

# VAKUUMIST

2

marec  
1982

GLASILO DRUŠTVA ZA VAKUUMSKO TEHNIKO SLOVENIJE

## VSEBINA

- 1 Oktoberski tečaj vakuumskega društva
  - 2 Delovanje društva v letu 1981
  - 3 Merilniki vakuumu
  - 4 Uvod v dielektrične tanke plasti
  - 5 Augerjeva spektrometrija
  - 6 Rotacijske črpalke - povzetek vaj s tečaja
  - 7 Izdelava vakuumske trde spajke Ag-Cu
  - 8 Specializacija na področju vakuumske tehnike
  - 9 Seminar o vakuumskih tehnologijah-Leybold Heraeus
  - 10 Kratke novice
  - 11 Koledar srečanj, prireditve v letu 1982
- 

## OKTOBERSKI TEČAJ VAKUUMSKEGA DRUŠTVA

Lani, 21. 10. se je končal drugi tečaj iz osnov vakuumske tehnike v letu 1981. Vsebinsko je bil enak kot januarški. Potekal je tri dni v knjižnici IEVT in udeležilo se ga je 27 tečajnikov. Tečajnina je bila 5.000,- za udeležence iz organizacij in 150,- din za študente. Veselo preseneča dejstvo, da je po prvem tečaju, ko je bilo poslušalcev 38, tudi drugi pokazal tako lepo udeležbo, čeprav obveščanju nismo posvetili toliko pozornosti kot pri prvem. Obvestila so bila poslana le organizacijam, ki so pokazale zanimanje že za januarški tečaj, dodatno pa je

bil sedaj še objavljen razpis: dvakrat v "Delu" in enkrat v glasilu ISKRA. Ker so bili tokrat s plakati obveščeni še vsi tehnični instituti in fakultete, smo pričakovali večji obisk le s strani študentov ter predavateljev; toda pokazalo se je drugače. Udeleženci so bili iz naslednjih delovnih organizacij:

Iskra- Kondenzatorji, Semič:	5	tečajnikov
Železarne, Jesenice	1	"
Tovarna dušika, Ruše	1	"
HP Talis, Maribor	1	"

Iskra-Polprevodniki, Trbovlje	2	"	IEVT, Ljubljana	2	"
Lek, Ljubljana	1	"	IEVT, štipendisti	4	"
Saturnus, Ljubljana	2	"			
Zlatorog, Maribor	1	"	Društvo namerava tečaj : "Osnove vakuumske tehnike" ponoviti tudi v letošnjem letu.		
Iskra, Železniki	2	"			
Iskra-Upori, Šentjernej	1	"			
LTH, Škofja Loka	2	"			Peter Pavli, dipl.ing.
RIZ-Komel, Zagreb	2	"			IEVT, Ljubljana

#### PREGLED DELOVANJA DRUŠTVA IN POMEMBNIH DOGODKOV V LETU 1981

12.-14. jan. - tečaj "Osnove vakuumske tehnike"; 38 udeležencev; dohodki	zala velik del prizadevanj društva in zato se tudi spremeni zgornja skopa slika delovanja. Naj naštejemo nekaj takih še odprtih torišč:
4. februar - 6. seja I.O.	- pričelo se je prevajanje tekstov k dia- pozitivom IUVSTA, ki ga člani društva opravljajo brezplačno;
4. marec - 7. seja I.O.	- pričelo se je zbiranje materiala in ekipe za pripravo materiala za tečaj "Vakuumske tanke plasti";
začetek apr. - izšla je naša prva knjiga: Zbornik predavanj "Osnove vakuumske tehnike". Od 500 izvodov jih je prodanih že več kot 300 kosov; dohodki - in veliko stroškov	- na IEVT je društvo poskušalo dobiti malo sobico za svojo pisarno; odobren smo dobili kot v knjižnici, vendar prostor ni zaživel, ker je veliko društvenega materiala in arhiva, ki ga tja ne moremo prenesti;
14. aprila - 8. seja I.O.	- pripravljati smo pričeli samoupravni sporazum o združevanju sredstev med društvom in posameznimi delovnimi organizacijami. Dodelati je potrebno še spisek uslug, ki jih društvo lahko nudi, potem pa iti v razgovore. To naj bi postal poleg tečajev pomemben vir dohodka za društvo, ki sicer ne dobiva nobenih dotacij.
19. maja - 9. seja I.O.	- pričeli smo evidentirati člane za novi I.O., kajti po statutu letos sedanjemu I.O. poteče mandat. Želimo, da bi v novem I.O. redneje sodelovalo več članov iz različnih delovnih in raziskovalnih organizacij.
2. junija - 10. razširjena seja I.O.; mali občni zbor	
3. junija - Odločba republiškega sekretariata za notranje zadeve SRS o vpisu JUVAK-a v register društev	
29. septembra - natiskana je 1. številka društvenega glasila "Vakuumist" - 200 izvodov	
6. oktobra - 1. seja I.O. JUVAK-a	
14. oktobra - 11. seja I.O.	
19., 20. in 21. oktober - ponovitev tečaja: Osnove vakuumske tehnike; 27 udeležencev; dohodki	
17. december - 12. seja I.O.	
Vsebinska sej I.O. društva je bila obravnavanje tekočih akcij, ki so v pregledu naštetja in pa druga problematika, ki se sicer ni pokazala v obliki nekega dosežka, vendar je tudi ona ve-	Andrej Pregelj, dipl. ing. IEVT, Ljubljana

#### MERILNIKI VAKUUMA

Podali bomo kratek pregled bolj navadnih in splošno razširjenih vakuumetrov ali priprav za merjenje tlaka razredčenih plinov od atmosferskega tlaka navzdol. Tu nas zanima celotni (totalni) tlak vseh nastopajočih plinov

in par. Opustili bomo obravnavo merilnikov ultra visokega vakuuma in merilnikov vrhunske natančnosti.

