

A nagyenergiájú nehézion besugárzás
hatása vastartalmú párologtatott
multirétegekben, elektrokémiai úton
előállított bevonatokban, valamint Bi-2223
típusú szupravezetőkben

Stichleutner Sándor

Doktori értekezés tézisei

ELTE TTK Fizika Doktori Iskola

Iskolavezető: Dr. Horváth Zalán, az MTA rendes tagja

Anyagtudomány és szilárdtestfizika program

Programvezető: Dr. Lendvai János, az MTA doktora

Témavezetők:

Dr. Kuzmann Ernő, az MTA doktora

Dr. Havancsák Károly, PhD

ELTE TTK Kémiai Intézet

Budapest, 2009.

1 Bevezetés

Napjainkban a különleges elektromos, mágneses és mechanikai tulajdonságokkal rendelkező anyagok mind a tudományos, mind a technológiai érdeklődés középpontjában állnak. Az ilyen anyagok nagy része termodinamikailag nincs egyensúlyi állapotban, és többségükben új, metastabilis fázisok előfordulása a jellemző. Előállításukra számos nemegyensúlyi állapotra vezető technikát (párolgatás, gyorsítás, elektrokémiai leválasztás, stb.) alkalmaznak, illetve létre lehet hozni ilyen anyagokat ionimplantációval is. A kis (10-100 keV) energiájú nehézion besugárzás (ionimplantáció) elterjedten alkalmazott módszer az elektronikai iparban is kívánt tulajdonságú, esetenként amorf szerkezetű felületek kialakítására, illetve a felületek tulajdonságainak – technológia szempontjából történő – javítására. A nagyenergiájú (100-1000 MeV) nehézionokkal történő besugárzás hatására bekövetkező változásokról ugyanakkor számottevően kisebb ismeretanyaggal rendelkezünk.

Annak érdekében, hogy mélyebben megismerhessük azokat a folyamatokat és hatásokat, amelyek a nagyenergiájú nehézion besugárzás hatására lépnek fel a metastabilis fázisokat tartalmazó vékonyrétegekben, valamint a magashőmérsékleti szupravezetőkben, a nagyenergiájú nehézion besugárzás hatását tanulmányoztam vastartalmú vákuumpárolgatott multirétegekben és elektrokémiai úton előállított bevonatokban, valamint Bi-2223 típusú szupravezetőkben.

Az analitikai vizsgálatok során kulcsszerepet töltött be a Mössbauer-spektroszkópia módszere, melynek segítségével – az atommag és az elektronok közötti hiperfinom kölcsönhatások detektálásával – érzékenyen követhető a Mössbauer-aktív atomok mikro környezetének a nagyenergiájú nehézion besugárzás hatására bekövetkező megváltozása.

2 Háttér

A nemegyensúlyi állapotú, átmeneti fémekből álló, illetve átmeneti fémek nem átmeneti fémekkel alkotott ötvözeiteiben előforduló fázisok kísérleti jellemzése és azonosítása nagy jelentőséggel rendelkezik, és nem csak annak a megismerése a fontos, hogy milyen fázisok fordulnak elő az egyes előállítási körülmények között, hanem az is, hogy az egyes partikuláris előállítási feltételek mellett talált metastabilis fázisok mennyire jellemzők és általánosíthatók az ötvözetre vagy az ötvözetrendszerre vonatkozóan. Különösen érdekesek azok a fázisok, amelyekben a hosszútávú rendezettség részben vagy egészében hiányzik, mint például a mikrokristályos és az amorf ötvözetek. Először Watson és munkatársainak (Trans. IMF. **64**

