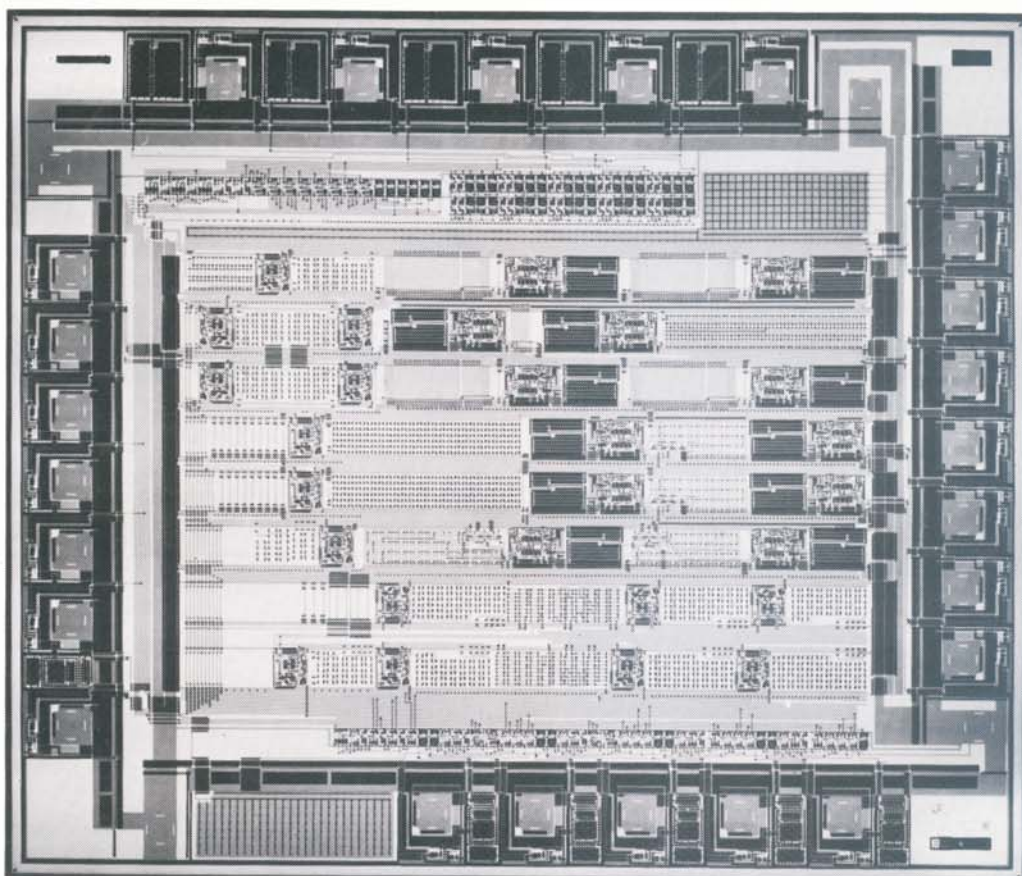


# VAKUUMIST

GLASILO DRUŠTVA ZA VAKUUMSKO TEHNIKO SLOVENIJE

LJUBLJANA, JUNIJ 92

ŠT. 27, 1992/2



## VSEBINA

- Mikroelektronski laboratorij na Fakulteti za elektrotehniko in računalništvo (L. Trontelj)

---

- Tanke plasti v sodobnih zasteklitvah (V. Nemanič)

---

- Nanašanje optičnih tankih plasti (A. Demšar, J. Lindav)

---

- Mehanske napetosti v vakuumskih tankih plasteh (P. Panjan, B. Navinšek, A. Demšar)

---

- Netokovno nanašanje prevlek Ni-P na Al in zlitine (S. Jerič, M. Kocmur)

---

- Nasveti (J. Gasperič)

---

- Novice DVT Slovenije

---

- Izobraževanje

---

- Obvestila

---

- Andreju Banovcu v spomin

---

Slika na naslovni strani:

Vezje za mobilni telefonski aparat, ki je bilo načrtovano in izdelano v laboratoriju za mikroelektroniko na Fakulteti za elektrotehniko in računalništvo v Ljubljani.

- 
- VAKUUMIST
  - Izdaja Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije
  - Glavni in odgovorni urednik Peter Panjan
  - Uredniški odbor: Andrej Banovec, Andrej Demšar, dr. Jože Gasperič (urednik za področje vakuumске tehnike in sistemov), dr. Monika Jenko (urednica za področje vakuumске metalurgije), dr. Alojzij Krizman, mag. Vinko Nemanič, Andrej Pregelj, dr. Vasilij Prešern, mag. Bojan Povh 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
  - Številka žiro računa: Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, 50101-678-52240
  - Grafična obdelava teksta Jana Štrušnik
  - Grafična priprava in tisk Biro M, Žibertova 1, Ljubljana
  - Naklada 400 izvodov,

Revijo sofinancira Ministrstvo za znanost in tehnologijo.

## ANDREJU BANOVCU V SPOMIN

Andreja Banovca je smrt iztrgala iz naše sredine v petek 10. aprila 1992. Od svojih sorodnikov, prijateljev in sodelavcev je odšel iznenada in mnogo, mnogo prezgodaj, sredi dela in načrtov, še ne star petdeset let. Po končanem študiju kemije v Ljubljani in zaključeni vojaščini se je leta 1970 kot kemijski inženir zaposlil na Inštitutu za elektroniko in vakuumsko tehniko v Ljubljani, kjer je delal do zadnjega dne svojega življenja. Med pripravniškim stažem je delal v skupini, ki jo je vodil dr. Evgen Kansky, in sicer na področju vakuumskih tankih plasti.



Njegovo dobro znanje kemije in elektrotehnike, ki ga je obogatil še z znanjem vakuumске tehnike, je učinkovito uporabil pri nanašanju tankih kovinskih, dielektričnih in polimernih plasti in zaradi stalnega pomanjkanja sredstev za nakup novih naprav tudi pri projektiranju in izgradnji manjših vakuumskih sistemov. Na IEVT je bil vključen v raziskovalno in razvojno delo, obenem pa je že od vsega začetka sodeloval tudi z nekaterimi tujimi laboratoriji. Za svoje delo na področju raziskav plinov, vgrajenih v germanij, z masno spektroskopijo je bil Andrej skupaj s kolegi z Inštituta za tehnično fiziko v Budimpešti tudi nagrajen. S tem madžarskim inštitutom je sodeloval na področju elektronsko - mikroskopskih preiskav Au-SiO kermetnih in NiCr kovinskih tankih plasti, ki jih je IEVT uporabljal pri maloserijski proizvodnji miniaturnih potencio metrov.

Izkazalo se je, da je raziskovalno znanje Andreja Banovca, ki si ga je pridobil v prvih petih letih dela s svojo vztrajnostjo in prizadevnostjo, zelo uporabno in potrebno pri reševanju perečih problemov na IEVT, pri razvoju uporabnih in kontaktnih plasti za tankoplastne upore in potencio metre, pri inkapsulaciji integriranih vezij, polimerizaciji stirena v visokofrekvenčni plazmi, pri razvoju pasivnih uporabnih vezij in v zadnjem času pri razvoju elektroluminiscenčnih in katalizatorskih plasti. Nekako po letu 1980 je skupaj s svojimi sodelavci začel delati na tankoplastnih senzorjih, takorekoč od raziskave do razvoja in realizacije končnega izdelka. Rezultate tega dela je družba cenila in Andrej je skupaj s svojimi sodelavci prejel dve inovacijski nagradi iz sklada Borisa Kidriča, prvič leta 1982 za tankoplastni tenziometer in drugo leta 1989 za razvoj in proizvodnjo tankoplastnega senzora vlage. Za delo je

bil dvakrat nagrajen tudi z nagradama občine Ljubljana, Vič-Rudnik. Njegovo znanje je bilo koristno in dobrodošlo tudi za uporabnike v industriji, kar je razvidno iz njegovega sodelovanja z Iskro Hipot, Šentjerneji in Merilno tehniko, Horjul, Energoinvestom - IRCA, Sarajevo, Mipotom, Krmin v Italiji in z drugimi. Eno zadnjih priznanj lahko smatramo tudi to, da je bil imenovan v personalno jedro raziskovalnega polja "Elektronske komponente in tehnologije", in sicer za področje senzorike.

Pri navedbi aktivnosti Andreja Banovca je potrebno navesti

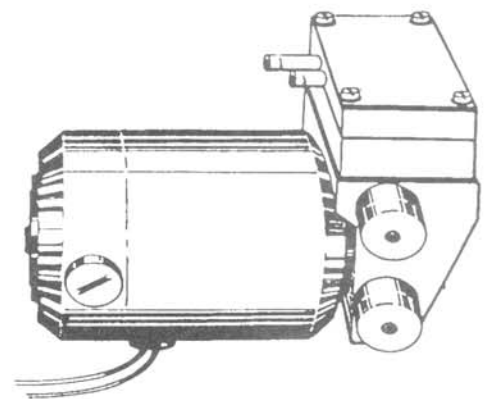
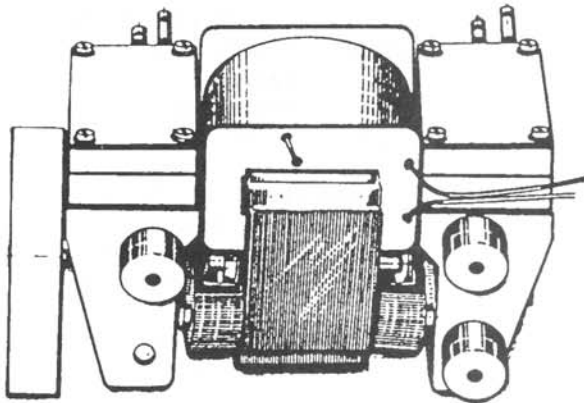
še njegovo delo v Društvu za vakuumsko tehniko Slovenije in v bivši Zvezi društev za vakuumsko tehniko Jugoslavije. Sodeloval je tako v izvršilnih odborih obeh društev kot pri organizaciji jugoslovanskih vakuumskih kongresov in pri tečajih iz osnov vakuumске tehnike ter vzdrževanja vakuumске opreme. Razen na teh specializiranih vakuumskih strokovnih srečanjih pa je bil pogost aktivni udeleženec konferenc MIEL in simpozijev SD. Vseskozi je bil član uredniškega odbora VAKUUMISTA. Kljub prisilni usmeritvi v aplikativne in razvojne raziskave se je vedno zavedal izjemnega pomena stikov s tujimi raziskovalci, zato ga pogosto najdemo med udeleženci mednarodnih vakuumskih kongresov in konferenc s področja tankih plasti. Skupaj s sodelavci je objavljaj v tujih in domačih zbornikih predavanj in v več tujih revijah.

Andreja Banovca bomo močno pogrešali, ne samo njegovi najbližji svojci in prijatelji, ampak tudi njegovi sodelavci. S svojim, še ne 22 letnim delom si je pridobil bogato interdisciplinarno znanje na področju vakuumске tehnike in znanosti ter tankih plasti, ki ga uvršča v sam vrh strokovnjakov v tem delu Evrope. Kdo bi vedel, zakaj je tako hitro omahnil? Pravijo, da se prekomerne obremenitve in stresi seštevajo in teh je bilo, še posebej v zadnjih letih, nemalo. Za Andrejev značaj in mehko srce vsekakor preveč. Tako kot umetnikovo delo se tudi delo raziskovalca pravičnejše in praviloma bolje oceni šele, ko ga ni več. Pogrešali bomo Andrejev optimizem in širok nasmeš ter njegovo znanje. Tisti, ki smo ga dobro poznali in ga imeli radi, se ga bomo pogosto spominjali.

dr. Anton Zalar

# MEMBRANSKE VAKUUMSKE ČRPALKE

## MEMBRANSKI KOMPRESORJI



### NUDIMO VEČ IZVEDENK

- 220V
- 12V =
- enostopenjska 4 l/min
- dvostopenjska 8 l/min
- batna dvostopenjska 12 l/min

### PREDNOSTI:

agregat deluje brez olja kot vakuumška črpalka ali kot kompresor, ima dolgo življenjsko dobo, možen je zagon pod obremenitvijo, uporaba in vzdrževanje sta enostavna.

### UPORABA:

vakuumška filtracija, impregnacija in razplinjevanje, prijemanje elementov v elektroniki in finomehaniki, jemanje vzorcev plinov in tekočin v laboratorijih in za ekološke namene, odsesavanje spajke itd.



INŠTITUT  
ZA ELEKTRONIKO  
IN VAKUUMSKO  
TEHNIKO p. o.

TESLOVA ULICA 30, POB 59, 61111 LJUBLJANA,  
SLOVENIJA  
TELEFON: (061) 267-341, 267-377, 263-461,  
TELEFAX: (061) 263-098, TELEX: 39714 IEVT

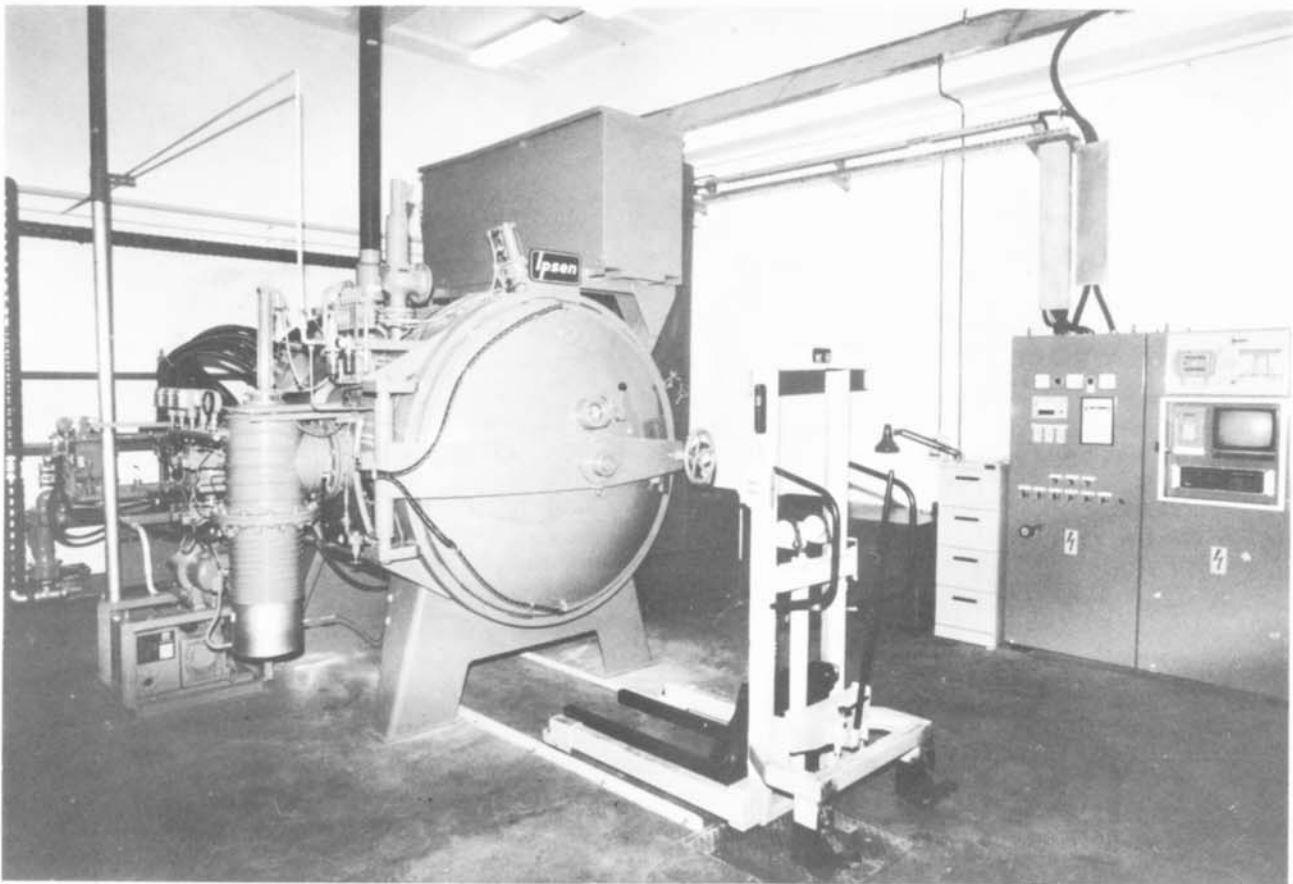
# INŠTITUT ZA KOVINSKE MATERIALE IN TEHNOLOGIJE

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

Telefon (061)151-161, 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



## VAKUUMSKA TEHNIKA

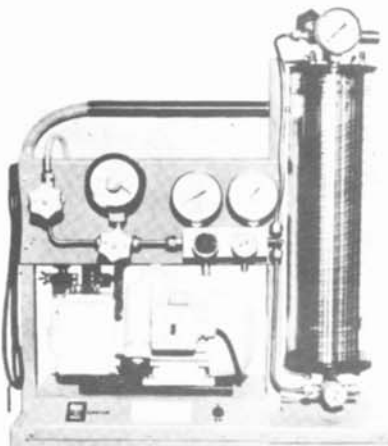
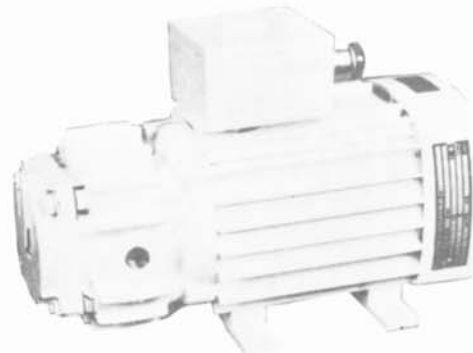
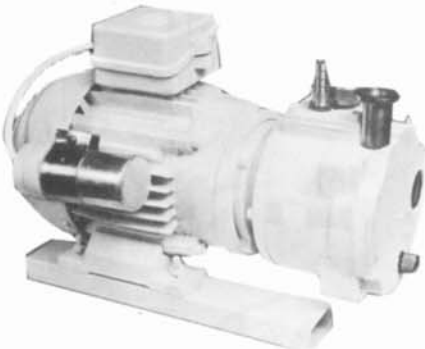
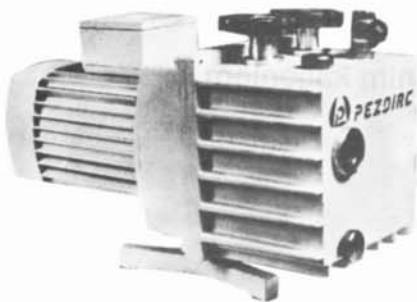
Pavle Pezdirc,  
 Kočevje 31 A, 68340 Črnomelj  
 tel. (068) 52-630

### Program proizvodnje:

- brezoljne vakuumske črpalke
- eno in dvostopenjske oljno tesnjene vakuumske črpalke
- servisni aparati za hladilno tehniko
- vakuumski merilniki in preklopniki
- izdelava visoko vakuumskih sistemov
- stroji za vakuumsko pakiranje proizvodov

### Nudimo sledeče usluge:

- leak detekcija
- popravilo vseh vrst rotacijskih črpalk





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:  $1 \times 10^{-4}$  mbar pri 80°C

viskoznost: 15 mm<sup>2</sup>/s pri 100°C

nadomešča uvozna olja kot so: N62; Edwards 15; OL P3

#### KADIFF OIL 33

– olje za difuzijske vakuumске črpalke

parni tlak:  $1 \times 10^{-8}$  mbar pri 25°C

viskoznost: 254 mm<sup>2</sup>/s pri 20°C

embalaža: olje dobavljamo v plastenkah 1, 5, 10 litrov

## VAKUUMSKI SUŠILNIKI



Vakuumski sušilniki so najprimernejši sušilniki za sušenje temperaturno občutljivih materialov, katerim se v vakuumu močno zniža temperatura vrelišča. Zaradi velike hitrosti izparevanja je čas sušenja krajši kot v navadnih sušilnikih. Razen tega pa je tudi preprečena vsakršna oksidacija sušilnega materiala.

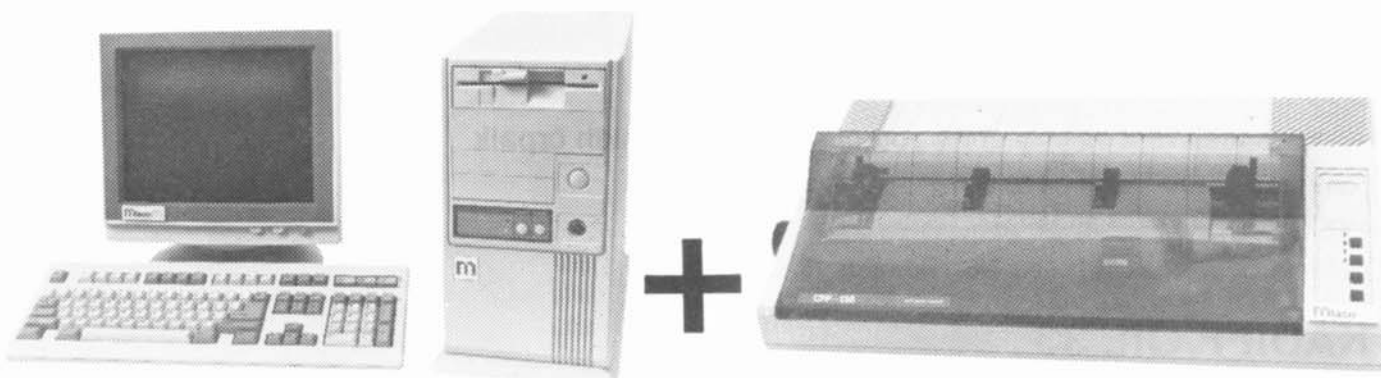
Standardna izvedba: Ohišje vakuumskega sušilnika je izdelano iz obarvane pocinkane pločevine, notranji del pa iz nerjaveče pločevine. Grelci so posebne izvedbe z zelo veliko ogrevalno površino ter trdno pritrjeni na zunanji strani notranjega nerjavečega dela sušilnika. Staklena vrata so tesnjena s silikonskim tesnilom in imajo možnost nastavitve. Police v sušilniku so izdelane iz toplotno dobro prevodnega materiala. Izvedba s posebej ogrevanimi policami ima digitalni prikaz temperature polic in temperature proizvoda. Vakuumska črpalka je integrirana v ohišju sušilnika. Regulator temperature je elektronski.