Za zelo široko področje tlakov imamo na razpo-

lago različne merilne principe. Vsaka vrsta merilnikov je s specifičnimi fizikalnimi in konstrukcijskimi razlogi omejena navzgor in navzdol. S posameznim merilnikom navadno ne moremo zajeti več kot nekaj dekad tlačne skale. Le višje tlake, predvsem v področju grobega vakuuma, je mogoče meriti direktno na mehanski način, z uravnoteženjem pritiskanja plina na premično trdno ali tekočo površino. Taka meritve je dokaj zanesljiva in neodvisna od vrste plina. Proti nižjim tlakom pa nam preostane le indirektno merjenje, ki se opira na kako od tlaka odvisno lastnost plina, npr. toplotno prevodnost ali ionizacijo. Točneje velja, da so take lastnosti odvisne od številске gostote plinskih molekul, ta pa je v eno-  
umni zvezi s tlakom le pri termodinamičnem ravnovesju, ki ga že sam merilnik bolj ali manj zmoti. Razen od gostote pa so odvisne tudi od vrste plina, npr. od molekularne mase. Zato bo tak merilnik kazal prav le tlak tistega plina, za katerega je umerjen. To je navadno zrak ali dušik, toda v vakuumu lahko nastopajo tudi drugi plini in pare. Poleg tega so taki merilniki obremenjeni z različnimi neizogibnimi motilnimi efekti. Zato je točnost meritev vakuuma v primerjavi z drugimi meritvami razmeroma majhna in napaka že v področju srednjega in visokega vakuuma kaj hitro preseže 50%, če nismo posebno skrbni.

Pri merjenju vakuuma je treba med drugim paziti, kje in kako je merilnik priključen. Upoštevati moramo, da v dinamičnem sistemu tlak pada vzdolž voda proti črpalki, zato naj bo merilnik čim bližje mestu, kjer nas tlak zanima. Merilniki, ki se segrejejo, lahko oddajajo znantne količine plina in je tedaj tlak v njih višji. Ionizacijski merilniki lahko vežejo plin na svoje površine ali pa mu spreminjajo sestavo. Zato naj bo priključni vod čim krajši in čim širši. Mnogi merilniki so občutljivi na nečistoče, a tudi sicer se jim lahko kalibracija spreminja v teku uporabe. Zato jih je treba čistiti in občasno kontrolirati.

Pri izbiri merilnika za določeno rabo se je treba med drugim ozirati na obratovalne razmere. V laboratoriju lahko uporabljamo bolj občutljive in lomljive naprave, v industriji pa se zahtevajo bolj robustne. Oglejmo si zdaj po vrsti principe in lastnosti važnejših merilnikov!

1.) Vakuometri s prožnim elementom. Prožni element se vdaja sorazmerno pritisku plina in skala je praviloma linearna. Kazanje ni odvisno od vrste plina, napravo pa je treba občasno kontrolirati na osnovi primerja-

ve s kakim drugim vakuummetrom.

Najbolj enostavni in robustni so manometri na Bourdonovo cev, ki so širše znani za merjenje nadtlakov. Če se tlak v cevi zmanjša, jo zunanji (atmosferski) tlak močneje zviže, premik se pa prek sistema vzvodov prenaša na kazalec. Najobčutlivejše izvedbe segajo do okrog 1 mbar. Ker je kasanje odvisno tudi od atmosferskega tlaka, je točnost meritve težko boljša od  $\pm 10$  mbar.

Pri različnih membranskih manometrih je kazalec povezan z majhnimi premiki kovinske membrane. Če je na drugi strani membrane atmosfera, je kazanje tudi odvisno od zunanjšega tlaka. Drugače je pri izvedbah, pri katerih drugo stran membrane hermetično zapremo in za stalno izčrpamo, ali pri tistih, ki imajo membrano oblikovano v zaprto prožno kapsulo, od vseh strani izpostavljeno merjenemu tlaku. Take kapsule poznamo pri aneroidnih barometrih, le da so pri njih izpostavljene ozračju. Če ima tak instrument končni odklon pri 1 bar bomo z njim komaj še razbrali tlak 10 mbar. Najbolj občutljive izvedbe začno veliko nižje in segajo do 0,1 mbar, so pa hkrati tudi bolj občutljive na sonke.

Pri nekaterih membranskih vakuummetrih se premiki membrane zaznavajo električno, npr. na osnovi spremembe kapacitivnosti med membrano in fiksno ploščo ob njej. Tako je mogoče občutljivost zelo povečati in v skrajnem primeru meriti celo tlake okrog  $10^{-5}$  mbar. Potrebni pa so posebni ukrepi, s katerimi eliminiramo vpliv temperaturnih sprememb na reakcijo vakuummetra. Cena takih naprav je lahko zelo visoka.

