



**Nagyenergiájú Auger elektronok keltését kísérő gerjesztési és
elektrontranszport folyamatok szilárd anyagokban**

Excitation and electron transport processes accompanying
high-energy Auger emissions in solids

doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Berényi Zoltán

Debreceni Egyetem
Természettudományi Kar
Debrecen, 2004

Bevezetés

A szilárdtest felületek, vékonyrétegek kutatásában az elektronspektroszkópiai módszerek kiemelkedő szerepet töltenek be. Az elektronspektroszkópiai módszerek eredményes gyakorlati alkalmazásának szempontjából alapvető fontosságú, hogy a szilárd testben végbemenő foton-ill. elektronindukált gerjesztési és elektrontranszport folyamatok járulékait az elektronspektrumokban azonosítani és értelmezni tudjuk.

Az energiavesztéssel járó elektrontranszport folyamatok egyik fundamentális paramétere az elektronok rugalmatlan szórási közepes szabad úthossza (IMFP). Ennek ismerete elengedhetetlen pl. vékonyrétegek, fedőrétegek vastagságának meghatározásánál, elemek mélységi eloszlásának vizsgálatánál vagy szórási, energiavesztési spektrumok modellezésénél, azaz az elektronspektroszkópiai módszerek számos kvantitatív alkalmazásánál. Az egy rugalmatlan szórás során bekövetkező energiavesztés valószínűségének leírására alkalmazzák az elektronok energiavesztési függvényét, melynek ismeretére szükség van pl. az Auger- vagy fotoelektron spektrumok kvantitatív elemzésénél, a különböző rugalmas és rugalmatlan folyamatok spektrális járulékeinak szétválasztásakor.

Az elektronok rugalmatlan szórási közepes szabad úthosszáinak egyik leggyakrabban használt kísérleti meghatározási módszere a mintáról rugalmasan visszaszóródó elektronok spektrumának elemzésén alapszik. Ezért fontos a rugalmas szórási folyamatok részletes megfigyelése és pontos modellezése. Az elektronok az atomtörzsekkel való, a szóró atom végecs tömege és az elektronok mozgási irányának megváltozása miatt fellépő impulzusátadással járó rugalmas ütközések során energiavesztéseket szenvedhetnek. Ezek a rugalmatlan ütközésekben lejátszódó energiavesztéseknél többnyire kisebb energiavesztéssel járó folyamatok a szóró atom visszalökődése miatt bekövetkező recoil- és a szóró atom hőmozgása miatt fellépő Doppler-effektus. Egyes esetekben (pl. polietilén mintáknál) a két jelenség hatását a rugalmas csúcs területének meghatározását kívánó IMFP méréseknél is figyelembe kell venni. Az elektrontranszport miatt bekövetkező energiavesztések mellett egyéb atomi és kollektív gerjesztés miatt fellépő energiavesztéssel is találkozhatunk. Az Auger- folyamat alkalmával létrejöhét pl. egy atomtörzsen belüli elektronnak, az Auger-elektron emissziójával egyidejű, betöltetlen állapotba történő gerjesztése (*végállapot*i shake-up), de a diagram átmenetekhez képest szintén energiaeltolódás tapasztalható, ha az emisszió egy gerjesztést tartalmazó atomban játszódik le (*kezdeti állapot*i shake-up).

A minta szabad elektronjainak kollektív gerjesztésével, a plazmon oszcillációkkal járó energiavesztést mind az anyagban mozgó elektron (*extrinsic plazmon keltés*), mind az Auger- vagy fotoelektron megszületésekor keletkező pozitív töltésű lyuk által létrehozott potenciálváltozás (*intrinsic plazmon keltés*) okozhatja.

Ezeknek az atomi ill. kollektív gerjesztési folyamatoknak a figyelembevétele nélkül a fotonkeltésű elektronspektrumokból nem nyerhető pontos kvantitatív felületanalitikai információ. Ugyanakkor a gerjesztéseknek tulajdonítható energiavesztési spektrumokból fontos adatok kaphatóak az ionizált atom környezetében lévő lokális elektronszerkezetre vonatkozóan.

