

Doktori (*Ph.D.*) értekezés tézisei

Többimpulzusos lézer indukált plazmák jellemzése és atomspektroszkópiai alkalmazása

Jedlinszki Nikoletta

Témavezető: Dr. Galbács Gábor

Egyetemi docens

Kémia Doktori Iskola

Szegedi Tudományegyetem

Természettudományi és Informatikai Kar

Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék



2011

1. Bevezetés

A lézer fényforrások számos, az atomspektrometriai módszerek számára vonzó tulajdonsággal rendelkeznek. Ezek közül a legfontosabb a nagyfokú irányítottság, a nagyon keskeny sáv szélesség és nagy fényintenzitás. Az impulzusüzemben működő lézerekkel óriási teljesítménysűrűség is elérhető, amelyekkel szilárd minták pontszerűen lebonthatók, elpárologtathatók. Mindezeket túl egyes lézertípusok még hangolhatók is; ezek alkalmazási lehetőségei még sokoldalúbbak az atomspektroszkópiában. A lézer fényforrások mindezen tulajdonságainak kiaknázásával az elmúlt évtizedek alatt az atomspektrometriában számos új mérési módszer jött létre, illetve a már ismert módszerek analitikai teljesítőképessége is jelentősen megnőtt.

Az egyik ilyen újszerű lézeres atomspektrometriai módszer a lézer indukált plazma spektroszkópia (LIBS), amely a minta felületén keltett mikroplazma emissziós megfigyelésén alapul. Ez a módszer lényegi mintaelőkészítés nélkül tetszőleges, kondenzált vagy gázfázisú minta elemösszetételének nyomanalitikai vizsgálatát teszi lehetővé akár távolról vagy terepen is, szükség esetén térbeli vagy mélységi felbontással. Ezen előnyös tulajdonságoknak és az optoelektronikai eszközök rohamos fejlődésének köszönhetően a LIBS módszer analitikai alkalmazásainak száma az elmúlt évtizedben rohamosan bővült; mára az úrkutatástól a gyógyszeriparig, a katonai/antiterrorista célú mérésektől a műtárgyak és környezeti minták vizsgálatáig igen sok mindent magában foglal.

Ezzel párhuzamosan intenzív, a lézer indukált plazmában lejátszódó folyamatokkal és a LIBS módszer analitikai teljesítőképességének fejlesztésével kapcsolatos fizikai és analitikai spektroszkópiai alap kutatás folyik a plazma spektroszkópiai laboratóriumokban. Lézer- és plazma spektroszkópiai kutatócsoportunk 2000 óta foglalkozik a tanszéken Galbács Gábor vezetésével a lézer indukált plazmák tanulmányozásával, a LIBS módszer fejlesztésével és analitikai alkalmazásaival. A kutatócsoport tagjaként ezekbe a kutatásokba kapcsolódtam be 2006-ban. Kutatásaim közvetlen célja a kettő vagy több, kolineáris lézerimpulzussal keltett plazmák jellemzőinek és analitikai teljesítőképességének vizsgálata volt.

2. Célkitűzések

A többszörös lézerimpulzussal történő plazmakeltés módszerével jelentős teljesítőképesség növekedés érhető el a LIBS spektrometriában az SP-LIBS esethez képest. Ezt a jelenséget 2000 óta már számos tanulmány meggyőzően dokumentálta, elsősorban a technikailag könnyebben tanulmányozható/megvalósítható kétimpulzusos esetre vonatkozóan (DP-LIBS). Mindennek ellenére azonban még mindig nem teljesen tisztázott, hogy milyen részfolyamatok okozzák, illetve járulnak hozzá az analitikai teljesítőképesség nagymértékű javulásához; a szakirodalomban eltérő, némely esetben egymásnak ellentmondó megállapítások és elméletek olvashatók erre vonatkozóan. Mindennek természetesen az is az oka, hogy az egyes tanulmányokban használt LIBS kísérleti rendszerek nagymértékű változatosságot mutatnak, márpedig a magas hőmérsékletű és nagyon tranziens természetű LIB plazmákban lejátszódó folyamatokra a kísérleti körülmények jelentős hatással vannak.

Az elmondottak különösen érvényesek a kettőnél több lézerimpulzussal kivitelezett LIBS spektrometria (MP-LIBS) esetére. Az irodalomban ugyanis még nagyon kevés kísérleti adat található a kolineáris MP-LIB plazmákra és analitikai alkalmazásukra vonatkozóan, noha ezek az adatok igen ígéretesek.

