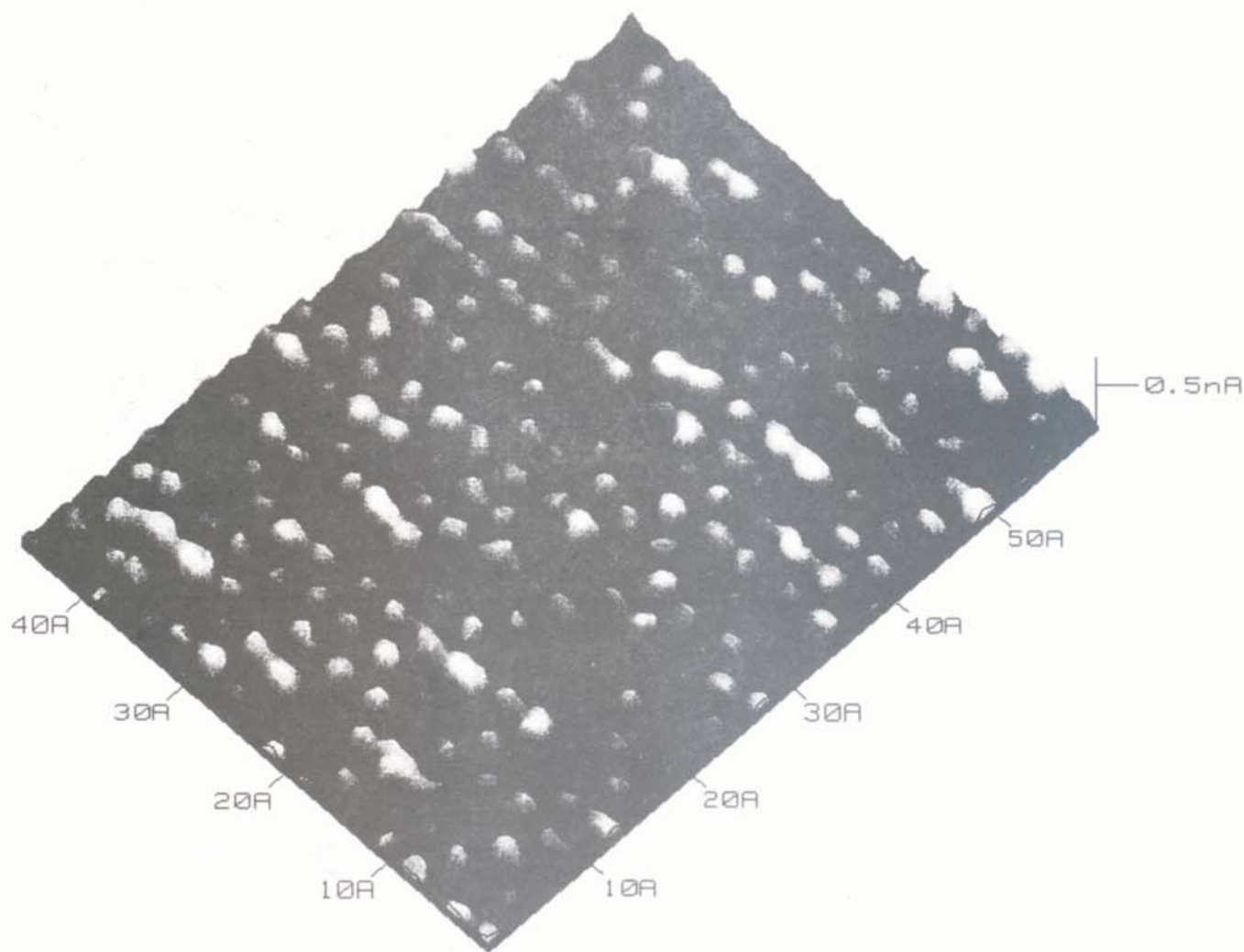


VAKUUMIST

GLASILO DRUŠTVA ZA VAKUUMSKO TEHNIKO SLOVENIJE

LJUBLJANA, MAREC 92

ŠT. 26, 1992/1



VSEBINA

- ☐ Tunelska mikroskopija (V. Marinković)
- ☐ Kemijski senzorji (J. Holz)
- ☐ Vakuumsko tesni laserski zvari (S. Spruk, M. Jenko, L. Koller, D. Railić)
- ☐ Reaktivno naprševanje (P. Panjan, A. Cvelbar)
- ☐ CF-spoji za vakuumске sisteme (A. Pregelj)
- ☐ Nasveti (J. Gasperič)
- ☐ Področja uporabe vakuumskih tehnologij
- ☐ Novice DVT Slovenije
- ☐ Obvestila

Slika na naslovni strani:

Topografska slika površine kristala NbS₂, narejena s tunelskim mikroskopom OMICRON v Laboratoriju za elektronsko mikroskopijo na Institutu "Jožef Stefan".

- ☐ VAKUUMIST
- ☐ Izdaja Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije
- ☐ Glavni in odgovorni urednik Peter Panjan
- ☐ Uredniški odbor: Andrej Banovec, Andrej Demšar, dr. Jože Gasperič (urednik za področje vakuumске tehnike in sistemov), dr. Monika Jenko (urednica za področje vakuumске metalurgije), dr. Alojzij Križman, mag. Vinko Nemanič, Andrej Pregelj, dr. Vasilij Prešern, mag. Bojan Povh, Borut Stariha in dr. Anton Zalar
- ☐ Lektorja: dr. Jože Gasperič in mag. Bojan Povh
- ☐ Naslov: Uredništvo Vakuumista, Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, Teslova 30, 61000 Ljubljana, tel. (061)267-341
- ☐ Grafična obdelava teksta Jana Štrušnik
- ☐ Grafična priprava in tisk Biro M, Žibertova 1, Ljubljana
- ☐ Naklada 400 izvodov,

TUNELSKA MIKROSKOPIJA

Dr. Velibor Marinković,

Oddelek za montanistiko FNT in Institut "J. Stefan", Univerza v Ljubljani

SCANNING TUNNELING MICROSCOPY

Povzetek

Tunelska mikroskopija je edina metoda, ki omogoča hkratni študij geometrijske in elektronske strukture površin. V članku so prikazane osnove metode in različni načini slikanja površin z atomsko ločljivostjo.

Abstract

Scanning Tunneling Microscopy is the only method which allows simultaneous studies of geometric and electronic structures of surfaces with atomic resolution. In this paper the basic features of the method and of various imaging modes are presented.

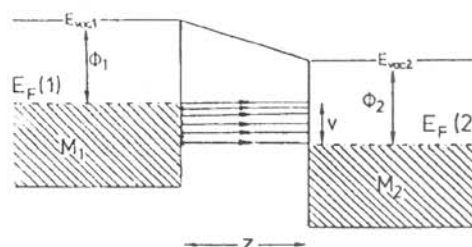
1. UVOD

Osnova za razumevanje lastnosti površin kristalnih snovi je poznavanje njihove kristalne in elektronske zgradbe. Zaradi prekinutve tridimenzionalne periodičnosti na površini kristala sta obe v splošnem drugačni kot v njegovi notranjosti. V zadnjih 20 letih so bile razvite številne metode za kristalografske raziskave in za študij elektronske strukture površin. Prve so v glavnem razne sipalne oz. uklonske metode, kot npr. elektronski uklon (LEED in RHEED), ki dajejo kristalografske informacije v recipročnem prostoru. Čeprav je s temi metodami mogoče določati tudi lege posameznih atomov v osnovni celici, pa so neproblematične predvsem za določevanje velikosti in simetrije površinskih osnovnih celic. Za študij elektronske strukture površin so na razpolago razne spektroskopske metode, kot npr. spektroskopija rentgensko vzbujenih fotoelektronov (XPS). Z nekaterimi spektroskopskimi metodami je sicer mogoče dobiti tudi podatke o načinu vezave posameznih vrst atomov na površini, to je o redu kratkega dosega, ne pa tudi o kristalografskem redu dolgega dosega. Obratno pa uklonske metode ne dajejo nobenih podatkov o elektronski strukturi površin. Ob tem je treba omeniti, da predstavljajo informacije, dobljene z uklonskimi in spektroskopskimi metodami, poprečje čez veliko število (v poprečju okrog 10^9) atomov na površini kristala.

Razvoj tunelskega mikroskopa (TM) v začetku osemdesetih let /1/, za kar sta Gerd Binnig in Heinrich Rohrer prejela l.1986 Nobelovo nagrado za fiziko, je odprl povsem nove možnosti študija kristalnih površin. Tunelski mikroskop ne omogoča le upodabljanje kristalne zgradbe prevodnih površin v realnem prostoru in z atomsko ločljivostjo, ampak tudi študij površinskih elektronskih stanj na polprevodniških kristalih, pri katerih obstaja tesna zveza med geometrijsko in elektronsko zgradbo. Izjemna ločljivost metode pa omogoča zbiranje obeh vrst informacij na specifičnih lokacijah znotraj posameznih površinskih osnovnih celic.

2. Fizikalne osnove

Fizikalni pojav, ki ga izrablja tunelski mikroskop je tuneliranje elektronov med dvema kovinskima elektrodama, ki ju ločuje ozka vakuumsko špranja ali zelo tanka plast izolatorja. Zaradi valovne narave elektronov pade njihova gostota na vrednost nič šele v razdalji nekaj desetink nm od površine kovine. Če torej dve kovini približamo na tako razdaljo, pride do znatnega prekrivanja njunih elektronskih oblakov tako, da potencialna razlika reda 0,1 V povzroči med njima tunelski tok reda nekaj nA. Kot prikazuje sl. 1, prispevajo k toku le elektroni, ki tunelirajo iz zasedenih stanj med $E_{F(1)}$ in $E_{F(1)} - V$ v elektrodi 1 v nezasedena stanja med $E_{F(2)}$ in $E_{F(2)} + V$ v elektrodi 2 (E_F je Fermijeva energija, V - napetost med elektrodama). Tunelski tok je odvisen od prekrivanja valovnih funkcij obeh elektrod v vakuumski špranji ali izolatorju in je torej odvisen od oddaljenosti elektrod in narave njunih elektronskih stanj.



Slika 1. Energijski diagram za kovinski elektrodi (M_1 in M_2), ločeni s tunelsko špranjo širine z (E_F -Fermijev nivo, ϕ -izstopno delo).

Najpreprostejši tunelski spoj je sendvič prevodnik-izolator-prevodnik, pri katerem je izolator navadno oksidna plast, dobljena z oksidacijo ene od elektrod. Gostota toka pri tuneliranju skozi tako planarno špranjo $/2/$ s poprečno višino potencialnega skoka ϕ je pri majhnih napetostih ($V < \phi$):

$$I \approx \frac{\sqrt{\phi}}{z} \cdot V \cdot \exp(-K \cdot z \sqrt{\phi}) \quad (1)$$

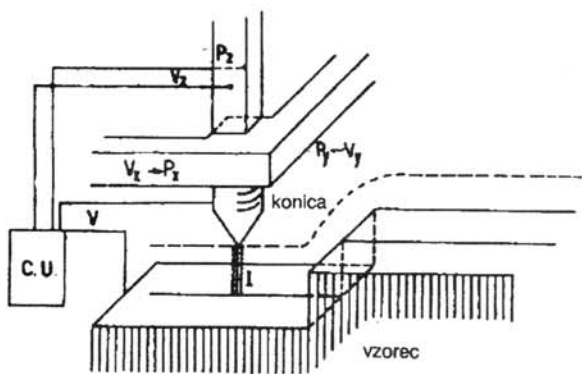
kjer so: z - širina tunelske špranje, $K=1,025$, ϕ - poprečna višina potencialnega skoka, ki je v prvem približku enaka poprečju izstopnih del obeh elektrod ($\phi = (\phi_1 + \phi_2)/2$) in je reda nekaj eV.

Pri večjih napetostih postane ϕ funkcija V . Pri neplanarnih špranjah in vezanih elektronskih gostote toka ne moremo več izraziti v tako preprosti obliki kot z enačbo (1), vendar pa je njena odvisnost od z in ϕ še vedno eksponentna. Zaradi vpliva gostote stanj obeh elektrod se spremeni tudi predeksponentni faktor.

Za delovanje TM je osnovnega pomena ekstremna občutljivost tunelskega toka od razdalje med elektrodama. Iz enačbe (1) sledi, da se pri povečanju razdalje za 0,1 nm tunelski tok zmanjša za velikostni razred. Če eno od obeh elektrod oblikujemo v ostro konico, bo zato tok tekel praktično le med vrhom konice in vzorcem. Pri idealno ostri konici, ki se konča z enim samim atomom, teče tunelski tok po kanalu s presekom atomskih razsežnosti tako, da je lateralna ločljivost tunelskega mikroskopa okrog 0,2 nm. Če je v tunelski špranji med konico in vzorcem vakuum, plin ali tekočina, lahko konico prosto premikamo nad površino vzorca. Spremembe tunelskega toka, ki jih pri tem registriramo, vsebujejo informacije o geometrijski in elektronski strukturi preiskovane površine. Zaradi eksponentne odvisnosti tunelskega toka od širine špranje so pri tem dosegljive vertikalne ločljivosti nekaj stotink nm ali celo boljše.

3. Izvedba

Načelna izvedba tunelskega mikroskopa je prikazana na sl. 2. V izvedbi na sliki je kovinska konica (navadno iz W ali Pt) nameščena na trinožniku iz piezoelektrične keramike, ki omogoča pomike reda 0,2 nm za $\Delta V = 1V$. S spreminjanjem napetosti V_x , V_y in V_z je mogoče konico voditi v treh med seboj pravokotnih smereh glede na vzorec. Po približanju konice površini na razdaljo ≤ 1 nm je njeno premikanje vzdolž smeri x in y računalniško krmiljeno s spreminjanjem napetosti V_x in V_y . Med vodenjem konice nad površino krmili tunelski tok napetost V_z tako, da ostaneta razdalja med konico in površino in s tem tunelski tok nespremenjena (mikroskopija pri konstantnem toku).



Slika 2. Shema tunelskega mikroskopa. S spreminjanjem napetosti V_x in V_y je mogoče voditi konico v ravnini, vzporedni s površino vzorca. Povratna zanka CU samodejno uravnava razdaljo z tako, da ostane tunelski tok konstanten.

Na ta način konica sledi podrobni topografiji površine, spremembe V_z (oziroma z) v odvisnosti od koordinat x in y pa so po ustrezni obdelavi prikazane na računalniškem zaslonu kot tridimenzionalna topografska slika površine. Glavni problemi pri tunelski mikroskopiji so: a) ostrina in fizikalna ter kemijska stabilnost konice in b) mehanska stabilnost širine tunelske špranje.

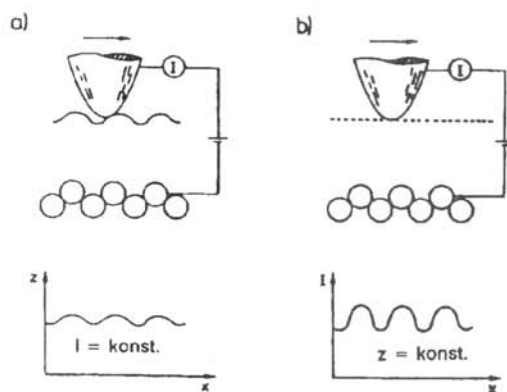
Kvaliteta konice je primarni faktor, ki določa lateralno ločljivost, medtem ko je vertikalna ločljivost odvisna od stabilnosti špranje. Ta je odvisna od vibracij, ki se prenašajo na tunelsko enoto iz okolice, ali nastajajo med mikroskopiranjem. Prve zmanjšamo z ustrezno izolacijo, druge pa s togostjo komponent in ustreznim električnim filtrom v kontrolni zanki za pomik konice, ki omejuje njeno gibanje na frekvence pod najnižjo mehansko lastno frekvenco.

4. Načini slikanja s TM

Iz doslej povedanega sledi, da s TM v osnovi merimo tunelski tok med konico in površino vzorca v odvisnosti od lege konice in tunelske napetosti: $I = f(x, y, z, V)$. Vendar je pri tem možna izbira različnih kombinacij parametrov, kar omogoča različne načine slikanja površin. Pri tem je treba upoštevati, da na tunelski tok in s tem na tunelsko sliko vplivajo širina tunelske špranje, ϕ in gostota površinskih elektronskih stanj. Ti vplivi so na sliki seveda superponirani, zato je eden osnovnih problemov pri interpretaciji TM slik ločitev informacij na sliki na topografske, kemijske in elektronske komponente.

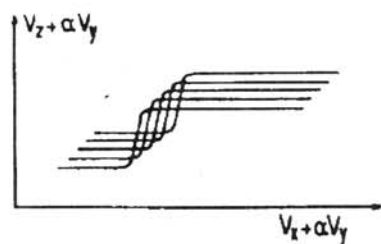
a) Topografske slike

Topografski način slikanja površin, pri katerem registriramo V_z oziroma $z = f(x, y)$ pri konstantnem tunelskem toku in ki je shematično prikazan na sl. 3a, smo v osnovi že spoznali. Prostorski videz takih slik (sl. 4) dosežemo s prikazom $V_z + \alpha V_y$ v odvisnosti od $V_x + \alpha V_y$, pri čemer je α primerno izbran utežni faktor.

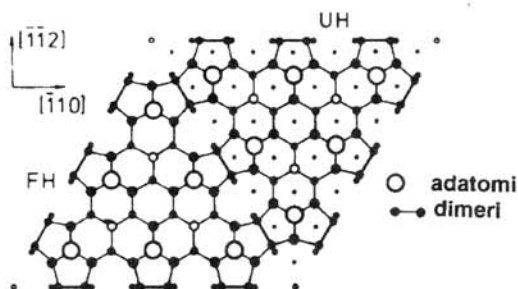


Slika 3. Slikanje površine a) pri konstantnem tunelskem toku z uporabo signala $z \approx V_z = f(x, y)$; b) pri konstantni višini konice z uporabo signala $I = f(x, y)$.

Ena prvih teorijskih obravnav tunelske mikroskopije [3] je pokazala, da je tunelski tok sorazmeren lokalni površinski gostoti stanj v bližini E_F na mestu tunelske konice. Posamezne krivulje na sl. 4 so krivulje konstantne gostote stanj nad površino preiskovanega vzorca. S TM torej ne merimo ali slikamo površinsko strukturo kristala, ampak njene elektronske lastnosti.



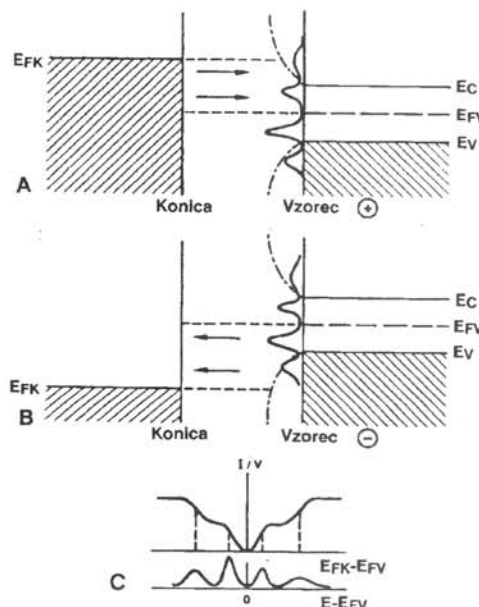
Slika 4. TM slika površine na sliki 2.



Slika 5. DAS model (b) osnovne celice Si(111)-(7x7). V polovici celice označeni s FH, je napaka zloga.

Za površine kovinskih kristalov je, zaradi njihove precej konstantne gostote stanj pri $E \approx E_F$ in neusmerjenih vezi, taka TM slika dejansko slika atomske strukture površine. Pomembno je tudi, da je taka topografska slika kovinske površine praktično neodvisna od spremembe tunelske napetosti. Interpretacija tunelskih slik $z(x,y)$ površin polprevodniških kristalov ni tako preprosta. Pri polprevodnikih z energijsko špranjo in valovnimi funkcijami, ki so pogosto lokalizirane na posameznih atomih oz. vezeh, je energija nekega stanja in njegova prostorska lokacija odvisna od kemijskega stanja in lege atomov na površini. Slika 6 prikazuje, kako tunelska napetost določa, katera stanja prispevajo k tunelskemu toku. Zato se lahko slike iste površine nekega polprevodniškega kristala, dobljene pri različnih tunelskih napetostih, znatno razlikujejo v posameznih podrobnostih. O tem bo več govora pri obravnavi tunelske spektroskopske slik.