Munkám első felében az elektronspektroszkópiai módszerek kvantitatív alkalmazása során szükséges, az anyagban végbemenő elektrontranszport folyamatokat jellemző paraméterek meghatározásával foglalkozom.

Részletesen megvizsgálom a rugalmas szórási spektrumok alakját amorfizált grafit és Si, valamint polikristályos fém Ni és Au esetében. A kísérleti spektrumok interpretálására egyszerűes szórást modellező formulákat és Monte-Carlo szimulációkat használok. A

modellspektrumokat elemezve részletesen megvizsgálom a szilárd minták esetében jelentős mértékben fellépő többszörös szórás hatását.

Nagyenergiájú (2-10 keV) elektronspektrumok kiértékelhetőségének érdekében meghatározom az ebbe a kinetikus energia tartományba eső elektronok rugalmatlan szórási közepes szabad úthosszát és az 5-35 eV energiavesztéssel járó energiavesztései függvényeit.

Eredményeim második felében a meghatározott paraméterek egy részének felhasználásával Ge mintából származó KLL Auger spektrumokban megfigyelhető plazmon gerjesztések eredetét, valamint Cu és Ni KLL Auger spektrumában gerjesztések miatt fellépő szatellit csúcsok eredetét tanulmányozom és határozom meg.

Eredmények

1) A rugalmasan visszaszórt elektronok energiaspektrumában jelentkező, a szóró atomok visszalökődése miatti *recoil-eltolódást* és az atomok hőmozgásának tulajdonítható *Doppler-kiszélesedést* vizsgáltam amorfizált grafit és Si, valamint polikristályos Ni és Au fém minták esetében, az 1-5 keV primer energiatartományban. A mért spektrumokat az egyszeres szórást modellező formulával és a többszörös szórást is figyelembe vevő Monte-Carlo szimulációkkal vettem össze [K1-K3, E1-E4, P1, P2].

a) Eljárást dolgoztam ki a kísérleti spektrumokban megfigyelt recoil-eltolódások és Doppler-kiszélesedések meghatározására. Ezen eljárás felhasználásával lehetővé vált a fenti effektusoknak a mérőberendezés egyéb zavaró hatásaitól való elkülönítése.

b) Mind a kísérleti spektrumok, mind a Monte-Carlo szimulációk eredményeinek kiértékelése során azt kaptam, hogy a rugalmasan visszaszórt elektronok energiaeloszlása jó közelítéssel Gauss-függvénnyel írható le. A Monte-Carlo szimulációkból származó egyszeres szórási spektrumok 0.1%-on belül egyeznek az egyszeres szórást leíró formulákkal. A többszörös szórást is tartalmazó Monte-Carlo szimulációk – az általam vizsgált esetekben – az egyszeres szórási formulánál átlagosan 2%-kal kisebb recoil-eltolódást és mintegy 3%-kal nagyobb kiszélesedést szolgáltatnak.

c) A kísérleti spektrumok elemzéséből kapott recoil-eltolódások Ni esetében hibahatáron belül megegyeznek az egyszeres szórási formulából kapottakkal, míg C és Si esetében annál átlagosan 10% ill. 15%-kal kisebb értékeket mutatnak. A Doppler-kiszélesedéseket illetően a kísérleti értékek a Ni esetében átlagosan mintegy 6%-kal, a Si-nál 10%-kal, a C esetében pedig a primer elektronenergiától függően 30–60%-kal nagyobbak az egyszeres szórásból következőknél. Ni és Si esetében az eltérések oka a felülettisztítás során a mintába implantálódó Ar atomok jelenléte lehet. A szén minta esetében az eltérés egy lehetséges magyarázata, hogy a mintában az egy atomra jutó átlagos kinetikus energia jóval meghaladja a modellünkben használt, a szabad atomokra jellemző $\frac{3}{2}kT$ értéket.