Ezen okok miatt célul tűztük ki a kolineáris lézerimpulzusokkal keltett MP-LIB plazmák jellemzőinek és az MP-LIBS módszer analitikai alkalmazási lehetőségeinek vizsgálatát. Kísérleti munkám a következő három részterületre koncentrálódott:

1.) Időbeli és térbeli felbontású mérések kivitelezése abból a célból, hogy azonosíthatóvá váljanak a kolineáris MP-LIB plazmában lejátszódó azon folyamatok, amelyek felelőssé tehetőek az előzetes kísérletekben tapasztalt megnövekedett analitikai teljesítőképességért.

2.) A kolineáris MP-LIBS módszer analitikai teljesítőképességének széleskörű, szisztematikus felmérése szilárd minták elemzésének esetére vonatkozóan.

3.) Analitikai módszerek kidolgozása a kolineáris MP-LIBS spektrometria alkalmazására különböző szilárd halmazállapotú minták elemösszetételének pontos meghatározására. A munka ezen részének végrehajtása során különös figyelmet szenteltem a kutatócsoportunk által korábban, fémötvözetek elemzésére kidolgozott újszerű, a lineáris korreláción alapuló kalibrációs módszer (általánosított lineáris korrelációs kalibráció, GLCM) alkalmazásának.

3. Műszerek, felhasznált anyagok és eszközök

3.1. Felhasznált anyagok és eszközök

- **Analitikai tisztaságú fémek:** Al, Cu, Mg, Si és Zn lemezek (Reanal, Magyarország; BDH és Advent Material Research, Nagybrittania).
- **Aranyötvszetek:** kilenctagú, ötvösi bizonylattal rendelkező aranyötvszet sorozat, amely tagjainak jelölése és aranytartalma a következő: 8K=334,1‰; 10K=412,7‰; 12K=506,3‰; 14K=586,8‰; 16K=674,2‰; 18K=756,8‰; 20K=838,1‰; 22K=912,2‰ és 24K=994,3‰ volt. Ezek a bizonylatolt koncentráció adatok két magyarországi fémvizsgáló hivatal által, a standardizált tűzipróba módszerével meghatározott eredmények átlagai. Az ötvözőelemek aránya minden mintában állandó.
- **Acélminták:** hattagú, bizonylatolt összetételű acélötvszet sorozat (Vasipari Kutatóintézet, Budapest). Ezek jelölése és krómtartalma: A3=0,37%; A2=0,66%; A12=1,25%; A1=1,46%; A16=1,75% és A11=2,16%.
- **Alumíniumötvszet:** SM10 jelű, 84,67% Al, 2,9% Si, 5,45% Zn, 2,8% Cu, 1,96% Fe, 1,08% Mg, 0,29% Mn, 0,24% Pb, 0,26% Sn bizonylatolt összetétellel rendelkező ötvösztet (Apex Smelter Co., Dél-Afrika).
- **Forrasztófémek:** kereskedelmi forgalomban kapható ötvösztetek, amelyek gyártója, termékszám és összetétele a következő: CFH 52340 No. 3 (Sn 97%, Cu 3%), CFH 52330 (Sn 40%, Pb 60%), Multicore 419590 (Sn 5%, Pb 93,5%, Ag 1,5%), Lux 539066 (Sn 30%, Pb 70%), Super Solder Wire (Sn 60%, Pb 40%).
- **Galvanizált fémminták:** kereskedelmi forgalomban kapható krómbevonatú réz és nikkelbevonatú cinkötvsztetek.
- **Pirolitikus grafit:** nagy orientáltsági fokú, pirolitikus (HOPG) grafit lapka (Advanced Ceramics Corporation, Lakewood, OH, USA).
- **Politetrafluoro-etilén (PTFE):** kereskedelmi forgalomban kapható, 80 µm vastagságú, 12 mm széles tömítőszalag (Schläfer, Németország).
- **Polietilén (PE):** BCR CRM 680, bizonylatolt összetételű műanyag standard (Institute for Reference Materials and Measurements, Belgium)

A méréseket megelőzően nem volt szükség mintaelőkészítésre. A mintadarabokat kétoldalú ragasztóval (TESA) mikroszkóp tárgylemezre rögzítettük és a mérések előtt a felületüket analitikai tisztaságú acetonnal vagy etanollal letöröltük.

