

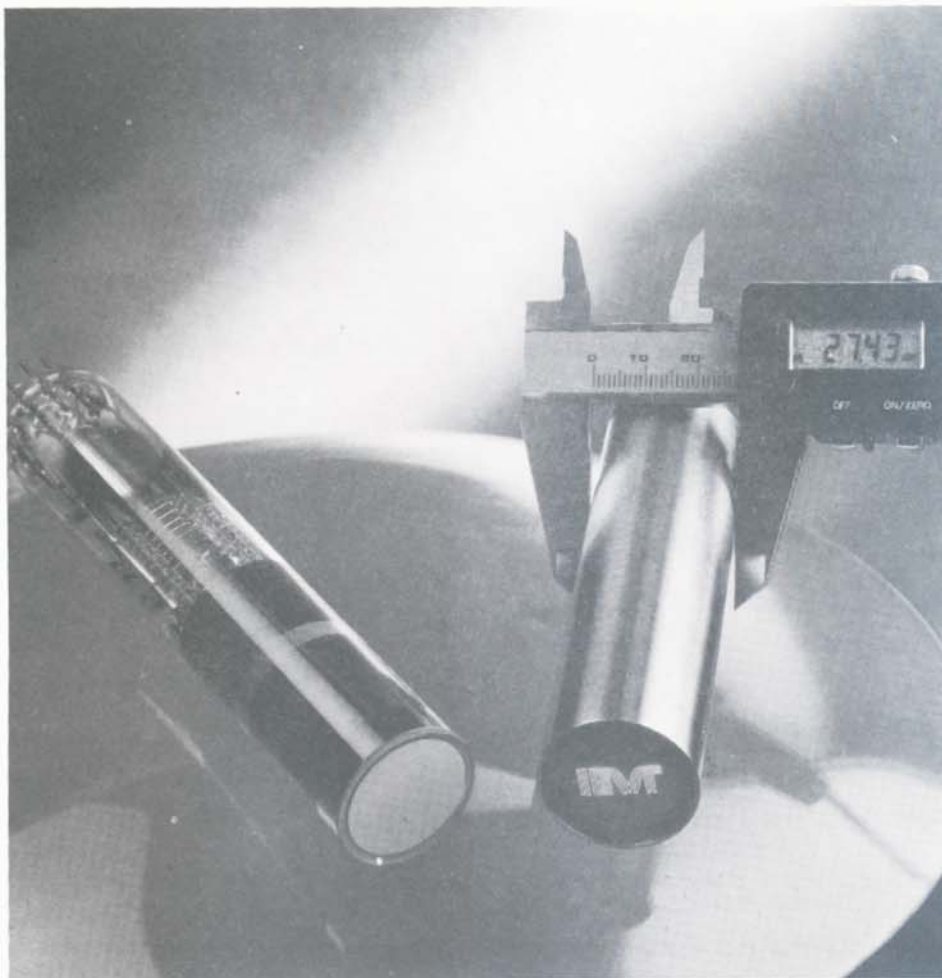
VAKUUMIST

GLASILO DRUŠTVA ZA VAKUUMSKO TEHNIKO SLOVENIJE

Srečno novo leto 1992!

LJUBLJANA, DECEMBER 91

ŠT. 25,1991/4



VSEBINA

- Miniaturna katodna elektronka (V. Nemanič)

- Študij segregacij na površini neorientirane elektro pločevine z metodo AES (M. Jenko, F. Vodopivec, A. Osojnik, B. Praček)

- Vakuumski merilnik na vrtečo se kroglico (G. Planinšič)

- Uvid u moderne optičke tanke slojeve (P. Vretenar)

- Nasveti (J. Gasperič)

- Novice DVT Slovenije

- Poročila s konferenc

- Nekaterе novosti proizvajalcev vakuumske opreme

- Obvestila

- Rudiju Jančarju v spomin

Slika na naslovni strani prikazuje miniaturno 1" katodno cev z visoko ločljivostjo, ki so jo razvili in izdelali na Inštitutu za elektroniko in vakuumsko tehniko.

- 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 vakuumske tehnike in sistemov), dr. Monika Jenko (urednica za področje vakuumske metalurgije), dr. Alojzij Križman, 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,

MINIATURNA KATODNA ELEKTRONKA

Predstavitev postopkov izdelave

Mag. Vinko Nemanič, IEVT, Teslova 30, Ljubljana

Miniature cathode ray tube

Povzetek

V članku sem predstavil važnejše postopke izdelave miniaturne katodne elektronke. Zahteve za čistočo sestavnih delov pred vgradnjo so izredno stroge, saj je elektronka po oddalitvi zaprt vakuumski sistem. Med črpanjem in procesiranjem katode moramo zagotoviti take vakuumske razmere, da lahko elektronka obratuje sprejemljivo dolgo časa, kar je za uporabnike eden bistvenih podatkov.

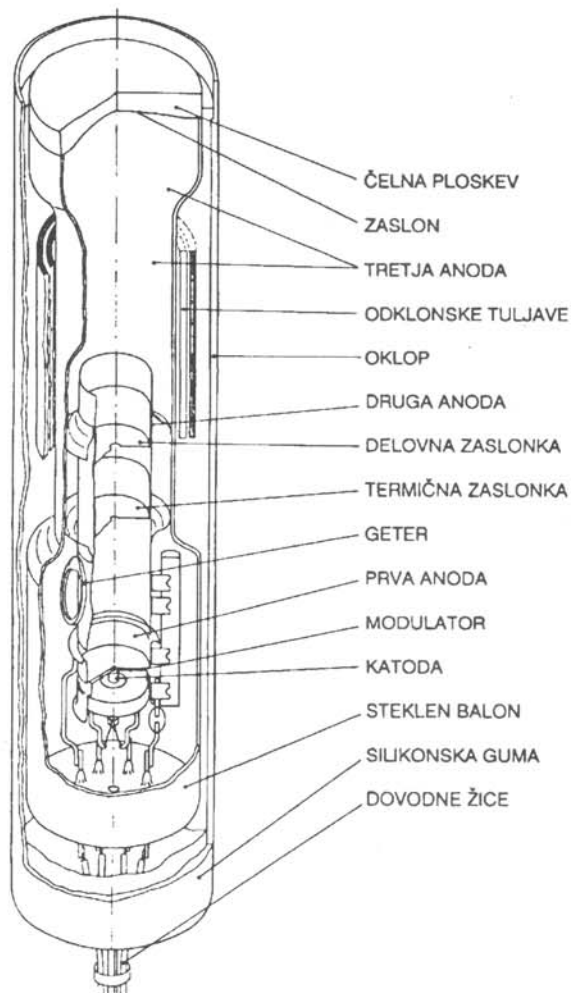
Abstract

In the following paper, main steps of manufacturing of miniature cathode ray tubes are given. Cleaning procedure of tube parts before pumping is an essential operation, because after tipping off the tube is a closed system. During evacuation and cathode processing, vacuum conditions must be obtained, which guarantee reasonable lifetime; one of the most critical tube performances.

Elektronke so s prodorom transistorja že v šestdesetih letih začele izgubljati pomembno mesto, ki so ga zasedale do takrat. Obdržale so se le tam, kjer prosti elektroni opravljajo funkcijo, ki jo v trdni snovi ne morejo. Med takšne elektronke sodijo: visokofrekvenčne in močnostne (npr. oddajniške) elektronke, klistroni, tiratroni, svetlobni ojačevalniki in seveda katodne elektronke (npr. TV zasloni), ker so zaradi izjemnih lastnosti še vedno nenadomestljive. Slednje se uporabljajo za prikaz črno-bele in barvne slike, najrazličnejših oblik in velikosti in za mnoge splošne in seveda specialne namene. Na IEVT smo za slednje razvili dva tipa miniaturne katodne elektronke, kjer premer zaslona (ekrana) ne presega 30 mm. Oba tipa se razlikujeta po načinu odklanjanja elektronov; prvi tip elektronke ima elektromagnetni odklon in smo jo označili z MKEM, drugi pa elektrostatičnega in smo jo označili z MKES.

Miniaturna katodna elektronka je po funkciji vakuumška slikovna elektronka z vgrajenim slikovnim zaslonom, združena z odklonskim sistemom in v zaščitnem elektromagnetnem oklopu, zalita v kompaktno enoto. Prerez in oznake osnovnih sestavnih delov so na sliki 1.

Osnovni princip delovanja pa je poznan že vsaj stoletje, zato ga obnovimo na osnovnošolski stopnji. V stekleni vakuumški posodi imamo vročo katodo, iz katere izhajajo elektroni, ki jih sistem elektronskih leč zbere, usmeri na zaslon, ta pa ob trkih z njimi zasveti. Na poti do zaslona periodično odklanjamo elektrone v prečnem magnetnem ali električnem polju, tako da dobimo osvetljeno celo ploskev zaslona. S spremembo jakosti elektronskega curka zapisujemo svetla in



Slika 1: Prerez miniaturne katodne elektronke MKEM. Premer oklopa je 27,45 mm, dolžina brez dovodnih žic je 125 mm.

temna mesta, ki jih zaznavamo kot sliko. Enostaven princip je omogočil razvoj, ki se kaže v vse boljši kvaliteti slike pri sprejemljivi ceni in mu še ni videti konca. Trije elektronski izviri, tri osnovne barve luminiscenčne snovi zaslona in senčna maska pred njim omogočajo nastanek barvne slike po istem principu.

Našo miniaturno katodno elektronko lahko opišemo enako, le da je vse zelo pomanjšano, razen zahtev, ki so zaostrene. To velja tako za svetlost, pravilnost in ostrino slike, kot za kvaliteto vakuumu v njej. Realizacija razvoja tako zahtevne komponente, kakršna sta oba tipa elektronke, je možna v daljšem času in ob obvladovanju interdisciplinarnih znanj; od fizike gibanja elektrona, poznavanja vedenja ma-

terialov v visokem vakuumu, do obvladovanja mikrofotometričnih in zahtevnih električnih meritev. Za vakuumista je verjetno zanimiva predstavitev vakuumskih zahtev in poti, po kateri jih zadovoljimo.

Katodne elektronke delujejo s sprejemljivo življenjsko dobo le, če imajo ves čas obratovanja tlak nižji od 10^{-6} mbar. Razlog je v pogostosti trkov ionov, ki ne smejo bistveno vplivati na občutljive dele elektronke (emisivnost katode, bombardiranje zaslona). Zviševanje tlaka v elektronki poslabša električne izolacijske sposobnosti (preboji med elektrodami), kar se zgodi navadno pri tlaku 10^{-3} do 10^{-4} mbar. Pri tem pa je vakuum še vedno skoraj idealen toplotni izolator in dopušča še vedno večini elektronov, da kljub trkom prispejo od katode do zaslona, vendar vzdrži katoda tako intenzivno bombardiranje le zelo kratek čas. Pri nadaljnjem večanju tlaka nastane v elektronki plazma in s tem njeno trenutno uničenje.

Težko je napovedati, kakšen tlak v elektronki moramo ustvariti, da bo brezhibno delovala primeren čas. Spoznati je treba namreč procese, ki potekajo v prisotnosti razredčenih plinov v plinasti in trdni fazi in njihovo dinamiko. Prostornina elektronke (nekaj deset cm^3) predstavlja pri tlaku 10^{-7} mbar izredno majhen, zaprt sistem, saj ga lahko izrazimo kot neznaten delec mase ($\sim 10^{-12}$ g). Zaprt sistem navadno pomeni, da nima izmenjave delcev z okolico, kar je res pri dobri elektronki, saj puščanje in permeacija (prodiranje) plinov skozi stene skoraj ne prispevata k naraščanju tlaka. Merjeni končni tlak, ki se vzpostavi, predstavlja parne tlake materialov, ki se nahajajo v posodi, in ostanke plinov, t.i. preostalo ali residualno atmosfero. Resnično ravnovesje smo dosegli, ko se tlak pri dani temperaturi v daljšem času ne spreminja. Reakcije, ki določajo ravnotežje, so površinske in opisujejo tvorbo in razpad šibke kemijske ali fizikalne vezi med plinom in trdno snovjo, t.i. kemijsko in fizikalno adsorpcijo in desorpcijo.

V prisotnosti električnih polj, vroče katode in curka elektronov postane elektronka živahen kemični reaktor. Med elektroni in molekulami prihaja do trkov, vzbujanja notranjih stanj in ionizacije. Nastali ioni pa v električnem polju pridobijo veliko energijo, s katero sprožajo desorpcijo plinov na stenah in spremembo strukture vrhnje plasti materialov. Za ione, ki se znajdejo v elektronskooptičnem sistemu, veljajo isti zakoni kot za elektrone, za katere želimo, da prispejo s katode na zaslon. Negativni ioni tako bombardirajo zaslon, pozitivni pa katodo, ravno najbolj občutljivejša elementa celotnega sistema. Ravnovesni tlak se pri delovanju lahko spremeni, prav tako njegova sestava. Četudi obstaja o vakuumskih materialih in metodah procesiranja elektronk obširna literatura, se je treba do znanja, kako izdelati kvalitetno elektronko, dokopati z lastnim naporom.

Na kratko podajamo postopke priprave delov elektronke, ki smo jih sicer med razvojem spreminjali, vendar so realen prikaz potrebnih faz.

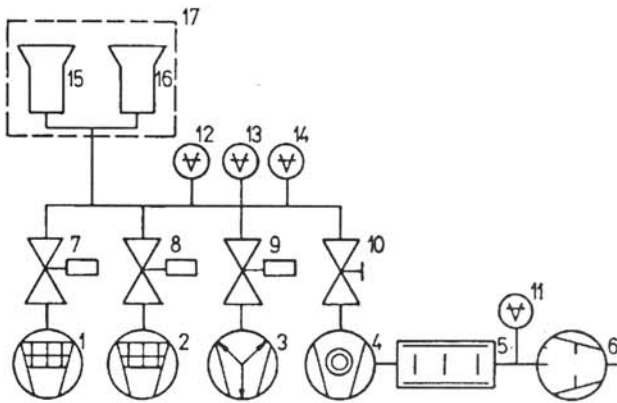
Vse kovinske sestavne dele elektronskega topa razen katode takoj po mehanski obdelavi, pred sestavljanjem, očistimo vseh maščob in drugih nečistoč. Uporabljamo kombinacijo čiščenja z detergenti in organskimi topili v ultrazvočnih kopelih, izpiranje v deionizirani vodi in sušenje v parah topil. Tako pripravljene dele v enostavnih orodjih točkasto zvarimo v podsklope, ki jih v vodikovi peči pri temperaturi 900-1000°C žarimo določen čas, da s površine odstranimo zadnje ostanke nečistoč in kovinskih oksidov. Tako pripravljene dele je treba v čim krajšem času vgraditi ali pa shraniti v suhi atmosferi.

Steklenih zunanjih delov elektronke ne moremo žariti pri takih temperaturah kot kovinske, zato moramo kemijske postopke čiščenja izbrati še bolj pazljivo. Zunanji del, t.i. balon, elektronke napravi steklopahač iz steklenih cevi, ki so pri MKEM različnega premera, slika 1, pri MKES pa enega samega, in vtali kovinsko prevodnico za zadnjo anodo. Spoj med čelno ploskvijo, na kateri je že nanosen zaslon, in cilindrom napravimo s "fritanjem". To je termični postopek, pri katerem se steklen prah (= frit), ki ga naneseemo z vezivom med spajana dela, transformira v zvezno steklasto maso. Tesnost spoja je enaka kot pri varjenih spojih. Takšen spoj se uporablja tudi pri spajanju zaslona, senčne maske in zadnjega dela steklenega balona pri barvni TV elektronki. Pri MKEM moramo z naporitvijo aluminija napraviti kontakt med luminoform, anodno prevodnico in grafitom, ki sestavlja elektrostatsko lečo. Tako pripravljen balon elektronke steklopahač v stružnici zavari na podnožje, na katerem je že privarjen elektronski top. Podnožje ima med prevodnicami črpalno cev, ki jo privarimo na vakuumski sistem.

Med črpanjem moramo v elektronki vzpostaviti ravnotežni tlak v področju 10^{-6} mbar, nakar aktiviramo katodo, vžgemo getre in odtalimo črpalno cev. Laboratorijski črpalni sistem, ki smo ga zgradili namenoma za črpanje elektronk, slika 2, ima v kombinaciji naslednje črpalke: dve sorpcijski, turbomolekularno z rotacijsko predčrpalno in ionsko getrsko. Vsaka od njih je izbrana po izračunih potrebnih črpalnih hitrosti in glede na prednosti, ki so za dano črpalno povsem specifične. Med njimi je pet visokovakuumskih ventilov, ki omogočajo z eksperimenti dobljen optimalni režim črpanja.

Totalni tlak merimo sprva s Piranijevim merilnikom, v visokem vakuumu pa z ionizacijskim merilnikom. Parcialne (= delne) tlake, ki omogočajo študij razplinjevanja posameznih delov elektronke, merimo s kvadrupolnim masnim spektrometrom. Poznavanje parcialnih tlakov je izredno koristno za optimizacijo postopkov čiščenja in žarjenja. Del vakuumskega sistema z elektronskama, ki ju procesiramo, lahko med črpanjem prekrijemo s pečjo, katere časovni potek temperature nadzoruje računalnik.

Črpanje začnemo s sorpcijskima črpalnima, sukcesivno, nadaljujemo s turbomolekularno, vklopimo peč in pri temperaturi cca 250°C turbomolekularno zamen-



Slika 2: Shema vakuumskega sistema za črpanje in procesiranje elektronk. 1,2 - sorpcijska črpalka (IEVT, lastna konstrukcija), 3 - ionsko-getska črpalka (LH,IG-6), 4 - turbomolekularna črpalka (LH, Turbovac 50), 5 - zeolitna past (LH), 6 - rotacijska črpalka (LH, Trivac D8B), 7,8,9 - pnevmatski VV ventili (IEVT), 10 - ročni VV ventil (IEVT), 11,12 - Piranijev merilnik (IEVT), 13 - ionizacijski merilnik (IEVT, IV-8), 14 - masni spektrometer (Spectramass 1000), 15,16 - elektronka (MKEM ali MKES), 17 - peč

jamo z ionsko getsko črpalko. Najvišja temperatura pregrevanja je 400°C, celoten čas pa približno 10 ur. Ob koncu pregrevanja dodatno prežarimo kovinske dele elektronske puške (topa) z visokofrekvenčnim indukcijskim generatorjem do ~600°C.

Oksidno katodo v elektronki šele procesiramo, saj moramo okside med postopkom formiranja pridobiti iz zmesi karbonatov (BaCO_3 , CaCO_3 itd), nastali CO_2 pa odčrpati. Razgradnja karbonatov poteka pri temperaturi nad 1000°C, kar dosežemo s povečano močjo gretja katode, dvig parcialnega tlaka CO_2 pa lahko zasledujemo z masnim spektrometrom.

Drugi del procesiranja katode imenujemo aktivacija oz. staranje. Pri tem postopku še dodatno znižamo izstopno delo za elektrone (1,0-1,2 eV), katoda pa pridobi stabilno emisivnost. Po odtalitvi črpalne cevi se v elektronki med delovanjem lahko sestava plinov spremeni. Posebno neugodno je, če začnejo prevladovati oksidirajoči plini (O_2 , CO , CO_2), ki kontaminirajo katodo. Za preprečevanje tega procesa vgradimo v elektronko t.i. "getre", ki jih pred odtalitvijo aktiviramo z visokofrekvenčnim tokom. Iz njih izpari na steno elektronske majhna količina barija, ki veže aktivne pline in navzven izgleda kot temno zrcalo. Brez getrov bi bila življenjska doba elektronske skrajšana na nekaj deset ur delovanja.

Elektronka, ki je "prestala" opisane postopke, je primerna za nadaljnje procesiranje. Po preizkusu kvalitete elektronske puške (topa), ki določa ločljivost slike v centru zaslona, dodamo MKEM dva para odklonskih tuljav, pri MKES pa so odklonske plošče že vgrajene, zato lahko takoj izmerimo ločljivost in ugotovimo geometrijske napake odklona. Zadnja faza izdelave je zalivanje elektronske v oklop iz mumetala, za kar uporabimo primerno silikonsko gumo.

Po tej fazi premerimo vse karakteristike iz merilnega lista, ki morajo ustrezati zahtevam strogega standarda.