Posebne izvedbe: Na željo kupca izdelujemo tudi druge velikosti laboratorijskih vakuumskih sušilnikov, ogrevanih z različnimi mediji in opremljenimi z različnimi vrstami vakuumskih črpalk.

**mlacom**  
Mlacom d.o.o.

UGODNA  
LEASING PRODAJA  
NAJNIŽJE CENE  
PRI NAS

**MLAKAR & CO**  
AUSTRIA  
Unterbergen 82  
A-9183 UNTERBERGEN I. 808  
Tel.: 9943-4227-2333  
Fax: 9943-4227-2091



Prodaja računalnikov v kit izvedbi (po delih) in dopolnilne računalniške opreme. Za vse naprave ponujamo jamstvo, montažo in servis v Ljubljani, MLACOM, Koželjeva 6.

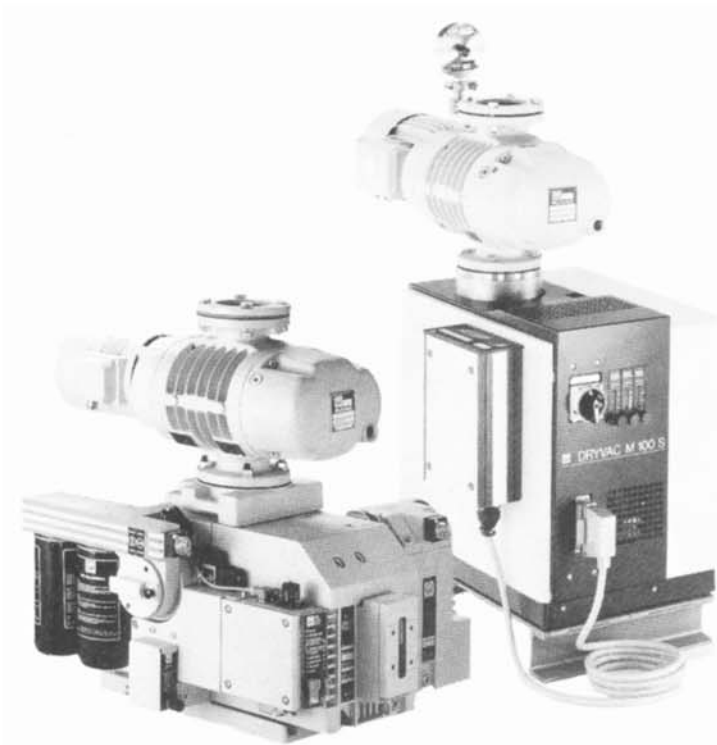
Za nasvet pri izbiri nas pokličite po telefonu ali zahtevajte ponudbo po telefaxu. Naša trgovina je v Avstriji ob glavni cesti proti Celovcu, 60 km od Ljubljane in 12 km od Ljubelja. Odprta je vsak dan od 9. do 18. ure, v soboto od 8. do 13. ure.

MLACOM vam poleg računalnika nudi bogat dopolnilni program dodatne opreme, ki jo potrebujete pri delu z računalnikom. V sodobno opremljenem servisu vam v najkrajšem času sestavimo računalnike ali odpravimo napake na računalnikih, monitorjih, napajalnikih, tiskalnikih in drugi opremi. Oglasite se pri nas vsak dan od 8. do 12. ure in od 13. do 17. ure, ter vsako prvo soboto v mesecu od 8. do 13. ure.

**mlacom**  
Mlacom d.o.o.

Koželjeva 6  
61000 Ljubljana  
Tel.: 061-114-131  
Fax: 061-114-350  
BBC: 061-114-204





## IZDELKI

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

## SERVIS

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

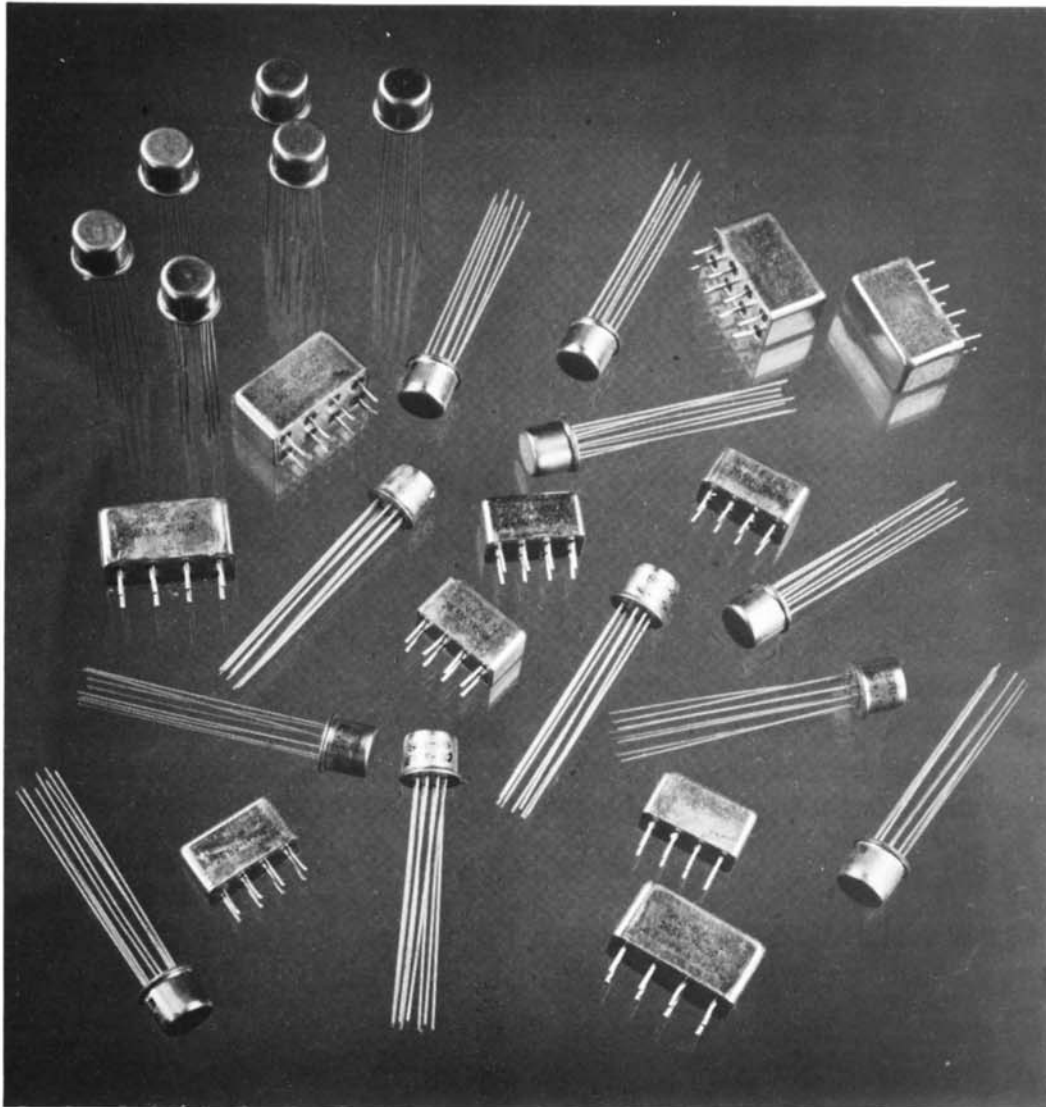


Zastopstva in servis:

# MEDIVAK

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

# MINIATURNI RELEJI



Izdelujemo več tipov hermetično tesnih miniaturnih relejev, ki ustrezajo MIL standardom. Uporaba vakuumskih tehnologij, spoji steklo-kovina in kovina-kovina omogočajo tesnost ohišja boljše od  $10^{-7}$  mbar  $l s^{-1}$  in s tem konstantne delovne pogoje na kontaktih relejev.



INŠTITUT  
ZA ELEKTRONIKO  
IN VAKUUMSKO  
TEHNIKO p. o.

TESLOVA ULICA 30, POB 59, 61111 LJUBLJANA,  
SLOVENIJA  
TELEFON: (061) 267-341, 267-377, 263-461,  
TELEFAX: (061) 263-098, TELEX: 39714 IEVT

# MIKROELEKTRONSKI LABORATORIJ NA FAKULTETI ZA ELEKTROTEHNIKO IN RAČUNALNIŠTVO

Dr. Lojze Trontelj, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, Tržaška c. 25, 61001 Ljubljana

## Laboratory of microelectronics at the Faculty of electrotechnical engineering and computer sciences

### Povzetek

V članku je opisanih nekaj novih dosežkov na področju mikroelektronike v svetovnem merilu. Predstavljen je Laboratorij za mikroelektroniko na Fakulteti za elektrotehniko in računalništvo in nakazana je njegova vloga v slovenskem prostoru. Posebej je osvetljena vloga vakuumskih tehnologij v polprevodniškem procesu.

### Abstract

New products and directions of future development in the field of microelectronics are highlighted. Laboratory of microelectronics in the Faculty of electrotechnical engineering and computer sciences is portrayed and its role in the Slovenian environment is discussed.

The utilization of vacuum technology in silicon wafer fabrication process is listed.

Področje mikroelektronike, kot eden izmed motorjev tehnološke revolucije, še vedno ne miruje. Nove ideje in z njimi povezane tehnološke spremembe znova in znova burkajo elektrotehniško srenjo. V letošnjem letu so veliki svetovni proizvajalci ponudili, poleg že utečene proizvodnje mikroelektronskih vezij, paleta mikroprocesorjev z arhitekturo zmanjšanih ukaznih naborov (RISC). Brez dvoma je tu na prvem mestu Intelovo vezje i860XP z 2,55 milijoni integriranih tranzistorjev in z 32 kbyti predpomnilnika ter s hitrostjo 100 Mflopov (s sto milijoni računskih operacij s plavajočo vejico v sekundi). Družino vezij ASIC (Application Specific Integrated Circuits) povečujejo pomnilniška vezja in logične mreže, ki jih po svojih željah lahko programirajo uporabniki. Tako zmanjšujejo čas do aplikacije povprečno za tri mesece in stroške, ki so povezani z izdelavo in s procesiranjem ene ali več fotomask.

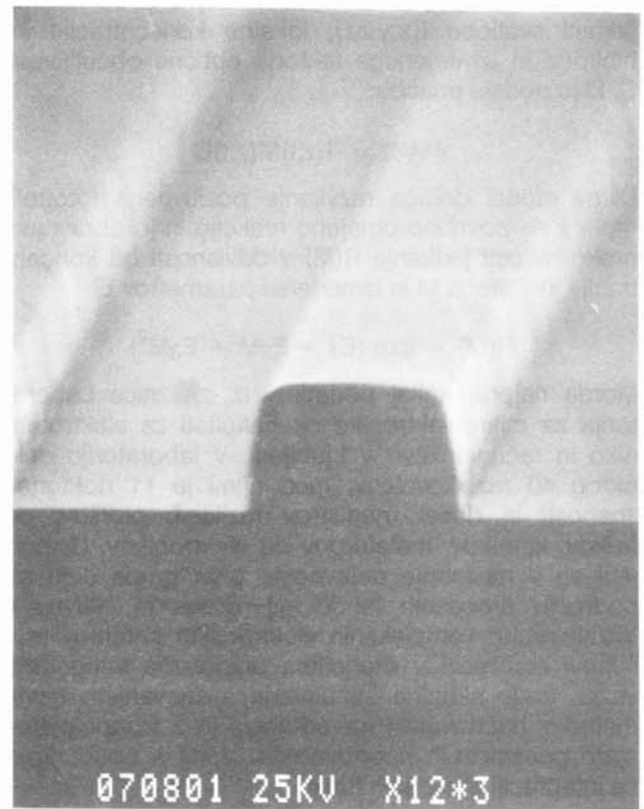
Nastopa obdobje čipov z izredno majhnimi dimenzijami gradnikov; pri teh čipih je zaradi pojava "vročih elektronov" zamenjano petvoltno napajanje s 3 volti.

Tipične napovedane 0.35  $\mu\text{m}$  in 0.15  $\mu\text{m}$  geometrije za vezja v masovni produkciji bodo še naprej zmanjševale cene čipov.

Razvoj v smeri proti nanoelektroniki se ne kaže le v kompaktnjših in kompleksnejših vezjih: v razvojnih laboratorijih preizkušajo tudi tipične realizacije na integrirani optiki, kombinirani z vezji na indijevem fosfidu za frekvence okrog 150 GHz. Na siliciju so v submikrometrskih tehnologijah izdelani unipolarni tranzistorji za centimetrsko frekvenčno področje. Izdelani so že bili kompletni mikrovalovni sprejemniki z integriranim antenskim sistemom na rezini. Več sto vatov moči pri 10 GHz obetajo oscilatorji, ki bodo integrirani na čipih

iz silicijevega karbida. Seveda ves ta napredek ni poceni. Podatek, da bo nova IBM-ova linija za masovno proizvodnjo 256 Mbitnega dinamičnega bralno pisalnega pomnilnika v geometriji 0.35  $\mu\text{m}$  stala 750 milijonov dolarjev, dovolj zgovorno govori o tem. Dokončana naj bi bila v 1996. letu. Pri gradnji sodelujeta Motorola in Siemens.

Hitrost napredka mikroelektronskih tehnologij v glavnem diktirata dva postopka v fotolitografskem koraku: prvi je način osvetljevanja in razvijanja fotopolimera na rezini, drugi pa selektivno jedkanje posameznih plasti. Podrobnejši pogled na presek skozi strukturo na sliki 1 pokaže, da ta postopka usodno vplivata na geometrijo gotovih gradnikov integriranega vezja in s tem na lastnosti vezja.



Slika 1. Izgled 2  $\mu\text{m}$  široke linije po jedkanju; posnetek smo naredili z vrstičnim elektronskim mikroskopom.

Za ilustracijo navedimo le prvi model:

Za izdelavo mikroelektronskih vezij je pomemben uspešen prenos na računalniku načrtanih submikronskih geometrij v fizično strukturo na rezini. V večini mikroelektronskih tovarn danes to preslikavo opravi koračni naravnalnik (stepper), s pomočjo katerega os-

vetlimo pozitivni fotopolimer. Ta proces optičnega prenosa omejujejo uklon in interferenčni pojavi v tankih plasteh na silicijevi rezini, zaradi katerih je lokalna osvetljenost fotopolimera neenakomerna in se med osvetljevanjem spreminja.

Odstopanja resnične strukture od načrtovane smejo biti le minimalna. To dosežemo s kontroliranim vodenjem procesa, ki je optimiziran s pomočjo procesnih meritev in računalniške simulacije. Fotopolimer, v katerem kot inhibitor razvijanja v alkalni vodni raztopini nastopa diazonaftokvinonski izomer, se ob reakciji, ki jo sproži ultravijolična svetloba, spremeni v molekulo s kislinsko skupino. Lokalna koncentracija inhibitorja, ki jo označujemo z  $M(x,y,z,t)$ , je ena pri neosvetljenem in nič pri povsem osvetljenem fotopolimeru. Takšen model (ki ga je predlagal Dill) določa absorpcijsko konstanto fotopolimera  $\alpha$ , definirano kot

$$\alpha = A \cdot M(z,t) + B$$

kjer sta  $A$  na osvetlitev odvisen in  $B$  na osvetlitev neodvisen faktor.

Trenutna hitrost spreminjanja koncentracije na določenem mestu je po tem modelu odvisna od lokalne jakosti svetlobe  $I(x,y,z,t)$ , lokalne koncentracije inhibitorja in izmerjenega faktorja optične občutljivosti  $C$ , ki jo podaja enačba:

$$\delta M/\delta t = -I(z,t)M(z,t)C$$

Dillov model določa razvijanje pozitivnega fotopolimera z na površino omejeno reakcijo in jo obravnava preko hitrosti jedkanja  $R(M)$  v odvisnosti od koncentracije inhibitorja  $M$  in izmerjenih parametrov  $E$ :

$$R(M) = \exp(E_1 + E_2M + E_3M^2)$$

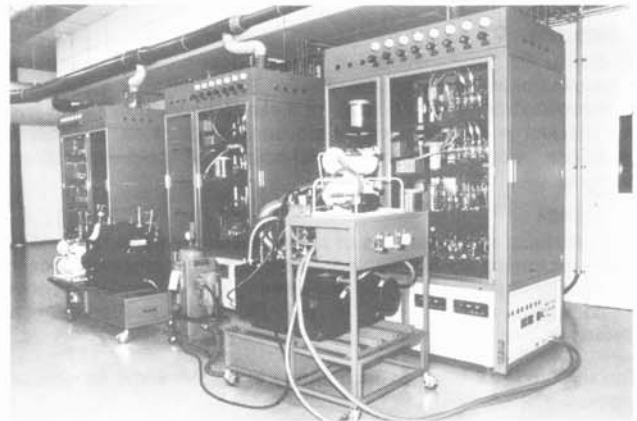
Morda najprej nekaj podatkov iz izkaznice Laboratorija za mikroelektroniko na Fakulteti za elektrotehniko in računalništvo v Ljubljani. V laboratoriju dela okrog 40 raziskovalcev, med njimi je 11 doktorjev znanosti in devet magistrorov različnih profilov, od fizikov, kemikov, metalurgov do elektronikov. Usmerjeni so v naslednje dejavnosti: prva grupa dela na področju procesnih tehnologij; druga je aktivna v "dizajniranju" kompleksnih elektronskih sistemov in v njihovi realizaciji v monolitna unipolarna integrirana vezja; tretja skupina se ukvarja s snovanjem novih metod v načrtovalski metodologiji in z izpopolnjevanjem posameznih načrtovalskih orodij s poudarkom na integraciji analognih funkcij.

Med uspešno zaključene projekte v zadnjem obdobju sodijo vezja za telefonski aparat nove generacije, vezja za avtomobilsko elektroniko, vezja s "pametnimi" senzorji, knjižnica analognih celic, programska oprema za avtomatsko sintezo in geometrijo operacijskih ojačevalnikov in filtrov ter nekateri procesni koraki za submikronsko tehnologijo BICMOS.

Skupina je v zadnjih letih objavila preko 200 prispevkov. Na novo zgrajeni laboratorij ima 400 m<sup>2</sup> čistega prostora razreda 10. Še dokaj moderna tehnološka

oprema omogoča izdelavo prototipnih serij unipolarnih integriranih vezij z najmanjšimi liki z dimenzijami pod enim mikrometrom. Načrtovalski del laboratorija je opremljen s petnajstimi delovnimi postajami. V laboratoriju je tudi vsa oprema za izdelavo, kontrolo in korekcijo optičnih fotomask in elektronska oprema za verifikacijo delovanja načrtanih in izdelanih vezij.

Na slikah 2, 3 in 4 vidimo dele tehnološkega in načrtovalskega laboratorija. Slika 5 prikazuje vezje za mobilni telefonski aparat.



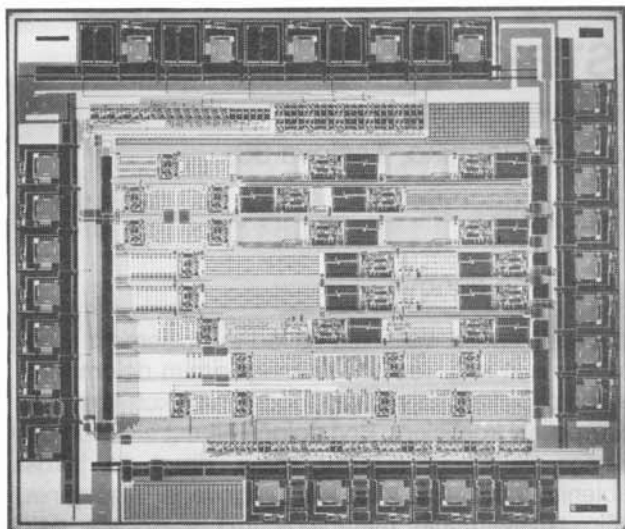
Slika 2. Sistem za depozicijo tankih plasti pri znižanem tlaku.



Slika 3. Naprševalnik (Varian 3180).



Slika 4. Pogled v načrtovalski laboratorij.



Slika 5. Vezje za mobilni telefonski aparat.

Laboratorij torej lahko avtonomno ponudi izdelana optimizirana integrirana vezja po specifičnih željah naročnika in to predvsem na področju kombiniranih analognih in digitalnih funkcij na enem čipu. Vezja so primerna za periferijo elektronskih sistemov v različnih segmentih uporabe.

Vendar tovrstna, četudi kompletna ponudba dejavnosti, še ni zadosten pogoj za obstoj relativno drage tehnološke instalacije.

Kakšna je pri tem burnem razvoju lahko vloga našega majhnega laboratorija, ki deluje na področju že preko 20 let?

V laboratoriju smo mnenja, da je naša vloga predvsem v šolanju študentov in razvojnih inženirjev v naši elektronski industriji z zapletenimi mikroelektronskimi koraki, ki so potrebni za nastanek integriranega vezja. Znanje o tem, kaj je možno in kaj ne, lahko nastaja le v skupnem delu s specialisti, ki pokrivajo celotno področje od simulacije vezja preko geometrijske zasnove fotomask in procesiranja do razvoja testne procedure za izdelano vezje. Le tako lahko vplivamo na nadomeščanje pri nas zelo udomačene "Lego" metode, ki s standardnimi vezji gradi elektronske sisteme. Banalno rečeno, tako degradiramo njihov razvoj le na načrtovanje tiskanega vezja in taka rešitev seveda ne more biti niti konkurenčna niti optimalna. Pripelje nujno do višje cene ob omejeni funkcionalnosti sistemov. Ne nazadnje je tudi zaščita industrijske lastnine tako

zgrajenega "Lego" sistema vprašljiva. Boj proti tovrstni mentaliteti je torej glavni vzrok našega trmastega vztrajanja na zahtevnem področju.

Za bralce Vakuumista bo morda zanimiva tudi informacija, kje vse v mikroelektronskem laboratoriju uporabljamo vakuumske tehnologije.