Pri drugem načinu topografskega slikanja registriramo $I = f(x,y,z)$ (sl. 3b). Ta način, pri katerem je koordinata z konice fiksirana, širina tunelske špranje in tunelski tok pa se spreminjata v skladu z valovitostjo površine, je uporaben le pri atomsko gladkih površinah. Pri teh ni nevarnosti, da pri takem načinu vodenja konica trči ob površino. Hitrost potovanja konice je lahko do tisočkrat večja kot pri slikanju pri konstantnem toku, ki je počasnejše zaradi počasnega odziva piezoelementa "z". Velike hitrosti slikanja omogočajo študij raznih procesov na površinah v realnem času, pa tudi popačenja slike zaradi piezoelektričnega lezenja in termičnega lezenja vzorca so manjša.

Slika 6. Relativni energijski nivoji za vzorec a) na pozitivni in b) na negativni napetosti glede na konico. Slika (c) prikazuje zvezo med energijami površinskih stanj in skoki prevodnosti (E_{FK} in E_{FV} sta Fermijeva nivoja konice in vzorca, E -energija elektronov).

b) Meritve lokalnih sprememb potencialnega skoka na površini vzorca

Iz enačbe (1) sledi, da je tunelski tok odvisen tudi od višine potencialnega skoka ϕ . Vzemimo, da ima neko majhno področje na vzorcu drugačno atomsko sestavo kot okolica, s ϕ manjšim od ϕ okolice. Zato bo gostota tunelskega toka na tem področju večja kot v okolici. Pri slikanju topografije z metodo konstantnega toka se konica samodejno odmakne od površine vzorca, da ohrani konstanten tok. To povzroči seveda na sliki navidezno površinsko strukturo v obliki grbe. V preprostejših primerih lahko take navidezne strukture ugotovimo z meritvijo lokalne vrednosti ϕ . Zaradi zveze:

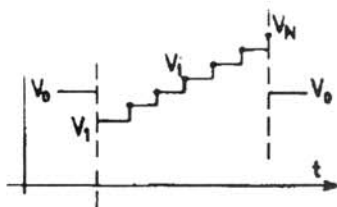
$$\frac{d \ln I}{dz} \approx \sqrt{\phi} \quad (2)$$

ki sledi iz enačbe (1), je mogoče take lokalne spremembe potencialnega skoka ugotoviti z merjenjem $d \ln I$ med hitro periodično modulacijo poprečne širine tunelske špranje $\bar{z}$ za dz . Obe vrsti podatkov - $z = f(x,y)$ in $d \ln I/dz$ - je mogoče zbrati istočasno. S primerjavo obeh slik je potem mogoče razlikovati prave topografske spremembe na površini od navideznih, ki jih povzročajo spremembe ϕ zaradi lokalnih razlik v kemijski sestavi površine /4/.

c) Tunelska spektroskopija in tunelske spektroskopske slike

Bilo je že omenjeno, da je interpretacija TM slik polprevodniških kristalov otežena, ker vplivata na tunelski tok geometrijska in elektronska struktura

površine. Za prikaz metod, ki do neke mere omogočajo razlikovanje teh dveh vrst prispevkov k sliki in za razumevanje informacij, ki jih pri tem dobimo, so najprimernejše rekonstruirane površine polprevodniških kristalov. Te nastanejo s preureditvijo atomov v eni ali več atomskih plasteh na površini kristala v konfiguracije z manjšim številom prostih vezi in vsled tega z manjšo površinsko energijo v primeri z nerekonstruirano površino. V večini primerov so parametri osnovnih celic takih površinskih rekonstrukcij mnogokratniki parametrov osnovnih celic kristalne podlage, pogosto pa so celice tudi zasukane za nek kot θ glede na podlago. Zato jih v splošnem označujemo kot rekonstrukcije $(n \times m)R\theta^\circ$. Tako se površina Si(111) po čiščenju z ionskim obstreljevanjem in kratkotrajnem prežarevanju pri 1200 K v ultravisokem vakuumu rekonstruira v površinsko superstrukturo (7x7), ki ima 49 krat večjo osnovno celico kot notranjost Si. Prva TM topografska slika z atomsko ločljivostjo je bila dobljena na taki Si(111)(7x7) površini /5/. Ta je pokazala, da med strukturnimi modeli, postavljenimi na osnovi rezultatov nizkoenergijskega elektronskega uklona, ustreza dejanski strukturi le tki. DAS model /6/. Po tem modelu (sl. 6) tvorijo Si atomi vzdolž robov rekonstruirane osnovne celice in njene krajše diagonale dimere (D). V vrhnji plasti celice je 12 tki. adatomov (A), v eni od obeh polovic celice pa je tudi napaka v zlogu (S) Si plasti. Oglišča celice so značilna po tem, da na njih ni adatomov. Na TM topografski sliki take rekonstrukcije so vidni le adatomsi Si (sl. 9b), zato so osnovne celice zlahka razpoznavne po manjkajočih adatomih na ogliščih.



Slika 7. Shematični prikaz časovne sekvence pri slikanju tunelskih spektroskopskih slik. Povratna zanka vzdržuje konstanten tunelski tok I_0 le v časovnem intervalu pred prvo črtkano črto.

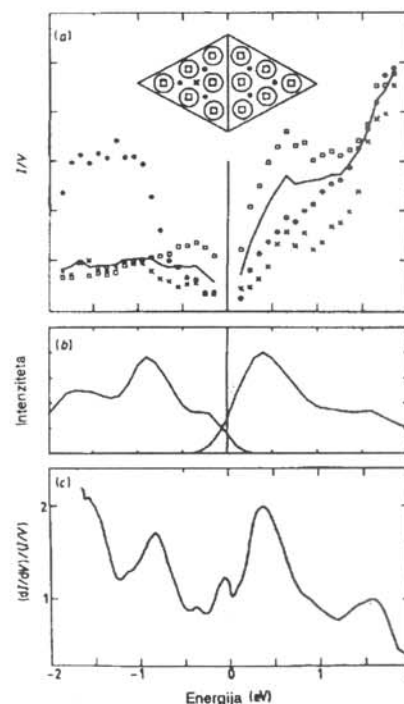
Najenostavnejši način za prikaz površinskih stanj, ki pripadajo različnim komponentam take rekonstruirane površine, so TM topografske slike $z(x,y)$ pri različnih tunelskih napetostih. Pri tem izrabljamo dejstvo, da pri izbrani napetosti prispevajo k tunelskemu toku le elektronska stanja med Fermijevimi nivoji konice in vzorca. To je shematično prikazano na sl. 6 za energijske nivoje kovinske konice in polprevodniškega kristala. V prepovedanem pasu polprevodnika so dodatni energijski nivoji zaradi površinskih strukturnih posebnosti. Na shemi (a) je vzorec pozitiven glede na konico tako, da tečejo elektroni iz zasedenih stanj pod E_F konice v nezasedena stanja nad E_F polprevodnika. Na shemi (b) je vzorec negativen in elektroni tečejo iz zasedenih stanj pod E_F polprevodnika v nezasedena stanja nad E_F konice.

Pri pogojih na sl. (a) opazujemo nezasedena stanja, na sl. (b) pa zasedena stanja na polprevodniški površini. Med večanjem napetosti naraste tunelski tok pri vsakem prehodu Fermijevega nivoja konice čez novo elektronsko stanje vzorca. Zato se pri meritvah tunelske prevodnosti I/V v odvisnosti od V odrazijo površinska stanja kot skoki prevodnosti. Napetosti, pri katerih skoki nastopijo, so sorazmerne energijam površinskih stanj glede na Fermijev nivo vzorca.

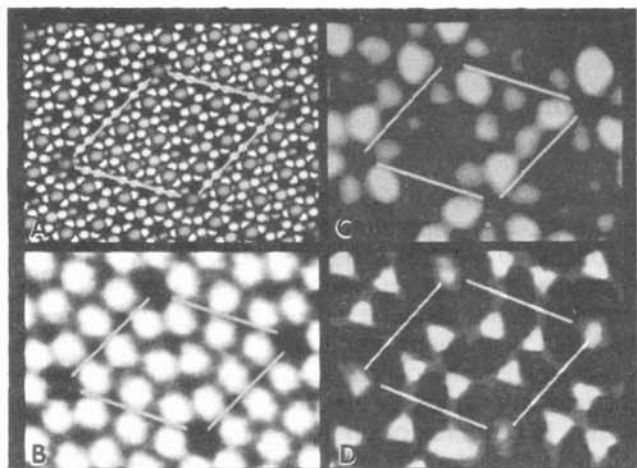
Možnost tunelske spektroskopije (TS) - meritev energijskih nivojev in gostote površinskih stanj - s tunelskim mikroskopom je izrednega pomena. To je edina metoda, ki zmora prikazati variacije v porazdelitvi gostote stanj na kristalni površini z atomsko ločljivostjo. Zato je tudi v veliko pomoč pri interpretaciji topografskih $z(x,y)$ slik, saj omogoča razlikovanje med strukturnimi in elektronskimi komponentami kontrasta na sliki. Podatke o lokalni gostoti stanj $N(r,E)$ dobimo iz meritev tunelske prevodnosti I/V , saj velja:

$$N(r,E) \approx d \ln I / d \ln V \quad (3)$$

Z meritvami gostote stanj na izbranih lokacijah $N(r=r_0,E)$ je mogoče določiti energijske nivoje površinskih stanj (LTS - lokalna tunelska spektros-



Slika 8. a) Tunelska prevodnost (I/V), izmerjena na posameznih atomih v osnovni celici Si(111)-(7x7): o - adatom, ● - rest-atom, x - centralno mesto. b) površinska stanja na Si(111)-(7x7), ugotovljena s fotoemisijo in inverzno fotoemisijo. c) izpoprečeni tunelski spektri s slike (a) (7).



Slika 9. a) Model površine $\text{Si}(111)-(7 \times 7)$; b) topografska slika nezasedenih stanj; c) spektroskopska slika zasedenih stanj na adatomih; d) zasedena stanja na tki. rest-atomih.

kopija) in prikazati prostorsko porazdelitev lokaliziranih stanj $N(r, E \approx E_0)$ na tunelsko spektroskopskih slikah.

Za slikanje takih spektroskopskih slik je najustreznejša tki. metoda CITS (Current Imaging Tunneling Spectroscopy) [7]. Pri tej metodi krmili povratna zanka "z" piezoelement le približno 25% časa zadrževanja na posamezni točki med vodenjem konice nad vzorcem. V tem času sta tunelski tok in napetost konstantna (I_0 , V_0), signal V_z pa je uporabljen za navadno topografsko sliko površine $z(x,y)$. Med preostalim časom, ko je zaradi prekinjene povratne zanke "z" lega konice fiksirana pri vrednosti, ki ustreza I_0 , pa instrument izmeri v nekaj milisekundah karakteristiko I-V pri več vrednostih napetosti v primernem intervalu v okolici V_0 , kot je to shematično prikazano na sl. 7. S takim postopkom dobimo med vodenjem konice nad površino vzorca poleg topografske slike $z(x,y)$ še po eno spektroskopsko sliko $I_i(x,y)$ za vsako izbrano vrednost V_i .

Eden od možnih načinov prikaza spektroskopskih podatkov je v obliki I/V karakteristik, posnetih pri fiksnih x,y in z . Na sl. 8 so primerjane (a) tunelske prevodnosti, izmerjene na različnih atomih v celici (7×7) , z gostotami površinskih stanj, izmerjenimi s fotoemisijo (PES) in inverzno fotoemisijo (IPES) (b) in s tunelskimi spektri, izpoprečenimi po površini $\text{Si}(111)$ (c). Očitne so znatne razlike med lokalnimi prevod-

nostmi na diagramu (a). Skoki na krivuljah prevodnosti ustrezajo površinskim stanjem, ki so znana iz PES in IPES meritev. Primerjava teh rezultatov je omogočila prvič identificirati strukturne lokacije teh površinskih stanj [8]. Poleg tega je iz CITS podatkov mogoče izračunati diferenčne tokovne slike $\Delta I_{V_i, V_j}(x,y)$, pri tem sta V_i in V_j tunelski napetosti tik nad opaženim skokom prevodnosti oziroma pod njim. Na sl. 9 je to prikazano za $\text{Si}(111)-(7 \times 7)$. Diferenčna slika med E_F in $-0,35$ eV na sl. (c) prikazuje zasedena stanja, locirana na tki. adatomih, med $-0,6$ in $-1,0$ V, na sl. (d) pa zasedena stanja na tki. rest-atomih. Na sl. (b) je topografska slika nezasedenih stanj pri $+2V$, na sliki (a) pa model celice $\text{Si}(111)-(7 \times 7)$. Ta stanja pripadajo osemnajstim od devetnajstih prostih vezi v celici 7×7 , devetnajsta prosta vez je locirana na praznini v oglišču osnovne celice [7].

Velika prednost metode CITS je, da se vse spektroskopske informacije dobijo hkrati tako, da lezenje vzorca in nestabilnosti konice ne povzročajo problemov. Medtem ko so na topografskih posnetkih pri konstantnem toku in pri različnih napetostih zajeta vsa stanja med Fermijevim nivojem in eV, kjer je V tunelska napetost, pa omogoča metoda CITS, da dobimo informacijo o gostoti stanj v poljubnem energijskem intervalu.

5. Zaključek

Glede na opisane mikroskopske in spektroskopske zmogljivosti je razumljivo, da je tunelski mikroskop postal nepogrešljiv pripomoček za študij strukture in elektronskih lastnosti površin. O tem pričajo številni novi rezultati, ki jih ne bi bilo mogoče dobiti z nobeno drugo metodo. Predstava o zmogljivostih TM pa ne bi bila popolna, če ne bi vsaj omenili možnosti njegove uporabe kot orodja za ciljno manipulacijo topografije površin v atomskih razsežnostih.

Literatura:

- /1/ G. Binnig, H. Rohrer, *Helv. Phys. Acta* 55, 726 (1982).
- /2/ J. Simmons, *J. Appl. Phys.* 34, 1793 (1963).
- /3/ J. Tersoff and D.R. Hamann, *Phys. Rev. B* 31, 805 (1985).
- /4/ J.S. Villarubia and J.J. Boland, *Phys. Rev. Lett.* 63, 306 (1989).
- /5/ G. Binnig, H. Rohrer, C. Gerber and E. Weibel, *Phys. Rev. Lett.* 50, 120 (1983).
- /6/ K. Takayanagi, Y. Tanishiro, M. Takahashi and S. Takahashi, *Surf. Sci.* 164, 367 (1985).
- /7/ R.M. Tromp, R.J. Hamers and J.E. Demuth, *Science* 234, 404 (1986).
- /8/ F.J. Himpsel and Th. Fanster, *J. Vac. Sci. Technol. A* 2, 815 (1984).

KEMIJSKI SENZORJI

Dr. Janez Holc, Institut "Jožef Stefan", 61111 Ljubljana, Jamova 39

CHEMICAL SENSORS

Povzetek

V članku je podan literaturni pregled nekaterih kemijskih senzorjev na osnovi trdnih elektrolitov in polprevodnih materialov. Opisani so principi delovanja, materiali in lastnosti senzorjev kisika, vlage, vodika, SO₂, CO₂ in klora.

Abstract

This paper reviews the area of solid state chemical sensors based on semiconducting and solid electrolyte materials. The principles, materials and performance of oxygen, humidity, hydrogen, carbon and sulfur dioxide and chlorine sensors are covered.

1 UVOD

Osnovni princip delovanja senzorjev je spreminjanje transportnih parametrov v senzorskem materialu, ko so ti izpostavljeni termičnim, radiacijskim, mehanskim, električnim, magnetnim ali kemijskim spremembam. V članku so opisani kemijski senzorji, ki postajajo vse pomembnejši pri kontroli kemijskih procesov, meritvah onesnaženja kot tudi v vsakodnevnem življenju. Kemijski senzorji merijo koncentracijo plinov v zmeseh, kot npr: O₂, CO₂, CO, H₂O, H₂, NH₃, NO, NO₂, H₂S, AsH₃, PH₃, alkoholov, aminov, ogljikovodikov itd. Uporabljajo se tudi za merjenje koncentracij ionov H⁺, Cu⁺, Ag⁺ itd. v raztopinah.

Težko je naštetati vse kemijske senzorje, ki jih po svetu izdelujejo, še težje pa bi našteali vse raziskave z namenom, da bi naredili primerene materiale za detekcijo različnih plinov, ionov in molekul. Osnovno vprašanje, ki nastane ob odkritju novega materiala za kemijski senzor, je, ali ta reagira tudi na spremembe drugih sestavin, ki so prisotne v mernem sistemu. Lep zgled za to je SnO₂ senzor. Reagira namreč na veliko večino reducirajočih plinov. Težava pa je, kako izdelati tak senzor in določiti pogoje njegovega delovanja, da bo reagiral le na spremembe koncentracije določenega plina, npr. fosfina.

Kemijske senzorje, izdelane iz trdnih materialov (ang. solid state sensors), razdelimo v dve skupini: polprevodniške in elektrokemijske. Prvi so izdelani iz tehle materialov: SnO₂, ZnO, TiO₂, Nb₂O₃, WO₃, SrTiO₃. Pod vplivom kemijskih sestavin se tem materialom spremeni električna prevodnost. Bistveni del elektrokemijskih senzorjev je ionsko prevoden trdni elektrolit. Elektrokemijske senzorje delimo še na galvanske in amperometrične. Pri galvanskem tipu je napetost oz. gonilna sila proporcionalna razliki koncentracije merjene komponente na obeh straneh elektrolita. Napetost galvanskega člana opišemo z Nernstovo enačbo:

$$E = (RT/zF) \cdot \ln(X_1/X_2) \quad (1)$$

kjer je E - napetost galvanskega člana, R - plinska konstanta, T - temperatura v K, z - število elektronov, ki sodeluje v elektrokemijski reakciji, F - Faradayeve konstanta, X₁ in X₂ pa deleža merjene komponente ali parcialna tlaka plina na eni in drugi strani trdnega elektrolita. V primeru amperometričnega senzorja pa na elektrokemijsko celico priključimo električno napetost in merimo tok skozi trdni elektrolit. Mejni tok skozenj je proporcionalen koncentraciji merjene komponente in ga lahko opišemo z naslednjo relacijo:

$$I_{lim} = n \cdot F \cdot D \cdot (Q/l) \cdot p_x \quad (2)$$

kjer so I_{lim} - mejni tok skozi elektrolit, n - število elektronov, ki sodeluje v elektrokemijski reakciji, D - difuzijska konstanta merjene komponente v tem sistemu, Q, l - efektivni presek in dolžina difuzijske poti skozi zaporo, ki je nad eno elektrodo, p_x - delni tlak merjene komponente.

Za izdelavo senzorjev se uporabljajo debeloplastne in tankoplastne tehnologije. Če je senzorski material tanek, hitreje reagira na spremembe koncentracije merjene sestavine. Te tehnologije obenem omogočajo integracijo senzorja z merilno elektroniko. Senzor prihodnosti bo integriran z elektroniko v taki meri, da ga bo mogoče priključiti direktno na računalnik.

Klasičen zgled je kemijski senzor kisika, ki je poleg SnO₂ senzorja že dobil svoje mesto v vsakdanjem življenju.

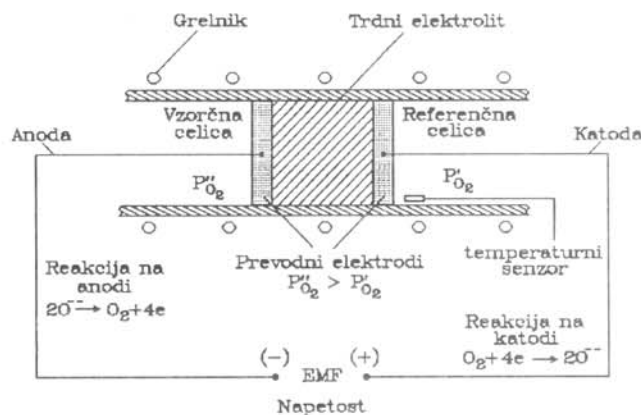
2 SENZORJI

2.1 Senzor kisika

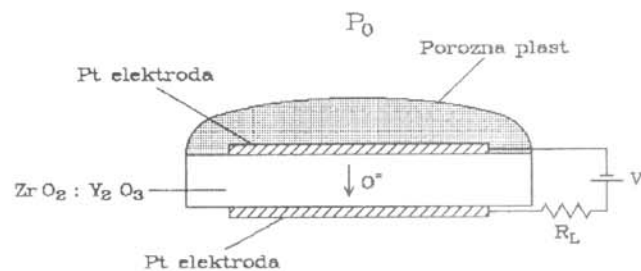
Vsak slovenski avtomobilist se v letošnjem letu sprašuje, kako se bom vozil na Zahod, če bodo prepovedali vožnjo z avtomobili brez katalizatorja. Del tega sistema, ki ga sedaj večina slovenskih avtomobilov nima, je senzor kisika ali popularnejše: lambda sonda. Le-ta meri koncentracijo kisika v izpušnih plinih, krmilna elektronika pa glede na izmerjeno vrednost povratno uravnava sestavo zmesi gorivo/zrak v uplinjaču.