Končno mesto uporabe opisanih dveh tipov elektronk so prenosne ali vgrajene aparature, s katerimi želimo opazovati v optičnem sistemu povečano sliko z nekega zaslona. To je lahko navadna TV slika, ali vektorski prikaz nekih znakov oz. simbolov. Slika pri MKEM je dovolj svetla, da jo lahko pri dnevni razmerah superponiramo na naravno ozadje. Kombinirana slika je s tem močno obogatena, kar pripomore k hitrejšemu zaznavanju informacij. Angleški naziv za takšen prikaz je HUD (head up display) in se je najprej uveljavil v letalstvu.

Seznam nekaterih novih knjig s področja vakuumske tehnike in tehnologij

Vacuum Technology (tretja izdaja), A. Roth, North-Holland (knjigo prodaja tudi založba Elsevier Science Publishers, Amsterdam ali New York), 1990, ISBN 0-444-86027, xx + 554 pp, cena 94.75 US\$

Handbook of Plasma Processing Technology: Fundamentals, Etching, Deposition and Surface Interactions, Ed. by S. M. Rossnagel, J. J. Cuomo and W. D. Westwood, Noyes Publications, NJ, USA, 1990, ISBN 0-8155-1220-1, 23 + 523 pp, cena 86 US\$

Diamond Growth and Films, Edited by UCFMG (Universities Carbon Films and Materials Group), Elsevier Applied Science Publishers, 1989, ISBN 1-85166-811-X, 276 pp. V knjigi so opisani japonski patenti s tega področja, ki so bili objavljeni v letih od 1967 do 1987, ter prevod dveh ruskih del:

D. V. Fedosajev, B. V. Derjagin in I. G. Varasavskaja, *The Crystallization of Diamond*, Nauka, Moskva, 1984

B. V. Derjagin in D. V. Fedosajev, *Growth of Diamond and Graphite from the Gas Phase*, Nauka, Moskva, 1977

ŠTUDIJ SEGREGACIJ NA POVRŠINI NEORIENTIRANE ELEKTRO PLOČEVINE Z METODO AES

Dr. M. Jenko, dr. F. Vodopivec, A. Osojnik, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, 61000 Ljubljana

B. Praček, Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, 61111 Ljubljana

AES studies of segregation on the nonoriented electrical sheet surface

Povzetek

Za študij segregacij na površinah kovin in zlitin smo razvili novo eksperimentalno metodo, ki temelji na spektroskopiji Augerjevih elektronov. S prvimi sistematskimi raziskavami smo določili kinetiko segregacije antimona na površini neorientirane elektro pločevine v UVV, v temperaturnem področju od 450 do 850°C. Določili smo difuzijski koeficient antimona v siliciranem feritu in izračunali aktivacijsko energijo difuzije.

Abstract

For the segregation studies on the metal and alloy surfaces a new sensitive experimental method, based on Auger Electron Spectroscopy was developed. With the first systematic investigations the kinetics of antimony surface segregation on nonoriented electrical sheet in UHV in temperature range from 450 to 850°C was determined. From the surface segregation kinetics and its temperature dependence, the diffusion coefficient and the activation energy of antimony diffusion in bulk were determined.

1. UVOD

Elektro pločevina je ključni material za generiranje in transformacijo električne energije. Mehkomagnetni materiali se v obliki lamel uporabljajo za jedra električnih, vrtečih se strojev, transformatorjev in naprav. V teh se spreminja smer magnetnega polja v odvisnosti od frekvence izmeničnega toka. Za spremembo smeri magnetenja je potrebna energija, ki se izraža v obliki vatnih izgub na kilogram teže pločevine (W/kg) pri določeni magnetni indukciji. Vatne izgube so torej energija, ki je potrebna za preusmerjanje elementarnih magnetnih domen z zasukom mej med njimi (Blochove stene) in za pokrivanje vrtinčastih tokov /1-3/. Na vatne izgube vplivajo sestava, nečistoče, orientacija in velikost zrn, napetosti, debelina lamel in stanje površine /4/.

Jekla za elektro pločevino delimo v dve veliki skupini: neorientirana ali neteksturirana in orientirana ali teksturirana /4/. Pri prvih mora biti pločevina izotropna, da so vatne izgube neodvisne od smeri, pod katero se glede na smer valjanja, iz nje izrežejo lamele za magnetna jedra. Orientirane pločevine pa imajo tako teksturo, da so v ravnini valjanja le kristalna zrna z lego (110) ali (100), kristalna smer [001] pa se ujema s smerjo valjanja. Te vrste elektro pločevine imajo nižje vatne izgube, iz njih izdelujejo posebno oblikovana magnetna jedra za transformatorje, njihova izdelava pa je neprimerno dražja /4/.

Neorientirana elektro pločevina, znana pod imenom dinamo pločevina, se uporablja v svetu v velikih količinah preko 10^7 ton letno. Njena kvaliteta je določena z

vatnimi izgubami v tesni povezavi s sestavo jekla ter njegovo izdelavo. Brame vroče valjamo in nato hladno valjamo trakove do končne debeline 0,5 mm ali manj, z vmesnimi žarjenji za razogljčenje in rekristalizacijo /11/.

Naraščajoče zahteve po energijsko zmogljivih motorjih in transformatorjih vodijo do raziskav in razvoja ceneneh neorientiranih silicijevih elektro pločevin z visoko permeabilnostjo in nizkimi vatnimi izgubami /4/.

Tako literaturni podatki kot naša eksperimentalna dognanja /1-6,8/ kažejo, da majhni dodatki antimona (0,03 do 0,1% Sb), ki je sicer v jeklih nezaželen in škodljiv, v silicijevih jeklih vplivajo na razvoj teksture in zmanjšajo vatne izgube. Možna razlaga takšnega vpliva antimona je, da je le-ta površinsko aktiven element, ki segregira na mejah zrn in prostih površinah ter vpliva na rekristalizacijo, s tem da pospešuje rast rekristaliziranih zrn z magnetno mehko lego blizu ploskve (100) oziroma zavira rast rekristaliziranih zrn z magnetno trdo lego blizu ploskve (111) v ravnini pločevine /4,11/.

Študij segregacije oziroma adsorpcije elementov po kristalnih mejah in prostih površinah je bil možen šele z razvojem modernih, občutljivih metod analize trdne površine kot so: (1) spektroskopija Augerjevih elektronov, AES; (2) spektroskopija fotoelektronov, vzbujenih z rentgenskimi žarki, XPS-ESCA; (3) spektroskopija sipanih ionov, ISS in (4) masna spektroskopija sekundarnih ionov, SIMS /15/. Vse našete preiskovalne metode delujejo v ultra visokem vakuumu (UVV) in se uporabljajo za študij trdnih površin. Vzbujevalni delci so pri metodi AES elektroni, pri XPS-ESCA rentgenski žarki AlK_{α} ali MgK_{α} ; pri drugih dveh metodah, ISS in SIMS, pa ioni. Z vsako od teh metod dobimo drugačne informacije, ki so specifične za posamezne preiskovalne tehnike. Analizna globina je pri metodi AES 2 do 10 atomskih plasti, odvisno od izstopne globine Augerjevih elektronov. Pri metodi XPS je 3 do 10 atomskih plasti, pri metodi ISS je analizna globina reda velikosti 1 atomske plasti in pri SIMS 1 do 3 atomske plasti. Trdne površine pred pričetkom zasledovanja segregacije očistimo z jedkanjem z Ar^+ ioni /20/.

Segregacije na površini študiramo v odvisnosti časa, temperature in koncentracije elementov, ki segregirajo v masivnem materialu.

Za študij segregacij elementov po kristalnih mejah mora biti spektrometer oziroma eksperimentalna naprava opremljena z lomilno pripravo, s katero prelo-

mimo vzorec v visoko vakuumski posodi. Tako preprečimo onesnaženje preiskovanih površin s preostalo atmosfero /15,18,20/.

Za študij segregacije antimona na površini silicijeve elektro pločevine nam je bila v slovenskem prostoru na voljo metoda AES (Auger Electron Spectroscopy).

V sodelovanju z laboratorijem za analizo površin na IEVT smo v ta namen razvili novo, občutljivo eksperimentalno metodo. Spektrometer Augerjevih elektronov smo dodatno opremili, tako da nam omogoča študij segregacij na površini kovin in zlitin v ultra visokem vakuumu, v temperaturnem področju od 20 do 850°C. Spektrometer nima dodatne lomilne naprave vzorcev, zato študij segregacij po mejah zrn ni mogoč.

Prve sistematske raziskave so bile namenjene študiju segregacije antimona na površini neorientirane elektro pločevine. Študirali smo kinetiko segregacije Sb v temperaturnem področju 450 do 850°C. S profilno AES analizo smo ugotovili debelino segregirane plasti. V temperaturnem področju 500 do 600°C, smo iz kinetike rasti segregirane plasti izračunali s pomočjo Cranckove enačbe difuzijski koeficient in aktivacijsko energijo difuzije antimona v masivnem materialu, to je v siliciranem α -Fe.

2. EKSPERIMENTALNO DELO

Študij segregacij na površini kovin in zlitin je pogojeval razvoj nove, občutljive eksperimentalne metode, ki temelji na metodi AES in omogoča raziskave v vakuumski posodi spektrometra Augerjevih elektronov, v ultra visokem vakuumu, pri temperaturah od 20 do 850°C.

Študij segregacije antimona na površini neorientirane elektro pločevine je potekal v dodatno opremljenem spektrometru Augerjevih elektronov PHI, Model SAM 545 A, ki je prikazan na sliki 1.

Vzorci pločevine s kemijsko sestavo: železo, 2,61 % silicija, 0,03 % aluminijska, 0,15 % mangana 0,003 % ogljika, 0,011 % žvepla, 0,016 % fosforja, 0,049 % antimona in 0,001 % bora; dimenzij 30 x 1,5 x 0,1 mm smo elektro uporovno segrevali. Temperaturo smo kontrolirali s termočlenom Fe-CuNi, premera 0,1 mm, ki smo ga točkovno privarili na zadnjo stran vzorca v neposredno bližino analiznega mesta.

Vzorec smo pritrdili na standardni nosilec vzorcev v vakuumski posodi spektrometra. S posebej oblikovanimi togimi in gibljivimi priključki je bil preko vakuumskih prevodnic povezan z energijskimi izviri in merilniki.

Površino vzorca smo pred segrevanjem v vakuumski posodi spektrometra očistili z ionskim jedkanjem, pri tem smo ga ciklično segrevali. Na ta način smo lahko odstranili vse nečistoče razen ogljika. Koncentracija

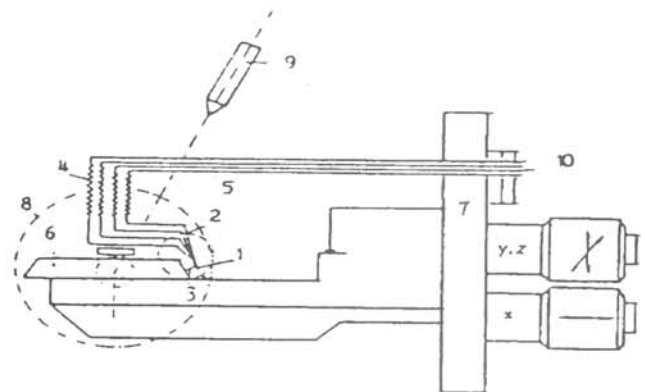
ogljika na površini vzorca med segrevanjem v temperaturnem intervalu od 300 do 500°C narašča, pri temperaturi 500°C pa pade na zanemarljivo vrednost.

Z metodo AES smo ugotavljali kinetiko rasti segregirane plasti antimona na površini neorientirane elektro pločevine z direktnimi meritvami, to je z zasledovanjem časovnega poteka spremembe vrhov Augerjevih elektronov antimona (454 eV) in železa (651 eV) I_{Sb}/I_{Fe} .

S profilno AES analizo smo ocenili debelino segregirane plasti antimona na površini vzorca /14,16/. Hitrost jedkanja Sb smo ocenili s primerjavo hitrosti jedkanja tanke Sb plasti znane debeline.

Po končanem eksperimentu smo površino vzorca očistili z Ar^+ ioni in s ponovnim segrevanjem znova zasledovali nastanek segregacije na površini. Tako smo lahko brez poseganja v vakuumsko posodo spektrometra en vzorec uporabili za več poskusov.

AES analize so bile izvedene s statičnim elektronskim curkom 3 keV / 1 μA , premera 45 μm pri vpadnem kotu 30°. Ionsko jedkanje je potekalo z Ar^+ ioni, energije 1 keV in 3 keV, pri gostoti ionskega toka 0,138 Am^{-2} , merjeni pri vpadnem kotu 47°. Občutljivost AES metode je 0,1 at.%, relativna natančnost pa 0,5%.

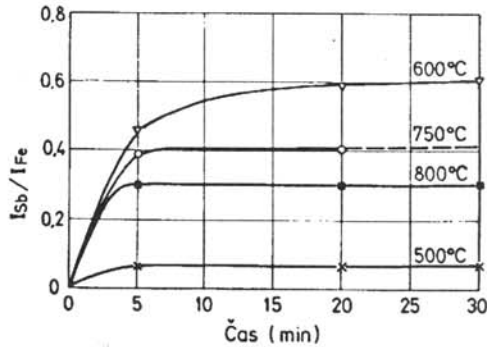


Slika 1: Spektrometer Augerjevih elektronov, preurejen in dodatno opremljen za študij segregacij na površini kovin in zlitin: 1 - vzorec preiskovane zlitine, 2 - termočlen Fe-CuNi, 3 - nosilec vzorcev, 4 - gibljivi priključki, 5 - togi priključki, 6 - standardni nosilec vzorcev v Augerjevem spektrometru, 7 - prirobnica, 8 - cilindrični zrcalni analizator, CMA, 9 - ionska puška in 10 - vakuumske prevodnice /9/

3. REZULTATI IN DISKUSIJA

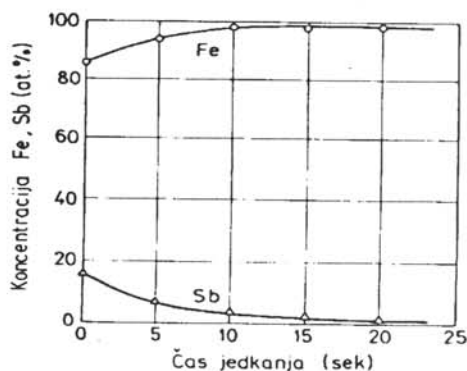
Na sliki 2 je prikazana kinetika rasti segregirane plasti antimona na površini neorientirane elektro pločevine pri konstantnih temperaturah 500, 650, 700 in 850°C. Antimon prične segregirati na površini z zaznavno hitrostjo pri 500°C in doseže pri 600°C maksimalno vrednost I_{Sb}/I_{Fe} 0,6. Pri višjih temperaturah ($T > 700^\circ C$)

se debelina segregirane plasti antimona zmanjšuje. Vzroka za to sta lahko dva: a) pojav maksimuma reverzibilne segregacije, b) pojav vzporednega prevladujočega procesa odparevanja antimona. Pojav možnega odparevanja Sb iz segregirane plasti bomo v nadaljnjih raziskavah preverili s kvadrupolnim masnim spektrometrom.



Slika 2: Kinetika rasti segregirane plasti na površini neorientirane elektropločevine v odvisnosti od časa, pri štirih različnih konstantnih temperaturah: 500, 600, 750 in 800 °C /10/

Na sliki 3 je prikazan AES profilni diagram segregirane plasti antimona na površini pločevine, ki je nastala po 30 minutah segrevanja na 600°C. Ocenjena vrednost debeline segregirane Sb plasti je 0,3 nm pri razmerju I_{Sb}/I_{Fe} je 0,6.



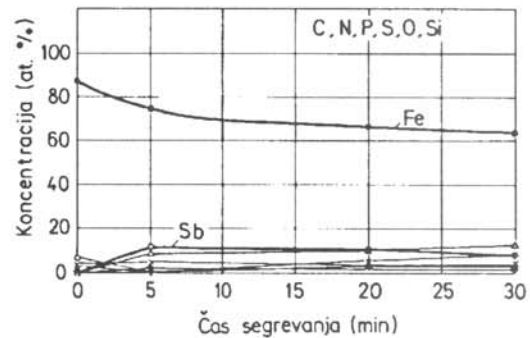
Slika 3: AES profilni diagram približno 0,3 nm debele segregirane plasti antimona na površini neorientirane elektro pločevine, ki je nastala po 30 minutah segrevanja na 600°C. Analizni parametri : 1 keV Ar⁺, 15 mA, raster 5

Izračunana debelina ene monoplasi antimona je enaka 0,3 nm, njena masa pa je $0,2 \mu\text{g cm}^{-2}$. Debelino, oziroma maso smo izračunali s pomočjo atomske mase in gostote $d = (M/\rho N_A)^{1/3}$, $m = (\rho^2 M/N_A)^{1/3}$, pri čemer je: d - poprečna debelina monoplasi, M - molekularna ali atomska masa, ρ - gostota snovi, m - masa ene monoplasi in N_A - Avogadrovo število /13/.

Na sliki 4 so prikazane koncentracije Fe, Sb, C, S, P, O in Si v segregirani plasti v odvisnosti od časa segrevanja pri 750°C.

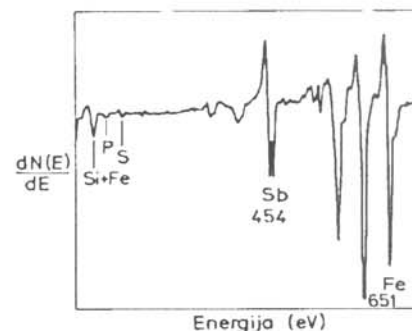
Na sliki 5 je prikazan AES spekter segregirane plasti antimona na površini pločevine po 20 minutah segrevanja na temperaturi 600°C. Debelina segregirane plasti je 0,3 nm, pri razmerju I_{Sb}/I_{Fe} 0,6.

Iz kinetike rasti segregirane plasti antimona na površini pločevine in njene temperturne odvisnosti



Slika 4: Koncentracije Fe, Sb, C, N, P, O, S in Si v odvisnosti od časa segrevanja na konstantni temperaturi 750°C v segregirani plasti na površini preiskovane elektropločevine /10/

smo v temperaturnem intervalu 500 -600°C določili difuzijski koeficient in aktivacijsko energijo difuzije. Ob upoštevanju dejstva, da je kinetika segregacije na površini odvisna od difuzije antimona v masivnem materialu, lahko uporabimo modificirano Crankovo enačbo /17,18/:



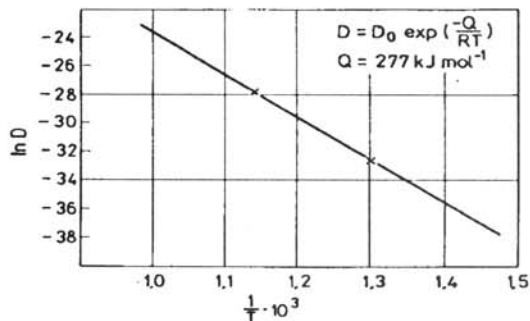
Slika 5: AES spekter segregirane plasti antimona na površini neorientirane elektro pločevine posnet po 20 minutah segrevanja na temperaturi 600°C

$$c_s = 2c_b (Dt/\pi)^{1/2},$$

kjer pomeni: c_s , c_b - koncentraciji antimona na površini oziroma v masivnem materialu, D - difuzijski koeficient antimona v masivnem materialu in t - čas. Tako dobljena aktivacijska energija Sb v siliciranem feritu je 276,6 kJ/mol.

Aktivacijsko energijo difuzije antimona v neorientirani elektro pločevini smo določili na osnovi kinetike segregacije Sb na površini le-te. (Slika 6)

Aktivacijska energija difuzije Sb v preiskovani zlitini je 276,6 kJ/mol in je izračunana za temperaturno območje 500-600°C. Ta vrednost se zelo približuje podatkom za aktivacijsko energijo difuzije Sb v α -Fe, ki sta jo izmerila Bruggeman in Roberts in je 279,7 kJ/mol [19].