3.2. Műszerek

A kísérletek túlnyomó részét a laboratóriumunkban épített, többszörös impulzusokkal működő LIBS rendszerrel végeztem, amely egy metallurgiás mikroszkóp köré épült (SP80, Brunel), lehetővé téve a minta tárgyasztalon való reprodukálható mozgását és a minta felületén bekövetkező változások dokumentálását is egy digitális kamerával (Motic 350, Motic). Műszerünkben egy passzív Q-kapcsolós, 1 Hz ismétlési sebességű, villanólámpás pumpálású, 1055 nm-en emittáló Nd:GGG lézer fényforrást (MP/G-Q-005, Technoorg-Linda) alkalmazunk, amely által kibocsátott lézerimpulzusok hossza ≈ 10 ns és számuk szabályozható. A létrejött mikroplazmát egy kétcsatornás száloptikás CCD spektrométerrel figyeljük meg (AvaSpec 2048FT, Avantes), amely időben és térben integrált adatgyűjtést tesz lehetővé mind az UV (198-318 nm; 0,09 nm-es optikai felbontással), mind a Vis (345-888 nm; 0,4 nm-es optikai felbontással) tartományban. A plazma által emittált fényt két, 45° -os szög alatt elhelyezett gyűjtőlencse segítségével irányítjuk egy-egy 200 μm átmérőjű, UV-stabilizált optikai szálba. A spektrométernek a plazmakeltéssel való szinkronizálását egy késleltetett impulzusokat előállító impulzusgenerátorral (TGP-110, TTI) és egy, a plazmát figyelő Si fotodiódával (DET36A, Thorlabs) végezzük. A lézerimpulzusok struktúráját digitális tárolós oszcilloszkópokkal (TDS-1002, Tektronix; DS1102E, Rigol) figyeljük meg. Kísérleteink többségében 3,4 μs késleltetési idővel és 2 ms integrációs idővel dolgoztunk. A spektrumok felvétele minden esetben levegőben történt.

Az ablációs kráterek jellemzőit fénymikroszkóppal, elektronmikroszkóppal (Hitachi S-4700 SEM) és optikai profilométerrel (Veeco Wyko 1000NT) tanulmányoztuk. A plazma időbeli és térbeli fejlődését egy képkalkotó spektrométerből (SpectraPro-500i, Acton Research) és egy ehhez csatlakoztatott iCCD kamerából (576-S/RB-E, Princeton Instruments) álló rendszerrel vizsgáltuk.

Fontosnak tartom tisztázni, hogy mit értek az értekezés során a lézer „lövés” fogalma alatt. Egy „lövés” alatt a lézer egy alkalommal való „elsütését”, vagyis a beállított számú impulzust tartalmazó impulzussorozat kibocsátását értem. A spektroszkópiai kísérletekben egy lézer lövés egyúttal egy emissziós (UV és/vagy Vis) MP-LIBS spektrum felvételét is jelenti.

Mivel az alkalmazott passzív Q-kapcsolós lézereknél az impulzusstruktúra reprodukálhatósága nem kimagaslóan jó, ezért bizonyos kísérleteknél (4.1. fejezet) a következő adatgyűjtés érdekében minden esetben 20-50 lövést végeztünk, ezután pedig kiválogattuk a hasonló impulzusstruktúrájú lövésektől származó adatokat (kb. 5%-os tolerancia) és a kiértékelés során csak ezeket használtuk fel.

A spektrumvonalak azonosítását a Peax v2.0 spektroszkópiai program (Systematix AB) segítségével végeztem, amely a NIST (National Institute of Standards and Technology) adatbázist használja. Az intenzitásadatok leolvasása a spektrométer

mérőprogramjában (AvaSoft 7.4, Avantes) történt. Az adatkiértékelést és az adatok ábrázolását a Microsoft Office Excel 2003 (Microsoft) és az Origin 7.5 (OriginLab) szoftverekkel végeztem.