2) 2-10 keV energiájú elektronok rugalmatlan szórási közepes szabad úthosszát (IMFP) határoztam meg polikristályos Ge, amorfizált Si, és polikristályos, fém Co, Cu és Au anyagokban, a *Rugalmas Csúcs Elektronspektroszkópia* (EPES) módszer segítségével, amely mindegyik anyag esetében a rugalmas szórás differenciális hatáskeresztmetszetének, valamint egy referencia anyag IMFP-jének ismeretén alapszik [K4, E5, P13, P4].

Eljárást dolgoztam ki a kísérleti spektrumok gyors és hatékony kiértékelésére. A relatív mérési és kiértékelési módszer alkalmazásával kapott kísérleti és szimulált adatok olyan célszerű reprezentációját vezettem be, amely lehetővé teszi a vizsgált anyag IMFP-jének

meghatározását ugyanazon referencia anyag eltérő (pl. más független mérésből vagy számításból származó) IMFP értékei esetén is. Ez a reprezentáció a vizsgált minta IMFP-jét ábrázolja a referencia minta feltételezett IMFP-jének függvényében és tartalmazza mind a kísérleti, mind a szimulált adatok bizonytalanságát. A meghatározott IMFP adatokat két, a kisebb (max. 2 keV) energiatartománybeli IMFP-k leírására kifejlesztett formulával hasonlítottam össze. Megállapítottam, hogy a két prediktív formula Si, Ge és Au esetében ebben az energiatartományban is jó leírást ad, míg Cu és Co esetében 18-27%-kal túlbecsüli a kísérletileg kapott IMFP adatokat.

- 3) A 200 eV – 10 keV primer elektron energia tartományban, amorfizált Si, amorf Ge és polikristályos Al anyagok esetében az elektronok 5-35 eV-os energiaveszteségének valószínűségi eloszlását vizsgáltam és meghatároztam a folyamatot jellemző energiaveszteségi függvényeket [K5, P5].

Az energiaveszteségi függvény meghatározására a *Visszaszórt Elektron Energiaveszteségi Spektroszkópia* (REELS) módszert alkalmaztam. A kapott veszteségi függvények leírására analitikus függvényeket használtam, melyeknek segítségével a vizsgált anyagok Auger- és fotoelektron spektrumainak kiértékelésénél, a rugalmatlan szórás járuléklának figyelembevételénél fontos szerepet játszó *energiaveszteségi függvények* bármely, a fenti energiatartományba eső primer elektronenergia esetében jó közelítéssel és gyorsan előállíthatók.

- 4) Polikristályos Ge rétegből (Cu anódú röntgenforrásból származó) fékezési sugárzással keltett Ge KL₂₃L₂₃ Auger spektrumának nagy energiafeloldású mérésével és analízisével meghatároztam az Auger folyamat és az azt kísérő elektron energiaveszteségi folyamatok legfontosabb jellemzőit [K6, E6-E9].
- a) Meghatároztam a Ge KL₂₃L₂₃ Auger spektrumában azonosított diagram átmenetek és plazmon veszteségi szatellit vonal relatív átmeneti energiáit és relatív intenzitásait a legintenzívebb, KL₂L₃ (¹D₂) diagram vonalához képest.
- b) Eljárást dolgoztam ki a Ge KL₂₃L₂₃ Auger spektrumban tükröződő extrinsic (az anyagban történő elektrontranszportnak tulajdonítható) és intrinsic (az atomi belsőhéj-vakanciák megjelenésének tulajdonítható) típusú elektron-energiaveszteségek szétválasztására.
- c) A mért KL₂L₃ (¹D₂) és plazmon szatellit spektrumot a dielektromos elméletből származtatott modellspektrumhoz hasonlítottam. Mind a mért, mind a modellspektrumból meghatároztam – az általam kidolgozott eljárás segítségével – az intrinsic plazmonkeltés relatív valószínűségét a plazmonkeltés teljes valószínűségéhez képest. A relatív valószínűség a kísérleti adatokból (31±7)%-nak, az elméleti modellből (40±2)%-nak adódott.
- 5) Polikristályos Ni és Cu fémeknél a K abszorpciós él energiájánál kissé nagyobb energiájú szinkrotron sugárzással keltett KL₂₃L₂₃ Auger spektrumok nagy energiafelbontású mérésével és a gerjesztő fotonenergia függvényében történő elemzésével megállapítottam két, mindkét minta spektrumaiban jelentkező, atomi gerjesztési folyamatoknak tulajdonítható szatellit vonal esetén az atomi gerjesztések eltérő eredetét [K7, E10-E13].
- a) Eljárást dolgoztam ki az azonos minta esetében, különböző gerjesztő fotonenergiáknál felvett KL₂₃L₂₃ Auger spektrumok egységes és szimultán, hasonló szerkezetű modellfüggvényeket feltételező kiértékelésére.