Slika 6: Določitev aktivacijske energije difuzije antimona v siliciranem feritu na osnovi kinetike rasti segregirane plasti Sb na površini preiskovane elektro pločevine [10]

4. ZAKLJUČKI

Razvili smo novo, občutljivo eksperimentalno metodo osnovano na spektroskopiji Augerjevih elektronov, ki omogoča študij mehanizma in kinetike segregacij na površini kovin in zlitin. S tem smo zaorali ledino v popolnoma novo področje raziskav segregacij legirnih elementov in elementov nečistoč, ki so v kovinah in zlitinah prisotni v zelo nizkih koncentracijah.

S prvimi sistematskimi raziskavami smo študirali kinetiko segregacije antimona na površini jekla za neorientirano elektro pločevino v temperaturnem območju od 450 do 850°C. Antimon prične segregirati na površini preiskovane zlitine z zaznavno hitrostjo pri temperaturi 500°C.

Debelina segregirane plasti z naraščajočo temperaturo narašča. Največjo vrednost 0,3 nm doseže pri maksimalnem razmerju vrhov Augerjevih elektronov $I_{Sb}/I_{Fe} = 0,6$. Izračunana poprečna debelina ene monoplasi antimona je 0,3 nm.

Pri višjih temperaturah ($T > 700$) se debelina segregirane plasti zmanjšuje. Predpostavljamo, da poteka proces izparevanja antimona iz segregirane plasti na površini preiskovane zlitine.

V temperaturnem intervalu 300 do 500°C segregira na površini preiskovane zlitine ogljik, pri višjih temperaturah pa je koncentracija ogljika na površini zanemarljiva.

Z AES analizo v temperaturnem območju 500 do 700°C na površini vzorcev, nismo zasledili nečistoč. V temperaturnem področju 500 do 600°C smo določili iz kinetike rasti segregirane plasti antimona na površini neorientirane elektro pločevine difuzijski koeficient Sb v masivnem materialu (α -Fe). Izračunali smo aktivacijsko energijo difuzije, ki je 276,6 kJ/mol.

Antimon segregira na površini med procesom sekundarne rekristalizacije. Torej lahko vpliva na kristalografsko orientacijo zrn oziroma na tvorbo teksture in s tem posredno na zmanjšanje vatnih izgub. Rezultate naših raziskav bomo preverili še z drugimi metodami za analizo površin na Max-Planck Institut für Eisenforschung v Düsseldorfu spomladi prihodnje leto.

5. LITERATURA

- /1/ F.E. Luborsky, J.D. Livingstone, G.V. Chin: Magnetic properties of Metals and Alloys, Chpt. 26, str.1698, v knjigi R.W. Cahn, P.Hassen Edts., Physical Metallurgy, North-Holland Physic, Amsterdam 1983.
- /2/ F. Vodopivec, F. Marinšek, M. Torkar, F. Grešovnik, B. Praček: Poročilo Metalurškega inštituta 88-034/I, Ljubljana 1988.
- /3/ F. Vodopivec, F. Marinšek: Poročilo Metalurškega inštituta 89-039/I, Ljubljana 1989.
- /4/ G. Lyudkovski, P.K. Rastogi, Metall. Trans. A, 15A, 257 (1984).
- /5/ H. Shimanaka, Y. Ito, K Matsumura, B. Fukuda, J. Mag. Mag. Mat. 26,57 (1982).
- /6/ P. Marko, A. Solyom, V. Frič, J. Mag. Mag. Mat. 41, 74 (1984).
- /7/ R. Bol Edt., Soft Magnetic Materials, Siemens, Heyden & Son LTD, London 1978.
- /8/ F. Vodopivec, F. Marinšek, D. Gnidovec, B. Praček, M. Jenko, J. Mag. Mag. Mat. 97, 281 (1991).
- /9/ M. Jenko, F. Vodopivec, B. Praček, Žel. zbor. 25, 3(1991).
- /10/ M. Jenko, F. Vodopivec, B. Praček, Žel.zbor. 26, 1 (1992), v tisku.
- /11/ F.Vodopivec, Vacuum 42 (1992), v tisku.
- /12/ M. Jenko, F. Vodopivec, B. Praček, Vacuum 42 (1992), v tisku.
- /13/ M. Wutz, A. Adam, W. Walcher, Theorie und Praxis der Vakuumtechnik, Friedr. Vieweg & Sohn, Wiesbaden 1982.
- /14/ L.E. Davis, N.C. Mac Donald, P.W. Palmberg, G.E. Riach, R.E. Weber, Handbook of Auger Electron Spectroscopy, Eden Prairie 1976.
- /15/ S. Hofmann, Vacuum 40, 1/2, 9 (1990).
- /16/ M.P. Seah, W.A. Dench, Surf. Interface Anal. 1,2 (1979).
- /17/ J. Crank, The Mathematics of diffusion, Claredon, Oxford 1967.
- /18/ H.J. Grabke, ISIJ Intern. 129, 7,529 (1989).
- /19/ G. Bruggeman, J. Roberts, J. Met. 20, 8, 54 (1968).
- /20/ E.D. Hondros, M.P. Seah, Interfacial and Surface Microchemistry, Chpt.1 3, str. 856, v knjigi R.W.Cahn, P.Haasen, Edts., Physical Metallurgy, North Holland Physics, Amsterdam 1983.

Novi knjigi DVT Slovenije:

Evgen KANSKY: Rast vakuumskih tankih plasti, 1990, 61 str.; cena 150,00 SLT

Zbornik prispevkov XI. jug. vakuumskega kongresa - JUVAK 24, 1990, 600 str.; cena 350,00 SLT

Obe knjigi lahko naročite na naslov:

DVT Slovenije, Teslova 30, 61111 Ljubljana ali po telefonu: (061) 263-461 (Lidija Koller, Andrej Pregelj).

VAKUUMSKI MERILNIK NA VRTEČO SE KROGLICO

Mag. Gorazd Planinšič, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Odsek za fiziko, Jadranska 19, 61111 Ljubljana

Spinning rotor gauge

Povzetek

Vakuumski merilnik na vrtečo se kroglico se je v zadnjem desetletju uveljavil v vakuumski metrologiji kot absolutni merilnik, ki je v področju 10^{-5} -1 Pa bolj natančen in stabilen kot ostali visokovakuumski merilniki. Največ se uporablja v laboratorijih za standarde pri kalibraciji drugih merilnikov in kot prenosni standardni merilnik. Uveljavil se je tudi pri razvoju in izdelavi tehnološko zelo zahtevnih izdelkov, kjer je potrebno natančno meriti tlak.

Abstract

Spinning rotor gauge (SRG) is a modern viscosity vacuum measuring device, more accurate and more stable than other high vacuum gauges in the range 10^{-5} to 1 Pa. SRG is an absolute vacuum gauge. In the past ten years SRG was widely used as transfer standard and for HV gauges calibration. It can be also used for accurate measurements in sealed-off devices.

1. Uvod

Pri merjenju nizkih tlakov pogosto naletimo na tehnološke in tudi na teoretične težave. Območje nizkih tlakov razdelimo na več razredov (tabela 1)/1/. Običajno govorimo o vakuumu šele takrat, ko je povprečna prosta pot molekule plina večja od dimenzij posode.

Tabela 1. Razdelitev vakuuma glede na tlak in odgovarjajočo številsko gostoto molekul plina

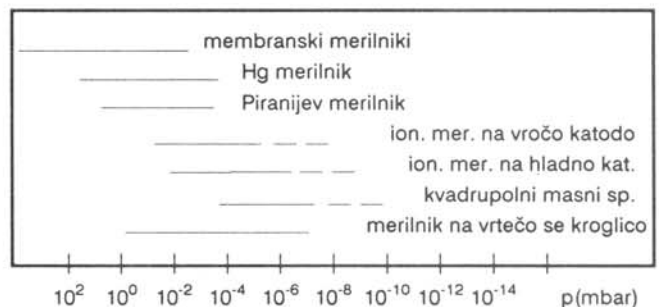
| | grobi vakuum | srednji vakuum | visoki vakuum | ultravisoki vakuum (UVV) |
|------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------------|
| p(mbar) | 1000 - 1 | 1 - 10^{-3} | 10^{-3} - 10^{-7} | $< 10^{-7}$ |
| n (št. mol na cm^3) | 10^{19} - 10^{16} | 10^{16} - 10^{13} | 10^{13} - 10^8 | $< 10^8$ |
| | Mt. Everest ~300 mbar | rotacijska črpalka | termovka elektronka | prot. pospeš. medzvezdni prost. |

Vakuumski merilniki izkoriščajo razne fizikalne pojave, ki so na različne načine povezani s tlakom, oziroma s številsko gostoto plinskih molekul. V tabeli 2 so značilni predstavniki vakuumskih merilnikov in njihova merilna območja.

Zaželeno je, da sam proces merjenja čim manj zmoti eksperiment. Zahteva je še posebej pomembna pri modernih tehnologijah naprejevanja tankih plasti. Starejši merilniki vakuuma imajo pogosto slabost, da bodisi spuščajo v sistem ione, atome ali elektrone, bodisi vežejo nase preostale molekule v sistemu in s tem zmanjšajo natančnost merjenja. Poleg tega so zaradi svoje velikosti neprimerni za opazovanje

dogajanj v zelo majhnih vakuumskih sistemih, saj s svojo prisotnostjo spremenijo razmere v opazovanem sistemu. Meritev je tedaj nezanesljiva, še posebej če zasledujemo časovne spremembe.

Tabela 2. Območja vakuumskih merilnikov



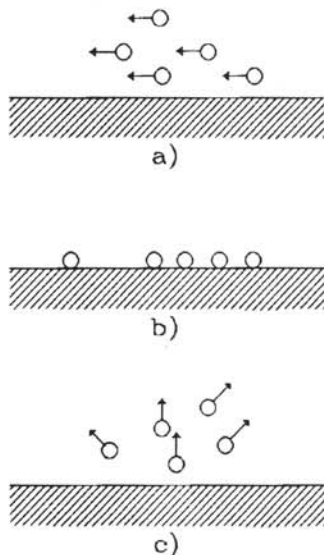
2. Vakuumski merilnik na vrtečo se kroglico

2.1. Teorija

Mnogim težavam z dosedanjimi vakuumskimi merilniki se izognemo z uporabo merilnika na vrtečo se kroglico. Princip delovanja je preprost. Opazujemo zaviranje prosto vrteče se jeklene kroglice v razredčenem plinu. Z merjenjem negativnega kotnega pospeška lahko določimo tlak plina./2-9/

Izpeljali bomo zvezo med pospeškom kroglice in tlakom v posodi za primer, ko je povprečna prosta pot molekul dosti večja od dimenzij posode. Predpostavili bomo, da doživljajo molekule plina s površino kroglice neelastične trke, da je hitrostna porazdelitev molekul, ki so izstopile s površine izotropna in da je sistem predhodno dobro termostatiran. Na koncu bomo pravilnost predpostavk podkrepili z eksperimentalnimi podatki.

Povprečna vektorska hitrost molekul - gledano v laboratorijskem sistemu - je enaka nič. Opazujemo dogajanje s stališča delčka krogelne površine, ki se giblje s tangencialno hitrostjo $u = r \omega$, kjer je r razdalja od površine do osi vrtenja, ω pa kotna hitrost krogle (slika 1). S stališča površine je povprečna vektorska hitrost molekul enaka $-u$. Na površini se molekule ustavijo in pri tem predajo svojo gibalno količino površini. Po nekem času zapustijo površino z določeno hitrostjo. Predpostavili smo izotropno porazdelitev molekul, ki so izstopile. Zato v povprečju ne prispevajo ničesar k ustavljanju kroglice.



Slika 1. Neprožen trk molekul z gibajočo površino, gledano s stališča površine; a) molekule pred trkom, b) molekule se prilepijo na površino, c) molekule odletijo s površine

Preselimo se v laboratorijski sistem. K spremembi vrtilne količine kroglice prispevajo torej samo nanjo padajoče molekule. Pri trku z molekulo mase m_i se krogli zmanjša vrtilna količina v povprečju za

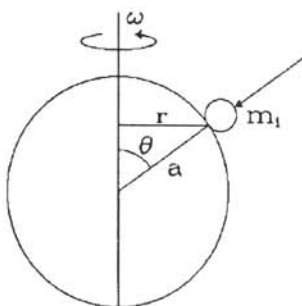
$$-d\Gamma_i = m_i r^2 \omega = m_i \omega a^2 \sin^2 \theta$$

Pomen količin r , a in ω je razviden iz slike 2. Število trkov molekul v časovni enoti z enoto površine je podano z izrazom $1/10$

$$\nu = 1/4 \bar{v} n$$

kjer je \bar{v} povprečna hitrost molekul

$$\bar{v} = \frac{8kT}{\pi m_i} \tag{1}$$



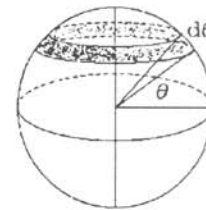
Slika 2. Molekula mase m trči s površino kroglice z radijem a

T je temperatura plina in n številna gostota molekul plina. V času dt torej na krogelni pas, ki je določen s kotom $d\theta$, prileti

$$N = S \nu dt = 2\pi a^2 \sin\theta d\theta \nu dt$$

molekul plina (slika 3). Krogli se zmanjša vrtilna količina za:

$$d\Gamma = N d\Gamma_i = \left[\int 2\pi a^4 m \omega \nu \sin^3 \theta d\theta \right] dt$$



Slika 3. Krogelni pas, ki pripada kotu $d\theta$

Dobili smo časovni odvod vrtilne količine

$$\left(\frac{d\Gamma}{dt}\right)_c = -\frac{8\pi}{3} \nu a^4 \omega m \tag{2}$$

Upoštevali bomo, da je

$$\left(\frac{d\Gamma}{dt}\right)_c = J \dot{\omega} \tag{3}$$

kjer je J vztrajnostni moment polne kroglice z radijem a , maso m_k in gostoto ρ_k poznamo:

$$J = \frac{2}{5} m_k a^2 = \frac{8}{15} \pi a^5 \rho_k \tag{4}$$

Če sedaj v (3) upoštevamo enačbe (2) ter (1) in (4), dobimo

$$-\frac{\dot{\omega}}{\omega} = \frac{10}{\pi} \frac{\rho}{\bar{v} a \rho_k} \tag{5}$$

Tlak je sorazmeren količini $-\frac{\dot{\omega}}{\omega}$. Sorazmernostni faktor vsebuje znani količini a in ρ_k ter povprečno hitrost molekule. Iz enačbe (1) je razvidno, da potrebujemo za določitev hitrosti temperaturo in molsko maso molekul plina. Temperaturo najbolj zanesljivo določimo s predhodnim termostatiranjem celotnega sistema.

Pri izpeljavi enačbe (5) smo se omejili na razmere v razredčenem plinu. Za višje tlake (nad 10^{-2} mbar) zveza z relativnim pospeškom ni več linearna. Molekule plina doživljajo trke z izstopajočimi molekulami, kar pomeni, da porazdelitev vpadajočih molekul po smereh ni več izotropna. Opazimo izrazito nelinearnost.

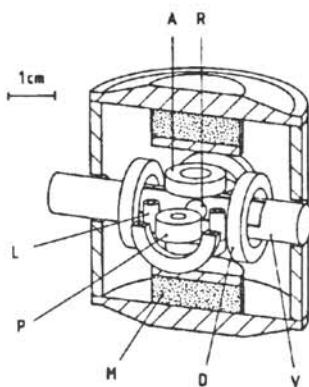
Za natančno določitev molske mase plina v sistemu navadno uporabimo kvadrupolni masni spektrometer. Groba ocena o sestavi preostalega plina pa je podana že z izbiro vakuumske črpalke, s katero smo sistem izčrpavali.

2.2 Izvedba merilnika

Na vakuumski sistem priključimo nekaj centimetrov dolg valj s prostornino okrog 3 cm^3 , v katerem je jeklena kroglica s premerom 4.5 mm. Na valj natakemo merilno glavo, v kateri je sistem tuljvic, ki omogoča magnetno lebdenje in pospeševanje kroglice, ter merjenje kotne hitrosti.

2.2.1 Magnetno lebdenje

Jekleno kroglico postavimo med dva permanentna magneta M (slika 4) tako, da gravitacijska sila uravnovesi magnetno. Žal je ravnovesje labilno, stabiliziramo ga lahko z dvema dodatnima tuljavama A, ki delujeta kot servomehanizem.



Slika 4. Prerez merilne glave SRG: R - rotor (kroglica), V - cevka, M - permanentni magnet, A - tuljava za navpično stabilizacijo lege kroglice, D - tuljava za pospeševanje, L - tuljava za lateralno dušenje, P - tuljava za čitanje.

Tuljavi napajamo s tokom. Če je kroglica prenizko, spustimo več toka skozi zgornjo tuljavo in obratno: več skozi spodnjo tuljavo, če kroglica zaide previsoko. Tok skozi tuljavi krmilimo s primerjalnim vezjem, ki zazna razliko njihovih impedanc. Z lego kroglice je namreč določena impedanca ene in druge tuljave. V vezje vključimo še primerno dušenje, da kroglica ne bi vertikalno zanihala.

Poleg vertikalne stabilizacije moramo poskrbeti tudi za horizontalno. Zato namestimo okrog kroglice še štiri tuljave L. Po dve in dve napajata tokova, ki ju krmilimo s podobnima vezjema kot pri tuljavah A.

Sistem za magnetno lebdenje vakuumskega merilnika ima konstanto dušenja okrog 1s.

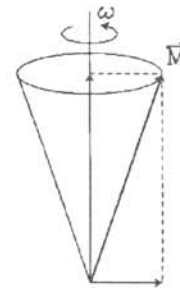
2.2.2. Pospeševanje kroglice

Štiri simetrično nameščene tuljave D so priključene na dvofazni generator izmenične napetosti. Med tuljavami nastane vrteče se magnetno polje, ki pospeši kroglico do frekvence priključene napetosti, to je 400 Hz. Ko tok skozi tuljavo D izključimo, se začne kroglica počasi ustavljati vse do frekvence vrtenja 350 Hz, ko jo zopet pospešimo do začetne hitrosti.

2.2.3. Merjenje pospeška

Jeklena kroglica ima v polju permanentnih magnetov poleg glavne - vertikalne komponente magnetizacije še majhno horizontalno komponento. Ta je posledica vrtečega se magnetnega polja, ki tudi po izključitvi pusti nekaj domen obrnjenih v smeri polja. Celotna magnetizacija torej ne kaže v smeri osi vrtenja, temveč kroži po plašču stožca s frekvenco vrtenja kroglice ω (slika 5).

Kotno hitrost kroglice merimo z dvema tuljavicama P. Kroženje magnetizacije po plašču stožca inducira v tuljavicah sinusno napetost. Signala sta časovno premaknjena za pol nihaja. Če ju odštejemo, dobimo signal z dvojno amplitudo, ki ga lahko še poljubno ojačimo. Frekvenco primerjamo s stabilno frekvenco kremenovega oscilatorja, ali pa štejemo vrhove signala v časovnem intervalu, ki ga odmeri digitalna ura.



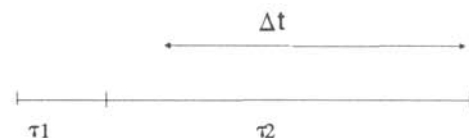
Slika 5. Celotna magnetizacija kroži po plašču stožca s frekvenco ω .

2.2.4. Določanje relativnega pospeška

Relativni pospešek lahko določimo le v končnem času. Potrebujemo primerno (digitalno) napravo, ki vodi merjenje, hrani izmerjene količine in jih sproti obdeluje. Količino $\dot{\omega}/\omega$ lahko izrazimo v obliki diferencialnih izrazov, ki obenem opisujejo potek meritve.

Označimo s τ čas v katerem naredi rotor N vrtljajev. Iz dveh zaporednih meritev τ_1 in τ_2 lahko določimo relativni pospešek (slika 6).

$$\dot{\omega} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t} = \frac{\frac{N}{\tau_2} - \frac{N}{\tau_1}}{\tau_2} = - \frac{N(\tau_2 - \tau_1)}{\tau_1 \tau_2^2}$$



Slika 6. Merjenje relativnega pospeška

Če za ω vzamemo $\omega_2 = N/\tau_2$, dobimo:

$$- \frac{\dot{\omega}}{\omega} = \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_1 \tau_2}$$

2.3. Natančnost merjenja

Upočasnjevanje kroglice smo pripisali le trkom z molekulami plina. Poleg tega sodeluje pri zaviranju še vrsta drugih pojavov, ki jih nismo upoštevali. Ta poenostavitev predstavlja največji del napake merjenja.