(1986) 149) sikerült elektrokémiai úton a rozsdamentes acélhoz viszonyítva jobb mechanikai és korrózióálló tulajdonságokkal rendelkező, homogén és kellően vastag Fe-Ni-Cr ötvözeteket előállítaniuk, amelyeken a Kuzmann és munkatársai (Hyperfine Interact. **45** (1989) 397) által végzett röntgendiffrakciós vizsgálatok a várákosokkal ellentétben azt mutatták, hogy az elektrokémiai úton előállított ötvözetek az amorfhoz közel álló állapotú, mikrokristályos szerkezetűek. Ezen új Fe-Ni-Cr minták fázisösszetételéről és rövidtávú rendezettségéről a Mössbauer-spektroszkópia alkalmazásával olyan információkat nyertek, melyek szerint az ötvözetek fő fázisa ferromágneses, ellentétben a termikusan előállított azonos összetételű ötvözetekkel, melyek paramágnesesek. Összehasonlítás céljából végzett kísérletekben Perin és munkatársai (Surf. Coat. Tech. **103-104** (1998) 93) azt találták, hogy néhány atomi réteg krómot, vasat és nikkelt tartalmazó, párologtatással és ionimplantációval előállított Fe-Ni-Cr minták fő fázisa szintén egy metastabilis, amorfhoz közel álló szerkezetű ferromágneses fázis, ami azt jelenti, hogy az elektrokémiai úton előállított Fe-Ni-Cr bevonatokban talált metastabilis ferromágneses fázis képződése nem korlátozódik csupán az elektrokémiailag előállítható ötvözetekre, hanem általánosabb érvényű. Ugyanakkor a párologtatással és lézerbesugárással előállított Fe-Ni-Cr vékonyrétegekkel kapcsolatban megállapították, hogy szobahőmérsékleten mind metastabilis, mind pedig stabilis fázisokat tartalmaznak, és ezeknek az ötvözeteknek a jelentős része olyan stabil paramágneses fázis, amely azonos a termikusan előállított ötvözet fázisával. E problémakör kapcsán munkám során arra a kérdésre kerestem a választ, hogy a nagyenergiájú nehézion besugárzás hatására milyen fázisok alakulnak ki a párologtatott Fe-Ni-Cr filmekben, illetve hogyan módosul a rövidtávú kémiai rendezettség elektrokémiai úton előállított metastabilis fázisokat tartalmazó bevonatokban.

A nagyenergiájú nehézion besugárzás hatását olyan, más metastabilis fázisokat tartalmazó elektrokémiai úton előállított ötvözetbevonatok esetén is vizsgáltam, amelyek előállítására vonatkozó kutatásokban magam is részt vettem, így az Sn-Co-Fe ternér ötvözet esetében is, amikor új, ferromágneses Sn-Co-Fe amorf ötvözetből álló fázist mutattunk ki elektrokémiai bevonatokban (Kuzmann és munkatársai, AIP Conf. Proc. **765** (2005) 99).

Az amorf ötvözeteket általában gyorshűtéses technikával állítják elő. Az amorf vas előállítására ez a módszer azonban alkalmatlan, mert alkalmazása során nem lehet kellően nagy hűtési sebességet elérni. Emiatt hosszú ideig lehetetlennek tűnt a vas amorfizálása. Végül az 1990-es évek elején Suslick és munkatársainak (Nature **353** (1991) 414) sikerült előállítania amorf állapotú vasat a $\text{Fe}(\text{CO})_5$ ultrahangos besugárzása révén. Kuzmann és munkatársainak (Radiat. Eff. Defect. S. **147** (1999) 255) nagyenergiájú nehézion besugárzás segítségével sikerült részleges amorfizációt elérni 70 nm vastagságú SiO_2 -ra párologtatott

^{57}Fe vékonyrétegeken. Ezeken az eredményeken felbátorodva célul tűztük ki, hogy a nagyenergiájú nehézion besugárzást elektrokémiai úton előállított Fe vékonyrétegeken is alkalmazzuk.

A másik hatalmas tudományos érdeklődést kiváltó téma a magashőmérsékleti szupravezetés (Bednorz és Müller, *Z. Phys. B* **64** (1986) 189) megismerésére irányul, melynek mechanizmusa még tisztázatlan. Bár ezek az anyagok kristályosak, és az alapvető atomelrendeződés a diffrakciós módszereknek köszönhetően ismert, a Mössbauer-magok segítségével mért mikrokörnyezetek jellemzése (Kuzmann és munkatársai, *Physica C* **312** (1999) 45) egyedülálló ismereteket adhat az egyes kationok oxidációs- és kötésiállapotára vonatkozóan. Jól ismert tény (pl. Terai és munkatársai, *Physica C* **235-240** (1994) 2973), hogy a nagyenergiájú nehézion besugárzás nagymértékben tudja növelni az alkalmazások szempontjából fontos kritikus áramsűrűség értékét. Így kézenfekvőnek tűnt, hogy Bi-2223 típusú szupravezetőkben a Mössbauer-spektroszkópia segítségével tanulmányozzam a vezetési síkokban lévő ^{57}Fe atomokkal helyettesített – rézatomok mikrokörnyezetének megváltozását, mely a nagyenergiájú nehézion besugárzás hatására következik be.

