

Zárójelentés

„Az atomi környezet hatása erősen kötött elektronok átmeneteire” c. T038016 sz. OTKA témáról

A kitűzött cél: 3d fémek (Cu, Ni, Co) foton-indukált KLL Auger átmeneteinek és az atomi belső elektronhéjakról keltett fotoelektronok spektrumainak az ionizációs küszöb körüli gerjesztésnél végzett nagy energiafelbontású mérése, valamint atomi és klaszter modellszámítások segítségével a nagyenergiájú Auger- ill. fotoelektronok emisszióját eredményező folyamatok atomi környezettől való függésének megfigyelése és értelmezése. Az egyes (pl. nem rezonáns, ill. rezonáns; atomi, ill. kollektív gerjesztési; elektron-transzport) folyamatok szerepének tisztázása, hatásaik, összefüggéseik azonosítása, járulékaik elkülönítése és kvantitatív meghatározása. A mért energiaeloszlásokat illetően a vizsgált anyagokban végbemenő rugalmas és a rugalmatlan elektronszórás folyamatok jobb megértése és hatásuk pontosabb leírása céljából az elektronok rugalmatlan szórás közepes szabad úthosszának a meghatározása (spektrumalak-analízis és visszaszórt elektronok spektroszkópiája segítségével). Nagy energiafelbontású elektron-visszaszórás kísérletekkel és az elektronszórás folyamatok szimulációjával a rugalmasan visszaszórt elektronok energiaeloszlásának a szóró atomok visszalökődése következtében történő módosulása tanulmányozása, a folyamatok pontosabb leírása és a potenciális felületanalitikai alkalmazási lehetőségek feltárása végett. Átmeneti fémeket tartalmazó rendszerek esetében az atomtörzs Auger paraméterek atomi környezettől való függésének megfigyelése a töltésátadási folyamatok azonosítása és a töltésátadás mértékének a meghatározása céljából.

Főbb új tudományos eredmények:

1. 3d elemek küszöb körüli gerjesztéssel keltett KLL Auger átmenetei

- a) Szinkrotronsugárzással polikristályos fém Cu és Ni mintákból keltett KLL Auger elektronok spektrumait - valamint a megfelelő K- röntgenabszorpciós spektrumokat - mértük nagy energiafelbontással a K-héj ionizációs küszöb közeli fotongerjesztéseknél [1]. A kísérletekből kapott KLL vonalalakokat a rezonáns szórás modell alapján értelmeztük, míg a K-abszorpciós spektrumokat klaszter molekulapálya modellel közelítettük. Eredményeink igazolják a K-vakancia környezetében a modellszámításainkból származtatott lokális elektronszerkezet érvényét, ezek alapján a következő megállapítások tehetők [1]:
 - i) A küszöb alatti energiájú gerjesztéseknél mért Cu KLL és Ni KLL Auger spektrumokban a domináns legnagyobb intenzitású vonal energiahelyzete lineáris diszperziót mutat a csökkenő fotonenergiával, amely az Auger rezonáns Raman folyamatra jellemző és az Auger folyamat egy lépcsős jellegére utal.
 - ii) A KLL Auger vonalalakok változásai a gerjesztő fotonenergia függvényében a Cu esetében jól leírhatók a betöltetlen 4p elektronállapotok sűrűségére klaszter-molekulapálya módszerrel kapott adatokon alapuló modellszámításainkkal. A Ni KLL Auger spektrumok esetében az egyezés a kísérleti és a modell spektrumalakok között csak kvalitatív, feltehetően annak tulajdoníthatóan, hogy

(a rezonáns Cu KLL Auger spektrumokhoz képest) a kollektív gerjesztések miatti, törzs-vakancia indukált („intrinsic”) elektron-energiavesztések szerepe jelentősebb.

Ezeket az eredményeket több nemzetközi konferencián ismertettük, az eredményeinket tartalmazó folyóiratcikk-kéziratot [1] publikálásra beküldtük.

