

# RENTGENSKA FLUORESCENČNA SPEKTROSKOPIJA S TOTALNIM ODBOJEM (TXRF)

Peter Kump, Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, 61111 Ljubljana

## Total Reflection X-Ray Fluorescence Spectrometry

### ABSTRACT

Total reflection X-ray fluorescence spectrometry (TXRF) is a powerful technique for chemical analysis of small amounts of material deposited on flat substrates. Measuring the angular dependence of the yield of fluorescence radiation in the same instrument opens the field of glancing incidence X-ray fluorescence (GIXF), which offers the possibility for detailed analysis of thin flat layers and multilayered structures. The physical principles of the method as well as the procedures of quantitative analysis are described. The capabilities of this analytical method are assessed as well.

### POVZETEK

Rentgensko fluorescenčna spektroskopija s totalnim odbojem (TXRF) je izredno občutljiva metoda za analizo sledi elementov v majhnih vzorcih, ki se nanesejo na gladko ravno podlago iz primerne snovi. Z merjenjem kotne odvisnosti jakosti fluorescenčnih žarkov, vzbujenih ob vpadu pod majhnimi koti (GIXF), pa je z istim instrumentom mogoče meriti tudi parametre tankih plasti ali večplastnih struktur, ki so nanešeni na ravno podlago. Predstavljamo fizikalne principe metode in pa postopke kvantitativne analize. Ocenjene so tudi zmožnosti te analitske metode.

### 1 Uvod

Rentgensko fluorescenčna spektroskopija s totalnim odbojem (TXRF) je analizna tehnika, ki za razliko od klasične energijsko-disperzijske rentgenske fluorescencije uporablja pri vzbujanju močno fokusiran rentgenski curek, ki pada na optično gladko podlago (reflektor) pod kotom v območju kritičnega kota za totalni odboj. Vzorec je lahko reflektor sam, lahko pa je to majhna količina materiala, ki je na površini reflektorja. Izredno majhna velikost kritičnega kota za totalni odboj ( $<0,1^\circ$ ) pomeni pri večini snovi, da je vpadni rentgenski curek praktično paralelen s površino reflektorja.

Meritve kotne odvisnosti jakosti vzbujenih fluorescenčnih žarkov v območju kritičnega kota (GIXF: Glancing Incidence X-ray Fluorescence) pa omogočajo globinsko analizo površin, tankih plasti in večplastnih struktur, in sicer v področju od nanometra do mikrometra.

V svetu se omenjene različice totalnorefleksijske rentgenske fluorescenčne analize precej uveljavljajo, čeprav so komercialni instrumenti še izredno dragi. V našem laboratoriju smo vpeljali analizo tehniko TXRF in jo uporabljamo za rutinsko analizo sledi elementov v različnih vzorcih iz okolja. V prihodnje pa nameravamo izpopolniti naš sistem in uvesti tudi GIXF ter vpeljati tudi globinsko profiliranje tankih plasti in večplastnih sistemov ter analizo na površini adsorbiranih molekul.

Izredna občutljivost metode TXRF pri kemijski analizi je posledica močno zmanjšanega ozadja v merjenem rentgensko fluorescenčnem spektru vzorca, ki se doseže s totalnim odbojem na podlagi (reflektor je kremenova ploščica) in z majhno maso samega vzorca (nekaj mg). Vpadni rentgenski curek, ki oplazi vzorec in

se na podlagi totalno odbije, ima v podlagi doseg le nekaj nm, torej se siplje na efektivno izredno tanki podlagi, določeni s samim dosegom. Sipanje rentgenskih žarkov od vzorca in podlage, ki sicer močno poveča ozadje v klasični rentgenski analizi, je tako pri tej tehniki močno zmanjšano.