2.) Tekočinski vakuummetri. Najbolj znane so steklene cevi, ukrivljene v obliki črke U in polnjene z živim srebrom ali oljem. Višinska razlika nivojev na obeh straneh je absolutno merilo za tlačno razliko. Pri uporabi Hg pomeni vsak mm staro tlačno enoto torr, ki jo pa moramo po novem preračunati v zakonite enote (1 mbar = 0,75 torr). Pri olju je treba poznati gostoto, ki je veliko manjša, višinske razlike pa so toliko večje. Voda za vuumske meritve ne pride v poštev, ker preveč izpareva.

Takih vakuumetrov ni treba umerjati, skrbeti pa je treba za čistočo. Napaka odčitavanja zaradi kapilarnih sil dosega navadno več mm. Bistveno se da zmanjšati le z uporabo širokih cevi (po več cm). To za

širšo rabo ne pride v poštev, važno pa je, če hočemo tovrstni vakuummeter uporabiti kot normalo za umerjanje drugih.

Kompresijski vakuummetri tudi uporabljajo Hg, a so namenjeni za znatno nižje tlake. Pri njih z dviganjem nivoja Hg zajamemo v bučo določen volumen plina pri tlaku, ki ga želimo izmeriti, nato pa ta plin stisnemo v kapilaro. Tam se tlak plina tolikokrat poveča, kolikokrat se volumen zmanjša. Močno povečan tlak nato zlahka odčitamo na način, kot je pri navadnem U manometru, namreč iz razlike nivojev v merilni in dodatni primerjalni kapilari, priključeni na vakuum. Iz tega in iz kompresijskega razmerja izpeljemo iskani tlak.

Prednost teh merilnikov je, da kažejo neodvisno od vrste plina in da so absolutni (t.j. jih ni treba umerjati) v tlačnem področju, kjer navadno nimamo drugih absolutnih vakuummetrov. Zahtevajo pa zelo pazljivo ravnanje, so občutljivi na onečiščenje, ne omogočajo zveznega merjenja. Nekateri se pri kompresiji kondenzirajo in jih tedaj merilnik ne upošteva.

Večje naprave te vrste se imenujejo po McLeodu in lahko sežejo do  $10^{-5}$  mbar. Volumen buče je zaradi teže Hg omejen, kapilare pa tudi ne gre preveč ožiti zaradi nepravilnosti kapilarne depresije. Ta povzroča največ preglavic, saj že pri premeru 1 mm fluktira za več kot  $\pm 1$  mm in s tem postavlja principialno omejitev točnosti. Pri tako nizkih tlakih navadno želimo preprečiti prihajanje Hg par v vakuumski sistem, zato vstavimo pred merilnik globoko hlajeno past. Ta s posebnim efektom povzroča dodatno napako meritve. Manjši merilniki po principu kompresije, ki so priročni za laboratorijsko rabo, segajo kvečjemu do  $10^{-3}$  mbar. Pri nekaterih tipih (vakustat, vakuskop) izvede Hg kompresijo, ko merilnik obrnemo.

- 3.) Vakuummetri na toplotno prevodnost. Če segrevamo z električnim tokom žico, ki jo obdaja razredčen plin, je toplotna izguba žice odvisna od tlaka. Dokler je tlak tako nizek, da je prosta pot plinskih molekul veliko večja od premera žice, je toplotna izguba kar sorazmerna številu nosilcev in s tem tlaku. Ko pa plin vedno bolj gostimo, so nosilci vedno bolj ovirani in zato izguba ne narašča v nedogled, temveč se proti višjim tlakom ustali. Tam je zgornja meja takega vakuummetra. Del izgube odpade tudi na sevanje, ki se pa spreminja v odvisnosti

od stanja površine žice. Ta motnja postavlja spodnjo mejo, ki je težko pod  $10^{-3}$  mbar.

Odvajanje toplote je odvisno od vrste plina, zlasti od molekularne mase. Vakuummetri umerjeni na zrak, bodo za težje pline kazali premalo, za lažje preveč. Izmerjava toplote plinskih molekul s površino pa je odvisna tudi od stanja površine. Že zaradi tega se kalibracija sčasoma spremeni in jo je treba občasno kontrolirati in popraviti.

Pri Piranijevih vakuummetrih ugotavljamo odvajanje toplote po upornosti grete žice: pri večjem odvajanju temperatura žice pade in z njo tudi upornost. Če tvori žica eno vejo Wheatstoneovega mosta, ki je uravnotežen pri visokem vakuumu, odklon instrumenta v mostu narašča, ko se tlak veča. Skala je proti višjim tlakom močno stisnjena in ne omogoča razločevati tlake nad nekaj mbar. Pri modernejši izvedbi pa avtomatika vzdržuje most stalno v ravnotežju s tem, da ustrezno spreminja kurjavo žice. Tedaj je mera za tlak potrebna kurjavna napetost. Tako se skala bolj raztegne in s tanko žico pridemo za silo do 1 bar, čeprav je skala nad 100 mbar že precej zgoščena.

Namesto žice se da uporabiti tudi termistor, ki ima okrog 10 krat večji temperaturni koeficient upornosti kot kovine. Zelo preprosti in poceni so termoelektrični vakuummetri, pri katerih zasledujemo temperaturo žice s termoelementom, navarjenim nanjo. Pri izbranem ogrevnem toku dobimo največji odklon pri tlaku 0, skalo pa umerimo v tlačnih enotah.