4. Új tudományos eredmények tézisszerű összefoglalása

1. Az ablációs folyamatok és a plazmák térbeli, időbeli jellemzőinek vizsgálata

- 1.a.** Tiszta rézben, valamint fémbevonattal ellátott ötvözetekben létrehozott ablációs kráterek profilometriás és mikroszkópiás vizsgálata révén megállapítottam, hogy a kolineáris lézerimpulzusok által okozott ablációs folyamatok között kölcsönhatás áll fenn; az ablációs mélység (ablációs ráta) az impulzusszámmal a lineárisnál nagyobb rendben nő. Az ablált anyagmennyiséget például négytagú impulzussorozat esetén közel hatszorosan találtam az azonos összes számú önálló impulzus által okozottnál. Vonatkozó további eredményeim és irodalmi információk alapján az ablált anyagmennyiség növekedésének valószínű oka az ablációs küszöb csökkenése a mintafelület előmelegedése miatt és az impulzussorozaton belüli korábbi impulzusok által a mintafelület felett létrehozott csökkent nyomású zóna okozta erősebb párolgás.
- 1.b.** Tanulmányoztam a kolineáris MP-LIB plazmák időbeli és térbeli fejlődését és hőmérsékletét nagy időfelbontású kamera és spektrográf segítségével. Megállapítottam, hogy az első lézerimpulzus által keltett plazma kisebb fényességű, jelentősen kisebb maximális térfogatú, kisebb lineáris terjedési sebességű és kb. fele olyan élettartamú, mint a követő impulzusok által keltett plazmák vonatkozó adata. Az MP-LIB plazmák alakja megfelel az atmoszférikus SP-LIB plazmák függőlegesen kissé megnyúlt, alapvetően gömbszerű alakjának. Az MP-LIB plazmák hőmérsékletét is meghatároztam Saha-Boltzmann módszer és Mg ionvonalak intenzitásának alkalmazásával és azokat 20000-25000 K értékűnek találtam. Eredményeim azt mutatták, hogy a később érkező lézerimpulzusok a második impulzus kivételével nem képesek magasabb hőmérsékletre hevíteni a plazmát, mint a korábbiak.
- 1.c.** Si, Zn, Cu és Al mintákon keltett MP-LIB plazmák által sugárzott vonalas és folytonos emisszió időbeli lefolyásának tanulmányozása során kapott eredményeim azt mutatják, hogy a nagy gerjesztési energiájú vonalak emissziója az integrált spektrális háttérhez hasonlóan időben lépcsőzetes lefutású, míg a kis gerjesztési energiájú (főként neutrális specieszektől származó) vonalak emissziója kimondottan lassú lecsengésű, akár ms

időtartamú is lehet. Megmutattam, hogy a lépcsőzetes emissziós görbék időlépcsői egybeesnek a lézerimpulzusok követési idejével. Mindez arra enged következtetni, hogy a nagy gerjesztési energiájú specieszek gerjesztése számára az MP-LIB plazma csak azon rövid időszakokban biztosít kedvező környezetet, amikor az újabb lézerimpulzus újrahevíti a plazmát és a plazmahőmérséklet a lehető legmagasabb.

1.d. Fenti eredményeim révén először sikerült kísérleti bizonyítékokat szolgáltatnom arra, hogy az időben integráló detektálást alkalmazó kolineáris MP-LIBS spektroszkópiában reprodukálhatóan tapasztalható jelentős jelnövekedés főként két folyamat hatásának tulajdonítható. Az egyik, a meghatározó folyamat a követő lézerimpulzusok által okozott ismételt abláció, ami nagyobb összes ablált anyagmennyiséggel jár. A másik folyamat a plazma újrahevítése és így a plazmabeli specieszek újragerjesztése a követő lézerimpulzusok által.

2. Az analitikai teljesítőképesség jellemzése

2.a. A nettó és az impulzusszámmal (energiával) normalizált nettó jelintenzitás változását vizsgáltam az egy lövésen belüli impulzusszám függvényében fém, polimer és grafit mintákon. Az atomvonalak esetében megállapítottam, hogy mind a nettó, mind az energiával normalizált nettó intenzitás növekszik az impulzusszám növelésével. Az ionvonalak vizsgálata során eltérő viselkedést tapasztaltam; egyes vonalak (pl. a Mg (II) 448,1 nm és a Si (II) 412,8 nm) hasonlóan viselkedtek, mint az atomvonalak, más ionvonalaknál (pl. Au (II) 312,7 nm és Al (II) 422,7 nm) azonban a normalizált intenzitásgörbék gyakorlatilag nem mutattak növekedést az impulzusszám növelésével. Eszerint ezeknél a magas gerjesztési energiával rendelkező vonalaknál minden egyes lézerimpulzus hasonló vagy csak kismértékben növekvő jelintenzitást produkál. Nagyszámú adat összehasonlításával megállapítottam, hogy kísérleti MP-LIBS rendszerünk és hat lézerimpulzus alkalmazásával a maximális jelnövekedés az 5-7 eV gerjesztési energiájú vonalaknál tapasztalható. Megmutattam, hogy az egyes lézerimpulzusok által generált háttér rövid élettartamú és a hozzájárulása az integrált vonalintenzitáshoz a második impulzustól kezdve ugyanaz, vagyis időben integrált intenzitásadatok gyűjtése nem rontja a jel/háttér viszonyt.

