

VYUŽITIE AUGEROVEJ ELEKTRÓNOVEJ SPPEKTROMETRIE PRE ANALÝZY POVRCHOVÝCH VRSTIEV

Slyško P.¹, Ferencey V.², Gregor M.³

¹ *Slovenská chemická spoločnosť, Radlinského 9, Bratislava, Slovensko*

² *Katedra automobilov, lodí a spaľovacích motorov, Strojnícka fakulta STU, Bratislava, Slovensko*

³ *ÚNMS SR, CC SR, Karloveská 63, Bratislava, Slovensko*

UTILIZATION OF AUGER ELECTRON SPECTROMETRY FOR SURFACE LAYERS ANALYSIS

¹ *Slovak Chemical Society, Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Slovakia*

² *Departement of Automobile, Ships and Combustion Engines, Faculty of Mechanical Engineering, Slovak University of Technology, Bratislava, Slovakia*

³ *UNMS, Slovak Cyclotron Centre, Karloveská 63, Bratislava, Slovakia*

Abstract

We have measured the chemical composition of thin silicon and titanium boride layer by use of Auger electron microscopy method. The electron beam had the power of 3 keV and was focused to the diameter smaller than about 20 μm. The spectrum of studied thin silicon layer contains the elements as Si (78 a 91 eV), O (495 eV), Si (1588 eV) and thin TiB layer contains the elements as B (197 eV), C (272 eV), Ti (418 eV), O (511 eV) and Fe (703 eV). The slight energy deviations in spectra of only several eV were caused by the chemical bond or by contamination due to oxidation. By the ion argon sputtering we performed also measurement of depth profile in distribution of elements by what we determined the time increase in the content of carbon and iron at lowered boron and titanium content. By the electron scanning microscopy we observed the complex cubic carbon borides of titanium on the sputtered spots. After 45 minutes sputtering the thin TiB layer was probably fully sputtered from an austenitic substrate, since in the sputtered spot, the cubic constituents of titanium boride were no more observed.

Key words: auger electron microscopy, chemical composition, distribution of elements, electron scanning microscopy, sputtering, substrate

Abstrakt

Bolo zisťované chemické zloženie tenkých vrstiev kremíka a titanu boridu metódou Augerovej elektrónovej spektrometrie. Elektrónový lúč mal hodnotu energie 3 keV a bol sfokusovaný na menší priemer než 20 μm. Zisťované spektrum tenkej vrstvy kremíka obsahovalo prvky Si (71 a 91 eV), O (495 eV), Si (1588 eV) a tenká vrstvička TiB, ktorá obsahuje prvky ako sú B (197 eV), C(272eV), Ti (418 eV), O (511 eV) a Fe (703 eV). Relatívne malé odchylky energií vrcholov môžu byť spôsobené pravdepodobne chemickou väzbou prípadne znečistením oxidáciou a dosahujú iba niekoľko eV. S použitím argónového iónového odprašovania bolo vykonané tiež meranie hĺbkového profilu rozloženia jednotlivých registrovaných prvkov, pričom sme určili časové zvýšenie obsahu uhlíka a železa a zmenšenie obsahu bóru a titanu. Pomocou rastrovacej elektrónovej mikroskopie sme pozorovali v miestach

odprašenia komplexné kubické karbón-boridy titanu. Po 45 minútovom odprašovaní sa už pravdepodobne tenká vrstvička TiB úplne odprašila z austenitickej podložky a tak v mieste odprašenia sa už nepozorovali ani kubické útvary TiB.

1. Úvod

V posledných rokoch sa kladie veľký dôraz na zlepšenie vlastností materiálov z rôznych hľadísk, ako sú napr.: pevnostné, tribologické, korózne, zlepšenie elektrickej vodivosti, oteruvzdornosti a podobne. Preto sa dnes používajú rôzne techniky, hlavne na dosiahnutie lepších vlastností materiálov na ich povrchoch, vyhotovením ochranných vrstiev. Z hľadiska dobrej reprodukovateľnosti výsledkov sa kladie veľký dôraz na vysokú technologickú náročnosť, ale i na vhodnú flexibilitu pre ich viacúčelové využitie. Používajú sa najmä technológie iónovej implantácie povrchových vrstiev, čím sa získa nová povrchová modifikácia materiálu.

Implantované materiály je potrebné charakterizovať a analyzovať. K tomuto účelu sa používa niekoľko techník, medzi ktoré sa na popredné miesto radí Augerova elektrónová spektrometria (AES). Augerova elektrónová spektrometria je zvlášť vhodná jednak pre kvalitatívnu alebo i kvantitatívnu analýzu chemického zloženia prvkov na povrchoch tuhých materiálov, ale aj pre vrstvovú analýzu rozloženia prvkov do hĺbky metódou iónového odprašenia.

Princípom AES je meranie energií a intenzít Augerových elektrónov a následná analýza tvaru spektier Augerových elektrónov, emitovaných atómami, resp. molekulami tuhej látky v dôsledku Augerovho efektu. Poloha vrcholu (píku) v energetickom spektre Augerových elektrónov obsahuje informácie o chemických vlastnostiach atómov prímiesí. Amplitúda vrcholu vypovedá o koncentrácii atómov, teda o množstve prímiesí. Tvar vrcholov a ich posuny na energetickej škále zodpovedajú interakciám atómov prímiesí s okolitými atómami.

