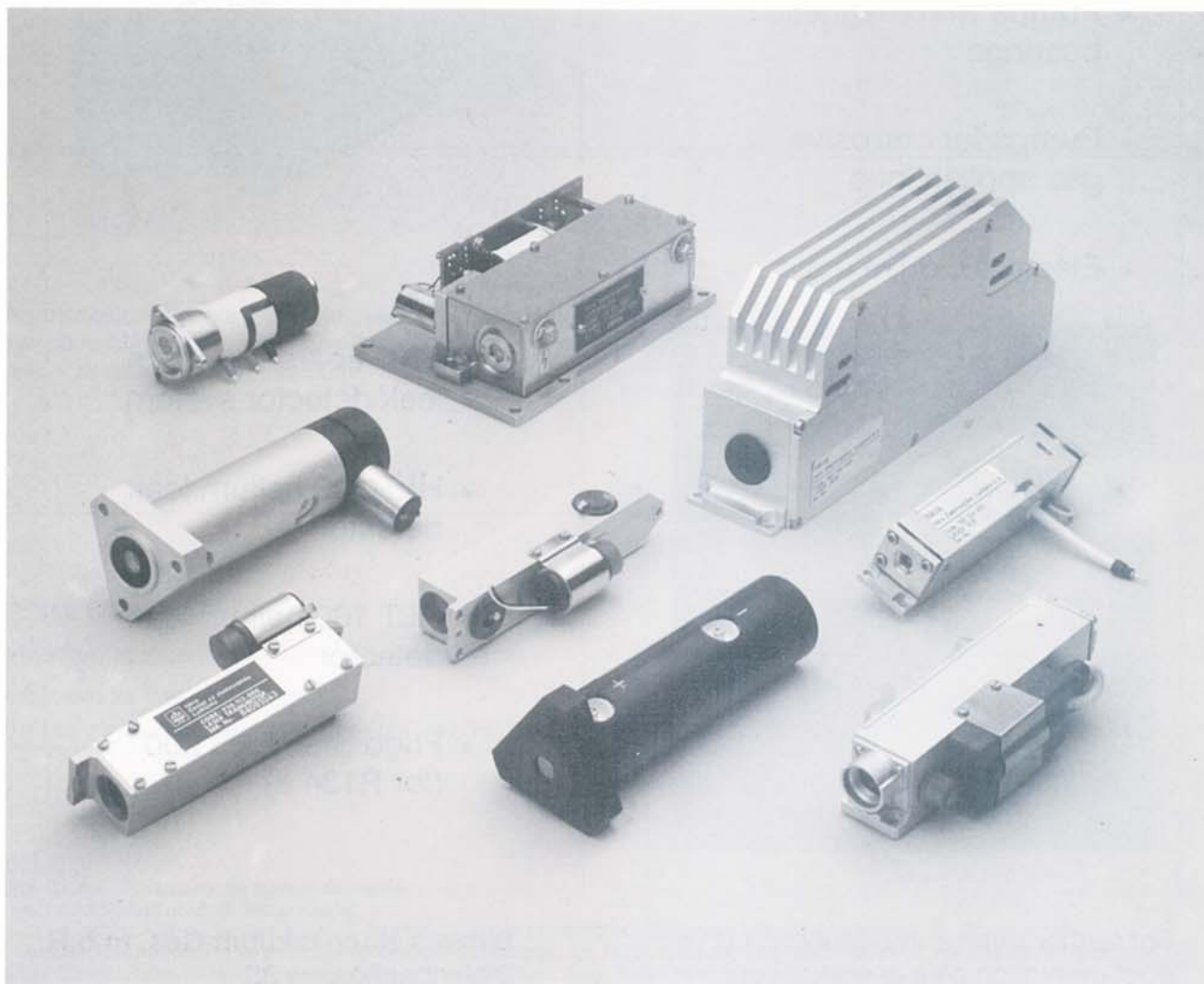


VAKUUMIST

GLASILO DRUŠTVA ZA VAKUUMSKO TEHNIKO SLOVENIJE

LJUBLJANA, oktober 93

letnik 13, št. 3, 1993



VSEBINA

- Laserji in optična prekritja za laserje (A. Demšar, M. Lukač)

- Spektroskopija tankih plasti z Rutherfordovim povratnim sipanjem (RBS) (P. Panjan, Ž. Šmit, A. Cvelbar, A. Batagelj, M. Budnar, P. Pelicon, B. Navinšek, G. Dražič, M. Remškar, A. Zalar, B. Praček)

- Uporaba tankih plasti v projekcijskih aparatih (M. Olenik, A. Dolžan)

- Termidisociacija vodika v celici z vročo volframsko nitko (I. Čadež)

- Zgodovina vakuumske tehnike (I. del) (S. Južnič)

- NASVETI

- POROČILA S KONFERENC

- OBVESTILA

Slika na naslovni strani prikazuje optične komponente za laserje, ki so jih izdelali v Iskri Elektrooptiki, Ljubljana. Iskra Elektrooptika je vstopila v področje laserjev že v šestdesetih letih in danes zavzema pomembno mesto v svetovni laserski industriji.

SPONZORJI VAKUUMISTA:

- Ministrstvo za znanost in tehnologijo Slovenije
- Ministrstvo za šolstvo in šport
- *balzers* Balzers Hochvakuum Ges. m.b.H., Dunaj

- VAKUUMIST
- Izdaja Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije
- Glavni in odgovorni urednik: Peter Panjan
- Uredniški odbor: Andrej Demšar, dr. Jože Gasperič (urednik za področje vakuumske tehnike in sistemov), dr. Bojan Jenko, dr. Monika Jenko (urednica za področje vakuumske metalurgije), dr. Alojzij Križman, mag. Miran Mozetič, mag. Vinko Nemanič, Marijan Olenik, Bojan Paradiž, 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

LASERJI IN OPTIČNA PREKRITJA ZA LASERJE

A. Demšar, M. Lukač, Iskra Elektrooptika Ljubljana d.d., Stegne 7, 61210 Ljubljana

LASERS AND OPTICAL COATINGS FOR LASERS

ABSTRACT

Laser is becoming more and more indispensable in every day life. In this article, basic laser characteristics are described. Resonator is one of the important components of any laser. It consists of two mirrors (one highly reflective and one partially transmitting) which are manufactured using vacuum technologies to achieve the best durability and laser damage resistance.

POVZETEK

Laser postaja vedno bolj nepogrešljivo človekovo orodje. Članek opisuje osnove delovanja laserja. Pomemben del laserja je resonator, ki ga sestavljata dve zrcali narejeni z vakuumskimi tehnologijami tako, da sta čimbolj odporni na lasersko sevanje.

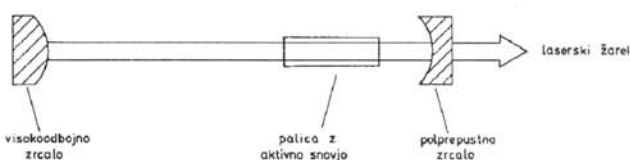
1 Uvod

Beseda "laser" je akronim za "light amplification by stimulated emission of radiation". Princip laserskega delovanja je izšel iz delovanja maserja, ki je ponovno akronim in sicer za "microwave amplification by stimulated emission of radiation". Pojem stimulirane emisije je uvedel Einstein, ko je leta 1917 izpeljal Planckov sevalni zakon. Potrebno je bilo kar 40 let od vpeljave tega zakona, da so raziskovalci spoznali, da se pojav stimulirane emisije lahko uporabi za izvir koherentnega mikrovalovnega in laserskega sevanja.

Maser so prvi predlagali Basov ter Prokhorov (1945-1955) in Townes (1954), ki je tudi prvi izvedel poskuse z maserjem. Razširitev maserskega principa v optično območje sta leta 1958 izpeljala Schawlow in Townes, ki sta za to delo tudi dobila Nobelovo nagrado. Pravzaprav pa je prvi predlagal uporabo stimulirane emisije že V.A. Fabrikant leta 1951. Toda, ker je bil predlog zapisan v ruskem patentu, je bil nepoznan. Danes si težko zamislimo področje našega življenja, ki ne bi bilo povezano z določeno vrsto laserja; postal je nepogrešljiv v znanosti, medicini, trgovini, komunikacijah in zabavi.

2 Laser: zgradba in delovanje /1/

V najpreprostejši izvedbi je laser naprava, sestavljena iz dveh zrcal (resonatorja), med katerima je aktivna snov, ki ojačuje svetlobo (slika 1). Curek laserja se odlikuje po tem, da je usmerjen - je prostorsko koherenten - in da ima izredno majhno spektralno širino - je časovno koherenten.



Slika 1: Preprosta shema laserja

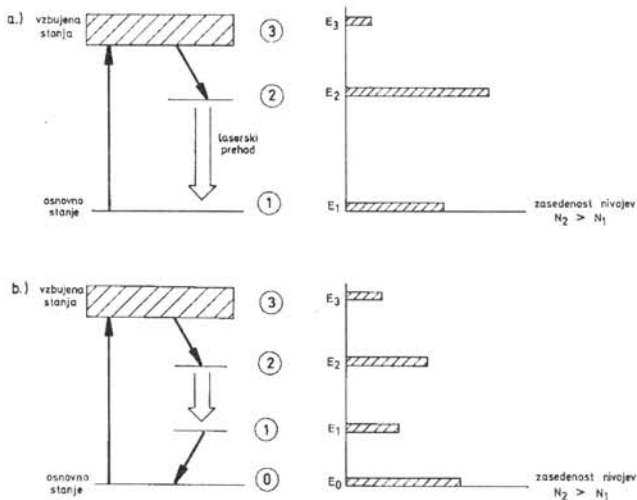
Resonatorji so votline, v katerih lahko nastane stoječe valovanje. Pri maserjih so votline reda velikosti valovne dolžine mikrovalov (torej nekaj centimetrov) in je v njih le nekaj vozelnih ploskev. Pri laserski svetlobi, kjer je valovna dolžina reda velikosti enega mikrometra, je ustrezno velika votlina premajhna, da bi vanjo spravili uporaben optični ojačevalnik. Navadno je potrebno vsaj nekaj centimetrov. V tako velikem resonatorju bi atomi, ki sevajo v frekvenčni pas 10 GHz, ojačevali okoli 10^{10} nihanj. Da dobimo koherenten izvir, pa moramo ojačevati le eno nihanje resonatorja. Če odstranimo stranske stene resonatorja, tako da ostane le dve vzporedni zrcali, so mogoča le še stoječa valovanja, ki so pravokotna na zrcali. Razdalja L med zrcaloma mora biti enaka večkratniku polovice valovne dolžine, tako da so mogoče frekvence $\nu = n c/2L$. Tukaj je c hitrost svetlobe in n je celo število, ki je navadno precej veliko, na primer 10^6 . Frekvenčni razmik med sosednjima nihanjima $c/2L$ je iste velikostne stopnje kot širina črte atomskih prehodov in je zato mogoče ojačevati posamezno lastno nihanje odprtega resonatorja.

Če naj imamo med zrcaloma stoječe valovanje, mora biti valovna ploskev po odboju taka kot pred njim. To pomeni, da mora imeti na zrcalu enako ukrivljenost kot zrcalo samo. Ker so valovne ploskve valovanja, ki je v prečni smeri omejeno, v splošnem ukrivljene, so tudi zrcala laserskih resonatorjev navadno nekoliko ukrivljena. Krivinska radija in razdalja med zrcaloma že določajo obliko stoječega valovanja. Divergenca izhodnega curka nastane zaradi uklona in je tem manjša, čim večji je premer curka a_0 v resonatorju. Velja divergenca $\vartheta = \lambda/a_0$, kjer je λ valovna dolžina laserske svetlobe.

Za delovanje laserja so zelo pomembne energijske izgube v resonatorju. Te izvirajo deloma od nezaželene absorpcije in sipanja na zrcalih in v resonatorju, deloma pa od tega, ker je eno od zrcal namenoma delno prepustno. Laser, ki bi imel obe zrcali povsem neprepustni, bi bil zaradi odsotnosti izhoda nekoristen. Vse izgube lahko opišemo s karakterističnim časom t_c , v katerem pade energija stoječega valovanja na $1/e$ začetne vrednosti, če mu ne dovajamo energije. Za energijo stoječega vala, ki ga vzbudimo in nato pustimo, da prosto zamre, velja $dW/dt = -W/t_c$. Če zanemarimo druge izgube, lahko čas dušenja izrazimo z odbojnostjo R izhodnega zrcala. Pri enem preletu vala čez resonator in nazaj (čas obhoda je $2L/c$) uide $(1-R)W$ energije. Delež izgub na enoto časa je zato $t_c = c(1-R)2L$. Za $R = 0,95$ in $L = 25\text{cm}$ je $t_c \approx 3 \times 10^{-8}\text{s}$. Dušenje določa tudi spektralno širino lastnega nihanja resonatorja. V navedenem primeru je ta 30 MHz.

Zamislimo si, da želimo narediti laser, ki bo deloval pri določeni valovni dolžini svetlobnega curka. Prvo kar moramo narediti je, da najdemo snov s takšno porazdelitvijo energijskih nivojev, da je energijska razlika ΔE med dvema nivojema (imenujemo ju zgornji laserski nivo 2 in spodnji laserski nivo 1) enaka $E_2 - E_1 = hc/\lambda$, kjer je h Planckova konstanta. Drugi pogoj je, da je možno doseči, da je zasedenost nivoja 2 večja od zasedenosti nivoja 1, torej, da je $N_2 > N_1$. Svetloba z valovno dolžino se v laserskem resonatorju lahko okrepi le, če je $(N_2 - N_1) > 0$. V termodinamskem ravnovesju je zasedenost zgornjega nivoja vedno manjša od spodnjega nivoja, zato snov v termodinamskem ravnovesju svetlobo absorbira. Da bi dosegli močnejšo svetlobo, moramo doseči ravno nasprotno, zato pogoj $(N_2 - N_1) > 0$ imenujemo inverzna zasedenost.

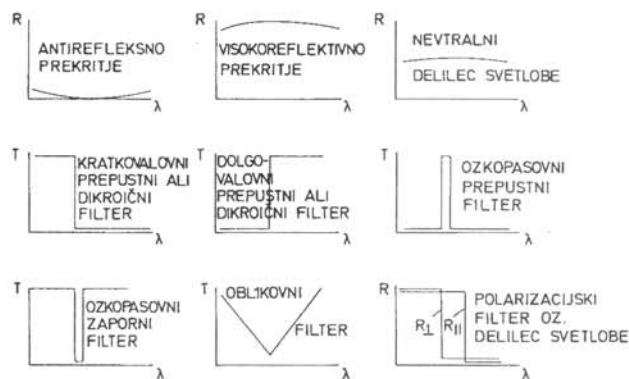
Snov, v kateri vzpostavljamo inverzno zasedenost v laserju, imenujemo aktivna ojačevalna snov. Zelo pogosto črpajo aktivno snov s svetlobo, katere frekvenca je večja od laserskega prehoda. Z absorpcijo se atomi vzbujajo v višja stanja, s katerih lahko zasedejo nižje lasersko stanje. Črpalno svetlobo dobimo na primer z močno ksenonsko lučjo, podobno onim, ki jih uporabljajo fotografi. Črpanje je neprekinjeno ali sunkovno, odvisno od zahtev in izbrane ojačevalne snovi. Ko vzpostavimo stanje, v katerem je $N_2 > N_1$, prevlada stimulirano sevanje nad izgubami v resonatorju. Energija izbranega stoječega valovanja začne naraščati in nastane lasersko delovanje (slika 2).



Slika 2: a) shema trinivojskega laserja, b) shema štirinivojskega laserja

3 Optična prekritja za laserje

Za uspešno delovanje laserja potrebujemo resonator, zanj pa potrebujemo visokoodbojna in polprepustna zrcala ter ustrezna antirefleksna prekritja; za uspešno delovanje sistema, v katerem je integralni del laser, pa rabimo še delilce laserskega snopa (polarizacijske, dikroične), filtre in zaščitna prekritja pred laserskim sevanjem (slika 3).



Slika 3: Shematični prikaz različnih prekritij

Kakovostne optične komponente za laserje [2,3] morajo imeti čim manjše izgube zaradi sipanja in absorpcije, ker se zaradi tega zmanjšuje izkoristek laserja in znižuje prag za poškodbe (še posebno pri tistih z velikimi močmi). Za izdelavo takih optičnih komponent (navadno narejenih iz različnih vrst stekla) moramo imeti vrhunsko tehnologijo za poliranje, čiščenje in vakuumsko nanašanje ustreznih prekritij, ki so večinoma dielektrična.

Kakovost optičnega prekritja - npr. laserskega zrcala - lahko določimo z dvema količinama: fineso F in učinkovitostjo η .

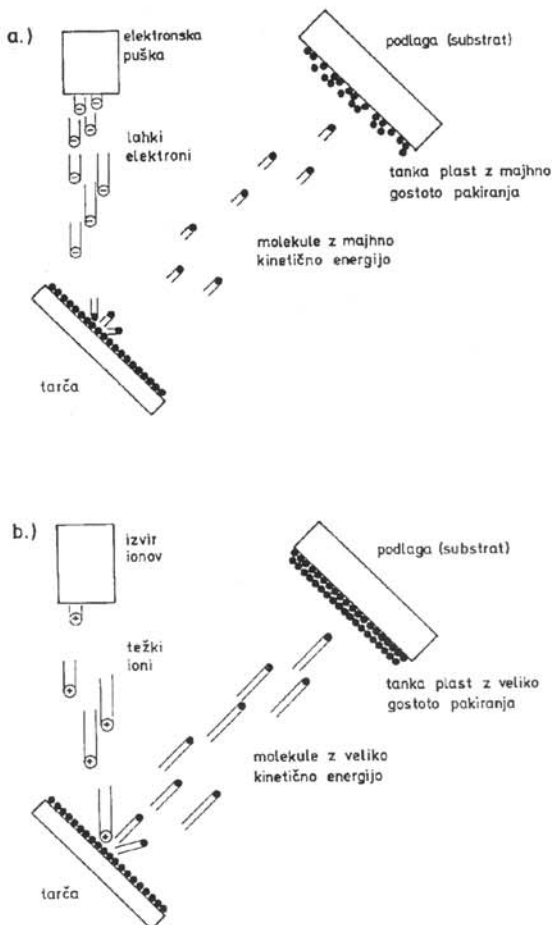
$$F = \pi / (1 - R)$$

$$\eta = (T / (T + A))^2$$

V zgornjih izrazih je R odbojnost, T prepustnost in A vpojnost.

Učinkovitost $\eta = 1$ pomeni, da prekritje nima izgub zaradi absorpcije. Finesa F pa je definirana kot povprečno število krožnih preletov fotona svetlobe v votlini - resonatorju predno se foton absorbira, siplje ali zapusti resonator. Tipično dielektrično zrcalo narejeno v vakuumu z elektronsko puško ima odbojnost $R > 99,7\%$ kar ustreza izgubam 3000 ppm. Boljša zrcala, narejena z drugačnimi tehnikami (na primer ion-beam sputtering, IBS), imajo izgube manjše kot 50ppm, kar pomeni ustrezno večjo (tudi 100x) fineso in odbojnost $R > 99,9\%$.

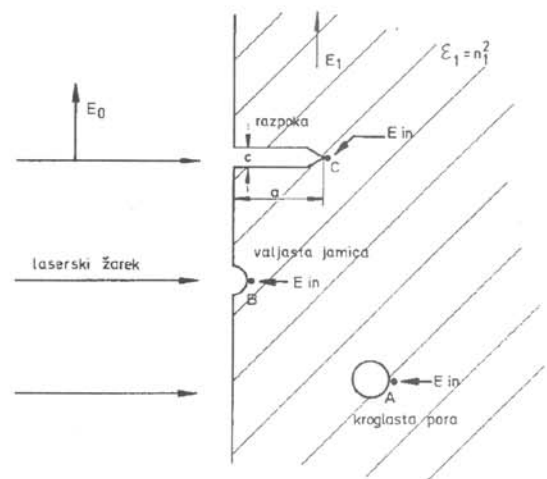
Pri klasičnem naparevanju z elektronsko puško segregamo material z elektroni. Molekule, ki izparevajo, imajo relativno nizke energije (< 1 eV na molekulo) in s tem hitrosti. Molekule, ki prispejo, do substrata, se prilepijo nanj in zaradi njihove majhne površinske gibljivosti v nastajajoči plasti ostajajo praznine. Zrnata struktura plasti povzroča absorpcijo in sipanje ter posledično nižje pragove za laserske poškodbe. Pri novejših tehnologijah nanašanja tankih plasti (ion-beam sputtering, ion-plating) namesto elektronov prenašajo energijo na molekule, oz. pri tem pomagajo, ioni. V tem primeru imajo molekule višje energije (1-10eV), poveča se njihova gibljivost, ko se prilepijo na podlago in rastoča plast ima manj praznin. Dobimo bolj homogeno strukturo plasti, ki ima manjšo absorpcijo in sipanje ter seveda večji prag za laserske poškodbe (slika 4).



Slika 4: a) klasično naparevanje, b) nanašanje s pomočjo ionov

Osnovni vzrok za poškodbe prekritja [4], skozi katerega potuje laserski žarek, je kakovost polirane površine optičnega elementa na katerem je prekritje. Prag za poškodbe gole podlage laserske komponente je nižji od tistega za trden material. "Gladka" površina, ki jo dobimo z različnimi polirnimi postopki, je na mikroskopskem nivoju naključno posejana z razpokami, luknjami in ostanki polirnih smol ter materialov. Interakcija med laserskim električnim poljem in nepravilnostmi na površini povzroči ojačanje polja na teh mestih in s tem poškodbe površine zaradi absorpcije in/ali pospeševanja elektronov. Prekritje, ki ga nanese na tako površino, sledi obliki površine podlage in ravno tako na takih mestih čuti ojačano električno polje (slika 5).