Senzorji kisika delujejo po dveh principih. Prvi tip senzorja je elektrokemijska celica s trdnim elektrolitom, drugi pa je polprevodniški element. Pogostejše uporabljamo prvega. Osnova senzorja je ZrO₂ trdni elektrolit /1/. ZrO₂ postane pri povišani temperaturi ionsko prevoden, vendar je prevodnost čistega ZrO₂ dokaj majhna. Le-ta se poveča s dodatkom MgO, CaO ali Y₂O₃ /2/. Dodatek Y₂O₃ sicer najbolj poveča ionsko prevodnost, vendar je tudi najdražji. Temperatura delovanja elektrokemijske celice s ZrO₂ trdnim elektrolitom se giblje od 400 do 1200°C, kar je odvisno od vrste in količine dodatka. Elektrokemijska celica s trd-

nim elektrolitom lahko deluje kot galvanski člen (galvanski tip senzorja kisika) ali pa na celico priključimo napetost (amperometrični tip). Oba tipa sta shematsko prikazana na slikah 1 in 2.



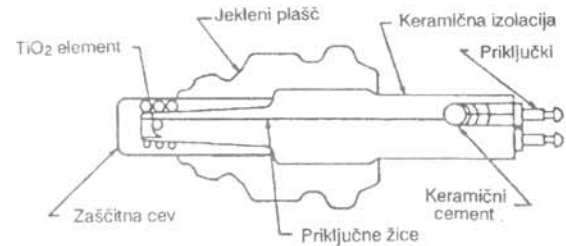
Slika 1: Galvanski tip senzorja kisika s trdnim elektrolitom



Slika 2: Amperometrični tip senzorja kisika s trdnim elektrolitom

Galvanski tip senzorja kisika potrebuje za delovanje referenco, ki je navadno zrak. Iz izmerjene napetosti galvanskega člena se po Nernstovi enačbi (enačba 1) direktno izračuna parcialni tlak kisika v merjenem plinu. Senzor je uporaben v zelo širokem področju koncentracij kisika: od 100 do 10^{-20} %. Amperometrični senzor ne potrebuje reference in je zato preprosteje izdelan, toda pred uporabo ga moramo umeriti. Tok skozenj je odvisen od napetosti in lastnosti difuzijske zapore (enačba 2). Območje delovanja senzorja je odvisno od lastnosti difuzijske zapore, čim večja je njena prepustnost, tem manjše koncentracije lahko merimo.

Polprevodniškemu tipu senzorja se s parcialnim tlakom kisika spreminja električna prevodnost. Za izdelavo senzorskega elementa uporabljamo naslednje materiale: TiO_2 /3/, Ga_2O_3 /4/ ali SrTiO_3 /5/. Senzor je izdelan zelo preprosto: sestavljen je iz senzorskega materiala in dveh elektrod. Z zmanjševanjem parcialnega tlaka kisika se povečuje koncentracija kisikovih vrzeli v materialu, zato se poveča električna prevodnost. TiO_2 polprevodniški senzor kisika je shematsko prikazan na sliki 3.



Slika 3: Polprevodniški TiO_2 kisikov senzor

Prednost tega senzorja pred tistim s trdnim elektrolitom je izredna preprostost ter, kar je v primeru uporabe v avtomobilih pomembno, odpornost na onesnaženje s svincem. Siemens razvija novo generacijo polprevodniških senzorjev kisika na osnovi SrTiO_3 /5/. Senzorska plast je napršena na korundno podlogo, debela je le okoli enega mikrometra. Prednost pred klasično lambda sondo ZrO_2 tipa je izredno kratek odzivni čas (nekaj milisekund), pri ZrO_2 tipu pa je okoli 1 sekunde. Zaradi izredno kratkega odzivnega časa lahko meri vsebnost kisika npr. v avtomobilih v vsakem ciklu in v vsakem valju posebej. To pa pomeni nadaljnjo optimizacijo izgorevanja in še manjše onesnaženje okolja.

Za izdelavo senzorjev kisika uporabljajo različne tehnologije: od uporabe kompaktnega trdnega elektrolita v obliki cevi in epruvet do debeloplastne tehnologije tiskanja posameznih elementov. Smer razvoja je miniaturizacija, zato vse česče uporabljajo debeloplastno in tankoplastno tehnologijo, ki omogoča integracijo senzorja z merilno elektroniko.

Značilne uporabnosti senzorjev kisika so: avtomobili, kurišča na tekoča in plinska goriva, kontrola vsebnosti kisika v industrijskih procesih, npr. v jeklarski industriji.

2.2 Senzor vlage

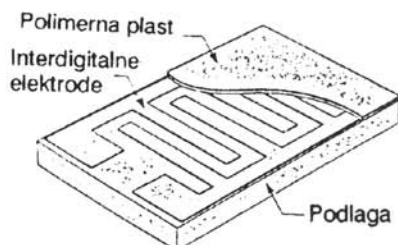
Senzorji vlage so pomembni na mestih, kjer je potrebno kontrolirati vlažnost. Ta so: industrijski procesi in človekov komfort bivanja. Na primer, vsak videorekorder je že opremljen s senzorjem vlage, ki prepreči vklop naprave, ko je vlažnost blizu rosišča, saj bi kapljice vode lahko poškodovale magnetni trak in magnetno glavo.

Navadno senzorji vlage merijo relativno vlažnost, to je razmerje med delnim in nasičenim parnim tlakom vodne pare pri določeni temperaturi. Signal iz senzorja je proporcionalen relativni vlažnosti in ga podajamo v procentih R.H. (relative humidity - relativna vlažnost).

Za izdelavo senzorjev vlage uporabljamo različne materiale, npr. polimerne materiale, Al_2O_3 , LiCl , MgCr_2O_4 , $\text{TiO}_2 - \text{V}_2\text{O}_5$, $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{TiO}_3$ itd. /6/. Skoraj večina do sedaj razvitih senzorjev vlage je izdelanih iz polimernih materialov. Manj znana je generacija keramičnih senzorjev vlage. Dobri naj bi imeli tele lastnosti: veliko občutljivost, reverzibilnost, hiter odzivni čas, dolgo življenjsko dobo, selektivnost ter

kemijsko in termično stabilnost. Tem pogojem v večini primerov zadostijo keramični senzorji vlage. To so porozni keramični materiali, katerim se zaradi adsorpcije vodne pare na površini spreminja električna prevodnost ali dielektričnost. Glede na prevladujoč proces prevajanja razlikujemo senzorje vlage z ionsko in elektronsko prevodnostjo /4/. $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{TiO}_3$ tip spada med elektronske in ima pred ionskimi (npr. TiO_2) prednost, da ni občutljiv na spremembe koncentracije nekaterih drugih plinov, kot npr. CO_2 .

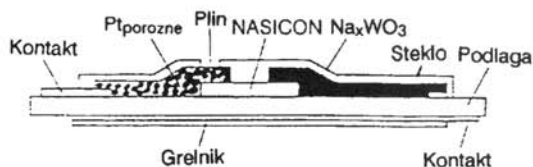
Na sliki 4 je prikazan tipičen senzor vlage, izdelan iz polimernih materialov, podobno konfiguracijo pa imajo tudi keramični. Nad spodnjima interdigitalnima elektrodama je plast poroznega senzorskega materiala. Ker lahko pride pri večji vlažnosti in onesnaženi atmosferi do ireverzibilnih sprememb v senzorski plasti, imajo keramični senzorji izdelan še grelnik, ki občasno segreje senzor na okoli 400°C , da se na ta način regenerira.



Slika 4: Senzor vlage

2.3 Senzor vodika

Podobno kot za kisik je tudi senzor vodika elektrokemijska celica s trdnim elektrolitom. Napetost galvanskega člena je odvisna od reakcij na elektrodah. Kot trdni elektrolit uporabljajo najpogosteje naslednja materiala: NASICON ($\text{Na}_3\text{Zr}_2\text{Si}_2\text{PO}_{12}$) /7/ ali BaCeO_3 /8/. Oba sta protonski prevodnika. Na sliki 5 je prikazana shema senzora vodika, izdelanega v debelo-plastni tehnologiji.



Slika 5: Senzor vodika

Temperatura delovanja takega senzora je okoli 200°C , zato je na drugi strani podloge natisnjen grelnik. Senzor je uporaben za merjenje koncentracij vodika v območju od 100 ppm do 100 %.

2.4 Senzor CO_2 in SO_2

Senzorja za CO_2 in SO_2 sta galvanskega tipa in imata kot trdni elektrolit NASICON oz. beta aluminijev oksid za CO_2 senzor /9/. Merilni elektrodi sta Na_2CO_3 oz. Na_2SO_4 . Ker sta oba trdna elektrolita ionska prevodnika Na^+ , poteče na anodi razpad natrijevega karbonata ali sulfata po naslednji shemi:



Na^+ migrira skozi trdni elektrolit in doseže katodo, vzpostavi se naslednje ravnotežje:



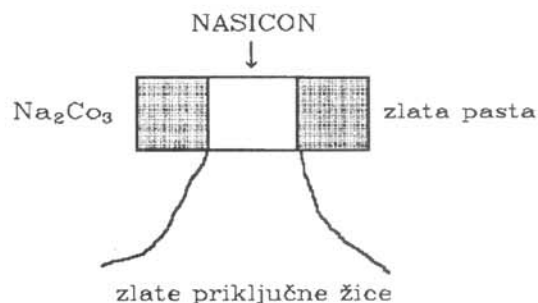
Sumarna enačba člena je:



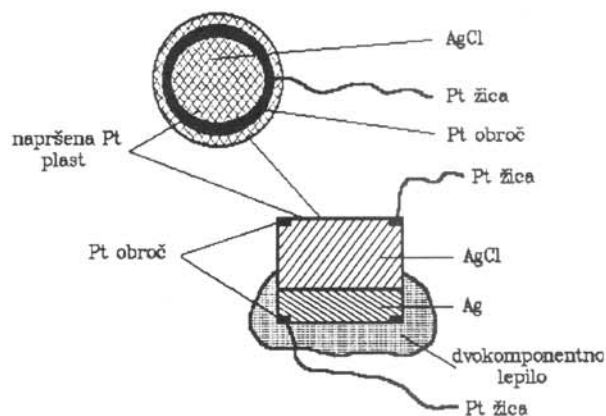
Ker je koncentracija Na_2O konstantna, tlak kisika v zraku pa tudi, je napetost galvanskega člena po Nernstovi enačbi odvisna samo od koncentracije CO_2 :

$$E = (RT/2F) \cdot \ln(p\text{CO}_2) \quad (6)$$

Podobno se dogaja v senzorju SO_2 , samo da v ravnotežju sodeluje Na_2SO_4 . Shema senzora CO_2 je na sliki 6.



Slika 6: Shema galvanskega senzora CO_2



Slika 7: Shema galvanskega senzora klora

2.5 Senzor klora

Kot trdni elektrolit galvanskega senzorja klora uporabljamo AgCl /10/. Le-ta je pri povišani temperaturi ionski prevodnik Ag^+ ionov. Galvanski člen za merjenje koncentracije klora je prikazan na sliki 7.

Senzor deluje v območju do 200°C in meri parcialni tlak klora nad 10 Pa v zmesih N_2/Cl_2 .

2.6 Drugi senzori

V tabeli 1 so prikazani še nekateri materiali, ki jih uporabljamo za izdelavo plinskih senzorjev /11/.

Tabela 1: Senzorski materiali in karakteristike nekaterih plinskih senzorjev /11/

Material	plin	T delovanja (°C)
$\text{Cr}_{1.8}\text{Ti}_{0.2}\text{O}_3$	NH_3	500
Fe_2O_3	CO	40
$\text{Sr}_{1-y}\text{Ca}_y\text{FeO}_{3-x}$	CH_4	470
$\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{Pd}, \text{SnCl}_4)$	ogljikovodiki	300
$\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{steklo})$	PH_3	360
$\text{TiO}_2(\text{RuO}_2)$	trimetilamin*	550

* Trimetilamin se pojavlja pri razkroju nekaterih rib in je indikator njihove pokvarjenosti.

3 SKLEP

V članku so opisani nekateri kemijski senzori plinov. Pomebni so predvsem zato, ker so zelo preprosti in jih je lahko z odgovarjajočo elektroniko vklopiti v merilne in regulacijske sisteme. Tudi na IJS, v Odseku za keramiko, se ukvarjamo z raziskavami na področju senzorjev, in sicer: kisikovih z $\text{ZrO}_2/\text{Y}_2\text{O}_3$ trdnim elektrolitom, polprevodniških s TiO_2 ter TiO_2 in $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{TiO}_3$ senzorjev vlage. Naše delo je osredotočeno na uporabo debeloplastne tehnologije izdelave ter na preiskavo reakcij, ki potekajo med pripravo in izdelavo posameznih senzorskih elementov.

4 LITERATURA

- /1/ E. C. Subbarao, *Ferroelectrics*, Vol. 102, 1990, 267
- /2/ R. M. A. Kocache, J. Swan, D. F. Holman, *J. Phys. E. Sci. Instrum.*, Vol. 17, 1984, 7981
- /3/ A. L. Micheli, *Ceramic Bulletin*, Vol. 63(5), 1984, 694
- /4/ M. Fleischer, H. Meixner, *Sensors and Actuators B*, Vol. 4, 1991, 437
- /5/ J. Gerblinger, H. Meixner, *J. Appl. Phys.*, Vol. 67(12), 1990, 7453
- /6/ B. M. Kulwicki, *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 74(4), 1991, 697
- /7/ W. F. Chu, V. Leonhard, H. Erdmann, M. Ilgenstein, *Sensors and Actuators B*, Vol. 4, 1991, 321
- /8/ H. Iwahara, H. Uchida, K. Ogaki, H. Nagato, *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 138(1), 1991, 295
- /9/ T. Maruyama, S. Sasaki, Y. Saito, *Solid State Ionics*, Vol. 23, 1987, 107
- /10/ C. M. Mari, G. Terzaghi, *Sensors and Actuators*, Vol. 17, 1989, 569
- /11/ M. Prudenziati, *Sensors and Actuators A*, Vol. 25-27, 1991, 227

OBVESTILO

Naročnike Vakuumista vljudno prosimo, da s priloženo položnico poravnate naročnino za leto 1992. Cena štirih števil, kolikor jih bo predvidoma izšlo v letošnjem letu, je 300,00 SLT; za naročnike iz ostalih republik bivše Jugoslavije pa protivrednost zgornjega zneska v njihovi domači valuti. Prosimo vas, da naročnino nakažete čimprej.

VAKUUMSKO TESNI LASERSKI ZVARI

S. Spruk, dr. M. Jenko*, L. Koller, D. Railić

Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko, 61111 Ljubljana, Teslova 30

*Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, 61001 Ljubljana, Lepi pot 11

VACUUM TIGHT LASER WELDS

Povzetek

Raziskali smo vakuumsko tesne laserske zveze za hermetično inkapsulacijo miniaturnih relejev. Naredili smo metalografske preiskave naslednjih parov zlitin: (a) mehkomagnetno železo Vacofer S2-CuNi30Fe, (b) mehkomagnetno železo z različno debelo (20 μm , 35 μm , 50 μm) difuzijsko plastjo kroma-CuNi30Fe, (c) mehkomagnetno železo z galvansko prevleko zlata-CuNi30Fe, (d) mehkomagnetno železo z galvansko prevleko niklja-CuNi30Fe.

V drugem delu raziskav smo zasledovali geometrijo obeh komponent varjencev. Hermetičnost laserskih zvarov smo kontrolirali s He-leak detektorjem. Z raziskavami smo določili optimalne pogoje procesa laserskega varjenja za hermetično inkapsulacijo relejev in primerno izbrali komponente varjencev.

Abstract

Vacuum tight laser welds for hermetical encapsulation of miniature relays were studied. The metallographic investigation of the following welding pairs were done: (a) soft magnetic iron - CuNi30Fe, (b) soft magnetic iron with vacuum chromized layer of thicknesses 20 μm , 35 μm and 50 μm - CuNi30Fe, (c) soft magnetic iron gold galvanic plated - CuNi30Fe and (d) soft magnetic iron nickel galvanic plated - CuNi30Fe. The second part of the investigation treated the geometry of laser welded pairs.

Encapsulated relay tightness was measured with He-leak detector. The optimal conditions of the laser welding process for hermetical relay encapsulation and appropriate welding pairs with optimal geometry were determined by this investigation.

1. UVOD

Lasersko varjenje sodi v vrsto sodobnih postopkov, ki so ključni za tehnološki razvoj profesionalnih izdelkov za elektroniko /1/.

Za lasersko varjenje je značilno nekaj posebnosti, ki ta način varjenja odlikujejo pred drugimi. Z laserskim snopom varimo na razdaljo in ni obrabnih elektrod, ki bi se dotikale varjenca. Nastavitev varilne cone je natančna in računalniško krmiljena. Pri varjenju ne deformiramo nežnih varjencev, ker varimo brez trdega prijetanja ali vpenjanja. Varimo lahko z enojnimi, dvojnimi ali večkratnimi zvari, z enakomernim pomikanjem laserskega snopa oziroma s ponavljajočimi pulzi varimo šivno. Varjenci se pri laserskem varjenju minimalno segrejejo, ker se toplota akumulira samo v zelo omejeni varilni coni. Zvari so čisti, zato jih ni potrebno še dodatno obdelati.

Osnovni princip varjenja je, da dve enaki ali različni kovini z nizkim parnim tlakom in čim bolj enakimi tališči spravimo v tesen kontakt in področje okoli kontakta grejemo toliko časa, dokler se materiala ne raztalita in zlijeta. Dovedene toplote ne sme biti preveč, sicer dobimo porozne zveze /2-7/.

Širino raztaljene cone lahko reguliramo od 0,1 mm do nekaj milimetrov, ustrezno tudi globino raztaljene cone. Raziskali smo laserske zveze naslednjih parov zlitin:

- a - mehkomagnetno železo (Vacofer S2) - CuNi30Fe
- b - mehkomagnetno železo z galvansko prevleko zlata-CuNi30Fe
- c - mehkomagnetno železo z različno debelo (20 μm , 35 μm , 50 μm) difuzijsko prevleko kroma-CuNi30Fe
- d - mehkomagnetno železo z galvansko prevleko niklja-CuNi30Fe,

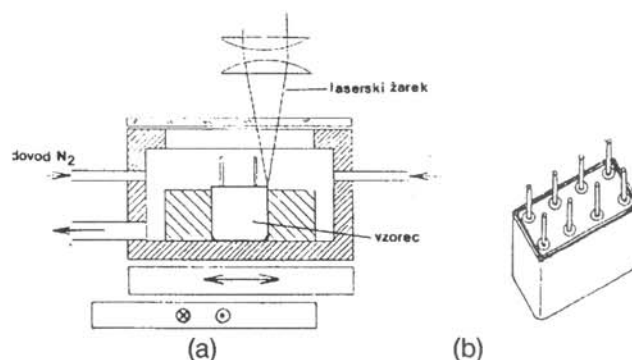
in določili njihovo hermetičnost ter mikrostrukturo.

2. EKSPERIMENTALNO DELO

Za hermetično inkapsulacijo miniaturnih relejev smo uporabili pulzirajoči laserski varilnik trdke J.K.Lasers, system 2000 Welding, z lasersko palico Nd-steklo, trajanje pulza 1-20 ms, maksimalna izhodna energija 100 J, moč napajalnika 10 kW, maksimalna frekvenca pulzov 100 Hz /8/.

Parametri laserskega varjenja: dolžina pulza 10,4 ms; frekvenca 10 Hz; energija pulza 3,6 J; vhodna energija 5,1 kW.