V našom príspevku chceme v krátkom podaní oboznámiť širokú technickú verejnosť o praktickom využití AES pre kvalitatívne vylepšenie materiálov, zvlášť modifikovaním tenkých vrstiev na ich povrchu.

2. Teoretický prehľad

V princípe AES pozostáva z merania intenzít a energií Augerových elektrónov pri bombardovaní povrchov tuhých látok elektrónovým lúčom. Emisia Augerových elektrónov do priestoru sa deje v dôsledku ionizácie vnútorných atómových sfér, pričom priamo povediac dochádza k vyrážaniu elektrónov z týchto sfér. Pri bombardovaní povrchu materiálov s energiou postačujúcou pre ionizáciu jednej z vnútorných sfér atómu vytvára sa prvotná vakancia, ktorá sa okamžite (za 10^{-14} až 10^{-16} s) zaplní elektrónom, prešlým z vonkajšej sféry atómu. V dôsledku toho sa vytvorí druhotná vakancia. Vzniknutá nadbytočná energia sa buď vydá ako kvantum rtg. žiarenia (radiačný prechod), alebo sa odovzdá elektrónu na vonkajšej sfére atómu, tzv. Augerov prechod. Tento elektrón je emitovaný do priestoru a registruje sa v analyzátoch ako Augerov elektrón. Pravdepodobnosť jeho emisie závisí od protónového čísla atómu „Z“ skúmaného materiálu. Pretože pravdepodobnosť radiačného prechodu sa so zvýšením atomového čísla Z priamo úmerne Z^4 zväčšuje, pravdepodobnosť prejavu Augerovho prechodu sa zasa znižuje. Tak pre ľahké prvky dosahuje približne 95% a pre prvky $Z < 70$ neprevyšuje 10%.

Augerove prechody v súlade s polohou prvotných i sekundárnych vakancií sa označujú nasledujúcim spôsobom. Prvá sa označuje prvotne ionizovaná sféra, potom sféra, z ktorej vznikol prechod elektrónu pre zaplnenie vakancie a ďalej sféra, z ktorej emituje elektrón do priestoru. Napríklad prechod elektrónu na vakanciu K sféry z L_I sféry a nasledujúca emisia elektrónu z L_{III} sféry sa označuje $KL_I L_{III}$. Takýto prechod je vidieť na obr. 1. Energia Augerovho elektrónu E_a sa približne určuje zo vzťahu:

$$E_a = e_K - e_{L_I} - e_{L_{III}} \quad (1)$$

kde:

$e_K - e_{L_{III}}$ - je energia uvoľňujúca sa pri zaplnení vakancie na K sfére elektrónom L_I sféry,

e_{L_I} - je väzobná energia na L_I elektrónovej vrstve atómu [1,2].

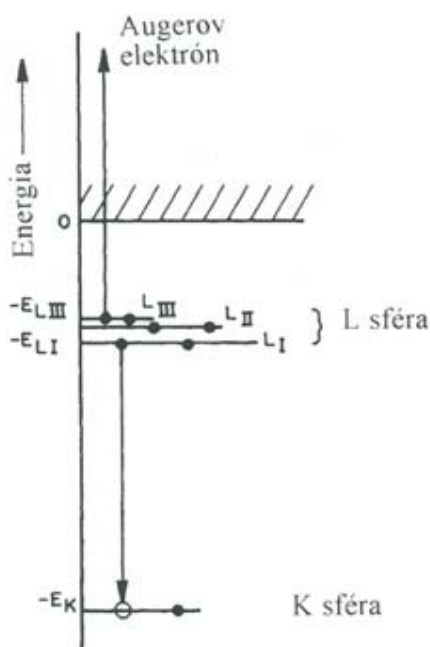


Fig.1 Figure of energetical levels and transition of Auger electron $KL_I L_{III}$ [1]

Prechody, ktorých sa zúčastňujú elektróny valenčnej sféry sa označujú písmenom „V“. Osobitný prípad nastáva vtedy, ak sa vakancia zaplní elektrónom z tej istej sféry (t.j. elektrónom s tým istým kvantovým číslom), no majúci rôznu kvázi diskrétnu významnú energiu. Takéto prechody sú známe ako Kosterove – Krönigove prechody. Pre prvky s $3 \leq Z \leq 14$ sú najviac charakteristické prechody KLL a pre prvky s $14 \leq Z \leq 40$ sú to prechody LMM a pre prvky s $40 \leq Z \leq 79$ sú to prechody MNN (obr. 2). Najťažšie prvky emitujú taktiež Augerove elektróny zhodné s prechodom NOO.

Energia Augerových elektrónov E_a sa všeobecne vypočíta podľa rovnice (1) avšak pre presnejšie určenie sa zavádzajú úpravy registrovaných zmien energie elektrónov na jednotlivých sférach, pri vyrazení jedného elektrónu z vnútornej sféry atómu.