Kroglica se vede kot girooskop, ki vseskozi kaže v isto smer. Zaradi rotacije Zemlje okoli svoje osi pa os vrtenja ne sovpada več s smerjo silnic permanentnega magneteta. Rotor, to je kroglica, začne precesirati, kar povzroči vrtilne tokove in s tem magnetno zaviranje. Efekt je enako velik, kot če jo zavirajo molekule plina pri tlaku 10^{-7} mbar. Ta tlak predstavlja tudi spodnjo mejo merilnega območja. Vsi nadaljnji efekti so enakega ali pa manjšega velikostnega reda.

Prisotnost dodatnih šibkih magnetnih polj s komponento pravokotno na polje permanentnega magneteta lahko prav tako povzroči vrtilne tokove; s primernim kovinskim ohišjem merilne glave lahko vpliv zmanjšamo pod natančnost merjenja.

Zaradi gibajočega se naboja na steni steklenega valja (slika 4, valj V) ali na površini kroglice se pojavi dodatno magnetno polje, ki zavira gibanje kroglice. Pojavu se izognemo tako, da naparimo na stene valja tanko plast zlata ali pa uporabimo kovinske valje.

Med pospeševanjem vrteče se magnetno polje prehiteva rotor. Vrtilni tokovi segrejejo kroglico, zato se ji radij poveča. Med upočasnjevanjem se kroglica ohladi, radij se zmanjša, zato pa se poveča kotna hitrost kot posledica ohranitve vrtilne količine. Zato je potrebno pred prvim merjenjem sistem dobro termo-statirati, da se temperature izenačijo na 0.01°C natančno. Napaka je tedaj manjša od 10^{-7} mbar.

Del napake prinese tudi model sam, saj tako kot vsak model ne opisuje resničnega dogajanja v celoti. Najbolj drzna predpostavka je bila, da molekule, ki so izstopile s površine ne podelijo krogli v povprečju nobene gibalne količine. Koeficient je odvisen od vrste plina in od površine. Povezan je z akomodacijskim koeficientom tangeencialne gibalne količine s:

$$\sigma = \frac{\varphi_v - \varphi_o}{\varphi_v - \varphi_s}$$

kjer pomeni φ_v tok gibalne količine vpadnih molekul, φ_o tok gibalne količine odbitih molekul in φ_s tok gibalne količine molekul, ki imajo Maxwellovo porazdelitev hitrosti, po tem ko so dosegle temperaturno ravnovesje s temperaturo stene. Povsod je mišljena tangeencialna komponenta gibalne količine. Za različno obdelane krogelne površine je koeficient σ_{ef} različen. Pri dani površini pa se za posamezne pline zelo malo razlikuje; razlike so pod 5% (tabela 3). Poleg tega pa je iz iste tabele razvidno, da se σ_{ef} malo razlikuje od enice ne glede na kombinacijo plin - površina. Naš model torej dobro opisuje stanje dejanskega dogajanja.

Dolgoletne meritve so pokazale tudi odlično časovno stabilnost koeficienta σ_{ef} . Relativna sprememba koeficienta po treh letih je bila manjša od 1%. Zato sta se zahodnonemški državni fizikalni inštitut v Berlinu in narodni biro za postavljanje standardov v Washingtonu odločila, da sprejmeta vakuumski merilnik na vrtečo se kroglico kot prenosni standard za kalibracijo merilnikov vakuumu v območju od 10^{-4} do 10^{-6} mbar.

Tabela 3. Vrednosti koeficienta σ_{ef} za različne kombinacije površina - plin za jekleno kroglico.

| plin | H ₂ | He | CH ₄ | Ne | N ₂ | Ar | Kr | Xe |
|----------------|----------------|-------|-----------------|-------|----------------|-------|-------|-------|
| površina | | | | | | | | |
| jedkano jeklo | 1.024 | 1.016 | 1.010 | 0.998 | 1.008 | 1.008 | 1.012 | 1.012 |
| peskano jeklo | 1.191 | 1.212 | 1.177 | 1.209 | 1.186 | 1.179 | 1.167 | 1.156 |
| polirano jeklo | | 1.209 | | 1.179 | | 1.114 | | 1.127 |

3. Literatura

- /1/ Zbornik predavanj "Osnove vakuumske tehnike", Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, Ljubljana, 1984
- /2/ J. K. Fremery, J. Vac. Sci. Technol. A3, 1715 (1985)
- /3/ J. K. Fremery, Vacuum 32, 685 (1982)
- /3/ G. Comsa, J. K. Fremery, J. Vac. Sci. Technol. 17, 642 (1980)
- /5/ G. Comsa, J. K. Fremery, Proc. 8 Int. Vacuum Congress, Cannes, Vol. II, 218 (1980)
- /6/ Messer, L. Rubet, Proc. 8 Int. Vacuum Congress, Cannes, Vol. II, 259 (1980)
- /7/ J. W. Beams, J. L. Young, J. Appl. Phys. 17, 886 (1946)
- /8/ J. W. Beams, D. M. Spitzer, Rev. Sci. Instr. 33, 151 (1962)
- /9/ J. P. Hobson, Proc. 9 Int. Vacuum Congress, Madrid, 35 (1983)
- /10/ B. Loeb, The kinetic theory of gases, Mc Graw-Hill, New York 1934

OBVESTILO

Naročnike Vakuumista, ki še niste poravnali naročnine za leto 1991, vljudno prosimo, da to storite čimprej. Naročnino 150,00 SLT nakažite na žiro račun Društva za vakuumsko tehniko Slovenije, Teslova 30, Ljubljana: 50101-678-52240.

UVID U MODERNE OPTIČKE TANKE SLOJEVE

Dr. Petar Vretenar, "ZRAK-CIR", A. Buće 96, 71000 Sarajevo

1. UVOD

Optika tankih slojeva je od prvih saznanja izrasla u modernu naučnu disciplinu bez koje druge naučne grane danas ne bi mogle ekzistirati. Obzirom da je predmet njenog izučavanja svjetlostni zrak, savremena optika tankog sloja izučava pojave i efekte koji se u sredinama sa dimenzijama reda veličine talasne dužine svjetlosnog zraka odigravaju pri upadu svjetlosnog snopa. Razvoj optike tankog sloja je usko vezan sa razvojem optike i drugih nauka a prije svega fizičkih, hemijskih i tehnoloških.

Međutim, može se smatrati da optika tankog sloja svoj pravi početak datira od radova Augustina Žaka Frenela (1788-1827), koji je serijom teoretskih radova dao osnove nove moderne naučne discipline. Njegova teorija se zasniva na talasnoj teoriji svjetlosti i poslužila je za potpuno objašnjenje korpuskularne teorije. Suština njegovog istraživanja sastojala se u sintezi Hajgensove ideje o formiranju talasnog fronta u obliku sfernih talasa i njihovoj interakciji na principima interferencije Junga. Posebno su značajni Frenelovi radovi i utvrđene zakonitosti interferencionih, polarizacionih i difrakcionih pojava u raznim optičkim sredinama a prije svega u kristalima.

Frenel je također dao značajan doprinos proučavanju zakonitosti promjene indeksa prelamanja optičkih materijala u zavisnosti od promjene talasnih dužina svjetlosti, uzimajući pritom Košijev kriterijum kao polaznu osnovu. Iako je u odnosu na prve radove Frenela proteklo 150 godina danas je još uvijek u optici tankog sloja Frenelova teorija osnovno polazište svih modernih teorija optičkog tankog sloja. Ove teorije su izvršile dogradnju u smislu novih saznanja na polju optike, osobina materijala i koriste savremene matematičke metode.

Niz autora prije svega G. Has, Dubrovolski, Frankombe, Auwerter, Abeles, Telen, Ginmajster, Kard, Furman, Vlasov, Krilova, Knittl, Rozenberg, Kinel, Riter, Maclead, Seely, Born, Wolf je tokom poslednjih decenija dalo značajan doprinos razvoju teorije optike tankog sloja na principima Frenelove i Maksvelove teorije. Njihovi teoretski i eksperimentalni radovi doprinjeli su da se i najsloženiji problemi tehnologije tankog sloja uspješno rješavaju.

Razvoj teorije je pratio i razvoj tehnoloških postupaka za realizaciju optičkih tankih slojeva. Osnovna tehnika za realizaciju optičkih tankih slojeva je nanošenje tankih slojeva u visokovakuumskim uređajima. Ograničenost izbora materijala sa odgovarajućim osobinama uslovio je razvoj i drugih tehnologija nanošenja tankih slojeva, prije svega hemijskih i elektrohemijskih.

Razvoj složenih optičkih sistema u oblasti mjerne tehnike, naučno istraživačke opreme i specijalne namjene, vojne i industrijske primjene uslovio je vrlo dinamičan istraživačko-razvojni rad vrlo velikog broja različitih optičkih tankih slojeva. Također je prodor primjene ultra-violetnog, infracrvenog i laserskog svjetla pred optiku tankog sloja postavio niz problema koji se moraju rješavati.

Broj materijala za optičke tanke slojeve se stalno povećava. Pored određenog broja metala, zastupljeni su u velikoj mjeri fluoridi, oksidi i sulfidi, a za specijalne namjene, selenidi, teluridi i specijalne legure. Obzirom na sve složenije tankoslojne konfiguracije kod kojih učestvuje veći broj materijala i zahtjeve za kvalitet, koji uslovljava obradu podloge izuzetnog nivoa, optika tankog sloja mora rješavati složene probleme sa područja fizike i hemije površina te međusobnog djelovanja materijala sloja manifestovanih procesima atezije, adsorpcije, difuzije, strukture materijala i efekata koji otuda proizilaze.

Pored modernih matematičkih metoda vektorskog, simboličnog, matričnog i numeričkog računa uz primjenu savremene računarske tehnike, optika tankog sloja se služi savremenim mjernim metodama za kontrolu procesa realizacije sloja i kvaliteta koji je zadan konstrukcionom dokumentacijom.

Razvoj optičkih tankih slojeva u Jugoslaviji u značajnijem obimu datira od 60-tih godina i uglavnom je pratio potrebe optičke industrije. Pored V. Simića i Z. Marinkovića iz Beograda, koji su ostvarili prve istraživačko-razvojne rezultate, desetak godina kasnije se u tri naša centra formiraju kadrovi i stiču uslovi za ozbiljniji rad na području optičkih slojeva. Tako su bili nosioci istraživanja i razvoja u Sarajevu Vretenar, Kinčić, Mandić, Rističević i Zukić, u Ljubljani Vrenko, Švajger i Lindav i Zagrebu Peršin, Švenda i Zorc. Danas u RO "ZRAK" i RO "ISKRA" CEO su formirane moderne istraživačko-razvojne laboratorije i zaposlen veći broj mladih i talentovanih kadrova koji postaju nosioci istraživanja i razvoja optičkih tankih slojeva.

2. Projektovanje i izrada automatske linije pranja za fazu pripreme elemenata za sloj

Optički tanki slojevi mogu se uspješno realizovati samo ukoliko je podloga bezprekorno čista. Pored mehaničke čistoće u klasičnom smislu treba posebno voditi računa o hemijsko čistoj površini. Pranje optičkih elemenata, obzirom na učešće velikog broja različitih materijala kako sirovinsko tako i tehnoloških, predstavlja ozbiljan problem u optičkoj proizvodnji. Projektovanje tehnološkog postupka za konkretan

slučaj optičke sirovine je relativno lako rješiv. Međutim, uspostavljanje automatske linije pranja optičkih elemenata u procesu proizvodnje, gdje se obrađuje veliki broj različitih materijala, je vrlo složen. Korišćenje poluautomatskih linija pranja na bazi ultrazvučnih kada u takvoj proizvodnji zahtjeva: veliki broj kada sa različitim sredstvima pranja, utvrđivanje optimalnog izbora organskih i neorganskih sredstava pranja za konkretan optički materijal, definisanje optimalnog vremena pranja elemenata, pranja u pojedinom sredstvu, utvrđivanje redosljeda djelovanja sredstava pranja na optičke elemente, optimiziranje temperature razlagača i sredstava pranja, te sprečavanje termo šokova, koji se mogu pojaviti pri prenosu alata sa elementima iz jedne kade u drugu, konstrukciju i izradu nosača za različite oblike elemenata koji će obezbjeđiti pristup sredstava pranja površini elementa, a da ovi pri tome ne ispadaju sa alata, hemijsku neutralizaciju polirane površine kako naknadno hemijska sredstva za pranje nebi vršila oštećenja optičkih elemenata.

3. Istraživanje tankih slojeva sa specijalnim zahtjevima

Razvojem optoelektronskih sistema kod kojih su funkcionalne karakteristike višestruke i raznolike postavljaju se zahtjevi sa nizom specifičnosti za tankoslojne komponente optičkog sistema. Specifičnosti mogu biti različite, a baziraju se na:

- spektralnim karakteristikama sloja
- energetskom postojanošću
- električnim parametrima
- mehaničkoj rezistentnosti
- hemijskoj rezistentnosti

Pri tom sve druge karakteristike sloja treba da zadovolje uslove koji su definisani standardima za tanko slojne komponente.

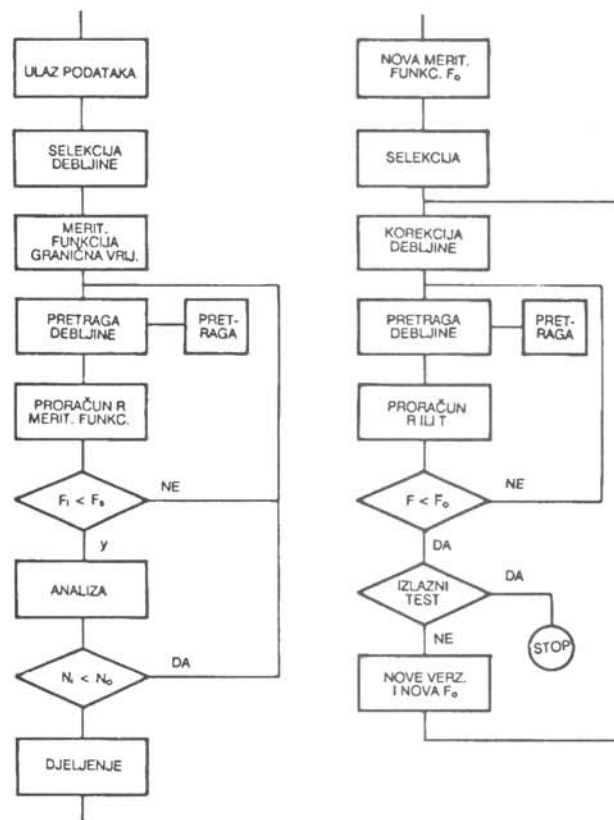
Specijalni zahtjevi spektralnih karakteristika se danas mogu smatrati oni slučajevi optičkih tankih slojeva koji se rijetko javljaju u praksi i teško su ostvarljivi kako u fazi teoretskih razmatranja tako u fazama tehnološke realizacije i mjerenja kvaliteta zadanih parametara. Kao primjer takvih specijalnih slojeva mogu se navesti:

- uskopojasni interferencioni filtri
- širokougaoni djelitelji spektra
- djelitelji spektra za tri i više spektralnih područja
- ogledala za UV oblast
- ogledala sa enormno visokom refleksijom
- supertvrđi slojevi
- elektrozagrevni transparentni slojevi

Svaka grupa slojeva zahtjeva poseban pristup kako teoretskih tako i tehnoloških aspekata problema. Teoretsko razmatranje polazeći od zahtjeva sloja razrješava pitanja izbora materijala, unosi osnovne odrednice o strukturi sloja, raspodjeli materijala, nanetim debljinama i utvrđuje osnove kontrolnih postupaka zadanih parametara sloja. U prvoj fazi rada na osnovu

iskustva i teoretskih postavki vrši se dizajniranje tankoslojne strukture. U ovisnosti o vrsti problema kojeg treba riješiti odabira se neka od modernih metoda programiranja tankih slojeva. Sastavlja se program koji prati promjenu zadanog parametra od karakteristika koje su definisane izborom materijala i tehnologijom realizacije sloja. Broj parametara je znatan te se program radi najčešće na bazi datoteke podataka koja u sebi sadrži sve neophodne podatke o optičkim i drugim vrijednostima koje karakterišu materijal, rasporedu podslojeva, debljinama, korakom izmjene i druge neophodne parametre. Optimiziranjem se postiže da tražene vrijednosti budu dostignute u granicama dozvoljenih odstupanja. Nakon teoretskog rješavanja vrši se i eksperimentalna provjera, a ukoliko su odstupanja veća od dozvoljenih ponovo se sloj optimizira.

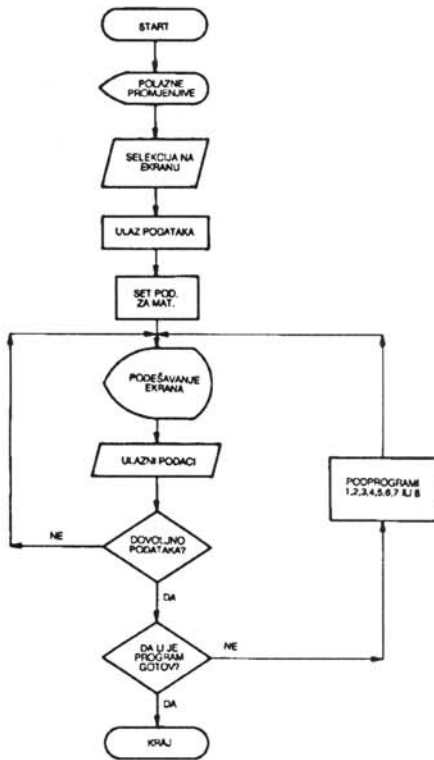
Na slikama 1-3 dati su osnovni principi programiranja optičkih tankih slojeva sa multiplnom strukturom i optičkim debljinama različitim od $\lambda/4$.



Slika 1. Šema blok dijagrama metode proračuna sloja

Na slikama 2 i 3 prikazani su osnovni program proračuna složene tankoslojne strukture, koji sadrži 8 podprograma:

- Podprogram 1: Definisanje liste (svaka vrijednost A, B, C, D)
- Podprogram 2: Planiranje rezultata
- Podprogram 3: Proces simulacije programa varijacije optičkih karakteristika (transparencija, refleksija)



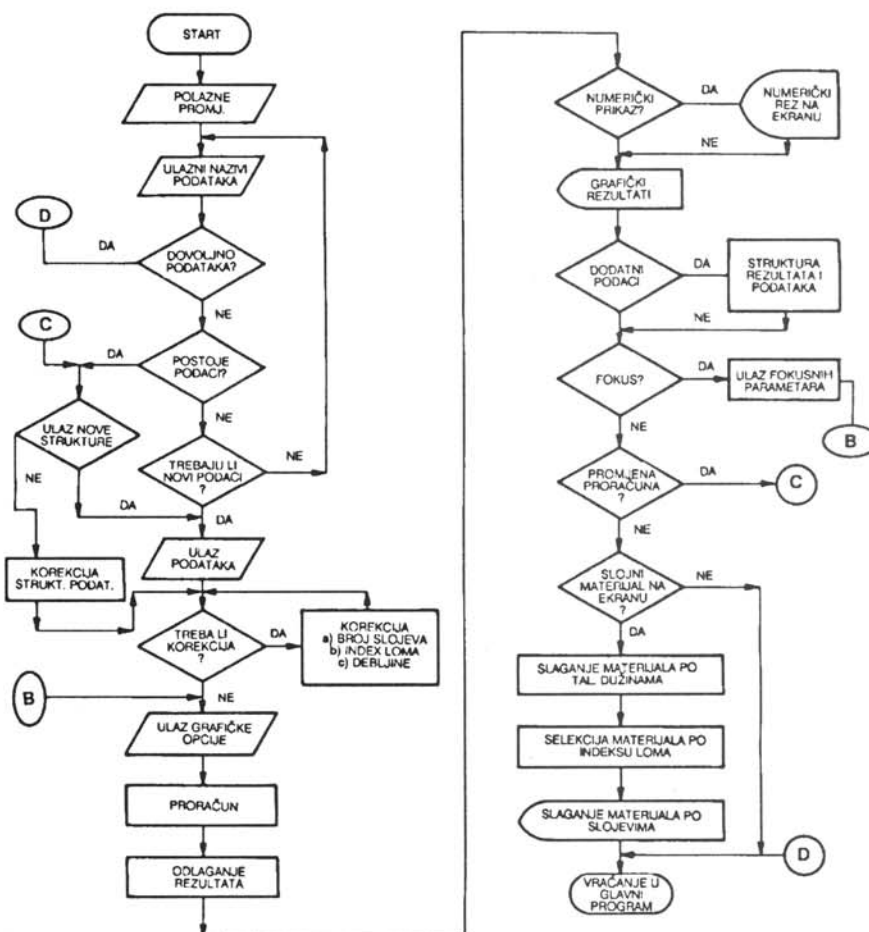
Slika 2. Osnovni program

- Podprogram 4: Analitički program određivanja promjena refleksije, transparencije ili optičke gustine u funkciji talasnih dužina.
- Podprogram 5: Analitički program izmjene talasnih dužina
- Podprogram 6: Lista podataka optičkih tankoslojnih materijala.
- Podprogram 7: Niz brojeva i tačaka koji povezuju podprogramme 3, 4 i 5.
- Podprogram 8: Podaci o strukturi sloja i utvrđivanje formata za ulazne podatke.