### 2 Fizikalne osnove

Rentgenski žarki se na meji med dvema različnima homogenima snovema odbijejo in lomijo tako kot vsako elektromagnetno valovanje. Uporabimo lahko klasično disperzijsko relacijo, vendar je pri rentgenskih žarkih lomni količnik manjši od 1, ker je pač frekvenca valovanja mnogo večja od lastnih frekvenc elektronov v atomih:

$$n = 1 + \frac{e_0^2}{2\epsilon_0 m_e} \sum \frac{N_k}{\omega_k^2 - \omega^2 + i\gamma_{k0}},$$

$$\omega > \omega_k \quad \text{in zato } n < 1.$$

Lomni količnik lahko zapišemo tudi v obliki:

$$n = 1 - \delta - i\beta,$$

kjer je  $\delta = \frac{e_0^2 N \lambda^2}{8\pi^2 \epsilon_0 m_e c^2}$  in  $N = \rho \frac{N_A}{A} Z$  ter  $\beta = \frac{\mu(\lambda)\rho\lambda}{4\pi}$ .

Realna konstanta  $\beta$  predstavlja disperzijo, imaginarna pa pomeni absorpcijo v snovi reflektorja ( $\mu(\lambda)$  je masni absorpcijski koeficient v  $\text{cm}^2/\text{g}$ ). Obe konstanti sta odvisni od valovne dolžine. Za rentgenske žarke sta vrednosti obeh konstant majhni, in sicer je  $\delta$  reda velikosti  $10^{-6}$ ,  $\beta$  pa še manjši.

Do popolnega odboja pride, ko rentgenski žarki padejo na snov pod kotom, ki je manjši od kota popolnega odboja  $\varphi_c$ . Tega lahko izračunamo z uporabo Snellovega zakona, tako da je:

$$\varphi_c = \sqrt{2\delta} = \frac{e_0 \lambda}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho N_A Z}{\epsilon_0 A m_e c^2}} \quad (1)$$

Vrednost tega kritičnega kota za kremenovo steklo je pri energiji Mo karakterističnih rentgenskih žarkov 17,44 keV 1,8 mrad (1 mrad je približno  $0,1^\circ$ ).

Pri vpadu rentgenskega valovanja pod kotom, manjšim od kritičnega, se praktično vse valovanje odbije, reflektivnost je praktično popolna in doseg (t.j. povprečna dolžina pri prehodu v reflektor, kjer jakost pade na vrednost  $1/e$ ) rentgenskih žarkov v reflektorju je blizu 3 nm. Pri kritičnem kotu ta izginjajoči žarek znotraj reflektorja seže najdlje. Če pa vpadni kot preseže kritičnega,

pogoj totalnega odboja ni več izpolnjen, reflektivnost naenkrat pade in rentgenski žarki začno prodirati v snov. Doseg teh žarkov pod površino reflektorja ( $z_p$ ) je določen z absorpcijskim koeficientom le-tega in pri majhnih kotih narašča linearno z vpadnim kotom  $\psi_0$ :

$$z_p(\psi_0) = \psi(\psi_0) \frac{1}{\mu(\lambda)} \quad (2)$$

Vpadni in totalno odbiti rentgenski žarki pa tik ob reflektorju interferirajo, tako da na njegovi površini nastanejo stojni elektromagnetni valovi. Vozli stojnega valovanja električnega polja so med seboj oddaljeni za

$$D = \frac{\lambda}{2\psi_0} \quad (3)$$

kjer je  $\psi_0$  vpadni kot valovanja, ki je manjši od kritičnega kota. Pri tankih plasteh ali večplastnih strukturah, ki so nanosene enakomerno na gladko podlago, pa pride do interference med lomljenimi vhodnimi in odbitimi žarki na mejah zaporednih plasti in na reflektorju. Ta pojav omogoča selektivne meritve elementov, ki te plasti sestavljajo, in določitev njihove gostote oz. površinske gostote, debeline ter povprečne oddaljenosti od površine. Natančnost in pa globinska ločljivost teh meritev je odvisna predvsem od absorpcije rentgenskih žarkov in seveda od verjetnosti vzbujanja fluorescenčnih rentgenskih žarkov v atomih snovi, ki te plasti sestavljajo. Iz enačbe (1) za kritični kot totalnega odboja sledi, da je ta kot direktno sorazmeren gostoti reflektorja. Na osnovi tega je mogoče meriti gostoto različnih materialov blizu površine, tudi gostoto tankih plasti.