- b) A Cu és Ni esetéhez hasonlóan Co és Fe fémekből K-ionizációs küszöb körüli fotongerjesztéssel keltett KLL Auger elektronok spektrumait mértük nagy energiafelbontással. A küszöb alatti gerjesztéseknél kapott spektrumok az Auger rezonáns Raman folyamat dominanciáját mutatják, csakúgy, mint a Cu és a Ni esetében [2]. A spektrumalakok modellezése és az eredmények folyóiratcikkben történő közlése folyamatban van.
- c) Relativisztikus multi-elektron molekulapálya módszerrel modelleztük a $3d$ átmeneti fémek KLL Auger spektrumaiban megjelenő multiplett szerkezetet. Eredményeink szerint az Auger vonalak multiplett felhasadásának mértékét csak kis mértékben változtatja meg a szilárdtest-környezet, elméleti adataink jól egyeznek a kísérleti adatokkal [3].
- d) MnO nanorétegekből a Mn K-ionizációs küszöb körüli fotongerjesztéssel keltett Mn KLL Auger elektronok spektrumait mértük nagy energiafelbontással. A mért spektrumok energiafelbontás és intenzitás tekintetében igen jelentősen felülmúlják a korábbi mérési eredményeket, ugyanakkor a rugalmatlan szórás háttér járuléka nagyságrendileg kisebb, így a spektrumban a domináns legnagyobb intenzitású diagram vonal közvetlen környezetében megjelenő szatellit vonal egyértelműbben azonosítható és jellemezhető. Az előzetes eredmények szerint a szatellit küszöb alatti energiájú rezonáns gerjesztések esetén is jelentkeznek a spektrumokban, megerősítve azt a feltételezést, hogy eredete a domináns vonal multiplett felhasadásával lehet kapcsolatban [4]. A kísérleti eredmények értelmezése folyamatban van.
- e) Ni-Fe ötvözetekből a Ni és a Fe K-ionizációs küszöbök körüli fotongerjesztéssel keltett Ni és Fe KLL Auger elektronok spektrumait mértük nagy energiafelbontással. A Ni₅₀Fe₅₀ ötvözet Fe KLL spektrumában a fém Fe KLL spektrumához képest a domináns legintenzívebb vonal kiszélesedése és a kisebb kinetikus energiájú oldalon az intenzitás jelentős megnövekedése figyelhető meg, míg a megfelelő ötvözet, ill. fém Ni KLL spektrumok hasonlóak. Ezek a különbségek arra utalnak, hogy az ötvözetben a vas komponens atomok környezetében megnövekedhet a Fe $4p$ betöltetlen elektronállapotok sűrűsége a tiszta fém esetéhez képest [5]. Az eredmények értelmezésével kapcsolatos modellszámítások folyamatban vannak.

2. Fotonindukált KLL Auger folyamatokat kísérő gerjesztések

- a) A szinkrotronsugárzással polikristályos fém Cu és Ni mintákból a K-héj ionizációs küszöb közeli fotongerjesztéseknél keltett, nagy energiafelbontással mért KLL Auger elektron-spektrumainkban intenzív, a gerjesztő fotonenergia függvényében változó intenzitáseloszlású szatelliteszerkezetet figyeltünk meg. A szatellitek és a domináns, legintenzívebb diagram Auger vonal energiaszeparációit meghatároztuk a mért spektrumokból és klaszter molekulapálya számításainkból kapott adatainkkal

hasonlítottuk össze. Eredményeink azt mutatják, hogy a KLL Auger folyamatoknak mind a kezdeti, mind pedig a végállapotával kapcsolatos gerjesztéseknek tulajdonítható szatellitek jelentkeznek a spektrumokban és egyértelműen azonosíthatók a Ni és a Cu esetében. A szatellit-domináns diagram Auger vonal energiátávolságok és a szatellitek intenzitásának a gerjesztő fotonenergia függvényében észlelt változása („evolúciója”) konzisztens módon értelmezhető atomi, ill. klaszter-molekulapálya számításainkon alapuló elméleti modelljeinkkel, megerősítve, hogy a domináns Auger vonalhoz közelebbi energiájú szatellit kezdeti állapotú $3d-4d$ „shake up” gerjesztésnek, míg a távolabbi energiájú szatellit végállapotú shake up gerjesztésnek felel meg [6]. A kezdeti állapotú gerjesztés következtében megjelenő szatellit intenzitása „evolúciós” görbéjének leírására új, atomi közelítésen alapuló modellt dolgoztunk ki, és összehasonlítottuk a korábbi modellekkel. Az új modell jobb egyezést mutat a kísérleti eredményekkel [7].