- 4.) Ionizacijski vakuummetri. Tu izkoriščamo ionizacijo plina z elektroni. Elektron, ki ima zadostno energijo, ima možnost, da na poti skozi razredčen plin ustvari kak pozitivni ion. Ione zbira posebna elektroda v merilni elektronki. Ionski tok je v določenem območju tlakov sorazmeren tlaku in elektronskemu toku. Sorazmernostni faktor lahko imenujemo občutljivost merilnika, vključuje pa ionizacijsko učinkovitost merilnika, ki je odvisna od poti in energije elektronov, a znatno tudi od vrste plina. Določiti jo je treba za vsak primer z umeritvijo. Navadno to storimo za dušik ali argon, za druge pline pa uporabljamo korekcijske faktorje, ki so pri vseh merilnikih vsaj približno enaki. Ionizacijska učinkovitost narašča s številom elektronov v plinskih molekulah, zato bo merilnik brez korekcije kazal za lažje pline premalo, za težje preveč. Korekcijo si seveda



privoščimo le, če poznamo sestavo plina.

Merilniki s hladno katodo. Tu se elektroni sami razmnožijo v visokonapetostnem razelektrenju med primerno oblikovanima elektrodama. Z magnetnim poljem, naravnanim pravokotno na električne silnice, zelo povečamo pot posameznim elektronov, tako da se razelektrenje vzdržuje tudi v visokem vakuumu. Tok med elektrodama je v tlačnem območju takega vakuumetra približno sorazmeren tlaku. Pri tlaku okrog  $10^{-2}$  mbar se tip razelektrenja spremeni, in ga za merjenje tlaka ne moremo več uporabiti.

Najstarejši tak merilnik je Penningov in ta se zaradi cenenosti in robustnosti še vedno najbolj uporablja. Navzdol sega do nekako  $10^{-6}$  mbar, kjer postane razelektritev nestabilna ali se več ne vžge. Tak merilnik ima izrazit efekt lastnega črpanja, ker ioni razpršujejo material katode. Tudi zaradi tega njegova točnost ni velika, v najboljšem primeru ostaja znotraj  $\pm 50\%$ . Naprava pa brez škode prenese vdore zraka in je zato prav primerna za industrijo. Pogosto se izdeluje v kombinaciji s Piranijevim vakuumetrom in tedaj je zajeto vse tlačno področje, ki navadno zadošča za tehnološke potrebe.

Merilniki z vročo katodo. Tu pridobivamo elektrone z emisijo iz žareče katode. Pogosto je to volframska žica, ki se pa pri žarenju pri tlaku nad  $10^{-3}$  mbar kmalu uniči. Bolj odporna in nižjo temperaturo zahteva katoda s torijevim oksidom na iridijevi žici. Elektrone je treba nato z napetostjo čez 100 V pospešiti na anodo. Ione, ki pri

tem nastajajo v plinu, zbiramo s tretjo elektrodo - ionskim kolektorjem. Ta sistem elektrod je navadno nameščen v steklenm balonu, ki ga s priključno cevjo navarimo na vakuumski sistem ali na ustrezno kovinsko prirobnico, še boljše pa je, da elektrode segajo direktno v vakuumski recipient. K temu seveda potrebujemo še napajalno in merilno aparaturo, kot pri vseh električnih vakuumetrih. Aparatura je dokaj draga, ker mora stabilizirati emisijo katode in meriti razmeroma majhne ionske tokove.

Zgornja merilna meja je nekako tam, kjer lahko poprečni elektron na svoji poti do anode ionizira že več kot enkrat, navadno okrog  $10^{-3}$  ali  $10^{-2}$  mbar. Zvišati se da le, če zmanjšamo ionizacijsko učinkovitost (npr. s skrajšanjem poti elektronov). Tako se pride do 1 mbar, kar mora dopuščati tudi katoda. Spodnjo merilno mejo postavljajo motilni efekti, ki povzročajo lažno indikacijo brez zveze s tlakom. Značilen efekt te vrste je "rentgenski". Gre za rentgenske žarke, ki jih povzročajo elektroni pri zadevanju na anodo. Tisti žarki, ki zadevajo kolektor, izbijejo po fotoefektu iz njega nove elektrone. S tem nastaja pozitiven "ionski" tok, ki je pri navadnih merilnikih ekvivalenten tlaku okrog  $10^{-7}$  mbar. Mejo je mogoče znižati, če kolektor zelo zmanjšamo. To sta prva storila Bayard in Alpert pred tremi desetletji in s tem začela prodor v ultra-visoki vakuum.

mgr. Bojan Povh, dipl.ing.  
IEVT, Ljubljana

## UVOD V TANKE DIELEKTRIČNE PLASTI

Priznam, da je največkrat ravno začetek najtežji - vsaj zame. Listajoč strani prve številke "Vakuumista" me prežema ena sama misel: "Le tako naprej!", kot tiho opozorilo sebi in pohvala avtorjem ter sodelavcem te prve številke. Mogoče v tem našem slovenskem prostoru že dalj časa pogrešamo nek specializiran list - čtivo, ki bi nas med redko posejanimi kongresi seznanjalo o stanju naše panoge po svetu in o napredku po domačih delovnih organizacijah. Zdi se mi, da ne bo težko zapolniti tega "vakuumista" s prispevki strokovnjakov, ki so se zapisali tej veji znanosti, saj je v naši industriji in raziskovalnih ustanovah vakuumaska tehnika že močno prisotna, ekonomsko-stabilizacijska na-

ravnost naše družbe v sedanjem trenutku pa kaže, da bo tako - in še bolj tako - tudi v bodoče. Naj ta članek, ki posega na področje tankih dielektričnih plasti, kot skromen prispevek ob pričetku izhajanja glasila oz. revije, vzpodbudi tudi druge, da predstavijo teme iz svojega strokovnega področja.