V mikroelektronskih tehnologijah uporabljamo vakuum na treh operacijskih nivojih: kot "delovni medij" pri upravljanju s silicijevimi rezinami (2 kPa), v napravah za nanašanje in jedkanje v plazmi (nizki vakuum med 2 in 0,2 kPa) ter v visokovakuumskih sistemih, kot so: ionski implanter, elektronski mikroskop, naprave za napajanje in naprševanje itd. ( $10^{-4}$  Pa).

V novem laboratoriju za mikroelektroniko na Fakulteti za elektrotehniko in računalništvo pripravljamo vakuum na prvem nivoju s centralno rotacijsko vakuumsko črpalko visoke zmogljivosti, ki celoten razvodni sistem (cca 100m dolžine,  $\phi = 50$ mm) izčrpa do delovnega vakuuma v manj kot 60s in mora delovati neprekinjeno. Tako velika črpalna hitrost je potrebna, ker različne naprave, ki ta vakuum uporabljajo, navadno delujejo istočasno.

V napravah za nanašanje in jedkanje navadno zagotavljajo ustrezen delovni tlak večstopenjski mehanski črpalni sistemi, sestavljeni iz Rootsve črpalke s spremenljivo črpalno hitrostjo in navadne rotacijske predčrpalke. Ker so delovni plini pri teh procesih korozivni in/ali puščajo ablativne ostanke, so sistemi opremljeni s filtrirnimi napravami za stalno čiščenje olja in uporabljajo inertna sintetična halogenirana olja (na primer tipa Fomblin). V laboratoriju imamo takih črpalnih sistemov sedem in predstavljajo zahteven vzdrževalni problem.

Visokovakuumski sistemi v laboratoriju so sestavljeni iz standardnih difuzijskih in krio črpalk z dvostopenjskimi rotacijskimi predčrpalkami. Glede na to, da so nekatere naprave moderne konstrukcije, so njihove delovne komore neprestano pod visokim vakuumom, rezine pa vanje vstavljamo skozi predkomore z majhnimi prostorninami; to opazno zmanjšuje potrebne črpalne hitrosti in s tem tudi velikost črpalnih sistemov.

Ne nazadnje lahko omenimo tudi centralni vakuumski sesalni sistem za čiščenje prostorov, pri katerem so v čistih prostorih samo sesalni priključki, agregat pa je postavljen v strojnici.

# TANKE PLASTI V SODOBNIH ZASTEKLITVAH

**Mag. Vinko Nemanič**, Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, 61111 Ljubljana

## Thin film coatings for modern windows

### Povzetek

V članku so predstavljene nekatere tanke plasti, ki so zaradi posebnih lastnosti zanimive za nanašanje na velike površine pri zasteklitvah. Na kratko so predstavljene spektralno selektivne prepustne plasti, ki so se že širše uveljavile, kotno selektivne ter elektrokromne, ki so danes še v fazi raziskav.

### Abstract

In this paper, some coatings on glass with interesting properties, suitable also for large scale glazing, are reviewed. Short discussion is given for spectrally selective coatings already widely applied, as well as angular selective coatings and electrochromic layers, intensively investigated in R&D labs.

## 1. Uvod

Fizikalne osnove sevanja črnega telesa so večini naših bralcev poznane. Celoten izsev telesa s temperaturo  $T$  določa Stefanov zakon, linearno zvezo med temperaturo in lego vrha spektra podaja Wienov zakon, oba pa lahko izpeljemo iz kasneje določenega Planckovega zakona, ki podaja spekter sevanja črnega telesa. Sonce s temperaturo 6000 K je črno telo z maksimalnim izsevom pri valovni dolžini približno  $0,5 \mu\text{m}$ . Oddaljenost Zemlje od Sonca določa t.i. solarno konstanto, ki meri  $1360 \text{ W/m}^2$ . Bolj ali manj prepustna atmosfera ta delež sicer precej neenakomerno zniža za tretjino in več. Telesa, ogreta na sobno temperaturo, sevajo pri 300 K v območju valovnih dolžin  $10 \mu\text{m}$ , vendar lahko njihov spekter močno odstopa od spektra črnega telesa, različno od snovi do snovi. V nadaljevanju bo največ govora o steklu, ki se v območju  $10 \mu\text{m}$  vede skoraj tako, kot črno telo. S tankimi plastmi izbranih snovi, t.i. spektralno selektivnimi prepustnimi plastmi, mu lahko emisivnost v tem delu IR (infra rdečega spektra) bistveno zmanjšamo, a hkrati ohranimo prepustnost za vidno svetlobo. Včasih imenujemo te plasti toplotna zrcala (heat mirrors).

Za stekla za okenske ali izložbene zasteklitve so zanimive tudi nekatere tanke plasti, ki so se sprva uveljavile v elektronskih elektrokromnih (EC) prikazalnikih (displayih). Elektrokromne tanke plasti omogočajo spremembo optične prepustnosti v odvisnosti od jakosti električnega polja, kar je zanimivo za samodejno uravnavanje osvetljenosti.

V prvi fazi raziskav so tudi kotno selektivne tanke plasti, ki zaradi orientacije tankih, stebričasto zraslih kristalov, prepuščajo svetlobo le pod določenim kotom. Takšna zasteklitev bi omogočala prepustnost le v določenem letnem ali dnevnem času, ali le za določene kote gledanja.

## 2. Fizikalne osnove

Optične lastnosti materiala navadno opišemo z vrednostima  $n$  in  $k$ , tj. realnim in imaginarnim delom lomnega količnika, največkrat podanima kot lomni in absorpcijski koeficient. Prvi določa hitrost elektromagnetnega valovanja (EM) v snovi, drugi pa jakost slabljenja valovanja v smeri njegovega razširjanja. Večina dielektričnih materialov ima v vidnem delu spektra vrednost za  $n$  med 1,5 in 2,5, vrednost  $k$  pa je praktično zanemarljiva. Pri kovinah definiranje  $n$  nima pravega smisla, saj je vdorna globina EM valovanja v primerjavi z valovno dolžino tako majhna, da se večina valovanja s polirane površine odbije. Razlog za tako različno vedenje so različne vrste elektronskih vezi v snovi. EM valovanje v vidnem delu ne tvori notranjih vzbujenih stanj v dielektrikih s prevladajočo kovalentno vezjo, niti ne prodre v globino kovinske vezi prevodnih elektronov. Vedenje snovi ob vpadu EM valovanja v daljnem IR področju (med 5 in  $15 \mu\text{m}$ ) pa zahteva poznavanje možnih interakcij, ki so značilne za določeno snov. EM valovanje lahko vzbuja nihanje kristalne mreže z eno ali več fononskimi procesi različnih polarizacij /1/. Posebno pri polprevodnikih sta pomembna še koncentracija in tip dopanta. Opis vedenja snovi je še vedno možen z  $n$  in  $k$ , ki sta podana v širšem delu spektra, vendar za praktične namene navadno podajajo lastnost snovi dane debeline kar z reflektivnostjo (odbojnostjo) ( $R$ ) oz. transmisijo (prepustnostjo) ( $T$ ), iz česar se da ugotoviti absorpcija ( $A$ ):  $R + T + A = 1$

## 3. Spektralno selektivne prepustne plasti

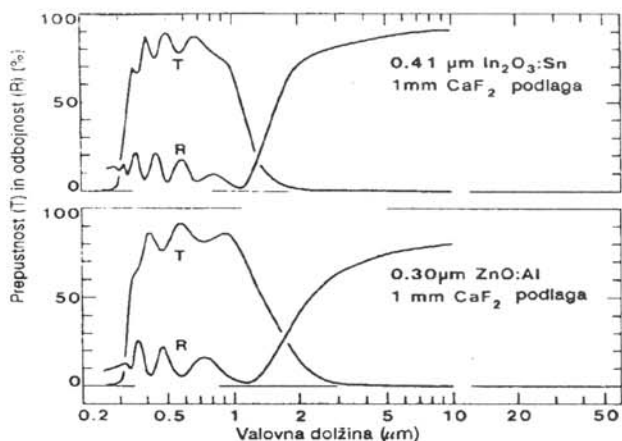
Med vsemi vrstami nanosov na steklu zaslužijo te plasti največjo pozornost, saj s svojim učinkom zmanjšajo toplotno prevodnost dvojnega izolacijskega stekla (termopan) za polovico in več. Deleži konvekcije, prevodnosti in sevanja so pri termopan zasteklitvi, vgrajeni v okno, lahko na račun robnih pojavov dokaj različni. Pri velikih ploskvah ostaneta predvsem sevanje in konvekcija, in sicer v razmerju 2:1. Toplotno prevodnost lahko z značilne vrednosti cca  $3 \text{ W/m}^2\text{K}$  zmanjšamo na dva načina:

- z dodajanjem dodatnega stekla, s čimer pridemo do vrednosti  $2,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Zmanjšali smo predvsem konvekcijo, vplivali le delno na sevalne izgube, pridali pa pribl.  $10 \text{ kg/m}^2$ , kar pomeni dodaten strošek za okvir, podboje ipd.
- z uporabo stekla, ki ima nanoseno IR odbojno (spektralno selektivno) plast. Z danes že komercialno razširjenimi plastmi zmanjšamo toplotno prevodnost termopana na vrednosti pod  $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,

pri tem izgubimo le 20-30% optične prepustnosti, masa in preglednost ostaneta nespremenjena. Cena obloge je nižja od dodatnega stekla, prednosti pa očitne.

Razširjena sta dva tipa teh nanosov: polprevodne in tanke kovinske plasti.

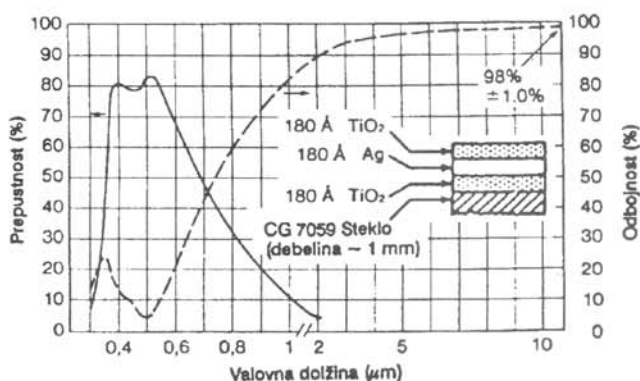
Prvi tip je verjetno poznan bralcem bolj po spremljajoči lastnosti, to je plastni električni prevodnosti, ki pri debelini nekaj 100 nm in optični prepustnosti 90% dosega danes vrednosti nekaj ohmov. Uporabljajo ga kot čelno ploskev pri raznih elektronskih ploščatih prikazalnikih (LCD, EL, plazma). V elektronski industriji največ uporabljajo t.i. ITO (indium-tin-oxide,  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ ) plasti zaradi dobrih optičnih lastnosti kot tudi zaradi enostavne fotolitografije in jedkanja nepopolno oksidirane plasti, vendar so kot selektivni nanos predrage. Boljše mehanske lastnosti ima cenejši kositrov oksid  $\text{SnO}_2:\text{F}$ , ki ga lahko nanašamo po več postopkih. Poleg vakuumskega naparevanja in naprševanja iz primerne tarče sta se uveljavila cenejša kemijska postopka: nanos iz parne faze (CVD) in pršenje na ogreto podlago (piroliza). Pri obeh metodah skušajo poceniti plasti s tem, da jih nanašajo že med izdelavo stekla (pri ohlajanju) po "float" postopku. Vhodne kemikalije in končni produkti so korozivni in močno strupeni, kar je pri obeh postopkih omejitvena postavka pri nižanju stroškov. Podobne omejitve se pojavljajo pri drugih polprevodnih oksidih, kot so:  $\text{ZnO}:\text{Al}$ ,  $\text{Cd}_2\text{SnO}_4$  in  $\text{Tl}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ . Značilne vrednosti prepustnosti in odbojnosti dveh selektivnih plasti so podane na sliki 1.



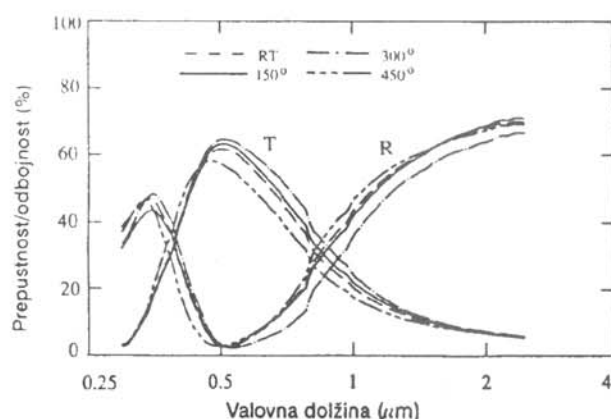
Slika 1: Prepustnost in odbojnost dveh tipov polprevodnih plasti pri pravokotnem vpadu valovanja [8].

Tanke plasti plemenitih kovin se uporabljajo navadno v kombinaciji s plastmi kovinskega oksida. Izjemna odbojnost srebra v IR področju (preko 99%) je poznana iz klasičnih steklenih dewar posod, le da je tam dopustna razmeroma debela, za vidno svetlobo neprozorna plast. Kot selektivni nanos mora biti debelina optimizirana na sprejemljivo prepustnost v vidnem

in odbojnost v IR spektru. Dodana plast dielektrika z velikim lomnim količnikom na obeh straneh omogoči nastop konstruktivne interference, s čimer se celotna prepustnost za vidno svetlobo močno poveča, IR odbojnost pa obdrži. Zelo tanke kovinske plasti, nanesene na steklo, so občutljive na mehanske vplive in povišano temperaturo, rade tvorijo nezvezno plast (koalescenca), zato je plast dielektrika nenadomestljiva tudi v tej funkciji. Poleg srebra uporabljajo še baker in zlato, kot dielektrik pa v glavnem  $\text{TiO}_2$  in  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ . Značilne spektralne karakteristike nanosa  $\text{TiO}_2/\text{Ag}/\text{TiO}_2$  so podane na sliki 2. S spreminjanjem debeline dielektrikov lahko poudarimo odboj za posamezno barvo ali bližnji IR del spektra, kar je dobrodošlo v krajih z zelo toplo klimo. Sončni spekter ima v delu med 0,25 in  $3 \mu\text{m}$  97% energije, od tega med 0,7 in  $3 \mu\text{m}$  50% [4].



Slika 2: Prepustnost in odbojnost večplastne strukture  $\text{TiO}_2/\text{Ag}/\text{TiO}_2$  [2].



Slika 3: Spektralne karakteristike strukture  $\text{TiO}_2/\text{TiN}/\text{TiO}_2$ , napršene pri različnih temperaturah z iste tarče [3].

Plasti tega tipa vzdržijo vgradnjo v izolacijsko steklo in trajno uporabo v suhi atmosferi. Za kraje s hladno klimo je IR odbojna plast nanesena na zunanji strani notranjega stekla, v krajih s toplo pa na notranji strani zunanjega stekla. Naštete plasti nanašajo v vakuumu

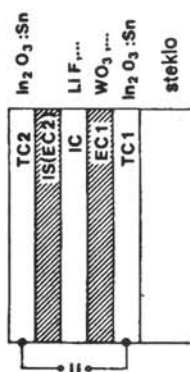
z eno od standardnih vakuumskih metod, glavni kriterij je cenenost in možnost uporabe na velikih ploskvah. Ekonomičnost prinašajo bodisi saržne naprave s kapaciteto več deset kvadratnih metrov stekla ali kontinuirne naprave širine nekaj metrov /5/.

Namesto zlata, vendar s povsem enakim videzom, se uveljavljajo plasti TiN, primerne debeline, ravno tako na obeh straneh stekla, obdanega z interferenčnimi plastema iz TiO<sub>2</sub>. Obetajo cenenost nanosov, saj se vse tri plasti lahko napršujejo iz iste kovinske tarče /3/ z uporabo O<sub>2</sub> in N<sub>2</sub> kot reaktivnih plinov /6/. Značilne vrednosti prepustnosti in odbojnosti sta podani na sliki 3.

#### 4. Tanke plasti z nadzorovano optično prepustnostjo

Učinek delno temnih stekel, ki se uporabljajo v zasteklitvi stavb in avtomobilov, je lahko v slabih vidnih razmerah negativen. Želja po možnosti uravnavanja prepustnosti stekla je pripeljala do t.i. fotokromnih stekel, ki so zaradi visoke cene prišla le do uporabe pri steklih za očala. Odziv je počasen in odvisen le od osvetljenosti.

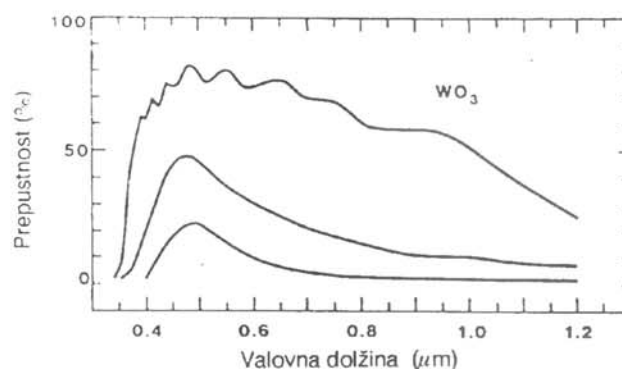
Elektrokromna stekla pa je ime za taka stekla, kjer količino prepuščene svetlobe uravnavamo z jakostjo električnega polja primerno zgrajene tankoplastne strukture. Odziv je sprejemljivo hiter, plasti pa so mnogo manj občutljive od podobnih principov (npr. pri tekočih kristalih LC). Podobno kot polprevodne selektivne plasti so tudi elektrokromne sprva razvili za prikazalnike, primerne za prikaz statičnih in počasi spreminjajočih se informacij. Poglejmo si strukturo na sliki 4 in zelo poenostavljen princip delovanja /7/.



Slika 4: Petplastna elektrokromna (EC) struktura na steklu. Med prozornima elektrodama TC1 in TC2 si sledijo: aktivna EC plast, ionska prevodna plast z gibljivim litijevim ionom (IC) in plast ionskega hranilnika (IS), lahko tudi primerno pripravljena EC plast /8/.

Med dvema prozornima elektrodama, ki sta sami po sebi že spektralno selektivni, npr. ITO, so nanesele še tri plasti: elektrokromna, ionsko prevodna in ionsko zbiralna. Elektrokromna (EC) snov je navadno amorfni

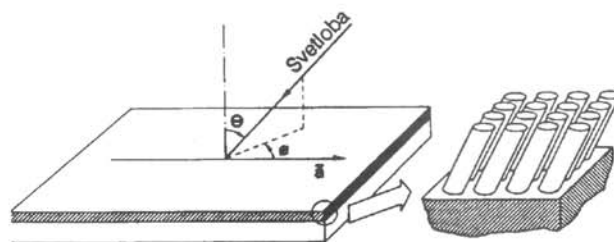
volframov oksid, ki mu električno spremenimo kemijsko stanje z migracijo vodikovega ali kovinskega iona skozi plast ionskega prevodnika in zbiralnika, pri čemer se optična prepustnost EC plasti spremeni. Sam proces je povraten in energijsko varčen. Ključni parametri so okolnosti pri nanosu aktivne plasti, navadno v plazmi ali kemijsko iz parne faze (CVD). Plast ionskega prevodnika in hranilnika lahko nadomestijo s plastjo trdnega elektrolita, a ima zato EC struktura počasnejši odziv. Ionsko aktivne plasti nanašajo navadno v plazmi, gibljivi kovinski ion je litijev v kovinskem oksidu ali v polimerni plasti. Mnogi fenomeni delovanja EC plasti so še neraziskani, omejitvev pri razširitvi v vsakdanjo rabo bo še naprej cena, ki je še previsoka. Optično prepustnost plasti lahko spreminjamo od 10 do 80% (slika 5).



Slika 5: Prepustnost EC strukture, prikazane na sliki 4, pri različnih stanjih oksidacije aktivne -WO<sub>3</sub> plasti. Večina ostale svetlobe se absorbira v plasti /8/.

#### 5. Kotno selektivne prepustne plasti

Odvisnost količine prepuščene svetlobe od kota srečujemo pri mnogih tankih, posebno večplastnih strukturah, ki imajo največjo prepustnost pri pravokotnem vpadnem kotu svetlobe. Raziskave v zadnjih letih so nakazale možnost priprave posevno raščenih tankih plasti, s poudarjeno prepustnostjo pri izbranem kotu, slika 6. S posebno tehniko naparevanja kroma na steklo so dosegli razmerje prepustnosti npr. pri kotu 60 stopinj, proti prepustnosti pri kotu - 60 stopinj 1:1,6. Do široke uporabe takih plasti pa je še dolga



Slika 6: Princip delovanja kotno selektivne prepustne plasti /8/.



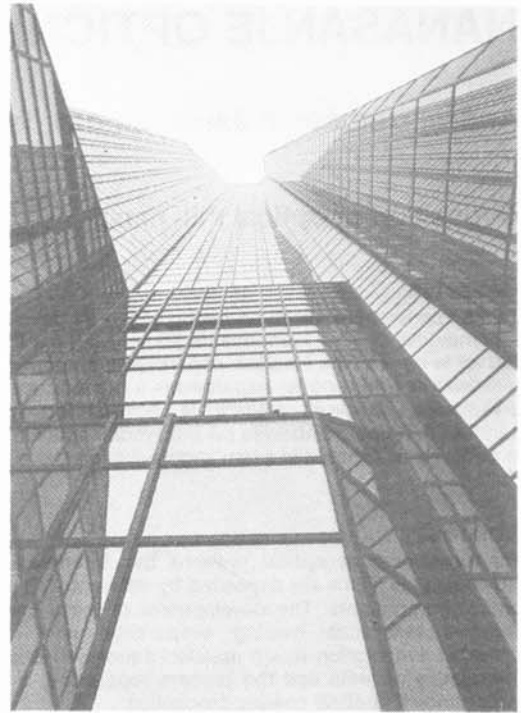
pot. Kaže se že prva možna uporaba in sicer pri sončnih zaščitnih steklih za odstranitev odvečne svetlobe, ko je sonce visoko na nebu, ter pri avtomobilskih vetrobranskih in zadnjih steklih, da vozniku omogočajo dober pregled nad cestiščem, preprečujejo pa segrevanje notranjosti.