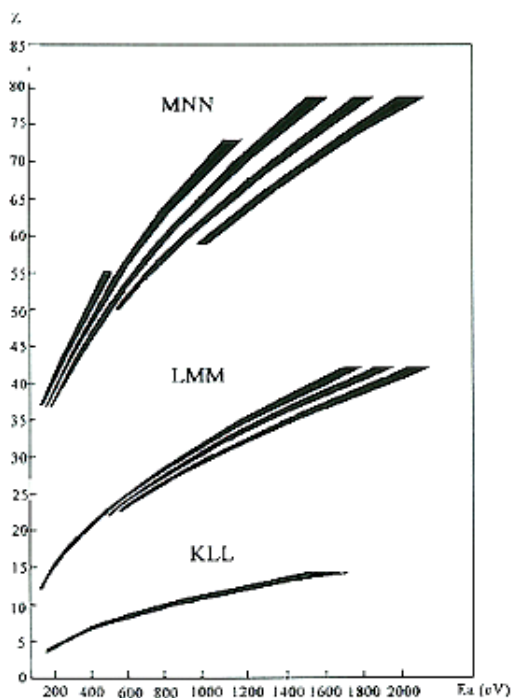


Fig.2 Dependence of energie Auger electrons from atom numbers [1,2]

Augerove elektróny sa registrujú nie pri všetkých vypočítaných energiách tak, ako sa vyskytujú, ale podľa pravidla výberu. Mimo toho vypočítaný a experimentálny záznam E_a sa líšia medzi sebou o 5-10 eV. Jednako experimentálne dosiahnutá presnosť merania ich energií je plne postačujúca pre určenie chemického zloženia prvkov.

Vysoká citlivosť AES pre zloženia povrchov je podmienená malou strednou dĺžkou voľného preletu Augerových elektrónov s nízkou energiou. Hĺbka ich výstupu λ_a sa určuje stratami energie elektrónov hlavne pri elektrón-elektrónových interakciách, pretože straty energie pri interakcii elektrónov s fotónmi sú malé (čím sa vysvetľuje nezávislosť emisie Augerových elektrónov od teploty). Doteraz nie je známa presná teória umožňujúca vypočítať λ_a , E_a [1 - 6].

To je spojené s ťažkosťami súčasného záznamu strát energie elektrónmi pri jednočasticových vzájomných interakciách Augerových elektrónov s elektrónmi valenčnej sféry i pri vyvolaní plazmových kmitov a taktiež s tým, že λ_a závisí od štruktúry valenčnej sféry skúmaného materiálu, v ktorom sa určuje množstvo tej ktorej prímеси.

Hĺbka výstupu sa obvykle určuje experimentálne. Preto sa na kovovú podložku naniesie kontrolná vrstva druhej čistej látky a zaznamená sa zoslabenie emisie Augerových elektrónov od podložky. Takým spôsobom napríklad možno určiť závislosť λ_a od E_a , obr.3, [1,2].

Absolútna citlivosť metódy predstavuje približne 10^{-14} g, relatívna citlivosť v objeme 10^{-3} %. Augerove elektróny na grafe početnosti v závislosti od energie druhotných elektrónov sa prejavajú v tvare nevelkých Augerových vrcholov pri ustálených fixovaných energiách. Vo veľmi zriedkavých prípadoch však amplitúdy týchto vrcholov môžu byť i dostatočne veľké pri ich spoľahlivom zmeraní. Preto sa obvykle vo všetkých Augerových spektrometroch Augerove vrcholy nezaznamenávajú ako závislosť početnosti od energie obr. 4, [1].

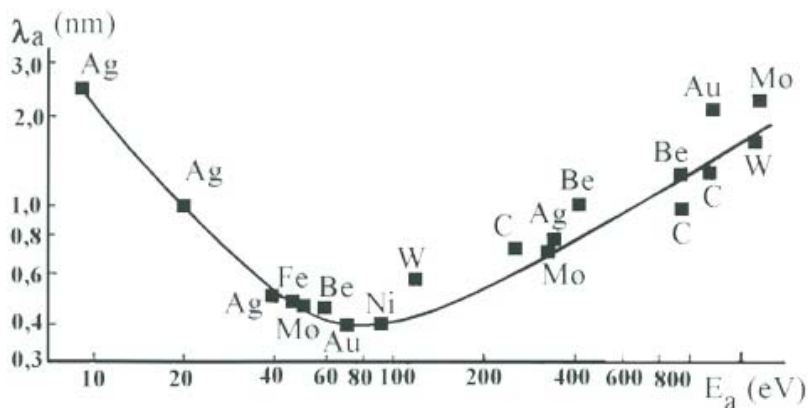


Fig.3 Dependence of deep emission Auger electrons from their energie [1]

Energetická poloha vrcholu sa určuje podľa polohy jeho minima na grafe závislosti dN/dE od ich energie.