Ko govorimo o tanki dielektrični plasti, poskušamo že s samim izrazom definirati tudi njene obče lastnosti. To je običajno električno neprevodna, v določenem valovnem območju prozorna substanca, neparjena na ustrezno podlago. Njena glavna in označujoča lastnost je podatek o lomnem količniku v tem območju.

Valovno območje običajno obséga ultrazvočni del (200 - 400nm), vidno svetlobo in bližnji infrardeči del (750 - 1500nm). S pojmom "tanka" plast pa označujemo njeno optično oz. geometrijsko debelino, ki ima ponavadi velikostni red valovnega območja. Za podlage, kamor se nanašajo tanke plasti, se v veliki večini uporabljajo raznovrstna optično polirana stekla z ravnimi oz. sfernimi površinami. Osnovni tehnični pripomoček, da lahko nanašamo te plasti, pa so sodobne naprave za vakuumsko naparovanje, kjer se "delovni" tlak giblje od  $10^{-2}$  do  $10^{-5}$  Pa, oz. z drugimi besedami: kjer je povprečna prosta pot vsaj stokrat večja od dimenzij vakuumskega prostora.

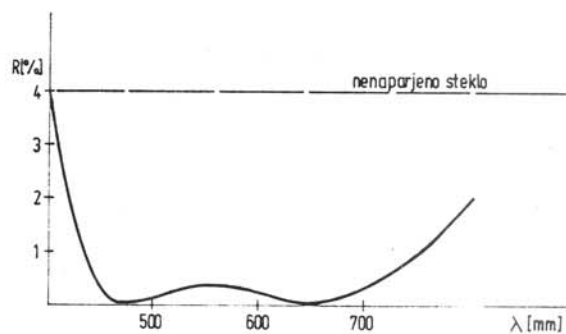
Vprašanje, ki se vsiljuje samo po sebi, je naslednje: čemu služi in kakšne lastnosti ima tanka naparjena dielektrična plast? Odgovor je (danes v 20. stoletju) v osnovi enostaven, vendar precej obsežen.

Ko svetloba vpade na eno ali več zaporedno naparjenih tankih plasti, se del reflektira (v absorpcijskih substancah se je del tudi absorbira), ostanek pa transmitira. Fizikalno vodilo pri odnosih med žarki, odbitimi s posameznih površin tankih plasti je princip interference. Razmerja amplitud odbitih elektromagnetnih valovanj so določena z lomnimi količniki tankih plasti, fazne razlike pa z optično debelino. Pri kakršnemkoli računu moramo upoštevati oba podatka, ker bi sicer bili lahko zaključki o lastnosti refleksije valovanja popolnoma napačni. Kaj več o tem ob naslednji priložnosti, sedaj pa še poskušajmo odgovoriti na prvi del vprašanja: čemu služi tanka plast? Uporaba tankih plasti je zelo raznovrstna: od naparjenih leč fotografskih objektivov do sodobnih laserskih instrumentov. Poskusimo torej v okvirih tega članka predstaviti osnovne skupine tankih plasti glede na namen, ki mu služijo.

V najstarejšo skupino vsekakor sodijo antirefleksna pokritja. Vsi poznamo naparjene leče v fotografskem objektivu. Cilj takega pokritja je zmanjšanje refleksije za vpadlo svetlobo, oz. povečanje prepustnosti. Nenaparjena gladka steklena površina odbije približno 4 - 6% svetlobe odvisno od lomnega količnika stekla. Ko naparimo na tako površino enega ali več dielektričnih slojev se bo refleksijska vrednost zmanjšala. Glavno vrednost takega pokritja nam torej določa ravno relativna količina odbite svetlobe, v določenem valovnem območju.

Za ilustracijo je na sliki 1. prikazano anti-

refleksno pokritje na stekleni površini.

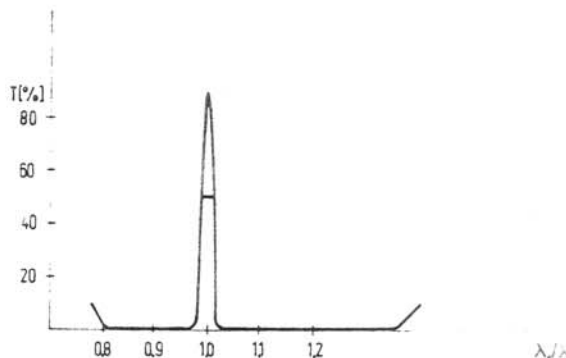


Slika 1. STANDARDNO ANTIREFLEKSNO POKRITJE

Največji pomen antirefleksnih slojev si lahko predstavljamo v kvalitetnem objektivu z deset in več površinam vgrajenih leč, kjer bi nam vsaka nenaparjena površina predstavljala 4% izgube. Z antirefleksno plastjo pa se nam ta vrednost zmanjša pod 0,5% in še na nižje za vidno svetlobo.