Ezeket az eredményeket több nemzetközi konferencián ismertettük, az eredményeinket tartalmazó folyóiratcikk-kéziratokat publikálásra beküldtük [6], illetve közlésre előkészítettük [7].

- b) Polikristályos Ge rétegből röntgen-fotonokkal keltett KLL Auger spektrumokat mértünk nagy energiafelbontással és az ugyanazon mintán végzett elektron-energiavesztési spektroszkópiai méréseink, valamint atomi számításaink alapján egyértelműen plazmon gerjesztésként azonosítottuk a legintenzívebb szatellit eredetét, kizárva a shake típusú gerjesztéseket, mint lehetséges értelmezést. A mért KLL spektrum alakjára vonatkozóan jó közelítést adtak a szemiklasszikus dielektromos válasz modellel végzett számításaink. A kísérleti és a modell spektrumok analíziséből meghatároztuk a törzs vakancia hirtelen megjelenése következtében gerjesztett („intrinsic”) plazmonok részesedését a teljes (az intrinsic és az elektronoknak az anyagban történő transzportja során keltett „extrinsic” járulékot is magába foglaló) plazmongerjesztés járulékához képest, az eredmények konzisztens módon 30 %-nál nagyobb intrinsic részesedést mutatnak [8].

Ez az eredmény fontos a kvantitatív felületi és határréteg-analitikai alkalmazások szempontjából, hiszen az összetevők atomi koncentrációja a spektrumok intrinsic eredetű részének (Auger-ill. fotocsúcs és az intrinsic gerjesztésekkel kapcsolatos energiavesztési rész) intenzitásával arányos. Kimutattuk azt is, hogy a teljes Ge KLL Auger vonalcsoport analízise csak akkor vezet az atomi elmélettel és az ultravékony radioaktív mintából emittált Ge KLL spektrum korábbi mérésével összhangban lévő adatokra, ha figyelembe vesszük a többszörös intrinsic plazmonkeltés hatását is [9, 10]. Ezzel kapcsolatban egy részletes elemzést tartalmazó közleményünk van előkészületben [10].

- c) Ge 1s és Ge 2s fotoelektron spektrumokat keltettünk polikristályos Ge rétegekből és kísérleti spektrumaink alakját különböző modellekkel értelmeztük, összehasonlítva a modellspektrumok (egyes fizikai folyamatoknak megfelelő) összetevőit. Új, az elektronszórási folyamatokat paraméterekkel jellemző, hatékony modellt dolgoztunk ki a spektrumalakok leírására, amely a jóval bonyolultabb szimulációs eljárásokhoz hasonló eredményeket szolgáltat. Kimutattuk, hogy a Ge 1s és 2s fotoelektron-spektrumok esetében az elektronszórás szimulációján alapuló modell az intrinsic plazmongerjesztés részesedésére jelentősen kevesebb (felényi) értéket jósol, mint a dielektromos válasz modell [11].

- d) A dielektromos válasz modellt Si kristályokból különböző energiájú (125 eV-3660 eV) és (a felület normálisához mért) különböző szögekben (0° - 82°) emittált Si $2p$ és Si $1s$ fotoelektronok energiaeioszlása alakjának és energiaveszteségi szerkezetének interpretálására alkalmazva a kísérleti és a modellspektrumok között jó kvantitatív egyezést találtunk. Különösen jól reprodukálja a modell a felületi és tömbi plazmongerjesztéseknek megfelelő járulékok arányát [12].
- e) Megmutattuk, hogy a dielektromos formalizmust használva és tükröződésszerű visszaszórást, valamint pszeudo-közégeket feltételezve, a felületközeli rétegekben keltett elektron-vakancia párok esetében a különböző (felületi-tömbi, extrinsic-intrinsic) plazmonkeltési módusok között erős interferencia lép fel és ennek következtében az egyes gerjesztéseknek megfelelő spektrális járulékok egyértelmű elkülönítése már nem lehetséges. Különösen érvényes ez a megállapítás a nm méretű rendszerekre [13].