Od navedenih podprograma najsloženiji oblik ima podprogram 4 kojim se vrši analiza sloja.

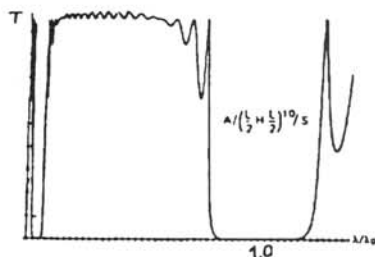
U osnovi program treba da sadrži slijedeće vrijednosti i podatke:

- vrijednosti indeksa prelamanja upadne sredine i supstrata na kojem je sloj realizovan (n_0 , n_s)
- broj podslojeva u slojnoj strukturi (N)
- za svaki podsloj i ($i = 1, 2, \dots, N$) indeks prelamanja, debljinu podsloja izraženu preko fazne debljine (Δ_i), ugao upada i odgovarajuću talasnu dužinu.
- niz od ukupno M talasnih dužina i način njihove izmjene u programu, utvrđivanje referentne dužine, donje granice talasnog područja, gornje granice spektralnog područja, talasne dužine ili područja minimuma odnosno maksimuma refleksije ili transparencije.



Slika 3. Analitički podprogram

- definisanje koraka promjene upadnog ugla i granice promjene ugla upada.
- upadni uglovi za svaki podsloj u funkciji indeksa prelamanja i početnog upadnog ugla, efektivne faze debljine.
- efektivne indekse prelamanja koji proizlaze iz partikularnih komponenti polarizacije.
- matricne proizvode i karakterističnu matricu za svaki podsloj.
- promjene i ukupne refleksije i transparencije za partikularne komponente polarizacije.
- štampanje podataka za sloj, rezultata i grafika.



Slika 4. $T = f(\lambda)$ sloja $(H/2 L/2)^{10} S$

Multipletna dielektrična ogledala su našla primjenu u laserskoj tehnici. Totalno lasersko ogledalo sa refleksijom iznad 99.8 % i poluogledalo sa refleksijom od 60-80 % se realizuju na bazi dielektričnih materijala. Posebno se kod ovih ogledala mora voditi računa o energetske postojanosti na udar laserskog zračenja. Ispitivanja su pokazala da ogledala tipa $(LH)^N$ nisu najpogodnija zbog relativno velikog skoka faze na granici između L i H podslojeva. Stoga se u realizaciji ogledala za visokoenergetske lasere pribegava strukturi sloja koja se može predstaviti kao $(LSH)^N$ gdje je S - podsloj sa srednjim indeksom prelamanja. Pri izboru materijala vodi se računa da između podslojeva nema difuzionih procesa. Obzirom da su dielektrična ogledala konstruisana na bazi velikog broja podslojeva, tada treba imati u vidu da napetost tankoslojnih materijala ima veliku ulogu na kvalitet. Naročito je nepovoljno kada su naponi oba materijala ili kompresivni ili pak izrazito tenzilni. Tada se ukupan napon u tankoslojnoj strukturi umnožava i djeluje u jednom pravcu što dovodi do rasturanja tankoslojne strukture. Povoljnije kombinacije visoko-niskoindeksnih materijala su TiO_2/SiO_2 , ZnS/LaF_3 , Ge/SiO_2 , Ge/ZnS . Njihove karakteristike omogućavaju prekrivanje cijelog spektralnog područja. Za UV područje spektra pogodno je visokorefleksno ogledalo realizovati na bazi HfO_2/MgF_2 jer transparentnost ova dva materijala doseže do 200 nm.

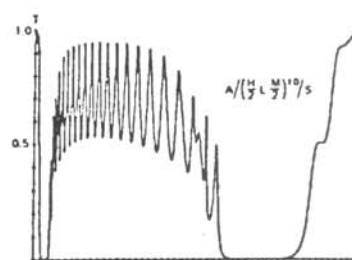
Intenzitetski djelitelji imaju osobinu da dio svjetlosnog snopa uniformno u spektralom području propuste, a preostali dio reflektuju pod nekim uglom. Podjela svjetlosti svodi se na odnos transparencije i refleksije. Odnos intenziteta propuštene i reflektovane svjetlosti može se kretati u opsegu 0.24 do 4 za odabrano spektralno područje.

Dihroični djelitelji svjetlosti razdvajaju ulazni svjetlosni snop po talasnim dužinama tako što jednu spektralnu oblast reflektuju, a drugu propuštaju maksimalno. Za realizaciju dihroičnih djelitelja svjetlosti uglavnom se koriste višeslojne strukture sastavljene od podslojeva visokog (H) i niskog (L) indeksa prelamanja. Broj podslojeva i njihove debljine zavise od problema koji se rješava tj. od spektralnih oblasti koje se razdvajaju i od vrijednosti refleksije i transparencije samog djelitelja.

Djelitelji svjetlosti našli su veliku primjenu u skoro svim savremenim optičkim uređajima. Ovi optički elementi primjenjuju se svugdje gdje je potrebno podijeliti i različito usmjeriti svjetlosne snopove u optičkim sistemima. Veoma važnu ulogu djelitelji svjetlosti imaju u optičkim mjernim uređajima.

Izgradnja modernih optičkih instrumenata više se i ne može zamisliti bez djelioca svjetlosti u njihovom sastavu, bilo da se radi o dihroičnim ili intenzitetskim djeliocima. Upotrebom ovih optičkih elemenata mnogo se postiglo na usavršavanju, povećanju kvaliteta, funkcionalnosti i univerzalnosti optičkih uređaja. Osnovni razlozi ugradnje djelitelja svjetlosti u optičke sisteme, sem naravno njihove funkcije da dijeli svjetlosni snop, ogledaju se u smanjenju dimenzija optičkih uređaja, smanjenju broja potrebnih optičkih pozicija, bržoj izradi uređaja i dr. Prednosti primjene djelitelja svjetlosti naročito dolaze do izražaja kod instrumenata koji rade u više spektralnih oblasti.

Na slici 5 je data kriva transparencije u slučaju upada svjetla pod uglom od 45° na planparalelnu pločicu za sloj tipa $A(H/2 L M/2)^{10} S$ gdje je indeks prelamanja mješanog sloja N jednak 1.65. Mješani sloj se može realizovati na bazi $TiO_2 + SiO_2$ na osnovu stehiometrijskog odnosa koji je određen sa indeksom prelamanja, gustom i molarnom koncentracijom komponenata koje učestvuju u njegovom formiranju.

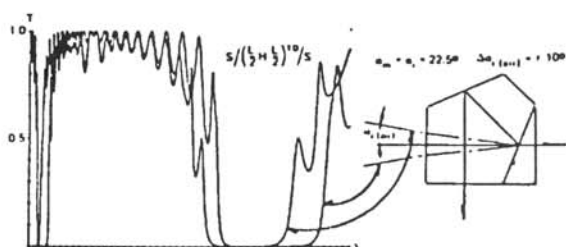


Slika 5. $T = f(\lambda)$ sloja $A(H/2 L M/2)^{10} S$ pri upadu svjetla pod uglom od 45°

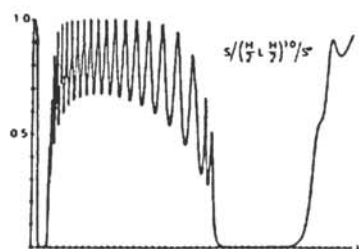
Ukoliko se oba ova sloja razmatraju kod djelitelja svjetla u obliku penta prizme, koja je slijepljena sa klin prizmom a slojna struktura nanijeta na katetu, tada je utjecaj polarizovane svjetlosti manji nego u prethodnom slučaju. Na slikama 6 i 7 date su spektralne krive transparencije slojeva tipa $S(L/2 H L/2)^{10} S$ i $S(H/2 L H/2)^{10} S$ pri upadu svjetla od $22.5 \pm 10^\circ$ odnosno pri upadu od 22.5° .

Znatno veći utjecaj polarizacije je prisutan pri upadu svjetla na površinu djelitelja pod uglom od $45 \pm 10^\circ$ kada svjetlost dolazi iz stakla na tankoslojnu strukturu u odnosu na upad iz vazduha. To se može zapaziti iz spektralnih krivih transparentnosti kod kubnog djelitelja spektra koje su date na slikama 6 i 7.

Utjecaj podloge na spektralnu raspodjelu multipletnog djelitelja svjetla je znatan ukoliko broj podslojeva nije velik. Međutim kod djelitelja sa velikim brojem parova nisko i visoko indeksnog materijala podloga nema bitnog utjecaja na spektralnu krivu. Spektralna raspodjela transparentnosti i refleksije uglavnom ovisi od ugla upada, debljine i broja podslojeva.



Slika 6. $T=f(\lambda)$ sloja $S(L/2 H L/2)^{10}S$ na djelitelju svjetla oblika penta prizme



Slika 7. $T=f(\lambda)$ sloja $S(H/2 L H/2)^{10}S$ i upadu svjetla od $22,5^\circ$

Amplitudni koeficijenti p i s polarizacije transparentnosti i refleksije u funkciji upadnog ugla za multipletni sloj na supstratu računaju se na osnovu relacija teorije optike tankog sloja.

U ponovljenom procesu optimizacije, koji rijetko kad nije neophodan, unose se novi podaci koji su registrovani pri eksperimentu a nisu saglasni sa ranije datim vrijednostima. Proces se ponavlja dok se eksperimentalni rezultati ne usaglase sa projektovanim vrijednostima. U drugoj fazi se vrši detaljna provjera parametara realizovanog sloja. Mjerenjem spektralnih, termičkih, mehaničkih, klimatskih, energetskih i hemijskih osobina utvrđuju se uslovi eksploatacije optičkog tankog sloja. U slučaju kad je naglašen parametar, koji nije samo spektralno bitan, neophodno je istražiti nove tehnološke postupke, koji omogućavaju, da se postavljeni zahtjev ispuni. Tako na primjer u slučaju super tvrdih slojeva nije neophodna matematička optimizacija sloja ali je vrlo bitno

utvrditi niz tehnoloških uslova koji omogućavaju da se realizuje kvazi diamantna struktura u procesu jonsko-plazmenog nanošenja ugljeničnog sloja na podlogu. Upotreba računarske tehnike u optici tankog sloja je nezaobilazna, bilo da se projektuje nova slojna struktura bilo da se vrši simulacija tehnoloških postupaka ili ispitivanje funkcionalnog uticaja nekog od konstruktivnih parametara multipletne tankoslojne strukture.

Usljed pooštrenih kriterijuma realizacije u novom spektralnom području ili traženja alternativnih rješenja za već postojeće tanke slojeve, vrši se istraživanje i razvoj novih optičkih tankih slojeva. Pravci istraživanja i razvoja mogu biti u području UV do srednje infracrvene oblasti spektra. Problemi koje treba rješavati su diktirani vrstom sloja. U UV oblasti slojevi imaju izrazito male debljine dok su u IC oblasti debljine znatne. U oba slučaja je rješenje postavljenih zahtjeva otežano zbog ograničenog broja transparentnih materijala za datu spektralnu oblast. Savremena rješenja optičkih elemenata i sistema zahtjevaju od tankoslojne tehnologije, da vode računa o geometriji i funkciji optičkih elemenata sa slojem u smislu eliminisanja hromatskih, polarizacionih i drugih efekata. To često onemogućava da se za određene optičke elemente sa složenom funkcijom tanki slojevi nanose na uobičajeni način, nego je neophodno razviti posebno rješenje za svaki slučaj.

Rješenje zadanih spektralnih osobina sloja u dvije pa i tri oblasti spektra je poseban problem. Teoretska analiza treba da dá dozvoljenu tehnološku sigurnost koja će omogućiti neophodnu reproduktivnost u proizvodnji. U ovim slučajevima su nanijeti podslojevi uglavnom "faznog" tipa tj. debljine slojeva su različite u odnosu na četvrtinu talasne dužine i njihove promjene znatno utiču na spektralnu raspodjelu. Pri optimiziranju slojnih struktura uglavnom se koriste moderne matematičke metode kao što su metoda najmanjih kvadrata ili Monte Karlo metoda. Teoretska razmatranja su utoliko efikasnija ukoliko su podaci sa kojima se vrši analiza bliži vrijednostima koje proističu iz primjenjenih tehnoloških postupaka. Stoga je u sistematskom pristupu problematici optičkih tankih slojeva neophodno ostvariti datoteku sopstvenih podataka za tankoslojne materijale koja poističe na bazi postojećih tehnologija u okviru proizvodnog pogona. Pored sopstvenih podataka mogu se uspješno koristiti i literaturni podaci ako baziraju na ekvivalentnom tehnološkom postupku ili pak ako je takav postupak ostvariv nakon izvršene optimizacije. Razvoj novih slojeva je usmjeren na sve dosadašnje vrste slojeva: AR, ogledala, filtre, djelitelje snopa i u cijelom spektralnom području od $0.2 - 15 \mu\text{m}$.

4. Tehnološka poboljšanja realizacije tankih slojeva

Na području optičkih tankih slojeva je dominantna tehnologija nanošenja sloja isparavanjem materijala u visokom vakuumu. Poboljšanje tehnologije rada se ostvaruje u nekoliko bitnih stavki:

- isparavanje materijala
- automatizacija procesa nanošenja sloja
- realizacija atmosfere recipijenta sa visokim stepenom čistoće.

Isparavanje materijala je bitan činilac tankoslojne tehnike. Gustina atomskih odnosno molekulskih para isparenog materijala, geometrija gustine isparenog materijala, energija isparenih čestica, jonsko stanje materijala i brzina kretanja čestica diktiraju kvalitet sloja i njegovu distribuciju na nosaču optičkih elemenata. Izbor isparivača uslovljava stabilnost procesa i njegovu reproduktivnost. Danas su proizvođačima tankih slojeva na raspolaganju veliki broj različitih termičkih isparivača i vrlo stabilni elektronski topovi pomoću kojih se nanose teško isparljivi materijali. Upotreba dva isparivača istovremeno u jednom ciklusu omogućava realizaciju mješanih slojeva sa indeksom prelamanja čija je vrijednost između dvije polazne vrijednosti za pojedinačne materijale. Isparavanjem nisko indeksno i visoko indeksnog materijala u određenim stehiometrijskim odnosima omogućava realizaciju niza varijanti sa konstantnom vrijednošću indeksa prelamanja ili pak nanijeti sloj ima gradijentnu raspodjelu indeksa prelamanja. Gradijentna raspodjela indeksa prelamanja se realizuje ukoliko se stehiometrija u toku procesa nanošenja mijenja u zadanom odnosu. Ovo daje niz sasvim novih mogućnosti realizacije optičkih tankih slojeva.

Kontrola procesa nanošenja materijala je značajan faktor za ostvarenje sloja sa vrlo strogom definisanom debljinom. Primjena kvarcne vage visoke stabilnosti i mogućnost višestruke zamjene mjernih kvarcnih pločica daju pouzdanost procesa kontrole u granicama od 2 %. Mjerenja kvarcnim mjeracima debljine su naročito pouzdana pri kontroli nanošenja sloja metala. Ukoliko je proces standardan sa tehnološkog aspekta tada se putem baždarenja koje je naročito potrebno pri većem broju ciklusa i realizaciji slojeva većih debljina, mogu reproduktivno pratiti debljine nanijetog materijala. Ugradnja sistema difrakcionih rešetki u optički mjerac debljine umjesto ranije korištenih interferencionih filtera poboljšala se monohromatičnost svjetlostnog izvora sistema za kontrolu optičke debljine sloja. Također se putem infracrvenih prijemnika zračenja mogu pratiti debljine nanijetih slojeva u bliskoj i srednjoj infracrvenoj oblasti spektra. Ugradnjom lasera (He-Ne, Ar i CO₂) kao izvora svjetla u mjernom sistemu kontrole debljine sloja u dobroj mjeri se odstranjuju negativni efekti koji su izazvani sekundarnom svjetlošću sa izvora isparavanja. Tačnost optičkih metoda kontrole debljine sloja je ovim poboljšanjima dosegla do 3 %.

Automatizacija nanošenja sloja putem mikroprocesora eliminiše subjektivne greške operatora i omogućava istovremeno praćenje velikog broja tehnoloških parametara. Uvođenjem računarske tehnike na opremu za proizvodnju optičkih tankih slojeva tehnološki proces se praktično približava projektovanom sloju na osnovu teoretskih razmatranja i iskustvenih tehnoloških podataka. U novije vrijeme zapažena je sve češća

primjena tehnologije katodnog raspršivanja. Ono se prvenstveno primjenjuje na ravne optičke površine i mikrooptičke elemente. Međutim, naročito u posljednjim godinama dolazi do izražaja naparavanje materijala uz jonizaciju gasova u recipijentu.

Realizacija tankih slojeva u plazmi omogućava vrlo rezistentne tanke slojeve a da se pri tom ne mora vršiti grijanje substrata. Obzirom da se katodno rasprašenje može samo izuzetno koristiti u tehnologiji nanošenja optičkih tankih slojeva (mikro optika, filteri, modulatori), jonsko naparavanje u znatnoj mjeri povećava postojeće kapacitete za nanošenje sloja.

5. Razvoj i primjena savremenih metoda kontrole kvaliteta optičkih poliranih površina

Nivo kvaliteta poliranih optičkih površina doseže vrijednosti od nekoliko molekulskih granula tj. do reda veličine od 0.5 nm. Kontrola poliranih površina obuhvata tri osnovna parametra:

- analiza mikroneravnina površine odnosno rasprašenja svjetlosnog zraka sa polirane površine
- planitet ili sferičnost obrađenih površina
- mikrohemijsku čistoću površine.

Kontrola mikroneravnina površine je vrlo značajna kod optičkih elemenata koji se ugrađuju u laserske sisteme ili kod elemenata koji vrše višestruku optičku funkciju. Do skora se optičkim poliranjem uglavnom postizao nivo kvaliteta polirane površine od oko 15-20 nm. Primjenom višefazne obrade specijalnih tehnoloških materijala nivo kvaliteta se stalno popravljao, tako da je danas uobičajena tolerancija mikro neravnina površine ispod 10 nm. Analiza optičkih problema, koji su vezani za mikroneravnine površine, ukazuje da se greška obrade površine umnožava nakon nanošenja tankih slojeva. Ovo dovodi do povećanja difuzne refleksije koja pored toga što unosi gubitke ima kao povratna svjetlost ometajuće osobine u odnosu na funkciju optičkog sistema. Kod optoelektronskih uređaja rasuta svjetlost izaziva povećane šumove u prijemniku zračenja.

Mjerenje mikroneravnina površine može se izvršiti na specijalnom uređaju projektovanom za tu namjenu ili pak spektrofotometrijskim metodama mjerenja. Spektrometrijske metode omogućavaju mjerenja mikroneravnina površine u granicama od 2 nm.

Planitet i sferičnost obrađenih površina kontrolišu se interferencionim metodama. Primjenom lasera kao izvora monohromatske svjetlosti kontrast interferencione slike je poboljšan. Savremenim izvedbama planimetara i interferometara za kontrolu sfere moguće je pratiti nivo kvaliteta površine u granicama od 0.05 Njutnova prstena.