### 3 Priprava eksperimenta

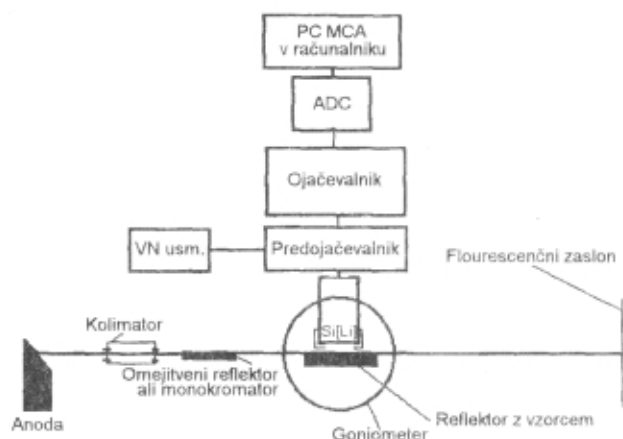
Eksperimentalni sistem je sestavljen iz rentgenske cevi, kot izvira rentgenskih žarkov, rentgenskega spektrometra s Si(Li) detektorjem in pa totalnorefleksijskega modula. Shematično je sistem prikazan na sliki 1, nakazana pa je tudi sprememba sistema, ki je potrebna, če ga želimo uporabljati pri meritvah tankih plasti. V tem primeru je namreč potrebno uporabljati monokromatsko rentgensko svetlobo, potreben pa je tudi natančen goniometer, ki omogoča absolutno in čimbolj natančno določanje vpadnega kota rentgenskih žarkov.

V našem laboratoriju uporabljamo rentgensko elektronko s finim fokusom in Mo-anodo, generator pa omogoča na njej nastavitve napetosti do 50 kV in toka do 40 mA (Philips PW 1011).

Visokoločljivostni rentgenski spektrometer s polprevodniškim Si-(Li-) detektorjem sestavljajo še visokonapetostni izvir, ojačevalnik in analogno-digitalni pretvornik (ADC) ter večkanalni analizator (MCA), kar omogoča merjenje rentgenskega spektra v območju od 0,1 do 20 keV. Ločljivost spektrometra pri 5,9 keV je 140 eV.

Totalnorefleksijski modul omogoča pravilno oblikovanje žarkovne linije rentgenskih žarkov, in sicer tako, da so izpolnjeni naslednji pogoji:

- disperzija žarka  $\leq 0.5$  mrad (dosežemo jo s primernim kolimatorjem)



Slika 1. Shematski prikaz rentgensko-fluorescenčnega sistema s totalnim odbojem

- rezanje visokoenergijskega dela zvezne porazdelitve žarkov v curku (omejitveni reflektor za višje energije)
- usmerjanje snopa na kremenov reflektor, ki rabi kot podlaga vzorca pod majhnimi koti z natančnostjo okoli 0,1 mrad (nastavitev ustreznega kota dosežemo s tremi mikrometrskimi vijaki)
- zaščita pred sevanjem na eksperimentalnem mestu.

Pri analizah tankih plasti in večplastnih sistemov pa ne rabimo več omejitvenega reflektorja, potrebujemo pa obvezno:

- monokromator z dobro reflektivnostjo (navadno temu ustrezajo le večplastne strukture, kot npr. W/C) in
- goniometer za absolutne meritve vpadnih kotov rentgenskih žarkov na vzorec (natančnost 0,1 do 0,2 mrad)

Kotna divergenca rentgenskih žarkov v vpadnem curku mora biti precej manjša od kritičnega kota reflektorja. Pri našem sistemu je  $\pm 0,1$  mrad pri uporabi kolimatorja dolžine 10 cm z režama 0,05 mm na obeh straneh.