Oba mehanizma poškodb (gretje in taljenje plasti zaradi absorpcije ter pospeševanje elektronov in nastanek plazme) sta funkciji električnega polja. Poznavanje porazdelitve polja po posameznih plasteh prekritja nam pomaga pri oblikovanju prekritja in pri napovedi velikosti praga za poškodbe. Prekritje (debeline posameznih plasti) mora biti oblikovano tako, da električno polje nima maksimalnih vrednosti na meji dveh plasti ali v plasti, ki ima več napak. Možna rešitev je tudi uporaba gradientnega lomnega količnika, kjer nimamo diskretnih prehodov iz plasti v plast in s tem problemov z električnim poljem.



$$\text{ojačanje električnega polja: } E_{in} = \frac{1}{1 + \frac{1}{\epsilon} L} E_0$$

L je depolarizacijski faktor

A : krogla $\Rightarrow L = 1/3$

B : valj $\Rightarrow L = 1/2$

C : razpoka $\Rightarrow L = 1 - \frac{\pi}{2} \frac{\epsilon}{a}$

Slika 5: Interakcija električnega polja z napakami na površini podlage

4 Sklep

Eno najobetavnejših in hitro razvijajočih se področij je gotovo področje trdnih laserjev. Napredek pri resonatorjih trdnih laserjev, pri laserskih materialih in diodno črpanih laserjih z veliko močjo nakazuje novo obdobje na področju uporabe trdnih laserjev. Iskra Elektrooptika je vstopila v področje trdnih laserjev že razmeroma zgodaj (leta 1965) in danes zavzema pomembno mesto v svetovni laserski industriji. Največ je bilo narejenih laserjev Nd-YAG, ki delujejo pri $\lambda = 1,06 \mu\text{m}$. Seveda pa razvoj poteka v smeri uporabe novih ojačevalnih snovi, ki sevajo pri drugih valovnih dolžinah. Zelo zanimiva sta dva nova erbijeva laserja, to sta Er-YAG ($\lambda = 2,94 \mu\text{m}$) in Er-steklo ($\lambda = 1,54 \mu\text{m}$). Laserja sta zanimiva zaradi posebnih lastnosti absorpcije svetlobe njihovih valovnih dolžin v vodi in organskem tkivu. Absorpcija v organskem tkivu je namreč največja pri $\lambda = 2,94 \mu\text{m}$. To omogoča zelo učinkovito uporabo laserja Er-YAG v medicini, še posebno v zobozdravstvu. Nasprotno pa je prag za poškodbo človeškega očesa najvišji v bližini $\lambda = 1,54 \mu\text{m}$. Ozek pas okoli te valovne dolžine je zato znan kot "varen za oči". Po standardih je v tem območju dovoljena javna raba svetlobnih sunkov z energijo do 8 mJ, medtem ko je pri $1,06 \mu\text{m}$ dovoljen le $1 \mu\text{J}$ svetlobne energije. Vse to kaže na obilico dela tudi na področju optičnih elementov in prekritij potrebnih za samo delovanje laserja in delovanje sistemov, v katerih je laser nepogrešljiv sestavni element.

5 LITERATURA

- 1/ W. Koechner, Solid-State Laser Engineering, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1976 and 1988
- 2/ P. Amaya and C. Masser, Ultra-Low-Loss Optics, Lasers and Optronics, June 1992
- 3/ F. Reynard, Coatings with an F-number, lasers and optronics, June 1992
- 4/ B.E. Newnam, Damage resistance of coated optics for pulsed lasers, SPIE Vol. 140 Optical Coatings-Applications and Utilization II (1978)

SPEKTROSKOPIJA TANKIH PLASTI Z RUTHERFORDOVIM POVRATNIM SIPANJEM (RBS)

P. Panjan, Ž. Šmit, A. Cvelbar, A. Batagelj, M. Budnar, P. Pelicon, B. Navinšek, G. Dražič, M. Remškar, A. Zalar* in B. Praček*, Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, 61111 Ljubljana, * Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, 61000 Ljubljana

Thin film analysis by Rutherford backscattering spectrometry (RBS)

ABSTRACT

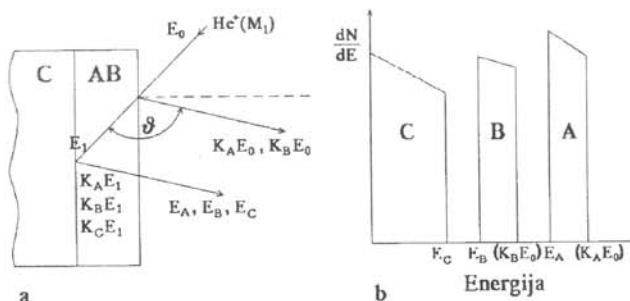
The general physical principles of Rutherford backscattering spectrometry as an almost classical non-destructive technique for thin film analysis are discussed. Since a few years, RBS applications have greatly increased. This technique have been used also on the Jožef Stefan Institute since three years. In this article some examples of RBS spectra obtained on various thin film structures are presented. Cross sectional transmission electron micrographs and depth profiles obtained by Auger electron spectroscopy of the same samples are shown.

POVZETEK

V prispevku so opisani osnovni fizikalni principi spektrometrije z Rutherfordovim povratnim sipanjem ionov. Metoda RBS je klasičen postopek nedestruktivne analize tankih plasti. V zadnjih nekaj letih se je uporaba te spektroskopije zelo povečala. Od leta 1990 jo uporabljamo tudi na Institutu Jožef Stefan. V prispevku so predstavljeni nekateri primeri RBS spektrov, ki smo jih dobili na različnih tankoplastnih strukturah. RBS meritve smo dopolnili z elektronsko mikroskopskimi posnetki in AES globinskimi profili istih vzorcev.

1 Uvod

Metoda RBS je že več kot tri desetletja najpogosteje uporabljena tehnika za nedestruktivno analizo tankih plasti. Bistvo metode je obstreljevanje površine vzorca z visokoenergijskimi (nekaj 100 keV do nekaj MeV) lahкими ioni (H^+ , He^+) in merjenje energije tistih vpadlih ionov, ki se sipajo za velik kot (tj. povratno) na jedrih atomov tarče (slika 1) /1-4/. Proces povratnega sipanja je prožen (elastičen) trk med vpadlim ionom in jedrom atoma tarče.



Slika 1. (a) Rutherfordovo povratno sipanje ionov z energijo E_0 na tarči, ki je sestavljena iz dvokomponentne tanke plasti AB in podlage iz atomov C. (b) Shema oblike Rutherfordovega spektra; v spektru so označena energijska območja, ki ustrezajo atomom vrste A in B iz plasti in atomom C iz podlage [4].

Trk je prožen, če je energija vpadlega iona veliko večja od vezavne energije elektronov v atomu in če je hkrati manjša od energije, pri kateri se začnejo pojavljati jedrske reakcije in resonance. Energijo iona po sipanju lahko izračunamo, če upoštevamo zakona o ohranitvi gibalne količine in kinetične energije:

$$E_1 = \left\{ \frac{\sqrt{M_2^2 - M_1^2 \sin^2 \vartheta} + M_1 \cos \vartheta}{M_1 + M_2} \right\} E_0 = K E_0$$

Energija povratno sipanih ionov (E_1) je torej odvisna od njihove mase (M_1) in energije (E_0), mase atomov tarče (M_2) in sipalnega kota (ϑ). Če je tarča sestavljena iz različnih atomov, potem je razmerje med energijo sipanih in energijo vpadnih ionov (kinematski faktor K) za različne vrste atomov različno, kar nam omogoča kvalitativno masno analizo tarče. V energijskem spektru povratno sipanih ionov se signal, ki ustreza različnim vrstam atomov, pojavi pri različnih energijah. Zaželeno je, da je ta energijska razlika čim večja. To je možno, če izberemo čim večjo energijo in čim večjo maso vpadnih ionov (pri tem pa mora razmerje M_1/M_2 ostati manjše od 1, sicer povratnega sipanja ni!) in če postavimo detektor tako, da je sipalni kot čim bližje kotu 180° . Samo za primerjavo: če uporabimo helijevime ione, je masna ločljivost štirikrat večja od tiste, ki jo dosežemo s protoni. Ker je kinematski faktor za He^+ ione manjši kot za protone so tudi širine vrhov v spektru za He^+ ione štirikrat širše od tistih, ki jih dobimo s protoni.

Tudi globinsko ločljivost izboljšamo, če za analizo uporabimo težje ione. Najboljša ločljivost, ki jo lahko dosežemo, je več kot 10 nm, kar pa je v primerjavi z drugimi metodami (npr. AES globinska analiza) bistveno slabše, zato metode RBS ne moremo uporabiti za analizo večplastnih struktur, ki vključujejo plasti z debelino okrog 10 nm ali manj.

Pri obravnavi povratnega sipanja ionov moramo upoštevati tudi, da se le-to zgodi na različnih globinah vzorca. Informacijo o globini, na kateri je prišlo do jedrskega trka dobimo, če upoštevamo energijske izgube vpadlega iona zaradi sipanja na elektronih in ionizacije na njihovi poti do mesta, kjer je prišlo do povratnega sipanja, in na njihovi poti nazaj. Račun pokaže, da je izguba na enoto opravljene poti iona skozi snov sorazmerna z atomsko gostoto snovi (N). Specifična izguba energije je odvisna tudi od mase vpadlih ionov in je npr. za He ione štirikrat večja kot za protone.

Energijski spekter povratno sipanih ionov nam torej da informacijo o sestavi tarče in o debelinah posameznih plasti. Največja debelina plasti, ki jo še lahko analiziramo, je odvisna od mase ionov in njihove energije in je največ nekaj μm .

Verjetnost za proces povratnega sipanja ionov je zelo majhna. Večina vpadlih delcev se namreč vgradi v material (implantacija). Diferencialni presek za sipanje ionov podaja znamenita Rutherfordova formula, ki pove da je presek za sipanje sorazmeren:

- kvadratu vrstnega števila vpadlih ionov
- kvadratu vrstnega števila atomov tarče in
- obratno sorazmeren kvadratu energije vpadlih ionov.

Občutljivost metode RBS je torej velika za težke atome in majhna za lahke.

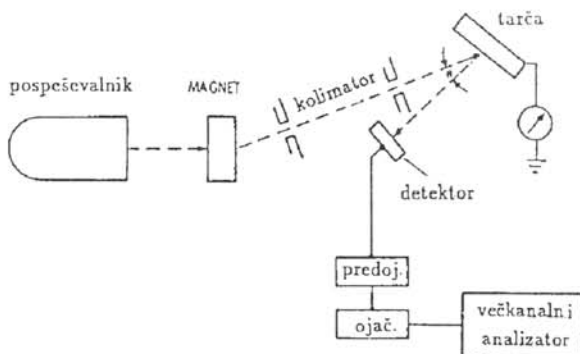
Ugotovljamo, da lahko z metodo RBS določamo absolutno razmerje različnih elementov brez uporabe standardov. Za simulacijo izmerjenega RBS spektra je poleg podatkov, ki se nanašajo na samo postavitev merilnega sistema in ki so seveda stalni (energija, vrsta in vpadni kot ionov glede na tarčo, kot med normalo na tarčo in smerjo detektorja), potreben še podatek o vrsti ionov in prostorninski gostoti atomov tarče N (at./cm^3) (v primeru tankih plasti pa površinska gostota atomov tarče S (at./cm^2); $S = N \cdot d$, kjer je d debelina plasti).

Metodo RBS smo pričeli uporabljati na Institutu Jožef Stefan pred nekaj leti. Naprava je postavljena v Odseku za jedrsko fiziko in omogoča analizo vzorcev s protoni in helijevimi ioni. Energije le-teh so lahko med 0.8 in 1.5 MeV. Namen prispevka je seznaniti strokovnjake s področja tankih plasti in površin na možnosti Rutherfordove spektroskopije. Zato bomo v prispevku predstavili nekaj značilnih primerov uporabe omenjene metode.

2 Eksperimentalni del

Rutherfordov spektrometer je sestavljen iz (slika 2) /4/:

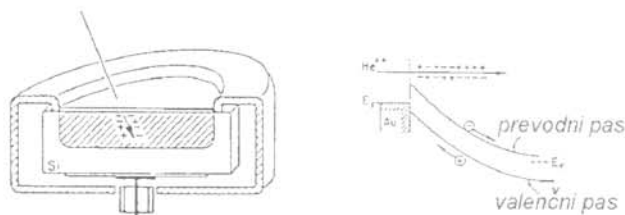
- izvira visokoenergijskih ionov
- vakuumske posode s tarčami
- detektorja ionov
- elektronskega in računalniškega sistema za zajemanje podatkov



Slika 2. Shema eksperimentalnega sistema za merjenje Rutherfordovih spektrov [4].

Izvir protonov (H^+) in helijevih ionov (He^+) je v našem primeru Van de Graaffov pospeševalnik. Ioni iz RF ionskega izvira potujejo najprej skozi sistem pospeševalnih elektrod in ionskih leč ter nazadnje skozi magnetno polje, s katerim izberemo ione s točno določeno energijo (n.p. 1.2 MeV) in maso (H^+ , He^+). Energijo ionov lahko določimo do 5 keV natančno, to je 0.2%. Z dvema zaslonkama omejimo presek ionskega curka na približno 3×3 mm. Divergenca curka je $< 0.3^\circ$.

Komora s tarčami in detektorjem je sestavni del vakuumskega sistema pospeševalnika. Kot med normalo na tarčo in smerjo vpadnega curka je 40° . Uporabili smo silicijev polprevodniški detektor s površinsko zaporno plastjo (to je tanka plast polprevodnika tipa p na debelem polprevodniku tipa n, ter Al in Au kontaktni elektrodi na površini n oz. p polprevodnika) (slika 3). Visokoenergijski ioni na poti skozi zaporno plast detektorja povzročijo nastanek parov elektron-vrzel. Merimo tok skozi diodo v zaporni smeri. Število sunkov je odvisno od števila vpadlih ionov, velikost sunka pa je odvisna od energije vpadlega iona. Ločljivost detektorja pri energiji ionov 1 MeV je 19 keV. Pulz iz detektorja vodimo preko predojačevalnika in ojačevalnika v večkanalni analizator.



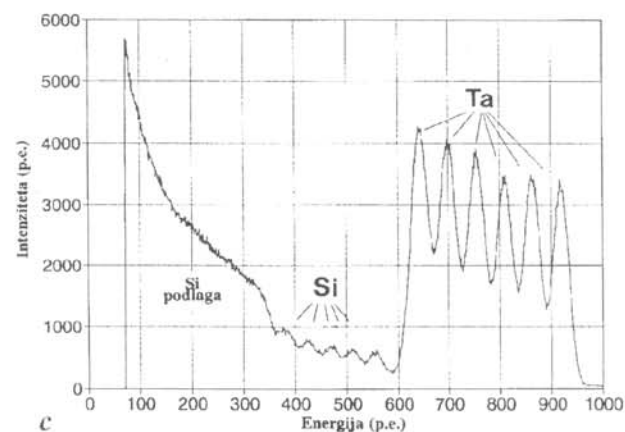
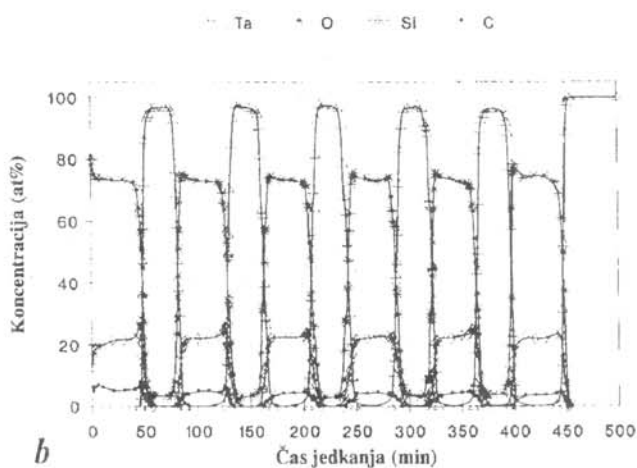
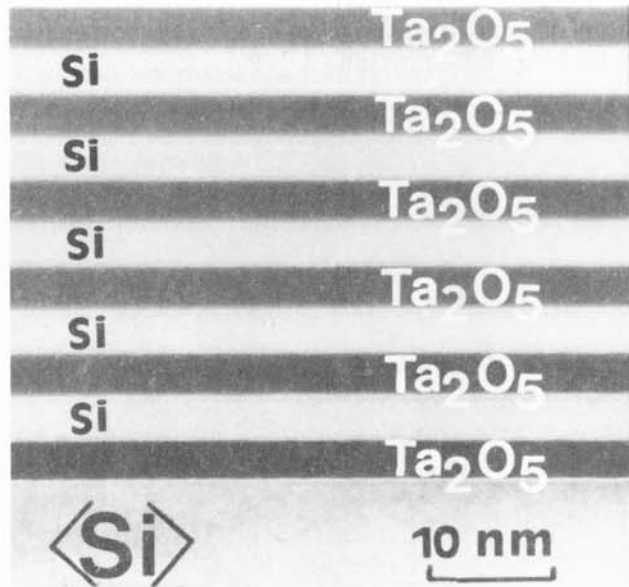
Slika 3. Shema detektorja s površinsko zaporno plastjo [2].

Za simulacijo izmerjenih spektrov smo uporabili računalniški program GISA 7.1 (avtor programa je Jaakko Saarilahti, Semiconductor Laboratory, VTT, Technical Research Centre of Finland, Espoo).

3 Rezultati in diskusija

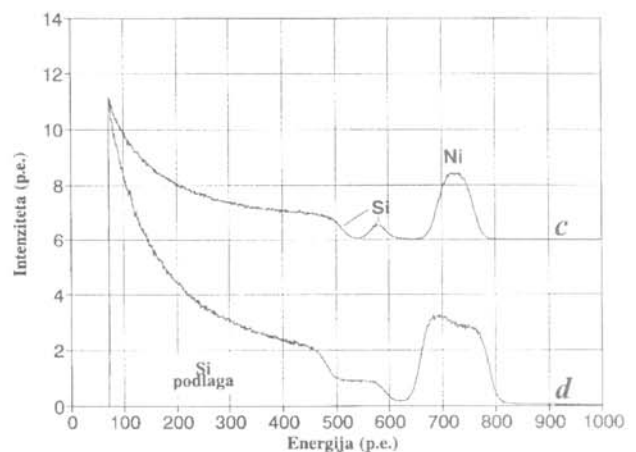
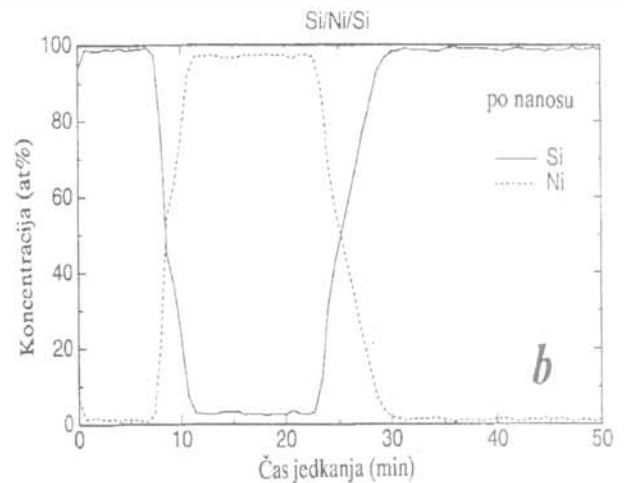
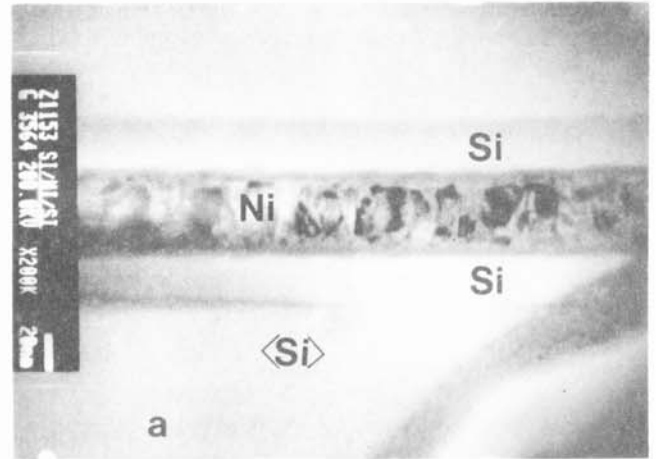
Z naprševanjem v napravi Sputron smo na silicijevi rezini pripravili večplastno strukturo $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{Si}$, v kateri sledi izmenično šest plasti Ta_2O_3 (debelina posamičnih plasti je $d = 30$ nm) in 5 plasti Si ($d = 32$ nm). Slika 4a kaže posnetek prereza te strukture, ki smo ga naredili s presevnim elektronskim mikroskopom, slika 4b pa Augerjev globinski profil. RBS spekter te strukture, ki smo ga posneli s He^+ ioni z energijo 1.2 MeV, pa je prikazan na sliki 4c. Ker so kinematični faktorji za Ta, Si in O zelo različni, se vrhovi v spektru, ki ustrezajo omenjenim elementom, nahajajo pri zelo različnih energijah. Tudi debelina posameznih plasti je v tem primeru takšna, da prekrivanja Ta in Si vrhov ni. Ker je kinematični faktor za kisik najmanjši, najdemo njegove vrhove pri najnižjih energijah, kjer so naloženi na signal, ki ustreza Si podlagi. Kisikovi vrhovi so zelo šibki in zato v spektru

teško prepoznavni. Širina vrhov je premosorazmerna produktu volumnske gostote atomov N (št. at./cm³) v izbrani plasti in debeline plasti d. Če poznamo gostoto plasti, lahko določimo njeno debelino in obratno.