Naslednja grupa so t.i. pasovni filtri. Samo ime je mogoče malo ohlapno, ker skupina obsega niz različnih dielektričnih pokritij. Pasovni filter nam v splošnem primeru oslabi en del valovnega območja (ga ne prepušča, torej ga reflektira ali absorbira) ves ostali del pa prepušča. Sami filtri se uporabljajo v celi vrsti različnih instrumentov od televizijskih in filmskih kamer, spektrometrov v medicini, laserski tehniki itd. Glede na namen ločimo več vrst: širokopasovne, ozkopasovne, nevtralne, refleksijske itd. Posamezna imena naj bi čim verneje prikazala tudi njihove osnovne lastnosti.

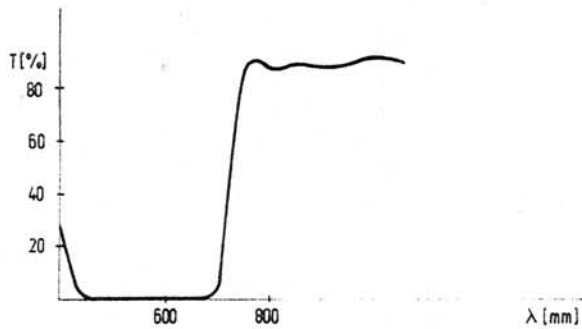
Najbližji so nam ozkopasovni filtri, ki prepuščajo ozek valovni pas (širina 2.30 nm na polovični višini transmissijske vrednosti). Tipičen primer je prikazan na sliki 2.



Slika 2. OZKOPASOVNI FILTER

Značilni predstavnik pasovnega filtra je tudi t.i. hladno zrcalo, ki se najpogosteje uporablja v projektorskih žarnicah.

Njegova glavna lastnost je, da odbije čim več vidne svetlobe in prepusti bližnjo infrardečo. Pri starejših izvedbah s srebrnim ali aluminijastim reflektorskim slojem nam lahko infrardeča svetloba neprijetno pokvari celuloidni posnetek, kar pa je ob dobrem hladnem zraku praktično nemogoče. Na sliki 3. je predstavljen standardni refleksijski potek za vidni in bližnji infrardeči del svetlobe.

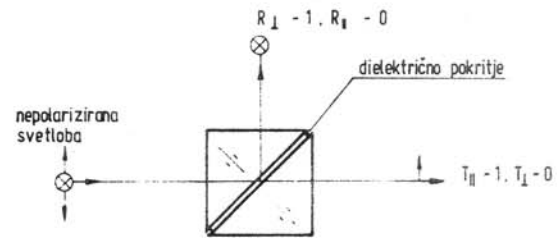


Slika 3. HLADNO ZRCALO - PASOVNI FILTER

Tretjo veliko skupino pa tvorijo delilci svetlobe. Po namenu poznamo polarizacijske, barvno selektivne akromatične itd. Poleg tega, da reflektirajo oz. prepustijo del svetlobe, jo obenem tudi krajevno ločijo. V principu lahko uporabimo iste teoretične izsledke, kot pri pasovnih filterih. Edina sprememba je, vendar precej pomembna, da imamo opraviti s poševnim vpadom svetlobe in s tem s pravokotno ter paralelno komponento svetlobe. Ti dve komponenti pa se pri prehodu skozi dielektrično

snov ne vedeta več enako.

Najbolj zanimiv za ilustracijo je mogoče polarizacijski delilec svetlobe, ki nam iz naravne svetlobe loči paralelno od pravokotne komponente in jih krajevno razdvoji. Širina valovnega pasu, ki se reflektira oz. transmitira pa je v precejšnji meri odvisna od oblikovanja pokritja in izbire lomnih količnikov. Ena najenostavnejših rešitev je za nepolarizirano monokromatsko svetlobo.



Slika 4. SHEMATSKI PRIKAZ POLARIZACIJSKEGA DELILCA ZA MONOKROMATSKO SVETLOBO

To je bil kratek, bežen sprehod skozi množico uporabnih možnosti tankih dielektričnih plasti. Nekatere zanimive aplikacije s tega področja pa bomo predstavili kdaj kasneje.

Janez Lindav, dipl.ing.  
ISKRA-Center za  
elektrooptiko, Ljubljana

## AUGERJEVA SPEKTROMetriJA

Zadnjih nekaj let je spektroskopija Augerjevih elektronov (AES) postala ena od glavnih analizičnih tehnik za ugotavljanje sestave površin trdnih snovi. Visoka občutljivost kemične analize zunanjih atomskih plasti (0,5-2nm) površine predmeta, hitra pridobitev podatkov in možnost detekcije vseh elementov periodnega sistema od helija naprej, so prednosti te metode. Detekcija in zapis spektra Augerjevih elektronov dasta zanesljive kvalitativne in kvantitativne podatke o površinah trdnih snovi.

Osnova analize je Augerjev efekt, ki nastane pri ionizaciji atomov kot posledica obstreljevanja trdnih snovi, najpogosteje z elektroni lahko pa tudi z rtg žarki ali ioni. Analizator na Augerjeve elektrone s cilindričnim zrcalom,

z veliko transmisijo za elektrone in ugodnim razmerjem signala proti šumu ter pripadajoča elektronika omogočata, da iz množice sekundarnih elektronov, ki so lahko v vakuum iz površine trdne snovi izbiti, odbiti ali sipani, selektivno dobimo krivuljo energijske porazdelitve Augerjevih elektronov ali zapis spektra pikov Augerjevih elektronov. Ti "piki" pa so dejansko "prstni odtis" v površini prisotnih kemičnih elementov. Statični točkovno fino fokusiran elektronski snop omogoča "anodimenzionalno" analizo sestave površin, "skaniranje" takšnega snopa to omogoča "dvodimenzionalno", kombinacija skaniranja z ionskim jedkanjem pa trodimenzionalno analizo sestave tankih plasti. Poleg točkovne, linijske in profilne analize je možno z Augerjevimi

elektroni napraviti tudi posnetke površin, ki nazorno pokažejo ploskovno razporeditev določenega elementa v vrhnjih atomskih plasteh površine pregledovanega predmeta.