Varjenje poteka v posebno oblikovani miniaturi komori, ki jo prepihavamo z dušikom ali argonom in na ta način preprečimo oksidacijo in usedanje kovinskih par na fokusirno lečo (slika 1). Hermetičnost laserskih zvarov smo kontrolirali s helijevim leak detektorjem trdke Varian tip 936-65 po standardih MIL-R-5757 in MIL-STD-202-G metoda 112 A /9,10/.



Slika 1: a) miniaturna komora za varjenje z laserskim žarkom
b) lasersko zavarjen miniaturni hermetični rele

Polovico poizkusov smo naredili na podnožjih, ki so imela izdelan varilni rob, drugo polovico pa na podnožjih brez njega. Ugotovili smo, da je varilni rob pomemben za pravilno geometrijo zvara, kar je prikazano na sliki 4.

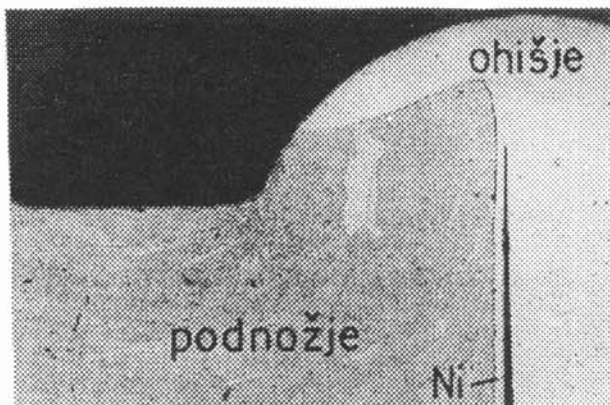
3. REZULTATI

Z eksperimenti smo ugotovili, da je prvi pogoj za zanesljiv laserski zvar pravilna izbira materiala obeh komponent varjenca ter pravilna izbira protikorozijske zaščite podnožja. Za ohišje releja, ki je izdelano z globokim vlečenjem, smo izbrali zlitino CuNi30Fe, debeline 0,3 mm.

Prva ohišja so bila izdelana iz zlitine CuNiZn (novo srebro). Pri eksperimentih se je izkazalo, da zlitina ni primerna za lasersko varjenje. Cink, ki ga zlitina vsebuje, ima nizko tališče in visok parni tlak, kar povzroči med postopkom laserskega varjenja tvorbo Zn oprha, zvar je porozen in nezanesljiv.

Podnožje releja je iz mehkomagnetnega železa Vacofer S2, ki smo ga zaščitili z: a) galvansko naneseno plastjo Ni, debeline 4 μm in 0,2 μm Au; b) vakuumsko kromano plastjo, treh različnih debelin: 20 μm , 35 μm in 50 μm ; c) galvansko naneseno plastjo Ni, debeline 3,6 μm .

Na sliki 2 je prikazan presek laserskega zvara med ohišjem releja (CuNi30Fe) in podnožjem iz mehkomagnetnega železa z izdelanim varilnim robom. Podnožje je zaščiteno z galvansko naneseno plastjo Ni, debeline 3,6 μm . S slike je razvidno, da je zvar kvaliteten, globina talilne cone je pravilno izbrana.

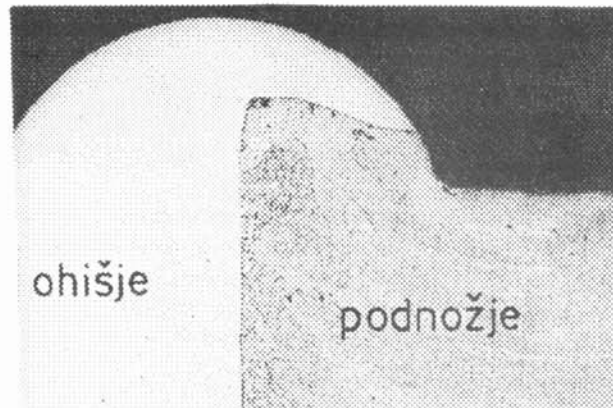


Slika 2: Presek laserskega zvara med ohišjem releja (CuNi30Fe) in podnožjem iz mehkomagnetnega železa z izdelanim varilnim robom. Podnožje je zaščiteno z galvansko naneseno plastjo Ni; jedkano z nitalom (povečava 100x).

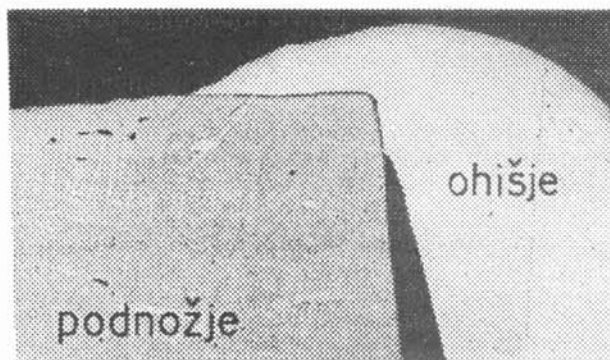
Tudi zvar med ohišjem in podnožjem, ki je zaščiteno s 3,6 μm debelo galvansko plastjo Ni in 0,2 μm debelo plastjo Au, je kvaliteten in neporozen, kar prikazuje rasterski posnetek na sliki 3.

Pri vzorcih brez varilnega roba pride pogosto med procesom laserskega varjenja do deformacij ohišja, kar je razvidno s slike 4.

Na sliki 5 je prikazan presek laserskega zvara med ohišjem releja in vakuumsko kromanim podnožjem z 20 μm debelo plastjo Cr. S slike je razvidno, da zvar ni porozen, vendar pa ne pride do tvorbe vmesne cone med ohišjem in vakuumsko kromano plastjo, ki je tudi po procesu laserskega varjenja še dobro vidna.



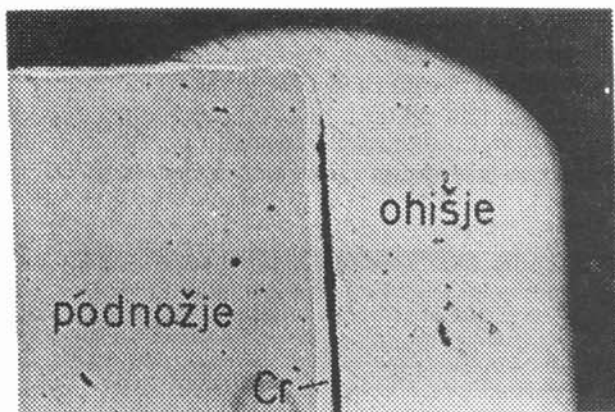
Slika 3: Presek laserskega zvara med ohišjem releja (CuNi30Fe) in podnožjem iz mehkomagnetnega železa z izdelanim varilnim robom. Podnožje je zaščiteno z galvansko naneseno plastjo Ni in Au; jedkano z nitalom (povečava 100x).



Slika 4: Presek laserskega zvara med ohišjem releja (CuNi30Fe) in podnožjem iz mehkomagnetnega železa brez varilnega roba. Podnožje je zaščiteno z galvansko naneseno plastjo Ni in Au; jedkano z nitalom (povečava 100x).

Pri miniaturnih hermetičnih relejih kontroliramo s He-leak detektorjem vakuumsko tesnost laserskih zvarov in spojev steklo-kovina sočasno po standardu MIL-R-5757 in MIL-STD-202-G, metoda 112 A.

Vsi testirani vzorci ustrezajo zahtevam tesnosti po standardu MIL-R-5757, ki je 1×10^{-9} Pa m^3/s .



Slika 5: Presek laserskega zvara med ohišjem releja (CuNi30Fe) in vakuumsko kromanim podnožjem iz mehkomagnetnega železa brez varilnega roba. Plast Cr je debela 20 μm ; jedkano z nitalom (povečava 100x).

4. ZAKLJUČEK

Z raziskavo smo ugotovili:

- Obe komponenti varjencev morata biti iz materialov, primernih za lasersko varjenje, pri tem pa morata komponenti imeti čim nižji parni tlak ter čim bolj enake temperature tališča.
- Izredno pomembna je geometrija zvara. Obe komponenti varjencev se morata tesno stikati, na podnožju pa mora biti izdelan varilni rob.

- Parametri laserskega varjenja morajo biti optimalno izbrani, energija mora biti čim nižja, da se ne razvije preveč toplote. V nasprotnem primeru je potrebno med procesom laserskega varjenja odvečno toploto odvajati s posebno oblikovanimi bakrenimi kvadri.
- Vakuumska tesnost laserskih zvarov, ki jo moramo obvezno kontrolirati, mora biti najmanj 1×10^{-9} Pa m^3/s .

5. LITERATURA

- /1/ J. Wilson, J.F.B. Hawkins, Lasers, Principles and Applications, Prentice Hall, London, 1987
- /2/ R. Tavzes, Lasersko varjenje pri miniaturnih elektronskih sestavnih delih, JUVAK, Bilten 17, str. 165, Bled 1979
- /3/ R. Tavzes, L. Koller, M. Jenko, Vakuumsko tesni laserski zvari, JUVAK, Bilten 19, str. 299, Zagreb 1983
- /4/ M. Jenko, B. Jenko, L. Koller, D. Raičič, A. Miklavčič, B. Miklavž, B. Kordiš: Študij laserskega varjenja kovin in zlitin za elektroniko, IEVT poročilo P-646/D1, 1989
- /5/ D.C. Brown, High Power Nd: Glass Laser System, Springer, Berlin 1981
- /6/ J.T. Luxton, D.E. Parker, Industrial Lasers and their Applications, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. 1985
- /7/ J.F. Ready, R.K. Erf. (eds.) Laser Applications, Vd5, Academic Press, Orlando 1984
- /8/ J.K. Lasers: Systems 2000 for Welding, Manual
- /9/ MIL-STD-202 E, Test methods for electronics and Electrical Component Parts, Method 112 A, 1980
- /10/ MIL-R-5757G, Military Specifications, Relays, Electromagnetic 1982

REAKTIVNO NAPRŠEVANJE

Peter Panjan in Andrej Cvelbar, Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, 61111 Ljubljana

REACTIVE SPUTTERING

Povzetek

V prispevku obravnavamo procese, ki potekajo med reaktivnim naprševanjem. S kremenovo mikrotehniko smo določili parametre naprševanja tankih plasti različnih spojin. Plasti smo pripravili v triodnem naprševalniku Sputron.

Abstract

In this paper we will discuss the processes that take place during reactive sputter deposition. Operating point for reactive sputtering of various compounds in triode system Sputron was determined using quartz crystal microbalance method.

1. Uvod

Reaktivno naprševanje se je v zadnjih 25 letih uveljavilo kot najbolj primeren postopek za pripravo tankih plasti različnih spojin. Bistvo te metode nanašanja plasti je, da eno- ali večkomponentno tarčo iz čistih kovin ali zlitin razpršujemo v atmosferi izbranega reaktivnega plina (npr. O_2 , N_2 , CH_4 , C_2H_2 , $O_2 + N_2$). Pri ustrezno izbranih parametrih naprševanja raste na podlagi tanka plast oksidov, karbidov, nitridov itd., odvisno pač od vrste reaktivnega plina. Sestava in lastnosti plasti so odvisne od hitrosti naprševanja, razdalje med tarčo in podlago, temperature podlage, tlaka argona in reaktivnega plina, stopnje ionizacije argona, reaktivnega plina in razpršenih atomov tarče. Postopek reaktivnega naprševanja moramo uporabiti tudi v nekaterih primerih, ko napršujemo iz kompozitne tarče* (npr. $YBa_2Cu_3O_6$, $LiNbO_3$) /1/. Med naprševanjem iz takih tarč se zaradi prednostnega razprševanja lahkinih elementov in nekaterih drugih pojavov izgubi del le-teh, nadomestimo jih tako, da napršujemo v atmosferi ustreznega reaktivnega plina.

Zaradi kompleksnosti so procesi, ki potekajo med reaktivnim naprševanjem, še danes v veliki meri nepojasnjeni. Kljub temu pa se je ta postopek priprave plasti uveljavil na številnih področjih. Tak način naprševanja ima v primerjavi z naprševanjem iz kompozitne tarče več prednosti, kar najbolj nazorno kaže naslednji primer. Tanke plasti Al, Al_2O_3 in AlN lahko pripravimo iz ene same tarče, ki je iz zelo čistega elementarnega aluminija in jo je seveda veliko lažje in ceneje narediti, kot ustrezno kompozitno. Kovinska tarča je veliko boljši toplotni prevodnik, zato jo lažje hladimo, kar nam dovoljuje naprševanje pri večjih električnih močeh na tarči oz. pri večjih hitrostih naprševanja. Hitrost reaktivnega naprševanja iz elementarne tarče je hkrati tudi veliko večja od tiste, ki jo dosežemo z naprševanjem iz kompozitne. Prednost takega načina priprave tankih plasti različnih spojin pred nekaterimi drugimi postopki, npr. kemijskim

nanašanjem iz parne faze (CVD), je tudi nizka temperatura podlag med naprševanjem, ki je lahko manjša od $300^\circ C$.

Prvi primer industrijske uporabe reaktivnega naprševanja je bil nanos uporabnih tankih plasti Ta_2N v hibridnih tankoplastnih vezjih. Danes pripravljamo z reaktivnim naprševanjem: optične tanke plasti in valovne vodnike (TiO_2 , Al_2O_3), dekorativne prevleke (npr. $Ti(N,O)$, $Ti(N,O,C)$, $Zr(N,O,C)$), trde prevleke (TiN , TiC , BN), zaščitne plasti za magnetne diske (Al_2O_3), dielektrične plasti v magnetooptičnih spominih (AlN), difuzijske zapore (TiN) in dielektrične plasti (SiO_2 , Si_3N_4) v mikroelektronskih vezjih z visoko stopnjo integracije, dielektrične plasti v tankoplastni hibridni elektroniki (Ta_2O_5), sončne celice (SiH , Cu_2S), antikorozijske prevleke (npr. CrN , $CrNO$), piezoelektrične tanke plasti (ZnO , $LiNbO_3$), presojne in električno prevodne tanke plasti (npr. indij-kositrovi oksidi - ITO plasti), spektralno selektivne (TiN), termokromatske (VO_2) in elektrokromatske (WO_3) plasti za okenska prekritja, visokotemperaturne superprevodne tanke plasti (npr. $YBaCuO$) itd. V tabeli 1 so prikazane nekatere možne kombinacije tarča/reaktivni plin za pripravo tankih plasti različnih spojin /1/.

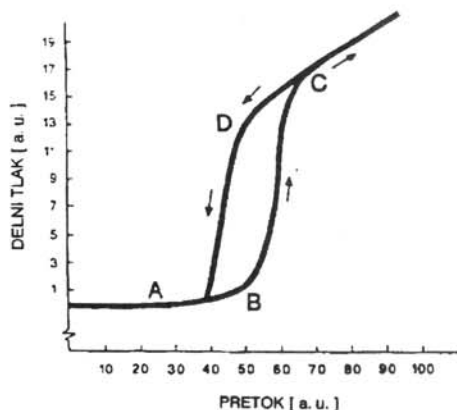
Tabela 1: Nekaterne možne kombinacije tarča/reaktivni plin za pripravo tankih plasti različnih spojin /1/

Tarča	H_2	N_2	O_2	H_2S	CH_4
$LiNbO_3$			$LiNbO_3$		
B		BN			
Al		AlN	Al_2O_3		
Al_2O_3			Al_2O_3		
Si	SiH	Si_3N_4	SiO_2		
Si_3N_4		Si_3N_4	SiN_xO_y		
SiO_2			SiO_2		
Ti	TiH	TiN	TiO_2		TiC
Cu			CuO	Cu_2S	
Zn			ZnO		
ZnO	ZnO_{1-x}		ZnO		
In, Sn			ITO		
ITO	ITO		ITO		
Ta	Ta-H	Ta_2N TaN	TaO_xN_y Ta_2O_5		TaC

* tarča je kompozitna, če jo pripravimo s postopkom sintranja ali v obliki monokristala izbrane spojine.

2. Opis mehanizmov reaktivnega naprševanja

Za reaktivno naprševanje, ki je izrazito nelinearen proces, so značilni histerezni pojavi [2]. V diagramu na sl. 1, ki prikazuje odvisnost delnega tlaka reaktivnega plina od njegovega pretoka, razločimo dva različna



Slika 1. Delni tlak reaktivnega plina v odvisnosti od njegovega pretoka pri reaktivnem naprševanju.

režima. Ko v področju A pretok reaktivnega plina linearno povečujemo, se delni tlak le-tega ne povečuje, ker ves plin zreagira z atomi tarče, ki se kondenzirajo na podlagah in na steni vakuumske posode. Ko vrednost pretoka preseže neko kritično vrednost, delni tlak močno naraste (področje B), pri nadaljnjem povečevanju oz. zmanjševanju pretoka pa linearno narašča oz. pada. Do prehoda iz režima A v režim B pride zaradi nastajanja spojin na površini tarče. V trenutku, ko število nastajajočih spojin preseže število tistih, ki so razpršene, delni tlak reaktivnega plina močno naraste (vzrok je zmanjšan getrski učinek razpršenih atomov tarče; porablja se le tisti del plina, ki zreagira s površino tarče), medtem ko se hitrost naprševanja zelo zmanjša. Vzrokov za zmanjšanje hitrosti naprševanja je več: (a) spojine (npr. oksidi, nitridi), ki nastanejo na površini tarče imajo manjši razpršitveni koeficient in (b) večjo sekundarno emisijo elektronov kot elementarne tarče (del energije vpadlih ionov, ki se porabi za nastanek in pospeševanje sekundarnih elektronov je zato večji), (c) razpršitveni koeficient za ione reaktivnega plina je v primerjavi s tistim za inertne (argonove) manjši. Pri prehodu iz režima A v režim B se histerezno spreminjajo tudi električne karakteristike plazme. Vzrok je povečana sekundarna emisija elektronov s površine tarče [3], ki se delno ujamejo na atome oz. molekule reaktivnega plina (npr. O_2), tako da nastanejo elektronegativni ioni. Zaradi povečanja sekundarne emisije elektronov se poveča ionizacija v bližini tarče in z njo katodni tok, medtem ko se napetost zmanjša. Pri še večjih pretokih, npr. kisika, se poveča debelina oksidne plasti, prevodnost tarče pa se zmanjša. Zaradi nastale izolacijske zapore moramo povečati katodno napetost.

Razpršeni atomi tarče se kondenzirajo na podlagah in na steni vakuumske posode. Ker imajo veliko energijo, je koeficient kondenzacije le-teh blizu ena. Drugače pa

je z atomi oz. molekulami reaktivnega plina, saj se jih večji del odbije ali pa po kratkem tavanju po površini podlage desorbira. Koeficient ujetja (sticking coefficient) je velikostnega reda 10^{-2} in je odvisen od temperature podlage, proste energije za tvorbo spojine in od stabilnosti le-te.