Slika 4. Posnetek prereza večplastne strukture Ta₂O₅/Si, ki smo ga naredili s presevnim elektronskim mikroskopom (a), AES globinski profil (b) in RBS spekter izmerjen s helijevimi ioni z energijo 1.2 MeV (c)

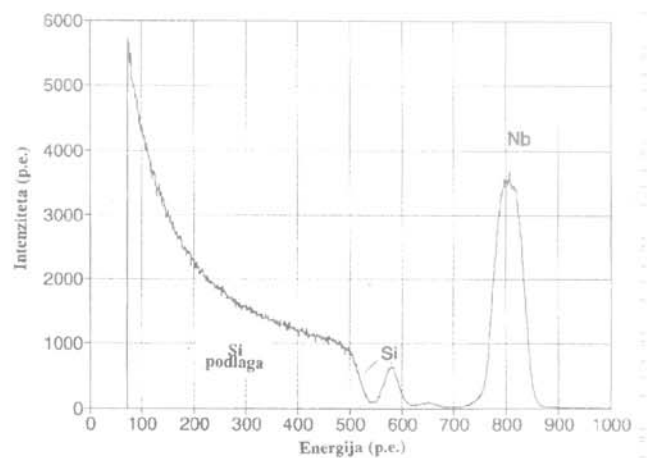
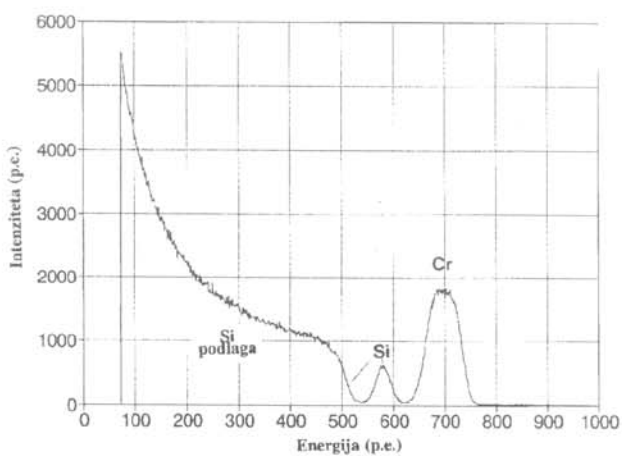
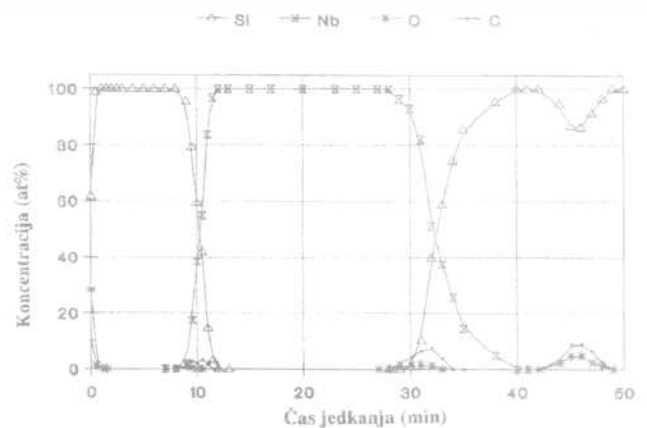
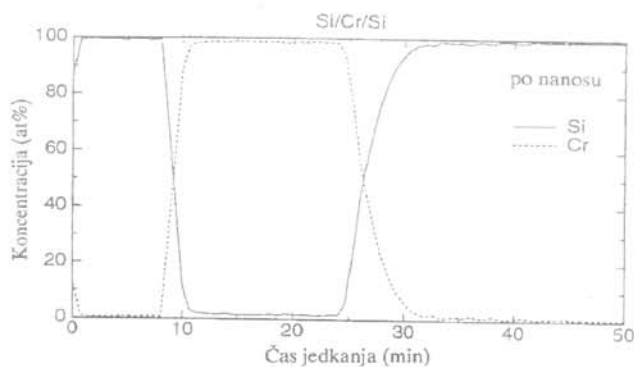
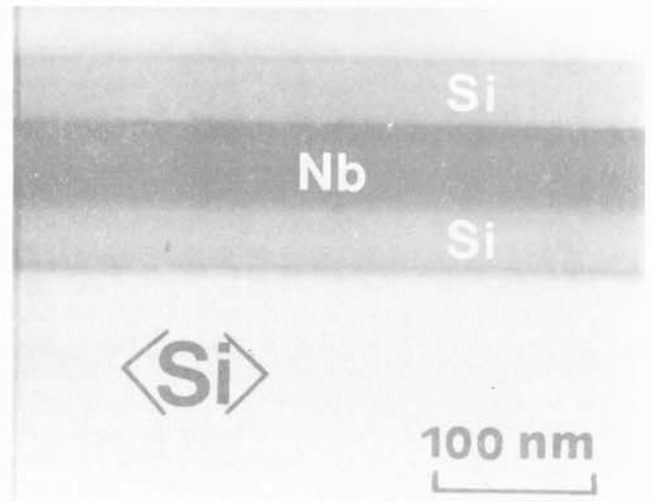
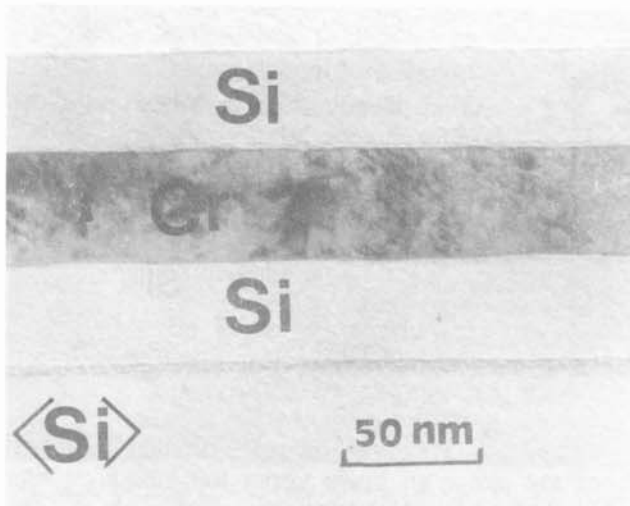
Naslednji primer je struktura Si/Ni/Si-⟨Si⟩ (40nm/50nm/40nm) (slika 5a). RBS spekter te strukture po nanosu je prikazan na sliki b. V spektru vidimo dva vrhova: močnejši, ki se nahaja pri višji energiji, pripada niklju, manjši pa silicijevi tanki plasti, ki se



Slika 5. Elektronsko mikroskopski posnetek prereza Si/Ni/Si tankoplastne strukture, ki smo jo napršili na silicijevo podlago (a), AES globinski profil (b) in RBS spektri istega vzorca po pripravi (c), in po pregretju na 310°C (d).

nahaja na površini vzorca, medtem ko je vrh spodnje silicijeve plasti priložen RBS signalu Si podlage, zato ga ne razločimo. Silicijeve rezine s to strukturo smo segreti v inertni atmosferi na 310°C in iz RBS spektrov poizkusili ugotoviti ali so pri tem nastali nikljevi silicidi in kakšno stehiometrično sestavo imajo. Na sliki 6c je prikazan RBS spekter te strukture po segretju na

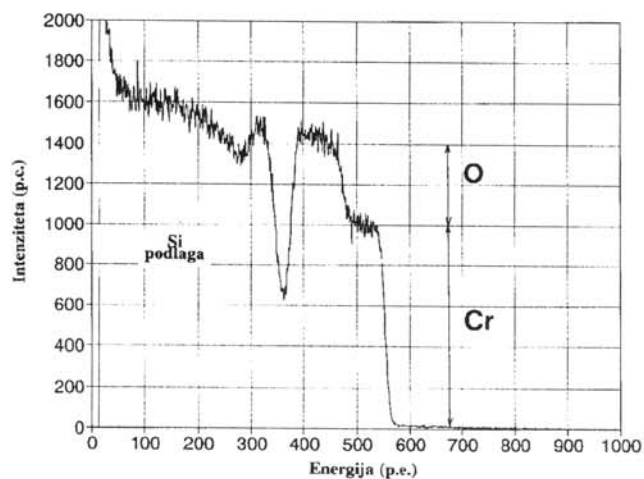
310°C. Tako v signalu niklja kot silicija se pojavi stopnica, ki ustreza plasti NiSi. Stopnica v nikljevem vrhu se pojavi zato, ker je v tej plasti gostota nikljevih atomov manjša kot v čistem niklju, medtem ko se stopnica v silicijevem vrhu pojavi zato, ker silicijevi atomi difundirajo v plast niklja in se torej geometrijsko premaknejo bliže površini.



Slika 6. Elektronsko mikroskopski posnetki prereza Si/Cr/Si (a) in Si/Nb/Si (b) tankoplastnih struktur, odgovarjajoča AES globinska profila [5] (c, d) in RBS spektri istih struktur (e, f), ki smo jih izmerili s helijevimi ioni z energijo 1.2 MeV. Plasti smo napršili na silicijeve podlage.

Sliki 6e in 6f prikazujeta RBS spekter podobnih struktur, vendar s to razliko, da smo nikelj nadomestili s kromom oz. niobijem. Elektronsko mikroskopska posnetka prerezov omenjenih struktur sta prikazana na slikah 6a in 6b, AES globinska profila /5/ pa na slikah 6c in 6d. Debeline silicijevih plasti so v vseh primerih približno enake (~35-40 nm). Zaradi različnih vrednosti kinematskega faktorja so položaji vrhov Ni, Cr in Nb v RBS spektru različni.

Na sliki 7 pa vidimo RBS spekter 1.2 μm debele tanke plasti Cr_2O_3 , ki smo ga posneli s protoni. Ker je plast debela, se vrhova kroma in kisika delno prekrivata (levo od stopnice). Iz razmerja intenzitet signalov kroma in kisika lahko določimo stehiometrijsko sestavo plasti. Za analizo s helijevimi ioni je ta plast predebela.



Slika 7. RBS spekter 1.2 μm debele tanke plasti Cr_2O_3 , ki smo jo napršili na silicijevo podlago, izmerjen s protoni z energijo 1.2 MeV.

4 Sklep

Možnosti uporabe metode RBS so zelo široke. Uporabljamo jo lahko ne samo za analizo tankih plasti in večplastnih struktur, pač pa tudi za študij difuzije in implantacije v mikroelektroniki in metalurgiji, za študij oksidacije ter korozije itd. Metoda je nedestruktivna, čeprav pride v nekaterih primerih do znatnih radiacijskih poškodb (npr. GaAs). Analiza s to metodo je

relativno hitra, saj traja praviloma manj kot 30 minut. Njena največja prednost je kvantitativna narava dobljenih podatkov. Debelino plasti lahko na ta način določimo brez uporabe standardov. Hkrati nam metoda omogoča masno in globinsko analizo vzorca. To pomeni, da lahko iz spektra ugotovimo npr. količino nečistoč v plasti in kakšna je njihova porazdelitev skozi plast. Debelina vzorca, ki ga lahko analiziramo je 1-2 μm , globinska ločljivost 10 do 30 nm (He ioni, 1 MeV) in energijska ločljivost 15 keV. Glavni oz. značilni parametri metode so zbrani v Tabeli I /1/.

Tabela I: Značilni parametri RBS spektrometrije /1/

Analizni curek: H^+ , He^+ , drugi lahki ioni

Energija ionov: 1-3 MeV

Premer curka: ~0.5-1.0 mm (~2 μm z mikrocurkom)

Tok curka: ~2-20 nA

Čas trajanja analize: ~5-30 min

Celoten naboj: ~1-40 μC (6×10^{12} - 2.5×10^{14} ionov)

Kot sipanja: 170°

Energijski analizator: detektor s površinsko zaporno plastjo s 15-25 keV energijsko ločljivostjo

Globina analize: ~1-2 μm

Globinska ločljivost: 20-30 nm (3-4 nm, če je tarča nagnjena glede na vpadni curek ionov)

Masna ločljivost: izotopska ločljivost do ~40 ame

Občutljivost: 10^{-2} - 10^{-4} monoplasti za težke atome nečistoč oz. 0.1-0.01 monoplasti za lahke atome nečistoč.

Natančnost: navadno 3-5%

5 Literatura

- /1/ W.A. Grant, Rutherford back-scattering spectrometry, v knjigi Methods of surface analysis (Techniques and Applications), Ed. J.M.Walls, Cambridge University Press, Cambridge (1989) 299-337
- /2/ L.C. Feldman in J.W. Mayer, Fundamentals of surface and thin film analysis, North-Holland, New York (1986)
- /3/ D. David, Surface Science Reports, Vol.16, N 7 (1992) 335-375
- /4/ Primož Pelicon, Spektrometrija tankih plasti z Rutherfordovim sipanjem, Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, FNT (1991)
- /5/ A. Zalar, S. Hofmann, F. Pimentel and P. Panjan, predavanje na 5. evropski konferenci ECASIA 93, Catania, Italija, 4-8. oktobra, 1993.

UPORABA TANKIH PLASTI V PROJEKCIJSKIH APARATIH

Marijan Olenik in Aleš Dolžan, Iskra Vega, Stegne 13a, 61000 Ljubljana, Slovenija

The application of thin films for projection devices

ABSTRACT

Widely used projection devices, such as diaprojectors, overhead projectors (OHP) and episcopes, have substantial light losses. They are caused by reflection of the light on the surfaces of the transmittive optical elements and decrease reflection on the mirrors. The light efficiency of the projection devices can be increased with various vacuum deposited thin films. With antireflection coatings the undesired reflections on transmittive elements can be decreased. The reflection of the reflective elements can be increased with enhanced aluminium and dielectric coatings. We review the optical elements of the projection device and compare improvements in their quality that can be achieved by using various thin film coatings. The quantitative analysis is done for the transmittive OHP, which is the main product of our company.

POVZETEK

Pri projekcijskih aparatih, kot so diaprojektorji, grafoskopi in episkopi imamo opravka z velikimi svetlobnimi izgubami. Te nastanejo zaradi odbojev svetlobe na površinah presevnih optičnih elementov in zmanjšane odbojnosti na zrcalnih elementih. Z uporabo različnih vakuumsko naporjenih tankih plasti na optičnih elementih lahko svetlobni izkoristek projekcijskega aparata znatno povečamo. Z antirefleksnimi plastmi zmanjšamo odboj na presevnih površinah optičnih elementov, na zrcalnih površinah pa povečamo odboj svetlobe z uporabo izboljšanih aluminijastih in dielektričnih zrcalnih plasti. V članku je opisan pregled vseh optičnih elementov, ki sestavljajo projekcijski aparat, in podana izbira možnih tankih plasti, s katerimi dosežemo večjo svetilnost tega aparata. Za kvantitativno analizo sva izbrala primer presevnega grafoskopa, ki predstavlja večino proizvodnje projekcijskih aparatov tovarne Iskre Vege.

1 Uvod

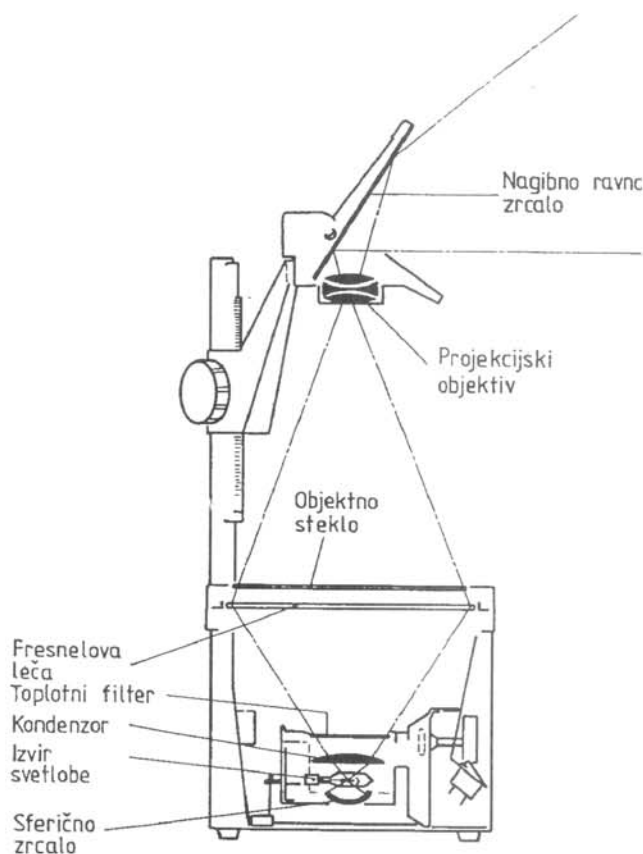
Projekcijski aparati so optične naprave, namenjene za projiciranje povečanih slik različnih slikovnih materialov na svetlobne zaslone v sejnih sobah, predavalnicah, dvoranah in drugih zaprtih prostorih. Delimo jih na grafoskope, diaprojektorje in episkope. Grafoskope uporabljamo za projiciranje presojnih in prirejenih LCD zaslonov. Diafilme, to so fotografski pozitivni filmi, projiciramo z diaprojektorji. Za projiciranje slik iz revij in knjig ter fotografij pa uporabljamo projekcijski aparat, ki ga imenujemo epiprojektor ali episkop. Z episkopom lahko projiciramo tudi ploskve tanjših nepresevnih predmetov.

V tovarni Iskra Vega izdelujemo delno ali pa v celoti projekcijske aparate vseh navedenih vrst. Večino proizvodnje predstavljajo grafoskopi. Glede na izvedbo osvetlitvenega sistema delimo grafoskope na dve veliki družini. Gledano z vidika poti svetlobnega žarka skozi presojnico govorimo o presevnih in zrcalnih grafoskopih. Zrcalni grafoskopi so nastali iz potrebe po manjših, zložljivih in prenosnih aparatih. Njihova svetilnost je navadno dokaj slaba. Kvalitetnejšo in svetlejšo projicirano sliko dobimo s presevnim grafoskopom. Presevne grafoskope razvrščamo v kakovostne razrede predvsem po njihovi svetilnosti. Svetilnost grafoskopa je seveda v prvi vrsti odvisna od

moči vgrajenega svetlobnega izvira, tj. od moči uporabljene halogenske žarnice (250, 360 ali 400 W). Pri dani moči žarnice pa je močno pogojena še z izbiro in kakovostjo optičnih elementov, ki jih vgradimo. Tako dobimo grafoskope, ki jih razvrstimo v razrede do 2000, do 3000, do 4000, do 5000 in nad 5000 lumnov svetilnosti. V nadaljevanju bomo spoznali optične elemente, ki sestavljajo presevni grafoskop najvišjega svetilnostnega razreda. Pogledali bomo kakšne in kolikšne so svetlobne izgube na teh optičnih elementih in podali pregled možnosti povečanja svetilnosti projekcijskega aparata z uporabo tankih plasti, ki bi jih nanесли na optične elemente.

2 Optični sistem projekcijskega aparata

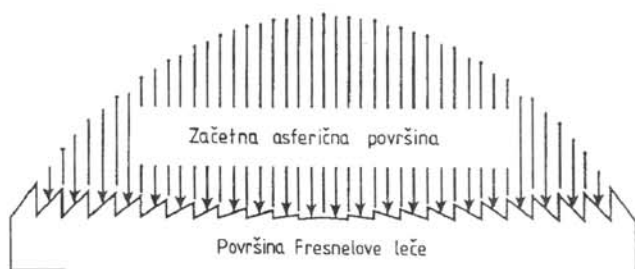
Naloga optičnega sistema v projekcijskem aparatu je zbiranje in usmerjanje svetlobe, ki jo seva žarnica skozi projekcijski objektiv na svetlobni zaslon. Optični sistem sestavljajo trije poglavitni sklopi: osvetlitveni sistem, projekcijski objektiv in nagibno ravno zrcalo. Shema optičnega sistema presevnega grafoskopa s potekom robnih svetlobnih žarkov je podana na sliki 1.



Slika 1. Optični sistem presevnega grafoskopa

Osvetlitveni sistem /1/ presevnega grafoskopa je običajno sestavljen iz naslednjih optičnih elementov: žarnice, sferičnega zrcala, kondenzorja, toplotnega filtra in Fresnelove leče. Močna nizkonapetostna žarnica predstavlja izvir svetlobe. S sferičnim zrcalom (krogelno konkavno zrcalo) odbijemo tisti del svetlobe, ki ga žarnica seva proti dnu grafoskopa. Kondenzor je pri grafoskopu narejen iz ene same plankonveksne steklene leče. Z njim zberemo odbito in direktno svetlobo z žarnice in jo usmerimo na Fresnelovo lečo. Vmes postavimo še toplotni filter, s katerim zadržimo infrardeči del svetlobe. S tem preprečimo premočno gretje slikovnega materiala.

Na področju osvetlitvene optike natančnost optičnih preslikav ni zelo zahtevna, zato lahko klasično lečo z veliko relativno odprtino nadomestimo s "stopničasto" ali Fresnelovo lečo /2/. Uporaba takšne leče pomeni velik prihranek pri teži in vgradnem prostoru. Fresnelova leča je narejena iz tanke plošče plastične mase (navadno polimetilmetakrilat ali pleksi steklo). Na eni strani je ravna, na drugi stani pa ima vrezane koncentrične trikotne utore, ki so nagnjeni pod različnimi koti v odvisnosti od razdalje od središča leče. Če pogledamo Fresnelovo lečo v preseku, (slika 2) ugotovimo, da je podobna žagi, pri kateri strmina zob narašča z oddaljevanjem od optične osi. Vsak trikoten utor deluje lokalno kot majhna prizma.



Slika 2. Shematski prikaz Fresnelove leče

Tako s ploskovnim optičnim elementom (Fresnelovo lečo) nadomestimo močno zbiralno lečo, s katero zberemo svetlobo v stožčast snop in jo pošljemo skozi projekcijski objektiv. Tik nad Fresnelovo lečo imamo še objektno steklo (ravna steklena plošča iz float stekla), ki predstavlja ravnino preslikave. Na njo polagamo prozorne acetatne folije oz. presojnice.

Projekcijski objektiv je običajno trolečni. S spreminjanjem njegove oddaljenosti od objektne stekla lahko izostrimo projicirano sliko za različne oddaljenosti grafoskopa od svetlobnega zaslona. Z nastavljenim, poševno postavljenim ravnim zrcalom pa lahko do neke mere spreminjamo kot odklona svetlobnega snopa in s tem položaj projicirane slike na zaslonu.

Kvalitetni optični sistem mora zbrati čim več svetlobe, ki jo žarnica seva v celoten prostorski kot. Svetlobni izkoristek optičnega sistema lahko definiramo kot razmerje med svetilnostjo grafoskopa in svetilnostjo žarnice. Iz podatka, da ima halogenska 400 W žarnica svetilnost okrog 14000 lumnov, lahko vidimo, da je svetlobni izkoristek tudi najsvetlejšega grafoskopa (5500 lm) zelo skromen.

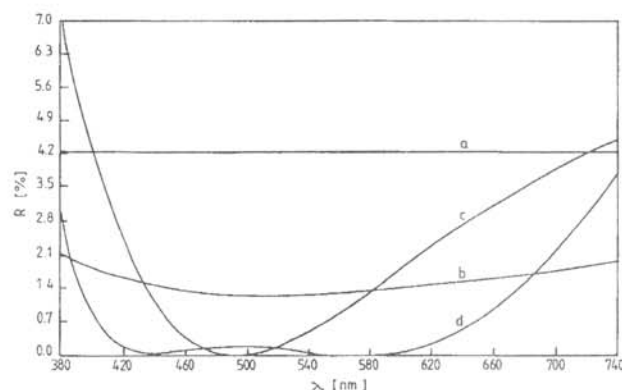
3 Antirefleksna prekritja

Pri prehodu svetlobe skozi mejo dveh optičnih snovi z različnima lomnima količnikoma n_1 in n_2 se del svetlobe odbije, del pa prepusti /3/. Pri pravokotnem vpadu je odbojnost R enaka:

$$R = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2$$

Hitro lahko presodimo, da se na prehodu iz zraka (lomni količnik približno 1) v kronsko steklo z $n = 1,52$ odbije 4,2% vpadne vidne svetlobe. Tolikšen odboj dobimo na vsakem prehodu iz zraka v steklo, kakor tudi iz stekla nazaj v zrak. Z naraščanjem lomnega količnika stekla narašča tudi delež odbite svetlobe na površini stekla. Tako je za visokolomno flintno steklo z $n = 1,8$ ta delež že 8,2%. Z vakuumsko neparjenimi tankimi dielektričnimi plastmi lahko odbojnost površin optičnih elementov uspešno znižamo.