Poleg glavnih delov mikroanalizatorja na Augerjeve elektrone, to je: elektronske puške, analizatorja, ionske puške, vakuumske posode ter pripadajoče elektronike, so za natančno analizo zelo pomembni vakuumski pogoji. Kombinacija sorpcijskih, ionsko-getrskih in sublimacijskih črpalk zagotavlja ultra vakuum v osrednji delovni posodi. Od "kvalitete" rezidualne atmosfere v posodi je zelo odvisna kvaliteta analize. Za primer: površina trdne snovi se pri tlaku  $1.33 \times 10^{-4}$  Pa prekrije z monomolekularno plastjo že v eni sekundi, pri  $1.33 \times 10^{-7}$  Pa pa v tisoč sekundah. Ker nam pri "AES" analizi plasti adsorbiranih molekul preprečijo analizo dejanskih površin (ki so lahko obenem še reaktivne), moramo meritev opraviti v vakuumu, ki je boljši od  $1,33 \times 10^{-7}$  Pa. V takšnem okolju lahko že prej nastalo kontaminirano plast očistimo z ionskim jedkanjem in takoj analiziramo zares čiste površine materialov; le-te se namreč pri tlaku, ki je nižji od  $1.10^{-7}$  Pa, prekrijejo z adsorbirano plastjo šele približno po eni uri.

Že od leta 1973 dalje smo na IEVT spremljali razvoj Augerjeve analizne metode po podatkih iz literature in naše vzorce analizirali v tujih laboratorijih. Tako smo se usposobili opravljati analize površin trdnih

snovi pravzaprav že pred nakupom rasterskega mikroanalizatorja na Augerjeve elektrone. Model SAM 545A, ameriške firme Physical Electronics Inc., smo namestili v našem laboratoriju jeseni 1977. V nadaljnih letih so sodelavci na IEVT skonstruirali in uspešno dogradili tudi prvi domači analizator na Augerjeve elektrone (vse razen elektronike), kar je velik tehnološki dosežek in o čemer bomo v našem listu še slišali. To sta zaenkrat edini tovrstni napravi v Jugoslaviji.

Augerjeve analizne metode se poslužujemo povsod, kjer potrebujemo informacije o površinah in stičnih ploskvah. Važnejša področja uporabe so: mikroelektronika, tanke plasti, električni kontakti, spoji materialov, korozija, kataliza, obraba materialov (drsnе površine), staranje materialov, sorpcija in desorpcija itd. V našem laboratoriju smo že uspešno uporabili AES analizno metodo na različnih vrstah materialov, od kovinskih do materialov kot so: cementi, silikatni vzorci, steklena vlakna, klinker, sadra, poslikave fresk, stekla, limfa, razne vrste zeolitov in tako naprej. Mnogi od njih so za elektronski tok občutljivi ali pa neprevodni. Pri takih je potrebno s primerno pripravo vzorca za namestitve v spektrometer odpraviti težave z elektronskim nabijanjem. Tudi to nam je v večini primerov lepo uspelo.

Borut Praček, dipl.ing.  
IEVT, Ljubljana

#### ROTACIJSKE ČRPALKE - POVZETEK VAJ S TEČAJA

V okviru obeh tečajev iz osnov vakuumske tehnike, ki ju je v Ljubljani na IEVT v lanskem letu (januarja in oktobra) organiziralo naše društvo, so bili tudi prikazi delovanja nekaterih rotacijskih črpalk in meritev vakuuma, ki ga z njimi lahko dosežemo. Vsak prikaz je trajal približno 20 minut, tako, da so se 3 skupine tečajnikov lahko zvrstile na vseh treh mestih v eni uri.

1. UVV sistem s turbomolekularno črpalko in kvadropolnim analizatorjem rezidualnih plinov (demonstratorja: A. Banovec in R. Zavašnik - sodelavca IEVT).

Prikazan je bil kovinski ultravisokovakuumski sistem, črpan s turbomolekularno črpalko

TURBOVAC 220, firme LH, katere rotor doseže 36.000 vrtljajev na minuto. Črpalna hitrost za dušik je 220 l/s (pri kompresijskem razmerju  $1 \times 10^9$ ); za lahke pline ( $H_2$ , He) pa je le neznatno nižja (ca 200 l/s), vendar pri bistveno nižjem kompresijskem razmerju (za  $H_2$  je  $2 \times 10^3$ ). Črpalna je hlajena z vodo. Ležaji so mazani z oljem; montirana mora biti vertikalno. Deklarirani končni tlak je  $p < 10^{-10}$  mbar. Črpalna hitrost je konstantna pri tlaku v recipientu pod  $10^{-3}$  mbar, pri višjih tlakih pa začne padati.

Kot predčrpalna je bila uporabljena 2-stopenjska rotacijska črpalna D16A, firme LH, s črpalno hitrostjo  $20m^3/h$ , ki dosega končni parcialni tlak  $< 2,5 \times 10^{-4}$  mbar (pri



zaprtem ventilu za dodatni zrak); zahtevani predvakuum za turbočrpalko pa je  $10^{-2}$  do  $10^{-3}$  mbar.