- b) A két $KL_{23}L_{23}$ Auger szatellit vonal intenzitásának a gerjesztő fotonenergiától való eltérő függését atomi elméleti modellszámításokkal összehasonlítva megállapítottam, hogy mind a Cu, mind a Ni fém esetén az egyik szatellit a 3d elektronoknak a kezdeti állapotú 1s vakancia megjelenését kísérő, a másik szatellit pedig a végállapoti vakanciák megjelenését kísérő gerjesztésével értelmezhető.

English Summary of Results

- 1) In the case of electron scattering the recoil effect, attributable to the momentum transfer during backscattering and the Doppler broadening due to the thermal motion of the scattering atoms were studied in the 1-5 keV primary electron energy range for amorphized graphite and Si, as well as for polycrystalline Ni and Au metallic samples. The measured energy shifts and broadenings were compared to theoretical formulae assuming single scattering and to Monte-Carlo simulations taking into account the effect of multiple electron scattering as well [K1-K3, E1-E4, P1, P2].
 - a) A method was developed for the determination of recoil shifts and Doppler broadenings in the measured spectra. With the help of these procedures we were able to separate the above mentioned effects and the contributions of the measuring apparatus.
 - b) In the case of the experimentally measured spectra, as well as the case of the Monte-Carlo simulations, the evaluation of the data led to the conclusion, that the energy distribution of the elastically backscattered electrons can be well approximated by Gaussian-functions. The single scattering events' spectra from Monte-Carlo simulations agree with the formulae assuming single scattering within 0.1%. The Monte-Carlo spectra accounting for multiple scattering give about 2% smaller recoil shifts and 3% greater Doppler broadenings than the theoretical single- scattering formulae.
 - c) The recoil shifts evaluated from Ni samples agree with the theoretical data accounting for single scattering within the experimental error. For C and Si the experimentally evaluated values show somewhat (10% for C and 15% for Si) lower recoil shifts than those obtained from the single scattering theory. The experimental Doppler broadenings are larger by 6% for Ni, 10% for Si and 30-60% for C (depending on the kinetic energy of the primary electrons) than the theoretical values assuming single scattering. For Ni and Si the above deviations can be explained by the presence of Ar atoms implanted into the sample during the surface cleaning by ion sputtering. For C a possible explanation can be given by the fact that the average kinetic energy of one atom in the sample well exceeds the $\frac{3}{2}kT$ value used by the theoretical model.
- 2) The *Inelastic Mean Free Paths* (IMFP) of electrons having 2-10 keV kinetic energy were determined for polycrystalline Ge, amorphized Si and polycrystalline, metallic Co, Cu and Au samples using the *Elastic Peak Electron Spectroscopic* (EPES) method, which is based on the knowledge of the differential cross sections for elastic electron scattering for each material and that of the IMFP for one reference material [K4, E5, P13, P4].

