

ODENSE UNIVERSITET
Fysisk Institut
ODENSE UNIVERSITY



AUGER-ELEKTRONSPEKTROKOPI

Jens Onsgaard

Fysisk Institut, Odense Universitet

Materialers overfladeegenskaber kan nu analyseres på det mikroskopiske og atomare niveau. En række metoder til udforskning og analyse af faste stoffers overflader står til rådighed. Overfladeanalyser anvendes nu inden for forskellige metallurgiske områder og i det hele taget generelt inden for feltet "Materials Science".

Mange materialeegenskaber kontrolleres via deres overfladers og indre grænsefladers sammensætning. Som eksempler på områder hvor overfladeprocesser har afgørende betydning kan nævnes korrosion, materialers slidstyrke, katalysatorers effektivitet, lodning, vedhæftning etc..

I det følgende gives en kortfattet gennemgang af principperne i den måske mest udbredte overflade-elektron-spektroskopi, nemlig Auger-elektron-spektroskopi (AES). En række karakteristika ved AES, der har betinget dens store anvendelighed som overfladeanalytisk værktøj, fremhæves.

PRINCIPPER I AES.

Princippet i AES er vist i fig. 1. Til venstre ses hvorledes overfladen bombarderes med elektroner, medens energien af de fra overfladen udsendte elektroner analyseres i elektronenergianalysatoren

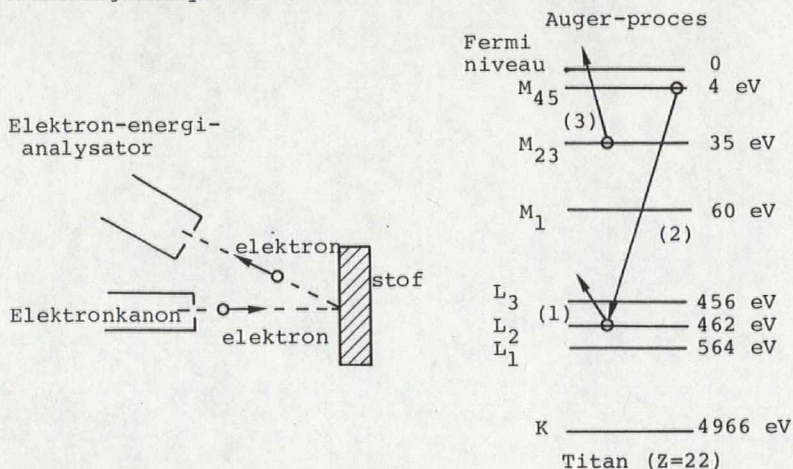


Fig. 1

Til højre i fig. 1 vises energiniveauerne for et enkelt titanatom. Den indkommende elektron, typisk med en energi i området 2-5 keV, løsriver en elektron (1) i L_2 -skallen. Hullet i L_2 -skallen udfyldes af en elektron (2) i en ydre skal, M_{45} -skallen. Den derved vundne energi repræsenterer bindingsenergiforskellen, $E_{L_2} - E_{M_4}$, mellem de to elektroner. Atomet kan nu relaxere ved udsendelse af en elektron (3) i en ydre skal, $M_{2,3}$ -skallen. Denne elektron, Augerelektronen, udsendes med en energi, der er bestemt ved

$$E_{\text{Auger}}(Z) = E_{L_2}(Z) - E_{M_4}(Z) - E_{M_3}(Z+1) - \phi = 420 \text{ eV}$$

$E_{M_3}(Z+1)$ repræsenterer bindingsenergien i M_3 -skallen for et atom, der har en ekstra positiv ladning. På grund af denne positive ladning er E_{M_3} med god tilnærmelse lig med bindingsenergien i den pågældende skal for det efterfølgende grundstof, altså $E_{M_3} = E_{M_3}(Z+1)$. Arbejdspotentiallet (work function) er i energiformlen repræsenteret ved ϕ .

Det ses, at en energianalyse af den udsendte elektron medfører en fastlæggelse af hvilket grundstof Augerelektronen stammer fra, siden dens energi er bestemt af atomets elektronenerginiveauer. De udsendte elektroner i AES har altså energier, der er specifikke for de pågældende atomer i overfladen. Følgelig vil måling af elektronenergiene fastlægge stofsammensætningen i overfladeområdet.

Elektronens middelfri vejlængde bestemmer den dybde i stoffet, hvorfra elektronen kan undslippe stoffets overflade og detekteres. På grund af velselvirkninger med andre elektroner og atomer vil elektronen påføres energitab. Dybden som de detekterede elektroner kommer fra er typisk 5-30 Ångstrøm. AES har således en stor overfladefølsomhed, idet man kan detektere stofsammensætningen i de yderste 2-4 atomare lag.

KARAKTERISTIKA VED AES.

Den store anvendelighed af AES illustreres ved følgende punkter:

- * Auger-elektronspektroskopi er en følsom overfladeanalytisk teknik, der kan detektere alle grundstoffer med undtagelse af brint og helium.
- * Augerspektre er lette at identificere med henblik på fastlæggelse af hvilke grundstoffer, der forefindes på overfladen. Spektrene er relative fri for overlejringer af flere toppe.
- * Der forefindes standardspektre , der forenkler den kvalitative og i nogen grad den kvantitative analyse.
- * Følsomhederne for de forskellige grundstoffer varierer kun i begrænset omfang. Finstrukturanalyser kan afspejle ændringer i atomets kemiske tilstand og atomets omgivende matrix.
- * AES udviser høj følsomhed for de lette grundstoffer, der er vanskeligt detekterbare med andre teknikker.