Pri našem prikazu smo črpali kovinski recipient, volumna ca  $5\text{dm}^3$ . Med prikazom, kot tudi nekaj ur pred njim, je bila rotacijska črpalka stalno v pogonu; njen vhodni tlak, t.j. predvakuum turbočrpalke, smo kontrolirali s Piranijevim vakuummetrom PPV-30 (izdelek IEVT), ki ima merilno področje od  $10^{-3}$  do  $10^{+3}$  mbar, in je pred vklopom turbočrpalke kazal nekajkrat  $10^{-3}$  mbar. Ko smo pognali turbo črpalko, se je predvakuum začasno poslabšal na nekajkrat  $10^{-2}$  mbar, nato pa se je spet počasi boljšal. Visoki vakuum nad turbo črpalko, v recipientu, smo kontrolirali s Penningovim vakuummetrom PPV-30 (izdelek IEVT). Z merilnim področjem od  $10^{-3}$  do  $10^{-5}$  mbar, ali z elektronskim UVV ionizacijskim merilnikom IONIVAC IM51, firme LH, z merilnim področjem od  $10^{-4}$  do  $10^{-12}$  mbar. PPV-30 smo lahko vklopili že po približno pol minute. Po nekaj minutah črpanja smo dosegli vakuum boljši od  $10^{-4}$  mbar, tako da smo lahko vključili še ionizacijski merilnik in tudi kvadrupolni analizator residualnih (preostalih) plinov z oznako QUADRUVAC Q200, firme LH. Ta nam pokaže parcialne (delne) tlake vseh plinov, katerih specifična masa (m/e) leži v področju od 1 do 200 masnih enot. Z merilno glavo analizatorja, ki ima vgrajen Faradejev kolektor ionov, merimo parcialne tlake do približno  $10^{-11}$  mbar, z uporabo elektronske pomnoževalke pa ca 100x nižje (do  $10^{-13}$  mbar).

Na področju  $10^{-5}$  mbar posneti spekter residualnih plinov nam je pokazal izredno veliko množino vodne pare v sistemu; to vlažnost zmanjšamo le z dolgotrajnim črpanjem, ali pa s pregrevanjem sistema na nekaj  $100^{\circ}\text{C}$ .

Ko smo naposled izklopili turbo črpalko, se je njen rotor zaradi vztrajnosti vrtil vsaj še nekaj minut dovolj hitro, da je ta čas ostal v recipientu vakuum boljši od  $10^{-4}$  mbar.

2. Rotacijske črpalke in meritve vakuuma s Kamererjevimi živosrebrnim vakuummetrom (demonstrator: R. Kalan - sodelavec IEVT).

Vse pri vaji uporabljene črpalke so bile proizvodi firme Leybold Heraeus, ki jo IEVT zastopa v Jugoslaviji.

Slušateljem smo najprej prikazali dvostopenjsko vakuumsko črpalko D 6 (sistem "gaede" s krožečimi loputami); opisali smo funkcije posameznih delov, predvsem rotorja, statorja, lopatic in ventila ter delovanje celote. Črpalke z zapiralno loputo smo predstavili s črpalko DK 100, Rootsve pa s črpalko SW 1000. Osnovni vakuumski sistem za srednji vakuum in njegovo delovanje smo prikazali s kombinacijo črpalk-enostopenjske predčrpalke S 60 in Rootsve 106-imenovano RUTA 60. Pri dvostopenjski črpalki D16A smo merili tlak na ustju in to pri zaprtem in odprtem ventilu za dodajanje zraka (gasballast). Merili smo s Kamererjevimi živosrebrnim vakuummetrom; t.j. v bistvu kompresijski vakuummeter podoben kot McLeodov, le da mu rezervoarček živega srebra dvignemo in spuščamo z vijakom. Pokazali smo tudi konstrukcijske razlike med črpalkama D 6 in D16A ter celo vrsto spojnih kosov za vakuumske sisteme (križni kosi, ventili, mehovi, tesnila, cevi ...).

3. Rotacijske črpalke in meritve totalnega tlaka s Piranijevim vakuummetrom (demonstrator J. Gasperič).

V tej vaji smo pokazali udeležencem tečaja 3 tipe domače (IEVT) enostopenjske črpalke s črpalnimi hitrostmi 1,2 in  $10\text{ m}^3/\text{h}$  in sicer v razstavljeni obliki. Posebej smo obravnavali funkcijo posameznih delov ter posebej opisali možne okvare in odpravljanje le-teh. Naučili smo udeležence "diagnosticiranja", t.j. ugotavljanja napak pri delovanju črpalke, ki se zrcalijo v spreminjajočem se totalnem tlaku, merjenem s Piranijevim vakuummetrom. Posebej smo opozorili na pogostejše napake, ki nastanejo zaradi slabega vzdrževanja (čiščenje lovilne mreže v sesalni cevi, zamenjava oz. dolivanje olja, izrabljenost ventilov, netesnost priključkov itd.) Odsvetovali smo razdiranje črpalke, posebno tistih, ki so brez zatičev za enoznačno sestavljanje posameznih soležnih sestavnih delov.

Rasto Zavašnik, dipl.ing.,  
dr. Jože Gasperič, dipl.ing.  
IEVT, Ljubljana