Kemijske reakcije med reaktivnim plinom in atomi tarče spodbudimo, če del molekul reaktivnega plina in razpršenih atomov tarče aktiviramo, t.j. če jih ioniziramo, disociiramo ali vzbudimo v višja energijska in metastabilna stanja. Aktivacijski medij je plazma, ki je prisotna v vseh sistemih za naprševanje, lahko pa jo še dodatno ustvarimo. Plazma, ki raste na podlagah, je izpostavljena obstreljevanju z različnimi delci, ki imajo zelo različne energije in gostote toka. Delci, ki so razpršeni z elementarne tarče, so nevtralni atomi ali gruče atomov, z nabojem ali brez njega. Pri reaktivnem naprševanju se število teh delcev pomnoži. Za ilustracijo so v tabeli 2 za primer magnetronskega naprševanja tankih plasti ZnO (tarča je bila iz čistega cinka, razprševanje pa je potekalo v Ar/O_2 razelektriveni atmosferi) izpisane vrste delcev, njihov izvir, energija, relativna gostota toka in vpliv povečanja tlaka argona na energijo in gostoto toka teh delcev [1]. Pri

Tabela 2: Vrsta delcev, njihova energija in relativna gostota toka pri magnetronskem naprševanju tanke plasti ZnO iz Zn tarče v atmosferi Ar/O_2

Vrsta delcev	Izvir	Relativna gostota toka	Energija (eV)	Vpliv tlaka na povečanje (↑) oz. zmanjšanje (↓)	
				gostote toka	energije
Zn	sp	~1	1	↓	↓
O	sp	~1	1	↓	↓
O	sp O^-	~0.1	500	↓	↓
ZnO	sp	~0.3	1	↓	↓
ZnO^+	sp + P	~0.05	1	↓	-
O^-	sp	~0.05	500	↓	↓
Ar	plin	~1000	0.03	↑	-
Ar	ref	~0.01	100	↓	↓
O_2	plin	~1000	0.03	↑	-
O	ref	~0.01	100	↓	↓
Ar^+	plazma	~10	1	↑	-
O_2^+	plazma	~10	1	↑	-
e	plazma	~10	3	↑	-
e	sp	?	500	↓	↓

sp - delci, ki so razpršeni s tarče
P - Penningova ionizacija
ref - odbiti delci

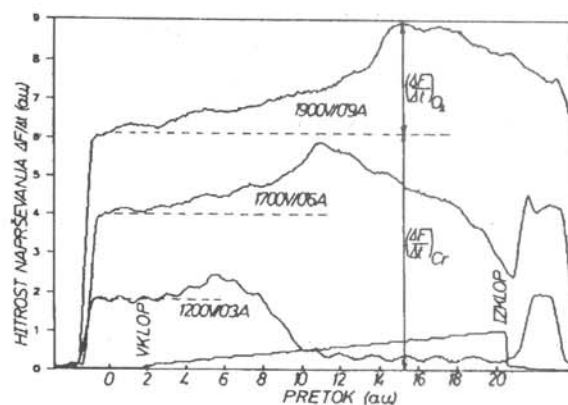
razprševanju kompozitne tarče so razmere še bolj komplicirane. Ker imajo različni delci različne koeficiente ujetja, je sestava plasti, ki raste na podlagi, v splošnem drugačna od sestave tarče. Sestava se spremeni tudi zaradi prednostnega razprševanja nekaterih atomov, npr. kisika /4/, dušika /5/, ogljika /5/ v oksidnih, nitridnih ali karbidnih tarčah. Zato moramo v takih primerih uporabiti postopek reaktivnega naprševanja. Na tak način pripravljamo npr. visokotemperaturne superprevodne tanke plasti $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$. V tem primeru se pojavi še dodatna težava, saj v plasti primanjkuje tudi bakra /6/. Primanjkljaj bakra naj bi bil posledica obstreljevanja tarče z elektronegativnimi ioni kisika. Za pripravo superprevodnih tankih plasti s stehiometrično sestavo moramo zato uporabiti tarčo, ki ima prebitek bakra.

Razumevanje procesov v plazmi je zelo pomembno, saj so razlike npr. v kemisorpcijski kinetiki pogosto vzrok za drugačno vedenje različnih reaktivnih plinov. Tako je npr. reaktivno naprševanje nitridov prehodnih kovin IV skupine (TiN, ZrN in HfN) relativno enostavno, medtem ko je enak postopek priprave karbidov istih elementov veliko zahtevnejši. Nevezan ogljik se namreč veliko težje desorbira s površine titana, cirkonija ali hafnija kot dušik, zato se pogosto vgrajuje v plast kot prost ogljik /7/.

3. Naprave za reaktivno naprševanje

Najpogostejše uporabljene naprave za reaktivno naprševanje so magnetroni z različnimi konfiguracijami (cilindrični, planarni), sistemi za naprševanje z enim ali več ionskimi izviri ter diodni in triodni naprševalnik. Naprave se razlikujejo po konfiguraciji in geometriji naprševalnika, vrsti in velikosti tarče, položaju in temperaturi podlag, hitrosti naprševanja, tlaku inertnega plina, stopnji ionizacije in energiji razpršenih atomov tarče, atomov oz. molekul reaktivnega plina ter atomov inertnega plina.

Pri napravah za reaktivno naprševanje je največji problem, kako zagotoviti delovanje pri tistih delovnih parametrih, kjer ima histerezna krivulja, ki povezuje delni tlak in pretok reaktivnega plina, koleno (točka B). Določitev delovne točke v takem nelinearnem sistemu zahteva zelo občutljive metode merjenja različnih parametrov naprševanja. V praksi je bilo uporabljenih več različnih postopkov. Affinito in Parsons /8/ sta pri naprševanju Al v Ar/N_2 atmosferi merila intenziteto optične emisije ($\lambda = 396.1 \text{ nm}$) iz vzbujenih atomov aluminija na površini tarče, pretok in delni tlak dušika ter razelektritveni tok in napetost. Pri pretoku dušika, kjer ima histerezna krivulja koleno, se vse našteje količine znatno spremenijo, zato jih lahko uporabimo pri nastavitvi delovanja sistema na operacijsko točko B. Metoda se obnese pri naprševanju Al-N, ne pa tudi pri naprševanju tankih plasti Al-O. Pri naprševanju tankih plasti Ta_2O_5 so si z merjenjem intenzitete optične emisije vzbujenih atomov Ta ($\lambda = 481 \text{ nm}$) pomagali tudi Schiller in sod. /9/. V nekaterih drugih primerih pa je odzivni čas kontrolne povratne zanke predolg (le-ta je npr. pri naprševanju ITO plasti 30 s).



Slika 2. Hitrost naprševanja ($\Delta F/\Delta t$) kromovih oksidov v odvisnosti od pretoka kisika za različne električne moči na tarči.

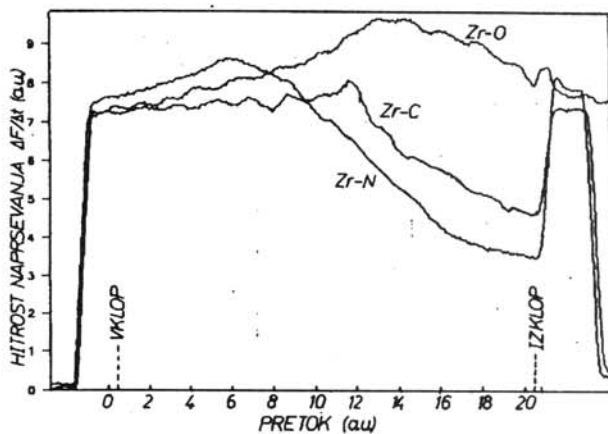
Pri naprševanju trdih prevlek TiN, ZrN in HfN za industrijsko uporabo je Sproul patentiral avtomatski kontrolni sistem /2/, ki ima v povratni zanki skupaj z merilnikom pretoka še kvadrupolni masni spektrometer, s katerim merimo delni tlak dušika. Odzivni čas povratne zanke je $< 0.2 \text{ s}$. Zaradi visokega delovnega tlaka v vakuumski posodi je potrebno diferencialno črpanje spektrometra. V nekaterih primerih je uporabna rešitev tudi periodično uvajanje reaktivnega plina, tako da pretok le-tega spreminjamo v področju okrog kritične vrednosti.

4. Kontrola reaktivnega naprševanja v triodnem sistemu Sputron

V našem laboratoriju kontroliramo postopek reaktivnega naprševanja v triodnem naprševalniku Sputron s kremenovo mikrotehniko (Inficon XTM). Sistem smo dopolnili z računalniškim zajemanjem in obdelavo podatkov. Vse merilne instrumente smo preko vmesnikov povezali z osebnim računalnikom PC AT 386. Za zajemanje podatkov uporabljamo "hardware" firme Burr Brown PCI 20000 in "software" Labtech Notebook. Bistvo metode je merjenje spremembe lastne frekvence (ΔF) kremenovega kristala zaradi spremembe debeline kristala. ΔF je sorazmerna vsoti produktov števila atomov tarče (N_A) oz. plina (N_B) in njihove atomske teže (M):

$$\Delta F/\Delta t = \text{konst.} (M_A N_A + M_B N_B) \quad (1)$$

Na sliki 2 je prikazana odvisnost hitrosti naprševanja ($\Delta F/\Delta t$) Cr-O od pretoka kisika za različne električne moči na tarči. Ko povečujemo pretok reaktivnega plina, hitrost naprševanja narašča. Prirastek ($\Delta F/\Delta t$) o gre na račun atomov kisika, ki so se vgradili v plast. Podobno odvisnost hitrosti naprševanja dobimo tudi pri naprševanju oksidov, nitridov, karbidov drugih kovin (slika 3), razlikujejo se le po vrednosti kritičnega pretoka (pretok, pri katerem se hitrost naprševanja izrazito zmanjša) in po vrednosti prirastka frekvence zaradi vgrajenih atomov reaktivnega plina. Ker hitrost



Slika 3. Hitrost naprševanja ($\Delta F/\Delta t$) cirkonijevih oksidov, nitridov in karbidov v odvisnosti od pretoka kisika, dušika in metana.

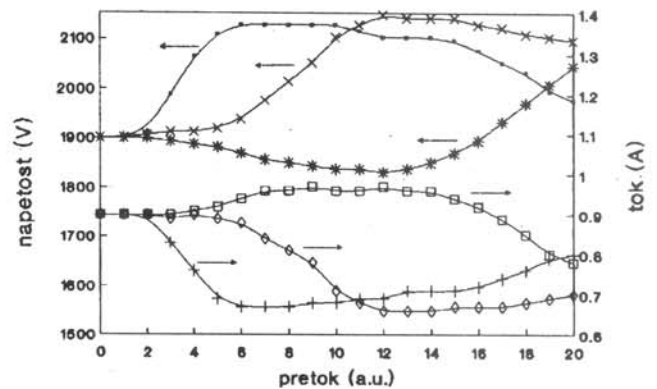
naprševanja čistega kroma ($\Delta F/\Delta t$)_{Cr} poznamo, lahko iz formule (1) za katerikoli pretok reaktivnega plina, ki je manjši od kritičnega, izračunamo sestavo plasti:

$$\frac{N_A}{N_B} = \frac{\Delta F_A M_B}{\Delta F_B M_A} \quad (2)$$

Pri pretoku, ki je višji od kritičnega, se hitrost naprševanja zelo zmanjša, ker površina tarče oksidira. Večino tankih plasti različnih spojin lahko napršujemo pri pretoku reaktivnega plina, ki je le nekoliko manjši od kritičnega; hitrost naprševanja je blizu vrednosti za elementarno tarčo. Delovanje sistema v bližini kritičnega pretoka je zelo nestabilno, saj se lahko že pri majhnem povečanju pretoka hitrost naprševanja zmanjša za velikostni red. S pretokom reaktivnega plina se spreminjata tudi napetost in tok na tarči (sl. 4). Električne karakteristike, npr. za okside različnih kovin, so si podobne; razlikujejo se le po vrednosti kritičnega pretoka, medtem ko so drugačne od tistih, ki so bile izmerjene za nitride ali karbide istih kovin.

5. Zaključek

V tem prispevku smo podrobneje opisali fizikalne osnove reaktivnega naprševanja, predstavili pa smo tudi nekatere rezultate naših meritev. Reaktivno naprševanje je kompleksen proces in zahteva natančno kontrolo različnih parametrov. Pokazali smo, kako lahko v



Slika 4. Napetost in tok na tarči pri razprševanju cirkonija v odvisnosti od pretoka kisika (a), dušika (b) in metana (c).

triodnem naprševalniku Sputron s kremenovo mikro-tehniko kontroliramo proces reaktivnega naprševanja. Ta metoda v naprševalnikih z drugačno konfiguracijo (magnetroni, diodni sistem, ...) zaradi drugačnih razmerij med gostoto atomskih in ionskih tokov na tarčo in podlago ni uporabna. Zato ostaja vprašanje, kako pripraviti tanke plasti različnih spojin z želeno sestavo in lastnostmi, še naprej odprto. Tudi problem zasičenja izvira (tarče) in znani histerzni pojavi pri reaktivnem naprševanju so bili rešeni le za izbrane kombinacije tarča-reaktivni plin.

6. Literatura

- /1/ W.D. Westwood, Physics of Thin Films, Vol. 14, Academic Press, 1989, st. 1-79
- /2/ W.D. Sproul, Surface and Coatings Technology, 33 (1987) 73-81
- /3/ G. Mohan Rao and S. Mohan, Vacuum, vol. 42, N 8/9, (1991) 515
- /4/ M.A. Langell, Surf. Sci. 186, 323 (1987)
- /5/ R. Shimizu, Nucl. Instr. & Methods B18, 486 (1987)
- /6/ M. Leskela, J.K. Truman, C.H. Mueller and P.H. Holloway, J. Vac. Sci. Technol. A7 (6), (1989) 3147
- /7/ G. Hakansson, I. Petrov and J.E. Sundgren, J. Vac. Sci. Technol. A8 (5), (1990) 3769
- /8/ J. Affinito and R.R. Parsons, J. Vac. Sci. Technol. A2, (1984) 1275
- /9/ S. Schiller, U. Heisig, K. Steinfeld, J. Strumpf, R. Voigt, R. Fendler and G. Teschner, Thin Solid Films 96, 235 (1982)

CF-SPOJI ZA VAKUUMSKE SISTEME

Andrej Pregelj, Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko, 61111 Ljubljana, Teslova 30

CF-SEALS FOR VACUUM SYSTEMS

Povzetek

Visokega in ultravisokega vakuum (UV, UVV) ni mogoče doseči brez pregrevanja sistema na 100 - 450°C. Razstavljivi spoji morajo zato biti tesnjeni s kovinskimi tesnili. Razvitih je bilo več izvedb tesnenja tipa "kovina-kovina", vendar se je med njimi uveljavil predvsem tako imenovani spoj s CF-prirobnicama. Prispevek opisuje princip tesnenja ter prinaša zanimive podatke o prirobnicah in tesnilnih obročih za ta spoj.

Abstract

High and ultrahigh vacuum is not achievable without heating the system. Demountable joints therefore had to be sealed by metal gaskets. There are known many "metal to metal" joint realisations but among them only the so-called CF-flange seal became generally useful. The sealing principle is described and several interesting data about mentioned type flanges and sealing rings are presented.

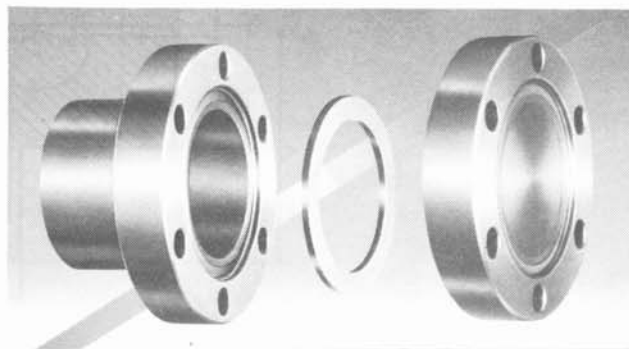
1. Uvod

Najpogostejše so razstavljivi spoji v vakuumski tehniki tesnjeni z O-obročji iz različnih kavčukov, ki dovoljujejo segrevanje do cca 90°C (Buna-N). Če gumo nadomestimo z novjšimi sintetičnimi materiali, lahko temperaturo naprave, ki ima vgrajene take obročje, dvignemo na 150-200°C (viton, polyimide) ali celo do 300°C (kalrez). Šibka točka pri tesnilih iz organskih snovi so parni tlaki in permeacija (predvsem prehajata helij in vodik). Boljša v tem pogledu so kovinska tesnila, tako na primer jeklene male prirobnice (KF) s posebno obliko in aluminijasto tesnilko dovoljujejo pregrevanje do 200°C, v posebnih primerih rabi kot tesnilna kovina tudi indij. Za pregrevanje nad omenjene temperature, česar si želimo pri doseganju najboljših vakuumov, pridejo v poštev spoji z bakrenimi in zlatimi tesnili. Med njimi se je kot najprimernejši široko uveljavil tako imenovani ConFlat ali kratko CF-spoj (patent firme Varian iz leta okrog 1960).

2. ConFlat (CF) spoji

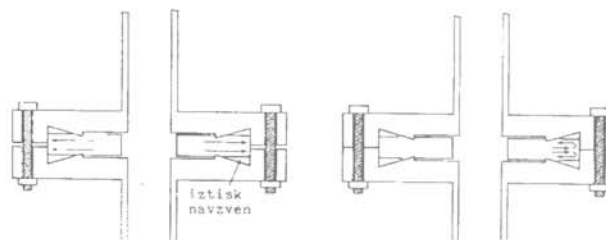
CF-spoj temelji na uporabi mehke bakrene tesnilke, vložene med ostra robova prirobnic iz tršega nerjavnega jekla (slika 1).

Ostrina zoba je pred poškodbami zaščitena s pogreznitvijo pod čelno ploskev prirobnice, zunanji rob poglobitve pa je istočasno sedež za tesnilni obroč, ki omogoča tudi centriranje nasprotne prirobnice. Sodelujoče prirobnice istih premerov so povsem enake in zamenljive (ni potrebno izdelovati dveh oblik - moške in ženske - za en spoj). Opisani spoj ima še eno prednost: konstrukcije dovoljujejo, da je tesnilni zob integralni del vakuumske komponente, medtem ko se zunanji obroč z luknjami za vijake lahko prosto vrti, kar je predvsem pomembno na primer pri montaži



Slika 1. Prirobnici in tesnilka CF-spoja

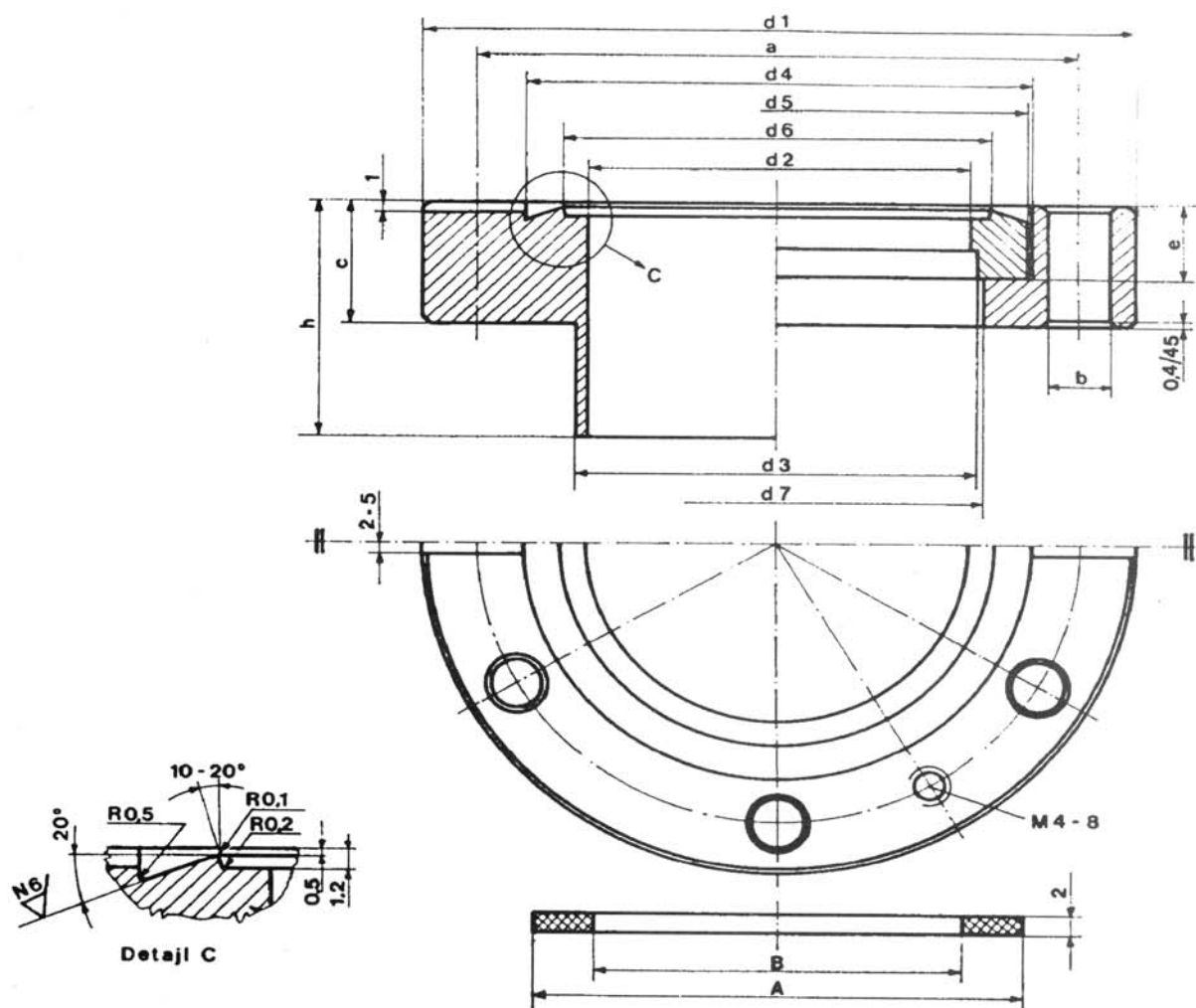
ventilov. Spojni komplet iz kvalitetnih materialov, skrbno izdelan in očiščen, omogoča pripravo in vzdrževanje ultravisokega vakuum do tlakov pod 10^{-13} mbar in se ga lahko uporablja v temperaturnem območju med -196°C in +500°C. Z navzkrižnim privijanjem vijakov približujemo obe prirobnici vzporedno eno proti drugi. Pri tem močno narašča sila /3/ na enoto dolžine zoba (2 do 5 kN/cm) in ostrini tesnilnih robov zarežeta v ravno površino tesnilke (slika 2).