- 2.b.** Kísérleti úton tanulmányoztam, hogyan viselkedik egy elem adott spektrumvonalának nettó intenzitása az impulzusszám függvényében, ha az elem különböző mintamátrixban található. Azt tapasztaltam, hogy a mátrix hatása viszonylag csekély az intenzitásgörbéknek az impulzusszám függvényében mutatott lefutására, azonban a relatív nettó jelnövekedés értéke egy adott impulzusszámnál ugyanarra a spektrumvonalra különböző mátrixokban eltérő.
- 2.c.** Megmutattam, hogy az ismételhetőség nagymértékben javul, ha növeljük az egy lövésen belüli lézerimpulzusok számát. Lövésenként hat impulzus alkalmazásával a nettó intenzitásadatok szórása 5% körülire csökkent. Ez az adat az SP-LIBS jelek ismételhetőségével összehasonlítva többszörös javulást jelent.
- 2.d.** Megállapítottam, hogy az MP-LIBS kalibrációs görbék lineáris dinamikus tartománya jóval szélesebb, mint az SP-LIBS, vagy akár a DP-LIBS kalibrációs görbéké. Az SP-LIBS kalibrációs görbék lineáris tartományának felső határát korlátozó önabszorpció hatása az MP-LIBS esetben igen kismértékű, a kalibrációs görbék több tíz százalék koncentrációig jó linearitást mutatnak.
- 2.e.** Kimutattam, hogy a csökkenő szórás (javuló ismételhetőség) és a növekvő érzékenység (megnövekedett vonalintenzitások) együttes következményeként a kimutatási határok jelentős javulást mutatnak. Kísérleti elrendezésünkben a vizsgált elemek és spektrumvonalak esetében az MP-LIBS kimutatási értékek 4,2-16,7-szeres javulást mutattak a DP-LIBS értékekhez képest.

3. Analitikai alkalmazások

- 3.a.** Módszert dolgoztam ki az MP-LIBS spektrometria kvantitatív analitikai alkalmazására ötvözetek pontos koncentrációjának meghatározása céljából. Megmutattam, hogy a kísérleti paraméterek megfelelő optimalásával, a fejlett GLCM kalibrációs módszer alkalmazásával és a kolineáris MP-LIBS spektrometria javult teljesítményjellemzői kihasználásával aranyötvözetek összetétele meghatározható olyan pontossággal és precizitással, ami összemérhető a standardizált tűzipróba teljesítőképességével. Eredményeim mérési hibája és precizitása mindössze néhány ezrelék volt.

5. Tudományos közlemények

Az értekezés alapjául szolgáló közlemények:

1. G. Galbács, **N. Jedlinszki**, G. Cseh, Z. Galbács, L. Túri: Accurate quantitative analysis of gold alloys using multi-pulse laser induced breakdown spectroscopy and a correlation-based calibration method, *Spectrochimica Acta Part B*, 63 (2008) 591-597.

IF₂₀₀₈=2,853

2. G. Galbács, **N. Jedlinszki**, K. Herreira, B. Lauly, N. Omenetto, J.D. Winefordner: A study of ablation, spatial and temporal characteristics of laser-induced plasmas generated by multiple collinear pulses, *Applied Spectroscopy*, 64 (2010) 91-102.

IF₂₀₀₉=1,564

3. **N. Jedlinszki**, G. Galbács: An evaluation of the analytical performance of collinear multi-pulse laser induced breakdown spectroscopy, *Microchemical Journal*, 97 (2011) 255-263.