Izvedbe antirefleksnega prekritja se razlikujejo po številu plasti in vrsti uporabljenih dielektričnih materialov /3,4/. Z večanjem števila plasti lahko odbojnost še bolj znižamo. Najenostavnejši primer antirefleksne plasti je približno 100 nm debela plast MgF_2 . Na površini stekla z $n = 1,52$ s tem znižamo odbojnost na 1,4%. Odbojnost tukaj podajamo kot povprečno vrednost odbitega dela vidne svetlobe v intervalu valovnih dolžin od 400 do 700 nm. Pri dvoplastnem prekritju uporabimo kombinacijo visokolomnega in nizkolomnega materiala, npr. TiO_2 in SiO_2 . Odbojnost znižamo na 1%. Za triplastno prekritje naparimo določene debeline Al_2O_3 , TiO_2 in MgF_2 ; povprečna odbojnost pade pod 0,5%. S pet in več plastnimi prekritji lahko odbojnost na površini še bolj znižamo. Teoretične spektralne porazdelitve odbite svetlobe za eno, dvo in triplastna prekritja so prikazane na sliki 3.



Slika 3. Spektralne porazdelitve odbite svetlobe, izračunane brez upoštevanja disperzije in absorpcije za nenaparjeno steklo z $n = 1.52$ (a) in za na taki podlagi naparjeno enoplastno (b), dvoplastno (c) in triplastno antirefleksno prekritje (d)

V našem optičnem sistemu imamo sedem presevnih optičnih elementov, na katerih bi lahko naparili antirefleksna prekritja: kondenzor, toplotni filter, Fresnelo-

vo lečo, objektno steklo in tri leče projekcijskega objektiva. Spomnimo se, da sedem optičnih elementov pomeni štirinajst površin, na katerih se svetloba odbije. Za primerjavo učinkovitosti antirefleksnih prekritij bomo normirali prepustnost idealnega optičnega sistema, brez odbojev na površinah na enoto 1 (tabela I). Prepustnosti posameznih optičnih elementov v sistemu se med seboj množijo. Za najslabši primer, ko so vsi elementi v grafoskopu brez antirefleksnih prekritij, dobljeno skupno prepustnost ocenimo na $(0,958)^{14} = 0,54$.

Tabela I: Primerjava učinkovitosti antirefleksnih prekritij pri povečanju svetlobne prepustnosti optičnega sistema. Izračunane vrednosti veljajo za optični sistem, katerega elementi so izdelani iz stekla z lomnim količnikom $n_d = 1.52$

Prepustnost optičnega sistema				
Brez svetlobnih izgub	Brez anti-refleksnega prekritja	Trenutno stanje	Vse površine neparjene z enoplastnim prekritjem	Vse površine neparjene z triplastnim prekritjem
1.00	0.54	0.65	0.82	0.93

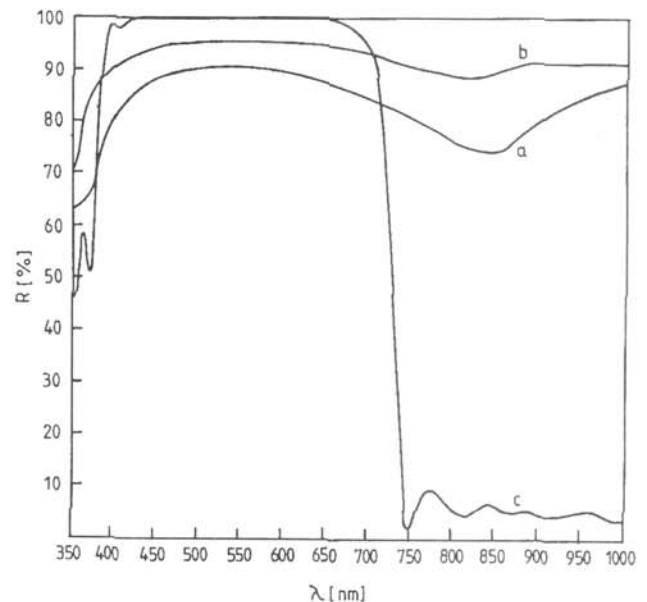
Tudi najsvetlejši serijsko izdelan grafoskop je zelo skromno opremljen z antirefleksnimi prekritji: z enoplastnim prekritjem je neparjenih le vseh šest površin trilečnega projekcijskega objektiva. Teoretična prepustnost takšnega optičnega sistema je le 0,65. Če bi vseh štirinajst površin neparili z enoplastnim antirefleksnim prekritjem, bi se prepustnost povečala na 0,82, s triplastnim antirefleksnim prekritjem pa kar na 0,93. Pri tej presoji nismo upoštevali kotne odvisnosti odbojnosti na dielektričnih površinah, absorpcije svetlobe ter preostalih svetlobnih izgub. Glede na sedanj, delno neparjeni optični sistem presevnega grafoskopa bi torej z napajanjem triplastnih antirefleksnih prekritij na vse presevne optične elemente dobili na zaslону kar 43% več svetlobe.

4 Zrcalne plasti

Poleg presevnih optičnih elementov imamo v projekcijskih aparatih še zrcalne elemente. Delovanje zrcalnih elementov je neposredno odvisno od kakovosti neparjene zrcalne plasti. Pri presevnih elementih je pomembnejši lomni količnik stekla, krivinski radij in debelina, z antirefleksnimi prekritji pa samo izboljšamo optične lastnosti. V presevnem grafoskopu imamo dva zrcalna optična elementa: sferično zrcalo in projekcijsko ravno zrcalo.

Zrcalne optične elemente dobimo z napajanjem oz. naprševanjem zrcalnih plasti na izbrano podlago. Uporabljamo predvsem tri vrste zrcalnih plasti: aluminijaste, izboljšane aluminijaste in dielektrične plasti /3/. Spektralne porazdelitve odbite svetlobe za te plasti

so prikazane na sliki 4. Pri navadnem aluminiziranem zrcalu nanesemo od 60 do 100 nm debelo plast aluminija, ki jo pred poškodbami zavarujemo z zaščitno plastjo SiO_2 . Povprečna refleksija takšne plasti navadno ne presega 89%. Izboljšano aluminizirano zrcalo je kombinacija kovinskih in dielektričnih plasti, s katerimi izboljšamo osnovno refleksijo aluminija. Povprečna refleksija takšnega zrcala je do 94 %, za ožje spektralno območje pa tudi do 97%. Dielektrično zrcalo naredimo z izmeničnim napajanjem visokolomnega in nizkolomnega materiala, npr. TiO_2 in SiO_2 . Z večanjem števila neparjenih plasti širimo spektralni interval, v katerem ima prekritje visok zrcalni učinek. Z 20 do 30 neparjenimi plastmi (odvisno od izbranih materialov za napajanje) lahko na spektralnem območju od 400 do 700 nm dosežemo refleksijo višjo od 99%. Takšno zrcalo odbija samo vidno svetlobo, prepušča pa ultravijolično in infrardečo. Slednje je zelo zaželeno pri konstrukciji osvetlitvenih sistemov, saj s takim zrcalom zmanjšamo toplotne obremenitve. Zato takšnemu zrcalu rečemo tudi hladno zrcalo.

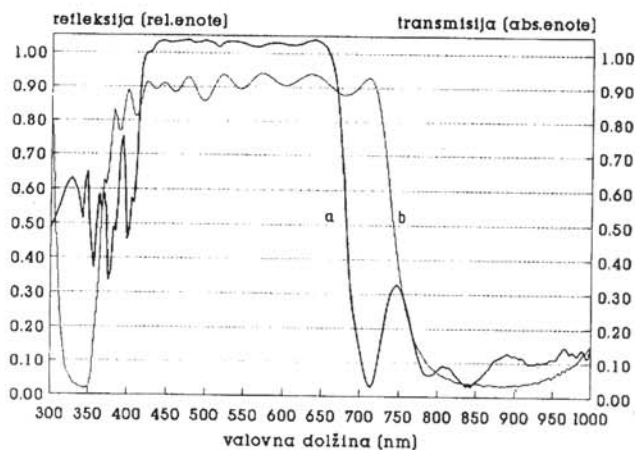


Slika 4. Spektralne porazdelitve odbite svetlobe za različne zrcalne sloje: aluminizirano zrcalo (a), izboljšano aluminizirano zrcalo (b), dielektrično (hladno) zrcalo (c)

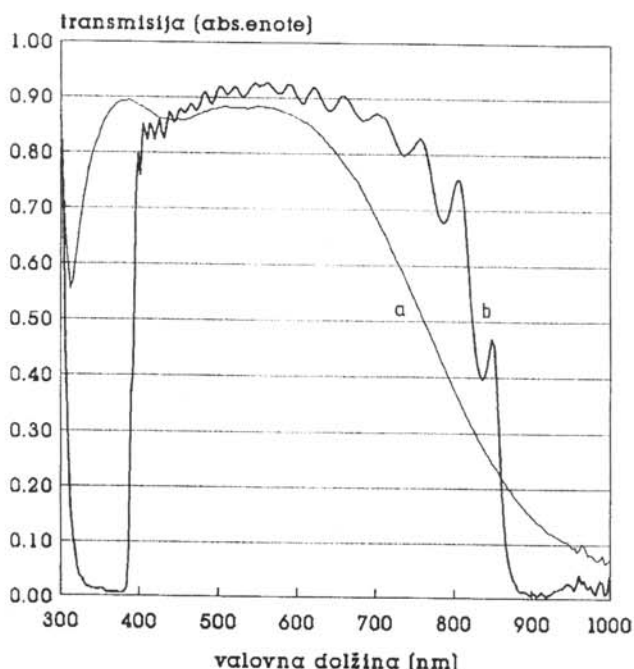
Hladnemu zrcalu komplementaren optični element je zrcalo, ki odbija infrardečo in prepušča vidno svetlobo. Po zgornjem zgledu ga lahko poimenujemo vroče zrcalo /3/. Izdelava vročega zrcala je podobna izdelavi hladnega, le da so neparjene plasti debelejše. Sorodnost obeh optičnih elementov lepo prikazuje slika 5, pri čemer je na eni ordinati diagrama podana odbojnost hladnega zrcala, na drugi pa prepustnost vročega zrcala.

Z vročim zrcalom lahko nadomestimo toplotni filter, ki smo ga sprva vgrajevali v naš optični sistem, prikazan na sliki 1. Primerjava spektralnih porazdelitev prepustne svetlobe vročega zrcala in absorpcijskega filtra je podana na sliki 6. Iz diagrama razberemo, da je

povprečna prepustnost vročega zrcala do 7% večja od prepustnosti absorpcijskega filtra. Druga prednost vročega zrcala pred absorpcijskim filtrom je v brezbarvnosti za pravokoten vpad svetlobe. Absorpcijski filter je v presevani svetlobi zelenkast, saj poleg infrardeče zadrži tudi del rdečega dela vidne svetlobe. Zaradi tega je slika na zaslonu drugačnih barv kot na presojnici.



Slika 5. Primerjava spektrov hladnega zrcala, izmerjenega v refleksiji (a), in vročega zrcala, izmerjenega v transmisiji (b). Refleksijska ordinata je podana v relativnih enotah; za referenčno vrednost smo uporabili zrcalo z izboljšanim aluminijastim prekritjem



Slika 6. Spektralni porazdelitvi prepuščene svetlobe absorpcijskega filtra (a) in vročega zrcala (b)

Vroče zrcalo toplotno sevanje odbija, absorpcijski filter pa ga absorbira in zadrži v sebi. Absorpcijske filtre moramo zato kaliti, kar podraži njegovo izdelavo. S kaljenjem popustimo notranje napetosti v steklu, ki bi pri segrevanju filtra na višje temperature povročile lom stekla. Vročih zrcal ni potrebno kaliti.

5 Sklep

V projekcijske aparate, ki jih izdelujemo v tovarni Iskri Vegi, že dalj časa vgrajujemo projekcijska zrcala z izboljšanim aluminijastim prekritjem. Ravno tako že več let v aparate z višjo svetilnostjo vgrajujemo sferična zrcala z dielektričnim zrcalnim prekritjem. Z bolj masovno uporabo 400 W žarnic v presevnih grafskopih (navadni grafskopi imajo le 250 W žarnico) je v zadnjem letu tudi izredno narasel delež grafskopov, v katere vgrajujemo toplotne filtre. Iz močnejše vgrajene žarnice resda dobimo večji svetlobni tok in s tem višjo svetilnost aparata, vendar z njo tudi večje toplotno sevanje, ki lahko močno ogreje delovno površino grafskopa. Na objektnem steklu, na katerega polagamo presojnice in LCD zaslone, je po DIN standardu dovoljeni dvig temperature le 35°C nad okolico. Zato moramo svetlobo, ki jo daje žarnica, "ohladiti". Prvi korak je seveda vgradnja hladnega sferičnega zrcala pod žarnico. Če le to ne zadostuje, pa vgradimo še toplotni filter. Zaradi ugodnejših optičnih lastnosti (višja presevnost v vidnem delu) smo absorpcijske filtre skoraj v celoti nadomestili z naperjenimi vročimi zrcali.

Iz zgoraj naštetega lahko vidimo, da smo na področju uporabe zrcalnih plasti izkoristili prednosti že skoraj vseh kvalitetnejših prekritij. Velike rezerve pri doseganju večje svetilnosti grafskopov pa imamo pri antirefleksnih prekritjih. Naparevanje le-teh na objektno steklo in Fresnelovo lečo je resda pogojeno s precejšnjimi tehnološkimi težavami (velikost podlag, podlaga iz plastične mase), zato pa ni nobenih tehnoloških problemov z naparevanjem antirefleksnih prekritij na preostale preseвне optične elemente. Tehnološki postopki naparevanja so že razviti, problematične pa so žal proizvodne kapacitete v oddelku za naparevanje tankih plasti. Vsekakor pa je naša prva naloga prehod na triplastno antirefleksno prekritje pri trilečnih projekcijskih objektivih, s katerim bi pridobili še okrog 8% izhodne svetlobe in izboljšali kontrast projicirane slike.

6 Literatura

- /1/ H. Naumann, G. Schröder: Bauelemente der Optik, Hanser, München, 1987
- /2/ Katalog firme Fresnel Optics, Rochester, New York, 1993
- /3/ H. K. Pulker, Coatings on Glass, Elsevier, Amsterdam, 1984
- /4/ A. Demšar, Antirefleksna pokritja, Vakuumist, št. 10, 1986

TERMODISOCIACIJA VODIKA V CELICI Z VROČO VOLFRAMSKO NITKO

Iztok Čadež, Institut za fiziku, P.P. 57, 11001, Beograd

HYDROGEN THERMODISSOCIATION IN GAS CELL CONTAINING HOT TUNGSTEN FILAMENT

ABSTRACT

The rate of the neutral hydrogen gas dissociation in a simple metallic gas cell is discussed. The atomization on the hot tungsten filament is the source of atoms while atom recombination occurs on the cool metal wall of the cell. The gas pressure in the present consideration is of the order of 10^{-2} mbar. The influence of sticking and recombination coefficients to the dissociation rate is elucidated.

POVZETEK

V tem prispevku je obravnavana stopnja disociiranosti nevtralnega vodika v enostavni kovinasti plinski celici. Atomizacija na vroči volframski nitki je izvir vodikovih atomov, medtem ko se le-ti istočasno tudi rekombinirajo na hladni steni celice. Tlak v tej celici je velikostnega reda 10^{-2} mbar. Razjasnjen je vpliv veznih in rekombinacijskega koeficienta glede na stopnjo disociiranosti vodika.

1 UVOD

Za bolj precizno razumevanje in modeliranje procesov v plazmi in na površinah postaja nujno potrebno vse bolj detajlno razumevanje posameznih procesov interakcije. Čeprav obstaja dosti informacij za posamezne procese z delci v osnovnih stanjih, pa je izredno malo znanega o ekscitiranih delcih. Ti so v mnogih primerih bistvenega pomena, ker pripeljejo ali do popolnoma novih reakcij in s tem pojavov ali bistveno spreminjajo verjetnosti posameznih procesov.

Za veliko različnih pojavov so temeljnega pomena tisti z molekulami in atomi vodika. Od vseh molekul v medzveznem prostoru so vodikove najbolj številne in mehanizem njihovega nastajanja je še zmeraj odprto vprašanje. Mislimo, da do njihovega naravnega nastanka pride z rekombinacijo atomov na površinah medzvezdnih delcev, prahu /1/. Nadalje, elementarni procesi v vodiku (posebno za njegove težje izotope) imajo izreden pomen za razumevanje in projektiranje nove generacije tokamak instalacij. Namreč, v mejni plazmi prihaja do nastajanja raznih molekul in med njimi so molekule vodika najbolj pomembne. Tako imajo že same medsebojne reakcije molekul in atomov v tem prostoru, še posebno reakcije z notranjimi stenami teh naprav, bistven pomen za razvoj teh velikih naprav. Vodik je zelo pogosto glavna ali zelo pomembna komponenta različnih tehnoloških plazem. Posebno velik pomen ima vodik pri obratovanju intenzivnih volumskih ionskih izvirov za negativne vodikove ione. Ti predstavljajo prvi element sistemov za pripravo intenzivnih, visokoenergijskih nevtralnih curkov za grejete fuzijske plazme. Tu je posebno pomembna vibracijska ekscitacija molekul vodika, kajti ravno ta je odgovorna za nastanek negativnih ionov /2/.

V tem prispevku je prikazan le en vidik raziskav elementarnih procesov nevtralnih atomov in molekul vodika v enostavni kovinski plinski celici. Te raziskave so do sedaj pokazale na izreden pomen vibracijske ekscitacije molekul vodika, ki nastanejo z rekombinacijo atomov na hladnih površinah kovin /3,4/. Bolj detajlno bo o problemu, ki ga tu obravnavamo, tj. o določanju stopnje disociacije vodika, govora v razpravi, ki je v pravi /5/.

2 TERMODISOCIACIJA V PLINU

Zaradi termičnega gibanja je vsak plin pri dani temperaturi delno disociiran. Posebno je pomembna, tako za astrofiziko kot tudi za fiziko plazme, termodisociacija vodika, to je reakcija:



ki je inducirana s termičnim gibanjem drugih delcev plina.

Stopnja disociacije se lahko izračuna z ravnotežno konstanto (K_{eq}), ki veže delne tlake atomarne, disociirane (p_1) in molekularne (p_2) komponente plina:

$$K_{eq} = \frac{p_1^2}{p_2 p_{st}} \quad (2)$$

Tako definirana ravnotežna konstanta je brezdimenzijska količina in se lahko dobi iz ravnotežne konstante pri standardnem tlaku ($p_{st} = 0,1$ MPa) /6/. Ravnotežna konstanta ima enostavno aproksimativno eksponentialno odvisnost od temperature: $K_{eq} = A \cdot e^{-B'/T}$. Konstanti A in B' izračunamo za primer H_2 vodikove molekule v temperaturnem področju od 1000 do 3000 K, iz podatkov v literaturi /6/ imata naslednje vrednosti:

	A	B' [K]
$\text{H}_2 \leftrightarrow \text{H} + \text{H}$:	$1,3827 \cdot 10^6$	53890,4

Na primer, da je celotni tlak $p_c = p_2 + p_1 = 5 \cdot 10^{-2}$ mbar, kar je značilna vrednost, pomembna za pričujočo razpravo, dobimo za temperature 1400, 2200 oziroma 3000 K delni tlak disociirane komponente vodika p_1 $4 \cdot 10^{-5}$, $2,7 \cdot 10^{-2}$ oziroma $4,99 \cdot 10^{-2}$ mbar.

Za kvantitativno karakterizacijo stopnje disociiranosti plina je bolj praktično uporabljati parameter α , ki ga definiramo kot količnik pogostosti trkov molekul (Z_2) in atomov (Z_1) z enotno površino, ki je obdana z opazovanim plinom:

$$\alpha = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (3)$$

Torej je $\alpha = \infty$ za nedisociiran (nizke temperature) in $\alpha = 0$ za popolnoma disociiran, atomaren, plin. Iz kinetične teorije plina je $Z_i = z_i p_i$, $z_i = (2 \pi M_i k T_i)^{-1/2}$ in indeksom $i=1,2$ za atome oziroma molekule (v nadaljnjem besedilu bo vedno z indeksom "1" označena količina, vezana na atom, in z "2" na molekulo). Pogostnost trkov Z_i je podana v enoti $m^{-2}s^{-1}$. Parameter α je posebno praktičen, kadar so interakcije s površinami pomembne za konkreten primer, in še posebno, če je raziskava interakcij s površinami cilj dela. Za primer molekule H_2 je $M_2/M_1 = 2$ in v celem nadaljnjem besedilu bo uporabljena predpostavka, da sta si temperaturi obeh komponent plina enaki: $T_1 = T_2 = T$. Za vodik torej velja naslednja zveza med parametrom α in količnikom delnih tlakov:

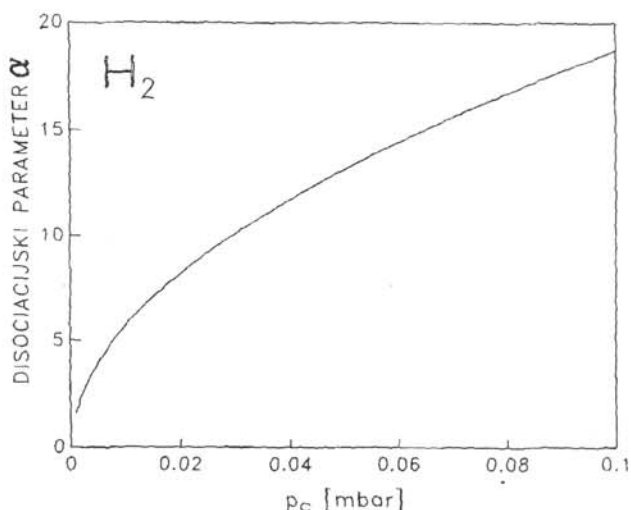
$$\alpha = \frac{p_2 \sqrt{M_1 T_1}}{p_1 \sqrt{M_2 T_2}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \quad (4)$$

Iz osnovne definicije parametra α dobimo enostavno zvezo med delnimi tlaki p_i in celotnim tlakom p_c :

$$p_1 = p_c / (1 + \sqrt{2} \alpha) \quad (5)$$

$$p_2 = p_c \cdot \sqrt{2} \cdot \alpha / (1 + \sqrt{2} \alpha)$$

Na sliki 1 je prikazana odvisnost parametra α od celotnega tlaka pri temperaturi 1800 K.



Slika 1. Ravnotežna disociacija vodika za $T = 1800 K$ v odvisnosti od celotnega tlaka

Delni rezultati detaljne analize hitrosti reakcij disociacije molekul vodika v odvisnosti od notranje vibracijsko - rotacijske ekscitacije so podani v literaturi /7/. Isti avtor je analiziral tudi vpliv trojnih trkov na reakcijo disociacije molekul in inverzno reakcijo, tj. rekombinacijo atomov.