Polirana površina nakon operacije pranja može biti onečišćena raznim agensima. Pored ostataka smole, poliranih sredstava polirana površina je vrlo aktivna u

odnosu na atmosferu te absorbiraju gasove iz atmosfere. U nekim slučajevima dolazi do hemijskog vezivanja primjesa na površini optičkog elementa u vidu lokalnih oštećenja površine. Najčešće ovakve greške nisu uočljive ni pod mikroskopom te je za identifikaciju primjesa na površini neophodno koristiti moderne metode analize površine. Najčešće se koristi Ožeova spektroskopija, rentgenska mikroanaliza, sekundarna jonizaciona masena spektroskopija, skanirajuća spektroskopija. Ove metode omogućavaju analizu sastava površinskog i pri površinskog sloja, strukturu materijala, koncentraciju primjesa, način vezivanja primjesa za poliranu površinu. Poteškoća u primjeni navedenih metoda se sastoji u tome da se supstrati moraju posebno pripremiti za analizu površine tako da metode nisu pogodne za praćenje serijske proizvodnje.

6. Razvoj i primjena mjernih metoda za kontrolu parametara optičkih tankih slojeva

Pored spektralnih karakteristika tankih slojeva koje se određuju spektrofotometrijskim metodama neophodno je izvršiti mjerenje i drugih parametara koji karakterišu kvalitet sloja. Tako se naročito u posljednje vrijeme sa povećanom pažnjom kontrolišu: mikrotvrdoća, naponi, rasijavanje svjetlosti, atehzivnost, energetska postojanost i klimomehanička postojanost tankih slojeva.

Defekti na sloju se kontrolišu u skladu sa standardima koji definišu kvalitet optičkih tankih slojeva. Za provjeru čistoće povoljnije je optičke komponente sa nanijetim slojem kontrolisati u difuznoj svjetlosti. U te svrhe se mogu koristiti projektori kao izvori svjetla. Ispred projektora postavlja se crni ekran na kojem je ostavljen otvor od opal materiala za prolaz svjetla. Veličina otvora je identična sa prečnikom objektiva. Optički elementi i oko kontrolora se u odnosu na svjetlosni zrak podešavaju pod uglom od oko 30° . Rasuto svjetlo sa površine optičkog elementa se može kontrolisati na više načina. Već je napomenuto da spektrofotometrijska metoda daje tačnost od 2 nm. Ukoliko se koristi metoda integralnog snopa onda se mjerenjem totalnog rasipanja može dostići tačnost od 0.2 nm. Mjerenja se vrše pod uglom koji ovisi od periodične strukture upotrebene difrakcione rešetke. Ukoliko se koristi metoda mikroskopskog diferencijalnog interferencionog kontrasta postiže se tačnost od 0.1 nm. Ova metoda je vrlo pogodna za kvantitativne i kvalitativne analize površine odnosno tankoslojne strukture. Slika dobivena mikroskopom može se prenositi na TV ekran što omogućava analizu mjernih grešaka.

Tvrdoća optičkih tankih slojeva se kreće u dosta širokom rasponu od 5×10^{-3} - 10^4 kg/mm². Pod pojmom makrotvrdoće treba smatrati raspon 5×10^2 - 10^4 kg/mm², mikrotvrdoće od 1 - 500 kg/mm² a ultra mikrotvrdoća doseže do 5×10^{-3} kg/mm². Savremene

metode mjerenja tvrdoće zasnivaju se na mjerenja poprečnog presjeka otiska ili po Vikersovoj ili po Knopovoj metodi. U oblasti ultramikro i mikro tvrdoće su prisutne plastične i elastične deformacije dok mjerenja makro tvrdoće prate samo plastične deformacije. Mjerenje veličine otiska se za područje ultramikro i mikro tvrdoće vrši metodom elektronsko-optičke mikroskopije, a u oblasti makro tvrdoće dovoljno je koristiti optičku mikroskopiju. Optička stakla imaju tvrdoću 400-600 Knoop jedinica što odgovara oko 150 kg/mm². Pri mjerenju se koristi prizma sa 172° i $30'$ longitudinalnim uglom odnosno 130° . Prizma je od poliranog diamanta. Prečnik prizme je do 500 μ m a uvećanje mikroskopa je oko 3000 puta.

Mjerenje napona u tankom sloju se vrši polarimetrijskom metodom. Osnovni problem je u razdvajanju uticaja supstrata tj. napona u supstratu od napona u sloju. Polarimetrijska mjerenja je najpogodnije vršiti metodom kompenzacije. Metoda koristi $\lambda/4$ kompenzacione pločice, a zasniva se na fotometrijskom određivanju transparencije u nepolarizovanom i polarizovanom svjetlu. Iz odnosa izmjerenih maksimalnih vrijednosti transparencije i vrijednosti transparencije pri "gašenju" svjetlosti utvrđuje se stepen napetosti u tankoslojnoj strukturi.

Mjerenje optičkih konstanti tankoslojnih materijala: indeksa prelamanja, apsorpcije materijala i disperzije indeksa prelamanja može se dosta pouzdano vršiti primjenom spektrofotometrijskih metoda. Za mjerenje indeksa prelamanja i koeficijenta apsorpcije metalnih slojeva se isključivo koristi elipsometrijska metoda. Tačnost obje metode mjerenja indeksa prelamanja je u granicama 2×10^{-3} . Prednost spektrofotometrijske metode je u tome što test pločice iz svakodnevne proizvodnje mogu bez dodatnih obrada da se koriste kao uzorci, dok u slučaju elipsometrijskih metoda je neophodno pri nanošenju sloja realizovati prag na supstratu radi utvrđivanja debljine sloja. Fizička debljina sloja se vrlo precizno može mjeriti profilometrom ukoliko sloj nije previše mek.

Klimatske karakteristike slojeva su različite. Metode kontrole otpornosti na vlagu, slanu maglu i slani rastvor su uglavnom standardne a nivo kvaliteta sloja kojeg treba dostići je u cijelosti propisan za svaki tip sloja.

Mjerenje energetskih karakteristika sloja u smislu otpornosti na energetski udar laserskog zračenja vrši se uglavnom za antirefleksne slojeve, ogledala, djelitelje snopa i filtere optičkih komponenti laserskih sistema, a prije svega na komponentama rezonatora laserskog izvora. Mjerenja se provode analizom grešaka koje se na površini elemenata javljaju pri dejstvu određenog broja impulsa odgovarajuće snage. Rezultati se izražavaju pragom razaranja tankoslojne strukture.

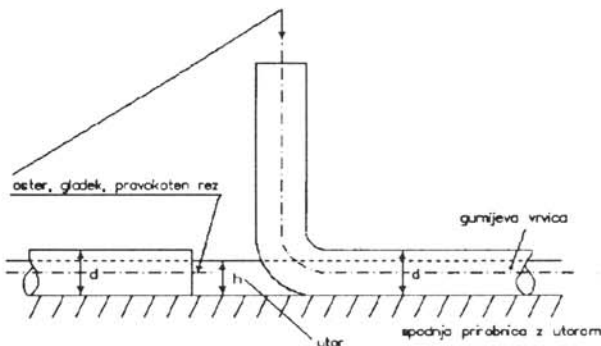
Pored ovih karakteristika kontrolišu se struktura sloja, stehiometrijski sastav i kinematika difuznih procesa koji se odvijaju u sloju a naročito na graničnim površinama između dva podsloja odnosno sloja i supstrata.

NASVETI

Kako ukrojimo in vgradimo veliko tesnilo?

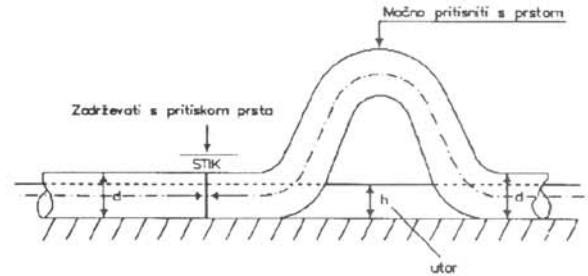
Vakuumisti smo pri svojem delu veliki improvizatorji, v kar nas silijo razmere, predvsem zato, ker doma nimamo vakuumske firme, ki bi nam lahko ponudila raznovrstne vakuumske sestavne dele za "široko porabo". Mednje spadajo tudi velika (nad 55 mm notranjega premera) vakuumska "O" (in trapezasta) tesnila. Če smo torej v težavah, ko je potrebno zamenjati poškodovano ali izrabljeno tesnilo, navadno na vratih velikih vakuumskih komor, najprej povprašamo znanca ali pa trgovine z gumijevimi izdelki oz. rezervnimi avtomobilskimi deli. Tam lahko najdemo marsikaj primerne, npr. tesnila proizvajalca Prva petoletka iz Trstenika (zastopnik Slovenija-avto Ljubljana, Celovška 185), ki so sicer prvenstveno namenjena za visoke tlake, ali domača, obrtniško izdelana tesnila. Če vse odpove, si lahko pomagamo z gumijevo vrvico okroglega ali trapezastega preseka, primerne debeline (od 5 do 10 mm) ali kar z večjim "O"-tesnilom, ki ga prestrižemo.

Naš nasvet. Približno izmerite obseg utora v prirobnici. Dolžina gumijeve vrvice naj bo nekaj cm daljša. Oba konca prirežite z britvico ali drugim ostrim rezilom (skalpel, "olfa"-nož ipd.) strogo pravokotno glede na dolžino, tako da bo krožna presečna ploskev ravna in gladka. (Z malo vaje vam bo to kaj kmalu uspelo, rez bo pravi, "kirurški" ali pa vsaj tak, kot bi si odrezali kos sira ali surovega masla). Položite

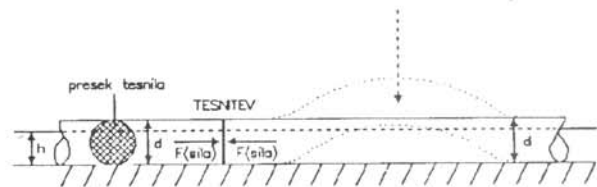


Sl.1a. Prva faza: Vstavljanje tesnilne vrvice okroglega preseka u utor prirobnice. Nazven strleči drugi konec je nekaj cm daljši od obsega oz. dolžine utora.

prirežano vrvico v utor prirobnice, in sicer tako, da bo en konec štrlel navzven (sl.1a). Le-tega nato zvijete tako, da se bosta čeli (= presečni ploskvi) obeh koncev lepo stikali (sl.1b). S prstom ene roke močno pritisnete na grbino, s prstom druge pa zadržujete spoj, da ne bi izkočil iz utora. Ker vam v prvem poskusu ne

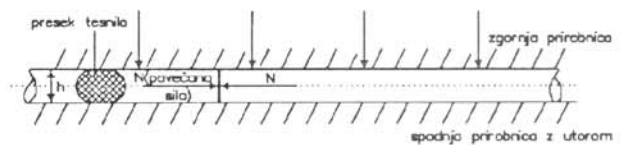


Sl.1b. Druga faza. Tlačenje drugega konca v utor - začetek



Sl.1c. Tretja faza. Tesnilo je v končni fazi "nabito" v utoru

bo uspelo popolnoma "stlačiti" tesnila v utor (kar je čisto pravilno), skrajšajte vrvico za nekaj milimetrov in ponovno poskusite. Bolje je skrajševati vrvico po milimetrih, kot pa naenkrat odrezati preveč, kajti tesnilo mora biti v utoru "nabito" (sl.1c). Sila, ki tako tišči oba konca skupaj, se kasneje še poveča s



Sl.1č. S privijačenjem nasprotne (zgornje) prirobnice in evakuiranjem posode (komore) se sila na stično ploskev še poveča. Puščanje je zanemarljivo, če je bil rez strogo pravokoten in presečna ploskev ravna in čista. Ne uporabljajte vakuumske masti!

privijačenjem nasprotne prirobnice ali z zaporo vrat komore ter evakuiranjem (sl.1č).

Izkušnje kažejo, da je puščanje na stičnem mestu navadno zanemarljivo majhno pod pogoji, ki smo jih navedli. Najuspešnejša izvedba takega načina je O-tesnilo v trapezastem utoru. Ne mažite tesnila ali stičnega mesta z vakuumsko mastjo med vgrajevanjem.

S takim načinom si pomagajo tudi renomirani tuji proizvajalci pri tesnjenju velikih visokovakuumskih komor (vratna tesnila).

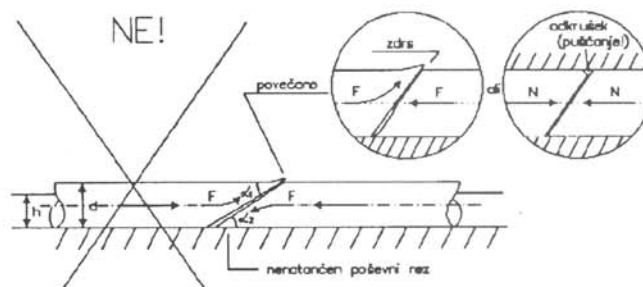
Opozoriti vas želimo na dve najbolj pogosti napaki, ki ju zagrešijo "nevešči mojstri".

1. napaka: lepljenje čelnih ploskev

Ni lepila, ki bi učinkovito zlepil oba konca "gumijeve" vrvice (kemijska sestava nam navadno ni znana), brez ostanka, ki navadno še "popacka" okolico. Vulkanizacija je predraga in komplicirana.

2. napaka: poševni rez tesnilne vrvice

Zmotno je mišljenje, da bo večja stične ploskev tudi bolje tesnila. Pri poševnem rezu nikoli ne ujamemo pravilnega kota pri obeh koncih, zato tudi pravilno naleganje ni mogoče. Največkrat pa se nam še odkruši najtanjši, t.j. vrhnji delček tesnila, kar povzroči veliko puščanje. Packanje z lepilom je dodatna neumnost. Zato nikoli tako (slika 2):



Sl. 2. Nezanesljiv spoj

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

P.S. Tudi to pot nas nihče ni vprašal za nasvet, ampak mi kar vztrajamo.

DRUŠTVENA NOVICA

Izobraževalni tečaji iz vakuumske tehnike

Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije (DVTS) vidi eno svojih pomembnih poslanstev v razširjanju in poglobljanju znanja o vakuumski tehniki in tehnologijah med Slovenci. Zato že več kot eno desetletje organizira (na Inštitutu za elektroniko in vakuumsko tehniko) tečaje "Osnove vakuumske tehnike", hkrati pa načrtuje in uvaja v svoj izobraževalni program tudi nove. Doslej je bilo organiziranih 23 tridnevni tečajev "Osnove vakuumske tehnike", ki se jih je udeležilo 563 inženirjev in tehnikov iz 124 različnih delovnih organizacij. Letos je bil tak tečaj samo enkrat (od 23. do 25. oktobra 1991). Udeležilo se ga je 11 slušateljev.

Letos spomladi pa smo po dolgem obotavljanju organizirali tečaj za vzdrževalce vakuumskih naprav. Že v jeseni (sredi novembra) je bil tečaj ponovljen, kar je v gospodarski situaciji, ki smo ji priča, lep dokaz, da je bil resnično potreben. Spomladanskega tečaja se je udeležilo 14, jesenskega pa 10 slušateljev, ki so prišli iz Mariborske livarne, Droge (Portorož, Sudest pri Kozini, Središče ob Dravi), Krke (Novo mesto), Satur-

nusa - Avtoopreme (Ljubljana), Gorenja (Velenje), Helios-a (Domžale), Inštituta za materiale in tehnologije (Ljubljana), Iskre - Centra za elektrooptiko (Ljubljana), Inštituta "Jožef Stefan" (Ljubljana), Univerzitetnega kliničnega Centra (Ljubljana), Lek-a (Ljubljana), Inštituta za elektroniko in vakuumsko tehniko (Ljubljana), Tovarne dušika Ruše, LTH-OL (Škofja Loka) in Vodovod-a Jesenice.

Vsak udeleženelec naših tečajev je prejel tudi pisno gradivo o obravnavani učni snovi. Za tečaj iz osnov je to knjiga "Zbornik predavanj", ki ga bomo v DVTS prihodnje leto, dopolnjena, že drugič ponatisnili, za vzdrževalce pa prav zdaj nastaja zametek nove knjižice s pojasnili, napotki in podatki, ki bodo prišli prav vsakemu uporabniku vakuumskih naprav. Prvo, še nepopolno izdajo tega "priročnika" so že prejeli jesenski tečajniki.

Andrej Pregelj
predsednik DVTS

POROČILA S KONFERENC

TRETJA EVROPSKA IN PETA AVSTRIJSKO-MADŽARSKO-JUGOSLOVANSKA VAKUUMSKA KONFERENCA, DUNAJ, 23.-27. SEPTEMBER 1991

Tretjo evropsko vakuumsko konferenco, združeno s peto avstrijsko-madžarsko-jugoslovansko, je organiziralo avstrijsko vakuumsko društvo - ÖGV ob finančni podpori avstrijskega ministrstva za znanost in raziskave septembra letos na Dunaju.

Na konferenci, ki je potekala v moderni zgradbi Tehniške univerze, v centru Dunaja, so bila obravnavana naslednja področja: vakuumsko znanost in oprema, vakuumske tanke plasti, materiali za elektroniko, znanost o površinah trdnih snovi, uporaba znanosti o površinah trdnih snovi, vakuumsko metalurgija in plazemske tehnologije.

Vabljeni predavatelji iz evropskih dežel in ZDA so predstavili svoja dela v plenarnem delu, ostala predavanja pa so bila predstavljena po posameznih sekcijah, kar je zanimiva novost, primerna za manjše konference, saj smo se vsi udeleženci lahko seznanili z novostmi posameznih obravnavanih področij.

Otvoritveno predavanje o zgodovini izdelave prve nemške rotacijske črpalke je imel G. Reich iz Nemčije; žal njegovo predavanje ni "vžgalo". Morda sta k temu pripomogla G. Bauer iz Univerze v Linzu in P. Repa iz Karlove univerze v Pragi, ki sta v odlični angleščini predstavila predavanji MBE-tehnološki aspekti in aplikacije ter Mehansko inducirana desorpcija v modernih UVV analiznih komorah.

Moderne metode karakterizacije površin je bila tema vabljenega predavanja N.V. Richardsona iz Liverpoola; D. Lubben iz univerze Illinois pa je predstavil svoje delo: Mehanizmi kemisorpcije in kinetika rasti tankih plasti.

L. Gucci iz Budimpešte je predaval o katalizi, naš kolega V. Prešern pa je predstavil smeri razvoja in bodočnost uporabe vakuuma v jeklarstvu; P. Wurz iz ZDA je poročal o C 60: nova oblika grafita, S.J. Bull iz Anglije je poročal o korelaciji mikrostrukture in lastnosti trdnih prevlek.

M. de Crescenzi iz Rima je predstavil novo analitsko metodo: Extended Energy Loss Fine Structure, za karakterizacijo površin in masivnega materiala; F. Löffler iz Aachna je predaval o tvorbi neravnotežnih faz v PVD procesih, J.M. Martinez-Duart iz Madrida pa je govoril o uporabi in izdelavi silicidov v mikro-elektroniki, W. Kautek pa o metodah depozicije superprevodnikov z visokim T_c . Zanimivo je bilo predavanje H. Karnerja iz Balzera o depozicije trdnih prevlek s pomočjo plazme. Zadnji dan konference pa sta R. Erlandson iz Linköpinga in J. Winter iz Jülicha predstavila svoji deli: "Atomic forced microscopy" in "Surface treatment of the first wall in fusion devices".

Delo po posameznih sekcijah je potekalo v manjših, sodobno opremljenih predavalnicah ob zadovoljivem številu poslušalcev.

O obeh poster sekcijah bi lahko rekli, da je bil sejem še kar živ, saj je bilo v dveh dneh predstavljeno preko sto postrov.

Sočasno je bila tudi razstava vakuumskih komponent in naprav. Predstavili so se vsi veliki proizvajalci vakuumске opreme, kot so Balzers, Leybold, Varian, Vacuum Generators, Galileo itd.

Zadnji dan konference so bila zelo zanimiva pregledna predavanja s področij uporabe znanosti površin, materialov za elektroniko, fuzije, znanosti o površinah, vakuumskih tankih plasteh in vakuumске znanosti; predavatelji so bili ugledni strokovnjaki, člani IUVSTA.

Dela, uvrščena v program konference, bodo objavljena v posebni številki revije Vacuum.

Organizator je poskrbel tudi za družabno življenje. Ob prihodu v nedeljo zvečer je bil sprejem za udeležence.