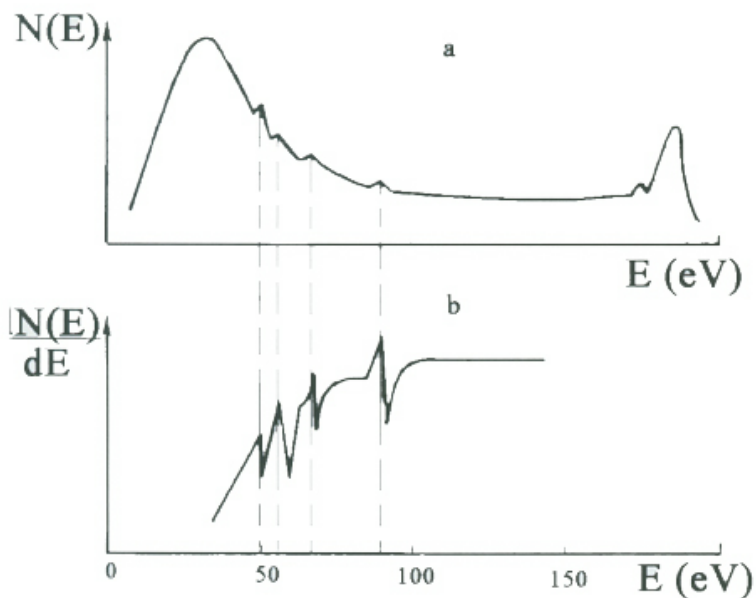


Fig.4 Graph of dependence frequency Auger electrons
a) from their energie; b) from differential relation energie of secondary electrons

Augerove spektrá sa zaznamenávajú pre všetky prvky periodickej sústavy prvkov s výnimkou dvoch –vodíka a hélia, ktoré netvorí Augerove elektróny. Záznamy energií Augerových elektrónov pre rôzne prvky ležia v širokom intervale (od niekoľkých do stoviek eV). Pre ľahké prvky spektrá Augerových elektrónov sú jednoduché, dobre sa odlišujú jeden od druhého, ležia v nízkoenergetickej oblasti a ľahko sa dajú dešifrovať. Pri registrovaní Augerových elektrónov vhodných energií, ale rôznych prechodov môže dôjsť ku komplikáciám pri ich rozpoznávaní.

Aby sa odlišili Augerove vrcholy od vrcholov vhodných s charakteristickými stratami energie, nutne sa musí zmeniť energia prvotných elektrónov. Prítom energetická poloha Augerových vrcholov sa nezmení a druhé vrcholy sa premiešajú po energetickej stupnici spolu s vrcholom, ktorý sa zhoduje s pružne rozptýlenými elektrónmi.

Pri dešifrovaní spektier Augerových elektrónov, získaných pre rôzne prvky vo vnútri jednej periódy, treba počítať s tým, že spektrá takých prvkov sú podobné, jednako však so vzrastom Z intenzita Augerových elektrónov sa znižuje. Výstup Augerových elektrónov určených stanovenou energiou prvotných elektrónov závisí od pravdepodobnosti ionizácie danej sféry, hustoty jej obsadenia elektrónmi i od pravdepodobnosti elektrónových prechodov medzi sférami a tiež od druhých najmä fyzikálnych a prístrojových faktorov.

Existuje niekoľko spôsobov záznamu amplitúdy Augerového vrcholu skúmaného materiálu. Amplitúdy dobre vyznačených Augerových vrcholov sa určujú ako vertikálna vzdialenosť medzi minimom a maximom Augerového vrcholu na grafe dN/dE v závislosti od E (pík-pík). Ak nízkoenergetická časť Augerového vrcholu zaniká a na grafe závislosti dN/dE od E sa bude objavovať iba ako minimum, alebo „schodík“, tak amplitúda Augerového vrcholu zmeria iba minimum po odklonení tohto schodíka. Pri odčítaní Augerového vrcholu popísaným spôsobom vzniká istá neurčitosť, spojená s voľným výberom počiatku odpočítania a preto oveľa presnejšie výsledky sa dosiahnu pri sčítaní plochy pod Augerovým vrcholom na závislosti početnosti od E , ak je táto plocha úmerná množstvu prítomného prvku. Spôsob zmerania je však predsa spoza malej amplitúdy takých Augerových vrcholov spojený s technickými ťažkosťami.

Hĺbková analýza v hrubších vrstvách (2-200 nm) dáva lepšiu predstavu o obsahu prvkov nielen na samotnom povrchu, ale i pod povrchom vo vnútri skúmaného materiálu. Používa sa k tomu metóda odprašovania povrchu materiálu vzorky pri súčasnom registrovaní Augerových vrcholov. Dôležitou podmienkou pri meraní hĺbkových profilov je dodržanie konštantnej rýchlosti odprašenia v oblasti merania. Preto priemer iónového zväzku musí byť niekoľkokrát väčší ako priemer elektrónového lúča. Na tento účel sa používajú iónové delá inertných plynov, ktorých priemer iónového zväzku je obvykle 10^{-3} m, čo je 10 až 100 krát viac ako priemer elektrónového zväzku (najčastejšie sú používané argón a xenón) [1].