3 TERMODISOCIACIJA NA VROČI POVRŠINI

Termodisociacija v nevtralnem plinu je v normalnih razmerah ponavadi bolj malo verjetna zaradi nezadostno visokih temperatur. Pomembna je kot proces v plinih v astrofiziki kot tudi pri gorenju. Če so v plinu prisotni naelektrni delci, kot je to primer v plazmi, je stanje bistveno bolj zapleteno. Tu ni mogoče enostavno razlikovati termodisociacije, ki se dogaja pod vplivom termalnih trkov nevtralnih delcev od procesov disociacije, ki jih povzročajo naelektrni delci. Slednji imajo ponavadi večjo energijo od termične, pa so zaradi tega tudi bolj učinkoviti povzročitelji disociacije.

Drugače kot pri omenjenem stanju, ko prevladujejo volumski procesi, je termodisociacija praktično pomembna v primeru, ko vročo površino obkroža nevtralni plin, ki pa sam nima posebno visoke temperature. To je na primer običajno stanje, ki so ga raziskovali v začetku tega stoletja v zvezi z žarnicami, in ki je pripeljala Langmuir-a, pionirja teh raziskav, do vrste zanimivih rezultatov /8/, ki imajo velik tehnološki pomen.

Termodisociacijo plina na vroči površini, ali kot pravimo v tem primeru atomizacijo molekul, lahko kvalitativno ovrednotimo z upoštevanjem kinetike samega procesa, brez detaljnega vpogleda v bistvo procesov na površini. V tem primeru je to bistvo elementarnih procesov vključeno parametrsko z odgovarjajočima količinama: z veznima (sticking) koeficientoma (s_1 in s_2) in z verjetnostjo desorpcije (d_1 in d_2) ter s parametri stanja na površini: površinska koncentracija adsorbiranih delcev (N_{a1} in N_{a2}) in pokritostjo (coverage) površine $\vartheta = N_a/N_s$ (N_s - površinska gostota mogočih mest za adsorpcijo). V nadaljnjem bomo temperaturo okoliškega plina označili s T' , temperaturo površine pa s T (enako, kot z indeksi za atome in molekule bodo tudi količine, vezane na temperaturo plina, označene z " ' "); količine, povezane s temperaturo površine, pa bodo brez posebne oznake). Pričujoča razprava je majhna posplošitev razprave o atomizaciji na površinah, ki jo najdemo pri Brennan-u /9/.

Opazujemo vročo površino kovine, ki kemisorbira vodik. Vzemimo, da je temperatura površine T in predstavljamo si, da na sami površini obstaja dvodimenzionalni plin, katerega temperatura je enaka tisti na površini. Okoliški plin označimo s temperaturo T' in celotnim tlakom $p_c = p_1 + p_2$, ki ga eksperimentalno merimo. Atomi in molekule plina se pri trku s površino nanjo lepijo z odgovarjajočima veznima koeficientoma s_1 in s_2 . Ti predstavljajo verjetnost, da se delec, katerega srednja energija je določena s temperaturo T' , veže s površino zadosti dolgo časa, da pride do celotne izmenjave energije s površino. Na njej namreč obstajajo adsorbirani atomi in molekule (pri medsebojnih trkih adsorbiranih atomov prihaja do rekombinacije in nastajanja molekul) in ti desorbirajo s površine z ustrezno verjetnostjo d_1 oz. d_2 . Desorpcijo lahko označimo s pretokom delcev, ki zapuščajo enotino površino: $D_i = d_i N_{ai}$, $i=1,2$. V ravnotežnem primeru je celotni pretok delcev, recimo atomov, ki se vežejo na površino, enak tistemu, ki jo zapuščajo:

$$s_1 Z_1 + 2 s_2 Z_2 = D_1 + 2 D_2 \quad (6)$$

V posebnem primeru, ko je $T=T'$, površina ne vpliva na medsebojne odnose koncentracij atomarne in molekulske komponente in je zato $s_1 Z_1 = D_1$ in $s_2 Z_2 = D_2$.

Osnovna predpostavka pri obravnavi neravnotežnega, splošnega primera je, da vedno obstaja nek ekvivalentni celotni tlak p_{ceq} , ki bi s temperaturo plina T formiral isto stanje na površini, kakor je to v opazovanem primeru (celotni tlak p_c in temperatura T' plina ter temperatura površine T). Ko ta ekvivalentni tlak določimo, je enostavno izračunati pretok desorbiranih atomov oziroma molekul iz razmerja:

$$s_1 Z_1 + 2 s_2 Z_2 = s_1 Z_1 + 2 s_2 Z_2, \quad (7)$$

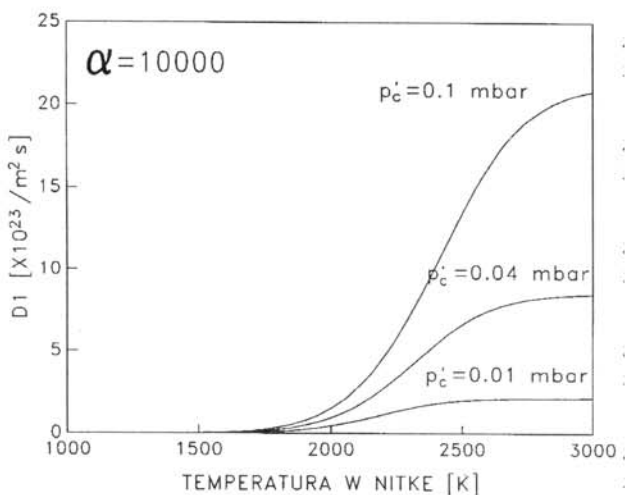
pri čemer se leva stran enačbe nanaša na realne razmere okoliškega plina, desna pa na ekvivalentne (p_{ceq}, T). Z upoštevanjem zgoraj omenjenih predpostavk dobimo z enostavno algebro izraz za pretok desorbiranih atomov: $D_1 = s_1 Z_1$. V primeru, da je plin delno disociiran, s parametrom disociacije α , dobimo za D_1 naslednji izraz:

$$D_1 = \frac{s_1^2 p_{st} K_{eq}}{4 s_2 (k M_1 T \pi)^{1/2}} \left(\sqrt{1 + \Delta} - 1 \right), \quad (8)$$

pri čemer je:

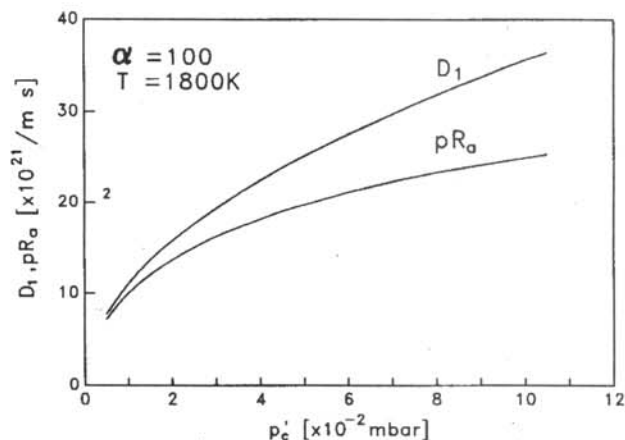
$$\Delta = \frac{4 s_2 (s_1/\alpha + 2 s_2) (T/T')^{1/2}}{s_1^2 p_{st} K_{eq}} p_c \quad (9)$$

Delni tlak p_2 izračunamo iz celotnega tlaka p_c in α iz enačbe (5). Čista produkcija atomov na enotino površino je enaka razliki $pR_a = D_1 - s_1 Z_1$, ker je prvi člen pretok desorpcije in drugi izguba atomov zaradi vezave na površino.



Slika 2. Odvisnost D_1 od temperature površine T

Na sliki 2 je prikazana odvisnost pretoka desorbiranih atomov s površine volframa od temperature za tri različne vrednosti celotnega tlaka, za $\alpha = 10^4$ in $T' = 300$ K. Na sliki 3 pa je prikazano, kako se D_1 in pR_a spreminjata v odvisnosti od celotnega tlaka p_c .



Slika 3. Odvisnost D_1 in pR_a od celotnega tlaka p_c ; $T = 1800$ K; vrednosti α in veznih koeficientov so enake kot na sliki 2.

Zanimiv je poseben primer, ko je $\Delta \gg 1$, kar je pogosto izpolnjeno za tlake, ki jih tu obravnavamo. V tem primeru je D_1 približno enak:

$$D_1 = D_1^\infty \left[\left(1 + \frac{s_1}{2\alpha s_2} \right) \left(\frac{\sqrt{2} \alpha}{1 + \sqrt{2} \alpha} \right) \right]^{1/2} \quad (10)$$

kjer D_1^∞ ustreza popolnoma nedisociiranemu plinu, $\alpha = \infty$:

$$D_1^\infty = s_1 \left(\frac{s_1}{s_2} \right)^{1/2} (p_{st} K_{eq}/2)^{1/2} \cdot (T'/T)^{1/4} Z_1 \sqrt{p_c} \quad (11)$$

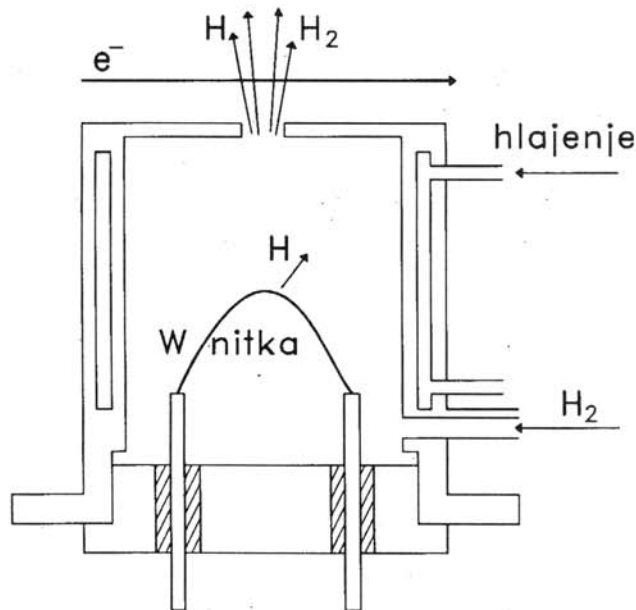
Izraz (11) je enak kot v literaturi /9/, enačba 46.

Iz enačbe (10) je razvidno, da je odvisnost D_1 od α majhna, razen kadar je $s_2 \ll s_1$. Iz iste enačbe tudi sledi, da se D_1 spreminja približno s kvadratnim korenem tlaka p_c in da je močno odvisen od temperature površine zaradi takšne odvisnosti K_{eq} . Čeprav D_1 ni posebno močno odvisen od α , to ne velja za pR_a , zaradi skoraj linearne odvisnosti Z_1 od α .

4 STOPNJA DISOCIACIJE PLINA V CELICI Z VOLFRAMSKO NITKO

V tem prispevku nas predvsem zanima stopnja disociiranosti vodika, ki polagoma priteka v kovinsko celico, ki je shematično prikazana na sliki 4. V celici je vroča volframska nitka ($\phi = 0,4$ mm, dolžina ~ 7 cm), ki se lahko uporabno, tj. z električnim tokom, segreje

do poljubne temperature, tja do 3000 K (temperatura taljenja volframa je okoli 3700 K). Celica je cilindrične oblike, ima majhno centralno odprtino ($\phi = 4$ mm), ki jo veže z visokim vakuumom. Narejena je iz nerjavečega jekla, njene stene so hlajene s pretokom zraka, vode ali drugega hladilega sredstva.



Slika 4. Celica s parcialno disociiranim vodikom

V celici, ki je prikazana na sliki 4, se atomizirajo molekule vodika na vroči površini nitke, kar povzroča delno disociacijo plina. Istočasno lahko pride pri interakciji atomov vodika s hladnimi površinami sten do rekombinacije dveh atomov in nastanka molekul. Medtem ko je pri interakciji z vročo površino desorpcija molekul čisto termodinamični proces, pa prihaja v ravnotežnem primeru pri nižjih temperaturah do novih elementarnih procesov rekombinacije, tako da je v tem primeru enačba (6), ki definira ravnotežje procesov adsorpcije in desorpcije na površini, naslednja:

$$s_1' Z_1' + 2 Z_2' = D_1' + 2 D_2' + R', \quad (12)$$

pri čemer je R' pretok molekul, ki nastanejo z rekombinacijo na površini kot rezultat trka atoma s površino: $R' = k_r' \cdot \vartheta' \cdot Z_1'$ (k_r' - verjetnost rekombinacije, ϑ' - prekritost površine z adsorbiranimi delci). Obstajata dva skrajna modela za opis procesa rekombinacije: Eley-Rideal-ov in Langmuir-Hichelwood-ov. Pri prvem se rekombinacija dogaja v direktem, binarnem trku atoma, ki pri tem s površine iztrga adsorbirani atom in na ta način nastane prosta molekula, ki zapusti površino. V drugem primeru atom začasno običi na površini, vendar po nekem času, ko je difundiral po površini, "najde" drug atom, in če so izpolnjeni določeni energijski pogoji, jo zapuščata skupaj kot prosta molekula. Bolje razumevanje procesa rekombinacije z analizo vibracijske porazdelitve nastalih molekul je v bistvu osnovni cilj raziskav, od katerih je en del opisan v tem prispevku. Na tem mestu o detajlih rekombinacije ne bo govora, čeprav ta proces bistveno vpliva na stopnjo disociacije plina. Za sedaj

je dovolj, da proces rekombinacije smatramo za parametričnega na tak način, da izrazimo koeficient rekombinacije:

$$\gamma = \frac{\text{pretok novonastalih molekul}}{\text{pretok vpadnih atomov}} \quad (13)$$

Skozi celico, ki smo jo predstavili, teče stalen pretok plina in v njej je celoten tlak v področju do 100 mbar. V konkretnem primeru je pretok vodika do 25 sccm. Pri tako majhnih tlakih in temperaturah plina niti rekombinacija niti disociacija pri medsebojnih trkih prostih delcev ni verjetna. Tako je torej v celici, o kateri govorimo, edino možna atomizacija na vroči nitki in rekombinacija na površinah sten, kar določa ravnotežno stanje disociacije plina. Osnovna enačba, ki definira časovno odvisnost prostorske gostote atomov N_1 , se glasi:

$$\left[\frac{dN_1}{dt} \right] = \left[\frac{dN_1}{dt} \right]_{AN} - \left[\frac{dN_1}{dt} \right]_{iz} - \left[\frac{dN_1}{dt} \right]_{RS} \quad (14)$$

pri čemer je prvi člen na desni strani prispevek k atomski koncentraciji pri atomizaciji na nitki (površina A_f), drugi označuje iztok atomov skozi centralno odprtino (površina A_o) v vakuum in tretji predstavlja izgubo atomov zaradi rekombinacije na stenah (površina A_s). Posamezni členi so:

$$\left[\frac{dN_1}{dt} \right]_{AN} = (D_1 - s_1' Z_1') A_f / V_s \quad (15)$$

$$\left[\frac{dN_1}{dt} \right]_{iz} = Z_1' A_o / V_s \quad (16)$$

$$\left[\frac{dN_1}{dt} \right]_{RS} = \gamma A_s Z_1' / V_s \quad (17)$$

V_s je volumen celice. V ravnotežnem stanju je časovna odvisnost koncentracije atomov enaka nič, tako da za ta primer dobimo zvezo med veličinami:

$$D_1 = (\gamma A_s + A_o + s_1' A_f) Z_1' \quad (18)$$

Če v enačbo (18) vstavimo izraz (8) za D_1 in jo rešimo po α , dobimo izraz za ravnotežni parameter disociacije α_{eq} :

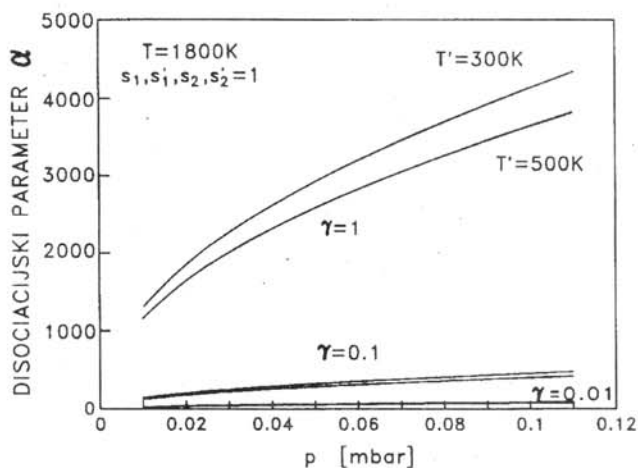
$$\alpha_{eq} = \frac{b}{2a} \left[\left(1 - \frac{4a}{b^2} (c - d p_c) \right)^{1/2} - 1 \right] \quad (19)$$

pri čemer so a , b , c in d v zgornji enačbi:

$$\begin{aligned} a &= 4 s_2' \\ b &= 2 \sqrt{2} s_2' + 2 s_1' \\ c &= \sqrt{2} s_1' \end{aligned} \quad (20)$$

$$d = \frac{4 s_2 (\gamma A_s + A_o + s_1 A_f)^2}{s_1^2 p_{st} K_{eq} A_f^2} (T/T')^{1/2}$$

Na sliki 5 je prikazana odvisnost ravnotežne stopnje disociacije α_{eq} od celotnega tlaka, izračunana iz enačbe (19). Prikazane so odvisnosti za tri različne vrednosti koeficientov rekombinacije: 1, 0,1 in 0,001, in dve temperaturi nevtralnega plina: 300 K in 500 K. Za primer je vzeta značilna temperatura nitke 1800 K in predpostavka, da so vsi vezni koeficienti enaki ena. Iz slike je razvidno, da obstaja močna odvisnost stopnje disociiranosti plina α_{eq} od rekombinacijskega koeficienta γ , kar pomeni, da je ta parameter možno določiti iz odgovarjajočih meritev. Iz prikazanih rezultatov je razvidno, da α_{eq} raste s kvadratnim korenom celotnega tlaka. Tu je še potrebno povedati, da je odvisnost od temperature vroče površine nitke tudi zelo močna, tako da je precizno določanje tega parametra zelo pomembno.



Slika 5. Odvisnost stopnje disociacije plina od celotnega tlaka za tri vrednosti koeficienta rekombinacije in dve temperaturi plina

Medsebojna povezava veznih koeficientov in rekombinacijskega (izrazi za parametre a, b, c in d - enačba (20)), pomeni, da je mogoče določiti enega od teh parametrov, če so drugi znani, in če α_{eq} izmerimo. Odvisnost α_{eq} od znanih geometričnih parametrov kovinske celice in od kontroliranih temperatur ter tlaka, kaže, da so eksperimenti s to kovinsko celico lahko zelo različni in s tem tudi zanimivi kot fizikalni problem. Tudi njegove aplikativne implikacije so pomembne.

5 MERJENJE STOPNJE DISOCIACIJE Z ELEKTRONSKO IONIZACIJO

Določanje stopnje disociiranosti plina v celici ni zelo enostavno. Za to analizo je razvita /5/ metoda, ki je osnovana na merjenju ionizacije plina, ki skozi centralno odprtino v celici izteka v visoki vakuum. Na razdalji 5 do 10 mm od odprtine je elektronski curek dobro definirane in spremenljive energije. Pravokotno na smer

elektronskega curka detektiramo ione, ki nastanejo zaradi trkov elektronov z atomi oziroma z molekulami plina, izhajajočega iz celice. S kvadrupolnim filtrom ločimo ione H^+ od istočasno prisotnih H_2^+ in jih detektiramo z elektronskim multiplikatorjem.

Preseki za ionizacijo atoma in molekule vodika so znani iz literature /10/ in njihove vrednosti predstavljajo osnovo za kvantitativno metodo določanja α . Presek za ionizacijo atoma vodika ima prag pri 13,61 eV in narašča približno linearno z energijo elektronov (z naklonom $5,45 \times 10^{-18} \text{ cm}^2 \text{ eV}^{-1}$). Ionizacija molekule vodika ima prag pri 15,42 eV (ko pride do nastanka H_2^+ iona) in naslednjega pri 18,08 eV, ki odgovarja disociativni ionizaciji, oziroma ki pripelje do nastanka H^+ iona. Presek za disociativno ionizacijo raste z energijo elektronov z naklonom $0,15 \times 10^{-18} \text{ cm}^2 \text{ eV}^{-1}$. Ker sta oba procesa nastajanja H^+ iona precej vsak sebi in tudi zato, ker je presek za molekule veliko (42-krat) manjši kot za atome, je mogoče določiti stopnjo disociacije enostavno z merjenjem relativnega naklona toka H^+ ionov oziroma spremembe naklonov na odgovarjajočih pragovih. Količnik teh naklonov, pomnožen z 42, daje količnik koncentracij molekul in atomov v centru interakcij. Če predpostavimo enako temperaturo oziroma srednjo hitrost obeh vrst delcev, tedaj je ta količnik tudi enak količniku delnih tlakov, kar nam končno po enačbi (4) daje tudi stopnjo disociacije α .

Analize točnosti določanja α z opisano metodo kot tudi sistematične napake, ki so možne, ne bomo tu opisovali. Sama metoda je zadosti prožna, da omogoča tudi drugačne variante, recimo določanje koncentracije molekul z detektiranjem H_2^+ ionov ali določanje prostorske porazdelitve iz celice izhajajočih delcev.

6 ODVISNOST STOPNJE DISOCIACIJE OD KOEFICIENTA REKOMBINACIJE IN KOEFICIENTOV LEPLJENJA

Na sliki 6 je prikazan primer eksperimentalnega določanja odvisnosti α od celotnega tlaka v celici. Temperatura nitke je bila 1800 K, notranja površina celice pa naparjena z volframom. Ugotavljamo, da α raste približno s kvadratnim korenom iz celotnega tlaka. V primeru, da je celotni tlak zadosti velik, kar v našem primeru je, dobimo iz enačbe (19) aproksimativno enačbo za α_{eq} :

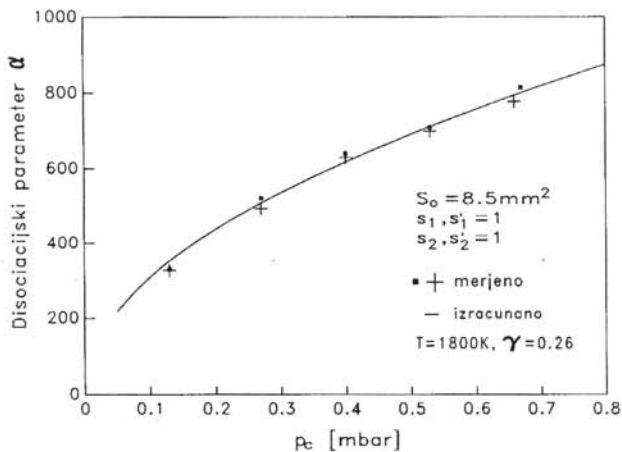
$$\alpha_{eq} = \left(\frac{d}{a} p_c \right)^{1/2} = C_{exp} p_c^{1/2} \quad (21)$$

Torej, kot eksperimentalni rezultat dobimo konstanto C_{exp} , ki povezuje vezne in rekombinacijski koeficient s parametri celice in s temperaturo stene in nitke. Če vstavimo izraze za konstanti α in d, dobimo enačbo za γ_{exp} :

$$\gamma_{exp} = s_1 \frac{A_f}{A_s} \left(\frac{s_2 p_{st} K_{eq}}{s_2} \right)^{1/2} \left(\frac{T'}{T} \right)^{1/4}$$

$$C_{exp} = \frac{A_o}{A_s} - s_1 \frac{A_f}{A_s} \quad (22)$$

Iz tega lahko končno določimo ali vrednost rekombinacijskega koeficienta ali, če je le-ta znan, vrednosti veznih koeficientov. Sam izraz in metoda nam kažejo, da je s serijo eksperimentov pod različnimi pogoji mogoče dobiti različne medsebojne odnose med ustreznimi koeficienti. Tako je, recimo, z naparovanjem različnih kovin na notranje stene celice, možno določiti medsebojna razmerja rekombinacijskih koeficientov. Enako je mogoče z variranjem temperature nitke določiti vezne koeficiente s_1, s_2, s'_1 in s'_2 . Vsi ti štirje koeficienti veljajo za kombinacijo vodik - volfram. Z uporabo nitke iz, recimo, tantala, je mogoče določiti vezne koeficiente za to kovino ali pa je, kar je tudi zelo zanimivo, z vpuščanjem devterija namesto navadnega vodika mogoče določiti izotopno odvisnost vseh naštetih koeficientov.