Slika 2. Delno in popolno stisnjenje CF-spoja [7]

Baker se prične plastično deformirati in leze navzven dokler ne prisilne na obodni rob prirobnice, ki prepreči nadaljnje lezenje materiala v tej smeri. Če prirobnici še naprej stiskamo, je tesnilni material potisnjen nazaj, v njem se pojavljajo ogromne tlačne napetosti (do cca 150 kN/cm²), ki povzročijo dodatno preoblikovanje tesnilke in zapolnitev površinskih nepravilnosti na poševni ploskvi zoba /7/.

Enostavnost in kvaliteta opisanega pregrevnega vakuumskega spoja je imela za posledico, da so ga hitro pričeli posnemati in uporabljati izdelovalci UVV opreme po svetu. Da bi se izognili patentu Varian-a, so uvedli nekoliko spremenjene oblike tesnilnih robov, med njimi sta dve posebej zanimivi: polokrogla (ULTEK, RIBER) in dvojni zob (CAJON) ter še nekatere druge z malo spremenjenimi nagibi zobovih ploskev /4/. Osnovni princip je povsod ostal isti in uveljavile so se celo prvotne mere kot nekaj neuradni



Imenski premer ISO	1) d1 ISO	2) d2 -	3) d3 ISO	4) d4 ISO	5) d5 ISO	d6 -	6) d7 ISO	a ISO	b ISO	7) n ISO	c ISO	e ISO	h -	A -	B -
16	34	14-16	18.5	21.4 ^{+0.03}	21.3 ^{-0.04}	18.4	19.3 ^{+0.5}	27	4.4	6	8	5.8	20	21.25	16.2
40	70	35-38	38.5	48.3 ^{+0.03}	48.17 ^{-0.04}	42	39 ^{+0.6}	58.7	6.6	6	13	7.6	40	48.1	36.8
63	114	63-64	66.5	82.6 ^{+0.04}	82.13 ^{-0.05}	77.2	67 ^{+0.7}	92.1	8.4	8	18	12.7	50	82.35	63.6
100	152	100	104.5	120.7 ^{+0.05}	120.5 ^{-0.046}	115.3	105 ^{+0.8}	130.2	8.4	16	21	14.3	60	120.45	101.8
160	202	150	155	171.5 ^{+0.05}	171.27 ^{-0.046}	166.1	155.5 ⁺¹	181	8.4	20	22	15.8	65	171.25	152.6
200	253	200	206	222.3 ^{+0.65}	222.24 ^{-0.07}	216.9	206.5 ⁺¹	231.8	8.4	24	25	17.2	65	222.05	203.4
250	306	250	256	273.1 ^{+0.06}	272.8 ^{-0.08}	268	260 ⁺¹	284	8.4	32	25	17.2	65	272.85	254.2

- Opombe:
- 1 - vse mere so v mm, "ISO" pod oznako pomeni, da je dimenzija standardizirana po ISO
 - 2 - črtica po oznako dimenzije pomeni: ni po ISO, tako dela večina proizvajalcev
 - 3 - to dimenzijo priporoča ISO za izvedbe iz nerjavnega jekla
 - 4 - tolerance za mero d4 po ISO so "J11"
 - 5 - mera d5 je izračunana po ISO napotku - to je d4 s toleranco "c8"
 - 6 - mera d7 ima po ISO toleranco "H13"
 - 7 - n = število lukenj premera "b"

Slika 3. Delavniška risba za CF-prirobnice

standard. Udomačenje teh mer je bilo tako močno, da so jih delno sprejeli tudi sestavljenci ISO normativov. V standardu ISO 3669 sta namreč ponujeni dve seriji tovrstnih spojev, prva - priporočena - ima glavne dimenzije kompatibilne z že standardiziranimi nepregrevnimi prirobnicami (opisanimi v ISO 1609), druga pa po gabaritnih dimenzijah točno odgovarja pregrevnim prirobnicam, ki jih splošno uporablja vakuumška tehnika povsod po svetu, to je CF prirobnicam. V omenjenem standardu se ime CONFLAT ne pojavlja in v njem tudi ni podatkov za obliko in dimenzije zoba.

Na sliki 3 podajamo načrt prirobnice in tesnilke s podatki za izdelavo. V tabeli so upoštevane vse mere, ki jih predpisuje ISO 3669, druge pa izvirajo iz prej omenjene vakuumske prakse za CF-spoj. Prirobnice označujemo s standardnimi števili 16, 40, 63, 100, 160, 200, 250, ki v milimetrih pomenijo notranje premere cevi, na katere jih privarimo. Sprejem "zatečenega stanja" v ISO okvir ima za posledico nekaj "nelepih" mer in tudi kakšno neskladje, npr. pri premeru 40, kar lahko hitro opazimo v tabeli. Na čelni strani imajo prirobnice vedno dva diametralno postavljena utora, ki segata do poglobitve za tesnilko, tako da lahko pri sestavljenem spoju pihnemo helij na tesnilno mesto (za kontrolo tesnosti s helijevim merilnikom puščanja). Poleg lukenj za vijake je na prirobnici navadno še navojna izvrtina za razklapljanje sprijetega spoja z razmikalnim vijakom. Iz detajlov risbe so razvidne vse izvedbene možnosti (rotacijski spoj, nastavek oziroma vzorec za privarjanje cevi) ter podatki za tesnilni rob in za tesnilke.

Predstavljene mere (sl. 3) - preizkušene v praksi in potrjene s sperejemom v ISO - seveda niso vse enako pomembne. Važno je, da se pri sestavljanju elementov različnih izdelovalcev ujema luknje za vijake (mere: a, b in n) ter da sovpadajo premeri tesnilnega zoba (mera d₆). Druge dimenzije lahko delno prilagodimo možnostim. Mere podaljška "h" s premeroma d₄ in d₅ so podane le kot okvirni namig, kakšno cev naj uvarimo, primeren varilni rob v prirobnici je treba predvideti sproti z ozirom na izbrano cev in glede na sposobnost varilnega postopka. Za primer mala izkušnja: če uvarimo v prirobnico tanko kovinsko cev premera večjega od d₃, se rado zgodi, da jo pri zategovanju vijakov poškodujemo s ključem in bližnji spoj s steklom je v nevarnosti, sicer pa je glede na glavo vijaka premer d₃ lahko tudi še nekaj večji od zapisanega v tabeli.

Osnovne zahteve za material za CF prirobnice so:

- vakuumška tesnost
(puščanje manjše od 10^{-12} mbar l s⁻¹)
- večkratno pregrevanje do 450°C ne sme škodovati
- homogena neporozna sestava brez vključkov
- varivost s TIG (tungsten inert gas) postopkom
- nizek parni tlak
- majhna permeabilnost

Najpogostejše se za izdelavo uporabljajo nerjavna avstenitna jekla z oznako po JUS: Č4572 (prokron 11 spec), Č4574 (prokron 12 spec), Č4580 (prokron 11 extra) in tuja (po DIN: 1.4429, po AISI: 304), ki ne

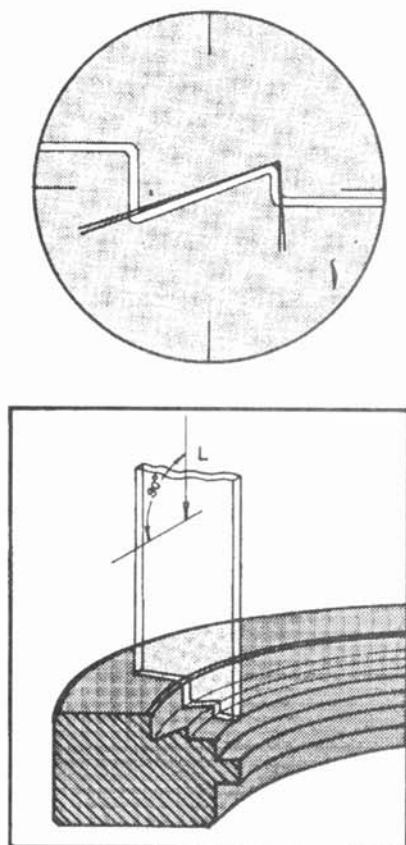
smejo biti porozna. Surovci morajo biti kovani ali valjani oziroma izrezani iz večjih kosov tako, da tokovnice prvotne obdelave potekajo vzporedno z bodočo steno vakuumskega elementa, v tem primeru namreč morebitne vzporedno potekajoče mikro razpoke ne morejo povzročiti puščanja. Pri nadaljnji tehnologiji izdelave se mora proizvajalec strogo držati predpisnega postopka, če želi obdržati kvaliteto v večjih serijah.

Tehnološko zaporedje del je naslednje:

- grobo struženje
- vrtanje lukenj (v serijski proizvodnji z večvrentskimi vrtnimi glavami ali na numerično krmljenih strojih)
- rezkanje utorov za leak detekcijo s helijem
- precizno struženje (uporaba posebnih vprijemnih glav s širokimi čeljustmi, da ne puščajo odtiskov, stružni noži za tesnilni zob se brusijo po povečani šablona na stroju s prigradenim profilnim projektorjem)
- vrezovanje navoja in strojno raziglenje robov
- hladilno sredstvo pri obdelavah z rezanjem ne sme vsebovati žveplovih spojin (da preprečimo kontaminacijo bodočih čistih površin z žveplom)
- čiščenje (razmaščevalno v ultrazvoku) in sušenje
- elektrolitsko poliranje
- kontrola kvalitete (predvsem prvi kos v večjih serijah), preverjamo vse glavne dimenzije ter hrapavost in profil tesnilnega zoba z ustreznimi merili in instrumenti (slika 4), nato pa z očesnim pregledom še tesnilno površino, če ni morda na njej kake poškodbe
- pakiranje za zaščito pri skladiščenju in transportu.

Za tesnilke v CF spojih se uporablja čisti baker s čim manjšim deležem kisika (kvalitete OFHC-oxygen free high conductivity). Če so namenjene za dolgotrajna pregrevanja ali pregrevanja v oksidativni atmosferi, je primerno, da so tesnilke za preprečitev prevelike oksidacije posrebrene/5/. Njihova debelina je vedno 2 mm, premera pa sta podana v tabeli pri sliki 3. Površine morajo biti brez raz in čiste. Zaradi plastične deformacije so praviloma namenjene le za enkratno uporabo. Zaradi težav pri nabavi novih večkrat prekršimo to pravilo, in če tesnilka ni bila pregreta nad 150°C, se da uspešno uporabiti večkrat, tudi do 10 krat. Pri tem svetujemo naslednje:

- pri segrevanju CF spoja zategovati vijake navzkrižno in postopoma, po možnosti z momentnim ključem
- zategovati le toliko, da dosežemo tesnost spoja
- pri odpiranju spoja tesnilko snemati previdno, da ne nastane raza na njej ali na zobu prirobnice /3/
- tesnilko v prvotni legi zaznamovati in ponovno uporabiti na istem spoju in v isti legi /3/
- pred zategovanjem preveriti, da matice dobro tečejo po vijaku in rahlo namazati navoj s temperaturno odpornim mazivom (grafitna mast)



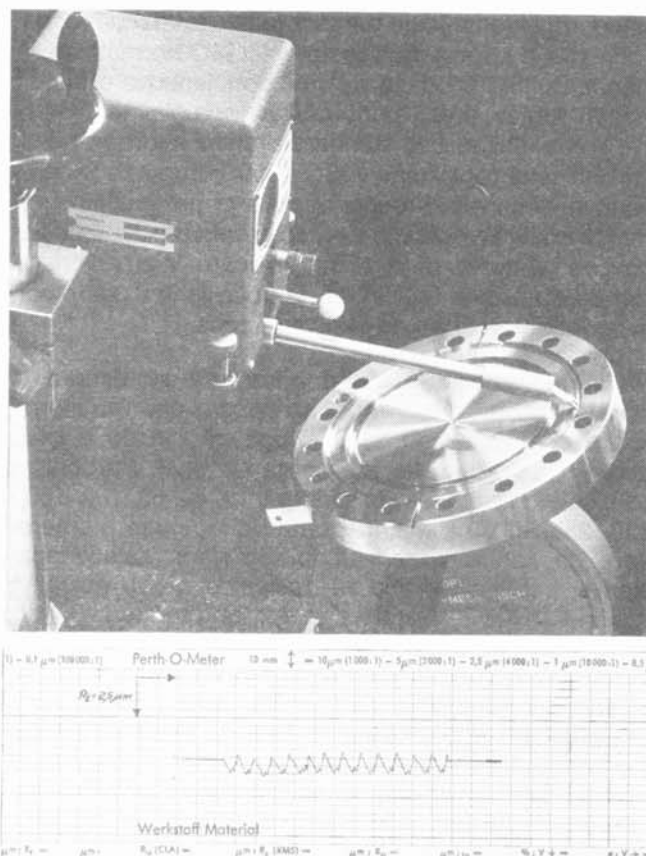
Slika 4. Kontrola kvalitete izdelave [1]
a-pregled oblike in dimenzij tesnilnega zoba
b-meritev hrapavosti površine zoba

Poleg bakrenih tesnilk se pri proizvajalcih vakuumske opreme dobe za CF-spoje tudi tesnilke iz elastomerov, v preseku so rahlo trapezaste oblike - na obodu debelejše - da bi jih ne potegnili navznoter. Uporabne so samo, če sistema ne pregrevamo in zelo primerne za primere, ko je treba spoj pogosto odpirati.

Kot zanimivost naj povemo, da so poleg normalne izvedbe iz nerjavnega jekla in bakra izdelali kompleten CF spoj tudi že iz aluminija. Japonski proizvajalec "HAKUDO" prodaja prirobnice standardne velikosti, kovane iz specialne Al-zlitine in termično obdelane. Tesnilni zob je dodatno ojačen s tanko plastjo CrN ali TiN [4], ki ščiti tudi pred razami in pred sprijetjem. Iz aluminija oziroma iz Al-zlitin so tudi tesnilke ter vijaki s podložkami in maticami.

3. Zaključek

CF-prirobnice so dandanes sestavni del vseh standardnih elementov za V in UV vakuum in omogočajo modularno gradnjo naprav in sistemov. Proizvajalci vakuumske opreme jih predstavljajo v svojih katalogih kot surovce za različne izvedbe varenja ali spajkanja



na cevi ali ohišja in tudi kot že dovršene uporabne elemente (kolena, križni in T-kosi, okna, ventili itd.). Kljub raznovrstnosti ponudbe vakuumisti med njimi pogosto ne najdemo primerne za svojo potrebo, ali pa je hitrejša in cenejša od uvoza domača delavnica. V takih primerih nam bodo zbrani podatki in napotki olajšali izdelavo in nas ponovno opozorili na vrsto malenkosti, ki so tudi sicer pomembne za zanesljivost delovanja naših vakuumskih naprav.

4. Literatura

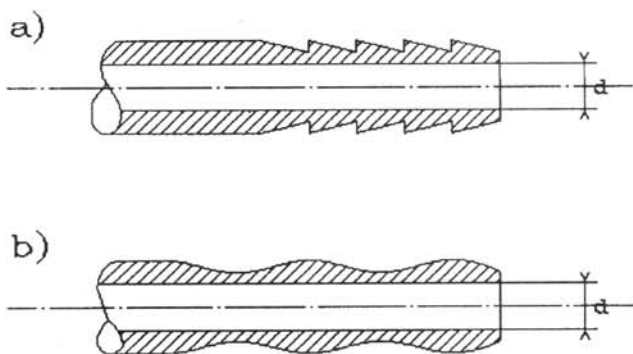
- /1/ K. Verfluss in sodelavci: Die Fertigung von CF-Flanschen, LH Bereich 1971
- /2/ Wutz, Adam, Walcher: Theorie und Praxis der Vakuumtechnik, 2. izdaja, Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1972
- /3/ V. Nemanič in sodelavci: UVV prirobnice in tesnilke, Vak. kongres 1983
- /4/ Prospekti različnih proizvajalcev
- /5/ G.F. Weston: Ultrahigh Vacuum Practice, Butterworth & Co. Publishers Ltd, 1985
- /6/ G.L. Weisler, R.W. Carlson: Vacuum Physics and Technology, Academic Press, N.York 1979
- /7/ Varian: Basic Vacuum Practice, 1986
- /8/ Standardi ISO 1609, 3669

NASVETI

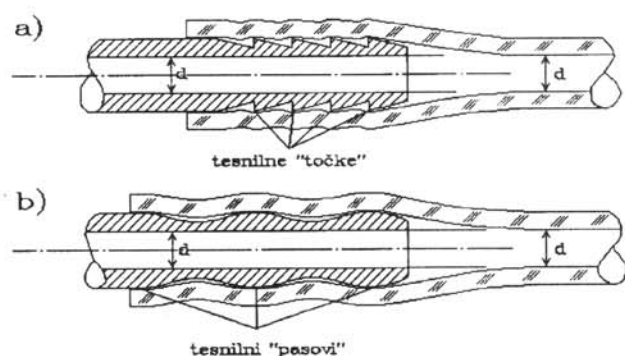
POGOSTE KONSTRUKCIJSKE NAPAKE

Vodovodno-plinovodna konstrukcijska logika lahko pripelje v vakuumski tehniki do nedopustnih pomot, med katere spadata tudi naslednji:

1. Kadar želimo priključiti rotacijsko črpalko na vakuumski sistem, navadno uporabimo gibko vakuumsko gumijasto ali plastično cev, praviloma enakega notranjega premera d , kot ga ima sesalni priključek na črpalci. Zaradi neutemeljene bojazni, da bi cev "izpadla" s kovinskega nastavka, zahtevajo "konstrukterji" od svojih strugarjev, da ga narebričijo oz. da napravijo iz gladke kovinske cevi tki. olivo, tako kot prikazuje sl. 1a in b. Ko nanj navlečejo cev, pa zadeva izgleda takole (sl. 2a,b).



Slika 1a in b. Najpogostejša NEPRAVILNA izvedba vakuumskega priključka za gibko cev.

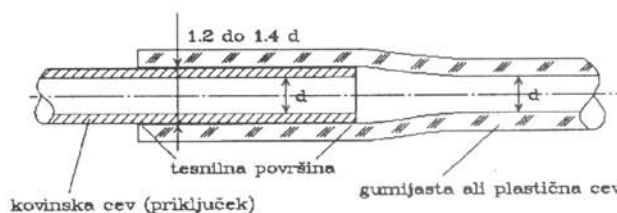


Slika 2. Tesnilna površina na nepravilnih oblikah

Nekoliko izobraženi vakuumisti pa vemo, da je tesnjenje tem boljše, čim večja in gladka je tesnilna površina, zato vzamemo (preprosto!) ravno cev oz. priključek, katerega zunanji premer je za 20 do največ 40% (odvisno od trdote materiala cevi) večji od odprtine (tj. notranjega premera) gumijaste oz. plastične cevi (sl. 3). Že iz sl. 2 in 3 je razvidno, da

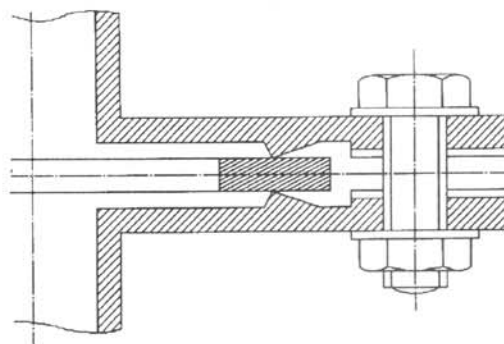
je tesnilna površina pri ravni kovinski cevi oz. priključku enake dolžine nekajkrat večja, zato pa je tudi tesnjenje nekajkrat boljše.

Še veliko bi lahko govorili o gibljivih povezavah in njihovi izvedbi, vendar to ni namen tega sestavka.