Vplyvom elektrónového lúča sa môžu na povrchu vzorky objaviť rozličné elektrónovo-stimulačné procesy. Pri prúdovej hustote iónového zväzku $j_p=1-10 \text{ Acm}^{-2}$ a $E_p < 5 \text{ keV}$ prevládajú procesy adsorpcie, desorpcie a tiež vytváranie povrchových zoskupení. Pri $j_p=1-10 \text{ Acm}^{-2}$ a $E_p < 5 \text{ keV}$ sa objavuje teplotný ohrev povrchu materiálu v mieste dopadu elektrónového lúča. Elektrónový lúč je sfokusovaný do priemeru cca $3 \mu\text{m}$, má $j_p=100 \text{ Acm}^{-2}$ a špecifický výkon odpovedá zhruba 500 kWcm^{-2} . To môže spôsobiť lokálny ohrev povrchu vzorky až na niekoľko sto stupňov, čo môže mať za následok migráciu atómov, resp. pri nízkom vákuu prípadne oxidáciu povrchu vzorky [2].

3. Materiál, použité experimentálne metodiky a analýzy výsledkov

V zmysle vyššie popísanej metodiky AES sme realizovali merania chemických analýz na vzorkách rôznych materiálov [6]. Vybrali sme niektoré príklady praktickej aplikácie analýz AES ako sú napr. povrchová analýza na štandarde kremíka a tiež analýzy rôznych modifikácií povrchov materiálov iónovým implantovaním vzoriek napr. na austenitickej podložke bola pripravená vrstva titanu boridu. Ďalším praktickým príkladom je vyhotovenie vrstvy MgB_2 na kremíkovej podložke. Mimo povrchových analýz skúmaných vzoriek sme realizovali i hĺbkové (vrstvomé) analýzy odprašovaním od niekoľkých minút až po viac ako 1 hodinu. Na povrchoch vzoriek sa vyskytovali i rôzne nežiadúce nečistoty. Preto bolo potrebné vykonať dostatočné odprašenie povrchových nečistôt argónovým zväzkom, aby sme neregistrovali iba povrchové prvky. Vzorky sme analyzovali vo vákuu pri tlaku v komore 10^{-7} Pa. Elektrónový zväzok mal energiu 3 keV a bol sfokusaný na priemer cca $20\mu m$.

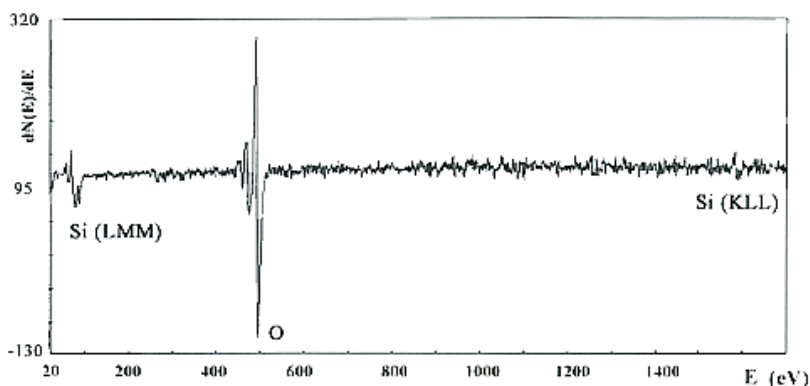
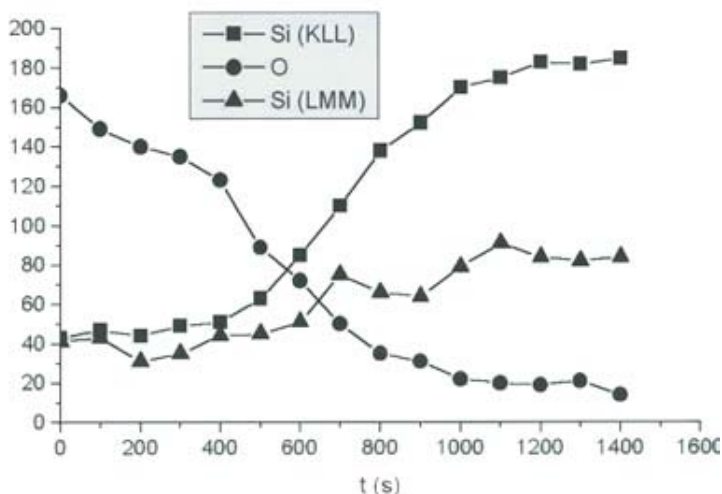
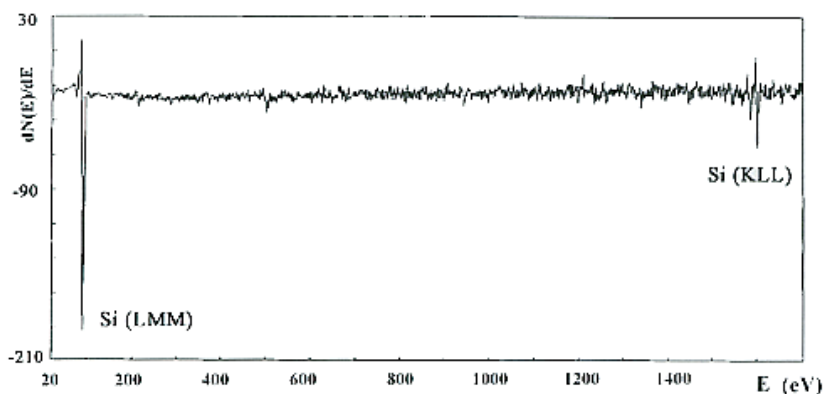


Fig.5 Surface analysis SiO_2 on the substratumbase

Na obr. 5 je namerané spektrum na povrchu SiO_2 pri energii prvotného elektrónového zväzku $E_p = 3$ keV. Namerané spektrum obsahuje prvky Si (78 a 91 eV) – LMM prechod, O (495 eV), Si (1588 eV) – KLL prechod. Namerané hodnoty spektier prvkov pre Si, ako aj O vykazujú iba malé odchýlky energií oproti hodnotám spektier uvedených v [8], kde sú uvedené hodnoty vrcholov nasledovne: Si (76 eV), O (503 eV), Si (1600 eV).