Slika 6. Izmerjena odvisnost stopnje disociacije vodika v primerjavi z izračunano

7 SKLEP

V tem prispevku je pokazano, kako je mogoče z obravnavo v bistvu izredno enostavnega problema določiti pomembne parametre interakcije atomov vodika z površinam kovin. Z sistematičnim eksperimentalnim programom je mogoče določiti vrednosti veznih in rekombinacijskih koeficientov za razne kovine in za razne eksperimentalne parametre (temperatura in tlak). V tem prispevku so vse molekule obravnavane kot ena vrsta delcev, čeprav se z vključevanjem še njihove vibracijske ekscitacije, situacija še bistveno bolj popestri. Določanje vibracijske ekscitacije molekule in njenega pomena za različne reakcije je izredno pomemben cilj sedanjih raziskav.

8 LITERATURA

- /1/ Duley W.W. and Williams D.A., *Interstellar Chemistry*, Academic Press, London (1984)
- /2/ Bacal M. and Skinner D.A., *Comments At. Mol. Phys.*, 23, (1990), 283
- /3/ Hall R.I., Čadež I., Landau M., Pichou F. and Schermann C., *Phys. Rev. Lett.*, 60, (1988), 337
- /4/ Čadež I., Schermann C., Landau M., Pichou F., Popović D. and Hall R.I., *Z. Phys. Atom. Molec. Clusters*, 26, (1993), 328 (Suppl.: Proc. ISSPIC-6, Chicago, Sept.1992)
- /5/ Gough S., Čadež I., Schermann C., Landau M., Pichou F., Popović D. and Hall R.I., *Plasma Sources Sci. Technol.*, v pripravi
- /6/ JANAF Thermochemical Tables, Third Edition, *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 14, (1985), Supplement No. 1
- /7/ Schwenke D., *J. Chem. Phys.*, 92, (1990), 7267
- /8/ Langmuir I., *General Electric Rev.*, 29, (1926), 153 in razprave, tu citirane
- /9/ Brennan D., *Heterogeneous Atomisation and Recombination*, in *Chemical Kinetics - 21*, Eds.: C.H. Bamford, C.F.H. Tipper and R.G. Compton, Elsevier, Amsterdam (1984), 151-234
- /10/ Crowe A. and McConkey J.W., *J. Phys. B.: At. Mol. Phys.*, 6, (1973), 2088; McGowan J.W. and Clarke E.M., *Phys. Rev.*, 167 (1968), 167

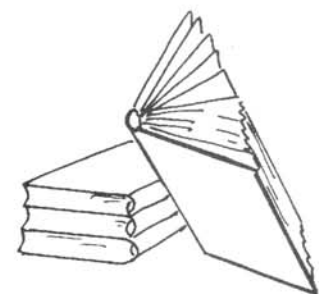
NOVI KNJIGI

1. **Vakuumska tehnika za srednješolske predavatelje**, urednik J. Gasperič, Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, junij 1993, 113 str., 84 slik

Knjigo lahko naročite na naslov:
 DVT Slovenije, Teslova 30, 61111 Ljubljana,
 ali po telefonu (061) 263 461
 (dr. Bojan Jenko, Andrej Pregelj)

2. Savo Spaič, **Metalografska analiza**

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo,
 Oddelek za montanistiko, Ljubljana 1993, 176 st.



ZGODOVINA VAKUUMSKE TEHNIKE (I. del)

Stanislav Južnič*

THE HISTORY OF VACUUM TECHNIQUE

ABSTRACT

The vacuum technology had developed in three centuries from curiosity to a strong research and technology tool. The idea of vacuum is also important in philosophy, that could be connected with the physical theory of vacuum.

The article tries to connect well known facts about the vacuum research in Middle and West Europe with the simultaneous interests for vacuum in the lands, populated with Slovenes.

The first part deals with the ideas of vacuum in the antique and the discovery of the barometer in the new era.

POVZETEK

Tehnologija vakuumu je v treh stoletjih prešla od zanimivosti do močnega raziskovalnega in tehnološkega orodja, podobno kot elektrika. Poimovanje vakuumu je za nameček še pomembna reč v filozofiji. Za vakuum še posebej velja, da lahko njegovo tehnologijo ločimo od teorije, ki meji na filozofijo. Prispevek povezuje znana dejstva o razvoju vakuumske tehnologije s sočasnim zanimanjem zanjo v deželah poseljenih s Slovenci.

Prvi del razprave zadeva raziskovanje vakuumu v antiki in odkrije barometra v novi dobi.

1) Antična dognanja o vakuumu, ki zadevajo predvsem Aristotla in Herona Aleksandrijskega

a) Uvod

Sodobno poimenovanje praznega izhaja iz latinščine in ne iz grškega "kenon", čeprav so korenine sodobnih nazivov v znanosti večinoma grške. Vzrok lahko najdemo v zvoku besede, prevladujočem zavračanju obstoja vakuumu v antični Grčiji (Podolny 1986, 16-17) ali pa v nepoznavanju grškega jezika pri zgodnjih raziskovalcih vakuumu v 17. stoletju.

b) Raziskovanje praznega v antiki: Aristotel

Aristotel (384-322 p.n.št.) je zavračal obstoj praznega (Fizika IV/7). Po Aristotlu se hitrost gibanja razlikuje zaradi lastnosti gibajočega se telesa ali zaradi lastnosti medija (Aristotel, 1987, 102). V enakih medijih (Aristotel, 1987, 104) si telesa z večjo "silo gibanja (lat. momentum)" hitreje delajo prostor na poti skozi snov, kar jim omogoča večjo hitrost. V praznem, kjer snovi ni, ni niti upornosti sredstva. Zato naj bi se v praznem vsa telesa gibala enako hitro, ne glede na "silo gibanja", kar je nemogoče. V filozofskem smislu je Aristotel odklanjal prazno tudi zato, ker je v njem mogoča neskončna hitrost (Podolny 1986, 19). Aristotlovo pojmovanje hitrosti lahko tako zapišemo s sodobnimi simboli:

$$v = f \frac{k}{w}$$

kjer k zadeva silo, ki sili objekt k gibanju, f je konstanta, W pa je upor sredstva. Ker je v praznem $w=0$, bi tam hitrost v postala neskončna (Sparnaay 1992, 12).

Po Aristotlu naj bi imeli štirje osnovni elementi naravno smer gibanja navzgor ali navzdol, glede na svojo gostoto. V praznem pa ni reference, glede na katero bi lahko opredelili razliko v smeri gibanja (Sparnaay 1982, 12; Podolny 1986, 21).

Aristotel je polemiziral z zagovorniki praznega: Leukipom iz Mileta (490-? p.n.št.), Demokritom iz Abdere (470-380 p.n.št.), Melisom, Pitagorejci in Ksutom iz Krotona (Aristotel 1987, 97, 98, 99 in 106).

Demokrit, Leukip in Pitagorejci so zagovarjali obstoj praznega. Vendar se je fizikalni in filozofski atomizem 19. in 20. stoletja skliceval predvsem na prva dva.

Aristotlov učitelj Platon je v Timeausu zagovarjal obstoj atomov, ki so premajhni, da bi jih lahko videli (Platon 1977, 79). Ni pa opisoval praznine med njimi kot sta to počela Demokrit in Epikur. Platonisti so imeli vakuum za element neurejenosti, ki naj ga Demiurg ne bi uporabil pri organizaciji narave (Sparnaay 1992, 11). Bil naj bi torej možen, toda neobstoječ element.

c) Antični raziskovalci po Aristotlu

Hero iz Aleksandrije je živel v obdobju med leti 150 in 250 p.n.št. Sestavil je, med drugim, "parno turbino" za brizganje posvečene vode v obliki pare v templjih. Z Aristotlom je domneval, da v naravi ni praznega. Vendar je v dveh delih "Pnevmatike" praktično in teoretično dokazoval, da je vakuum mogoče ustvariti v zaprtih posodah. Skupaj z Aristotlom je domneval, da med zgornjima dvema stavkoma ni nasprotja. Za razliko od sodobnih raziskovalcev sta Aristotel in Hero domnevala, da so zakoni, ki veljajo za človeške izdelke, različni od izdelkov narave (Podolny 1986, 23, Hramov 1977, 99).

Fizik Strato je živel v obdobju med leti 340 in 270 p.n.št. v Aleksandriji in Atenah. Opisal je metodo za pridobivanje vakuumu in je bil naklonjen atomizmu. Nasprotju z Aristotlom se je ognil z domnevo, da obstajata dve vrsti vakuumu (Asimov 1978, 22, Podolny 1986, 23, Sparnaay 1992, 14).

Okoli leta 1300 se je med raziskovalci zasedel pojem "horror vacui". Vendar je Aristotlovo pojmovanje aktivne vloge medija pri gibanju vzbujalo resne pomisleke v Parizu in Oxfordu 14. stoletja. V Buridanovi in drugih teorijah je bil "impetus", količina podobna sodobni gibalni količini, neodvisna od medija (Sparnaay 1992, 14).

* Stanislav Južnič je profesor fizike in računalništva na srednji šoli v Kočevju. Leta 1980 je diplomiral iz tehnične fizike na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo, magistriral pa leta 1984 iz zgodovine fizike na Filozofski fakulteti v Ljubljani.

2) Prvi novodobni poskusi z umetnim vakuumom sredi 17. stoletja in prva uporaba v barometru:

a) Galilejevi učenci v severni Italiji

Galilej je omajal Aristotlovo avtoriteto z eksperimentalnim pristopom k znanosti. Po Aristotlu je bilo gibanje usmerjeno k ravnovesju, ki so ga opredeljevale lastnosti telesa. Hitrost gibanja se manjša z naraščanjem gostote okolice.



Galileo Galilei (1564-1642)

Galileo je po fiziku Stratu povzel pojem pospeška. Pojem vakuum je ločil od metafizike in mu pripisal fizikalne lastnosti, kot sta ničelna gostota in viskoznost. V prvem dnevu svojih *Discorsi e dimonstrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (Leyden 1638, 1964, 124-125) je Sagredo dokazoval, da telesa v vakuumu nimajo neskončnih hitrosti. Ugotovitev je Galileo uporabil v tretjem in četrtem dnevu svoje razprave.

Galilejevo razmišljanje je prineslo dve novosti:

- 1) Vsa telesa padajo blizu Zemlje z enakim pospeškom. Njihovo padanje ovira snov v okolici.
- 2) Vakuum je snov z gostoto nič in viskoznostjo nič.

Tako je Galileo postavil vakuum kot limitni primer fizikalnih medijev, med katerimi ima najmanjšo gostoto. S tem se je izognil Aristotlovi = Simpliciovi "horror vacui". Ta je temeljila na domnevi, da "prazen

prostor sam nasprotuje svojemu nastanku, kar ni v skladu z domnevo o ekonomičnosti naravnih pojavov (Galileo 1966, 125).

Da bi se izognil neposredni konfrontaciji z Aristotlovo odklonitvijo vakuumu, je Galileo uporabil novo pojmovanje "mikroskopskih praznin v snovi" (Kuznecov 1964, 237). Tem pripiše fizikalne lastnosti in tako vpelje vakuum v fiziko.

Filozofska osmislitev praznega je bila nujna, da so se Galilejevi sodobniki lahko lotili raziskovanja vakuumu.



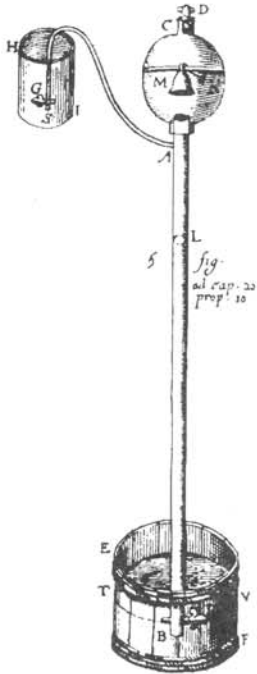
Naslovna stran enega od glavnih Galilejevih del, v katerem je obravnaval tudi problem gibanja teles v praznem prostoru

Primitivni načini pridobivanja vakuumu so bili že dolgo znani. Njihovo izboljševanje in sistematično raziskovanje je postalo možno šele potem, ko je početje v tej smeri Galileo tudi idejno utemeljil.

Galilejeva skupina raziskovalcev ni uporabljala zračne črpalke, čeprav so jih uporabljali že v antični Grčiji za črpanje piščali v glasbenih instrumentih.

Vodne črpalke so bile znane v antični Alexandriji in v rudnikih starega Rima. Črpalke je opisal že sloviti rimski inženir Vitruvij, za njim pa Agricola v *De Re Metalica* leta 1556. Veliko rudnikov je bilo globjih od 100 m. S črpalkami je bilo v 16. stoletju mogoče dobiti vakuum 250 tor (0,33 bar). Konstruktorji tega seveda niso vedeli (Hablanian 1983, 17), saj niso znali izmeriti vakuumu.

Galilea je zanimala sila potrebna za nastanek vakuuma. Problem je povezoval s črpanjem vode navpično navzgor z Arhimedovim vijakom in vodnimi črpalkami. Rudarji so mu povedali, da višina ne more preseči 34 ali 35 čevljev ali 18 laktov (10 m). Tako je leta 1630 pojasnil G. B. Balianiju neuspeh pri gradnji sifona pri Genovi.



Risba Berti-jeve črpalke. Cev AB, ki je bila dolga 35 čevljev (10 m), in rezervoar N je pri zaprtih ventilih G, D in B napolnil z vodo, nato pa odprl ventil B. Nivo vode se je znižal do točke L. V prostoru nad tem nivojem se je pojavil prazen prostor.



Tehnološke probleme so raziskovalci v 17. stoletju skušali ponazoriti in rešiti s posebej v ta namen postavljenimi poskusi. Gasparo Berti je postavil prirejeno "črpalko" ob svoji hiši v Rimu leta 1640 in je bržkone neposredno vplival na Galilejeve učence (Hablanian 1983, 18). Njegova naprava je bila v osnovi barometer na vodo, vendar je morala še počakati na pravilno razlago (Madedy 1983, 9).

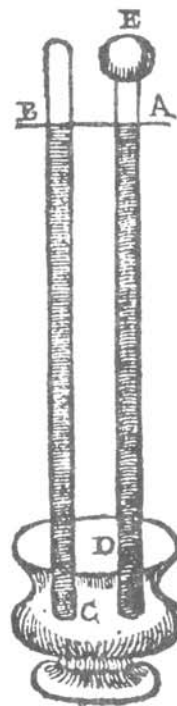
Galileo je umrl 8.1.1642, star skoraj 78 let. Slaviti barometrični poskus Evangelista Torricellia (1608-1647) je bržkone opravil drugi Galilejev učenec in ustanovitelj Academie del Cimento Vincenzo Viviani (1622-1703). Do odkritja naj bi prišlo leta 1644 in ne 1643 (Redhead 1983, 31).

Gotovo je bil poskus opravljen pred 13.6.1644, ko ga je Torricelli v Firenci opisal v pismu Michelangelu Ricciju. Kot avtorje eksperimenta vseskozi navaja sinonim "Mi", ki se je gotovo moral nanašati tudi na njegovega sodelavca Vivianija.

Poskus so opravili s stekleno posodo visoko dva Braccia (48 inčev ali 1,2 m). Debelina stekla in širina cevi ni bila zapisana. Gotovo so posodo te vrste lahko proizvedli le italjanski (beneški) mojstri, ki so bili veliko naprednejši od drugih sodobnikov. Tako je moral Jean Baptiste Colbert (1619-1883) sredi 17. stoletja z zvijačo izmakniti Benečanom skrivnost izdelave zrcal za potrebe dvora v Parizu.

Torricelli je poročal:

Evangelist Torricelli (1608-1647)



Torricelliev živosrebrni barometer

"... Napolnili smo jo (posodo) z živim srebrom. Ustje smo zamašili s prstom in ga obrnili v posodo C z živim srebrom. Pokazala se je praznina, v izpraznjenem delu posode pa se ni nič zgodilo. Dolžina vratu (posode) AD je ostala vedno napolnjena do višine ene in četrte Braccije in enega inča (29,75 inč ali 760 cm). Da bi pokazali, da je posoda povsem prazna, smo posodo pod njo napolnili z vodo do točke D. Posodo smo počasi vzdigovali. Ko je njeno ustje doseglo vodo, smo videli padec živega srebra iz vratu (posode). Z veliko silo je bila posoda napolnjena z vodo čisto do znamenja E. Med poskusom je bila posoda AE prazna in se je težko živo srebro zadrževalo v vratu AD.

Sila, ki drži živo srebro pokonci in proti njegovi naravi preprečuje padec nazaj (v posodo), je domnevno v posodi AE, in naj bi izvirala ali iz vakuuma ali iz močno razredčene snovi (živega srebra). Sam pa menim, da je sila zunanja in da prihaja od zunaj. Na površino

kapljevine v posodi pritiska masa 50 milj visokega zraka. Ali naj bomo potem presenečeni, da je v posodi CE, kjer živo srebro ni ne potiskano ne vlečeno, saj ni noter ničesar, živo srebro pride in doseže tolikšno količino, da pride v ravnovesje z zunanjim zrakom, ki nanj pritiska. Tudi voda se bo, v podobni, vendar mnogo daljši posodi, dvignila do skoraj 18 Braccia (10 m). To je mnogo više, kot se živo srebro dvigne, saj je živo srebro težje od vode, mora pa priti v ravnovesje z istim tlakom, ki pritiska na obe kapljevini..."

25.10.1647 je Torricelli nenadoma umrl. Poldrugi mesec pozneje, 13.12.1647, je René Descartes (1596-1650) poročal Marinu Mersennu (1596-1650) v Parizu, da je postavil skalo iz papirja ob barometer Torricellijevega tipa (Redhead 1983, 31).



René Descartes (1596-1650)

Med tridesetletno vojno 1618-1648 so se znanstvene novice le počasi širile, še posebej v Nemčijo. Frančiškan Valeriano Magni je že leta 1646 samostojno opravil Torricellijevemu podoben poskus na dvoru Ladislava IV v Varšavi. Leta 1654 je na Reichstagu v Regensburgu novico sporočil Magdenburškemu županu Ottu von Guericku. Vendar mu slednji ni povsem verjel, saj je medtem že nekaj slišal o Torricellijevih uspehih (Guericke 1986, 92-93 in 108, Sparnaay 1992, 4). Bržkone pa je Valeriano Magni prvi poročal o podobnosti med transmisijo svetlobe skozi zrak in skozi vakuum (Sparnaay 1992, 52).

b) Pascal na Francoskem

Oktober 1646 je Pierre Petit de Montluçon (1598-1671) poročal o Torricellijevem poskusu v družini Pascalov v Rouenu. Blaise Pascal (1623-1666) je ponovil poskus ob pomoči očeta Etienna (1588-1651), Petita in lokalnih steklopihalcev. S pomočjo črpalke in po Torricellijevi metodi so dokazali, da živo srebro ni mogoče spraviti na višino nad 2 čevlja, 3 inče in 5 linij. Vodo so lahko črpali največ do 31 čevljev visoko, olje pa do 34 čevljev, kar je bilo v razmerju obratnih vrednosti gostot treh kapljev.

23. in 24.9.1647 je Blaise Pascal sprejel Descartes (1596-1650). Živel je v Parizu, kjer ga je med boleznijo negovala sestra Jacqueline. Ob prvem srečanju je bilo zbranih veliko prijateljev in občudovalcev. V nada-



Blaise Pascal (1623-1666)

ljevanju pogovora je mnenje bolnega Pascala zastopal matematik Giles Person de Roberval (1602-1675). Oster pogovor se je končal drugo jutro z Descartesovim obiskom pri Pascalu, ki si je bržkone tedaj zamislil meritev višin z barometrom (Sparnaay 1992, 15).

29.10.1647 je Pascal pisal jezuitu očetu Noëlu, da je prostor nad stolpom živega srebra prazen, saj si težko tam predstavljamo nevidno snov, čeprav si je ne bi bilo težko izmisliti. Pascalova misel iz tega pisma zveni poučno (Sparnaay 1992 10, 14):

"..l'espace vide tient le milieu entre la matière et le ne'ant (prazen prostor je na sredi med snovjo in ničem)"

14.11.1647 je Pascal pisal svaku Pierru Périerju (1605-1672). Prosil ga je, naj opravi meritev višine živega srebra v barometru na vrhu gore Puy-de Dôme in naj rezultat primerja z meritvijo ob vznožju gore. Šele 10 mesecev pozneje, 18.9.1648, je Périer s spremljevalci opravil poskus. Opravili so več meritev do vrha visokega 500 fathoms, kar je okoli 1000 metrov. Ob vznožju hriba je bila višina živosrebrnega stolpa 23 inčev in 2 linije, na vrhu pa za 3 inče in poldrugo linijo več (Sparnaay 1992, 15, 17). O poskusu je poročal Pascalu 22.9.1663 (Kljaus 1971, 402).

Pascal je že v *Traité de la Pesanteur de la Masse de l'Air* ugotavljal, da vreme vpliva na zračni tlak. Guericke je ponovil Périerove poskuse in izmeril, da se je zračni tlak močno znižal dve uri pred strašno nevihto leta 1660 (Sparnaay 1992, 39). Tako so konec 17. stoletja v Angliji lahko že proizvajali barometre za prodajo.