A procedure has been developed for the quick and effective evaluation of the measured spectra. A novel representation of the measured and simulated data was introduced, which enables the re-determination of the studied material's IMFP employing different values from different sources of the reference material's IMFP. This representation describes the studied material's IMFP as the function of the assumed IMFP of the

reference material and contains the errors attributable to experimental data and Monte-Carlo simulations.

- 3) The electron energy loss spectra (EELS) of electrons with 200 eV – 10 keV primary energy were investigated in the case of amorphized Si, amorphous Ge and polycrystalline Al samples. The energy loss functions (describing the probability distribution of the energy loss) in the 5-35 eV energy loss range were determined from the measured spectra [K5, P5].

In order to determine the energy loss functions the *Reflected Electron Energy Loss Spectroscopic* (REELS) method was employed. Analytical formulae were used to describe the energy loss spectra as the functions of the primary electron energies. By the help of the fitted formulae the electron energy loss functions (playing an important role in the elimination of the contribution of inelastic scattering from Auger and photoelectron spectra) can be quickly determined at any primary electron energy of the studied energy range.

- 4) The main features of the Ge $KL_{23}L_{23}$ Auger electron emission and the accompanying energy loss processes were studied in the case of polycrystalline Ge layer observing and analyzing the high energy resolution Ge KLL Auger spectra excited by the bremsstrahlung from a Cu anode x-ray source [K6, E6-E9].
- a) The transition energies and intensities relative to the most intensive KL_2L_3 (1D_2) peak were determined for the identified diagram lines and plasmon satellite peak in the Auger spectrum.
 - b) I developed a procedure for the separation of the contributions of the extrinsic-type (attributable to the electron transport within the material) and the intrinsic (due the appearance of the atomic inner shell vacancies) type energy losses.
 - c) The measured KL_2L_3 (1D_2) and plasmon satellite spectrum was compared to a model spectrum obtained from theoretical calculations based on the dielectric approach using the above mentioned procedure. The probabilities of the intrinsic-type plasmon excitations related to the overall plasmon excitation probabilities were determined both for the model and the experimental spectrum. These values gave us an intrinsic plasmon creation probability of $(31\pm 7)\%$ in the case of the experimental spectrum and $(40\pm 2)\%$ in the case of the model spectrum.
- 5) The $KL_{23}L_{23}$ Auger spectra of polycrystalline Ni and Cu metallic samples were studied using synchrotron radiation at photon energies slightly above the K absorption edges of the sample atoms. In the case of each material, recording and analyzing the spectra at various exciting photon energies the origin of two satellite lines (both of them attributable to atomic excitation processes) were revealed [K7, E10-E13].
- a) A procedure for the simultaneous evaluation of the $KL_{23}L_{23}$ Auger spectra for each material, recorded at different exciting photon energies, by fitting with the same model function was developed.
 - b) Comparing the intensity evolutions of the two $KL_{23}L_{23}$ Auger satellite peak as the functions of the exciting photon energies to model spectra I concluded that both for Cu and Ni the two satellite lines are the consequences of the excitation of one 3d electron. One of the satellite lines can be attributed to an initial-state excitation caused by the appearance of the 1s vacancy while the other is due to a final-state excitation induced by the two final-state vacancies of the Auger process.