3. Elektronszórási folyamatok felületközeli rétegekben, jellemzőik és hatásaik modellezése

- a) Polikristályos Ge rétegekről visszaszórt 0.5, 2 és 5 keV energiájú elektronok energiaveszteségi spektrumait mértük nagy energiafelbontással. Ráműtattunk, hogy a kísérleti spektrumok analíziséből kapott, felületi és tömbi plazmongerjesztések valószínűségi eloszlását leíró veszteségi függvényeket a tükröződésszerű visszaszórást feltételező dielektromos függvény közelítés alkalmazásával kapott modell veszteségi függvényekkel összehasonlítva a felületi és tömbi gerjesztések relatív valószínűsége (súlyfaktora) megkapható. Meghatároztuk a súlyfaktor energiafüggését a vizsgált elektron-energia tartományban [14].
- b) Töltött részek és szilárdtest-felületek kölcsönhatásában nagy részecske-felület távolság esetén a részecske energiaveszteségét a klasszikus tükör-visszaszórási és az általunk módosított kvantummechanikai időfüggő sűrűségfüggvény elméletekkel leírva megállapítottuk, hogy míg aszimptotikus távolságoknál a klasszikus és a kvantummechanikai modell által jósolt energiavesztés értékek konvergálnak, a felület közelében a klasszikus modell erősen alulbecsli az energiavesztés mértékét. A javasolt modell ígéretes a felületi és tömbi veszteségi függvények meghatározására, mikropillárisok és nanocsövek esetén is [15].
- c) 2-10 keV energiájú elektronokra meghatároztuk az elektronok rugalmatlan szórás közepes szabad úthosszát (IMFP) a rugalmas csúcs elektronspektroszkópia (EPES) módszerével, polikristályos Ge esetében. A meghatározott IMFP adatokat a referencia (Ag) IMFP-k függvényében is megadtuk, a prezentációnak ez a módja lehetőséget nyújt arra, hogy új, pontosabb rendelkezésre álló referencia IMFP értékek esetén az IMFP adatokat könnyen korrigálni lehessen [16].
- d) Új eljárást javasoltunk a kísérleti IMFP adatoknak a felületi effektus figyelembevételével kapcsolatos korrekciójára szolgáló felületi gerjesztési paraméter meghatározására. Az így korrigált kísérleti IMFP értékek kielégítő egyezést mutatnak a 0.2-2 keV energiájú elektronok és Ag, Ni és Au minták esetén az optikai adatokból számított IMFP értékekkel [17]. Az eljárást sikeresen alkalmaztuk adalékolt vezető

polimerek esetében is a felületi gerjesztési paraméterek meghatározására és az IMFP adatok korrigálására [18, 19].

- e) Elsőként mutattuk ki kísérletileg, hogy a visszaszórt elektronok rugalmas csúcs spektroszkópiája alkalmas a felületi H detektálására, ezt a polietilén esetén demonstráltuk. A rugalmas elektronszórás során a szóró atomok visszalökődnek, az ennek következtében veszített energia fordítva arányos a szóró atom tömegével, így a visszalökés (recoil)-effektus a H és a C atomokon rugalmasan szóródott elektronok energiaeloszlásának egymáshoz képesti eltolódását eredményezi, amely nagy energiafelbontású spektrométerrel jól megfigyelhető. A polietilénről rugalmasan visszaszórt elektronok eloszlását a többszörös szórásokat is figyelembe vevő Monte Carlo módszerrel szimulálva a mért spektrumot kvantitatív módon tudtuk értelmezni [20, 21]. A mért energiaeloszlások kiszélesedése jól egyezik a Debye közelítésben kapható elméleti értékkel [22].
- f) Monte Carlo módszerrel szimuláltuk a polikristályos Ag felületéről rugalmasan visszaszórt elektronok szögeloszlását. Azt találtuk, hogy a kísérleti geometriától és a beeső elektron energiájától függően a többszörös szórás domináns szerepet játszhat a rugalmasan visszaszórt elektronok hozamának meghatározásában, vagyis az egyszeres szórási modell nem alkalmas ennek a hozamnak a leírására [23].
- g) Részletesen elemezve a szilárd anyagokból röntgen fotonokkal keltett elektronspektrumoknak az elektronok rugalmatlan szórására történő (ún. inelasztikus háttérkorrekció) legegyszerűbb korrekciós eljárását, a Shirley által bevezetett integrális, empirikus módszert, kimutattuk, hogy a módszer egy fizikailag értelmes rugalmatlan elektronszórási hatáskeresztmetszet feltételezésének felel meg, amely kis módosítással, a módszer egyszerűségének megőrzése mellett egyes anyagok esetében a fotoelektron csúcs közelében jobb közelítést adhat, mint a fizikailag megalapozottabb, univerzális hatáskeresztmetszetet használó háttérkorrekciós eljárások [24, 25, 26]. A korábban az irodalomban megjelent eredmények kritikai elemzésével megmutattuk, hogy a hibásan értelmezett és alkalmazott Shirley módszer nem megfelelő eszköz az extrinsic és az intrinsic veszteségi folyamatok egyértelmű szétválasztására, s így elektronszerkezeti információ kinyerésére az elektronspektrumokból [27, 28].