Spor med zagovorniki "polnega" in zagovorniki vakuumma je vseeno vznemirjal še znanstvenike naslednjih generacij. Tudi mnogi zagovorniki vakuumma so menili, da tudi po izčrpanju zraka nekaj le ostane notri. V teorijah Newtona in Huygensa je bil to "nekaj" eter. Gottfried Wilhelm Leibnitz (1646-14.11.1716) je tudi v

svojih zadnjih pismih maja 1716 vztrajal proti obstoju vakuumma (Sparnaay 1992, 19). Filozofske posledice takšne hipoteze so se mu zdele veliko hujše od domneve o neskončno majhnem, ki jo je uporabil pri svoji iznajdbi diferencialnega računa.

3. LITERATURA

- /1/ Podolny R, *Something Called Nothing*, Mir, Moskva, 1986
- /2/ Aristotel, *Fizika*, SNL, Zagreb, 1987
- /3/ Sparnaay M.J., *Adventures in vacuum*, North-Holland Amsterdam, 1992
- /4/ Platon, *Timeaus and Critias*, Penguin books 1977
- /5/ Hramov, *Fiziki*, Naukova Dumka, Kijev, 1977
- /6/ Asimov Isaac, *Biographical Encyclopedi of Science and technology*, London, 1975
- /7/ Galileo Galilei, *Izbrani trudi*, Nauka, Moskva, 1984
- /8/ B. G. Kuznecov, *Galilei*, Nauka, Moskva, 1964
- /9/ M. H. Hablanian, *Hystory of Vacuum Science and Technology*, American Institute of Physics, New York, 1984
- /10/ Madey E. in Brown Williams C. (urednika), *History of Vacuum Science and Technology*, American Institute of Physics, New York, 1984
- /11/ P.A. Redhead, *Hystory of Vacuum Science and Technology*, American Institute of Physics, New York, 1984
- /12/ Guericke, Otto von, *Neue "Magdeburgische" Versuche über den leeren Raum*, prevod latinskega teksta iz leta 1672, Leipzig 1986
- /13/ Kljaus E.M., I.B.Pogrebissckii, U.I. Frankfurt, Pascal, Nauka, Moskva, 1971

OBVESTILO

STROKOVNO IZOBRAŽEVALNI TEČAJ

Vse uporabnike vakuumske tehnike obveščamo, da bomo novembra 1993 ponovili strokovno izobraževalni tečaj

OSNOVE VAKUUMSKE TEHNIKE,
ki bo 9., 10. in 11. november 1993

Tečaj obravnava naslednjo tematiko:

- pomen in razvoj vakuumske tehnike
- fizikalne osnove vakuumske tehnike
- vakuumske črpalke: pregled in uporaba
- merilniki vakuumma
- vakuumski materiali
- vakuumski elementi
- tehnike čiščenja in spajanja elementov
- konstrukcija vakuumskih sistemov
- tankoplastne in druge vakuumske tehnologije
- čisti postopki

- analize površin
- doziranje, čiščenje in preiskave plinov

Celotni tečaj bo trajal 20 ur (predavanja, vaje in ogled Inštituta). Udeleženci bodo prejeli zbornik predavanj "Osnove vakuumske tehnike" in potrdilo o opravljenem tečaju.

Cena tečaja je 13.500 SIT.

Vsi tečaji se prično v torek ob 8. uri v knjižnici Inštituta za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, Ljubljana. Prosimo interesente, da se informativno javijo čimprej, za dokončno potrdilo udeležbe pa velja kopija položnice o plačilu, najkasneje tri dni pred pričetkom tečaja, na naslov: Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, Teslova 30, 61111 Ljubljana (štev. žiro računa: 50101-678-52240). Prijave sprejema organizacijski odbor (Koller, Spruk, Mozetič, Nemanič), ki daje tudi vse dodatne informacije (tel. 061 12 31 341).

NASVETI

Čiščenje površin

Čiščenje je fizično ali kemično odstranjevanje nečistoč (umazanije) ali kontaminatov s površine predmetov. Nas zanima predvsem čiščenje tistih površin materialov, ki so kakorkoli že povezani z vakuumom, predvsem z visokim in ultra visokim.

Površinski kontaminanti so nezaželeni materiali s kemičnimi lastnostmi, ki so drugačne od njihove podlage (substrata). Kljub temu, da znamo očistiti grobo umazanijo, npr. maščobe in olja, pa s tem še nismo dosegli čistočo na atomarni ravni. Na površini podlag so ostali še sorbirani plini oz. pare (adsorbirani, absorbirani, kemisorbirani). Le-ti (njihov parni tlak) nam lahko delajo hude preglavice, posebej v visokem in ultra visokem vakuumu zaradi počasne desorpcije (odplinjevanja). Če hočemo imeti atomsko čiste površine, kar je pogoj za adhezijo novih plasti, ki jih nanašamo na podlage z naprevanjem (npr. kovin, zlitin) ali naprševanjem (kovin, nekovin oz. dielektrikov), je treba uporabiti še posebne tehnike čiščenja.

V teh nasvetih ni mogoče nadrobno razpravljati, kje in na kakšen način so se predmeti zamazali (kontaminirali). Za vakuum je vse bolj ali manj umazano. Vprašanje je le, do kakšne mere je treba predmete, ki pridejo v stik z vakuumom, očistiti, da bi dosegli želeni uspeh (npr. dobro adhezijo, majhno degazacijo ...).

Postopke čiščenja lahko razdelimo v pet skupin (Literatura: Osnove vakuumske tehnike, 2. izdaja, 1984):

- mehansko (strganje, krtačenje, brisanje, brušenje, rezanje, struženje, poliranje, suho (SiO_2 , Al_2O_3) in mokro peskanje (voda in steklene kroglice))
- kemično
- s pregrevanjem
- v plazmi
- z ionskim jedkanjem,

pri tem pa se bomo nekoliko zadržali le pri kemičnem načinu.

Čiščenje s topli

S topli najlaže odstranimo maščobe in olja s površine kovin. Seveda pa je tako čiščenje neučinkovito, če so nečistoče netopljive (kot so: soli, oksidi, ogljikove spojine, paste, ki se uporabljajo pri trdem lotanju ipd). Za uspešnost tega načina čiščenja moramo poznati:

- naravo kontaminanta, ki ga želimo odstraniti
- temu primerno topilo in
- njegovo delovno temperaturo.

Če lahko poteka čiščenje že pri sobni temperaturi ("hladno čiščenje"), je to najenostavnejše in primerno za olja in maščobe. Najbolj primerna čistilna sredstva so detergenti (za nečistoče, ki so topne v vodi) in topila: aceton, trikloretilen, perkloretilen itd. Čiščenje

lahko opravimo s potapljanjem v tekočino ali pa, če je le mogoče, z brisanjem s krpo, namočeno s topilom. Lahko uporabimo tudi ultrazvočne naprave, ki nam pomagajo odstraniti nečistoče iz izvrtin, navojev ali drugače kompliciranih oblik površine.

Za razmaščevanje z olji, maščobami in voski zamazanih kovinskih površin lahko uporabimo pare kloriranih ali fluoriranih topil. V posebnih posodah je na dnu grelnik za uparjevanje topila, v zgornjem delu pa je hladilna cona, kjer se pare kondenzirajo in odtečejo na dno. Predmete obesimo nekje vmes (v parno cono), kjer se pare tudi kondenzirajo na (hladnih) predmetih (podlagah) in topijo nečistoče ter jih odplakujejo. Ta postopek je zelo primeren za uporabo predvsem v kovinski industriji, uporablja pa se tudi v industriji stekla, plastike, elastomerov. Čistilno sredstvo so halogenirana topila, ki so nevnetljiva, ne povzročajo korozije, hitro se uparjajo in imajo veliko raztopno sposobnost. To so: trikloretilen, perkloretilen, metilen klorid, trikloro-trifluoroetan. Predmete lahko čistimo po tem postopku na več načinov: s potapljanjem v vroče topilo in nato še v pari, z oprhavanjem in kombinirano. Če pri tem uporabimo še ultrazvok, je čiščenje še bolj temeljito.

Poleg tega poznamo še čiščenje z alkalijami in kislinami (luženje in jedkanje). Prvo je navadno v povezavi z elektrolitskim čiščenjem (anodno ali katodno). Uporabljamo ga za odstranjevanje oksidov na železu, jeklu, aluminiju, cinku itd. Čiščenje s kislinami je navadno povezano z drugimi kemijskimi načini. Z luženjem oz. jedkanjem odstranjujemo okside, ki so navadno netopljivi v drugih raztopinah. Z jedkanjem odstranjujemo močno oksidirane plasti na površini kovin in tudi drugo umazanijo s kemijsko reakcijo med z vodo razredčeno kislino in kovinsko podlago (ogljikova, nerjavna jekla), pri čemer se tvori vodik. Postopek poteka pri sobni temperaturi ali nekoliko povišani (do 100°C). Pred tem moramo s predmetov odstraniti olja, maziva, milnico in druge kontaminante (npr. z alkalnimi topili). Za jedkanje uporabljamo fosforno ali klorovodikovo kislino.

Pri takem načinu čiščenja (luženju in jedkanju) se moramo zavedati, da odvezujemo tudi osnovni material in se zato dimenzije predmetov spremenijo (zmanjšajo).

Po vsakem kemičnem čiščenju je treba predmete dobro sprati v destilirani vodi in nato še v etilnem alkoholu ter posušiti. Pri delu moramo uporabljati prijemala (npr. pincete), na rokah pa morajo biti rokavice. Pa tudi drugače se je treba zaščititi, da našega zdravja ne načno vse te kemikalije.

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

POROČILA S KONFERENC

44. posvetovanje o metalurgiji in kovinskih gradivih ter 1. posvetovanje o materialih

V dneh 6.-8. oktobra 1993 sta v hotelu Bernardin v Portorožu potekali v naslovu navedeni posvetovanji. Pripravili in izvedli so ju:

- Inštitut za kovinske materiale in tehnologije
- Slovensko društvo za materiale
- Slovensko kemijsko društvo: sekciji za keramiko in polimere
- Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije

Finančno in moralno podporo je dalo Ministrstvo za znanost in tehnologijo, Republike Slovenije.

Udeleženci so prišli z univerz, inštitutov in iz tujine, ter iz industrije. Skupno jih je bilo nad 300 in so se od srede do petka zbirali na naslednjih sekcijah:

- metalurgija in kovinska gradiva
- sodobne tehnologije in materiali
- keramika, steklo, ognjevarna gradiva, kompoziti
- matematično modeliranje in računalniška simulacija procesov in tehnologij
- vakuumsko tehnika
- tanke plasti
- polimerni materiali
- tribologija in propad gradiv
- tehnološki odpadki in varovanje narave
- sodobne toplotne obdelave.

Predstavljenih je bilo 176 prispevkov, od tega 94 govornih in 82 posterskih. Predavanja so potekala deloma celo v dveh dvoranah vzporedno. Udeleženci so predavali o svojih dosežkih, zvečer pa so bili predstavljeni postri. Prva dva dneva so nekateri domači in tuji proizvajalci oz. njihovi zastopniki (RADEX Austria, GIBA Avstrija, LEICA Avstrija, KLOCKNER Nemčija, ZWICK Nemčija, FISIONS ZDA, SCAN Preddvor, TEAM-TRADE Kamnik, IEVT Ljubljana) razstavljali opremo in pomožna sredstva za raziskave, razvoj in proizvodnjo. Predstavili so se še nemška založba SPRINGER, Slovensko društvo za materiale in Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije.

Pomen skupne izvedbe dveh konferenc je v tem, da so prvič skupaj nastopili vsi strokovnjaki z različnih področij materialov in tehnologij (metalurgi, keramiki, kemiki, vakuumisti...), ki so doslej delovali vsak zase. Praksa nam kaže, da novi časi v novem gospodarskem in političnem okolju zahtevajo nove drugačne načine sodelovanja; posamezno slovensko strokovno društvo ne uspe organizirati svojega nacionalnega kongresa, ker je pač premajhno, lahko pa se veže na podobne tuje konference in celo postane organizacijski servis za tuje strokovjake, ali pa si najde svoj krog med strokovnjaki manjših narodov (npr. 3 dežele, skupnost Alpe-Jadran...) ali pa si poišče doma primerno tehnično "druščino" in goji domačo strokovnost malo manj ozko kot doslej. Izgleda, da je

ta slednja varianta še najbolj smiselna, vsaj portoroška izkušnja nam kaže tako. Udeležencev je bilo veliko in bili so si edini, da je bilo zanimivo in da bodo v prihodnje spet prišli.

Edino, kar - v smislu obstoja in razvoja prisotnih tehničnih strok - ni bilo povsem razumljivo, je vprašanje, zakaj z ozirom na zanimivo vsebino ni prišlo več udeležencev iz proizvodnje; predvsem predstavniki s področja kovinskopredelovalne industrije, vakuumske in plinske tehnike ter izdelovalci polimerov in keramike so bili zelo redki. Zdi se, da ni zaupanja v domači znanstveno-razvojni potencial. Morda bi v prihodnje lahko poskrbeli še za kakšno novo obliko (so)delovanja, ki bi pritegnila aktiviste iz industrije.

Za vzpodbudo nam rabijo lahko mnogi lepi in pogumni nastopi mladih raziskovalcev, ki jih je bilo veselje poslušati. Želimo, da bi se znali postaviti za stroko, oglašati se v javnosti, dvigati nivo inženirskega stanu in pomagati organizirati delo na svojem strokovnem področju tako, da bo skupnosti kar največ koristilo.

Na posvetovanju so posebej ocenjevali prispevke novih raziskovalcev, ki pripravljajo magisterije in doktorate. Za priznanje so bili izbrani najboljši na naslednjih štirih področjih:

- **kovinski materiali** - Erika Bricelj: Vpliv deformacije na nukleacijo Nb (C,N), Železarna Jesenice
- **keramika** - Marko Rozman: Hidrotermalna sinteza feritov, Iskra Feriti
- **polimeri** - Miro Huskič: polimerizacija metilmetakrilata s PVC-ksantatnim mikroiniciatorjem
- **vakuumsko tehnika** - Vinko Nemanič: Vakuumsko ploskovna izolacija-kovinska alternativa ekološko oporečnim izolacijskim penam, IEVT

Predsednik posvetovanja prof. F. Vodopivec jim je zagotovil izplačilo manjše denarne nagrade.

Zadnji dan dopoldne je ob prisotnosti direktorja Slovenskih železarn dr. A. Ocvirka in predstavnikov vlade potekala še javna razprava o stanju in obstoju naše jeklarske industrije, ki pa ni bila toliko uspešna, kot so si organizatorji želeli.

Skrbni organizatorji z Inštitutom za kovinske materiale in tehnologije na čelu so udeležencem ob prihodu pripravili knjigo abstraktov in bodo vse pravočasno oddane prispevke tudi natisnili v posebni številki revije "Kovine, zlitine, tehnologije", vendar le tistim, ki so poravnali kotizacijo.

Andrej Pregelj
predsednik DVTS

9. mednarodna konferenca o tankih plasteh, ICTF9

Na Dunaju je bila od 6. do 10. septembra 1993 na Univerzi za ekonomijo 9. mednarodna konferenca o tankih plasteh (International Conference on Thin Films). Organiziralo jo je avstrijsko vakuumsko društvo (ÖGV) v imenu Mednarodnega združenja za vakuumsko znanost, tehniko in uporabo (International Union for Vacuum Science, Technique and Applications, IUVSTA).

Štirokovi del konferenca sta odprla J. Mannhart (IBM, Švica) ter K. Takayanagi (Tokyo Institute of Technology, Materials Science and Engineering, Japonska) s plenarnima predavanjima "Electric Field Effect in High-Tc Thin Films" ter "Surfactant Epitaxy: Nucleation and Growth Investigated by High Resolution TEM and STM".

V knjigi povzetkov je navedenih 293 prispevkov avtorjev iz 39 držav. Delo je bilo razdeljeno na 13 skupin. Porazdelitev ustnih prispevkov in posterjev po teh skupinah je prikazana v razpredelnici.

Če iz tabele ocenjujemo mednarodno dogajanje na področju tankih plasti, lahko rečemo, da je največ raziskav usmerjenih v osnovne lastnosti le-teh. Sledijo raziskave načinov nanosa, raziskave plasti za mikroelektroniko in magneto-optiko, analitske tehnike za površine in tanke plasti ter študije rasti. Med uporabniško usmerjenimi raziskavami je poleg že omenjenih raziskav plasti za mikroelektroniko in magneto-optiko največ zanimanja za trde in zaščitne prevleke, sledijo pa prevleke in večplastne strukture za rentgensko, UV, vidno in IR področje. Za polovico je manjše število raziskav na drugih, predvsem uporabnih področjih, kot so spreminjanje plasti z ionskimi curki in plazmo, organske in polimerne plasti, visokotemperaturne superprevodne plasti ali sončne celice in snovi.

V okviru konferenca so organizatorji podelili nagrado "Max Awarther", imenovano po znanem raziskovalcu fizike in tehnologije tankih plasti ter ustanovitelju tovarne Balzers. Dobil jo je R. Wiesendanger za izjemno študijo površinskih defektov, domen in magnetnih struktur s pomočjo vrstične tunelske mikroskopije (Scanning Tunneling Microscopy, STM), opravljeno na univerzi v Baslu, Švica.

Podelitev nagrade skupaj z že omenjenim plenarnim predavanjem dokazuje, da je STM trenutno eno najbolj odmevnih področij raziskav. Drugo plenarno predavanje je bilo s področja visokotemperaturnih superprevodnikov, ki je v začetku devetdesetih let eksplodiralo, do danes pa se je že umirilo in se oblikovalo tako kot druga področja tankih plasti. Morda bo večji razmah temu področju dalo čisto sveže odkritje, da je meja superprevodnosti pod visokim tlakom lahko premaknjena nad 150 K.

Pri osnovnih raziskavah tankih plasti se s povečevanjem sposobnosti računalnikov opazno uveljavlja simulacija, ki je predstavljena na televizijski način. Vseeno pa so pogoji simulacije močno poenostavljeni, saj je to edini način, da je izračun končan v smiselnem času. Če na primer tridimenzionalno opazujemo dogajanje 500 atomov podlage med naprejevanjem, naprševanjem, jedkanjem ali implantacijo, je število spremenljivk ogromno in moramo njihovo število optimizirati. G. Betz z Dunaja je prikazal simulacijo rasti tankih plasti ob različnih energijah vpadlih delcev. Na koncu je povedal, da simulacija ustreza rasti plasti s hitrostjo velikostnega reda m/s.

Med konferenco je v hali pred predavalnicami predstavljalo okrog 15 razstavljalcev svoje izdelke in tehnologije. Ta, ne razkošna razstava, je potrjevala trditev organizatorjev, da so morali zaradi zmanjšane števila sponzorjev kraj konferenca iz dunajskega centra premakniti na Univerzo za ekonomijo. Kljub visoki udeležini (5800 ATS za navadne udeležence in 2850 ATS za študente), so bili natisnjeni le povzetki prispevkov, v revijah pa bo objavljeno le neznano majhno število prispevkov. Organizatorji so visoko udeležino skušali upravičiti tudi z družabnimi dogodki in sicer s sijajno večerjo v slavnostni dvorani dunajske mestne hiše kot tudi s koncertom v dunajski koncertni hiši. Zdi se, da jim je uspelo.

Slovenija je bila na konferenci dostojno zastopana, saj imamo na spisku udeležencev 10 sodelujočih (za primerjavo: Češka 4, Madžarska 6, Francija 10, Italija 11, Švica 13, ZDA 19, Rusija 20, Avstrija 22, Japonska 29, Nemčija 46, itd.). Visoke številke udeležencev iz močnejših držav pričajo, da je konferenca uspela. Naslednja mednarodna konferenca o tankih plasteh bo v Salamanci v Španiji.

Andrej Cvelbar
Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, Ljubljana

Delovne skupine na konferenci ICTF 9, Dunaj, 6.-10.9.1993		število ustnih predstavitev	število posterjev	skupaj
T1	Osnovne raziskave rasti tankih plasti	21	10	31
T2	Osnovne lastnosti tankih plasti	21	27	48
T3	Spreminjanje tankih plasti z ionskimi	8	7	15
T4	Analiza površin in tankih plasti	13	18	31
T5	Postopki nanosa	13	21	34
T6	Visokotemperaturne superprevodne tanke plasti	7	6	13
T7	Organske in polimerne tanke plasti	6	8	14
T8	Sončne celice in snovi	8	5	13
T9	Trde in zaščitne prevleke	16	13	29
T10	Prevleke in večplastne strukture za X, UV, vidno ali IR uporabo	13	7	20
T11	Tankoplastna tipala	3	4	7
T12	Tanke plasti za mikroelektroniko in magnetno-optične tanke plasti	16	16	32
PD	Zamujeni ustni prispevki	4		4
Skupaj		149	142	291

Peta evropska konferenca o uporabi metod za analizo površin in faznih mej (ECASIA 93)

V Cataniji na Siciliji je bila od 4. do 8. oktobra 1993 že peta evropska konferenca z razmeroma dolgim imenom, navedenim v naslovu. Tisti, ki se ukvarjamo z metodami za preiskavo površin, že dlje časa vemo, da je to konferenca, ki pritegne vse najpomembnejše strokovnjake s tega področja v Evropi; zaradi njenega visokega znanstvenega in strokovnega nivoja pa so vedno v velikem številu prisotni tudi Amerikanci in Japonci, ki imajo to področje tudi najbolj razvito. Konferenca je bila organizirana tako, da je okrog 500 udeležencev predstavilo 435 prispevkov v obliki predavanj ali v poster sekcijah. Zastopana so bila naslednja področja (tu navedena po abecednem redu, če bi bila pisana v angleščini): adhezija, profilna analiza, interpretacija podatkov in kvantitativno vrednotenje, študij okolja, tehnike slikanja, metalurgija, mikroelektronika, optoelektronika, polimeri, radiacijski učinki, senzorji, superprevodniki, uporaba sinhrotrona, razvoj novih tehnik, tanke plasti in prevleke, tribologija in umetniška dela. Za posamezna področja sta organizacijski in znanstveni odbor konference organizirala osemnajst vabljenih predavanj.

Kot je že v navadi, je bilo v okviru konference organiziranih tudi več tečajev (delavnic), specializiranih za posamezne metode, kot so: AES, XPS, SIMS, TEM, STM/FM, RBS, ERD, NRA in druge. Vse najpomembnejše svetovne firme so pripravile razstavo opreme in najnovejših dosežkov, založba Wiley pa razstavo knjig in revij iz zgoraj navedenih področij preiskav površin in faznih mej.

Primerjava s prejšnjima dvema konferencama ECASIA, ki sta bili pred štirimi leti v Antibes-u, Francija in pred dvema letoma v Budimpešti, Madžarska, jasno pokaže hiter razvoj na tem področju (tako po naraščajočem številu udeležencev, kot po visokem strokovnem nivoju prispevkov). To ne preseneča, če vemo, da je prav uporaba metod za preiskavo površin nujen pogoj za raziskavo in razvoj novih večplastnih struktur in kompozitnih materialov za elektroniko, mikroelektroniko, metalurgijo, kemijo, strojništvo. V zadnjem času pa se te metode vse več uporabljajo tudi v medicini in drugje.