## 6. Sklep

Po pomenu so med tankoplastnimi nanosi na steklu velikih razsežnosti, predvsem zaradi energijsko varčevalnega učinka, spektralno selektivne prepustne plasti nedvomno na prvem mestu. V razvitejših državah z mrzlo ali vročo klimo prodajo nad polovico oken s stekli z eno od opisanih IR odbojnih plasti, delež pa še narašča (Slika 7) /8/. Vakuumski postopki nanašanja zaenkrat prevladujejo. Elektrokromne in kotno selektivne plasti so v fazi raziskav in razvoja, njihovo razširitev napovedujejo za prihodnje desetletje.

## 7. Literatura

- /1/ M.E. Thomas, Optical properties of IR materials, Thin Solid Films, 206 (1991), 241-247.
- /2/ H.K. Pulker, Coatings on Glass, Elsevier, 1984.
- /3/ M. Georgson, A. Roos, C.G. Ribbing, The influence of preparation condition on the optical properties of Titanium nitride based solar control films, J. Vac. Sci. Technol., A9 (4), Jul/Aug. 1991.
- /4/ RCA-Electro Optics Handbook, Technical Series EOH-11, 1974.
- /5/ G. Kienel, Architekturglas mit Sonnenschutz- oder Wärmedämmschichten Technische Rundschau, 37, 1987.
- /6/ P. Panjan, A. Cvelbar, Reaktivno naprševanje, Vakuumist 26 (1), 1992.



Slika 7. Eden bistvenih elementov za energijsko varčne zgradbe so okna s selektivnimi odbojnimi plastmi /9/.

- /7/ F.G.K. Baucke, Electrochromic applications, Materials, Science and Engineering, B10 (1991), 285-292.
- /8/ C.G. Grandquist, Window coatings for the future, Thin Solid Films, 193/194 (1990) 730-741.
- /9/ Prospekt firme Leybold.

---

## Obvestilo

Leto se že preveša v drugo polovico, a je kljub temu še veliko članov našega društva, ki niso plačali članarine za leto 1992. Vse ki niste plačali članarine zato ponovno prosimo, da to storite čimprej. Za samo 300 SLT članarine boste prejeli štiri vsebinsko bogate številke Vakuumista, deležni pa boste tudi nekaterih ugodnosti, ki vam jih zagotavlja Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije (znižana kotizacija na mednarodnih vakuumskih konferencah, možnost udeležbe na strokovnih ekskurzijah, ...). Denar nakažite na žiro račun DVT Slovenije: Ljubljanska banka, 50101-678-52240), lahko pa vplačate tudi na sedežu društva pri blagajničarki Darji Rozman.

---

# NANAŠANJE OPTIČNIH TANKIH PLASTI

Andrej Demšar in Janez Lindav, Iskra Elektrooptika, Stegne 7, 61210 Ljubljana

## Deposition of optical thin films

### Povzetek

Tanke interferenčne plasti so nepogrešljive za delovanje optičnih sistemov. Na optične komponente jih nanašamo s PVD postopki. Razvoj le-teh zajema klasično napajanje z uporovnim gretjem, reaktivno in aktivirano ter napajanje s pomočjo ionov in ionsko prekrivanje. Kakovost prekritij je odvisna od izbire načina nanašanja. Najpomembnejše pri proizvodnji optičnih tankih plasti je ponovljivost procesa in s tem zagotavljanje kakovosti.

### Abstract

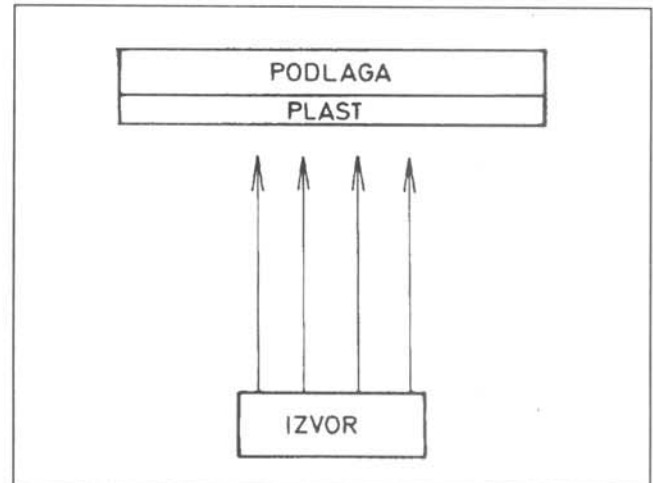
For functioning of optical systems thin interference films are indispensable. Films are deposited by different PVD processes on optical components. The development of these has gone from classical resistance heating evaporation and reactive and activated evaporation to ion assisted deposition and ion plating. The quality of films and the process repetibility, is of the most importance for optical coating production.

## 1 UVOD

Tanke plasti, ki jih uporabljamo v optiki /1/, morajo biti čim bolj presojne (ne smejo imeti izgub - absorpcije, sipanja) in morajo imeti dobro definiran lomni količnik, ki se s časom ne sme spreminjati. Poleg dobrih optičnih lastnosti morajo imeti optične tanke plasti dobre mehanske lastnosti (oprijemljivost na podlago, odpornost na razenje, trdoto), morajo biti neobčutljive na atmosferske vplive in časovno stabilne. Tanke plasti v optiki združujemo v večplastna prekritja. Navadno nanašamo na podlago izmenoma nizkolomni in visokolomni material. Debeline plasti so velikostnega reda valovne dolžine svetlobe, za katero želimo z interferenco dobiti ojačanje ali oslabitev valovanja. Na ta način pridemo do zrcalnih in antirefleksnih prevlek, do delilnikov svetlobe in interferenčnih filtrov /2/.

Za nanašanje optičnih tankih plasti uporabljamo PVD postopke (physical vapour deposition) /3/, ki temeljijo na kondenzaciji par materiala na trdni podlagi. Proces PVD je fizikalen, pridružijo pa se mu lahko kemične reakcije. Delimo ga na tri dele (slika 1):

1. Nastanek par materiala, ki ga želimo nanesti na podlago, z izparevanjem, sublimacijo ali izbijanjem z ioni.
2. Prenos par materiala skozi reducirano atmosfero od izvira do podlage. Dele materiala lahko na poti do podlage aktiviramo ali ioniziramo in jih z električnim poljem pospešimo.
3. Pare materiala se kondenzirajo na podlagi. Plast nastane in začne rasti s heterogeno nukleacijo. Rastočo plast lahko obstreljujemo z visokoenergijskimi delci in (ali) z molekulami reaktivnih oz. nereaktivnih plinov.



Slika 1. Shema PVD procesa - izparevanje materiala in prenos par do podlage, kjer pare kondenzirajo v tanko plast

Razlikujemo tri osnovne načine nanašanja optičnih tankih plasti:

1. napajanje
2. ionsko prekrivanje
3. naprševanje

Vsi ti načini se odvijajo v vakuumu. Pri napajanju je tlak med  $10^{-5}$  do  $10^{-6}$  mbar. Kljub temu moramo biti zelo pozorni na preostale pline, ki vplivajo na sestavo in s tem lastnosti plasti. Energije atomov materiala za nanašanje so pri napajanju velikostnega reda 0.1 eV, pri naprševanju med 1 eV in 10 eV, pri ionskem prekrivanju pa večje od 10 eV. Te različne energije bistveno vplivajo na lastnosti plasti, ki so karakteristične za posamezne načine nanašanja. Temperatura podlage, na katero nanašamo plasti, je lahko različna: od temperature tekočega dušika pa do nekaj sto stopinj C. Podlage so zato iz različnih materialov (steklo, plastika, kovina). Paziti moramo le, da je oprijemljivost nanje ustrezna.

Za nanašanje optičnih tankih plasti najbolj pogosto uporabljamo napajanje. Naprševanje je zaradi daljših časov nanašanja za proizvodnjo prekritij, ki so lahko sestavljena iz 50 in več plasti, neprimerno. Materiali, ki jih napajamo, so kovine in kovinski oksidi, fluoridi, sulfidi, selenidi ter teluridi. Kovinski oksidi so najzanimivejši, ker tvorijo stabilne, trde in popolnoma presojne (brez absorpcije) plasti. Take plasti združujemo v večplastne interferenčne antirefleksne prevleke, zrcala, delilnike svetlobe ter filtre.

Optične in mehanske lastnosti tankih plasti /4/, ki jih nanesemo na stekleno podlago z napajanjem oz. kondenzacijo v vakuumu, so v splošnem slabše od

lastnosti masivnega materiala. Plasti imajo neurejeno polikristalno, polimerno ali amorfno strukturo, hrapavo površino in bolj ali manj razvito stebričasto oz. spužvasto mikrostrukturo. Njihova oprijemljivost na podlago je dostikrat slaba, prav tako imajo majhno trdoto in odpornost na razenje. Lomni količnik plasti je nižji od vrednosti za masivni material. Razlog za nižji lomni količnik so prazni prostori (votlinice) v plasti, ki so napolnjene z vodo. S spreminjanjem atmosfere se vodna para in ostali plini absorbirajo ali desorbirajo. Posledica tega je spreminjanje lomnega količnika in fizikalnih lastnosti plasti. Za delno odpravo teh pomanjkljivosti, in da bi plast imela lastnosti čim bolj podobne masivnemu materialu, je bilo razvitih več metod nanašanja optičnih tankih plasti. V nadaljevanju si bomo nekatere od njih podrobneje ogledali.

## 2 REAKTIVNO NAPAREVANJE

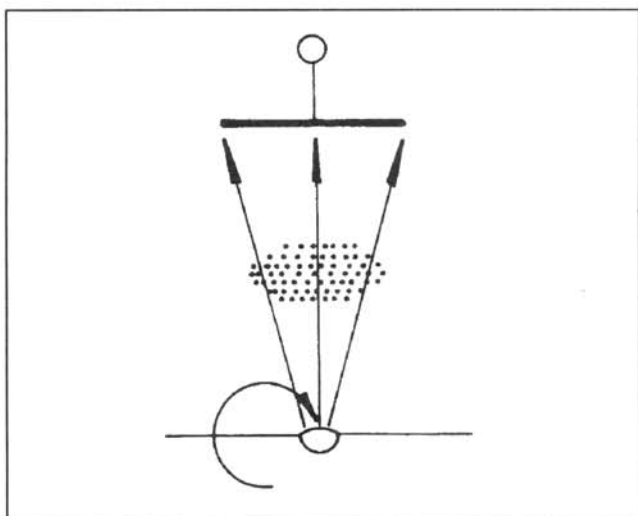
Največji problem pri naparevanju kovinskih oksidov /5/ je izguba kisika. Pomanjkanje kisika (nestehiometrična plast) povzroči optično absorpcijo v plasti. Z uvajanjem kisika v naparevalni prostor med procesom povzročimo kemično reakcijo in tako izboljšamo stehiometrijo oz. zmanjšamo absorpcijo v plasti:



ali



Delni tlak reaktivnega plina je navadno  $10^{-4}$  mbar. Ključnega pomena je, da je le-ta čim bolj stalen. Kisik, porabljen med kemično reakcijo, nadomeščamo z novim, ki ga uvajamo z dozirnim ventilom, ki ga krmilimo z merjenjem tlaka v naparevalni komori. V praksi je reaktivno naparevanje nepogrešljivo, ker so izhodni materiali za oksidne plasti suboksidi ali celo čiste kovine. Slika 2 prikazuje shemo reaktivnega naparevanja.



Slika 2. Shema reaktivnega naparevanja - molekule reaktivnega plina (kisik) so nevtralne

Povprečna prosta pot pri tlaku  $10^{-4}$  mbar je približno 50 cm. Ta razdalja je navadno manjša, kot je razdalja med izvirom materiala za naparevanje in podlago. Trkov med atomi kovine oz. molekulami suboksida in molekulami reaktivnega plina je malo. Kemična reakcija zato v glavnem poteka na površini plasti.

Nastanek plasti /6/ kovinskega oksida z reaktivnim naparevanjem razdelimo na tri stopnje:

1. Na površino podlage priletijo z določeno hitrostjo pare kovine oz. suboksida in molekule reaktivnega plina (kisika).
2. Del atomov in molekul se adsorbira na površini, del odbije, del pa čez nekaj časa desorbira. Razmerje med adsorbirano in prispelo količino delcev do površine podlage izrazimo s koeficientom kondenzacije.
3. V adsorbirani fazi so delci mobilni zaradi površinske difuzije. Kemična reakcija nastanka kovinskega oksida se odvija preko disociativne kemisorpcije kisika. Različni partnerji v reakciji imajo različne koeficiente kondenzacije. Za nastanek oksida je potrebno določeno razmerje med prispelimi količinami posameznih delcev (atomov kovine, molekul suboksida in molekul kisika). Od vseh količin je najpomembnejša količina prispelega kisika, ki je nujno potrebna za izvršitev reakcije. Velikost kemisorpcije kisika odloča o tem, koliko oksida bo nastalo.

Plast kovinskega oksida, narejena z reaktivnim naparevanjem, je nekoliko podstehiometrična in zato delno absorbirajoča. Stehiometrijo plasti izboljšamo, če pred reaktivnim naparevanjem podlago pogrejemo na približno  $300^{\circ}\text{C}$ . Z gretjem povečamo oprijemljivost plasti na podlago in gostoto. Vrednost za lomni količnik se poveča in tako še bolj približa vrednosti za masivni material. Slaba stran gretja podlage je, da je površina plasti bolj hrapava in mikrostruktura plasti bolj groba.

## 3 AKTIVIRANO REAKTIVNO NAPAREVANJE

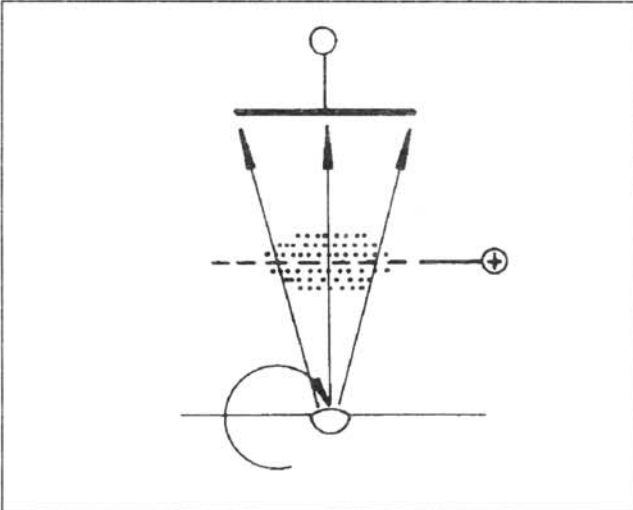
Plasti za zelo zahtevne optične komponente, npr. laserska zrcala, ne smejo imeti absorpcije iz dveh razlogov:

1. na račun absorpcije se zmanjša refleksija ogledala oz. reflektivnega prekritja
2. prag poškodb za visokoenergijsko lasersko sevanje se zmanjša.

Plasti, ki jih uporabljamo v laserski tehnologiji, morajo biti popolnoma oksidirane. Absorpcijo v plasti povzročijo ostanki atomov kovine in molekul suboksidov. Boljšo oksidacijo plasti in s tem stehiometrijo dobimo, če imamo aktiviran in ioniziran reaktivni plin (pri reaktivnem naparevanju je plin nevtralen). Slika 3 shematsko prikazuje potek takega procesa. Aktiviran plin kisika vsebuje ione in vzbujene molekule kisika.

Kemična reaktivnost je večja kot pri nevtralnem kisiku (reaktivno napajanje), zato je oksidacija materiala boljša.

Za ionizacijo reaktivnega plina uporabljamo Ebertov in Heitmanov izvir. Oba izvira imata razelektrivno cev z votlo katodo. Napetost med katodo in anodo je med 0.5 kV in 1 kV, energije ionov reaktivnega plina pa so od 10 eV pa do 50 eV. Velika energijska razpršenost ionov je glavna pomanjkljivost teh ionskih izvirov.



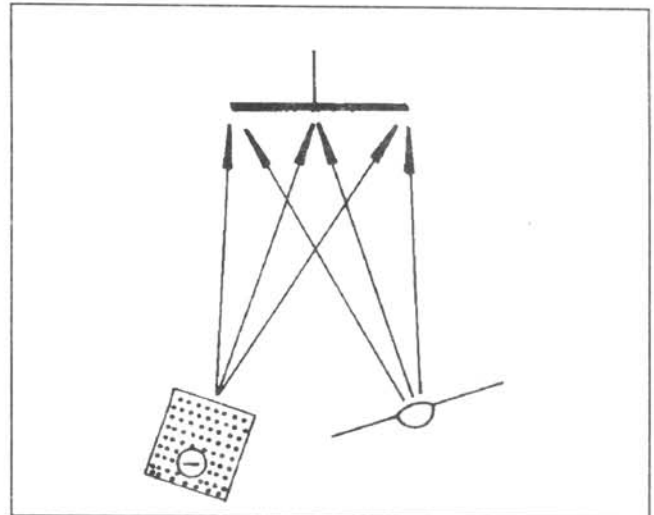
Slika 3. Shema aktiviranega reaktivnega napajanja - molekule reaktivnega plina so aktivirane oz. ionizirane

#### 4 NAPAREVANJE S POMOČJO IONOV

Mobilnost kondenzirajočih se atomov in molekul na površini podlage je zaradi nizkih energij (med 0.1 eV in 0.2 eV) slaba. Kontrolirano obstreljevanje rastoče plasti z argonskimi ali (in) kisikovimi ioni, ki imajo energijo več sto eV, izboljša lastnosti neparjene plasti zaradi povečane mobilnosti delcev, ki se kondenzirajo. Urejenost delcev v plasti je popolnejša in kemična reakcija je intenzivnejša. Plast, ki nastane ob obstreljevanju z ioni [7], je gostejša in ima boljše stehiometrijo in s tem optične lastnosti. Oprijemljivost plasti na podlago je večja zaradi mešanja materiala podlage in materiala za napajanje. Shema procesa prikazuje slika 4.

Izvir ionov, s katerimi obstreljujemo plast, je Kaufmanova ionska puška. Energijska razpršenost ionov v curku je le nekaj eV, energijo ionskega curka pa lahko spreminjamo med 10 eV in 2000 eV.

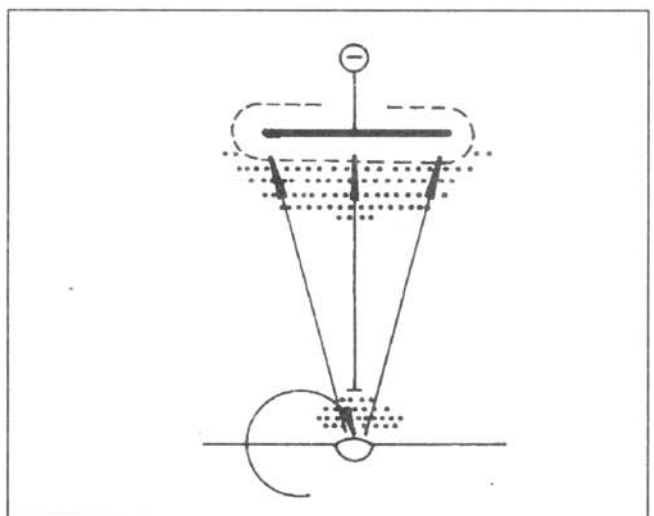
Ionski curek lahko uporabimo tudi pred in po napajanju tanke plasti. Pred napajanjem z njim dodatno očistimo površino podlage, na katero potem nanese plast, po njem pa z obstreljevanjem še izboljšamo optične in mehanske lastnosti plasti.



Slika 4. Shema napajanja s pomočjo ionov - dodatna energija se prenese z ionov argona ali kisika na pare materiala, ki se nalaga v tanko plast na podlago

#### 5 REAKTIVNO IONSKO PREKRIVANJE

Pri tem načinu nanašanja [8] se reaktivno napajanje odvija v prisotnosti plazme inertnega plina (navadno argona). Pare materiala za napajanje doživljajo trke z argonsko plazmo. Del atomov in molekul se ionizira, drugi del pa preide v vzbujena elektronska stanja. Nevtralni visokoenergijski atomi in ioni materiala za napajanje, ki jih pospešujemo v električnem polju, se kondenzirajo na podlagi. Kemične reakcije, ki pri tem potekajo, so kompleksne. S pomočjo optične spektroskopije lahko detektiramo vzbujena stanja atomov (elektronska stanja) in molekul (vibracijska, rotacijska stanja). Z analizo spektrov ugotovimo, kakšne kemične reakcije potekajo v plazmi. Taka analiza nam je v pomoč pri optimiziranju razmer oz. parametrov za reaktivno ionsko prekrivanje (Slika 5).



Slika 5. Shema ionskega prekrivanja - interakcija plazme in materiala za napajanje povzroči rast gostejše plasti z manj napakami

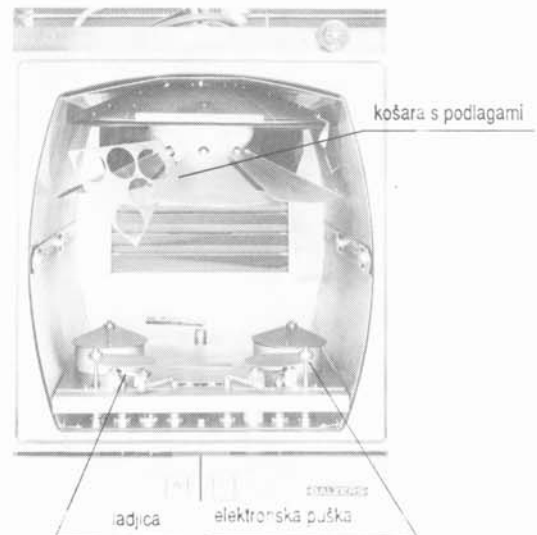
Reaktivno ionsko prekrivanje nam da, tako kot aktivirano reaktivno napajanje in napajanje s pomočjo ionov, goste plasti z dobro stehiometrijo. Lomni količnik je stabilen (ni adsorpcije in desorpcije plinov iz atmosfere), njegova vrednost pa je še vedno nižja od vrednosti za masivni material. Plasti nimajo popolne stehiometrije in so rahlo absorptivne.