Slika 3. Pravilna izvedba vakuumskega priključka za gibljivo cev

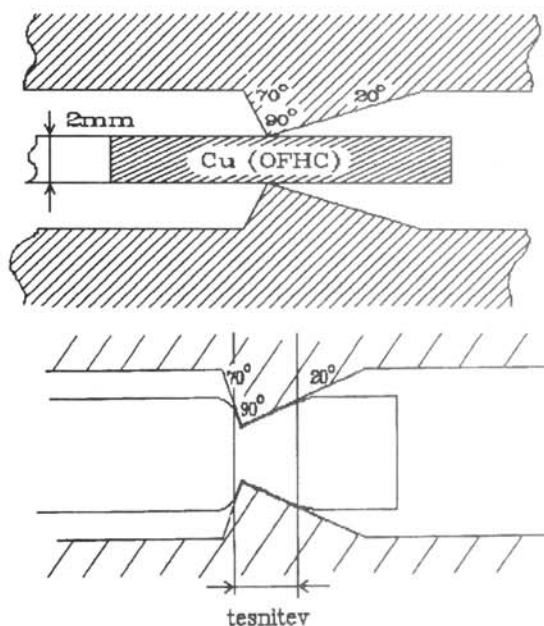
2. Tudi izobraženi ultravakuumisti delajo napake pri tesnjenju, ki ga poznamo pod imenom "CON-FLAT" (izg. konflet). Prirobnici imata "zob", ki se med stiskanjem zagriže v mehko ploščato bakreno (OFHC) obročasto tesnilo, navadno 2 mm debeline, in tako nastane tesnitev, ki dovoljuje pregrevanje do 800 K in hlajenje do temperature tekočega dušika, 77 K, oz. vzdrževanje ultra visokega vakuma do 10^{-12} mbar (sl. 4). Pravilno oblikovan



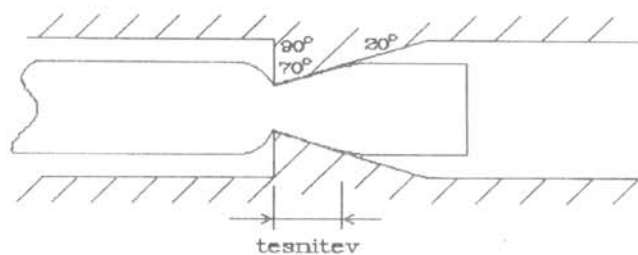
Slika 4. Del CON-FLAT spoja pred stisnjenjem prirobnic s privijanjem vijakov z momentnim ključem.

zob ima ob vrhu kot 90° (sl. 5). Mehki bakreni material se ob stiskanju hladno preoblikuje ter lepo objame zob po večjem delu površine, kot pa v primeru, če je kot ob vrhu le 70° (sl. 6).

Pozor! Strugarji si zelo radi poenostavijo delo in vam izdelajo tako "poenostavljeno" prirobnico, ki pa je slabša od tiste na sl. 5.



Slika 5. a) CON-FLAT (detail): stik prirobnic z bakreno tesnilko pred stiskom pri pravilno oblikovanem "zobu" (kot 90°)
b) tesnitev po stisku prirobnic.



Slika 6. Nepravilna izvedba CON-FLAT prirobnic; "zob" s kotom 70°.

Za konec današnjih nasvetov: Spet ni bilo nobenih vprašanj, mi pa trmasto vztrajamo.

Dr. Jože Gasperič
Institut "Jožef Stefan"
Jamova 39, 61111 Ljubljana

PODROČJA UPORABE VAKUUMSKIH TEHNOLOGIJ

1. Kemijska industrija

Proces	Izdelek in uporabnost
Destilacija	Mehčala, maščobne kisline, maščobe, olja, monogliceridi, mineralna olja, ogljikove spojine z visokim vreliščem, vitamini, voski, drugi kemijski izdelki z visokim vreliščem in polizdelki. Sintetični prepolimeri
Sublimacija	Voski, kemijski izdelki z visokim vreliščem in polizdelki, barvila
Izplinjevanje	Polimeri kot izolacijska sredstva za kable, olja za kondenzatorje in transformatorje ter za usnjene izdelke
Sušenje	Plastika in občutljive kemikalije, kvas, proteini, farmacevtski izdelki itd.
Sušenje v zmrznjenem stanju (liofiliziranje)	Kvas, proteini, farmacevtski izdelki itd.
Koncentriranje raztopljenih snovi	Eksplozivi, kovinski prahovi, organske kemikalije

2. Elektroindustrija

Proces	Izdelek in uporabnost
Izsuševanje	Povoskan papir za kondenzatorje, pirelen
Sušenje	Aroclor in podobno, olja za kondenzatorje
Impregniranje	Sestavine za izolacijo kablov, z oljem polnjeni kablji, telefonski kablji Zalivna masa merilnih transformatorjev, z oljem polnjeni merilni transformatorji, zalivna masa navitij S klofonom polnjeni transformatorji, oljni transformatorji Motorji, tuljave, transformatorji z lakirano žico

Črpanje	Regulatorji s tekočinskimi kapilarnimi cevkami, termometri, prekinjevalniki oljnih tokokrogov
Izplinjevanje	
Polnjenje	
Vakuumske metalurške naprave	Pregrevanje, taljenje in sintranje materialov za elektronke, kovine za tranzistorje in monokristali, magneti in podobno
Naparevanje	Upori, kovinske plasti, kontakti, mikroelektronska vezja, selenski usmerniki, nanos tankih plasti na kristale za oscilatorje
Črpanje	Vzdrževanje vakuumu v industrijskih usmernikih, visokonapetostni osciloskopi in sistemi, elektronski mikroskopi, rentgenske elektrone in pospeševalniki delcev
Čiščenje	Polprevodniški izdelki
Mešanje	
Staranje	
Nanašanje tankih plasti	Izdelava integriranih vezij in polprevodniških sestavnih delov
Naprševanje	Tankoplastne tehnologije (trde prevleke na orodjih)
Črpanje	Vzdrževanje vakuumu v ionskih implantorjih, MBE (epitaksija z molekularnim curkom) sistemi

3. Znanstveni instrumenti

Proces	Izdelek in uporabnost
Črpanje	Vzdrževanje vakuumu v elektronskih mikroskopih, masnih spektrometrih, analizatorjih površin, elektronskih in ionskih mikrosondah
Naparevanje tankih plasti	Priprava vzorcev za elektronsko mikroskopijo

Sušenje v zmrznjenem stanju	Priprava vzorcev za elektronsko mikroskopijo
-----------------------------	--

4. Finomehanična industrija

Proces	Izdelek in uporabnost
Naparevanje in naprševanje	Zaščitne in okrasne prevleke za dele preciznih mehanskih naprav

5. Blago široke potrošnje

Proces	Izdelek in uporabnost
Naparevanje	Okraski in izveski, škatle, pokali, vaze, glavice vijakov, gumbi, napisne plošče za hladilnike in radijske aparate. Reflektorji za naglavne svetilke, gumbi za avtomobilске hupe (glej tudi Industrijo plastike)
Črpanje	Kapilarne cevke za občasno polnjenje (npr. s parfomom)
Impregnacija	Papir (v zvitkih), vezane plošče in materiali za izdelavo pip za tobak, ribiške mreže, les, material za pakiranje, azbestni izdelki, barvasti okviri (impregnacija nosilnega materiala z barvili)
Toplotno oblikovanje	Gospodinske in druge potrebščine, narejene iz plastičnega materiala

6. Žarnice in izdelava elektronk

Proces	Izdelek in uporabnost
Črpanje in izplinjevanje	Elektronke: plinske, z getri, TV, rentgenske, fluorescentne žarnice, svetila na žarilno nitko, termos steklenice in termometri
Naparevanje	TV elektronke

7. Hladilniška industrija

Proces	Izdelek in uporabnost
Črpanje in izplinjevanje	Hladilni sistemi
Izplinjevanje in sušenje	Olja za hladilnike
Črpanje	Izolacija posod in zbiralnikov za utekočinjene pline

8. Industrija plastike

Proces	Izdelek in uporabnost
Naparevanje	Okrasno naprejanje kovin, okraski in izveski iz pleksija, reflektorji za sprednje in zadnje avtomobilске luči, priponke, kič (glej Industrija igrač in nakita), električno prevodne plasti
Vakuumsko vliivanje	Vitki (npr. izolatorji) iz zalivnih mas, zahtevno modeliranje
Impregnacija	Tuljave in navitja (glej Elektro industrijo)
Sušenje in izplinjevanje	Primarni sintetični izdelki, zalivna masa, sintetična vlakna
Toplotno oblikovanje	Gospodinski in drugi pripomočki iz plastike

9. Medicinske raziskave

Proces	Izdelek in uporabnost
Sušenje v zmrznjenem stanju (liofilizacija)	Laboratorijske raziskave in študije: anatomije (makroskopski preparati za demonstracije), histokemija (histološki preparati za lociranje sestavin tkiva) citologija (študij celične zgradbe), elektronska mikroskopija (preparacija), kirurgija (hranjenje transplan-

tacijskih materialov, kot so arterije, vene, živčna vlakna, koža, tkiva in kosti), botanika (jedra celic, študij kloroplastov in encimov), bakteriologija (bakterije, virusi in vakcine)

10. Metalurška industrija

Proces	Izdelek in uporabnost
Žarjenje Izplinjevanje	Obdelava kovin in zlitin, ki so sprejemljiva za oksidacijo in/ali za pline, v visokem vakuumu
Trdo spajkanje Sintranje	Trde (refraktorne) kovine, magneti in drugi kovinski prahovi, sprejemljivi za oksidacijo ali za pline
Taljenje Vlivanje	Kovine z najmanjšo možno vsebnostjo plinov, brez lukenj, kot npr. kroglični ležaji, žice in nuklearna tehnika
Destilacija in sublimacija	Izdelki iz čistih kovin, kot so bizmut, selen, cink, antimon, magnezij, cirkonij in titan
Izplinjevanje jekla	Vakuumsko viliti ingoti za kovanje, vakuumsko izplinjena legirna jekla in vakuumsko izplinjeno lito jeklo
Plinska analiza	Določanje dušika, kisika, vodika v kovinah, posebno v titanu, cirkoniju, jeklu in uranu

11. Živilska predelovalna industrija

Proces	Izdelek in uporabnost
Sušenje v zmrznjenem stanju (liofilizacija)	Zmanjšanje prostornine in teže živil ter njihovo konserviranje in pakiranje v inertni plinski atmosferi z namenom ohraniti hranilno vrednost in okus
Destilacija, izločanje topil, zgoščevanje	Sadni sokovi in posebna živila z namenom ohraniti vitamine in aromo
Izplinjevanje	Hramba žita (zaščita pred paraziti)
Vakuumsko pakiranje	Pakiranje živil in drugih pridelkov v vakuumu in v inertnih plinih

12. Optična industrija

Proces	Izdelek in uporabnost
Naparevanje	Antirefleksna prekritja na lečah, ogledala, polprepustna ogledala svetlobni filtri in interferenčne plasti

13. Farmacevtska industrija

Proces	Izdelek in uporabnost
Sušenje v zmrznjenem stanju	Antibiotiki in zdravila, krvna plazma, serum, bakterijske in virusne kulture, vakcine, tkivne kulture (priprava svežih embrionalnih celic), beljakovinski preparati, npr. materino mleko
Tesnjenje, zatesnjevanje	Snovi, ki ne smejo biti osušene do manj kot 1% residualne vlage, npr. materino mleko, živila, tkivne kulture (za pripravo svežih embrionalnih celic)
Destilacija	Vitaminski (A, E, ...)
Sušenje	Antibiotiki, hormoni
Sterilizacija	Medicinska oblačila

14. Industrija igrač in draguljev

Proces	Izdelek in uporabnost
Naparevanje	Gumbi iz stekla ali plastike, plastične igrače, dragulji, zapestnice, uhani, glavniki itd., spominki, vaze, značke, medalje, umetni biseri, modni izdelki iz lesa

15. Tekstilna industrija

Proces	Izdelek in uporabnost
Sušenje in izplinjenje	Sintetična vlakna
Naparevanje	Zaščitne kovinske prevleke in barvno spreminjajoče se okrasne plasti na tekstilu

16. Nuklearna tehnika

Proces	Izdelek in uporabnost
Sintranje v vakuumu	Nuklearne kovine, keramika, karbidi
Filtracija Zatesnjeni sistemi	"Vroči" laboratoriji

17. Avtomobilska industrija

Proces	Izdelek in uporabnost
Črpanje	Polnjenje prezračevalnih in hladilnih servo sistemov
Izplinjevanje	Tekočinski zavorni sistemi
Iskanje netesnosti	Ohišja za motorje in menjalnike
Vakuumsko prekrivanje	Električne prevodne plasti na vetrobranskem steklu

18. Raziskave in razvoj

Proces	Izdelek in uporabnost
Vzdrževanje vakuumu	Posode za simulacijo vesolja, mehurčne celice, fuzijski reaktorji, pospeševalniki delcev, toplotna izolacija ali zaščita pred sevanjem (tekoči helij)

(Iz Leybold-ove brošure "Vacuum Vademecum"
prevedel dr. Jože Gasperič)

DRUŠTVENE NOVICE

Strokovno izobraževalni tečaj v letu 1992

Vse uporabnike vakuumske tehnike obveščamo, da bomo v letošnjem letu organizirali tečaje:

za vzdrževalce vakuumskih naprav

v dneh 5. in 6. maja ter 13. in 14. oktobra 1992

ter iz

osnov vakuumske tehnike

v dneh od 7. do 9. aprila ter od 3 do 5. novembra 1992

vsakič z začetkom v torek ob 8.00 uri v knjižnici Inštituta za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, Ljubljana.

Na tečajih **za vzdrževalce** bomo obravnavali problematiko, ki jo največ srečujemo v tehniki grobega in srednjega vakuumu, to je: delovanje, vzdrževanje in popravila rotacijskih črpalk, predstavili pa bomo še druge črpalke, meritve vakuumu in odkrivanje netesnosti v vakuumskih sistemih, skupno 16 ur, od tega polovico praktičnega dela.

Tečaj iz **osnov vakuumske tehnike** bo obsegal 20 ur predavanj z naslednjimi temami:

- pomen in razvoj vakuumske tehnike
- fizikalne osnove vakuumske tehnike
- črpalke za grobi vakuum (membranske, rotacijske, z vodnim obročem)
- črpalke za visoki vakuum (ejektorske, difuzijske in turbomolekularne)
- črpalke s površinskim delovanjem (sorpcijske, ionsko-getrske in krio)
- vakuumski spoji in tesnilke

- vakuumski sistemi
- vakuummetri
- odkrivanje netesnih mest (leak detekcija)
- vakuumski materiali in delo z njimi
- vakuumske tankoplastne tehnologije
- pomen površin v vakuumski tehniki in njihova karakterizacija
- vakuumska higiena in čisti postopki
- doziranje, čiščenje in preiskave plinov
- šest ur vaj in ogled inštituta

Tečaj je namenjen tako vzdrževalcem in razvijalcem vakuumskih naprav kot tudi raziskovalcem, ki pri svojem razvojnem ali raziskovalnem delu potrebujejo vakuumske pogoje.

Cena za udeležence iz delovnih organizacij: za tečaj za vzdrževalce je 12.000 SLT (cca 300 DEM), za tečaj iz osnov pa 10.000 SLT (cca 250 DEM).

Prosimo vas, da dokončno prijavo in potrdilo o plačilu dostavite en teden pred pričetkom tečaja na naslov:

Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije,
Teslova 30,
61111 Ljubljana,
(št. žiro rač.: 50101-678-52240).

Vsak udeleženec bo prejel pismeno gradivo in izkaz o opravljenem tečaju.

Prijave sprejemajo člani organizacijskega odbora (Koller, Nemanič, Mozetič, Drab in Spruk), ki dajejo tudi vse dodatne informacije (tel.: 061/267-341).

Delovanje DVTS v obdobju med obcnima zboroma društva 19.12.1990 in 6.3.1992

Izvršni odbor je imel v tem obdobju 6 sej, vmes so bile še tri seje uredniškega odbora Vakuumista in več manjših sestankov, predvsem za pripravo izobraževalnih tečajev. Članov IO je 15 in so se skoraj vsi skrbno udeleževali tako sej kot tudi izvajanja akcij, za katere smo se odločili. Naj te akcije na kratko naštejemo:

- glasilo Vakuumist je izšlo 3 krat: št. 22 v februarju, št. 23/24 v maju in št. 25 v decembru 1991
- strokovna ekskurzija v Saturnus 7.3.1991 - 24 udeležencev (pripravili: Trček, Banovec, Pregelj)
- priprava gradiva za prvi tečaj za vzdrževalce vakuumске opreme (mag. Nemanič, dr. Gasperič, Arsenijević, Pregelj)
- organizacija in izvedba prvega tečaja za vzdrževalce vakuumске opreme 20. in 21.3.1991 - 14 udeležencev (mag. Nemanič, Pregelj)
- delo za JUVAK (dr. M. Jenko - predsednica) - 14. seja IO je bila v Beogradu aprila 1991
- sodelovanje pri organizaciji 5. združene vakuumске konference Avstrije, Madžarske, Jugoslavije skupno s EVC-3 na Dunaju (dr. M. Jenko, dr. Zalar)
- sodelovanje v IUVSTA in obisk predsednika IUVSTA prof. Segovie v Ljubljani (dr. Zalar)
- urejanje blagajne in financ ter pobiranje članarine (Rozman)
- nabava strokovnih video filmov v ZDA (dr. Zalar)
- nabava računalnika (mag. B. Jenko)
- pridobitev starih črpalk (3 rot. in 3 dif.) od IJS za vaje na tečajih za vzdrževalce (dr. Gasperič)
- ureditev in tisk večine gradiva za tečaj za vzdrževalce (mag. Nemanič, Pregelj)
- priprava tekstov za 3. izdajo knjige "Osnove vakuumске tehnike" (mag. Nemanič)
- tečaj za vzdrževalce - prva ponovitev (10 udeležencev) 13. in 14. nov. 1991
- tečaj Osnove vakuumске tehnike (11 udeležencev) jeseni 1991 (Koller, mag. Nemanič, Pregelj, Spruk)
- vložitev prošnje (z obširno obrazložitvijo) za sofinanciranje našega glasila Ministrstvu za znanost in tehnologijo v 1992 letu (Panjan)
- udeležba naših članov na mednarodnih strokovnih srečanjih (EVC-3, ECASIA, ICENES, ...)
- ureditev spiska naslovov tovarn za razpise tečajev - baza naslovov (Godec, Pregelj)
- urejen spisek naslovov prejemnikov Vakuumista (Panjan, Pregelj)

Med naštetimi aktivnostmi moramo posebej poudariti pomen izdajanja Vakuumista, ki je edini širok povezovalni in informativni medij za vse vakuumiste v slovenskem prostoru. Pošljamo ga na približno 330 naslovov: v lanskem letu je izšel trikrat v nakladi 350 do 450 izvodov, in to v vedno kvalitetnejši izvedbi. Menimo, da razmeroma velik strošek za izdajanje glasila (okrog 800 do 1000 DEM za tiskanje naklade ene številke) ni vržen stran, saj predstavlja Vakuumist poleg omenjene informativne funkcije tudi lepo izkaznico naše stroke v slovenski tehniški javnosti. Poleg glasila je bil v preteklem obdobju za nas zelo pomemben korak priprava in izvedba prvega novega izobraževalnega tečaja po mnogih letih. Kot je znano, smo v zadnjih 10 letih organizirali 20 tečajev iz Osnov vakuumске tehnike, od tega so bili v letu 1987 kar štirje, v letih 1990 in 1991 pa le po eden. Lani sta se mu prvič pridružila še dva tečaja za vzdrževalce, kar kaže, da je novost potrebna in zanimiva in to nas vzpodbuja pri

namerah za pripravo drugih specializiranih tečajev. Tu naj hkrati omenimo, da nam je ta izobraževalna dejavnost zaenkrat edini vir dohodka in brez njega si izdajanja Vakuumista sploh ne moremo predstavljati.

Z Inštitutom za elektroniko in vakuumsko tehniko, kjer imamo sedež in kjer organiziramo tečaje, sodelujemo obojestransko. V lanskem letu smo poleg pisarne dobili v uporabo še sobico v tretjem nadstropju, katero bomo preuredili v društveni laboratorij.