Az értekezés alapjául szolgáló saját közlemények

- [K1] *Energy shift and broadening of the spectra of electrons backscattered elastically from solid surfaces*, D. Varga, K. Tökési, Z. Berényi, J. Tóth, L. Kövér, G. Gergely and A. Sulyok, *Surf. Interf. Anal.*, **31** (2001) 1019
- [K2] *Recoil broadening of the elastic peak in electron spectroscopy*, G. Gergely, M. Menyhárd, Zs. Benedek, A. Sulyok, L. Kövér, J. Tóth, D. Varga, Z. Berényi, K. Tökési, *Vacuum*, **61** (2001) 107
- [K3] *Recoil effect in carbon structures and polymers*, Sulyok A., Gergely G., Menyhárd M., Tóth J., Varga D., Kövér L., Berényi Z., Lesiak B., Kosinski A., *Vacuum*, **63** (2001) 371
- [K4] *Inelastic Mean Free Paths of Ge in the range of 2-10 keV electron energy*, Z. Berényi, B. Aszalós-Kiss, J. Tóth, D. Varga, L. Kövér, K. Tökési, I. Cserny and S. Tanuma, *Surf. Sci.*, **566-568** (2004) 1174.
- [K5] *Electron energy loss spectra of Ge*, Z. Berényi, K. Tökési, J. Tóth, J. Burgdörfer, *J. Electron Spectrosc. Rel. Phenom.*, **129** (2003) 299.
- [K6] *Contribution of intrinsic and extrinsic excitations to KLL Auger spectra induced from Ge films*, Z. Berényi, L. Kövér, S. Tougaard, F. Yubero, J. Tóth, I. Cserny and D. Varga, *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.*, **135** (2004) 177.
- [K7] *Near threshold excitation of KLL Auger satellites from Cu and Ni metals*, L. Kövér, Z. Berényi, I. Cserny, L. Lugosi, W. Drube, T. Mukoyama and V. R. R. Medicherla, a *Phys. Rev. B* c. folyóiratba beküldve

Előadások, posztterek:

- [E1] *Recoil effect in electron spectroscopy (Final programme and book of abstracts: p. 36)*, Gergely G., Menyhárd M., Sulyok A., Tóth J., Varga D., Kövér L., Tökési K., Berényi Z., 8th Joint Vacuum Conference of Croatia, Austria, Slovenia and Hungary (JVC8). Pula, Croatia, June 4-9, 2000
- [E2] *Recoil effect in carbon structures and in polymers*, Sulyok A., Gergely G., Menyhárd M., Tóth J., Varga D., Kövér L., Berényi Z., Lesiak B., Kosinski A., 20th International Seminar on Surface Physics. ISSP-20. Kudowa, Poland, 19-24 June, 2000 (*Abstract book: p. 86*).
- [E3] *Recoil correction in EPES for determining the IMFP*, Sulyok A., Gergely G., Menyhárd M., Varga D., Tóth J., Tökési K., Berényi Z., Kövér L., Lesiak B., Kosinski A., International Workshop, Inelastic Mean Free Path of Electrons (IMFP2000). Budapest, Hungary, January 27-29, 2000 (*Abstr.: pp. fe-c1 - fe-c2*).
- [E4] *Energy shift and broadening of the spectra of electrons backscattered quasi-elastically from solid surfaces*, Varga D., Tökési K., Berényi Z., Tóth J., Kövér L., Gergely G., International Millennium Conference on Quantitative Surface Analysis. QSA-11. University of Surrey, Guildford, U.K., 3-7 July, 2000, (*Abstracts book p. 77*)
- [E5] *Electron IMFP Measurements for Co, Cu, Ge and Au in the Energy Range of 2-10 keV*, Austrian-Hungarian Workshop on Charged-Particle Transport Through Nanostructures and Solids, 2003, Debrecen.
- [E6] *Extrinsic and intrinsic excitations in Ge and Si photoelectron spectra*, L. Kövér, Z. Berényi, S. Tougaard, F. Yubero, I. Cserny, J. Végh, J. Tóth, D. Varga, W. Drube, T. Eickhoff, 50th International Symposium of the American Vacuum Society. Baltimore, USA, 2-7 Nov., 2003 (*Abstracts of AVS50, <http://www.avs.org>*).