3 Kutatási célok

A kutatás során a nagyenergiájú nehézion besugárzás hatását vizsgáltam párologtatással előállított 50%Fe-25%Ni-25%Cr összetételű multirétegekben, elektrokémiai úton előállított amorf 8%Fe-3%Ni-89%Cr, kristályos α -Fe és amorf 48%Sn-23%Co-29%Fe vékonyrétegekben, valamint $(\text{Bi}_{0,93}\text{Pb}_{0,17})_2\text{Sr}_{1,9}\text{Ca}_{2,05}(\text{Cu}_{1,02}\text{Fe}_{0,01})_3\text{O}_y$ Bi-2223 típusú magashőmérsékleti szupravezetőkben. A következő fő kérdésekre kerestem a választ:

1. Lehetséges-e a nagyenergiájú nehézion besugárzás segítségével metastabilis amorf ferromágneses és paramágneses fázisokból álló Fe-Ni-Cr ötvözetet előállítani a megfelelő összetételű párologtatott multirétegekben?
2. Milyen módon hat a nagyenergiájú nehézion besugárzás a paramágneses és amorf állapotú, elektrokémiai úton előállított Fe-Ni-Cr ötvözetek fázisösszetételére és rövidtávú kémiai rendezettségére?
3. Előállítható-e ferromágneses amorf állapotú vas az elektrokémiai úton előállított kristályos állapotú ferromágneses α -Fe bevonatokban a nagyenergiájú nehézionokkal történő besugárzás hatására? Ha igen, úgy milyen összefüggés van a vas amorfizációjának mértéke és a besugárzás dózisa, valamint az ionok energiája és tömege között?

4. Milyen módon hat a különböző energiájú és tömegű nagyenergiájú nehézionokkal történő besugárzás az elektrokémiai úton előállított, új típusú, ferromágneses Sn-Co-Fe amorf bevonatok fázisösszetételére és rövidtávú kémiai rendezettségére?
5. Milyen módon hat a nagyenergiájú nehézion besugárzás a Bi-2223 típusú magashőmérsékleti szupravezetők Ca és Sr-O rétegei közötti vezetési síkjaiban lévő rézatomok ötös és négyes oxigénkoordinációjú mikrokörnyezeteire? Van-e a Mössbauer-spektroszkópia segítségével felderíthető – eltérés a piramis oxigénkoordinációjú – ^{57}Fe atomokkal helyettesített – réz apikális oxigénnel alkotott és síkbeli oxigénnel alkotott kémiai kötése között?

Mindezekre a kérdésekre elsősorban a Mössbauer-spektroszkópia segítségével kerestem a válaszokat, mivel ez a vizsgálati módszer igen hatékonyan alkalmazható a nagyenergiájú nehézion besugárzás hatására a rövidtávú kémiai rendezettségben bekövetkező változások megfigyelésére.

4 Mintaelőállítás és vizsgálati módszerek

Vizsgálatainkhoz olyan anyagelőállítási eljárásokat alkalmaztunk, amelyeknek köszönhetően az előállított anyagokban új, korábban nem ismert, metastabilis fázisok jöttek létre. Az elektrokémiai úton előállított Fe-Ni-Cr és Sn-Co-Fe bevonatok a Glasgow Caledoniai Egyetemen készültek. A párolgatott multirétegeket a Trentói Egyetemen állították elő. A Bi-2223 típusú szupravezető kerámiák a linzi Kepler Egyetemen készültek.

A nagyenergiájú nehézion besugárzásokat a dubnai (Oroszország) Egyesített Atommagkutató Intézet Magreakciók Laboratóriumában hajtottam végre 246 MeV Kr, valamint 710 MeV Bi ionokkal a 10^{11} – 10^{14} ion \times cm $^{-2}$ dózistartományban.

A röntgendiffrakciós méréseket részben egy számítógép-vezérelt DRON-2 diffraktóméter, részben egy Philips X'Pert diffraktóméter segítségével végeztem el.

A SEM és AFM mérések a linzi Kepler Egyetemen, az MTA KFKI Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézetben és az ELTE Anyagfizikai Tanszéken készültek.

A besugárzott és besugárzatlan vékonyrétegek ^{57}Fe és ^{119}Sn Mössbauer-spektroszkópiai méréseit konverzióelektron technikával, a szupravezetők Mössbauer-méréseit transzmissziós geometriában, szobahőmérsékleten végeztem állandó gyorsulást alkalmazó WISSEL, RANGER és KFKI típusú Mössbauer-spektrométerekkel. A Mössbauer-spektrumok kiértékeléséhez a MOSSWINN programot használtam.