Omejitveni reflektor se uporablja za rezanje zveznega spektra rentgenskih žarkov iz cevi, in sicer navadno nad  $M\alpha$  energijo, s čimer se zmanjša ozadje v nizkoenergijskem delu fluorescenčnega spektra. Pri nekoherentnem (comptonskem) sipanju visokoenergijskih rentgenskih žarkov od elektronov v občutljivem volumnu detektorja odzivni elektroni namreč ozadje pri nizkih energijah močno povečajo.

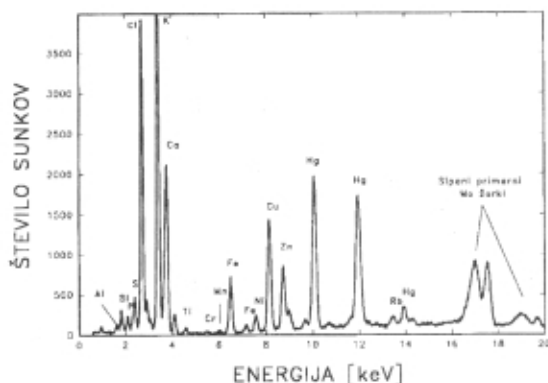
### 4 Meritev in analiza vzorca na reflektorju

Curek rentgenskih žarkov usmerimo na kremenov reflektor pod kotom, manjšim od kritičnega kota za totalni odboj (1,8 mrad), detektor pa približamo reflektorju na manj kot 1 mm razdalje. V primeru, da naneseemo na reflektor majhno količino vzorca (nekaj 100 ng), nam vpadni žarek vzbuja fluorescenco v atomih vzorca, vendar se tudi od vzorca siplje. Dodatno, vendar pod pogojem totalnega odboja izredno šibko (doseg žarkov v reflektorju je le nekaj nm), se siplje tudi od reflektorja, tako da je ozadje v primerjavi s klasično fluorescenco

(veliki vpadni koti) zmanjšano za faktor od nekaj 100 do 1000. To seveda omogoča izredno občutljivost pri analizi elementov. Seveda pa je poglaviti izvir ozadja sama matrika vzorca, ki siplje vpadne rentgenske žarke v detektor. To ozadje zmanjšamo lahko tako, da zmanjšamo količino samega vzorca, vendar pa tudi tako, da se z uporabo raznih kemijskih metod separacije oz. prekoncentracije vzorca znebimo neželene, zlasti lahke (organske) matrike. S kombinacijo primernih fizikalnih pogojev eksperimenta in pa s primerno kemijsko predpripravo vzorca se lahko s to metodo dosežejo občutljivosti pri analizi elementov celo pod 1 pg, na vsak način pa nekje med 1 in nekaj 10 pg. Pri našem sistemu je dosežena občutljivost 50 pg za elemente od Cr do Sr in za elemente, težje od Ta.

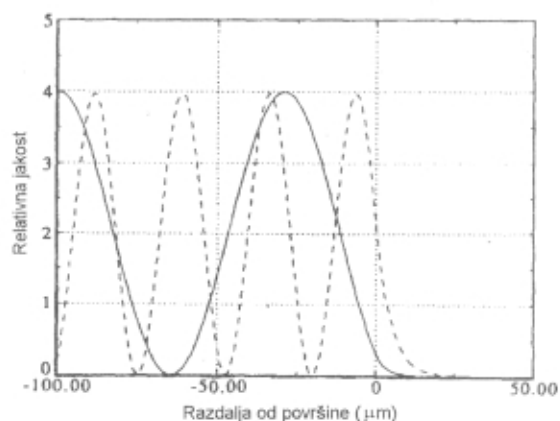
Količina vzorca, ki ga nanesemo na reflektor, je, kot smo to že omenili, izredno majhna (največ nekaj 100 ng). V merjenem fluorescenčnem spektru so zato jakosti karakterističnih žarkov direktno sorazmerne koncentracijam odgovarjajočih elementov v vzorcu. Vzorec je torej tako tanek, da matričnih korekcij ni potrebno upoštevati, kar pri klasični fluorescenci navadno ni tako. Na sliki 2 je prikazan spekter večelementnega standarda, ki ga kot vodno raztopino nanesemo na podlago (1  $\mu$ l) in pustimo, da se posuši. Preostanek vzorca ne vsebuje lahke matrike, zato je ozadje v spektru nizko.