Društvo je v Sloveniji član Elektrotehniške zveze Slovenije in ZITS, v Jugoslaviji pa že od leta 1959 skupaj s srbskim in hrvaškim društvom tvori Zvezo društev za vakuumsko tehniko JUVAK. Aktivnost DVT Slovenije v okviru zveze je bila vsa leta precejšnja: od Slovencev je prišla iniciativa za ustanovitev JUVAK-a, dr. Lah in prof. Kansky sta kot predstavnika jugoslovanskih vakuumistov sodelovala pri ustanovitvi mednarodne vakuumске zveze IUVSTA in tudi sedež JUVAK-a je bil vsa leta v Sloveniji. V preteklem letu je bilo kontaktiranje z drugima društvoma zaradi vojne zelo zmanjšano, letos pa - ob dejstvu, da je Slovenija samostojna država - formalno ni več utemeljeno, zato se bo treba prej ali slej dogovoriti za nove oblike sodelovanja, saj strokovnih stikov ne bi hoteli ukiniti.

Aktivnosti, ki so trenutno v društvu močne, vežejo nase delovne skupine ali odbore. Te so:

- uredniški odbor glasila Vakuumist
- organizacijski odbor za pripravo tečajev
- uredniški odbor za izdajo knjig za tečaje

So pa še nekatera področja, ki jih zaenkrat pokrivajo posamezniki s svojim entuziazmom; bilo bi primerno, če bi jim še kdo od članov priskočil na pomoč. Pomoč potrebujemo za naslednje naloge:

- finance, ekonomika in evidenca osnovnih sredstev
- razvoj izobraževanja
- sodelovanje z drugimi društvi in stiki s tujino
- specialna področja iz vakuumске tehnike
- skrb za članstvo in propagando
- knjižnica, izbor revij in knjig

Zadnja leta se je število članov, ki ne plačujejo članarine, precej povečalo. Želimo, da bi se to stanje popravilo, pa ne le s plačilom članarine, ampak s priključitvijo k sodelovanju pri društvenih akcijah. Možnosti in področij je, kot smo že omenili, veliko. Zaželeno je vsaka pobuda in predlog, ki bi pripomogla k nadaljnjemu razvoju naše panoge in k dvigu splošnega ali specialnega vakuumskega znanja v Sloveniji. Samo z več znanja se bomo lahko na poti med bolj razvite pogumneje odločali o zahtevnejših strokovnih korakih.

Na koncu se zahvaljujem za trud in sodelovanje članom I.O. in tudi vsem drugim, ki se niso pomišljali spoprijeti se s pogosto suhoparnimi opravili in so za dobrobit društva ljubiteljsko sodelovali na društvenih akcijah in marsikako delo opravili v svojem prostem času.

Andrej Pregelj
predsednik DVTS

OBVESTILA

43. Posvetovanje o metalurgiji in kovinskih gradivih,

Portorož, 7-9. oktober 1992, Hoteli BERNARDIN

V organizaciji Inštituta za kovinske materiale in tehnologije in pod pokroviteljstvom Društva za vakuumsko tehniko Slovenije bo od 7. do 9. oktobra v Portorožu - Hoteli Bernardin, 43. posvetovanje o metalurgiji in kovinskih gradivih. Na posvetovanju bodo obravnavana naslednja področja:

- sinteza sodobnih kovinskih materialov po konvencionalnih postopkih ter po postopkih metalurgije prahov in hitrega strjevanja
- razvoj modernih tehnologij proizvodnje jekla in aluminijevih, bakrovih, magnetnih in drugih zlitin
- matematično modeliranje in računalniška simulacija procesov in tehnologij
- korozija in korozijska obstojnost
- metode za karakterizacijo materialov
- vakuumška metalurgija in tanke plasti
- tribologija
- varstvo okolja
- druga področja uporabe kovinskih gradiv

Delovna jezika na posvetovanju bosta slovenski in angleški. Povzetke del pošljite najkasneje do 30. junija 1992 na naslov:

Organizacijski odbor 43. posvetovanja o metalurgiji in kovinskih gradivih - Portorož 92, Lepi pot 11, 61001 Ljubljana

Povzetek naj obsega približno 200 besed ali največ eno tipkano stran, format A4. Vsebovati mora točen naslov dela, imena avtorjev in inštitucij. Znanstveni odbor bo odločil, katera dela bodo predstavljena kot govorni prispevki in katera v poster sekciji.

Dela, uvrščena v program, bodo natisnjena v prvi številki Železarskega zbornika v letu 1993.

Dodatne informacije dobite pri Darji Humar (tajnica posvetovanja), Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, 61001 Ljubljana, Lepi pot 11, telefon (061) 151-161, telefax (061) 213-780.

Vir: Prvo obvestilo organizatorjev

Enajsta mednarodna konferenca o vakuumski metalurgiji (ICVM-11),

Antibes (Francija), 11-14 maj, 1992

Prva konferenca o vakuumski metalurgiji je bila leta 1964. Od takrat pa do danes se je uporaba vakuum-ske tehnike v proizvodnji sodobnih materialov zelo razširila. Na letošnji konferenci bosta obravnavani dve novejši področji: a) specialna taljenja (v okviru te sekcije bodo predstavljeni prispevki, ki obravnavajo vakuumске procese v kontrolirani atmosferi), b) metalurške prevleke (metode za pripravo in karakterizacijo prevlek, tribološke prevleke, korozijsko odporne prevleke, visoko temperaturne prevleke, dekorativne prevleke ...).

Za vse nadaljne informacije pišite organizatorjem konference na naslov:

11 ICVM Societe Francaise du Vide
119 rue du Renard
75004 Paris France

Tel: 33(1) 42 78 15 82, fax: 33 (1) 42 78 63 20

Vir: Drugo obvestilo organizatorjev

Tretja mednarodna konferenca "Plasma Surface Engineering" (PSE'92),

Garmisch-Partenkirchen (Nemčija), 25-29 okt. 1992

Program konference bo obsegal naslednje teme:

- osnove in uporaba fizikalnih in kemijskih postopkov nanašanja tankih plasti, podprtih s plazmo
- uporaba ionov, elektronov in curkov nevtralnih delcev za nanašanje tankih plasti in modifikacijo površin
- uporaba plazme in ionskih izvorov pri sintezi novih materialov s specialnimi električnimi, mehanskimi, optičnimi in biološkimi lastnostmi
- plazemska diagnostika in kontrola procesov
- kemijska in strukturna analiza plazme in strukturna analiza površin tankih plasti in prevlek
- uporaba tankih plasti in prevlek v mikroelektroniki, optiki, spominskih elementih, tribologiji itd.

Nadaljne informacije dobite:

Deutsche Gesellschaft für Galvano- und Oberflächentechnik e.V., Horionplatz 6, D-4000 Düsseldorf, FRG

Tel: (0211) 13 23 81

Vir: Prvo obvestilo organizatorjev

Mednarodna zveza za vakuumsko znanost, tehniko in uporabo (IUVSTA)

organizira dve študijski delavnici:

V mestecu Grange-over-Sands (Velika Britanija) bo od 7. do 9. okt. 1992 študijska delavnica z delovnim naslovom "Merjenje ultra visokega vakuumu".

Več informacij dobite pri:

Prof. J.H. Leck, Department of Electrical Engineering & Electronics, The University, P.O.Box 147, Liverpool L69 3BX, U.K.

Tel: (44) 51 724 2067, fax: (44) 51 794 454

V Münstru (Nemčija) pa bo od 7. do 9. okt. 1992 študijska delavnica z naslovom "Analize mejnih površin in površin molekul".

Za več informacij pišite na naslov:

M. Grasserbauer, TU-Wien, Institut of Analytical Chemistry
Getreidemarkt 9, 1060 Vienna, Austria

Vir: Obvestilo organizatorjev

XVI poletna šola in mednarodni simpozij o fiziki ioniziranih plinov (SPIG'92),

Beograd, 31 avg. do 4 sept.

Simpozij SPIG se organizira vsaki dve leti. Prvi je bil leta 1962. Kot vsi prejšnji, bo tudi ta organiziran v na-slednjih štirih sekcijah:

1. Atomski trkovni procesi
2. Interakcija delcev in laserskega curka s trdno snovjo
3. Nizko temperaturna plazma
4. Splošno o plazmi

Uradni jezik bo angleški. Več informacij dobite pri:

Dr. M. Milosavljević, SPIG'92, Nuklearni institut Vinča, 040 p.p. box 522, 11001 Beograd

Tel: 38 (11) 455 451, fax: 38 (11) 4440 195

E-mail: EHADZIEV@YBGEF51.BITNET

Vir: Prvo obvestilo organizatorjev

SPECIALNA VARJENJA

Na IEVT smo zaradi lastnih potreb razvili spajanja različnih materialov. Med njimi je varjenje zelo pomembno. Obdelali smo ga s stališča oblikovanja spojev, izdelave varjencev, čiščenja, zaščitnih atmosfer, vpenjanja in hlajenja, varilnih parametrov in končne obdelave zvarov. Za preskušanje spojev uporabljamo standardne postopke za merjenje puščanja vakuumskih sistemov in komponent, ki nam zagotavljajo visoko stopnjo kontrole kvalitete spojev.

TIG

- varjenje nerjavnih pločevin debelin 0.5 - 3 mm
- varjenje bakrenih pločevin debeline 0.2 - 1.5 mm
- varjenje na rotacijski ali koordinatni napravi
- varjenje v zaščitnih komorah
- ščitenje korena zvara z inertnim ali drugimi plini

MIKROPLAZMA

- varjenje nerjavnih pločevin, kovarja debeline 0.1 - 0.5 mm
- varjenje na rotacijski ali koordinatni napravi

LASER

- varjenje različnih materialov od debeline nekaj mikrometrov do 0.3 mm
- doravnavanje (trimanje) neparjenih plasti na steklu
- varjenje tankih pločevin, žic ali cevok ter neparjenih plasti
- varjenje na računalniško vodeni koordinatni mizici
- varjenje na rotacijski napravi
- varjenje v različnih zaščitnih atmosferah
- označevanje in pisanje po različnih materialih z računalniškim programom

Preskušanje tesnosti varjencev

- preskušanje s helijevim leak-detektorjem
- poročilo o velikosti puščanja
- vsi spoji so po želji testirani individualno

ŽELIMO VAM USTREČI – POKLIČITE NAS !



**INŠTITUT
ZA ELEKTRONIKO
IN VAKUUMSKO
TEHNIKO**

61111 LJUBLJANA, TESLOVA ULICA 30, POB 59,
JUGOSLAVIJA

Telefon: 061 267-341, 267-377, 263-461
Telefax: 061 263-098, Telex: 31629 YU IEVT

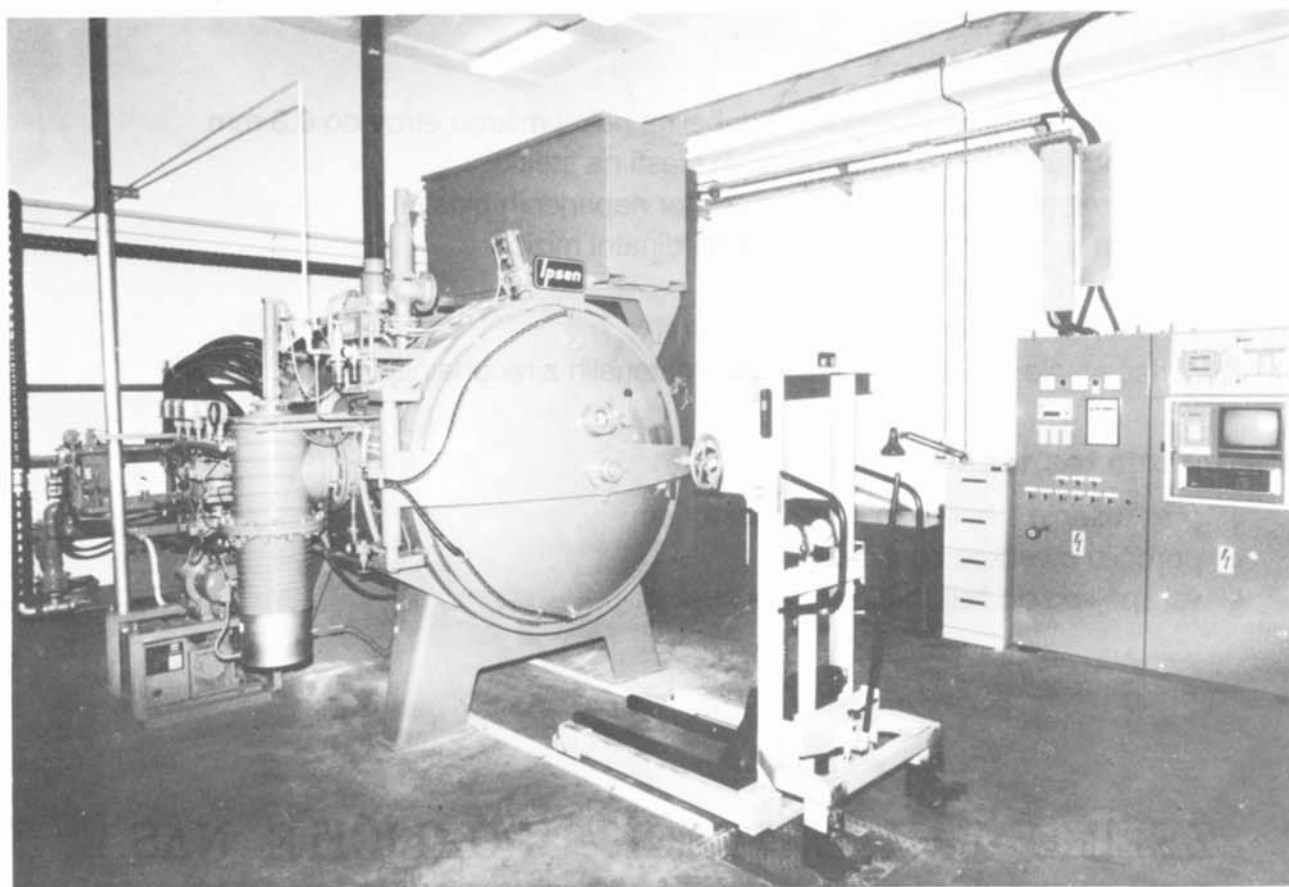
INŠTITUT ZA KOVINSKE MATERIALE IN TEHNOLOGIJE

Lepi pot 11, 61001 Ljubljana, p.p. 431

Telefon (061)332-502, Telefax (061)151-161
(prej METALURŠKI INŠTITUT)

Laboratorij za vakuumsko toplotno obdelavo, raziskave, razvoj in storitve

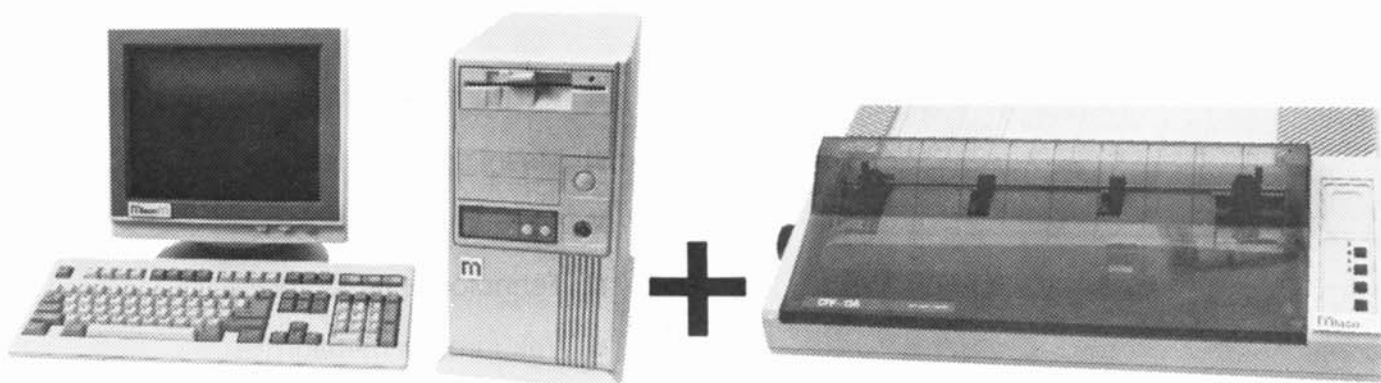
- svetlo žarjenje
- svetlo kaljenje
- raztopno žarjenje
- razplinjevanje
- žarjenje za poboljšanje magnetnih lastnosti
- visoko temperaturno spajkanje z istočasnim kaljenjem
- sintranje
- difuzijsko varjenje



• Vakuumska peč IPSEN VTC-324 R

mlacom
Mlacom d.o.o.

UGODNA
LEASING PRODAJA
NAJNIŽJE CENE
PRI NAS



PC-M-286-12-45 S TISKALNIKOM

- AT 286/12 MHz, 1 MB RAM, japonski hitri disk 45 MB, FDD 5.25" 1.2 MB (ali 3.5" 1.44 MB), tastatura 101, 14" monokromatski monitor, tiskalnik CITIZEN 9 igl. A4.

cena 104.000 SLT

- s tiskalnikom formata A3

cena 115.000 SLT

PC-M-286-16-45 NEAT S TISKALNIKOM

- AT 286/16 MHz, 1 MB RAM, japonski hitri disk 45 MB, FDD 5.25" 1.2 MB (ali 3.5" 1.44 MB), tastatura 101, 14" monokromatski monitor, tiskalnik CITIZEN 9 igl. A4.

cena 106.000 SLT

- s tiskalnikom formata A3

cena 117.000 SLT

PC-M-386-SX-16-45 S TISKALNIKOM

- AT 386/16-SX, 1 MB RAM, japonski hitri disk 45 MB, FDD 5.25" 1.2 MB (ali 3.5" 1.44 MB), tastatura 101, 14" monokromatski monitor, tiskalnik CITIZEN 9 igl. A4.

cena 115.000 SLT

- s tiskalnikom formata A3

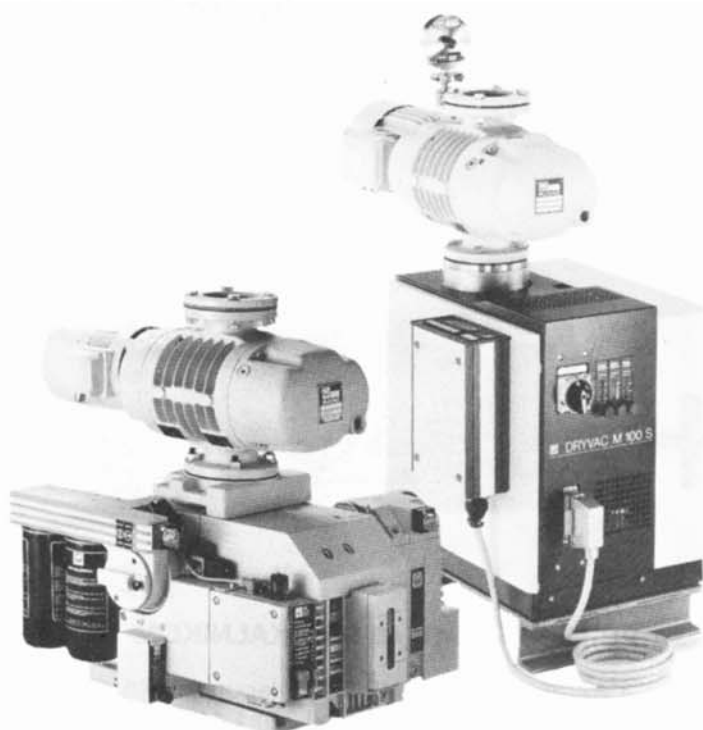
cena 128.000 SLT

Nudimo vam tudi
generacijo računalnikov 386, 486
in dodatno opremo: trde diske, streamerje,
barvne monitorje, matrične in laserske tiskalnike,
chicony in cherry tastature, YU tastature,
risalnice ROLAND, modeme, scannerje, mreže,
neprekinjena napajanja.

Delovni čas servisa:

vsak dan od 9.00 do 12.00 ure in od 13.00 do 16.00 ure ter prvo soboto v mesecu od 8.00 do 11.00 ure.

Mlacom d.o.o. Koželjeva 6, tel. (061) 114-131, faks (061) 114-350



IZDELKI

- Vakuumske komponente in sistemi
- Masni spektrometri
- Vakuumske tehnologije
- Tehnologije tankih plasti
- Vakuumska metalurgija
- Vakuumska termična obdelava

SERVIS

- Servisiranje vakuumskih naprav in komponent
- "He"-leak detekcija
- Razvojne storitve
- Svetovanje
- Leasing

Zastopstva in servis:

MEDIVAK

MEDIVAK D.o.o., Peternelova 21, 61230 Domžale
Tel.: (061) 713 060, Fax: (061) 713 060