Fig.6 Depth profile of distribution separate elements SiO₂ on Si

Relatívne malé odchýlky energií vrcholov môžu byť spôsobené pravdepodobne chemickou väzbou, prípadne znečistením oxidáciou a dosahujú iba niekoľko eV. Vykonali sme iónové odprašenie so sústavným meraním hĺbkového profilu rozloženia jednotlivých prvkov od doby odprašovania s použitím argónového dela, čo dokumentuje obr. 6. Je možné skonštatovať, že po 9 minútach sa 6,4 μm vrstva SiO₂ celkom odprašila a ostal len čistý kremík. Po 20 minútovom iónovom odprašení argónom na nameranom spektre AES vystúpili iba vrcholy pre čistý Si, čo dokumentuje obr. 7, kde sa vytratil vrchol pre Si (LMM) prechod s energiou 78 eV a zostal iba vrchol Si s energiou 91 eV. Úplne sa však vytratil vrchol pre kyslík a zachoval sa pík pre Si (KLL) prechod s energiou 1597 eV.

Fig.7 Surface of analysis SiO₂ on Si after 20 minutes sputtering

Si sa používa ako dezoxidačný prísadový prvok do rôznych materiálov. U ocelí prísada kremíka znižuje teplotu premeny A₄ a zvyšuje teplotu A₃, takže už pri obsahu 1,8 % a 2,0 % Si sa v systéme Fe-C oblasť γ_{Fe} uzatvára. Kremík zhoršuje najmä pri vyššom obsahu (nad

1 % hmotnosti) tvárniteľnosť ocelí, podporuje rast zrna pri vyšších teplotách a znižuje kritickú rýchlosť ochladzovania. Kremík sa rozpúšťa vo ferite a zväčšuje pevnosť v ťahu, tvrdosť a pri obsahu nad 1 % zhoršuje húževnosť. Zväčšuje permeabilitu, hysterézne straty a sklon k magnetickému starnutiu a znižuje elektrickú i tepelnú vodivosť a znižuje i rýchlosť difúzie uhlíka v železe. Si ale zlepšuje odolnosť voči oxidácii za zvýšených teplôt. Pri obsahu nad 12 % výrazne zlepšuje odolnosť proti korózii v kyselinách. V konštrukčných oceliach býva až 1,5 % Si, v oceliach pre elektrotechniku pre zlepšenie fyzikálnych vlastností najmä elektrických a magnetických (transformátory a dynamá) 2,5 % až 4,6 % a v oceliach kyselinovzdorných pre chemický priemysel býva 15 % až 18 % . Dnes sa čistý kremík ako materiál používa práve z hľadiska vynikajúcej elektrickej vodivosti [7].

Ako ďalší príklad uvádzame využitie AES pre určenie chemického zloženia povrchového povlaku titán-borid vyhotoveného naparením na austenitickej podložke. Analýzy sme uskutočnili po žiadúcom odprášení nečistôt z povrchu vzorky. Analýzu vzorky sme vykonali v komore pri tlaku 10^{-7} Pa a elektrónový zväzok mal energiu 3 keV a bol sfokusovaný podobne ako v predchádzajúcom prípade na cca 20 μm . AES namerané spektrum TiB je dokumentované na obr.8. Namerané spektrum TiB obsahuje vrcholy pre prvky B (179 eV), C (272 eV), Ti (418 eV), O (511 eV), Fe (703 eV). Malé odchyľky energií, ktoré sú na spektre, boli spôsobené chemickou väzbou, prípadne znečistené oxidáciou a pod. a môžu dosahovať niekoľko elektrónvoltov. S použitím iónového odprašovania sme vykonali meranie hĺbkového profilu rozloženia chemických prvkov, ktoré je vidieť na obr. 9, na ktorom je znázornené rozloženie jednotlivých registrovaných prvkov od času odprašovania pri použití argónového dela. Po odkrytí povrchovej vrstvy, na mieste dopadu elektrónového zväzku boli zistené útvary kubického karbón boridu titánu, ako je dokumentované na obr. 10 a 11. Pri väčšom zväčšení sú zreteľne vidieť typické útvary kubických kryštálov komplexných karbón boridu – titánu na obr.11.