## 6 PRIMERJAVA RAZLIČNIH VRST NAPAREVANJA

Najbolj razširjen način velikoserijske proizvodnje optičnih tankih plasti je reaktivno napajanje. Parametri napajanja (hitrost izparevanja materiala, temperatura podlage, količina nevtralnega reaktivnega plina, tlak v napajalni komori) so pri reaktivnem napajanju dobro definirani. S tem je zagotovljena ponovljivost pri vsakokratnem napajanju in kakovost izdelka, navkljub nepopolni stehiometriji in relativno veliki poroznosti plasti. Aktivirano reaktivno napajanje se ne izkaže najbolje, ker so energije ionov zelo različne in je ponovljivost posameznih napajanj nezanesljiva. Napajanje s pomočjo ionov ali s plazmo pa se je začelo počasi uveljavljati - predvsem tam, kjer so stroge zahteve za optično kvalitetne plasti (laserska tehnika, ozkopasovni interferenčni filtri, prekritja na podlagah, ki jih ne smemo greti - plastika).

V Iskri Elektrooptiki uporabljamo za nanašanje optičnih tankih slojev reaktivno napajanje z uporovnim gretjem in elektronsko puško ter reaktivno nizkonapetostno ionsko prekrivanje. Uporovno gretje in gretje z elektroni sta klasična načina uparjanja materiala. Uporovno gretje je lahko neposredno ali posredno. V prvem primeru žico materiala za napajanje pritrdimo med dve elektrodi in ga z električnim tokom segrevamo. V drugem primeru naložimo material v posodice-ladvice iz Mo, Ta, W, C ali keramike (odvisno od materiala za napajanje) in ladjico pritrdimo med dve elektrodi. Električni tok teče skozi ladjico in jo segreva, s tem pa tudi material. Obstaja pa nevarnost, da kemične reakcije med posodico in materialom povzročijo onesnaženje naparjene plasti. Čistejši način uparjanja materiala je gretje z elektroni. Material naložimo v vodno hlajeno posodo in ga obstreljujemo z visokoenergijskimi elektroni. Dobimo talino, ki ne reagira s hladnimi stenami posode. Na ta način lahko uparjamo kovine in dielektrike z visokimi tališči (2000°C). Na sliki 6 je prikazana standardna konfiguracija (dve ladjici in dve elektronski puški) Balzersovih napajalnikov, ki jih v Iskri Elektrooptiki uporabljamo za proizvodnjo optičnih tankih plasti oz. prekritij.

Na sliki 7 je predstavljen Balzersov sistem za reaktivno nizkonapetostno ionsko prekrivanje BAP 800 (enega imamo tudi v Elektrooptiki). Na shemi (slika 8) je razviden princip delovanja tega stroja. Z elektronsko puško stalimo začetni material (kovino, kovinski suboksid) in dobimo električno prevodno talino. Elektroni, ki izparevajo iz katode, prižgejo argonsko plazmo. Nizkonapetostna visokotokovna argonska plazma, ki je usmerjena v lonček s staljenim



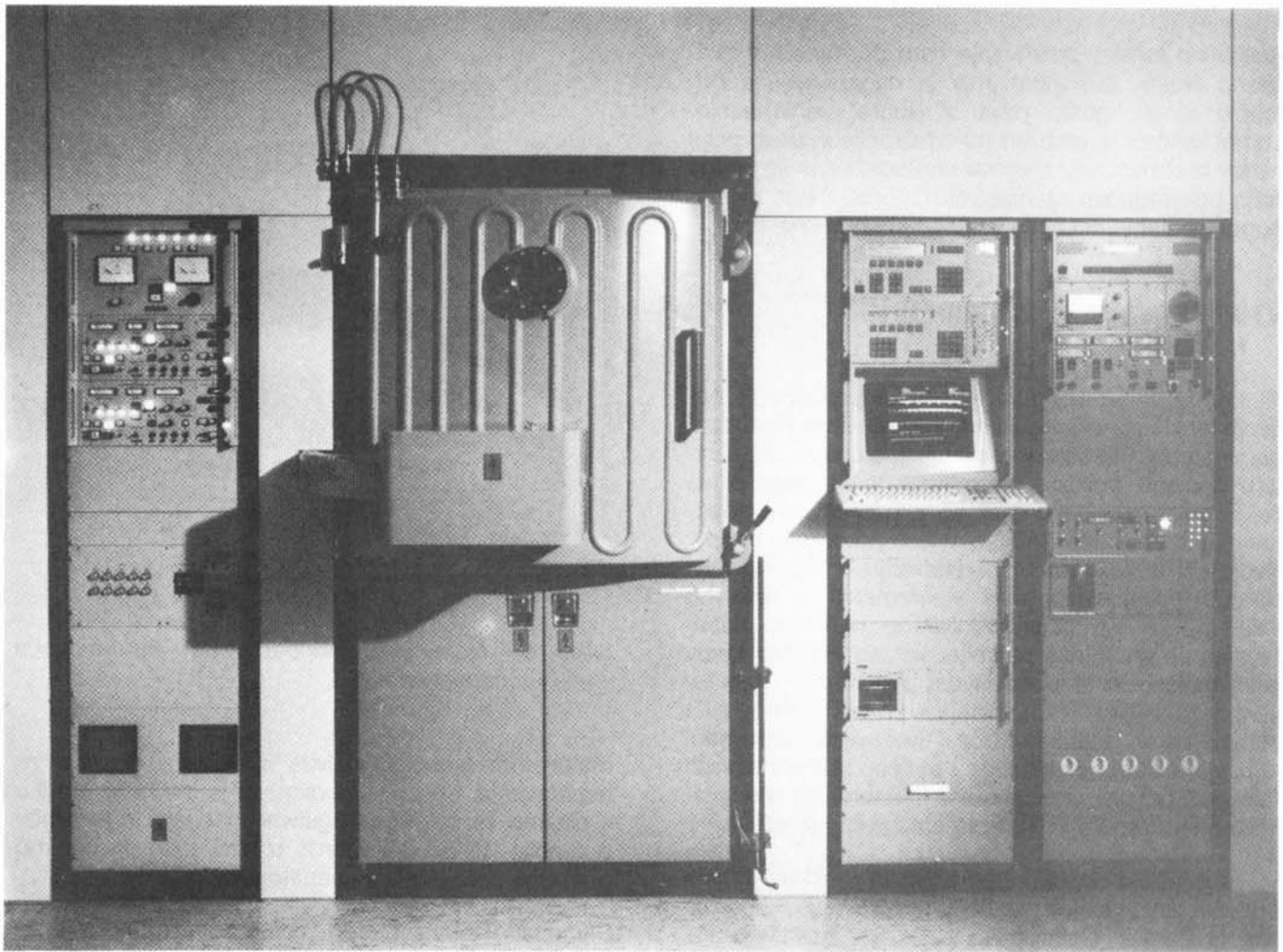
Slika 6. Notranjost standardnega Balzersovega napajalnika

materialom (anoda), aktivira in ionizira material za napajanje. Košara s podlagami je izolirana. V stiku s plazmo se podlage negativno nabijejo in je njihov potencial -15 do -20 V proti plazmi, tako da dobimo potrebno pospeševalno napetost.

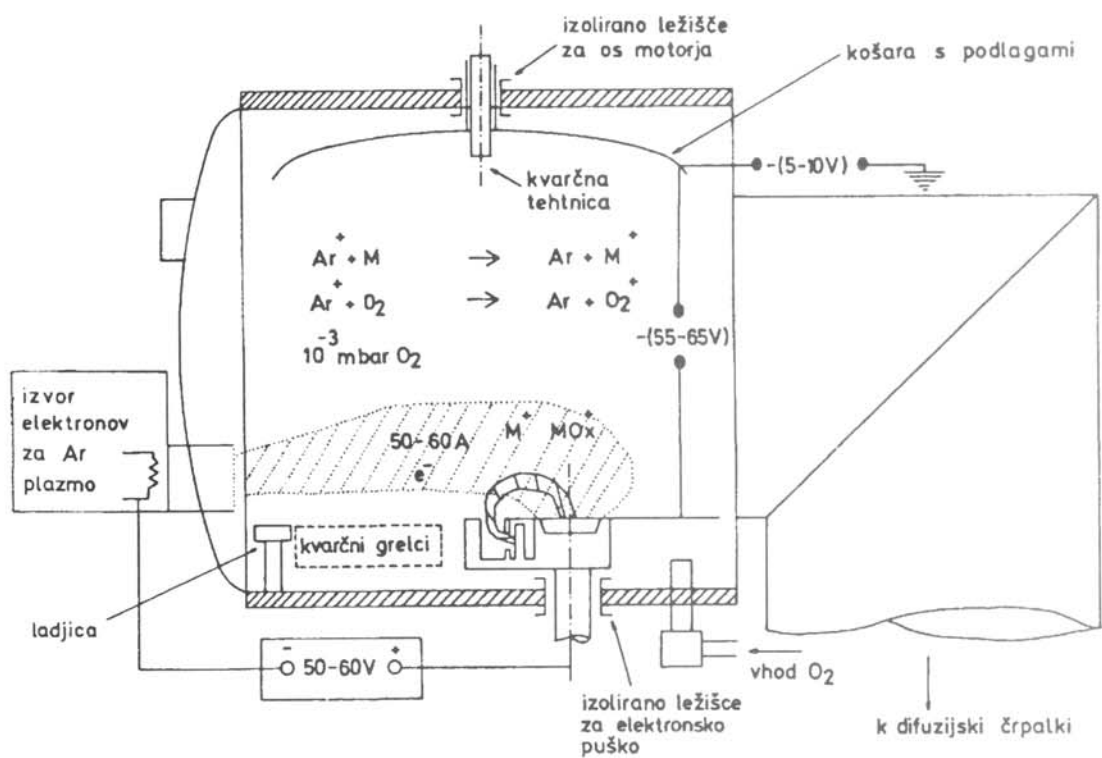
Primerjavo obeh metod (klasično napajanje in ionsko prekrivanje) smo v Iskri Elektrooptiki naredili s Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in SiO<sub>2</sub> plastmi. Na sliki 9 sta prikazana prepustna spektra ionizacijsko in klasično nanesenih plasti Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> debeline 200 nm; na sliki 10 pa odvisnost lomnega količnika od valovne dolžine za obe metodi nanašanja. Očitno je, da dosegamo z ionizacijskim nanašanjem višji lomni količnik plasti kot s klasičnim reaktivnim napajanjem na ogreto podlago. Struktura plasti, naparjene z reaktivnim ionizacijskim nanašanjem, je gostejša (manj je značilne stebričaste strukture) in zato je lomni količnik plasti bliže tistemu za masivni material. S slike 9 je razvidno, da Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ni popolnoma oksidiran - glej spekter pri valovnih dolžinah < 450 nm.

Neposredna primerjava med klasičnim napajanjem in ionizacijskim nanašanjem SiO<sub>2</sub> oz. SiO<sub>x</sub> plasti ni mogoča. Pri klasičnem napajanju uporabljamo kot izhodni material SiO<sub>2</sub>, pri ionizacijskem nanašanju pa uporabljamo za izvir čisti silicij. Z optimizacijo procesnih pogojev smo dobili plast SiO<sub>x</sub>, ki je praktično brez absorpcije. Njen lomni količnik je višji od klasično naparjene SiO<sub>2</sub> plasti. Vrednost lomnega količnika n pri valovni dolžini 550 nm je za klasično naparjen SiO<sub>2</sub> plast 1,46 in za ionizacijsko nanesen SiO<sub>x</sub> n = 1,50 ± 0,01. Odbojna spektra 200 nm debelih plasti SiO<sub>2</sub> in SiO<sub>x</sub> sta prikazana na sliki 11.

Ionizacijsko nanesene Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in SiO<sub>x</sub> plasti imajo boljše optične lastnosti /9/ (kljub rahlo povečani absorpciji Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> v kratkovalovnem območju) kot klasično naparjene plasti. Mehanske lastnosti plasti so

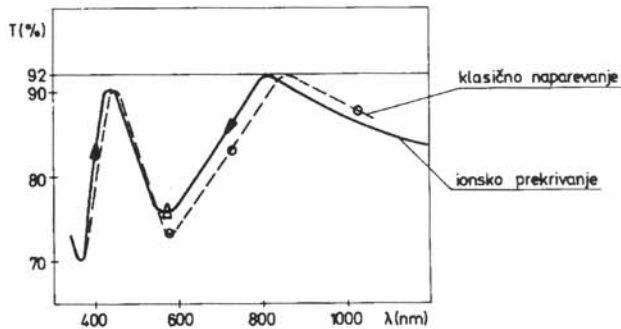


Slika 7. Balzers-ov sistem BAP 800 za niskonapetostno ionsko prekrivanje



Slika 8. Shema niskonapetostnega ionskega nanašanja v sistemu BAP 800

boljše (trdota, razenje, adhezija), spektri so časovno stabilni. Adhezija na podlago je dobra že pri napa-  
revanju pri sobni temperaturi.



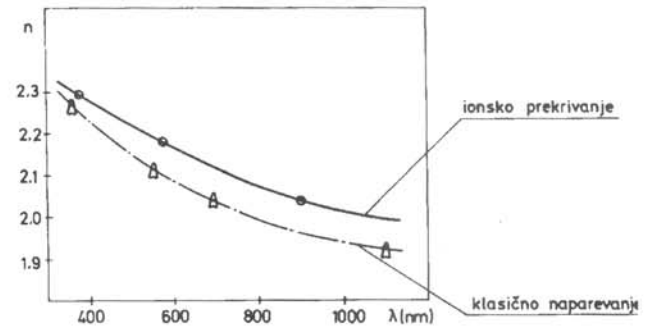
Slika 9. Prepustna spektra 200 nm debele plasti  $Ta_2O_5$ , narejene s klasičnim napajevanjem in ionskim prekrivanjem.

**7 SKLEP**

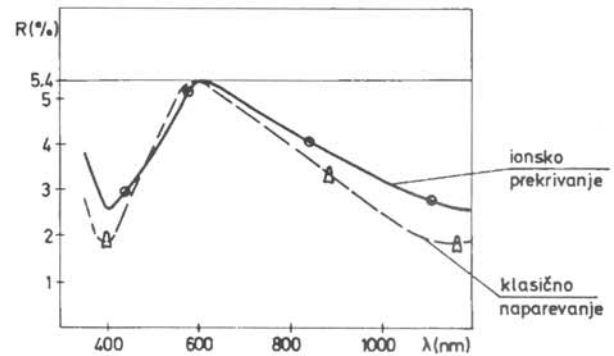
Novejši načini nanašanja optičnih tankih plasti s pomočjo ionov in plazme nam omogočajo izdelavo optično kvalitetnejših in mehansko odpornejših prekritij kot klasično napajevanje. V serijski proizvodnji je pomembno, da je kakovost prekritij stalna in ponovljiva. Najpomembnejše za ponovljivost procesa je nadzorovanje in obvladovanje posameznih parametrov nanašanja. Moderni sistemi za napajevanje imajo obilo elektronike za pravilno nadziranje in vodenje procesa, kar operaterju močno olajša delo. Istočasno pa je tak sistem bolj podvržen nepričakovanim okvaram in s tem zastojem v proizvodnji.

**8 LITERATURA**

/1/ E. Ritter, Dielectric film materials for optical applicatios, Physics of thin films, 8, Academic Press, 1975  
 /2/ A. Thelen, Design of optical interference coatings, McGraw-Hill, 1989  
 /3/ H.K. Pulker, Coatings on glass, Elsevier, Amsterdam, 1984  
 /4/ H.K. Pulker, Characterization of optical thin films, Applied Optics, 18, str. 1969, junij 15, 1979  
 /5/ H.K. Pulker, Modern optical coating technologies, Proceedings of SPIE, 1019, 1988



Slika 10. Vrednosti lomnega količnika  $Ta_2O_5$  plasti za oba načina nanašanja.



Slika 11. Odbojna spektra  $SiO_2$  in  $SiO_x$  plasti - vrednost lomnega količnika slednje je večja.

/6/ E. Kinsky, Nastajanje in rast vakuumskih tankih plasti, DVTS, 1990  
 /7/ Ursula J. Gibson, Ion beam processing of optical thin films, Physics of thin films, 13, Academic Press, 1987  
 /8/ H.K. Pulker in M. Reinhold, Reactive ion plating of optical films, International Journal of glas science and technology, 62, 1989  
 /9/ A. Demšar, J. Lindav, A. Rožaj-Brvar, Evaporation of color separation filters by reactive ion plating, 2-nd workshop on optical coatings and integrated optics, 8-9 October 1990, Genova, Italy

# MEHANSKE NAPETOSTI V VAKUUMSKIH TANKIH PLASTEH

Peter Panjan in dr. Boris Navinšek, Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, 61111 Ljubljana  
 Andrej Demšar, Iskra Elektrooptika, Stegne 7, 61210 Ljubljana

## Mechanical stresses in thin films deposited by PVD techniques

### Povzetek

Mehanske napetosti obstajajo v vseh tankih plasteh. Kakšna bo njihova velikost in vrsta, je odvisno od številnih faktorjev, kot npr. temperature podlage, vrste in tlaka delovnega plina, geometrije naprave in vrste materiala, ki ga nanašamo. Napetosti v plasteh so v osnovi termične in notranje. Izvir vseh napetosti plasti je v tem, da se v njej potem, ko se že veže na podlago, pojavijo prostorninske spremembe.

V tem prispevku so opisane metode merjenja napetosti v tankih plasteh. Predstavljeni pa so tudi rezultati naših meritev na Ti-N, Zr-N in Cr-N tankih plasteh. Izmerili smo, kako so notranje napetosti odvisne od parametrov njihove priprave. Plasti smo napršili na Si(100) podlage, napetosti v njih pa določili tako, da smo s profilometrom izmerili ukrivljenost podlage.

### Abstract

All vacuum deposited coatings exist in state of stress. The magnitude and sign of this stresses depend on many factors, including substrate material and geometry, substrate temperature, sputter gas species, the gas pressure, apparatus geometry and the material being deposited. Stresses in thin films consist basically of two components: the thermal stress and intrinsic stress. The fundamental origin of all strains in the films is connected with the fact that the film is tightly bonded to the substrate and after this bonding is established subsequent volume changes in the film take place.

In this paper various methods of the stress measurements are described. The influence of preparation conditions on the internal stress of Ti-N, Zr-N and Cr-N deposited on Si(100) substrate was investigated using a profilometer to measure the substrate deflection.

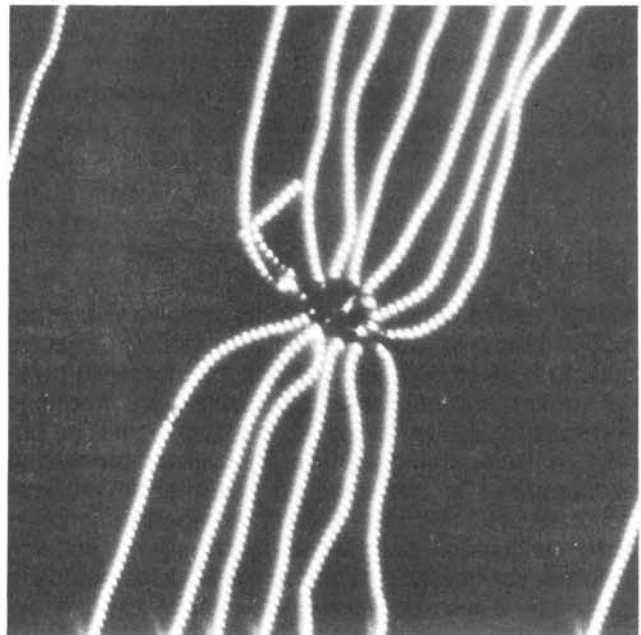
## 1 Uvod

Mehanske napetosti obstajajo v skoraj vseh tankih plasteh, neodvisno od načina njihove priprave. Napetosti so lahko tlačne (plast se raztegne vzporedno z ravnino podlage) ali natezne (plast se skrči vzporedno z ravnino podlage). Če je adhezija plasti na podlago dobra, se tanka podlaga ( $\leq 1$  mm) ukrivi, pri velikih napetostih pa plast pogosto odstopi oz. razpoka ali pa se v njej pojavijo pore (Slika 1). Zaradi teh poškodb so mehanske napetosti v tankih plasteh nezaželene, zato se jim poizkušamo čim bolj izogniti. Zanimivo je, da so bile prve raziskave mehanskih napetosti narejene na kemijsko nanesenih tankih plasteh že davnega 1877 leta /1/.

V kovinskih plasteh, ki jih pripravimo z vakuumskimi postopki nanašanja (PVD - Physical Vapour Deposition) pri nizkih temperaturah podlag, v splošnem nastanejo natezne napetosti. Te so v plasteh kovin z visokim tališčem večje ( $10^9$  N m<sup>-2</sup>) kot v plasteh, ki jih pripravimo iz kovin z nižjim tališčem ( $10^7$  N m<sup>-2</sup>). Dielektrične tanke plasti, ki jih pripravimo z reaktivnim

naprševanjem, in kovinske plasti, v katere so na intersticijska mesta kristalne strukture vgrajeni atomi plina, pa imajo tlačne napetosti. Te so v dielektričnih plasteh praviloma manjše kot v kovinskih.

Mehanske napetosti v plasteh so lahko notranje (intrinsic stress) ali termične.



Slika 1. Slika prikazuje mehanske poškodbe v tanki plasti molibden nitrída. Na površini plasti vidimo linije por, ki se na mestu, kjer se nahaja napaka v podlagi, združijo. Posnetek smo naredili z optičnim mikroskopom pri 20-kratni povečavi.