4. Kemény röntgensugárzással keltett Auger-és fotoelektronok nagy energiafelbontású spektroszkópiájának egyes alkalmazásai

- a) Si(Li) és HPGe röntgendetektorok esetében a Si, Ge kristályokból és a Ni elektródából röntgen fotonokkal indukált nagyenergiájú $2p$ fotoelektron és KLL Auger elektronspektrumokat, valamint a megfelelő visszaszórt elektronspektrumokat mértük nagy energiafelbontással. A mért spektrumok segítségével és az elektron-transzport folyamatok analízisével sikerült a félvezető detektorok válaszfüggvényét az eddigieknél pontosabban értelmezni és leírni, többek között tisztázva a kiszökött fotoelektronok szerepét, valamint új kritériumot javasoltunk a röntgendetektorok minősítésére [29]. Ezen eredmények alapján új módszert dolgoztunk ki a Si, ill. Ge alapú félvezető röntgendetektorok energiafelbontását meghatározó Fano tényező meghatározására és új, az eddig általánosan elfogadottnál alacsonyabb értéket javasoltunk a Si és a Ge esetében a Fano-tényező felső határára [30].

- b) Új kísérleti módszert dolgoztunk ki a fém-ötvözet Auger paraméter eltolódások meghatározására. Ni-Fe ötvözetek esetén. Ni és Fe fémekből fotongerjesztéssel keltett Ni és Fe KLL Auger elektronok és $1s$, valamint $2s$ fotoelektronok spektrumait mértük nagy energiafelbontással és módszerünkkel meghatároztuk a megfelelő fém-ötvözet Auger paraméter eltolódásokat. Az ötvözet komponensei közötti töltésátadás mértékének megállapítása céljából az eredmények analízise és modellezése folyamatban van.
- c) Radioaktív Co^{57} vékony réteg forrás által emittált K és L belső konverziós elektronspektrumokat, valamint a rétegből keltett röntgen-fotoelektronspektrumokat mértünk és modelleztünk. Megállapítottuk a forrás minősége és a hátlap anyaga, illetve a konverziós vonalak alakja közötti összefüggéseket, valamint kimutattuk a felületi szennyezők jelenlétének a hatását [31].
- d) Kimutattuk, hogy az elektronspektrumok intenzitását, ill. az ezzel kapcsolatos alapfogalmakat az irodalomban sok esetben, szinte általánosan félreértelmezik a detektált elektronok számlálási sűrűségfüggvényének, ill. a beütésszám összetévesztése miatt, s ez a kapott eredmények helytelen interpretációjához vezet. Megmutattuk, hogy ezen hibák korrigálása révén konzisztens intenzitás egységek (és standard deviációik) származtathatók, amelyek megegyeznek a csúcsterületekből, ill. a csúcsok amplitúdóiból számított intenzitások esetén és összhangban vannak a spektroszkópia egyéb területeivel is [32].
- e) Új, egyidejűleg több fotoelektronspektrum kiértékelésére és többféle kiértékelési módszer alkalmazására képes szoftvert dolgoztunk ki (wxEWA), amely lehetővé teszi rendkívül összetett spektrumanalízis elvégzését is, speciális eljárások egyedi programozása nélkül is. A szoftver biztosítja annak a lehetőségét, hogy ugyanazt az spektrumot több különböző módszerrel kiértékeljük és az eredményeket összehasonlítsuk. A beépített spektrumkiértékelő módszereket szimultán lehet alkalmazni pl. különböző kísérletekből származó, ill. adott fizikai paraméter függvényében mért spektrumokra [33].
- f) A fotonindukált elektronspektrumok kiértékelésében a spektrumvonalak alakjának leírására széles körben alkalmas Voigt függvényeket a könnyebben kezelhető pszeudo-Voigt függvényekkel szokásos helyettesíteni, amelyek hátránya, hogy komplikált a természetes vonalszélességre, ill. a spektrométer járulékára vonatkozó adatok kinyerése, ill. a Voigt profil pontosabb közelítése. Ezeknek a problémáknak a kiküszöbölésére új, alternatív pszeudo-Voigt függvényalakot javasoltunk [34].