IF₂₀₀₉=2,579

ΣIF=6,996

Egyéb közlemény:

1. G. Galbács, I. Kevei-Bárány, E. Szőke, **N. Jedlinszki**, I.B. Gornushkin, M.Z. Galbács: A study of stalagmite samples from Baradla Cave (Hungary) by laser induced plasma spectrometry with automatic signal correction, *Microchemical Journal*, közlésre benyújtva

Konferencia részvételek (előadások, poszterek):

1. Galbács G., Cseh G., Galbács Z., **Jedlinszki N.**: Műanyag minták RoHS megfeleléségi vizsgálata többszörös lézerimpulzusokkal indukált plazma spektroszkópiával, 49. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés, 2006. július 10-12., Miskolc

Előadás

2. Galbács G., **Jedlinszki N.**, Cseh G.: Elemanalitikai mérések lézer- és röntgensugárzással működő korszerű spektrométerekkel, 13rd Symposium

on Analytical and Environmental Problems, September 25, 2006, Szeged

Poszter

3. **Jedlinszki N.**: Műanyag minták elemanalitikai célú vizsgálata spektroszkópiai módszerekkel, *XXVIII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia, 2007. április 2-4., Szeged*

Előadás

4. Galbács G., Cseh G., **Jedlinszki N.**, Galbács Z.: A többszörös impulzusokkal kivitelezett lézer indukált plazma spektroszkópia analitikai alkalmazásai, *50. Centenárium Vegyészkonferencia, 2007. május 29-június 1, Sopron*

Előadás

5. **Jedlinszki N.**, Cseh G., Galbács G.: Aranyötvözetek pontos mennyiségi analízise lézer indukált plazma spektrométerrel, *14th Symposium on Analytical and Environmental Problems, September 24, 2007, Szeged*

Poszter

6. G. Galbács, **N. Jedlinszki**, G. Cseh, Z. Galbács, L. Túri: Accurate quantitative analysis of gold alloys using multi-pulse laser induced breakdown spectroscopy and a correlation-based calibration method, *2008 Pittsburgh Conference, March 2-8, 2008, New Orleans, USA*

Poszter

7. **N. Jedlinszki**, G. Cseh, G. Galbács: Application of laser induced breakdown spectroscopy to the qualitative analysis of samples related to the human health, *10th DKMT Conf. on Cross-border Bioecology and Public Health, May 16-17, 2008, Arad, Romania*

Poszter

8. **N. Jedlinszki**, G. Galbács, B. Lauly: Spatially and temporally resolved studies on LIB plasmas induced by multiple laser pulses, *5th International Conference on LIBS (LIBS 2008), 2008, September 22-26, Berlin, Germany*

Poszter

9. **N. Jedlinszki**, G. Cseh, G. Galbács: Evaluation of the analytical performance of multi-pulse laser-induced breakdown spectroscopy (MP-LIBS), *Colloquium Spectroscopicum Internationale XXXVI, August 30-September 3, 2009, Budapest*

Előadás

10. A. Buzás, Zs. Geretovszky, **N. Jedlinszki**, G. Galbács: On the role of the elevated temperature of the target in the enhanced emission signal in multi-pulse laser-

induced breakdown plasma (MP-LIBS) spectroscopy, *Colloquium Spectroscopicum Internationale XXXVI*, August 30-September 3, 2009, Budapest

Előadás

11. **Jedlinszki N.**, Galbács G.: A többimpulzusos lézer indukált plazma spektroszkópia (MP-LIBS) analitikai teljesítőképességének vizsgálata, *XXXII. Kémiai Előadói Napok Tudományos Szimpózium*, 2009. október 26-28., Szeged

Előadás

12. Galbács G., **Jedlinszki N.**, Geretovszky Zs.: Az analitikai jellemzők javítása a lézer indukált plazmaspektroszkópiában, MKE Analitikai Napok, 2010. január 28-29., Budapest

Előadás

13. **Jedlinszki N.**, Kukovecz Á., Galbács G.: Többimpulzusos lézer ablációs kráterek morfológiai és kémiai jellemzőinek tanulmányozása, *Vegyészkonferencia és 53. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés*, 2010. június 30-július 2., Hajdúszoboszló

Előadás

14. G. Galbács, **N. Jedlinszki**: A comparative evaluation of the efficiency of signal normalization methods in SP-LIBS and MP-LIBS, *XIV. Hungarian-Italian Symposium on Spectrochemistry*, 2011. október 5-7., Sümeg, Hungary

Bejelentett előadás

15. G. Galbács, **N. Jedlinszki**, A. Metzinger, K. Fintor: Use of complementary spectral information from micro-Raman and LIBS spectroscopy for discrimination between papers and printing ink types, *XIV. Hungarian-Italian Symposium on Spectrochemistry*, 2011. október 5-7., Sümeg, Hungary

Bejelentett előadás