Analiza je torej tu razmeroma enostavna, uporablja pa se navadno metoda internega standarda. Vzorcju dodamo ob pripravi znano količino določenega elementa, ki ga v njem navadno ni (npr. Ga ali Co), nato pa z uporabo ustrezne umeritve, ali pa na osnovi fizikalnih parametrov, ki opisujejo proces vzbujanja in relaksacije pri fluorescenci, izračunamo koncentracije ostalih elementov relativno glede na interni standard. Pri tem pa je potrebno upoštevati, da ob površini reflektorja, torej tudi v samem vzorcju, obstaja stojno valovanje, katerega vozli so pri kremenovem reflektorju oddaljeni pri energiji 17,4 keV okoli 20 nm, pri nižjih energijah pa sorazmerno več (slika 3). Vzbujanje fotoefekta (fluorescence) je v območju vozlov električnega vektorja najmočnejše, če pa je vzorec fizično večjih dimenzij od 20



Slika 2. Totalnorefleksijski rentgenski spekter vzorca sline (1  $\mu$ l) pacienta 3 ure po plombiranju zoba. Koncentracija Hg v slini je dokaj visoka (nekaj 10 ppm), vendar po nekaj dneh pade na nemerljivo vrednost (pod 0,02 ppm). Vidijo se še ostali elementi, prisotni v amalgamu, ki se uporablja pri plombiranju, in pa tisti, ki se nahajajo v slini kot taki.

nm, lahko pride do neenakomernega vzbujanja v plasteh vzorca, ki so različno oddaljene od površine reflektorja. Za natančno analizo je zato izrednega pomena, da je interni standard enakomerno pomešan z vzorcem, ta pa mora biti tudi homogen. Nehomogenost vzorca in primešanega internega standarda lahko torej močno vplivata na natančnost analize. Natančnost analize sledi elementov z našim sistemom smo primerjali z drugimi standardnimi analitskimi metodami. Dosežena natančnost je bila navadno boljša od 10 %.



Slika 3. Izračunana porazdelitev jakosti vpadnih rentgenskih žarkov energije 17,4 keV ( $Mo K_{\alpha}$ ) ob površini silicijeve rezine za vpadni kot 0,5 mrad (polno) in 1,3 mrad (črtkano). Negativne vrednosti razdalje od površine odgovarjajo območju nad površino rezine.

## 5 Meritve in analiza na tankih plasteh in večplastnih strukturah

Kot smo že omenili se metoda uporablja pri analizi nečistoč v polprevodniških materialih, npr. Si, pri čemer dosežemo občutljivosti do  $10^{12}$  atomov/cm<sup>2</sup>. Vzorec je v tem primeru kar reflektor, ki mora biti tudi optično gladek oz. poliran.

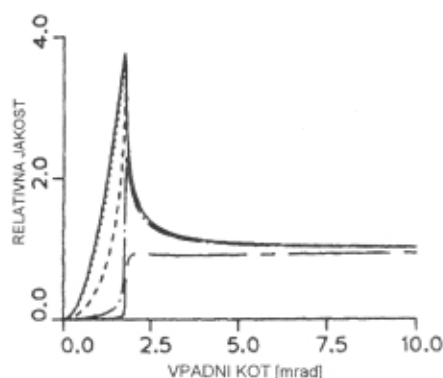
Meritve jakosti fluorescenčnih žarkov v odvisnosti od vpadnega kota v območju okoli kritičnega kota (GIXF) pa omogočajo tudi analizo globinske porazdelitve nečistoč v reflektorju ali pa v tanki plasti oz. v več zaporedno nanesenih plasteh raznih elementov na reflektorju. Kaj je osnova te nedestruktivne analize sledi elementov po globini vzorca? Za to je v glavnem odgovoren pojav interference vpadnih oz. lomljenih rentgenskih žarkov, odbitih na meji med plastjo in reflektorjem ali na mejah med zaporednimi plastmi.