## 2 Opis procesov nastajanja notranjih in termičnih napetosti

Vzrokov za nastanek notranjih napetosti je več /2,3,4/. Značilno za tanke plasti, ki jih pripravimo z vakuumskimi postopki, je, da rastejo v razmerah, ki so daleč od termodinamičnega ravnovesja, zato v njih obstajajo različna strukturna neravnovesja (točkovne napake, dislokacije, metastabilne spojine itd.). Gostota defektov v tanki plasti, ki nastanejo med rastjo plasti, je dva velikostna reda večja od tiste, ki nastane v masivnem materialu med hladnim preoblikovanjem. Energija, ki se v obliki napetosti akumulira v plasti, deluje kot termodinamična gonilna sila za različne procese relaksacije, ki vodijo v ravnotežno stanje. Do teh procesov



pride že med samo rastjo plasti, pa tudi po njej. Če je razmerje temperature plasti in temperature tališča  $T_p/T_t$  v področju med 0.1 in 0.3 (temperature podlag  $T_p$  med nanašanjem so nizke) potem so najbolj verjetni procesi relaksacije pomiki in koalescence dislokacij ter točkovnih defektov. Če pa je razmerje temperatur v področju med 0.3 in 0.5 (nanašanje plasti pri visokih  $T_p$ ), potem kristalna zrna, v katerih so velike notranje napetosti, rekristalizirajo v zrna brez napetosti. Pri vseh teh procesih se spreminja prostornina plasti. Ker pa je ta trdno vezana na podlago, se v njej pojavijo napetosti.

Vzrok za notranje napetosti pa niso samo neurejenosti v kristalni strukturi. K napetostim prispevajo tudi:

- fazni prehodi,
- neujemanja mrežnih konstant podlage in plasti,
- elektrostatični efekti (Zaradi prostega električnega naboja na površini kristalnih zrn se le-ta privlačijo ali odbijajo.),
- meje med kristalnimi zrni (Če se kristalna zrna zlijejo, je površinska energija večjega zrna manjša od vsote površinskih energij dveh manjših zrn; ob tem se zmanjšajo tudi napetosti. Interakcije te vrste so seveda odvisne od stopnje kristaliničnosti plasti.),
- kontaminacija plasti s preostalimi plini.

Na notranje napetosti v plasti lahko vplivamo z izbiro metode in s parametri nanašanja. Zato se napetosti v tanki plasti izbranega materiala, ki jo pripravimo z naparevanjem, naprševanjem ali ionskim prekrivanjem, zelo razlikujejo. Tako imajo kovinske plasti, ki jih pripravimo z naparevanjem, v splošnem natezne napetosti. V nekaterih primerih, npr. v neparjenih plasteh tistih materialov, ki imajo veliko afiniteto do kisika (npr.: Al, Ti) ali drugih nečistoč, se pojavijo tudi tlačne napetosti. V napršeni tankih plasteh pa se lahko pojavita obe vrsti. Tlačne napetosti so posledica distorzije kristalne strukture, ta pa je posledica obstrejanja rastoče plasti s tistimi atomi oz. ioni, ki imajo relativno veliko energijo. Glavna izvira teh delcev so razpršeni atomi tarče, ki imajo energijo od 5 do 10 eV, in povratno sipani (nevtralizirani) ioni inertnega plina (argona) z energijo ~100 eV. Količini, ki najbolj vplivata na naravo in velikost napetosti, sta energija in gostota toka teh delcev. Pri nižjih energijah je plast zgrajena iz koničastih kristalov, med katerimi je veliko praznega prostora (cona 1 v Thorntonovem diagramu, plasti so porozne), pri višjih energijah pa nastanejo plasti, ki so bolj goste in ki imajo stebričasta kristalna zrna (cona T). Napetosti v plasti so v prvem primeru natezne, v drugem pa tlačne.

Vzrok za nastanek termičnih napetosti pa so razlike koeficientov termičnega raztezka podlage in plasti. Termične napetosti so pomembne, kadar so notranje napetosti majhne.

Razmerje med notranjimi in termičnimi napetostmi je odvisno od metode in parametrov priprave plasti. V tankih plasteh materialov z nizkim tališčem (npr. aluminij) difuzija atomov prepreči akumulacijo notranjih napetosti. Posledica difuzijskih tokov pa je pogosto

nastanek vdolbin, hribočkov (hillocks) ali iglic (whiskers); pojavijo se v tankih plasteh Al, Au ali Pb pri pogojih nanašanja, pri katerih bi pričakovali velike tlačne napetosti. Napetosti (natezne ali tlačne) v takih plasteh so majhne. V tankih plasteh materialov z visokim tališčem (titan, cirkonij, tantal, ...) pa se notranje napetosti akumulirajo. V neparjenih plasteh so napetosti natezne, kadar pa so v plasteh nečistote (npr. kisik), so lahko tudi tlačne.

S povečanjem temperature podlag med nanašanjem ( $T_p$ ) se notranje napetosti v splošnem zmanjšujejo, termične pa povečujejo (slika 2). Pri nizkem razmerju temperatur ( $T_p/T_t$ ) so notranje napetosti veliko večje od termičnih. Če je razmerje  $T_p/T_t$  v področju 0.25 do 0.3, se pojavijo procesi odprave strukturnih defektov, zato se napetosti zmanjšajo. Pri višjih  $T_p$  prevladujejo termične napetosti.

### 3 Merjenje napetosti

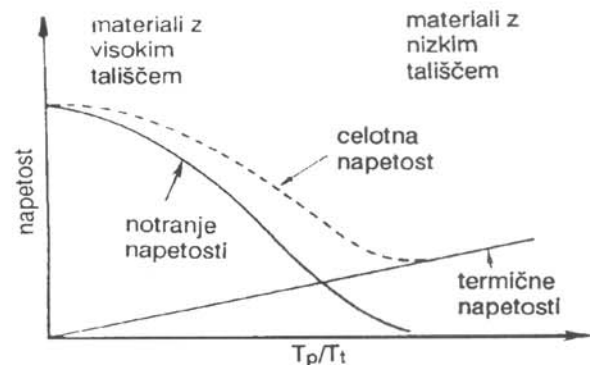
Plast zaradi mehanskih napetosti podlago ukrivi. Ukrivljenost podlage lahko izmerimo in če poznamo njene dimenzije in elastične konstante (tj. Youngov modul  $E$  in Poissonovo razmerje  $\nu$ ), lahko izračunamo napetosti v plasti. Če ima podlaga obliko diska, potem izračunamo napetost po enačbi /4/:

$$\sigma = \frac{E d_s^2}{6r(1 - \nu) d_p} \tag{1}$$

kjer je  $d_s$  debelina podlage,  $d_p$  debelina plasti in  $r$  radij ukrivljenosti. Če pa ima podlaga obliko traku z dolžino  $l$ , potem je ustrezna enačba za izračun napetosti /5/:

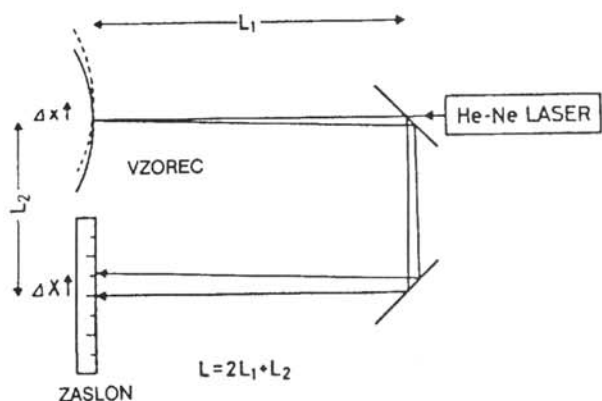
$$\sigma = \frac{4E d_s \delta}{3(1 - \nu) l^2 d_p} \tag{2}$$

kjer je  $\delta$  upogib od centra traku do roba na razdalji  $l/2$ . Enačba (2) je izpeljana, upoštevajoč naslednje predpostavke: (a) debelina plasti je veliko manjša od debeline podlage, (b) upogib podlage je veliko manjši od debeline podlage in (c) širina traku je manjša od njegove polovične dolžine.



Slika 2. Termične in notranje napetosti v odvisnosti od razmerja  $T_p/T_t$ .

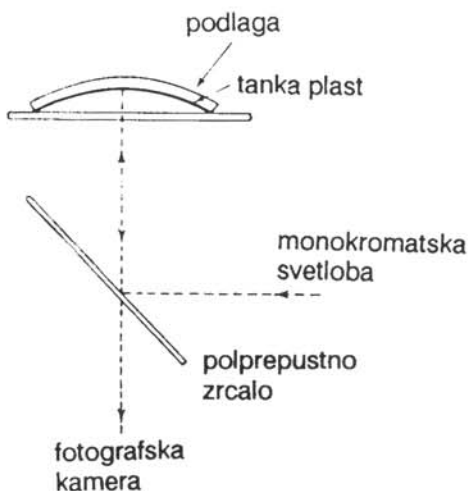
Upogib oziroma ukrivljenost podlage lahko izmerimo na več načinov. Na sl. 3 je prikazan optični sistem, s katerim merimo ukrivljenost podlage (npr. silicijeve rezine), tako da podlago premaknemo za  $\Delta x$  iz centra. Odbiti laserski žarek usmerimo na zaslon, ki je na razdalji  $L$  ( $\sim 2.5$  m). Zaradi ukrivljenosti podlage ( $r$ ) se med premikom le-te laserski curek premakne za  $\Delta X$ . Iz geometrije sistema lahko ugotovimo, da je  $r \sim 2L(\Delta x/\Delta X)$ . S tem podatkom izračunamo napetost v plasti po enačbi (1).



Slika 3. Merjenje ukrivljenosti podlage z laserjem.

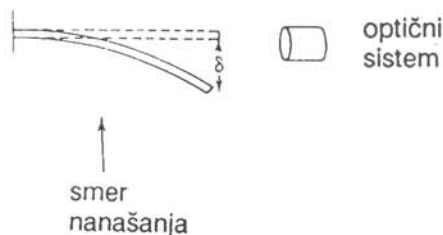
Ukrivljenost okrogle podlage lahko izmerimo tudi z interferenčno metodo iz razdalje med Newtonovimi krogi (sl. 4). S to metodo lahko merimo tudi napetostno anizotropijo v plasti.

Ukrivljenost podlage pogosto merimo tudi tako, da podlago, ki ima dolžino 3-5 krat večjo od širine, vpnejo v nosilec, tako da je vpeta le na enem koncu, medtem ko je drugi prost. Zaradi napetosti, ki nas-

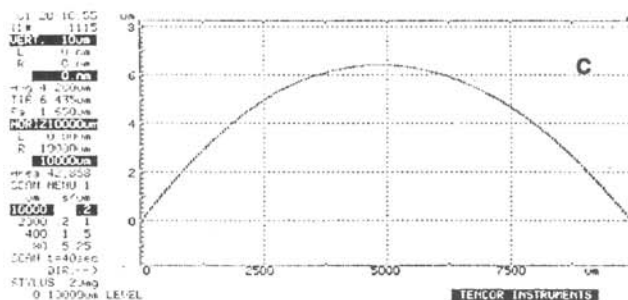
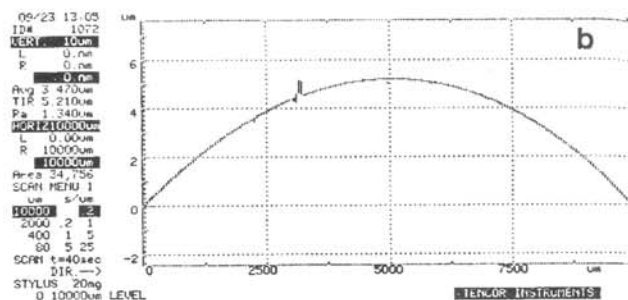
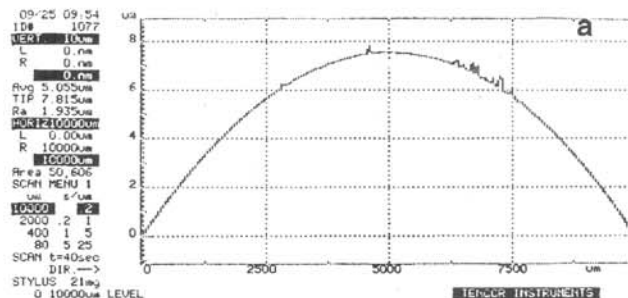


Slika 4. Shematski prikaz merjenja ukrivljenosti podlage z interferenčno metodo iz razdalje med Newtonovimi krogi.

tajajo v plasti med nanašanjem, se podlaga ukrivi. Premik prostega konca lahko izmerimo optično (sl. 5), mehansko ali električno.

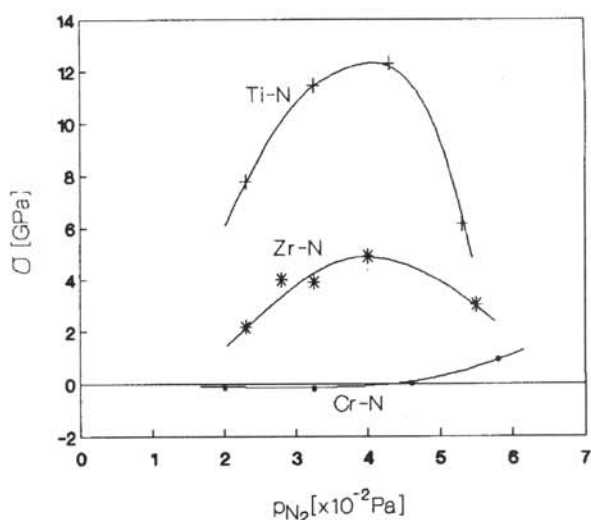


Slika 5. Shematski prikaz merjenja upogiba podlage s optičnim sistemom.



Slika 6. Profil površine silicija po nanosu: (a) TiN, (b) ZrN in (c) CrN tanke plasti.

Ukrivljenost podlage pa lahko izmerimo tudi s profilometrom, s katerim določimo profil površine podlage /6/. Za podlago lahko vzamemo npr. silicijeve rezine, ki jih narežemo (oz. nalomimo) v obliki traku z dimenzijami npr. 25 mm x 6 mm x 0.5 mm. Po nanosu plasti se podlaga ukrivi in ima obliko parabolične krivulje. Napetost v plasti izračunamo po enačbi (2). Metodo smo praktično preiskusili na 2-3  $\mu\text{m}$  debelih plasteh Ti-N, Zr-N in Cr-N. Profil površine silicijeve podlage po nanosu TiN, ZrN in CrN plasti je prikazan na slikah 6a, b in c. Če imajo plasti stehiometrično sestavo (delni tlak dušika mora biti  $4\text{-}5 \times 10^{-2}$  Pa za TiN in ZrN oz.  $5\text{-}6 \times 10^{-2}$  Pa za CrN) potem se podlaga ukrivi tako, da ima konveksno obliko - napetosti v plasti so tlačne, v podstehiometričnih Cr-N tankih plasteh pa ima konkavno obliko - napetosti so torej natezne. Ker so bili vsi nanosi plasti narejeni pri nizki temperaturi



Slika 7. Napetosti v Ti-N, Zr-N in Cr-N tanki plasti v odvisnosti od delnega tlaka dušika (tj. sestave) med reaktivnim naprševanjem v naprševalniku Sputron.

podlage ( $180^\circ\text{C}$ ) in ker imajo ti materiali visoke temperature tališča, so termične napetosti zanemarljive. Diagrami na sliki 7 prikazujejo rezultate meritev notranjih napetosti v Ti-N, Zr-N in Cr-N tankih plasteh v odvisnosti od delnega tlaka dušika med naprševanjem (tj. od sestave).

Napetosti v tankih plasteh lahko merimo tudi z rentgenskimi in elektronskimi uklonskimi metodami /7/. Homogene deformacije (makrodeformacije) spremenijo položaj posameznih uklonskih črt, medtem ko mikrodeformacije zaradi dislokacij in točkovnih defektov povzročijo razširitev uklonskih črt. Na razširitev uklonskih črt hkrati vpliva tudi končna velikost kristalnih zrn v plasti, zato je potrebno oba prispevka ločiti /8/.

#### 4 Sklep

Od napetosti v tankih plasteh je zelo odvisna njihova oprijemljivost (adhezija) na podlage. Ker pogosto povzročijo poškodbe plasti, je od njih odvisno delovanje in življenjska doba optičnih, elektronskih in drugih naprav. Napetosti so zelo odvisne od načina in parametrov priprave plasti. Zato so meritve napetosti sestavni del karakterizacije plasti.

#### 5. Literatura

- /1/ E.J. Mills, Proc. Roy. Soc. London, 26 (1877) 504
- /2/ J.A. Thornton and D.W. Hoffman, Thin Solid Films, 179 (1989) 5-31
- /3/ H. Winischmann, J. Vac. Sci. Technol. A 9 (4), Jul/Aug (1991) 2431-2435
- /4/ H.K. Pulker, Coatings on Glass, Elsevier, Amsterdam, 1984
- /5/ R.J. Scheuerman, J. Vac. Sci. Technol. Vol. 7, No 1 (1970) 143
- /6/ P. Jin and S. Maruno, Jap. Journal of Applied Physics, Vol. 30, No 7 (1991) 1463-1468
- /7/ D.S. Rickerby, J. Vac. Sci. Technol. A 4 (6), Nov/Dec (1986) 2809-2814
- /8/ P. Panjan in D. Mandrino, Vakuunist 21 (1990) 3-6.

# NETOKOVNO NANAŠANJE PREVLEK Ni-P NA Al IN ZLITINE

Smiljan Jerič in Miha Kocmur, Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, 61111 Ljubljana

## Ni electroless plating of Al and its alloys

### Povzetek

V članku je podan pregled tistih kemijskih lastnosti aluminija in njegovih zlitin, ki so pomembne pri netokovnem nanašanju Ni-P prevlek. Opisan je postopek priprave površine podlag in lastnosti Ni-P prevlek.

### Abstract

In the article a survey about the chemical properties of Al and alloys relevant to plating techniques is given. The Ni electroless deposition process including the surface preparation and the properties of Ni-P coatings are represented in the main features.

## 1 Uvod

Namen tega prispevka ni opisovanje posameznih postopkov ali receptov, ampak povedati nekaj bolj splošnega o Al in njegovih zlitinah, o prevlekah Ni-P ter o njihovem netokovnem nanašanju.

Aluminijeve zlitine so v današnjih tehnologijah zelo pomemben material zaradi nizke gostote (2,70 - 2,80 g/cm<sup>3</sup>), udobnega mehanskega in termičnega oblikovanja in obdelave s procesi ulivanja, sintranja, utrjevanja, rekristalizacije in staranja, valjanja in vlečenja; imajo veliko električno in toplotno prevodnost, posebne optične lastnosti in veliko možnosti kemijske površinske obdelave zlasti za izboljšanje korozijske odpornosti. Vendar pri površinski obdelavi večkrat nastopijo težave, katerih vzrok so v glavnem oksidacija Al na zraku s hitrim nastankom kompaktne oksidne plasti, debele do 100 Å, ki pa prevaja električni tok. Vendar pa so na njej zrasle kovinske prevleke skoraj brez adhezije, ker se ne more vzpostaviti kemijska vez med Al podlago in prevleko skozi dielektrik. Drugi vzrok je zelo pozitiven oksidacijski potencial za prehod Al → Al<sup>+++</sup> (+1,67V), ker se večina drugih kovin na površini deponira s cementacijo, Al pa se kot anoda raztaplja. Včasih tudi visok termični razteznostni koeficient (24.10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup>) povzroči, da se prevleka z nižjim raztezkom loči od Al osnove /1,2/.

Aluminij se redko uporablja zelo čist, pač pa večinoma kot zlitina. Sestava zlitine je odločilna za vse obdelave in seveda tudi za površinsko obdelavo - galvansko ali netokovno - v ustreznih raztopinah. V sestavi zlitin se nahajajo poleg Al glavni legirni elementi: Si, Mg, Cu in Mn; stranski: Mn, Cr, Ti, Zr, Be, Pb; in primesi (nezaželene nečistoče) Te, Si, Cu. Za predhodno obdelavo površine je posebno važna vsebnost silicija; glede na to lahko zlitine razdelimo na one z malo Si in one (silumine), ki imajo nad 3% Si. Neko Al zlitino je mogoče termično utrjevati ali starati samo tedaj, če topnost v trdni fazi ene izmed komponent s temperaturo pada in pride do njene zelo fino dispergirane precipitacije. Legirni in primesni elementi

vplivajo na hitrost korozije, zlasti Cu in Fe jo močno povečata. Odlitki iz Al niso primerni za VV ali celo UVV naprave, ker so porozni in jih je treba impregnirati. Oksidna plast na površini Al se z vlago spremeni v böhmitno ( $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O), ki na višjih temperaturah odaja vodno paro /2/.

Ko smo navedli nekaj lastnosti osnovnega materiala, naj sledi še nekaj podatkov o Ni-P prevlekah. Tu je zelo zanimiva primerjava s kromovimi prevlekami. Zato jo povzemamo po spodaj navedenem članku /5/.

## 2 Mehanske in kemijske lastnosti Ni-P prevlek

Pri odločitvi o vrsti prevlek moramo poznati njihove lastnosti, kot so: struktura, korozijska in kemijska obstojnost, trdota, odpornost proti drgnjenju in obrabi, temperaturna obstojnost, duktilnost in zmožnost oblikovanja, omočljivost in oprijemljivost prevlek ter zmožnost spajkanja in varjenja.

Struktura prevlek kemijskega niklja je amorfnost in brez kristaliničnih vključkov, primerjamo jo lahko s tisto pri steklu, zato govorimo o kovinskem steklu. Take prevleke so izredno kompaktne in brez por. Prevleke trdega kroma so kot večina elektrolitskih izrazito kristalinične, v odvisnosti od parametrov med nanašanjem pa tudi razpokane, z raznimi vključki ali kako drugače prekinjene.

Korozijska obstojnost prevlek niklja, nanesenih brez toka, je vsaj enaka ali pa celo bistveno boljša kot pri trdem kromu, odpornost pa je predvsem odvisna od metode testiranja, saj gre za dva kemijsko in po zgradbi zelo različna materiala. Če naj bi obdelani predmeti med uporabo vzdržali težje korozijske razmere, jih je najbolje v enakem okolju primerjalno testirati. Zaščitna sposobnost prevlek kemijskega niklja je poleg debeline odvisna tudi od vsebnosti fosforja in morebitne termične obdelave.