In kakšni so smeri razvoja? Več jih velja omeniti. Veliko pozornost je vzbudilo plenarno predavanje prof. G. Margaritondo-ja, ki je govoril o velikih možnostih uporabe sinhrotrona Elettra (v Trstu so ravno v tednu ECASIA-93 napravili prve preizkuse s

centralnim žarkom sinhrotrona). Zanimive so možnosti uporabe fotoelektronske holografije, elektronske spektroskopije z ultravisoko energijsko ločljivostjo in vrstične (rastrske) fotoemisijske spektroskopije. Povečal se je obseg preiskav z vrstično tunelsko mikroskopijo (STM), ki nudi, pred nekaj leti še neslutene, možnosti za strukturno in kemijsko karakterizacijo površin na atomarni ravni. Metoda SNMS se je razvila v tem pogledu, da za ionizacijo nevtralnih atomov in molekul uporablja laserski ali elektronski curek s čimer dosežejo občutljivost metode reda ppb. Nekateri avtorji so v svojih predavanjih pokazali tridimenzionalne slike, dobljene z ionskim mikroanalizatorjem. S 3D slikami, ki jih naredijo tako, da površino vzorca analizirajo v kombinaciji z ionskim jedkanjem, dobijo kvalitativni vpogled v porazdelitev elementov v treh dimenzijah vzorca. Več firm je prikazalo izboljšano računalniško programsko opremo za avtomatsko vodenje preiskav in zbiranje podatkov ter njihovo obdelavo.

Glede na udeležbo naših strokovnjakov na zadnjih konferencah ECASIA lahko sklenemo, da je to področje v Sloveniji v stagnaciji. Na letošnji konferenci ECASIA-93 je bil prisoten en udeleženec iz Slovenije in en Slovenec na delu v italijanski instituciji. Vzroka za tako stanje v Sloveniji sta predvsem dva: (1) raziskovalna oprema za tovrstne preiskave je draga, (2) strokovnjaki za to področje morajo praviloma imeti interdisciplinarno znanje, ki si ga lahko pridobijo šele po daljšem času in z delom na tujih institucijah z novejšo opremo. Slovenski raziskovalni inštituti in v prihodnosti oživljeno slovensko gospodarstvo bodo zato morali v bodoče naročati preiskave z zgoraj omenjenimi metodami v tujini. S tem bo seveda izgubljena avtonomnost pri preiskavah in pridobivanju novih patentov. Izgleda pa, da v tem prehodnem obdobju slovenska družba tovrstnih znanj in uslug ne potrebuje. Tudi avtor tega sestavka je daljši čas in tudi še v začetku leta 1993 prejemal osebni dohodek enak prejemku vratarja na istem inštitutu, kjer je zaposlen (IEVT).

Ni naključje, da je bila večina dosedanjih petih konferenc ECASIA organiziranih v najbolj razvitih evropskih državah. Tako bo tudi naslednja konferenca ECASIA-95, za katero je organizator že pripravil prvo informacijo, od 9. do 13. oktobra 1995 v Montreux-u v Švici.

Dr. Anton Zalar
Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko,
Teslova 30, Ljubljana

Uspešno zaključena "delavnica" Vakuumska tehnika za srednješolske predavatelje.

Konec leta 1992 je dozorela zamisel, da bi naše društvo organiziralo poleg obstoječih tečajev iz vakuumske tehnike še nov tečaj za srednješolske predavatelje. S tem bi širili znanja s tega področja med mladimi v srednjih šolah s pomočjo njihovih predavateljev, ki bi jim zbrali in pripravili materiale za predavanja in laboratorijske vaje.

V pol leta nam je uspelo pripraviti knjigo "Vakuumska tehnika za srednješolske predavatelje", jo ustrezno opremiti in izdati junija letos v nakladi 300 izvodov.

Že v lanskim decembrski številki Šolskih razgledov smo najavili "delavnico", skupaj z drugimi tečaji, seminarji in delavnicami. Ministrstvo za šolstvo in šport uvaja stalno izobraževanje učiteljev in profesorjev in podpira ter organizira dopolnilna izobraževanja. Ob pravem času smo se oglasili z našim predlogom, ki so ga takoj podprli. Za jesenski rok, ki smo ga organizirali pod pokroviteljstvom Zavoda za šolstvo republike Slovenije, se je prijavilo 12 srednješolskih predavateljev iz vse Slovenije. Delavnice od 9.-11. septembra letos se je udeležilo 10 predavateljev, ki so v dveh dneh in pol na predavanjih, laboratorijskih vajah in ogledih laboratorijev na Inštitutu za elektroniko in vakuumsko

tehniko in Institutu "Jožef Stefan" spoznavali področje vakuumske tehnike. Namen delavnice je bil približati področje srednješolskim predavateljem tako, da bi svoje znanje čim lažje prenesli svojim učencem. Udeleženci so bili mnenja, da je tako izobraževanje manjkalo in da jim bo zelo koristilo v šoli pri pouku. Zato so po koncu delavnice slušatelji pripravili poročila v obliki seminarskih nalog, v katerih so prikazali, kako bodo podano snov predstavili svojim učencem. Na osnovi udeležbe in pripravljenih seminarskih nalog pridobe srednješolski predavatelji (eno) točko za dopolnilno izobraževanje. S to delavnico začena društvo popularizacijo našega interdisciplinarnega področja že v srednji šoli. Tehniška fakulteta iz Maribora to dejavnost formalno nadaljuje na tretjestopenjskem študiju vakuumistike.

Ob tej priliki se želim zahvaliti sodelavcem, ki so s svojo vztrajnostjo in prizadevnostjo omogočili, da smo pripravili novo knjigo, predavanja in laboratorijske vaje v zelo kratkem času.

Dr. Bojan Jenko
Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko
Teslova 30, Ljubljana

21. konferenca o pojavih v ioniziranih plinih

Od 19. do 24. septembra 1993 je bila na Ruhr-Universität v Bochumu, Nemčija, 21. konferenca o pojavih v ioniziranih plinih - ICPIG XXI. Na njej je bilo predstavljenih deset vabljenih in okoli petindvajset uvodnih predavanj, ter več sto posterjev v dvajset različnih sekcijah. Te so obsegale: diagnostične metode, plazemsko spektroskopijo, modeliranje,

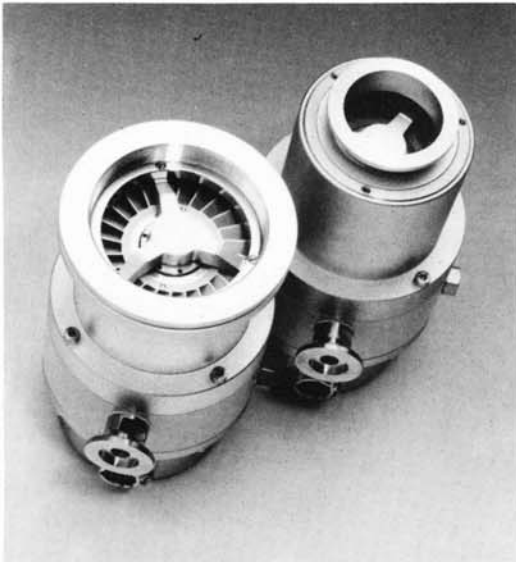
teorijo plazme in osnovnih procesov v plazmi. Predstavljenih je bilo tudi nekaj posterjev iz Slovenije, z Inštituta za elektroniko in vakuumsko tehniko ter Inštituta "Jožef Stefan" v Ljubljani.

Miha Kveder
Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko

balzers

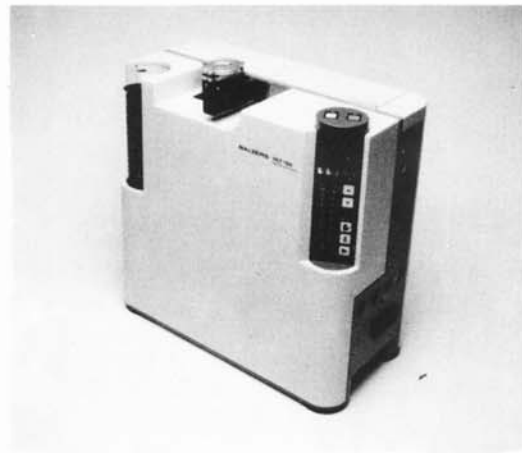
TURBOMOLECULAR PUMPS

- Single and Double-flow standard pumps
- Wide range pumps
- Pumps with magnetic bearings
- Pumps for corrosive gas applications
- Electronic drive units



For further details, information and documentation please contact our sales engineer Ing. Karl Blümel.

LEAK DETECTOR



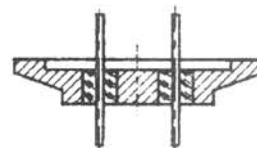
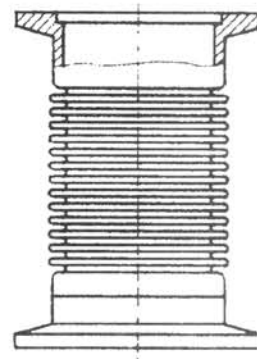
- SNP coarse vacuum leak detector system
- HLT 100 helium leak detector
- HLT 160 helium leak detector
- Frigo Sniff RXS 200 (for R134 a)

Balzers Hochvakuum Ges. m.b.H.
 Diefenbachgasse 35
 A-1150 Wien
 Tel. (0222) 894 17 04, 894 17 05
 Telefax (0222) 894 17 07

SPECIALNI VAKUUMSKI ELEMENTI

Prevodnice za vgradnjo v osnovne plošče ali kot komplet v prirobnicah (KF, CF, ...) lahko tudi oblikovane po želji:

- električne - s plastično ali stekleno izolacijo (kompresijski in usklajeni spoji) in s poljubnim številom prevodov
- električne - visokotokovne (hlajene z vodo)
- cevne, za pretoke plinov ali tekočin
- gibalne, za prenos rotacije ali translacije v grobi, visoki in ultravisoki vakuum



Okna za opazovanje notranjosti recipienta; tesnjenje izvedeno z elastomernimi tesnili

Prehodni kosi za posebne namene:

- kovinski mehovi
- cevi s spojem steklo-kovina
- steklene cevi s prirobnicami (z električno izolacijo med posameznimi deli vakuumskega sistema)

Stekleni deli - izdelava po meri, popravila in razvoji



**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 p.o.

INSTITUTE OF METALS
AND TECHNOLOGIES p.o.

61000 LJUBLJANA, LEPI POT 11, POB 431,
SLOVENIJA

Telefon: 061 151 161
Telefax: 061 213 780

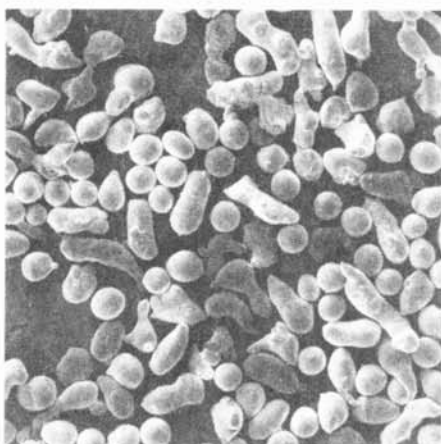
RAZISKAVE, RAZVOJ, STORITVE:



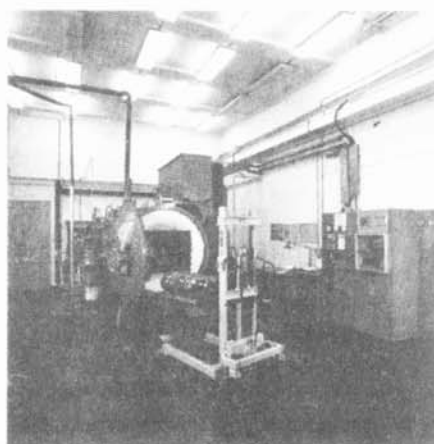
Posnetek inter- in transkristalnega preloma jekla s perlino strukturo, P 10000x



Oprema za korozijske teste



Vodno atomiziran prah Milit, P 600x



Vakumska peč

Sinteza sodobnih kovinskih materialov

- s konvencionalnimi postopki
- s postopki metalurgije prahov

Karakterizacija materiala po kemijskih, korozijskih, mehanskih in mikroskopskih metodah

Razvoj tehnologij proizvodnje jekla, aluminijevih in posebnih zlitin

Matematično modeliranje in računalniška simulacija procesov in tehnologij

Sodobna vakuumaska termična obdelava

Varstvo okolja

Nadzor in atestiranje

Ekspertne storitve in svetovanja

Pilotna proizvodnja kovinskih materialov

Vzgoja novih raziskovalcev

Organizacija znanstvenih in strokovnih posvetovanj



PRODAJNI PROGRAM

Vakuumske črpalke:

- ✱ rotacijske vakuumske črpalke in pribor - eno in dvostopenjske, od 1 do 1200 m³/h
- ✱ Roots vakuumske črpalke od 150 do 13.000 m³/h
- ✱ črpalke z zapiralno loputo, eno in dvostopenjske, do 250 m³/h
- ✱ dvostopenjske membranske in ejektorske vakuumske črpalke
- ✱ difuzijske črpalke od 40 do 50.000 l/s
- ✱ turbomolekularne črpalke od 50 do 3.500 l/s in pribor
- ✱ sorpcijske črpalke, kriočrpalke, ionsko-getske in sublimacijske titanske črpalke

vakuumski črpalni sistemi:

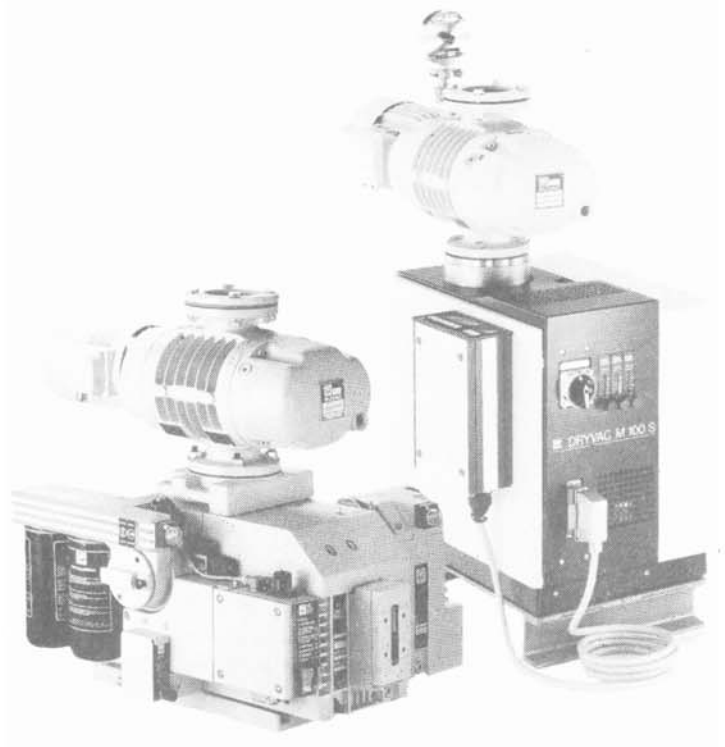
- za kemično in drugo industrijo

vakuumski ventili:

- pretočni ali kotni KF, ISO-K, ISO-F od 2 do 1.000 mm,
- loputni in UVV ventili

vakuumske prirobnice:

- serije KF, ISO-K, ISO-F in UHF, objemke in steklena okna



mehanske in električne prevodnice merilniki vakuuma in kontrolni instrumenti:

- od 1.10⁻¹² do 2.000 mbar, absolutni ali merilniki delnih tlakov

procesni regulatorji detektorji netesnosti (prepuščanja) in sistemi

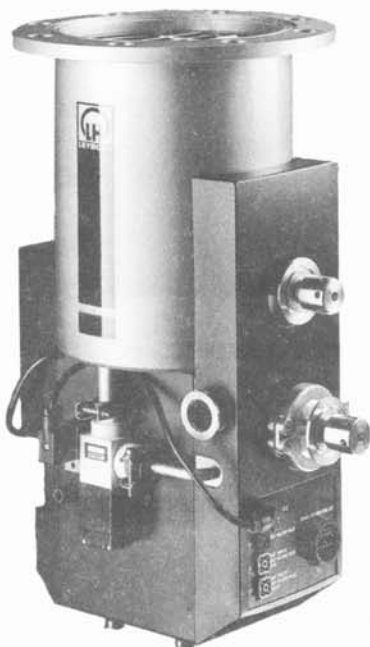
- helijski, frigenjski detektorji

masni spektrometri in pribor

- od 1 do 200 ame

IZDELAVA STROJEV IN TEHNOLOGIJE ZA:

- ✱ skupina UB - trdi sloji, kondenzatorske in pakirne folije, naprevanje velikih površin, npr. steklo, naprevanje video in audio trakov, CD in video plošče, plošče za shranjevanje podatkov
- ✱ skupina UC - fina optika, očala (komponente - merjenje tankih plasti, elektronski topovi), LCD prikazalniki, okrasne tanke plasti, plasti za mikroelektroniko, naprave za izdelavo kristalov
- ✱ skupina UM - vakuumske indukcijske peči (tudi za vlivanje), vakuumska metalurgija



ZASTOPSTVO IN SERVIS

MEDIVAK

MEDIVAK d.o.o., Šolska ulica 21, 61230 Domžale
Tel.: (061) 713-060, Fax: (061) 713 060

PRODAJA

TEAM TRADE

Poštni naslov: TEAM TRADE,
61241 Kamnik, p.p. 43, Slovenija

Pisarna: 61000 LJUBLJANA
Cesta v Rožno dolino 42
Telefon (061) 274-123
Telefax (061) 274-125
Račun SDK 50140-601-85343

NDT - KONTROLA BREZ PORUŠITVE MATERIALA**OPTIČNA KONTROLA****- OLYMPUS, JAPONSKA**

- ❖ ogledala in povečala, endoskopi in fibroskopi, foto in TV dokumentacija ter TV kontrola cevi
- ❖ posebni prenosni aparati za optično kontrolo površine vseh vrst materialov s povečavo do 1000-krat
- ❖ metalurški in ostali mikroskopi

Kontrola s penetrantskimi tekočinami**- HELLING, ZRN**

- ❖ MET-L-CHEK rdeče-beli in fluorescentni penetranti
- ❖ STANDARD CHEK penetranti, SUPER CHEK penetranti za visoke temperature, BY LUX penetranti
- ❖ kontrolni etaloni in aparati, ročni, pol-avtomatski in avtomatizirani sistemi
- ❖ UV luči za fluorescentno metodo

Magnetna kontrola - HELLING, ZRN

- ❖ oprema za magnetiziranje, permanentni magneti, ročni elektromagneti, prenosne enote - do 4000 A
- ❖ standardna stacionarna oprema in izdelava opreme po naročilu ter popolnoma avtomatizirana oprema
- ❖ aparati za demagnetiziranje, kontrolni aparati in etaloni
- ❖ sredstva za kontrolo: prahovi in suspenzije raznih barv in velikosti, UV luči za fluorescentno metodo

Kontrola z vrtinčastimi tokovi - ROHMANN, ZRN**in ultrazvočna kontrola - PANAMETRICS, ZDA/ZRN**

- ❖ prenosni aparati za kontrolo materialov, merilniki debelin materialov



- ❖ visokofrekvenčni prenosni in stacionarni aparati, popolnoma avtomatizirani linijski sistemi
- ❖ vse vrste sond in pribora

Radiografska kontrola - ANDREX, DANSKA, - HELLING, ZRN, - GRAETZ, ZRN

- ❖ prenosni RTG aparati do 300 kV, stacionarni RTG aparati do 450 kV
- ❖ aparati za gama-radiografijo IR 192, CO 60 in pribor, izotopska polnjenja IR 192, CO 60 in ostalo
- ❖ radiografski pribor, aparati za pregled RTG filmov - iluminatorji
- ❖ radiološka zaščita - dozimetri
- ❖ konstrukcija in izdelava foto-RTG laboratorijev v vozilih, zabojnikih in drugih prostorih

Industrijski RTG filmi in kemikalije**- RAZLIČNI PROIZVAJALCI****Kontrola netesnosti / prepuščanja****- LEYBOLD, ZRN, - HELLING, ZRN**

- ❖ helijevi, freonski in ultrazvočni detektorji
- ❖ s fluorescentnimi tekočinami

Analize materialov**- SPECTRO, ZRN, - LEYBOLD, ZRN**

- ❖ spektralne analize raznih vrst materialov:
 - optično emisijski spektrometri
 - rentgensko fluorescenčni spektrometri
- ❖ masni spektrometri za analizo raznih vrst plinov
- ❖ aparati za analizo tekočin in plinov
- ❖ pribor

Druge vrste NDT kontrole - HELLING, ZRN,**- MES, HOČE, - TEMPIL DIVISION, ZDA**

- trdote, hrapavosti, izolacije, vlažnosti, kontrola kvalitete in namazanosti ležajev
- debelin in kvalitete premazov ter zaščit na kovinah
- temperature - TEMPILSTIK in digitalni merilniki - DRUGI MERILNIKI

TEAM TRADE d.o.o.

Poštni naslov: TEAM TRADE, 61241 Kamnik, p.p. 43, Slovenija

Pisarna: 61000 LJUBLJANA
Cesta v Rožno dolino 42
Telefon (061) 274-123
Telefax (061) 274-125
Račun SDK 50140-601-85343

PERKIN ELMER

PERKIN ELMER je vodilni svetovni proizvajalec opreme za vse aplikacije kemijske analitike. Njihove vrhunske aparature poznajo in uporabljajo v laboratorijih skoraj vseh slovenskih tovarn s področja kemije, farmacije in prehranske industrije, ter v vseh pomembnejših zavodih in raziskovalnih institucijah.

KemoAnalitika, d.o.o. je ekskluzivni zastopnik in distributor firme PERKIN ELMER v Sloveniji. Mnogi strokovnjaki nas že dobro poznate, saj imamo v Sloveniji veliko zvestih in zadovoljnih uporabnikov naše opreme in servisnih storitev. Vse tiste, s katerimi pa se doslej še nismo imeli priložnosti seznaniti, pa vabimo, da nas pokličete in radi se bomo dogovorili za razgovor in predstavitev najsodobnejše opreme.

Dovolite, da vas opozorimo na nekaj pomembnih novosti v našem poslovanju:

- sistemska in tehnična podpora z našimi lastnimi slovenskimi strokovnjaki
- zaradi novih pogojev poslovanja smo uspeli znižati cene skoraj vsem aparatom, rezervnim delom in potrošnemu materialu
- vsa podpora pri uvoznih in drugih formalnostih, prodaja za tolarje



KemoAnalitika

družba z omejeno odgovornostjo

R.D. V/24, 61000 Ljubljana

telefon 061/261 957

telefaks 061/261 537