Analiza omenjenih meritev pa ni enostavna in sloni na modelnih izračunih jakosti rentgenskih žarkov z upoštevanjem interference vpadnega in lomljenega ter odbitega elektromagnetnega valovanja, vzbujanja fluorescence atomov s fotoefektom in pa absorpcije fluorescenčnih žarkov pri izhodu iz vzorca na poti k detektorju. Seveda pa morajo sami eksperimentalni pogoji biti taki, da omogočajo merljive razlike različnih parametrov tankih plasti in večplastnih struktur, oziroma drugače rečeno, da meritev skupaj z ustreznim model-

nim izračunom enolično določi vse ali pa vsaj večino parametrov vzorca, kot so npr. debelina plasti, gostota ali površinska gostota plasti, povprečna globina itd.

Jakost fluorescenčnih rentgenskih žarkov nekega elementa "a", ki ga vzbudimo z monokromatsko rentgensko svetlobo valovne dolžine  $\lambda$ , je določena z naslednjo enačbo:

$$I_{aj} \propto C_{aj} \rho_j \int_0^{d_j} dz |E_j(z)|^2 \exp(-\mu_{ja} z / \sin \psi_d) \quad (4)$$



Slika 4. Izračunana jakost karakterističnih žarkov Co v odvisnosti od vpadnega kota žarkov vzbujaanja ( $E = 17.4$  keV) za atome Co, ki so kot nečistoča v Si rezini porazdeljeni v plasti s pravokotnim presekom. Prikazani so izračuni za plasti debeline 0,3 nm (polno), 1 nm (pikčasto), 10 nm (črtkano), 100 nm (pika-črta) in 1  $\mu$ m (kratka-dolga črta).

kjer je  $C_{aj}$  koncentracija elementa "a" v plasti "j",  $\mu_{ja}$  je masni absorpcijski koeficient fluorescenčnih žarkov elementa "a" v plasti "j",  $\psi_d$  pa je kot med detektiranimi fluorescenčnimi žarki in površino vzorca. Jakost električnega polja v vsaki globini "z" je sestavljena iz prispevka vpadnega valovanja skozi zgornjo površino plasti in reflektiranega valovanja na spodnji meji le-te

$$E_j(z) = E_j^t \exp(-ik_{jz} z) + E_j^r \exp(ik_{jz} z)$$

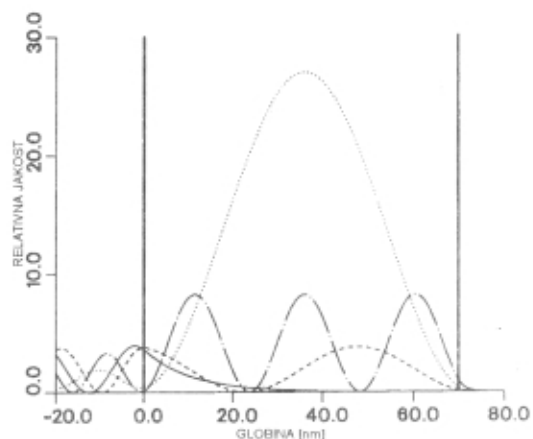
medtem ko je za trše rentgenske žarke ( $\lambda \leq 10$  nm)

$$k_{jz} \approx \frac{2\pi}{\lambda} \sin \psi_j - i \frac{\mu_{ja} \rho_j}{2 \sin \psi_j},$$

kjer je  $\psi_j$  kot med vpadnimi rentgenskimi žarki in površino plasti. V primeru, da so plasti tako tanke, da lahko zanemarimo absorpcijo fluorescenčnih žarkov, se enačba (4) poenostavi v:

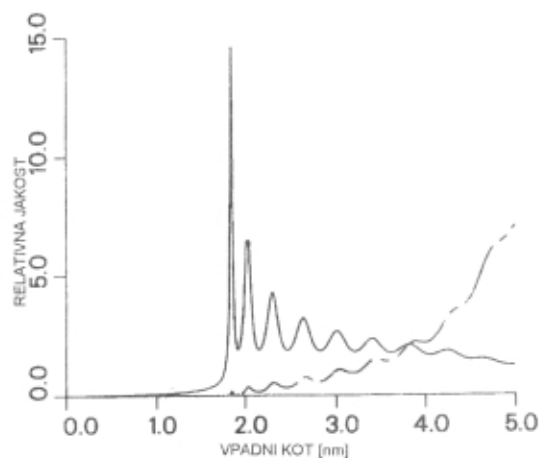
$$I_{aj} \propto C_{aj} \rho_j |E_j^t + E_j^r|_2^2 d_j$$

Jakost električnega polja na mestu vzbujanja v plasteh očitno vsebuje tudi interferenčni člen, t.j.  $2 \operatorname{Re}(E_j^t \cdot E_j^r)$  in zato merjena jakost fluorescenčnih žarkov lahko vsebuje tudi informacijo o debelini in oddaljenosti določene plasti od površine vzorca ali podlage. Na slikah od 3 do 6 sta prikazana dva primera modelnega izračuna električnega polja na površini vzorca, oziroma v samem vzorcu.



Slika 5. Relativna jakost vpadnih rentgenskih žarkov v odvisnosti od globine v plasteh vakuuma/70 nm Si/Au pri vpadnih kotih 1,70 mrad (polno), 1,85 mrad (pikčasto), 1,92 mrad (črtkasto) in 2,3 mrad (črta-pika). Z navpičnimi črtami so nakazane meje plasti.

Prvi primer (sl. 3) prikazuje interferenčno stojno valovanje na površini kremenovega reflektorja in pa seveda izginjajoči del valovanja v površinski plasti samega reflektorja. Pri vrednostih vpadnega kota  $\psi_0 \leq \phi_c$  doseg rentgenskih žarkov v reflektorju močno naraste (faktor 10-100). To seveda omogoča določevanje nečistoč v polprevodniških materialih. Na sliki 4 pa je prikazana jakost fluorescenčnih rentgenskih žarkov Co, ki se nahaja kot nečistoča v tanki plasti



Slika 6. Relativna jakost fluorescenčnih rentgenskih žarkov v odvisnosti od vpadnega kota za 70 nm debelo plast Si na zlatu (Au). Prikazani sta Si  $K_{\alpha}$  (polno) in Au  $L_{\alpha}$  (pika-črta) črti.

znotraj Si (implantirane nečistoče Co v Si), v odvisnosti od debeline implantirane plasti. Pri določanju nečistoč v polprevodniških materialih je globinska ločljivost kar dobra za zgornjih 5 nm plasti (0,1 nm), pri globinah okoli 100 nm pa je precej slabša ter omogoča le oceno širine porazdelitve atomov in pa povprečno globino le-te.

V drugem primeru je prikazan dvoplastni sistem, sestavljen iz 70 nm Si na Au. Jakost električnega polja znotraj plasti Si kaže na močno interferenco med vpadnim in odbitim valovanjem na mejah plasti Si. Tako polje pa vzbuja fluorescenčno žarkovje Si (K-serija) in Au (L-serija) in na slikah 5 in 6 je prikazan modelni izračun jakosti fluorescenčnih žarkov v odvisnosti od vpadnega kota.

## 6 Sklep

Iz povedanega sledi, da je mogoče rentgensko fluorescenco s totalno refleksijo (TXRF) uporabljati za rutinske analize sledi v različnih vzorcih, kjer se tako po občutljivosti kakor tudi po natančnosti lahko kosa z drugimi že uveljavljenimi analitskimi metodami. Kotno odvisno rentgensko fluorescenco v območju totalnega odboja (GIXF) pa je možno uporabljati pri analizah površin, tankih plasti in večplastnih struktur.