Kemijska obstojnost je v splošnem pri kemijskem niklju, ki vsebuje fosfor, večja. Seveda pa spet ne smemo pozabiti, da gre za dve različni kovini, ki se v različnih agresivnih kemikalijah zelo različno obnašata. Kar pa zadeva klor, klorovodik in kloride, lahko rečemo, da jih prevleke kemijskega niklja, zlasti po termični obdelavi, veliko bolje prenašajo.

Veliko kemijsko obstojnost, adhezijo in neporoznost nikljevih netokovnih prevlek s pridom uporabljamo pri površinski obdelavi aluminija, kadar je nikelj le vmesna prevleka.

Trdota prevlek trdega kroma je bistveno večja od trdote prevlek kemijskega niklja brez dodatne obdelave; po segrevanju pa se ta pri niklju močno poveča in v optimalnih razmerah lahko doseže trdoto kroma, medtem ko pri kromu ostane skoraj nespremenjena vsaj do 400°C. Pri kemijskem niklju je s termično obdelavo dosežena trdota odvisna od vsebnosti fosforja in temperature ter trajanja segrevanja. Večinoma je možno z enournim segrevanjem pri 400°C (v inertni atmosferi) dobiti trdoto od 800 do 1000 VPN.

Odpornost proti drgnjenju in obrabi je pri trdem kromu zelo velika, kemijski nikelj se ji v najboljšem primeru po toplotni obdelavi precej približa, medtem ko se brez naknadne obdelave znatno hitreje obrablja kot trdi krom. Pri tem igra verjetno bistveno vlogo koeficient trenja, ki je pri kromu manjši ob drgnjenju z večino kovin, ki so najpogosteje v stiku z njim.

Glede temperaturne obstojnosti je znano, da se trdota in odpornost proti obrabi pri trdem kromu bistveno ne spremenita do 400 oz. 600°C, medtem ko se trdota kemijskega niklja do približno 400°C povečuje, nato pa hitro (pri kromu počasneje) pada.

V duktilnosti in sposobnosti preoblikovanja so med trdim kromom in kemijskim nikljem s fosforjem velike razlike. Natezna trdnost kroma je npr. le ca. 0,1 %, kemijskega niklja pa lahko do 1,6 % (kar sicer tudi ni veliko). Za funkcionalno uporabo prevlek so lahko te razlike zelo pomembne, npr. pri notranji korozijski zaščiti hidravličnih valjev, ki morajo včasih prenesti zelo velike pritiske, povezane z znatnim raztezanjem; če pri tem prevleka počí, z zaščito seveda ne bo nič.

Povedati pa je treba, da s termično obdelavo oz. s povečevanjem trdote prevlek kemijskega niklja njihova duktilnost v splošnem pada. Več fosforja v prevleki pa daje znatno večjo duktilnost, če prevleke dodatno toplotno ne obdelamo.

Oprijemljivost raznih maziv na prevlekah trdega kroma, ki so v splošnem antiadhezivne oz. odbojne za taka sredstva, je slaba in to je njihova pomanjkljivost, če jih je med uporabo treba mazati. Po drugi strani pa to pomeni boljšo odpornost proti korozivnim sredstvom, ki se teže oprimejo površine trdega kroma.

Prevleke kemijskega niklja s primesjo fosforja so v splošnem veliko bolj omočljive in sprejemljive za razna maziva. Vendar pa je to lahko tudi pomanjkljivost, če npr. ob uporabi kemijsko nikljanih orodij (kalupov) ne moremo povsem ločiti od sten orodja trde gume, plastike ipd. brez uporabe ločilnih sredstev, ki pri trdem kromu navadno niso potrebna.

V spajkljivosti in zmožnosti varjenja je razlika med obema vrstama prevlek spet izrazita: medtem ko je kemijski nikelj dobro ali celo zelo dobro spajkljiv in se lepo vari, trdega kroma ne moremo spajkati niti variti. To je sicer redko potrebno, včasih pa le utegne biti pomembno. Omeniti pa velja, da je bolje variti pred kemijskim nikljanjem, ker sicer fosfor lahko povzroči krhek zvar. Tudi je pomembno, da so Ni plasti zelo

ugodni vmesni sloji, kadar je potrebno nanesti še dodatne prevleke npr. Ag, Au itd. Seveda pa je potrebno paziti, da se nikelj ne pasivira.

V naslednji tabeli so pregledno prikazane fizikalne lastnosti prevlek kemijskega niklja (s fosforjem) in trdega kroma:

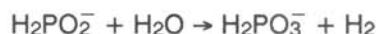
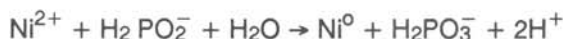
lastnosti	kem.Ni(7-9 ut.%P)	trdi Cr
gostota	7,9-8,0 g/cm <sup>3</sup>	7,0 g/cm <sup>3</sup>
tališče na zraku	ca.880°C	1810°C
linearni toplotni razteznostni koeficient	15.10 <sup>-6</sup> /°C	6,6.10 <sup>-6</sup> /°C
mikrotrdota po Vickersu po nanašanju	450-500 VPN	900-1100 VPN
po termični obdelavi (400°C,1h)	800-1000 VPN	skoraj enaka
koeficient trenja z jeklom	0,25	0,20

\* 1000 VPN = 9810 N/mm<sup>2</sup>

### 3. Kratek opis kemijskega procesa netokovnega nanašanja Ni-P prevlek.

Bistveni proces pri netokovnih nanosih kovin iz raztopin (npr. pr. Ni,Cu) je kontrolirana površinska katalitska redukcija njihovih ionov z močnimi reducenti (hipofosfit, boranat, aminoborani, hidrazin). Čeprav so take raztopine kemično nestabilne, so brez prisotnosti katalizatorjev v določenih mejah temperature praktično obstojne, ker so kinetično močno zavrite. Kinetične ovire obstajajo v počasnem prenosu elektronov od reducenta h kompleksno vezanemu ionu kovine: kompleksi amonijaka, etilendiamina, citronske kisline, pirofosfata. Ta prenos poteka v adsorbirani plasti s posredovanjem površine. Zato je razumljivo, da so poleg katalitskih lastnosti površine podlage za potek procesa odločilne tudi njene elektrokemijske lastnosti in električna prevodnost.

Kemične procese pri netokovnem nanašanju lahko sumarično formuliramo z naslednjimi kemijskimi enačbami:



Prvi dve reakciji sta v navadnih razmerah delovanja in sestave kopeli odvisni med seboj, medtem ko je tretja precej neodvisna ter je zato vsebnost P v plasti lahko zelo različna v odvisnosti od sestave kopeli ter parametrov delovanja. Vidimo, da je za izločitev 1 mola Ni<sup>0</sup> potrebno okoli 2,5 mola hipofosfita z upoštevanjem izgub, ki nastanejo pri njegovi oksidaciji z zrakom, ter da nastaneta pri tem vsaj 2 mola fosfita. Reakcijski produkti so torej Ni<sup>0</sup>, P, H<sup>+</sup>, H<sub>2</sub> in fosfit. Nikelj in fos-

for se deponirata kot amorfna trdna raztopina v obliki kompaktne tanke plasti na podlago, vodik izhaja v obliki mehurčkov,  $H^+$  in fosfitni ion ostaneta v raztopini. Koncentracija fosforja v niklju je odvisna zlasti od sestave kopeli in od pH ter je navadno v mejah od 4 - 15 ut.% oz. 7-25 at.%. Specifična upornost Ni-P plasti je odvisna od koncentracije fosforja, njegove kemijske vezave in strukture ter je pri 2  $\mu m$  debelih plasteh na keramiki v mejah 30-150  $\mu \Omega cm$ . Ocenjena gostota je 7,2-8,5 g/cm<sup>3</sup>. Na višji temperaturi (od 250°C dalje) se izločijo nikljevi fosfidi, zlasti Ni<sub>3</sub>P, kot samostojna faza. Z izbiro primerne kopeli in termične obdelave je na keramičnih podlagah mogoče doseči temperaturni koeficient upornosti od -60 do +150 ppm/°C.

Začetno fazo nanašanja, ko reakcija še ne teče avtokatalitsko, ampak si šele ustvarja svoj substrat, imenujemo sprožitev ali indukcijska doba. Trajanje indukcijske dobe je mera za katalitsko aktivnost substrata, navadno traja od 20 s do 5 min. Po tem času doseže depozicija svojo normalno hitrost. Čim krajša je indukcijska doba, tem večja je aktivnost površine.

V splošnem vsebujejo netokovne kopeli naslednje značilne sestavine: sol kovine za depozicijo, kompleksant kovinskega iona, reducent, kemikalije za nastavitev in vzdrževanje pH ter razne dodatke nizkih koncentracij. Ti dodatki zelo vplivajo na hitrost delovanja in stabilnost kopeli ter na lastnosti plasti. Dosedaj je mogoče na tak način uspešno nanašati le malo kovin in zlitin.

Način uporabe kopeli je iz tehničnih ali ekonomskih razlogov lahko zelo različen: enkratna uporaba brez korekcij, večkratna s korekcijami ter trajna uporaba z zveznim vzdrževanjem raznih koncentracij. Pri delovanju kopeli je treba paziti na njeno obremenitev, način mešanja kopeli in predmetov, na temperaturo, dostop zraka, na snovi in materiale, iz katerih je zgrajena naprava, filtracijo, itd. Hitrost nanašanja različnih brez-tokovnih kopeli, ki delujejo v območju temperature 30-95°C, je v mejah od 0,5 - 20  $\mu m/uro$ .

Večina kovin in izolatorjev zahteva za sprožitev netokovne depozicije na svoji površini nek predhoden postopek, ki ga imenujemo aktivacija. Aktivacija je

glede na podlage lahko zelo različna. V glavnem uporabljamo za izolatorske površine kemično aktivacijo (sensaktivacija z raztopinami SnCl<sub>2</sub>-PdCl<sub>2</sub>), za prevodne kontaktno ali tokovno sprožitev ali pa kratko depozicijo iz nestabilnih, zelo aktivnih kopeli /4/.

Zaradi zelo neugodnih kemijskih in elektrokemijskih lastnosti Al je potrebno pred galvanskim ali netokovnim nanašanjem nanesti na površino Zn plast z enkratno ali dvakratno cementacijo iz zelo koncentrirane raztopine Na-cinkata in NaOH v določenem razmerju z dodatki. Cinkatni postopki se zaenkrat najbolj uporabljajo, vendar se uveljavljajo tudi kopeli za direktno nanašanje Ni-P brez predhodnega cinkatnega postopka. Cementacija Zn traja nekaj minut na sobni temperaturi, pri tem nastane okoli 0,1  $\mu m$  debela plast /1,6/.

## OPOZORILO!

**Zaradi strupenih sestavin kopeli, kot so nikljeve soli, fosforjevi in drugi reducenti, kompleksanti in dodatki, izrabljenih kopeli nikakor ne smemo zlivati v odtok, kanalizacijo ali potoke, ampak jih moramo, kot druge galvanske kopeli, prej razstrupiti z razmeroma preprostimi postopki. O tem je dovolj izkušenj, navodil in predpisov, ki so lahko dostopni.**

## 5. Literatura

- /1/ S.Wernick, R.Pinner, The surface treatment and finishing of aluminium and its alloys, R.Draper LTD, Teddington, 1959
- /2/ Metalurški priročnik, Tehniška založba Slovenije, Ljubljana, 1972
- /3/ G.Gavrilov, Chemische (Stromlose) Vernicklung, R.Leuze Ver., Saugau/Württ, 1974
- /4/ S.Jerič, M.Kocmur, Breztokovna depozicija kovin v proizvodnji elektronskih komponent, Zbornik SD-86, Otočec, 1986
- /5/ J.Šeme, Kemijsko nikljanje in trdo kromanje kot dopolnilna ali alternativna postopka, Zbornik - Površinska zaščita, Podnart, 1987
- /6/ M.Plut, Predhodna obdelava ter galvaniziranje aluminija in njegovih zlitin, Zbornik - Površinska zaščita, Podnart, 1987

## NASVETI

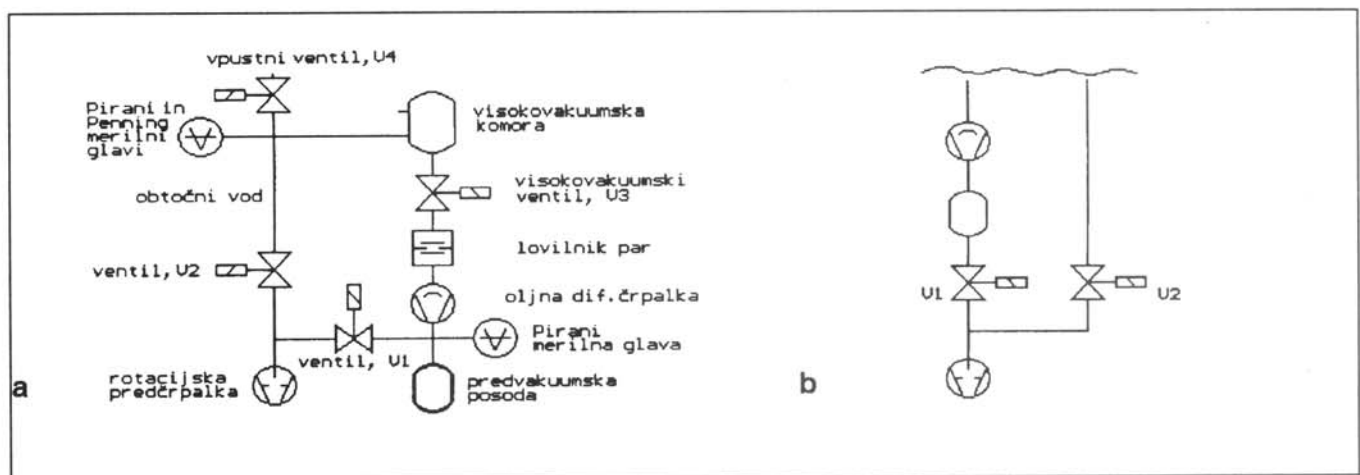
### IZRAČUN PREDVAKUUMSKE POSODE

Nasvet je namenjen vsem, ki gradijo ali pa že imajo visokovakuumske črpalni sistem, ki ima v svojem sestavu difuzijsko črpalko.

Predvakuumsko posodo vstavimo med glavno, tj. difuzijsko črpalko in njeno predčrpalko na dva načina, ki sta prikazana na sliki 1a in 1b. Z uvedbo predvakuumske posode (= predvakuumski recipient, predvakuumski balon), ki je v resnici le (prazna) posoda s

časovno razdobje, v katerem je predvakuumska posoda ločena od predčrpalke (med delovanjem celotnega sistema), imenujemo delovni čas predvakuumske posode  $t_p$ . Ker vsi plini, ki jih črpa difuzijska črpalka, dvigujejo tlak v predvakuumski posodi, lahko zapišemo:

$$Q t_p = V (p_{\max} - p_{\min}) \quad (1)$$



Slika 1a, b: Shematski prikaz visokovakuumskega črpalnega sistema s predvakuumsko posodo.

primerno prostornino in cevni priključkom s standardno prirobnico, zmanjšujemo število črpalk pri industrijskih sistemih (iz dveh na eno samo), predvsem pa lahko (za nekaj časa) odstranimo ropot in vibracije, ki jih povzročata delovanje rotacijske (mehanske) predčrpalke. Le-to lahko med delovanjem (črpanjem) izklopimo za dalj časa, kar je še posebej ugodno v majhnih laboratorijih (zaradi hrupa!) in pri raznih meritvah, kjer so tresljaji nezaželeni. V vseh drugih primerih pa predčrpalko uporabimo za črpanje drugih delov vakuumskega sistema, npr. obtočno črpanje ali občrpavanje (by pass) visokovakuumske komore (sl.1: ventila V1 in V3 zaprta, V2 odprta, črpanje komore ob obtočnemvodu). Prav pri tem daje predvakuumska posoda največ koristi: gretje lahko ostane vključeno in difuzijska črpalka deluje normalno. Zrak oz. pline, ki jih še izčrpava, potiska v predvakuumsko posodo, kjer tlak narasča od  $p_{\min}$ , to je tlaka, ki ga je ustvarila predčrpalka, do  $p_{\max}$ , tj. do bližine kritičnega predtlaka\* difuzijske črpalke.

Predno tlak naraste do  $p_{\max}$ , je treba spet priključiti predčrpalko (zapreti ventil V2 in nato odpreti V1; sl.1), da izčrpamo predvakuumsko posodo do  $p_{\min}$ .

oziroma

$$V = \frac{Q \cdot t}{p_{\max} - p_{\min}} \quad (2)$$

kjer je:

Q celotna količina plinov (mbar l/s), vključno odplinjavanje s sten difuzijske črpalke, predvakuumske posode in priključnih vodov ter pronicanje zraka skozi netesna mesta

$t_p$  delovni čas predvakuumske posode

V prostornina predvakuumske posode, vključno s prostornino priključnih cevi (npr. od izpuha oz. predvakuumskega dela difuzijske črpalke do ventila V1 na sl.1)

\* Kritični predtlak difuzijske črpalke,  $p_x$  je - poenostavljeno rečeno - tisti predtlak, kjer se že začne nestabilno delovanje difuzijske črpalke. Če kritični predtlak še malo naraste, doseže mejo (mejni predtlak), pri kateri difuzijska črpalka popolnoma omaga, tj. preneha delovati. Ker pa je normalno ogrevana (električno gretje je vključeno), olje v črpalki še vedno vre, velike količine oljnih par pa napolnijo prostor nad njenim ustjem in kondenzirajo na stenah vakuumskega sistema ter navadno kaj kmalu onesnažijo (kljub lovilniku par) celotno visokovakuumsko komoro in vse, kar smo v njej "pridelali".

Enačbo 2 lahko uporabljamo, da izračunamo prostornino predvakuumske posode in pri tem upoštevamo praktično pravilo, da je  $p_{\max} = 0.3$  do  $0.8 p_k$ , kjer je  $p_k$ , kot že rečeno v Opombi, še dopustni kritični predtlak difuzijske črpalke.

Če je prevodnost vodov v predvakuumskem delu dovolj velika, lahko najnižji tlak v predvakuumski posodi zapišemo s poenostavljeno enačbo:

$$p_{\min} = \frac{Q}{S_{\xi}} \quad (3)$$

kjer je  $S_{\xi}$  črpalna hitrost predčrpalke pri danem pretoku  $Q$ .

**Zgled.** Praktično je treba določiti prostornino  $V$  predvakuumske posode, ki mora vzdrževati dovolj nizek predtlak toliko časa, dokler rotacijska predčrpalna direktno črpa zrak iz visokovakuumske komore po obtočnem vodu (by pass). Če je ta čas (po izračunu ali dejansko) npr. 4 minute oz. 240 s (Ta čas se da izračunati, vendar tega postopka tu ne bomo razlagali), vzamemo za izračun predvakuumske posode vsaj trikrat daljšega, torej:  $t_p = 240 \times 3 = 720$  s.

Če je npr. celotna količina plinov, ki jo mora sprejeti predvakuumska posoda, kadar je glavni, visokovakuumski ventil  $V_3$  zaprt ( $V_1$  odprt,  $V_2$  zaprt, sl.1),  $Q = 8 \times 10^{-4}$  mbar l/s, pri čemer lahko vzdržuje predčrpalna ravnotežni tlak  $p_{\min} = 6 \times 10^{-2}$  mbar. Vzemimo še, da je  $p_{\max} = 0.5 p_k$ . Ker je kritični predtlak za tristopenjske oljne difuzijske črpalke navadno blizu  $2 \times 10^{-1}$  mbar, je torej  $p_{\max} = 0.5 \times 2 \cdot 10^{-1} = 1 \cdot 10^{-1}$  mbar.

Če zdaj vse te podatke vstavimo v enačbo 2, dobimo:

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q \cdot t_p}{p_{\max} - p_{\min}} = \frac{8 \times 10^{-4} \times 720}{1 \times 10^{-1} - 6 \cdot 10^{-2}} = \\ &= \frac{0.0008 \times 720}{0.1 - 0.06} = \frac{0.576}{0.04} = 14.4 \text{ l} \approx 15 \text{ l} \end{aligned}$$

**Sklep.** Če imamo v sistem vključeno predvakuumsko posodo prostornine okoli 15 litrov, potem lahko difuzijska črpalna samostojno in normalno deluje, brez predčrpalke, 12 minut (= 720 s), če je celotni pretok npr.  $8 \cdot 10^{-4}$  mbar l/s.

V praksi se bo ta čas, posebno pri proizvodnih napravah, s časom zmanjševal, ker bo naraščal pretok  $Q$ , predvsem zaradi povečevanja netesnosti visokovakuumskega ventila  $V_3$  in s tem vdiranja večjih količin zraka iz komore, kadar je le-ta na višjem tlaku (npr. v času črpanja od atmosferskega tlaka navzdol, po obtočnem vodu). Vzrok za povečevanje netesnosti visokovakuumskega ventila nastane navadno zato, ker se na tesnilno površino ali pod njo prilepijo trdni delci, ki zaidejo iz visokovakuumske komore, če ta ni vestno očiščena (npr. pri naparevalnikih).

Zaradi zmanjšanja stroškov pri gradnji visokovakuumskih sistemov nekateri izdelovalci "izpuščajo" predvakuumsko posodo, češ da je naprava avtomatizirana: čim tlak na predvakuumski strani difuzijske črpalke naraste, se črpanje z rotacijsko črpalno takoj preključi iz visokovakuumske komore na difuzijsko črpalno, čez nekaj deset sekund, ko je dosežen dovolj nizek predtlak, pa spet na komoro. To preklapanje oz. "prepevanje" ventilov je ne samo moteče za operaterja, ampak prevsem podaljšuje čas črpanja po "by pass" vodu in s tem celotni tehnološki postopek, če odmislimo kontaminacijo sistema in komore s povratnimi oljnimi parami, pri čemer vas tudi najboljši lovnik par ne more rešiti.