Yderligere to væsentlige punkter anføres og uddybes i det efterfølgende

- * Ætning af overfladen ved ionsputtering bevirker at tredimensional kemisk information kan opnås.
- * Ved at scanne elektronstrålen kan den laterale grundstoffordeling på overfladen opnås.

DYBDEINFORMATION.

Viden om fordelingen af grundstoffer i større dybder end i de yderste atomare lag kan opnås ved at kombinere AES med ionætsning. Ved ionætsning (sputtering) skrælles atomerne af overfladen lag for lag og derved afdækkes dybereliggende lag. Princippet er illustreret i fig. 2, til venstre. Ved beskydning af overfladen med en stråle af ioner med en energi på typisk 2 keV fjernes lagene. Sædvanligvis anvendes ædelgasser, hvorved kemiske reaktioner mellem de bombarderende partikler og overfladens atomer undgås. Den kemiske

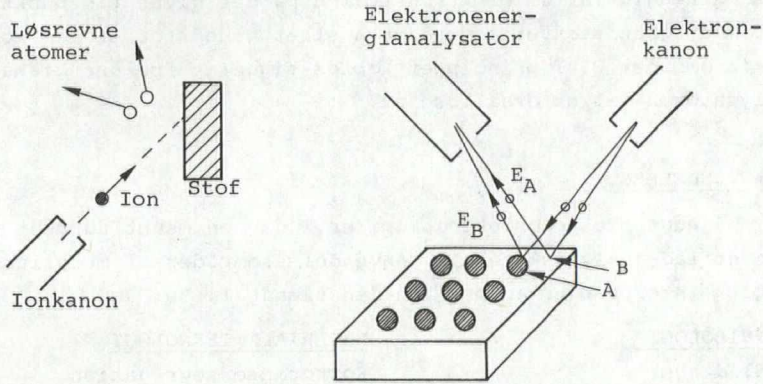


Fig. 2

sammensætning undersøges løbende med AES og man opnår en dybdeprofilkoncentration af de enkelte grundstoffer. Hastigheden hvormed overfladelagene fjernes er typisk af størrelsesordenen få atomare lag pr. minut.

LATERAL INFORMATION.

Metoden rummer også mulighed for at opnå lateral information på overfladen. Medens en fokuseret elektronstråle scanner hen over overfladen kan de udsendte sekundærelektroner måles. Herved fås et forstørret billede som minder om traditionel scannende elektronmikroskopi.

Det er i denne forbindelse imidlertid mere interessant at måle intensiteten af de udsendte elektroner ved en bestemt energi og således kombinere AES med den scannende elektronstråle. Herved fås et billede af den laterale fordeling af grundstoffer på overfladen med en opløsningsevne på ned til 1000 Ångstrøm. Princippet i "Scannende Augermikroskopi" er vist i højre side af fig. 2. De forskellige områder på overfladen, A og B, udsender Augerelektroner med energier, der

er karakteristiske for de pågældende grundstoffer. Til et givet tidspunkt udsendes elektroner med energien E_A eller E_B afhængigt af om elektronstrålen på det givne tidspunkt rammer grundstoffet i området A eller grundstoffet der hører til området B. I princippet kobles signalet fra energianalysatoren til et oscilloscop.

ANVENDELSER.

Augerelektronspektroskopi er i dag en meget udbredt overfladeanalytisk teknik. Anvendelsesområder af metallurgisk interesse er anført i nedenstående liste:

TRIBOLOGI.

Slidtage
Smøring
Overførsel af materiale ved fysisk kontakt
Analyse af leje-problemer
Friktion i lejer

MATERIALE TEKNOLOGI

Korngrænse segregation
Diffusion
Frakturering
Korrosion
Bratkølningshårdning
Udglødning
Lodning
Svejsning

OVERFLADE COATINGS.

Galvanisering
Sprøjtebehandlede overflader
Malede overflader
Adhæsion
Oxidation
Cementering

KEMI

Elektrokemi
Diffusion
Partikelanalyse

KONKLUSION.

Augerelektronspektroskopi er et meget effektivt værktøj til at indhente information om materialers overflader. Identifikation af grundstoffer og viden om deres kemiske bindings-tilstand i de allerøverste atomare lag kan opnås. Ved scan-

nende Augermikroskopi kan fordelingen af grundstoffer på materialets overflade fastlægges med en opløsningsevne på 0.1 μm . Kombineres AES med en profileringssteknik kan grundstoffordelingen i dybden bestemmes.

På grund af de oplagte analysemuligheder er AES måske den mest udbredte elektronspektroskopi. Forståelsen af de basale fysiske og kemiske processer i AES er langt fremme. Udviklingen inden for anvendt overfladefysik og overfladekemi er i fuld gang. I firserne vil vi opleve at AES i forstærket grad vil blive benyttet til karakterisering og analyse inden for de anvendte videnskaber.

Referencer.

1. Chang, Chuan C., "Auger Electron Spectroscopy", Surface Science 25 (1971) 53-79.
2. Czanderna, A.W., "Methods of Surface Analysis", Ch. 5, 159-222, Vol. 1 of Methods and Phenomena. Their Applications in Science and Technology, Elsevier, Amsterdam, 1975.
3. Grant, J.T., "Surface Analysis with Auger Electron Spectroscopy", Applications of Surface Science 13(1982) 35-63.