V našem laboratoriju želimo tudi izpopolniti sedanji TXRF-sistem in povečati občutljivost vsaj za red veli-

kosti. Poskusili bomo tudi z monokromatizacijo rentgenskega curka pri vzbujanju pa tudi s povečanjem same intenzitete vzbujanja, in sicer z izdelavo novega modula s krajšo razdaljo med izvirom in vzorcem. Poleg tega pa se bomo lotili tudi novega področja analize, namreč GIXS, t.j. analiz površinskih plasti in večplastnih sistemov. Take meritve pa so lahko uspešne le z monokromatskim vpadnim snopom. Uporabnost teh analiz je pomembna tako v elektronski industriji kakor tudi pri razvoju in študiju raznih antikorozijskih površinskih plasti.

## 7 Literatura

- /1/ W. Berneike: Basic Features of Total-Reflection X-ray Fluorescence Analysis on Silicon Wafers, *Spectrochimica Acta* **48B**, No. 2, 269-275 (1993)
- /2/ W. W. Van den Hoogenhof and D.K.G. de Boer: Glancing-Incidence X-ray Analysis, *Spectrochimica Acta* **48B**, No. 2, 277-284 (1993)
- /3/ D. K. G. de Boer and W.W. Van den Hoogenhof: Total Reflection X-ray Fluorescence of Single and Multiple Thin-Layer Samples, *Spectrochimica Acta* **46B**, No. 10, 1323-1331 (1991)
- /4/ D. K. G. de Boer: Glancing-Incidence X-ray Fluorescence of Layered Materials, *Phys. Rev.B* **44**, No. 2, 498-511 (1991)
- /5/ P. Kregsamer: Fundamentals of Total Reflection X-ray Fluorescence, *Spectrochimica Acta* **46B**, No. 10, 1333-1340 (1991)

# IZOBRAŽEVALNI TEČAJI V LETU 1995

Vse uporabnike vakuumske tehnike obveščamo, da so letu 1995 predvideni naslednji strokovno izobraževalni tečaji:

## VZDRŽEVANJE VAKUUMSKIH NAPRAV

12. in 13. april ter 28. in 29. november 1995

Obravnavana bo predvsem tematika; ki jo srečujemo v tehniki grobega vakuuma. To je: delovanje, vzdrževanje in popravila rotacijskih črpalk, pregled in uporaba različnih črpalk, ventilov in drugih elementov, meritve vakuuma, hermetičnost in odkrivanje netesnosti v vakuumskih sistemih materialih za popravila, tehnike čiščenja in spajanja, skupno 16 ur, od tega tretjina praktičnih prikazov in vaj.

Cena tečaja je 28.000 SIT. Vsak tečajnik bo prejel tudi brošuro "Vzdrževanje vakuumskih naprav" in potrdilo o opravljenem tečaju.

## OSNOVE VAKUUMSKE TEHNIKE

13., 14. in 15. junij ter 9., 10. in 12. oktober 1995

Ta tečaj je popolnejši od prvega, obravnava podrobneje vsa prej omenjena področja in poleg tega še: pomen in razvoj vakuumske tehnike, fizikalne osnove, črpalke za visoki vakuum, tankoplastne in druge vakuumske

tehnologije, čiste postopke, analize površin ter doziranje, čiščenje in preiskave plinov - skupno 20 ur z vajami in ogledom Inštituta.

Cena tečaja je 24.000 SIT. Udeleženci prejmejo zbornik predavanj "Osnove vakuumske tehnike" in potrdilo o opravljenem tečaju.

Vsi tečaji se prično ob 8.00 uri v knjižnici Inštituta za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, Ljubljana.

Prosimo interesente, da se informativno javijo čimprej, za dokončno potrdilo 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. 061 263-461).

Tečaji **Osnove vakuumske tehnike za srednješolske predavatelje** bodo:

2.-4. marca, 11.-13. junija, 21.-23. septembra in 9.-11. novembra in so posebej razpisani v informativnih glasilih za šolstvo.