5 **Eredmények összefoglalása, tézisek**

1. Kimutattam, hogy a nagyenergiájú nehézionokkal (246 MeV Kr) történő besugárzás hatására a párologtatott 50%Fe-25%Ni-25%Cr összetételű multirétegekben:

a. nagymértékben rendezetlen ferromágneses és paramágneses fázisok lépnek fel. Ezek a fázisok a nemegyensúlyi Fe-Ni-Cr ternér ötvözetek fázisaival azonosíthatók;

b. mind a rendezetlen ferromágneses, mind pedig a rendezetlen paramágneses fázis relatív mennyisége nő a besugárzási dózis növelésével;

c. a fellépő ferromágneses és paramágneses fázisok metastabilisak, izotermikus hőkezelés alkalmazásával az egyensúlyi Fe-Ni-Cr ternér ötvözeté alakulnak át.

2. Megmutattam, hogy a nagyenergiájú nehézionokkal (246 MeV Kr) történő besugárzás hatására az elektrokémiai úton előállított 8%Fe-3%Ni-89%Cr összetételű paramágneses amorf bevonatokban:

a. egy újabb, nagymértékben rendezetlen, amorf paramágneses fázis lép fel. Ez a besugárzás által az amorf állapot kémiai rövidtávú rendezettségében indukált változásokat tükrözi;

b. a fellépő paramágneses fázis relatív mennyisége nő a besugárzási dózis növelésével.

3. Kimutattam, hogy a nagyenergiájú nehézionokkal (246 MeV Kr, 710 MeV Bi) történő besugárzás hatására az elektrokémiai úton előállított kristályos állapotú ferromágneses α -Fe bevonatokban:

a. a vas részleges amorfizációja valósul meg;

b. a fellépő ferromágneses amorf vas fázis relatív mennyisége növekszik mind a besugárzáshoz felhasznált ionok energiájának, mind pedig azok tömegének növekedtével;

c. a fellépő ferromágneses amorf vas fázis relatív mennyisége nő a besugárzási dózis növelésével.

4. Kimutattam, hogy a nagyenergiájú nehézionokkal (246 MeV Kr, 710 MeV Bi) történő besugárzás hatására az elektrokémiai úton előállított kristályos állapotú ferromágneses α -Fe bevonatokban egy paramágneses fázis is fellép, amely szuperparamágneses vasnak feleltethető meg.

5. Megmutattam, hogy a nagyenergiájú nehézionokkal (246 MeV Kr, 710 MeV Bi) történő besugárzás hatására az elektrokémiai úton előállított új típusú, 48%Sn-23%Co-29%Fe összetételű amorf bevonatokban az amorf állapotnak a kémiai rövidtávú rendezettség megváltozását magába foglaló átalakulása megy végbe, melynek mértéke függ a besugárzáshoz felhasznált ionok energiájától és tömegétől.

6. Azt találtam, hogy a nagyenergiájú nehézionokkal (246 MeV Kr) történő besugárzás hatására a Bi-2223 típusú magashőmérsékleti szupravezetők ^{57}Fe Mössbauer-spektrumaiban a kétféle oxigénkoordinációban lévő Cu-helyeknek megfelelő alspektrumok területaránya megváltozik, a síknégyzetes oxigénkoordinációjú helyeken lévő vas atomok száma megnő az ötös, piramisos oxigénkoordinációjú helyeket elfoglaló vas atomok számának a rovására. Ez azzal magyarázható, hogy a besugárzás hatására a réz apikális oxigénnel alkotott kötése könnyen felbomlik, ami azt mutatja, hogy az ilyen típusú magashőmérsékleti szupravezetőkben a réz síkbeli oxigénnel alkotott fémes jellegű kötése lényegesen különbözik a réz apikális oxigénnel alkotott ionos jellegű kötésétől.

6 Az eredmények hasznosulása

Új tudományos eredményeink egyrészt bővítik az idevágó területekre vonatkozó ismereteket, másrészt szélesítik a gyakorlati alkalmazások elméleti alapjait. Eredményeink hozzásegítenek az eddigieknél kedvezőbb felhasználói tulajdonságú ötvözetbevonatok, amorf ötvözetek és magashőmérsékleti szupravezető kerámiák előállításához. Mivel kutatásaink során sikerült olyan új ötvözetbevonatokat előállítanunk, amelyeknek a hasonló összetételű kristályos ötvözetekhez képest lényegesen kedvezőbb korrózióállósága van, ezek széles körben alkalmazhatók lehetnek magasabb technikai követelményeket kielégítő anyagok előállítására.