5. Hivatkozások

Noha a projekt keretében született publikációk túlnyomó többsége az utolsó másfél évben jelent meg, a zárójelentésben felsorolt publikációkra a jelentés benyújtásáig már 14 független hivatkozás történt tudományos folyóiratokban.

A Zárójelentés 1-4 pontjában hivatkozott tudományos közleményeink:

1. L. Kövér, W. Drube, Z. Berényi, I. Cserny, V. R. R. Medicherla, T. Ishii, H. Ikeno, H. Adachi, *KLL Auger resonant Raman transition in metallic Cu and Ni*, közlésre beküldve.
2. L. Kövér, W. Drube, Z. Berényi, I. Cserny, V. R. R. Medicherla, *Resonant KLL Auger spectra photoexcited from Fe and Co metals*, HASYLAB Annual Report 2003(2004)329.
3. T. Ishii, L. Kövér, Z. Berényi, I. Cserny, H. Ikeno, H. Adachi, W. Drube, *First principles calculation of the KLL Auger transition energy in 3d transition metals*, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom., **137**(2004)451.
4. L. Kövér, W. Drube, I. Cserny, Z. Berényi, S. Egri, *High energy resolution Mn KLL Auger study of MnO nanolayers*, HASYLAB Annual Report 2004 (2005) Pt. 1, 542.
5. L. Kövér, W. Drube, I. Cserny, Z. Berényi, S. Egri, M. Novák, *Resonant Ni and Fe KLL Auger spectra photoexcited from NiFe alloys*, HASYLAB Annual Report 2005(2006) Pt.1, 769.
6. L. Kövér, Z. Berényi, I. Cserny, L. Lugosi, W. Drube, T. Mukoyama, V. R. R. Medicherla, *Initial and final state excitations in KLL spectra of Cu and Ni metals, induced near threshold*, közlésre beküldve.
7. T. Mukoyama, M. Uda, L. Kövér, Z. Berényi, I. Cserny, W. Drube, *Evolution of Auger satellite lines*, közlésre előkészítve.
8. Z. Berényi, L. Kövér, S. Tougaard, F. Yubero, J. Tóth, I. Cserny, D. Varga, *Contribution of intrinsic and extrinsic excitations to KLL Auger spectra induced from Ge films*, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **135**(2004)177.
9. L. Kövér, S. Egri, I. Cserny, Z. Berényi, J. Tóth, J. Végh, D. Varga, *Intrinsic excitations in deep core Auger and photoelectron spectra of Si*, J. Surf. Anal. **12**(2005)146.
10. L. Kövér, S. Egri, Z. Berényi, J. Tóth, I. Cserny, D. Varga, *KLL Auger spectra of Ge*, kézirat előkészületben.
11. L. Kövér, M. Novák, S. Egri, I. Cserny, Z. Berényi, J. Tóth, D. Varga, W. Drube, F. Yubero, S. Tougaard, W. S. M. Werner, *Intrinsic and extrinsic excitations in deep core photoelectron spectra of solid Ge*, Surf. Interface Anal., nyomdában.
12. F. Yubero, L. Kövér, W. Drube, Th. Eickhoff, S. Tougaard, *Test of dielectric-response model for energy and angular dependence of plasmon excitations in core-level photoemission*, Surf. Sci. **592**(2005)1.