Velike politične spremembe zadnjih dveh let v Evropi so omogočile udeležbo vakuumistov praktično iz vseh dežel. Francozov to pot ni bilo, saj niso zainteresirani za evropske vakuumске konference. Vsi pač niso enakega mnenja, tako je zanimiv primer kitajskega vakuumista Xiazhena, ki je z vlakom potoval iz Pekinga prek Kitajske in Sovjetske zveze do Dunaja kar cele tri tedne, da se je lahko udeležil EVC-3; seveda ga je čakala enako dolga pot nazaj domov.

Sprejem v dunajski mestni hiši je bil zanimiv, saj si naši sosede zelo prizadevajo vrniti nekdanji blišč svojemu glavnemu mestu.

Organizatorji so priredili zanimiv izlet v pokrajino Flachau. Ogledali smo si tudi znamenit samostan Mölk in nato še grad, kjer so imeli podjetni Dunajčani zaprtega ugrabljenega angleškega kralja Riharda Levjersrčnega celi dve leti. Toliko časa so namreč rabili Angleži, da so zbrali odkupnino, nekaj deset ton srebra. Z izkupičkom je Leopold V. zgradil dobršen del Dunaja.

Konferenca je uspela, udeležencev je bilo okrog 300, predvsem je bilo veliko znanstvenikov iz vzhodnoevropskih držav.

Slovenski vakuumisti smo bili zelo počaščeni ob pohvali Johna Colligona. Bil je organizator prve evropske vakuumске konference v Salfordu in spiritus agens vseh nadaljnjih evropskih vakuumskih konferenc. Dejal je, da je bila zanj po organizaciji, po kvalitetni udeležbi vabljenih predavateljev in po prijetnem vzdušju naj-

boljša 4. jugoslovanska-madžarska-avstrijska vakuum-ska konferenca. Organiziralo jo je Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije leta 1988 v Portorožu.

Naslednja četrta evropska vakuum-ska konferenca, EVC-4 bo potekala v organizaciji IUVSTA. Kje bo (ali na Madžarskem ob Blatnem jezeru, na Švedskem ali v

daljnem Novosibirsku), pa se organizacijski odbor še ni odločil.

dr. Monika Jenko

42. POSVETOVANJE O METALURGIJI IN KOVINSKIH GRADIVIH PORTOROŽ, 2.-4. OKTOBER 1991

Na posvetovanju je bilo 120 udeležencev iz 38 podjetij, inštitutov in obeh slovenskih univerz, kar je zadovoljiva udeležba glede na veliko krizo v gospodarstvu. Letos je prvič pokroviteljstvo prevzela slovenska vlada in je kot njen zastopnik posvetovanje pozdravil minister za znanost in tehnologijo prof. dr. P. Tancig, pozdravili pa so ga tudi prof. dr. A. Križman - rektor Univerze v Mariboru, prof. dr. M. Kregar - dekan Univerze v Ljubljani in predsednik Skupščine Občine Piran - gospod F. Fičur. Na posvetovanju je bilo v govornem delu predstavljeno 35 predavanj, razdeljenih v sekcije: TALILNA TEHNOLOGIJA, LASTNOSTI KOVIN PRI UPORABI, PREDELAVA KOVIN, NOVE TEHNOLOGIJE, EKOLOGIJA, DELA NOVIH RAZISKOVALCEV IN MLADIH INŽENIRJEV, BARVNE KOVINE IN ZLITINE, MATEMATIČNO MODELIRANJE IN RAČUNALNIŠKA SIMULACIJA PROCESOV. Vabljeni predavatelji so predstavili: S. Ažman - Železarna Jesenice, s področja mikrolegiranih jekel za petrokemično industrijo, J. Vižintin - Fakulteta za strojništvo, s področja tribologije, A. Smolej - Oddelek za Montanistiko FNT, o sodobnih zlitinah aluminija in J. Šegelj - Železarna Ravne, o računalniški podpori krmiljenja proizvodnje. Poleg govornih je bilo na posvetovanju predstavljenih tudi 54 del v posterski obliki. Po tematiki so bila v program posvetovanja vključena najbolj aktualna področja raziskav in razvoja na področju kovinskih materialov in njihove tehnologije v Sloveniji, posebej pa velja izpostaviti dobro udeležbo predavateljev v sekcijah ekologija, nove tehnologije, računalništvo in dela novih raziskovalcev in mladih inženirjev, ki kažejo, da se raziskave na področju kovinskih materialov uspešno vključujejo tudi v najbolj aktualna področja industrijskih raziskav v razvitih državah.

Velika osvežitev za govorni del programa posvetovanja so bili nastopi novih metalurških inženirjev in njihovih nekoliko starejših kolegov, ki so vključeni v program NOVI RAZISKOVALCI, ki ga financira MZT. Vsi so izredno samozavestno in kakovostno predstavili rezultate svojih diplomskih ali magistrskih nalog in za svoj nastop tudi poželi zasluženo priznanje starejših kolegov.

Obe postrski predstavitvi sta bili združeni z sprejemoma; enega je priredil predsednik Skupščine Občine Piran.

Ob koncu posvetovanja so bili udeležencem predstavljeni usmerjeni raziskovalni programi in raziskovalni projekti, ki jih v letu 1991 financira ali sofinancira MZT. Predstavljeni so bili tudi programi in projekti, ki so predlagani na razpis za leto 1992. Udeleženci so bili tudi na kratko seznanjeni z Zakonom o zavodih in z Zakonom o raziskovalni dejavnosti, za katerega so ugotovili, da nalaga MZT tudi naloge, ki jih imajo v razvitih državah drugi vladni resorji.

Končna ocena posvetovanja je, da je uspel po strokovni, po organizacijski in po družabni plati. To kaže, da pridobiva na pomenu kot mesto, kjer mnoge stroke lahko predstavijo v javno oceno svoje delo na področju kovinskih materialov in tehnologij ter keramike. Zato je bil sprejet sklep, da bo naslednje posvetovanje organizirano v enaki obliki in ob enakem času.

Prof. dr. F. Vodopivec

EVROPSKA KONFERENCA O UPORABNI ANALIZI POVRŠIN IN FAZNIH MEJ

Tovrstna konferenca je bila z dvoletnimi presledki organizirana že četrto, tokrat pod oznako ECASIA 91. Lokalna organizacija je bila zaupana Madžarom in Avstrijcem. V Budimpešti se je od 14. do 18. oktobra 1991 zbralo okrog 500 udeležencev iz 40 držav. V obliki referatov je predstavilo svoja dela okrog 120 udeležencev, v poster sekcijah pa okrog tristo. Mednarodni znanstveni komite je delo konference razdelil v naslednja področja: tehnike v razvoju, uporaba sinhrotrona, polimeri, profilna analiza, tridimenzional-

no slikanje in analiza nano-področij, adhezija, interpretacija rezultatov in kvantifikacija, keramika in steklo, radiacijski vplivi, tribologija in obrabna odpornost, mikroelektronika in superprevodniki, korozija, tanke plasti in prevleke, kataliza ter metalurgija.

Organizatorje je presenetilo veliko število rokopisov, ki so jih udeleženci oddali uredniku revije *Surface and Interface Analysis*, ki bodo v obliki člankov objavljeni v

zborniku konference in rednih izdajah te angleške revije. Večino člankov smo recenzirali že na sami konferenci.

Udeležba s področja bivše Jugoslavije je bila šibka, saj sta bila na konferenci samo udeležena iz Ljubljane in Sarajeva. Vzrok je znan: en del bivše države se bojuje in v vojni uničuje ter porablja milijardna sredstva, drugi, ki imajo to srečo, da so v miru, pa imajo inštitute s staro analizno opremo in tolikšno pomanjkanje sredstev, da omejujejo in varčujejo že pri potnih stroških in dnevnicah. Zaostajanje za vodilnimi laboratoriji v svetu se nam bo še kako maščevalo, saj so metode za analizo površin osnova in pogoj pri raziskavah materialov in razvoju novih tehnologij. Menim, da smo od več deset osnovnih metod

za analizo površin in več kot petdeset njihovih izpeljank vpeljali in danes uporabljamo na področju bivše Jugoslavije le nekaj od njih. Šolanje kadrov, ki upravljajo zelo drage aparature je praviloma dolgoletno, interpretacija analiznih rezultatov pa zahteva solidno interdisciplinarno znanje.

Konferenco je spremljala bogata razstava, na kateri je predstavilo svoje najnovejše instrumente okrog 20 razstavljalcev iz vsega sveta. Dogovorjen je bil tudi čas in kraj naslednje konference, ECASIA 93, ki bo jeseni leta 1993 v italijanskem mestu Catania.

dr. A. Zalar

NOVOSTI PROIZVAJALCEV VAKUUMSKE OPREME

Že približno pred dvema desetletji so turbomolekularne črpalke pričele prevzemati vodilno vlogo pred oljnimi difuzijskimi v mnogih visokovakuumskih in še bolj v ultra VV sistemih, kjer je prisotnost oljnih par nedopustna. Prehod na brezoljno tehniko na VV področju je zahteval spremembe oziroma korak naprej tudi na stopnji predčrpalok oz. grobega vakuuma. Razvojni oddelki večine vodilnih vakuumskih tovarn so pričeli s poizkusi in raziskavami za izdelavo suhe rotacijske črpalke, ki bi nadomestila oljno tesnjenje (Gaedejeve črpalke). Kot prvi tovrstni dosežek se je pojavila Edwardsova črpalka DP 80 s pari "kavljestih" rotorjev. Sledila je firma Leybold s črpalno Dryvac (tudi kavljastega tipa), vendar s precejšnjim zaostankom, saj se Nemcem ni tako posrečilo, kot so prvotno načrtovali. Mnogi drugi proizvajalci pa so se lotili stvari drugače. Prvi med njimi je bil ameriški Alcatel (že leta 1988) s turbomolekularno črpalno in sistemom membranskih predčrpalok v enem samem ohišju; njihov črpalni agregat Drytel lahko izčrpa posodo z atmosferskim tlakom na 10^{-6} mbar. Druge vakuumске firme, ki jih lahko še zasledimo pri tovrstnih raziskavah, so: Danielson (ZDA) s črpalnim sistemom TRIBODYN, Saskia (ZRN) z LABOVAC-om, RIAL (Italija) z Dry pumping systemom in Osaka Vacuum (Japonska) z TG-M-compound. Omenjeni in verjetno še kateri drugi proizvajalci kombinirajo pri svojih izdelkih vzporedno in zaporedno vezane membranske in grafitne črpalke; s takimi tandemi nadomeščajo oljno tesnjenje črpalke v VV in v UVV sistemih - nekateri že kar zelo uspešno.

V firmi Balzers so razvili nov ionizacijski merilnik IMG 300, ki lahko meri tlak v območju od 1 do 10^{-6} mbar. Merilna glava je zaščitena pred električnimi in magnetnimi motnjami. Po želji kupca lahko kontrolno enoto dopolnijo s še največ dvema Piranijevima in dvema ionizacijskima merilnikoma s hladno katodo. Instrument omogoča povezavo z računalnikom.

Z novimi materiali za napajanje antirefleksnih prekritij (PASO), ki so jih razvili v firmi Balzers, lahko pripravimo antirefleksna prekritja na steklenih podlagah in podlagah z visokim lomnim količnikom, kot so Si, Ge in GaAs. Plasti so zelo trde in imajo lomni količnik med 1.65 in 1.9.

Antirefleksne plasti v vidnem območju in na podlagah iz stekla, lahko naredimo v obliki strukture treh plasti, ki imajo različne lomne količnike.

V razvojnih oddelkih Balzersa so razvili CrN trde prevleke, ki so temperaturno in korozijsko obstojnejše od že uveljavljenih TiN in TiCN plasti.

Pestro ponudbo tunelski mikroskopov dopolnjuje firma Burleigh Instruments z vrstičnim tunelskim mikroskopom ARIS-5100 (Atomic Resolution Imaging System), ki je namenjen za delo v ultravisokem vakuumu.

V firmi Tylan General Inc so razvili nov merilnik masnega pretoka (FM 3925), ki omogoča regulacijo pretoka do 1000 litrov na minuto pri standardnih pogojih. Narejen je iz nerjavečega jekla in zato primeren za delo s korozivnimi plini.

Firma KRATOS je izdelala fotoelektronski mikroskop (PESM), ki omogoča fizikalno in kemijsko karakterizacijo površin z mikronske in v nekaterih primerih sub-mikronske ločljivostjo. Tako lahko opazujemo npr. področja dopantov v integriranih vezjih, meje med kristalnimi zrni in podobno. Firma KRATOS ponuja tudi izpopolnjen fotoelektronski spektrometer AXIS.

Novosti firme Edwards so: kriočrpalke Coolstar s črpalnimi hitrostmi od 350 do 3500 l/s in miniaturna zračno hlajena difuzijska črpalka E050/60, s črpalno hitrosjo 60 l/s (za zrak) in končnim tlakom 5×10^{-7} mbar.

HITLINE je izpopolnjena Leybold-ova naprava za izdelovanje CD plošč, ki se odlikuje z večjo produktivnostjo v primerjavi s prejšnjo generacijo tovrstnih naprav.

Pri firmi VSW Scientific Instruments pa so razvili izvore molekularskih curkov (Supersonic molecular beam systems), elektronsko puško z zelo fokusiranim curkom EG500 (s premerom curka $5 \mu\text{m}$ na razdalji 36 mm) in energijo elektronov 5 keV, ter nizkoenergijsko (500 eV) ionsko puško AS 100.

Vir: "Vacuum News" iz revije Vacuum; izbor sta pripravila A. Pregelj in P. Panjan

OBVESTILA

Dvanajsti mednarodni kongres (IVC-12) in Osmo mednarodna konferenca o površinah trdnih snovi (ICSS-8), Haag, 12-16 okt. 1992

Kongres bosta organizirala nizozemsko vakuumsko društvo in Mednarodna zveza za vakuumsko znanost, tehniko in uporabe (IUVSTA). Na kongresu bodo obravnavane teme, ki tradicionalno pokrivajo področje vakuumskih znanosti in tehnologij:

- elektronski materiali in procesi
- znanost o površinah
- uporaba znanosti o površinah
- vakuumске tanke plasti
- vakuumška metalurgija
- fuzijske tehnologije
- vakuumška znanost.

Organizatorji kongresa obljublajo nad sedemdeset vabljenih in dve plenarni predavanji, ter veliko razstavo znanstvene opreme. Sprejeti prispevki udeležencev kongresa bodo objavljeni v revijah založbe Elsevier/North-Holland in v reviji Vacuum. Predvidoma januarja bo razposlano drugo obvestilo vsem tistim, ki bodo na naslov organizatorja (Congress Secretariat IVC-12/ICS Van Namen & Westerlaken Congress Organization Services, P.O.Box 1558, 65 Nijmegen, The Netherlands) odposlali prijavnico (dobite jo pri uredniku Vakuumista ali na sedežu DVTS).

Vir: Prvo obvestilo organizatorjev kongresa

Mednarodna konferenca o metalurških prevlekah in tankih plasteh (ICMCTF San Diego, 6-10 april 1992)

Na konferenci, ki jo bo organiziralo ameriško vakuumsko društvo, bodo obravnavana naslednja raziskovalna področja:

- visoko temperaturne prevleke
- trde prevleke
- tanke plasti v mikroelektroniki
- diamantni in njim sorodni materiali
- tribološke prevleke
- visoko temperaturne superprevodne tanke plasti
- metode za karakterizacijo tankih plasti in prevlek.

Sprejeti prispevki bodo objavljeni v revijah Surface and Coatings Technology in Thin Solid Films. Več informacij dobite pri:

**g. S.V. (Krish) Krishnaswam Westinghouse
Sci. & Tech. Ctr. 1310 Beulah Rd., Pittsburg,
PA 15235, (412) 256-1998,
fax (412) 256-1348.**

Vir: Bilten ameriškega vakuumškega društva (sept./okt. 1991)

Deveta mednarodna konferenca o tankih plasteh (ICTF 9), Dunaj, 6-10. sept 1993

Organizatorji konference (Avstrijsko vakuumsko društvo) vabijo vse tiste, ki jih zanima raziskovalno področje tankih plasti, priprava le-teh in njihova uporaba. Več informacij dobite pri sekretarju konference:

**Wolfgang Husinsky,
Institut für Allgemeine Physik,
Technische Universität Wien,
Wiedner Hauptstrasse 8-10,
A-1040 Wien, Austria,
tel. (43) (1)-588 01-5591,
fax: (43) (1)-56 42 03,
email: WOHUIAP @ TUVIE UUCP**

Vir: Bilten IUVSTA, № 119, 1991

Štipendije Welchovega sklada za leto 1993

V zadnji številki biltena mednarodne organizacije za vakuumsko znanost, tehniko in aplikacije (IUVSTA) je bil objavljen razpis komiteja Welch-ovega sklada pri IUVSTA za več štipendij za mlade raziskovalce, ki se želijo izpopolnjevati na tem področju. Namenjene so tistim mladim, ki so končali študij na univerzi, pri čemer imajo prednost kandidati z že opravljenim doktoratom znanosti. Štipendija v višini 12 500 ameriških dolarjev je enoletna, z začetkom izplačevanja 1. septembra 1992. Izplačuje se v treh obrokih: prvi obrok 6000 \$ na začetku, drugi, 6000 \$ po šestih mesecih in zadnji 500 \$ po predaji končnega poročila. Kandidat si lahko sam izbere laboratorij, kjer bo delal, zaželeno pa je, da je le-ta, zaradi mednarodnega značaja štipendije, v tujini.

Od kandidatov se zahteva, da tekoče govorijo jezik dežele, v kateri bi se želeli izpopolnjevati, ali angleški jezik.

Obrazec za prijavo dobite pri:

**IUVSTA Welch Foundation Administrative
Office
Dr. W. D. Westwood
Advanced Technology Laboratory
BNR
Box 3511, Station C
Ottawa, Canada K1Y 4H7**

Prijavo z ustreznimi prilogami pošljite na ta naslov najkasneje do 15. aprila 1992.

Vir: Bilten IUVSTA, № 119, 1991

RUDIJU JANČARJU V SPOMIN

Pred kratkim je nehalo biti plemenito srce Rudija Jančarja, pionirja in vizionarja elektronske industrije na Slovenskem, ustanovitelja bivšega Inštituta za elektrozeve, enega od pomembnih temeljev Iskre, ter domačega razvoja in snovanja na področju elektrovez in elementov za elektroniko. Njegova življenjska pot je bila težavna, a vendar je zaoral globoke in plodnosne brazde v našo elektrotehniko.

Rodil se je tik pred prvo svetovno vojno v Mariboru. Že kot mladenič se je zanimal za radijsko stroko. Med zaposlitvijo v Ljubljani je obiskoval srednjo tehniško šolo vse do obsodbe zaradi ilegalnega političnega delovanja. Po prihodu iz zapora je bil brezposeln in ni smel nadaljevati šolanja, zato se je konec leta 1936 podal v Beograd, kjer je postal serviser svetovno znanega podjetja Philips. Ko je Philips zgradil v Pančevu novo tovarno radijskih sprejemnikov, je postal tam obratovodja ter pri tem pokazal tolikšno zanimanje in navdušenje za stroko, da je z njo osvojil kakega pol ducata mladih slovenskih tehnikov, ki so bili pripravljene delati pod njegovim vodstvom dan in noč. Ob izbruhu vojne se je vrnil v rodni Maribor, se prebil v okupirano Ljubljano ter se vključil v ilegalno delo. Leta 1942 je odšel v partizane, kjer je delal vseskozi v svoji stroki. Le-ta je zlasti po zlomu Italije doživela velik razmah. Partizanske precizne mehanične radiodelavnice v Starih žagah in Črmošnjicah so izdelale svoj tip radijskega oddajnika-sprejemnika, okrepila se je dejavnost zvez.