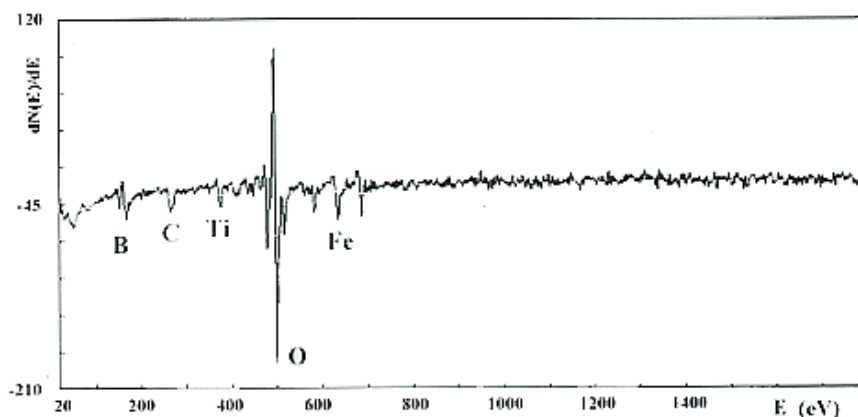


Fig.8 Surface spectrum of TiB

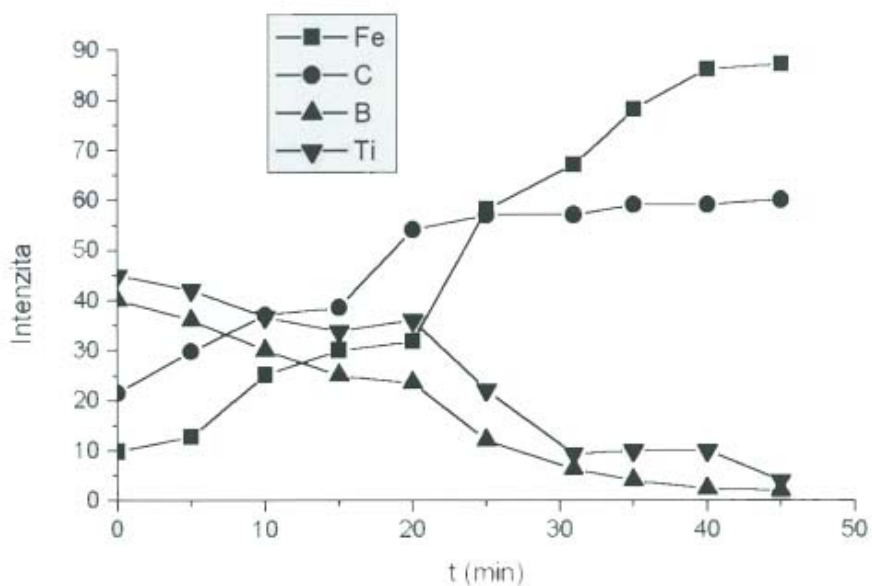


Fig.9 Depth analysis of registrate elemnets of sample TiB

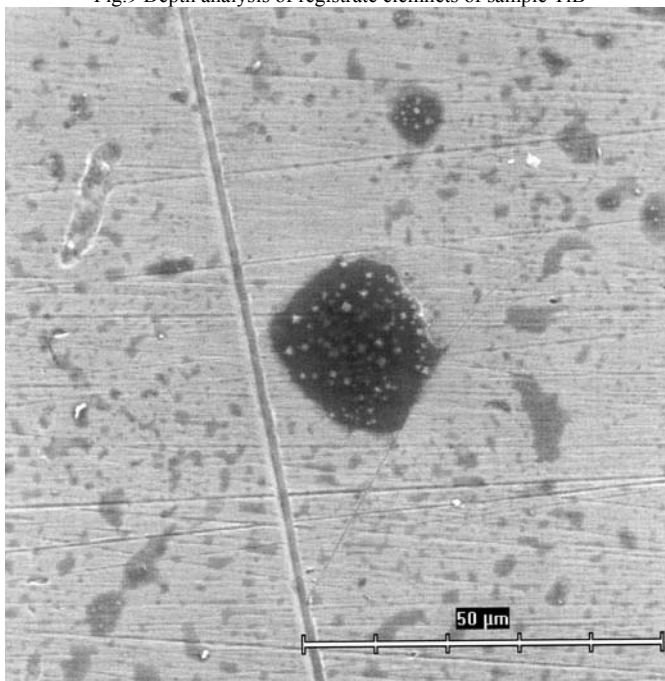


Fig.10 Place of beam electron impact at registered Auger electrons

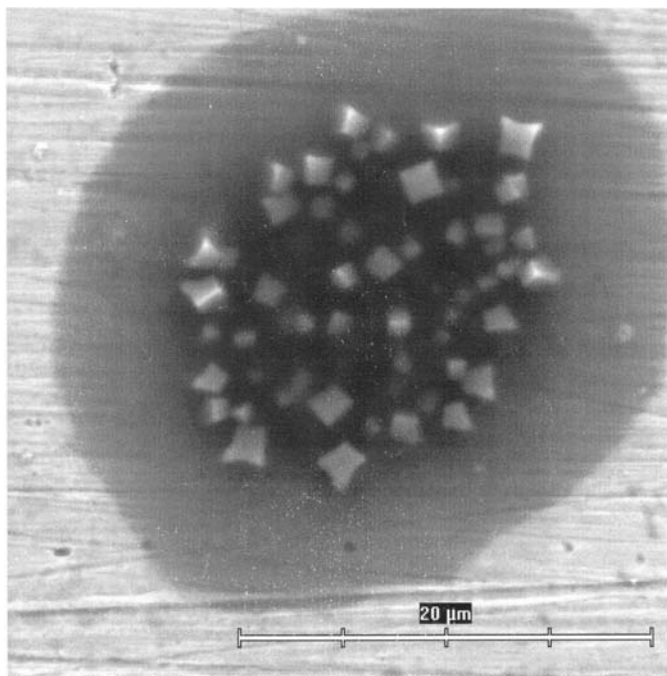


Fig.11 Detail of illustration surphase of sample beam electrons impact

Závery

Výsledky analýzy povrchov sú tesne zviazané s technickým rozvojom celého radu metód, v ktorých primárne elektróny sú využité ako zdroje vybudenia a sekundárne elektróny sú nositelia informácií o vlastnostiach povrchu materiálu. V súčasnosti je rozpracovaných pomerne veľa metód analýzy povrchov materiálov, ale AES je jednou z najviac rozpracovaných a široko používaných techník spektroskopie.

Augerova elektrónová spektrometria je vhodná metóda na analýzu chemického zloženia povrchových vrstiev ako aj hĺbkového profilu v nie príliš hrubých vrstvách s použitím iónového dela na odprašovanie. AES má široké uplatnenie pri povrchových analýzach rôznych nástrojov a súčastí z hľadiska dosiahnutia určitých vlastností povrchov, napr. elektrickej vodivosti, koróznej odolnosti, zvýšenie tvrdosti, oteruvzdornosti, životnosti a tepelnej odolnosti.

Okrem kvalitatívnej analýzy je možné uskutočniť aj kvantitatívnu analýzu chemického zloženia povrchu. Pri kvantitatívnej analýze AES je potrebné určiť závislosť toku Augerových elektrónov (alebo amplitúdy vrcholov) daného prvku od jeho koncentrácie v povrchovej oblasti. Sú dva spôsoby kvantitatívnej analýzy s používaním AES: výpočtové a empirické. Prvá skupina využíva rovnice, ktoré spájajú tok Augerových elektrónov s koncentráciou odpovedajúceho prvku a rôznymi fyzikálnymi faktormi. Druhá skupina je založená na porovnaní Augerových vrcholov sledovaného materiálu s vnútorným etalónovým prvkom a na zostrojení ciachovacích grafov. AES sa tiež uplatňuje pri sledovaní adsorbcie a desorbcie a epitaxného rastu tenkých fólií, difúzie prímiesi z objemu na povrch, migrácie atómov na povrch.