13. J. L. Gervasoni, L. Kövér, *Intrinsic and extrinsic contributions to plasmon excitations in electron emission processes*, Surf. Interface Analysis, nyomdában.
14. Z. Berényi, K. Tökési, J. Tóth, J. Burgdörfer, *Electron energy loss spectra of Ge*, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom., **129**(2003)299.
15. K. Tökési, X.-M. Tong, C. Lemell, J. Burgdörfer, *Energy loss of charged particles at large distances from metal surfaces*, Phys. Rev. A(2005)022901.
16. Z. Berényi, B. Aszalós-Kiss, J. Tóth, D. Varga, L. Kövér, K. Tökési, I. Cserny, S. Tanuma, *Inelastic mean free paths of Ge in the range of 2-10 keV electron energy*, Surf. Sci., **566-568**(2004)1174.
17. G. Gergely, M. Menyhárd, S. Gurbán, J. Tóth, D. Varga, *Experimental measurements of the surface excitation parameters of Cu, Au, Ni, Ag, Ge and Pd based on Si and other reference standard materials*, Surf. Interface Anal., **36**(2004)1098.
18. G. Gergely, M. Menyhárd, A. Sulyok, G. T. Orosz, B. Lesiak, A. Jablonski, J. Tóth, D. Varga, *Surface excitation of selected conducting polymers studied by elastic peak electron spectroscopy (EPES) and reflection electron energy loss spectroscopy (REELS)*, Surf. Interface Anal. **36**(2004)1056.
19. G. Gergely, M. Menyhárd, G. T. Orosz, B. Lesiak, A. Kosinski, A. Jablonski, R. Nowakowski, J. Tóth, D. Varga, *Surface excitation correction of the inelastic mean free path in selected conducting polymers*, Appl. Surf. Sci., nyomdában.
20. D. Varga, K. Tökési, Z. Berényi, J. Tóth, L. Kövér, *Observation of the hydrogen peak in the spectra of electrons backscattered from polyethylene*, Surf. Interface Anal., **38**(2006), nyomdában.
21. G. T. Orosz, G. Gergely, M. Menyhárd, J. Tóth, D. Varga, B. Lesiak, A. Jablonski, *Hydrogen and surface excitation in electron spectra of polyethylene*, Surf. Sci. **566-568**(2004)544.
22. T. Fujikawa, R. Suzuki, L. Kövér, *Theory of recoil effects of elastically scattered and of photoelectrons*, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom., **151**(2005)170.
23. K. Tökési, D. Varga, *Angular distribution of electrons backscattered elastically from silver*, Surf. Interface Anal., **38**(2006) nyomdában.
24. J. Végh, *The Shirley equivalent electron inelastic scattering cross-section function*, Surf. Sci., **563**(2004)183.
25. J. Végh, *The Shirley background revised*, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **151**(2005)159.
26. J. Végh, *A Bishop-type electron inelastic energy loss cross-section*, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **142**(2005)135.

27. J. Végh, *On analyzing the intrinsic process through the Shirley background correction procedure*, Surf. Sci., **577**(2005)220.
28. J. Végh, *Comments on „A study of amorphous Ti-Ni alloys by X-ray photoelectron spectroscopy”*, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom., **151**(2005)155.
29. T. Papp, *On the response function of solid-state detectors, based on energetic electron transport processes*, X-ray Spectrometry, **32**(2003)458.
30. T. Papp, M. -C. Lépy, J. Plagnard, G. Kalinka, E. Papp-Szabó, *A new approach to determination of the Fano factor for semiconductor detectors*, X-ray Spectrometry, **34**(2005)106.
31. A. Spalek, O. Dragoun, A. Kovalik, E. A. Yakushev, M. Rysavy, J. Frána, V. Brabec, A. F. Novgorodov, I. Cserny, J. Tóth, D. Varga, L. Kövér, *Study of the conversion electron and XPS spectra of radioactive ⁵⁷Co sources*, Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res., **B196**(2002)357.
32. J. Végh, *On calculating intensity from XPS spectra*, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom., **151**(2006)24.
33. J. Végh, *Design principles of the wxEWA spectrum evaluation program for the photoelectron spectroscopy*, Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. **A557**(2006)639.
34. J. Végh, *An alternative form for the pseudo-Voigt peak shape*, Rev. Sci. Instrum. **76**(2005)056107-9.