7 Az értekezés alapjául szolgáló saját közlemények

Folyóiratcikkek

1. E. Kuzmann, G. Principi, C. Tosello, K. Havancsák, S. Stichleutner, I. Geröcs, Z. Homonnay, A. Vértes: Mössbauer study of metastable phase formation in vacuum deposited FeNiCr multilayers due to swift heavy ion irradiation, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 183 (2001) 425-431
2. E. Kuzmann, S. Stichleutner, M. El-Sharif, C. U. Chisholm, L. Sziráki, A. Vértes: Mössbauer investigation of electrodeposited Sn-Zn, Sn-Cr, Sn-Cr-Zn and Fe-Ni-Cr coatings, *Hyperfine Interactions* 141/142 (2002) 425-433
3. E. Kuzmann, S. Stichleutner, M. El-Sharif, C. U. Chisholm, G. Principi, C. Tosello, K. Havancsák, I. Geröcs, A. Vértes: Mössbauer studies of radiation effects in swift heavy ion irradiated Fe-Ni-Cr multilayers and electrodeposited alloys, *Hyperfine Interactions C* 5 (2002) 591-594
4. S. Stichleutner, E. Kuzmann, Z. Homonnay, Z. Klencsár, A. Vértes, K. Havancsák, W. T. König, O. Heiml, G. Gritzner: Mössbauer study of (Bi,Pb)-2223

- superconductors irradiated with ^{86}Kr ions, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 261 (2004) 133-135
5. E. Kuzmann, S. Stichleutner, O. Doyle, C. U. Chisholm, M. El-Sharif, Z. Homonnay, A. Vértes: Mössbauer and X-ray diffraction investigations of Sn-containing binary and ternary electrodeposited alloys from a gluconate bath, *American Institute of Physics Conference Proceedings* 765 (2005) 99-107
 6. C. U. Chisholm, E. Kuzmann, O. Doyle, M. El-Sharif, S. Stichleutner, Z. Homonnay, K. Sólymos, A. Vértes: Mössbauer and XRD investigation of electrodeposited Fe, Co and Fe-Co alloys using a gluconate plating process, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 266 (2005) 533-542
 7. E. Kuzmann, S. Stichleutner, K. Havancsák, M. El-Sharif, C. U. Chisholm, O. Doyle, V. Skuratov, K. Kellner, Gy. Dóra, Z. Homonnay, A. Vértes: Amorphous iron phase formation in swift heavy ion irradiated electrodeposited iron thin films, *Radiation Physics and Chemistry* 75 (2006) 741-746
 8. L. Sziráki, E. Kuzmann, C. U. Chisholm, M. El-Sharif, L. Bóbits, S. Stichleutner: Characterization of the passive films on electrodeposited Fe-Ni-Cr alloys in borate solution at pH 8.4, *Central European Journal of Chemistry* 5 (2007) 931-950
 9. C. U. Chisholm, E. Kuzmann, M. El-Sharif, O. Doyle, S. Stichleutner, K. Sólymos, Z. Homonnay, A. Vértes: Preparation and characterisation of electrodeposited amorphous Sn-Co-Fe ternary alloys, *Applied Surface Science* 253 (2007) 4348-4355
 10. A. Paszternák, S. Stichleutner, I. Felhősi, Z. Keresztes, F. Nagy, E. Kuzmann, A. Vértes, Z. Homonnay, G. Pető, E. Kálmán: Surface modification of passive iron by alkyl-phosphonic acid layers, *Electrochimica Acta* 53 (2007) 337-345
 11. E. Kuzmann, S. Stichleutner, Z. Homonnay, A. Vértes, A. Paszternák, F. Nagy, I. Felhősi, G. Pető, J. Telegdi, E. Kálmán: Amorphous iron formation due to low energy heavy ion implantation in evaporated ^{57}Fe thin films, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 277 (2007) 699-702
 12. M. El-Sharif, C. U. Chisholm, E. Kuzmann, L. Sziráki, S. Stichleutner, Z. Homonnay, K. Süvegh, A. Vértes: The structure and composition of novel electrodeposited Sn-Fe and Sn-Co-Fe alloys from a flow circulation cell system, *Hyperfine Interactions* 192 (2009) 1-12
 13. S. Stichleutner, E. Kuzmann, K. Havancsák, Z. Homonnay, A. Vértes, O. Doyle, M. El-Sharif, C. U. Chisholm: Mössbauer studies of the effect of swift heavy ion irradiation on electrodeposited Sn-Co-Fe coatings, *Journal of Physics: Conference Series* (2009) közlésre elfogadva
 14. C. U. Chisholm, M. El-Sharif, E. Kuzmann, S. Stichleutner, Z. Homonnay, A. Vértes: Electrodeposition of Sn-Fe alloys using gluconate electrolytes and XRD and Mössbauer studies of the deposits, *Materials Chemistry and Physics* (2009) közlésre elfogadva