Z priebehu vrcholov pre jednotlivé prvky vidieť zreteľne prítomnosť nielen prvkov, ktoré sú hlavné či už to bol Si alebo TiB, ale veľmi výrazne aj vrcholy pre kyslík a mimo

uvedených je aj vrchol napr. uhlíka. Relatívne vysoký obsah kyslíka nasvedčuje o evidentnej oxidácii pri nanosení relatívne tenkej vrstvy TiB. Nie je vhodné určovať obsah jednotlivých prvkov pre nanosenú vrstvičku TiB, pretože sa môže prejaviť aj vplyv prítomných prvkov z podložky. Zväzok elektrónov pri AES je relatívne malý, o čom svedčí priemer odkrytého miesta na obr. 10 a 11. Z hĺbkového rozloženia jednotlivých atómov je zreteľne vidieť znižovanie koncentrácie atómov, kyslíka a kremíka (obr. 6) a bóru a titánu so súčasným zväčšovaním koncentrácie uhlíka a železa (obr. 9). Po 45 minútach odprašovania koncentrácia jednotlivých prvkov sa tak výrazne zmenila, že môžeme predpokladať úplné odprašenie vrstvy TiB z austenitickej podložky.

Literatúra

- [1] Turner, E.J.: Atoms, radiation and radiation protection. Corporate Fellow, Oak Ridge National Laboratory Martin Marietta Energy Systems, Inc. University of Tennessee, New York 1995.
- [2] Cerepin, V.T.: Metody i pribory analiza poverchnosti materialov. Naukova dumka, Kijev 1982.
- [3] Ibach, Ch.: Primenenie elektronnej spektroskopii dlja analiza poverchnosti. Zinatne, Riga 1980.
- [4] Ferencey, V.: Základné fyzikálne vlastnosti povrchov kovových materiálov a polovodičových prvkov používaných vo vojenskej technike. Výskumná správa, ÚNMS SR – CC SR, Bratislava 2000.
- [5] Ružička, J. a kolektív: Projekt uvedenia spektrometra Augerových elektrónov do rutínnej prevádzky. ÚNMS SR, Bratislava 2000.
- [6] Slyško, P.: Overenie a praktické využitie Augerovej spektrometrie. Záverečná správa ÚNMS SR – Cyklotrónové centrum SR, Bratislava 2001.
- [7] Tvarožek, V. et al.: Thin Films – the Bridge Spanning Micro and Nano – technologies. 4-th International Symposium on Mechatronics. Trenčianske Teplice 2001.
- [8] Davies, L.S. et al.: Handbook of Auger Electron Spectroscopy. Published by Physical Electronics Industries, Minnesota, 1976.