Pri organizaciji radijskih zvez med NOV je prav on odigral odločilno vlogo kot tehnični vodja radijske postaje na Kočevskem, ki je delovala vse do konca vojne ter še nekaj časa po njej. V partizanskih delavnicah in službah za radijske zveze se je kovalo mnogo mladih strokovnjakov, ki so se po vojni deloma zaposlili v kranjski Iskri, deloma pa pod Jančarjevim vodstvom v Ljubljani pripravljali začetke Inštituta za elektrozeve. Jančarjeva vizija je bila izgradnja naše lastne elektronske industrije s sodobnimi tovarnami, podobno kot je bila Philipsova, z lastnim raziskovalnim in razvojnim delom. Z neverjetno vztrajnostjo je zbral radijsko-tehnični material, opremo in instrumente. Pridobil je pomoč vlade, ki je želela dobre in sodobne radijske zveze v državi. Pri tem se je zavedal, da se ne moremo nadejati pomoči iz tujine ter da smo odvisni le od lastnih sil. Leta 1947 so ob Jančarju zbrani sodelavci, večinoma iz vrst partizanskih sodelavcev v radijskih zvezah in delavnicah v Starih žagah, pridobili prve prostore v gimnaziji v Šubičevi ulici, v prostorih bivše lekarne Bahovec na Kongresnem trgu v Ljubljani in kasneje v stari rižarni na Linhartovi cesti. Inštitut za elektrozeve (IEV) je bil uradno ustanovljen 20. marca 1948, Jančar pa je postal prvi direktor. Od 100 zaposlenih v prvem letu je inštitut neprestano rasel in širil svojo dejavnost, tako da je imel leta 1955 550 zaposlenih in leta 1958, ko je posloval kot proizvodna organizacija, že okoli 1500 ter skupaj s podjetjem Telekomunikacije, ki je nastalo iz matičnega inštituta, pa celo 2700. Na mestu direktorja Industrije za elektrozeve je ostal polnih 13 let do leta 1961, ko se je IEV združil z elektromehanično industrijo v kranjsko Iskro.



Jančar R.

Vsa ta leta je bil skromni, nesebični in pošten Rudi Jančar duša in motor vsega tako plodnega delovanja, saj so njegova osebnost, njegove vizije in njegova podpora vsemu ustvarjalnemu navduševala in spodbujala vse sodelavce. Že od začetka je zavestno delal na konceptu policentričnega razvoja elektronske industrije v Sloveniji. Vsak dosežek na inštitutu je znal prenesti v proizvodnjo, najraje v kraje, kjer takrat še ni bilo industrije. Na ta način so nastali po vsej Sloveniji industrijski obrati za proizvodnjo elementov in naprav za elektroniko, največkrat v zapuščenih ali neizkoriščenih stavbah, brez velikih investicij, s pritegnitvijo lokalnih dejavnikov in ljudi, skoraj vedno ob lastni izdelavi proizvodne opreme. Obrati so hitro rasli in omogočili tudi manjšim podeželskim centrom hiter razvoj kraja in dvig življenjskega standar-

da ljudi. Industrija, ki je pri tem nastajala, je rasla na svojih razvojnih dosežkih, ob doma izdelani opremi, saj na licence ni bilo mogoče računati. V tem času je tudi IEV rasel tako ob svojih raziskavah kakor tudi ob sodelovanju elektrofakultete in drugih inštitutov. Po zaslugi Rudija Jančarja je pridobil na pomenu tudi v tujini, saj je imel povezave s francoskim poštnim inštitutom CNET, s poljskim ITR, s češkim VUEK in z drugimi.

Rudiju Jančarju je uspelo pritegniti sposobne ljudi, ne glede na njihovo politično opredelitev, in poiskati najboljše strokovnjake doma in v tujini. Znal je spodbuditi v sodelavcih ustvarjalni entuzijazem in vsakega posameznika motivirati, tako stokovnjake kot priučene delavce, saj je rad prisluhnil njihovim predlogom in problemom ter se iskreno veselil njihovih uspehov.

Po združitvi IEV s kranjsko Iskro je Rudi Jančar zaradi nesoglasij zapustil Iskro. Bil je nato štiri leta svetnik za elektroindustrijo na Gospodarski zbornici Slovenije, za tem pa še šest let, do upokojitve, pomočnik direktorja Inštituta za elektroniko in vakuumsko tehniko v Ljubljani. Tudi na teh delovnih mestih je z vsem žarom podpiral razvojno in raziskovalno delo in pri tem sodelujoče strokovnjake.

Vse do svoje hude bolezni je snoval načrte, kako podpreti tiste iz elektro stroke, ki so v sedanjih težkih časih zašli v težave, s programi, ki bi bili aktualni v mednarodnem merilu. V ta namen je že navezoval stike s svojimi znanci, ki so bili ali so še na vplivnih mestih po svetu in bi mogli svetovati oziroma pomagati pri navezavi koristnih stikov.

Rudi Jančar je bil osebno preskromen in je vedno poudarjal delo svojih sodelavcev, ne pa svojega. Vendar pa si je s svojim delom, s pritegnitvijo celih generacij mladih strokovnjakov v sodobno slovensko elektronsko industrijo postavil trajen spomenik. Zlasti pa bomo vsi, ki smo ga poznali, pogrešali njegov optimizem, vzpodbude, prijateljska srečanja ter ga trajno obdržali v hvaležnem spominu.

Mag. Milan Slokan
Smiljan Jerič, dipl.ing.



VAKUUMSKA TEHNIKA – IZDELAVA IN SERVISIRANJE
LABORATORIJSKE OPREME
KAMBIČ ANTON
68333 SEMIČ, tel. in fax (068) 56-200

Olja za vakuumske črpalke

SI ŽELITE DOBER VAKUUM? BREZ TEŽAV Z DOBRIMI VAKUUMSKIMI OLJI

Na osnovi večletnih izkušenj ter potrditvi v praksi smo osvojili proizvodnjo naslednjih vakuumskih olj:

VAKUUM OIL K2

- najboljše olje za vse vrste rotacijskih vakuumskih črpalk
parni tlak: 1×10^{-4} mbar pri 80°C
viskoznost: $15 \text{ mm}^2/\text{s}$ pri 100°C
- nadomešča uvozna olja kot so: N62; Edwards 15; OL P3

VAKUUM OIL K3

- gostejše olje, ki ga priporočamo za že iztrošene črpalke
parni tlak: 1×10^{-4} mbar pri 80°C
viskoznost: $18.5 \text{ mm}^2/\text{s}$ pri 100°C
embalaža: olje dobavljamo v posodah 5, 10, 25 in 200 litrov

KADIFF OIL 33

- olje za difuzijske vakuumske črpalke
parni tlak: 1×10^{-8} mbar pri 25°C
viskoznost: $254 \text{ mm}^2/\text{s}$ pri 20°C
embalaža: olje dobavljamo v plastenkah 1, 5, 10 litrov

**VAKUUMSKA TEHNIKA - IZDELAVA IN SERVISIRANJE LABORATORIJSKE OPREME
KAMBIČ ANTON, 68333 SEMIČ, tel. in fax (068) 56-200**



Obenem dovolite, da vas opozorimo še na drugi

PROIZVODNI PROGRAM:

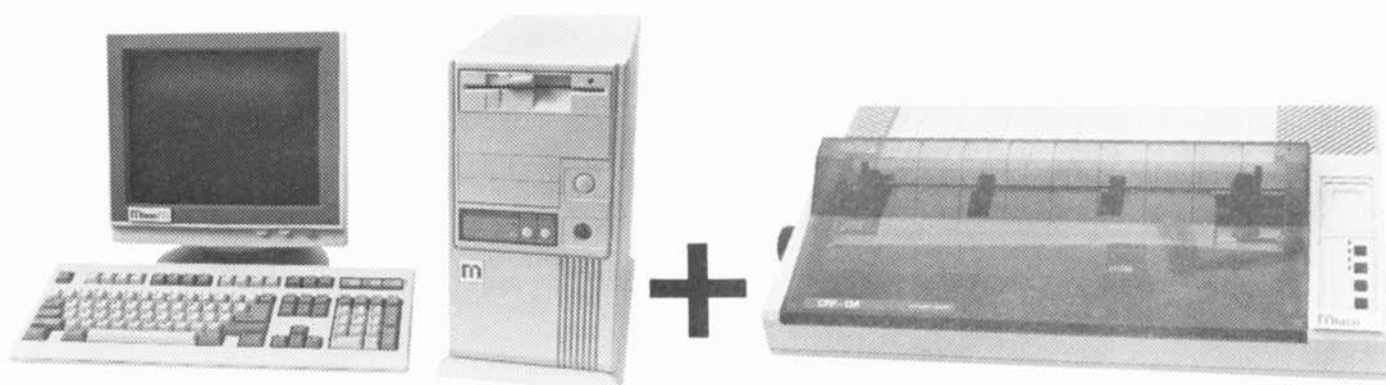
- Vakuumski sušilniki, zračni sušilniki in sušilniki za lak v laboratorijski in industrijski izvedbi
- Coil Coating - Hot Air Cyclus peči
- Testne komore, keramični kroglični mlini, liofilizatorji, viskozometri
- Aparati za koncentracijo odpadnih tekočin

Informacije in prodaja

"BELA KRAJINA" Obrtna zadruga Črnomelj, Ulica 21. oktobra 10, tel.:n.c.(068) 51-614, 51-446, fax: 51-318

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 93.600 SLT

- s tiskalnikom formata A3

cena 103.600 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 98.800 SLT

- s tiskalnikom formata A3

cena 108.600 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 112.500 SLT

- s tiskalnikom formata A3

cena 129.000 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,
risalnike 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

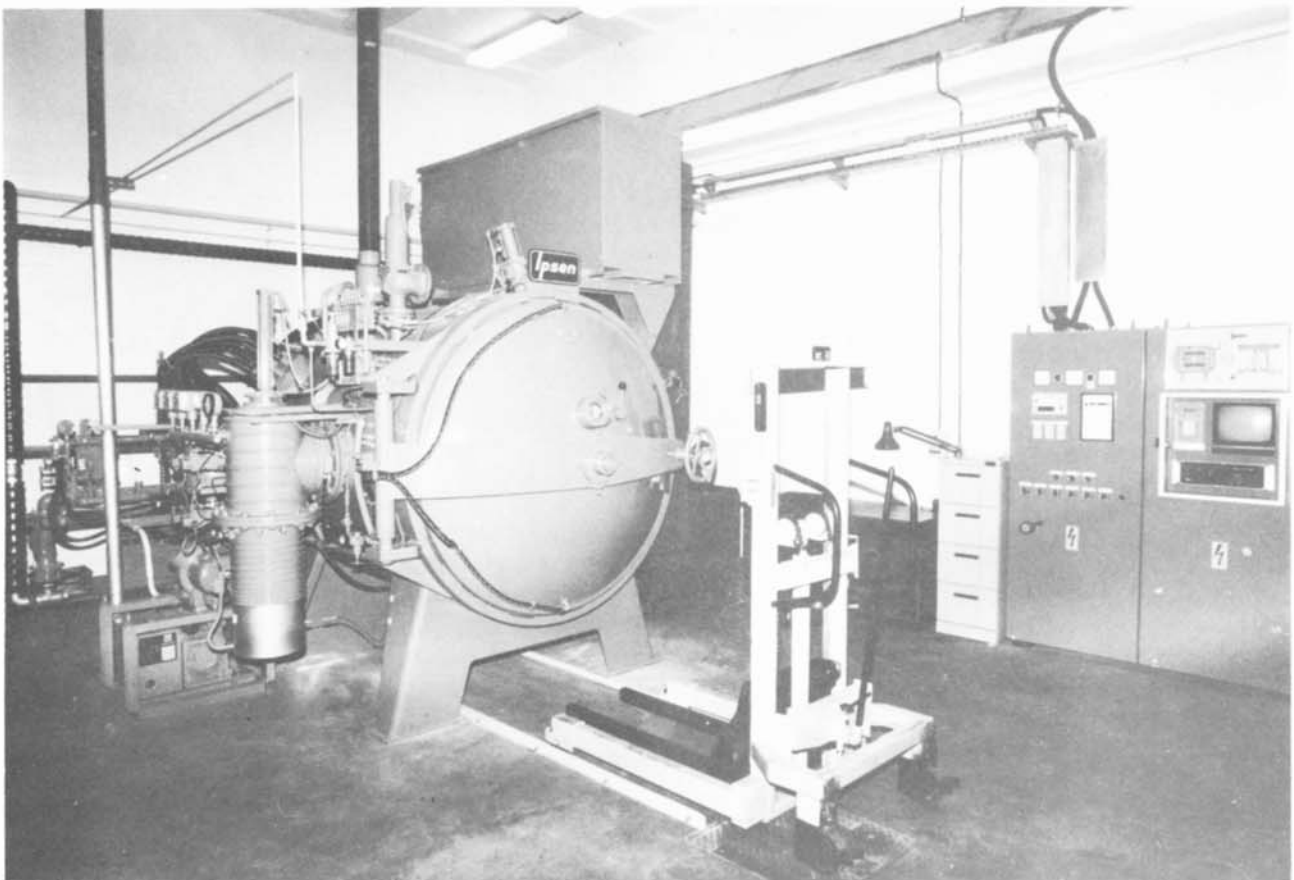
INŠTITUT ZA KOVINSKE MATERIALE IN TEHNOLOGIJE

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

Telefon (061)332-502, Telefax (061)213-780
(prej METALURŠKI INŠTITUT)

Laboratorij za vakuumsko toplotno obdelavo, raziskave, razvoj in storitve

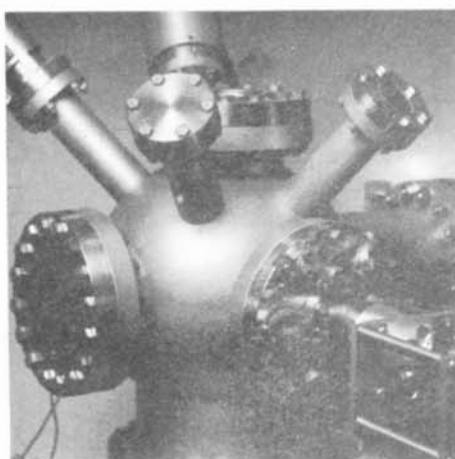
- svetlo žarjenje
- svetlo kaljenje
- raztopno žarjenje
- razplinjevanje
- žarjenje za poboljšanje magnetnih lastnosti
- visoko temperaturno spajkanje z istočasnim kaljenjem
- sintranje
- difuzijsko varjenje



Vakuumska peč IPSEN VTC-324 R

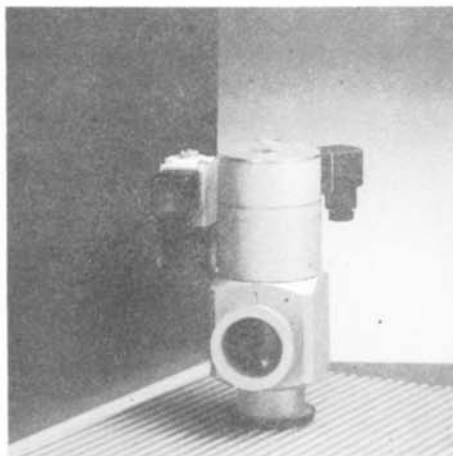
IEVT

RAZISKAVE, RAZVOJ, STORITVE:



- vakuumska, visokovakuumska in ultravakuumska tehnika
- vakuumske tehnologije
- tehnologije tankih plasti
- površinska analitika

IZDELKI:



- vakuumske komponente in sistemi
- elementi za elektroniko
- optoelektronske komponente
- elektronska oprema
- naprave za medicino

ŽELIMO VAM USTREČI – POKLIČITE NAS !

IEVT INŠTITUT
ZA ELEKTRONIKO
IN VAKUUMSKO
TEHNIKO

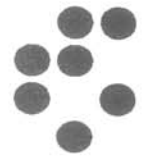
61111 LJUBLJANA, TESLOVA ULICA 30, POB 59,
JUGOSLAVIJA

Telefon: 061 267-341, 267-377, 263-461

Telefax: 061 263-098, Telex: 31629 YU IEVT

univerza e. kardelja

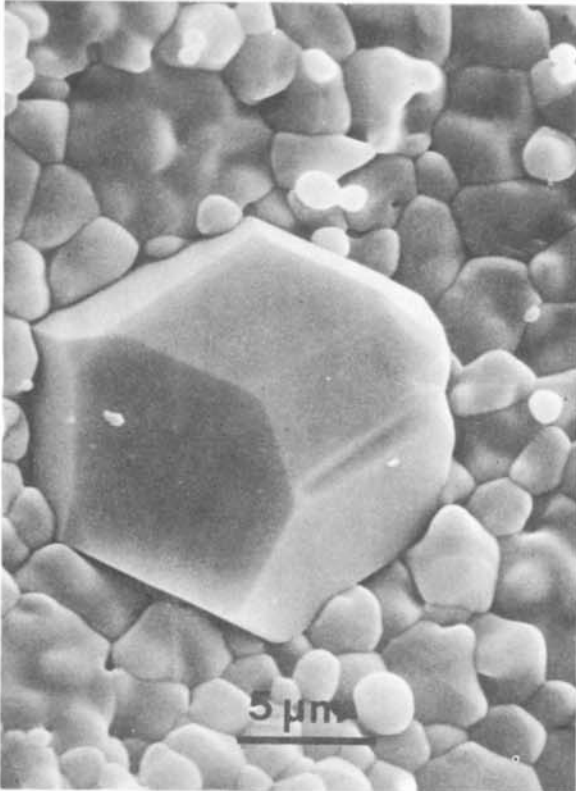
institut "jožef stefan" ljubljana, jugoslavija



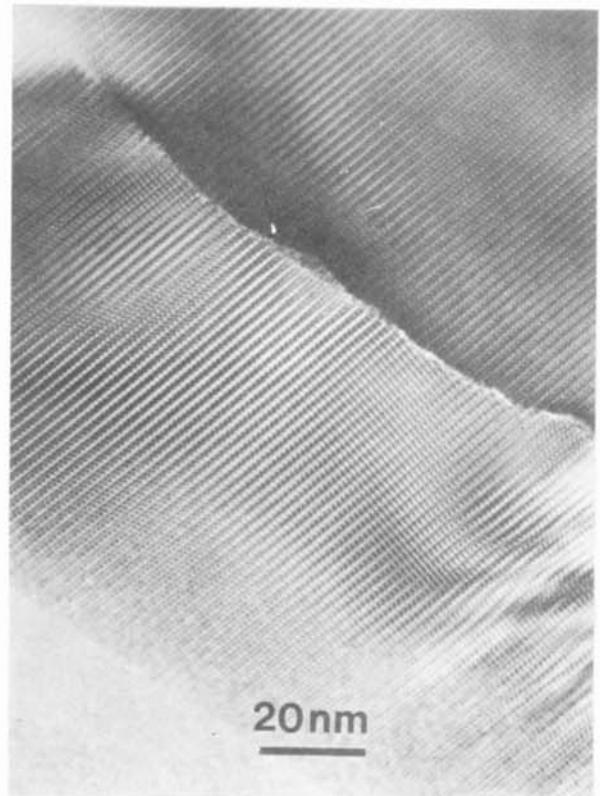
Odsek za keramiko

LABORATORIJ ZA MIKROSTRUKTURNO ANALIZO

Na Institutu Jožef Stefan je v okviru Odseka za keramiko organiziran **laboratorij za mikrostrukturno analizo materialov**. Dejavnost skupine je namenjena podpiranju raziskovalnih programov v odseku in zunaj njega. Osnovno opremo laboratorija sestavljajo **optični mikroskopi, transmisijski in vrstični elektronski mikroskop z analizatorjema energijske porazdelitve karakterističnih žarkov X, elektronski mikroanalizator** ter naprave za pripravo vzorcev.



Prelomna površina keramike ZnO



Kristalna struktura feroelektrične keramike

V Odseku za keramiko ali na institutih, s katerimi sodelujemo, so na voljo tudi instrumenti in metode za kvantitativno stereološko analizo, za rentgensko strukturno analizo, meritve specifične površine, termične meritve in ostalo. Tako imamo možnost opraviti ali organizirati najzahtevnejšo karakterizacijo materialov. Velik pomen **mikrostrukturne analize** je posledica spoznanja o temeljnem vplivu mikrostrukture na lastnosti materialov. To še posebej velja za polikristalne materiale, kjer razumevanje pojavov **na mejah med zrni** omogoča krojenje lastnosti **nove generacije elektronskih in inženirskih materialov**.

Sodelavci laboratorija, doktorji, magistri, inženirji in tehniki obvladajo poleg metod karakterizacije tudi široko področje sinteze in poznajo lastnosti anorganskih, predvsem keramičnih materialov, saj so vključeni v raziskovalne skupine odseka za keramiko ter v mešane razvojne skupine, kjer sodelujejo tudi strokovnjaki iz industrije.