Újabb konferencia-előadások és konferenciakiadványok

15. S. Stichleutner, Amorphous iron formation in swift heavy ion irradiated electrodeposited iron coatings, *Proceedings of JINR Days in Hungary*, Budapest, 3-7 December 2008 (meghívott előadás), videó felvétel:

<http://vod.niif.hu/index.php?lg=en&mn=archive&eid=88&sm=listevent>

16. S. Stichleutner, E. Kuzmann, K. Havancsák, Z. Homonnay A. Vértes, O. Doyle, M. El-Sharif, C.U. Chisholm, Mössbauer Study of the Effect of Swift Heavy Ion Irradiation on Electrodeposited Sn-Co-Fe Coatings, *Proceedings of International Conference on the Applications of the Mössbauer Effect, ICAME 2009*, Vienna, 19-24 July 2009
17. E. Kuzmann, S. Stichleutner, K. Havancsák, V. Skuratov, A. Vértes, Z. Homonnay, O. Doyle, C. U. Chisholm, M. El-Sharif, Mössbauer Study of Amorphous Iron Formation due to Heavy Ion Irradiation, *Abstract Book of International Conference on Mössbauer Spectroscopy and its Applications, ICMSA XI*, Ekaterinburg, 1-5 June 2009 (meghívott előadás)
18. E. Kuzmann, S. Stichleutner, K. Havancsák, V. Skuratov, A. Vértes, Z. Homonnay, O. Doyle, C. U. Chisholm, M. El-Sharif, Mössbauer Study of Amorphous Iron Formation due to Swift Heavy Ion Irradiation, *Abstract Book of Colloquium Spectroscopicum Internationale XXXVI, CSI XXXVI*, Budapest, 30 August - 3 September 2009 (meghívott előadás)

8 Egyéb saját közlemények

1. Z. Homonnay, E. Kuzmann, S. Stichleutner, É. Makó, K. Varga, Z. Németh, A. Szabó, P. Tilky, J. Schunk, G. Patek, Gőzfejlesztő hőátadó csövek állapotának tematikus vizsgálata, *Magyar Kémiai Folyóirat* 108 (2002) 449-454
2. Z. Homonnay, E. Kuzmann, S. Stichleutner, É. Makó, K. Varga, Z. Németh, A. Szabó, K. Radó, P. Tilky, J. Schunk, G. Patek, Gőzfejlesztő hőátadó csövek korróziós állapotfelmérése, *Korróziós Figyelő* 43 (3) (2003) 77-84
3. K. Varga, Z. Németh, A. Szabó, K. Radó, D. Oravetz, É. Makó, Z. Homonnay, E. Kuzmann, S. Stichleutner, P. Tilky, J. Schunk, G. Patek, Comprehensive investigation of the corrosion state of the heat exchanger tubes of steam generators, In: *Corrosion issues in light water reactors: Stress corrosion cracking (EFC 51)*, Eds. D. Féron and J.-M. Olive, Woodhead Publishing, Cambridge, 2007
4. K. Nomura, E. Kuzmann, C. A. Barrero, S. Stichleutner, Z. Homonnay: 119Sn Mössbauer study of sol-gel synthesized $\text{Fe}_x\text{Sb}_y\text{Sn}_{1-x-y}\text{O}_{2-\delta}$ powders, *Hyperfine Interactions* 184 (2008) 57-62
5. F. Somodi, I. Borbáth, J. L. Margitfalvi, S. Stichleutner, K. Lázár: Study of $\text{Au/SnO}_x\text{-Al}_2\text{O}_3$ catalysts used in CO oxidation by in situ Mössbauer spectroscopy, *Hyperfine Interactions* 192 (2009) 13-21