- [E7] *Contribution of intrinsic and extrinsic excitations to KLL Auger spectra induced from Ge films*, Z. Berényi, L. Kövér, S. Tougaard, F. Yubero, J. Tóth, D. Varga, 9th International Conference on Electronic Spectroscopy and Structure. ICES-9. Uppsala, Sweden, June 30 - July 4, 2003 (*Abstr.: p. 149*).
- [E8] *Intrinsic excitations in Ge and Si following K-shell ionization*, L. Kövér, Z. Berényi, I. Cserny, J. Tóth, W. Drube, T. Eickhoff, International Conference on Quantitative Surface and Nanoanalysis (QSnA-12) University Surrey, Guilford, UK, 8-11 July, 2002 (*Abstr.: p. 2*).
- [E9] *Satellite structure in the KLL Auger spectra of Ge*, L. Kövér, I. Cserny, J. Tóth, D. Varga, Z. Berényi, IUVSTA 15th International Vacuum Conferenc. AVS 48th International Symposium. 11th International Conference on Solid Surfaces. San Francisco, California, USA, Oct. 28 - Nov 2, 2001 (*Abstr.: p. 20*).
- [E10] *Solid-state effects on the satellite structure of KLL Auger spectra in Cu and Ni*, I. Cserny, L. Kövér, Z. Berényi, K. Cserny, W. Drube, W. S. M. Werner, H. Störi, H. Nakamatsu, H. Adachi, Fukuoka University, Fukuoka, Japan, 18 Oct., 2002
- [E11] *Evolution of Auger satellite lines*, T. Mukoyama, M. Uda, L. Kövér, Z. Berényi, I. Cserny, W. Drube, 23rd International Conference on Photonic Electronic and Atomic Collisions. ICPEAC 2003. Stockholm, Sweden, 23-29 July, 2003 (*Abstr.: p. MO010*)
- [E12] *Energy dependence of the electron shake up probability near K-shell photoionization threshold in X-ray absorption of 3d transition metals*, L. Kövér, Z. Berényi, I. Cserny, L. Lugosi, W. Drube, T. Mukoyama, Medicherla V. R. R., School on Biological Application of Synchrotron and Free Electron Laser Radiation, Biological Research Center. Hungarian Academy of Sciences, Szeged, Hungary, 9-10 Sept., 2003
- [E13] *Near threshold excitation of KLL Auger satellites from Cu and Ni metals*, L. Kövér, Z. Berényi, I. Cserny, T. Mukoyama, W. Drube, Medicherla V. R. R., 9th International Conference on Electronic Spectroscopy and Structure. ICES-9. Uppsala, Sweden, June 30 - July 4, 2003 (*Abstr.: p. 165*).
- [P1] *Doppler broadening in EPES spectra*, Varga D., Berényi Z., Tóth J., Tőkési K., Kövér L., Gergely G., 8th Joint Vacuum Conference of Croatia, Austria, Slovenia and Hungary (JVC8). Pula, Croatia, June 4-9, 2000
- [P2] *Doppler effektus elektron szórásban*, Varga D., Berényi Z., Tóth J., Tőkési K., Kövér L., Gergely G., Atom- és Molekulafizikus Találkozó. Debrecen, 2001. szeptember 7-8.
- [P3] *IMFP of electrons in Co, Cu, Ge and Au in the range of 2-10 keV electron energy*, Z. Berényi, B. Aszalós-Kiss, J. Tóth, D. Varga, L. Kövér, K. Tőkési, I. Cserny, S. Tanuma, 22nd European Conference on Surface Science, 2003. szept. 7-12, Prága.
- [P4] *Germanium IMFP in the range of 2-7 keV electron energy*, B. Aszalós-Kiss, Z. Berényi, L. Kövér, J. Tóth, K. Tőkési, D. Varga, IMFP-2002 Workshop, 2002, Prága.
- [P5] *Electron energy loss spectra of Al, Si and Ge*, Berényi Z., Tőkési K., Tóth J., Kövér L., Varga D., 8th European Vacuum Congress. EVC 8. Berlin, Germany, 23-26 June, 2003.