**Nasvet.** Če že imate visokovakuumski sistem srednje velikosti (tj. z difuzijsko črpalno s črpalno zmogljivostjo do 4000 l/s) brez predvakuumske posode, potem jo prigradite! Kupite plinsko jeklenko (za butan-propan), tisto za pet ali deset kilogramov plina, odvijte ventil in uvijte (tesnitev s teflonskim trakom!) nastavek s standardno vakuumsko prirobnico ali cevni nastavkom za priključek na gumijasto cev, ki ga morate seveda izdelati. To je najcenejša možna izvedba, sicer morate dati v izdelavo valjasto posodo s priključkom, kar je približno trikrat dražje.

V vsakem primeru velja, da se predvakuumski posodi ni odreči, če želimo, da bo visokovakuumski sistem dolgo in pridno služil svojemu namenu.

dr. Jože Gasperič  
Inštitut "Jožef Stefan"  
Jamova 39, 61111 Ljubljana



---



---

## DRUŠTVENE NOVICE

---



---

### DRUŠTVO ZA VAKUUMSKO TEHNIKO SLOVENIJE SPREJETO V MEDNARODNO ZVEZO IUVSTA

Zveza društev za vakuumsko tehniko Jugoslavije (JUVAK) je združevala tri republiška društva iz: Slovenije, Hrvaške in Srbije. Zaradi aktivnosti slovenskih vakuumistov je bila to ena od redkih jugoslovanskih organizacij, ki je imela svoj sedež v Ljubljani, večina članov izvršilnega odbora pa je bila iz Slovenije. JUVAK je bil včlanjen v Mednarodno zvezo za vakuumsko znanost, tehniko in aplikacije (IUVSTA) vse od njene ustanovitve, leta 1959, v Namurju, Belgija, pri kateri so slovenski vakuumisti tudi sodelovali.

Že po razglasitvi neodvisne in suverene države Slovenije 25. junija 1991 je bilo povsem jasno, da se bodo vsa slovenska društva morala posebej samostojno vključevati v mednarodne zveze in organizacije. Mednarodna zveza vakuumistov, IUVSTA, ima praviloma seje izvršilnega odbora dvakrat na leto. Prva seja po zgodovinskih geografsko-političnih spremembah na teritoriju bivše Jugoslavije je bila tako od 28. do 30. septembra 1991 na Dunaju, ki sem se je udeležil (A. Zalar) kot predstavnik JUVAK v izvršilnem odboru IUVSTA. Svojo prisotnost na tej seji sem izkoristil tudi za zbiranje vseh potrebnih podatkov in za pripravo materialov, ki so potrebni za vključitev novih članov v IUVSTA, v tem primeru bivših republiških društev, ki so tvorila JUVAK. Vsi razgovori so bili še preliminarni, ker ta problematika ni bila na dnevnem redu dunajske seje. Pogoj za začetek procedure za vključitev DVT Slovenije v IUVSTA je bilo mednarodno priznanje Slovenije, nato pa prošnja in priprava vsega potrebnega materiala, ki je po statutu IUVSTA potreben za vstop v to mednarodno organizacijo. Vse potrebne napotke sta nam dala Prof. J. de Segovia (Španija), predsednik IUVSTA in Dr. J. Colligon (Anglija), generalni sekretar IUVSTA, informacije pa smo posredovali tudi DVT Hrvaške in DVT Srbije.

Medtem, ko so slovenski vakuumisti pod predsedstvom A. Preglja in hrvaški pod vodstvom njihovega predsednika dr. H. Zorca takoj začeli s pripravami za vključitev obeh društev v IUVSTA, pa je predsednik DVT Srbije, Prof. T. Nenadović avtorja tega sestavka obtožil razbijaštva JUVAK. Obenem se je direktno povezal s predsedstvom IUVSTA in razglasil DVT Srbije za naslednika JUVAK. Ker predstavniki srbskega društva niso mogli, pa tudi ne želeli, priti na zadnjo sejo IO JUVAK, ki naj bi bila v začetku 1992 v Ljubljani, DVT Slovenije ni preostalo drugega kot, da je na svoji skupščini 6. marca 1992 uradno razglasilo izstop iz

JUVAK. Enako so napravili tudi hrvaški vakuumisti in s tem je JUVAK, ki je bil zveza večih republiških društev, tudi dejansko prenehal obstojati.

Na 66. seji izvršilnega odbora IUVSTA, od 8. do 10.5.1992 v Juan les Pins, Francija, mi je bila kot predstavniku JUVAK že na začetku odvzeta pravica glasovanja, tako da sem imel samo še status opazovalca, lahko pa sem zastopal DVT Slovenije in DVT Hrvaške pri proceduri za včlanjanja v to mednarodno organizacijo vakuumistov.

Po ločeni in nadrobni predstavitvi obeh društev sta bili s tajnim glasovanjem slovensko in hrvaško društvo sprejeti v IUVSTA. Do generalne skupščine v Haagu, oktobra 1992 imata status opazovalca, nato pa bosta postala redna člana. Kot zanimivost naj navedem, da je bila na isti seji obravnavana tudi vloga ruskih vakuumistov, vendar zaradi nekaterih nejasnosti in medsebojnih nesporazumov med starimi in novimi strukturami ni bila ugodno rešena.

Status DVT Srbije oziroma vakuumskega društva nove zvezne države Jugoslavije, ki pa naj bi se formalno šele ustanovilo, bo podrobneje obravnavan na naslednji seji izvršilnega odbora IUVSTA, oktobra 1992 v Haagu na Nizozemskem.

Vključitev DVT Slovenije v mednarodno zvezo IUVSTA je za vakuumiste podobnega pomena, kot je bila za slovenske športnike njihova prisotnost v olimpijskem komiteju. Omogočeno nam je sodelovanje v izvršilnem odboru IUVSTA, v vseh njenih strokovnih sekcijah in na pomembnih mednarodnih strokovnih srečanjih, omogočeni so osebni stiki z vodilnimi strokovnjaki in hiter dostop do pomembnih strokovnih informacij in materialov, potrebnih za izobraževanje novih generacij vakuumistov. Včlanjenost v IUVSTA obvezuje nacionalna društva in obenem vzpodbuja njihovo aktivnost. Večina članic IUVSTA prihaja iz industrijsko najbolj razvitih držav sveta. Slovenija ima z dolgo tradicijo na vakuumskem področju možnost, da tudi na tem področju ohranja stik z razvitim svetom, kar je še posebej pomembno, ker sta vakuumska znanost in tehnika osnova modernih tehnologij, za katere je praviloma potreben majhen vložek materiala in energije.

**Dr. Anton Zalar**

---



---

## DRUŠTVENE NOVICE

---



---

### Strokovna ekskurzija v ISKRO, Center za elektrooptiko, 21.5.1992

Pomembna dejavnost DVTS je izobraževanje. Sem spadajo tečaji (osnove vakuumске tehnike, vzdrževanje vakuumskih naprav, tanke plasti, vakuumska higiena...), strokovna predavanja in ekskurzije. Če pogledamo več let nazaj, se poleg tečajev spomnimo naslednjih akcij: dvakrat seminar s predavanji o novih izdelkih tovarne Leybold-Heraeus (1982 in 86), ekskurzije v tujino, ko so bili časi ekonomsko ugodnejši (Edwards, Anglija, 1987; Balzers, Lichtenstein, 1986; Leybold-Heraeus, ZRN, 1984), dvakrat ogled tovarne Saturnus (naparevanje žarometov), 1987, 1991 ter predstavitev delovanja vakuumске peči na Inštitutu za materiale in tehnologije ob priložnosti letošnjega občnega zbora društva. Z enakim namenom: predstaviti našemu članstvu zanimive tehnologije in dosežke uspešne delovne organizacije, smo se dogovorili z vodstvom Iskre Elektrooptike za ogled in predstavitev njihove dejavnosti. Ta samosvoja Iskrina tovarna je začela kot majhen kolektiv, ki je skupaj z dr. Krevljem v Jugoslaviji oral ledino na področju laserjev ter dosegel uspehe in afirmacijo ne le doma temveč tudi v tujini. Kasneje so se usmerili še na druga področja in sedaj sta poleg laserjev njihovi najpomembnejši usmeritvi: tehnologija in proizvodnja steklenih optičnih vlaken ter termovizija. Omenjena področja vključujejo: fiziko, kemijo, finomehaniko, elektroniko, analizo površin, računalništvo, optiko, tehnologije obdelave stekla, nove materiale, kontrolo in zagotavljanje kakovosti in ne nazadnje vakuumsko tehniko, ki že dolga leta ustvarja močno vez med DVTS in sodelavci Elektrooptike. Sedaj je pri njih skupno zaposlenih okrog 450, od tega pribl. 30% z visoko izobrazbo.

21. maja se nas je pred vhodom v podjetje zbralo blizu 40 tehničnih radovednežev, gostitelji so nas najprej povabili v malo dvorano, kjer nam je direk-

torica dr. Alenka Rožaj-Brvarjeva v kratkem nagovoru predstavila njihovo dejavnost, nato pa so sledila predavanja in video filmi o treh strokovnih področjih predvidenih v programu obiska:

- O optičnih vlaknih nam je govoril g. Marko Kralj, dipl. fiz. Tovarna je ena izmed enajstih na svetu, ki ima svoje tehnološko znanje za proizvodnjo optičnih vlaken in ki uspešno izvaža ter opremlja predvsem PTT centre s tovrstnimi povezavami.
- Termovizijo nam je predstavil g. Bojan Težak, dipl.ing., ki je med izvajanjem z demonstracijsko aparaturo tudi snemal nas poslušalce. Naprava, opremljena z računalnikom, je koncipirana tako, da lahko rabi za laboratorijske meritve ter za specialna dela in storitve na terenu oz. v različnih delovnih organizacijah.
- O optičnih tankih plasteh nam je mnogo zanimivega povedal Andrej Demšar, dipl.fiz. Z optičnimi plastmi so se pričeli ukvarjati že pri izdelavi laserjev, potrebne pa so sedaj še pri termovizijski optiki, merilnih instrumentih itd. Največji dosežek so večplastni filtri, antirefleksne plasti in zrcala. Nanašajo jih z vakuumskim naparevanjem po svojih receptih in tehnologijah. Po krajših vmesnih diskusijah so nas gostoljubni "domačini" povabili še na ogled laboratorijev oziroma proizvodnih prostorov, kjer kot rezultat njihovega znanja in tehnologij nastajajo "high-tech" izdelki za kupce doma in predvsem v tujini. V pogovoru med predstavitev posameznih strokovnih zanimivosti je vsakdo lahko slišal še marsikaj zanimivega. Ogled se je zato potegnil v pozno popoldne, kar dokazuje, da je bil potreben, dobro pripravljen in zato uspešen. Hvala kolegom iz Elektrooptike in za konec še misel, da bi bilo dobro v prihodnjem letu ekskurzijo ponoviti.

**Andrej Pregelj, predsednik DVTS**

---



---

### Srečanje elektrotehniških društev Slovenije

---

Vabilu na srečanje elektrotehniških društev Slovenije, ki ga je organiziralo društvo iz Zasavja, sta se kot predstavnika DVTS udeležila B. Praček, dipl.ing. in g. L. Burgar. Program srečanja je vseboval poleg obiskov delovnih organizacij še seznanjanje z ekološkimi problemi področja ter spoznavanje bogate kulturne dediščine tega področja.

Začeli smo z obiskom tovarne Elektroelement v Izlahkah, ki je uspešna organizacija s širokim spektrom proizvodov na področju tokovne in napetostne zaščite v omrežju. Kar 70% proizvodnje izvozijo v Nemčijo. Popoldne smo preživeli na gradu Bogenšperk, kjer so nam predstavili program svetovalne organizacije Technova iz Gradca. Seznanjeni smo bili z

njihovo ponudbo strokovne pomoči ter možnostjo vključevanja in sodelovanja slovenskih organizacij in ustanov na mednarodnem trgu. Zvečer smo se na okrogli mizi pogovarjali o delu in programih prisotnih društev EZS. Drugi dan smo obiskali Termoelektrarno Trbovlje, ki porablja premogov prah iz zasavskih premogovnikov in je tu največji onesnaževalec okolja. Vodstvo elektrarne nas je seznanilo z naporji za modernizacijo proizvodnje, boljše zaščito okolja ter s kontrolo onesnaževanja. Ogledali smo si tudi proizvodnjo steklarne v Hrastniku.

Srečanje je bilo zelo prijetno, zato se zahvaljujemo organizatorju za vabilo in dobro organizacijo.

**B.Praček in L.Burgar**

---



---

## IZOBRAŽEVANJE - jesen 1992

---



---

Vse uporabnike vakuumske tehnike obveščamo, da sta za letošnjo jesen planirana naslednja dva strokovno izobraževalna tečaja:

### VZDRŽEVANJE VAKUUMSKIH NAPRAV - 22. in 21. oktobra 1992

Na njem bo obravnavana predvsem tematika, ki jo srečujemo v tehniki grobega in srednjega vakuuma, to je: delovanje, vzdrževanje in popravila rotacijskih črpalk, pregled in uporaba različnih črpalk, ventilov in drugih elementov, meritve vakuuma, hermetičnost in odkrivanje netesnosti v vakuumskih sistemih, materiali za popravila, tehnike čiščenja in spajanja, skupno 16 ur, od tega tretjina praktičnih prikazov in vaj. Cena tečaja je 14.000 SLT (280 DEM). Vsak tečajnik prejme tudi brošuro: "Vzdrževanje vakuumskih naprav" in izkaz o opravljenem tečaju.

### OSNOVE VAKUUMSKE TEHNIKE - 3., 4. in 5. novembra 1992

Ta tečaj je popolnejši od prvega, obravnava podrobneje vsa prej omenjena področja, poleg tega pa še: pomen in razvoj vakuumske tehnike, fizikalne osnove, črpalke za visoki vakuum, tankoplastne in druge vakuumske tehnologije, čiste postopke, analize površin ter doziranje, čiščenje in preiskave plinov - skupno z vajami in ogledom Inštituta 20 ur. Namenjen je tako vzdrževalcem in projektantom vakuumskih naprav kot tudi raziskovalcem, ki pri svojem razvojnem ali študijskem delu potrebujejo vakuumske pogoje. Cena tečaja je 12.500 SLT (250 DEM). Udeleženci prejmejo zbornik predavanj: "Osnove vakuumske tehnike" in dokument o opravljenem tečaju.

Oba tečaja se pričneta v torek ob 8.00 uri v knjižnici Inštituta za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, Ljubljana. Prosimo interesente, da se informativno javijo čimprej, za dokončno potrdilo pa velja kopija položnice o plačilu - najkasneje nekaj dni pred pričetkom tečaja na naslov: Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, Teslova 30, 61111 Ljubljana (štev. ŽR: 50101-678-52240). Prijave sprejema organizacijski odbor (Koller, Spruk, Drab, Nemanič), ki daje tudi vse dodatne informacije (tel. 061 263-461).

---



---

## Ali bo majski tečaj ostal edini v letu 1992

V dneh 19. in 20. maja letos je potekal na Inštitutu za elektorniko in vakuumsko tehniko izobraževalni tečaj za vzdrževalce vakuumske opreme. Tečajniki - skupno 8 - so prišli iz naslednjih delovnih organizacij: KLI Logatec, Univerzitetni klinični center Ljubljana, IEVT Ljubljana, Železarna Ravne in Mikro Polo Maribor.

Obravnavana tematika je bila standardna: spoznavanje črpalk za grobi in srednji vakuum ter njihov vzdrževanje in popravila, pa meritve tlakov, iskanje netesnosti, materiali, tehnike čiščenja in spajanja. Udeležencema iz Maribora smo glede na željo vodstva Mikro Polo - podjetja, ki se ukvarja z laboratorijsko opremo, pripravili malo prilagojen samo enodnevni program seznanjanja z vakuumsko tehniko. Tako onadva kot tudi ostali udeleženci so bili z izvedbo zelo zadovoljni.

Že nekaj let opažamo, da število udeležencev vakuumskih tečajev, kljub nezmanjšani kvaliteti, upada. Temu je vzrok upadanje tovrstnih visokih tehnologij v našem ožjem in širšem okolju (ukinitvev Iskre Mikroelektronike, razpad Jugoslavije itd.) in dejstvo, da je naš Osnovni tečaj v zadnjih 10 letih obiskalo že nad 500 slušateljev, nekateri celo dvakrat. Glede na število prebivalstva in gospodarsko strukturo v Sloveniji je to verjetno že večji del vseh, ki jim je snov - podana na tem tečaju - potrebna. Zato ni čudno, da je za novi tečaj "Vzdrževanje vakuumske opreme", ki smo ga lani organizirali prvič, bilo toliko zanimanja; ponovitev je doživel že dvakrat, medtem ko na zadnji razpis za "Osnove" ni bilo prijav. Opisana dejstva nakazujejo, da je

prav, če DVTS razširi svojo izobraževalno dejavnost z novimi specializiranimi seminarji in učnimi delavnicami, ki bi imeli vsebino prilagojeno posameznih tehničnim panogam. Člani sekcije za izobraževanje to že dalj časa vemo in v to smer tudi delujemo. Po vzorcu tečajev za Mikro Polo letos in za Gorenje pred leti, bodo novi tečaji najverjetneje krajši in bi jih v celoti izvedli le trije ali štirje predavatelji - strokovnjaki za določeno področje. Le-ti bi v dogovoru z DVTS pripravili koncept vsebine in si pripravili najnujnejše gradivo za predavanje (diagrame, tabele, miselne vzorce, risbe in zapiske), kar bi služilo kot osnova za eventuelno kasnejšo izdajo skript; slušatelji pa bi si razlaganje zapisovali in kot pismeni material prejeli knjigo "Osnove vakuumske tehnike". Nove teme za tečaje, o katerih razmišljamo ali pa so že delno v pripravi, so: leak detekcija, vakuumska tehnika za srednje šole, analize in karakterizacija površin, termična obdelava v vakuumu in zaščitni atmosferi itd.

Kot akcija za oživitev tečajniške dejavnosti, ki ima poleg izobraževalnega motiva za društvo vsa leta velik pomen tudi zato, ker je edini vir dohodkov, smo na zadnjem sestanku I.O. sklenili sledeče: izdali bomo nov razpis v prikupnejši obliki - skupen za vse tečaje, ki jih nudimo, ter ga razposlali na dopolnjen spisek naslovov podjetij za termine v letošnji jeseni.

**Andrej Pregelj**  
predsednik DVTS

---



---

## OBVESTILA

---



---

### Dvajseta konferenca o mikroelektroniki (MIEL-92) in osemindvajseti simpozij o elektronskih sestavnih delih in materialih (SD-92), Portorož, 30. sept. - 2. okt. 1992

Mednarodni konferenci MIEL in SD organizira letos slovensko društvo za mikroelektroniko, elektronske naprave in materiale (MIDEM) skupaj. Na konferenci bo sodelovalo več tujih predavateljev. Program konferenc bo obsegal naslednje teme:

- novejša procesna tehnika pri izdelavi monolitnih in hibridnih vezij
- oblikovanje naprav in vezij
- modeliranje procesov in naprav
- fizika polprevodnikov
- novi elektronski materiali in njihova uporaba
- znanost in tehnologije o elektronskih materialih
- optoelektronika

Delovni jezik bo angleški. Prispevki, uvrščeni v program, bodo objavljeni v zborniku.

**Skraini rok za oddajo prispevkov je 1. september.**

Več informacij dobite pri sekretarki konference na naslovu:

Jasminka Čupurdija  
Francevljev prilaz 9  
41010 Zagreb  
tel/fax: (041) 686 623

Prispevke pa pošljite programskemu in organizacijskemu odboru na naslov:

MIDEM  
Dunajska 10  
61000 Ljubljana  
tel.: (061) 312 898, fax.: (061) 319 170

---



---

## Navodila avtorjem za pripravo člankov za objavo

---

### 1 Oblikovanje vsebine članka

Vsak članek mora vsebovati:

- naslov članka
- polna imena avtorjev, njihov akademski oz. strokovni naziv in naslov
- naslov članka v angleščini
- povzetka v slovenščini in angleščini
- besedilo članka, ki naj bo razdeljeno na sekcije
- reference v besedilu članka naj bodo označene z zaporednimi številkami v poševnih oklepajih (npr. /1/).
- Seznam literature naj bo na koncu članka. Način citiranja članka: ime (z inicialkami) in priimek avtorja, ime revije, letnik, leto, strani. Način citiranja knjige: ime (z inicialkami) in priimek avtorja, naslov knjige, založnik in kraj izdaje, leto, poglavje ali strani.
- enačbe v besedilu članka naj bodo označene z zaporednimi številkami v okroglih oklepajih (npr. (1))

### 2 Slike

Pri pripravi slik upoštevajte naslednje zahteve:

- slike naj bodo na posebnih listih papirja, z označeno številko ilustracije
- originali naj bodo ostre slike oz. diagrami
- vse oznake in besedila naj bodo zadosti veliki, da omogočijo pomanjšanje na 8.4 cm. Izjemoma lahko slika sega tudi čez obe koloni besedila (17.8 cm).

### 3 Pisanje besedil na računalniku

Avtorje naprošamo, da nam poleg besedila na papirju pošljejo disketo s tekstom, napisanim z enim od standardnih urejevalcev teksta (npr. Wordstar, Word, Wordperfect, Multimate, ChiWriter) in v obliki ASCII zapisa. Za končno oblikovanje tekstov uporabljamo Venturo. Avtorje naprošamo, da pri pisanju na računalnik upoštevajo naslednja navodila, ki zelo olajšajo naše nadaljnje delo pri pripravi za tisk:

- med besedami naj bo samo en presledek,
- ne puščajte praznega prostora pred ločili (pikami, vejicami, dvopičji),
- puščajte prazen prostor za vsemi ločili (pikami, vejicami, dvopičji), razen za decimalno piko,
- besedilo na disketi naj bo brez kakršnihkoli ukazov za formatiranje; z ukazom za novo vrsto "se gre" samo pri novem odstavku ali naslovu
- enačbe vpišemo na levi rob, številko enačbe pa v naslednjo vrsto, prav tako na levi rob; pri enačbah, ki imajo grške črke ali druge znake je najbolje v izpisanem tekstu izpisati enačbo z roko (čitljivo!)
- v tekstu na disketi naj ne bo podčrtanih besed
- avtorjeve zahteve glede oblikovanja teksta naj bodo razvidne iz priloženega teksta, izpisanega na papir.

**Urednik**