

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

**Teljesítménynövelő technikák és analitikai módszerek
fejlesztése a lézer indukált plazma spektroszkópiában**

PALÁSTI DÁVID JENŐ

Témavezető:
Prof. Dr. Galbács Gábor
egyetemi tanár



Kémia Doktori iskola
Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék
Természettudományi és Informatikai Kar
Szegedi Tudományegyetem

Szeged, 2022

1. BEVEZETÉS

A lézer indukált plazma spektroszkópia (laser-induced breakdown spectroscopy, LIBS) egy dinamikusan fejlődő lézeres elemanalitikai módszer, amelynek működése egy nagy intenzitású lézerimpulzussal a minta felszínén (fluid minta esetén annak belsejében) létrehozott mikroplazma emissziójának megfigyelésén alapszik. A LIBS módszer lényegi mintaelőkészítés nélkül alkalmas szilárd, folyékony, gáz és aeroszol minták nagy térbeli felbontású, távoli vagy akár terepen is végrehajtható analizisére. A periódusos rendszer legtöbb eleme nyomelemanalitikai kimutatási határok mellett mérhető, a dinamikus tartomány több nagyságrend széles. A spektrumok az azokban megjelenő nagyszámú spektrumvonal és –sáv miatt ujjlenyomatszerűen jellemzik a mintákat, ami miatt a módszer kimondottan alkalmas minták vagy mintatípusok azonosítására, megkülönböztetésére is. Előnyös tulajdonságai miatt a LIBS módszert egyre elterjedtebben alkalmazzák mind laboratóriumi, mind ipari mérések végrehajtására.

A világ számos országában folynak intenzív kutatások és fejlesztések LIBS területen – ez az analitikai atomspektroszkópia egyik leggyorsabban fejlődő ágazata. A kutatások egyik fő célja a lézer-anyag kölcsönhatás és az ennek hatására lejátszódó jelképzési folyamatok részleteinek felderítése, ezen keresztül pedig a módszer teljesítőképességének javítása. A kutatások és fejlesztések másik nagy része az alkalmazások körét bővíti. A LIBS módszer mára már számtalan területen, az ipartól az orvosi diagnosztikán és környezetvédelmen keresztül az űrkutatásig bizonyította analitikai hasznosságát.

A teljesítőképesség javítása irányában a szakirodalomban leírt egyik megközelítés a nanorészecskékkel történő jelerősítés (NELIBS). Az elmúlt évtizedben több kutatócsoport is demonstrálta, hogy megfelelő kísérleti körülmények mellett a minták felszínére felvitt fém nanorészecskék akár több nagyságrenddel is képesek javítani a LIBS mérések érzékenységét. Könnyű kivitelezhetősége miatt az egyik legtöbbet vizsgált jelnövelő technikává nőtte ki magát szilárd, elektromosan vezető minták esetében. Folyadékok vagy gázok NELIBS vizsgálata azonban új kutatási terület, új analitikai kihívásokkal.

A kísérleti rendszerként ismert térbeli heterodin spektrométerek (SHS) működése interferometrikus detektáláson alapul. Az elmélet által jósolt és néhány tanulmány által már kísérletileg is bizonyított előnyös tulajdonságaik (nagy fényteljesítmény és felbontás, kompakt, mozgó elemektől mentes kialakítás, stb.) alapján az elterjedten használt töltéscsatolt (CCD) detektoros spektrométerek ígéretes alternatívái lehetnek számos spektroanalitikai alkalmazásban. Az SHS spektrométerek potenciálját főként távoli méréseket igénylő alkalmazásokban, illetve Raman spektroszkópiában demonstrálták. A LIBS területen eddig nagyon ritkán alkalmazták, aminek az oka részben a nyomanalitikai atomspektroszkópia felbontással, lefedett spektrumtartománnyal, érzékenységgel és nagy időfelbontással kapcsolatos követelményeinek összetettsége. Ezen teljesítményjellemzőknek a rendszer felépítésétől és a kísérleti paraméterektől való függése is nagyjából feltáratlan maradt, ami nehezíti az optimalizálást és hátráltatja az eszköz széleskörű elterjedését.

A minták LIBS spektrumaik alapján történő azonosítása (diszkriminációs analízis) ma az alkalmazások igen nagy hányadát teszik ki. A LIBS népszerűségét ezen az applikációs területen mikrodestruktivitása, a mérés gyorsasága és távolról való kivitelezhetősége is növeli. A nagy részletgazdagságú, nagyméretű LIBS adathalmazok feldolgozásához a diszkriminációs analízis során megfelelő többváltozós statisztikai eljárások, kemometriai módszerek használata szükséges. Bár sok ilyen eljárás és módszer áll ma már rendelkezésre, azonban ezek teljesítőképessége jelentősen függ a rendelkezésre álló adathalmaz sajátosságaitól, ezért univerzálisan egyik sem használható. Az adott analitikai feladat megoldásához a legmegfelelőbb kemometriai megközelítés kiválasztása és tesztelése a LIBS diszkriminációs analízist végző kutató feladata.

Lézer és plazmaspektroszkópiai kutatócsoportunk több, mint két évtizede foglalkozik a Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszéken Galbács Gábor vezetésével a LIBS kutatásokkal, a módszer fejlesztésével és analitikai alkalmazásaival. Ezekbe a kutatásokba még hallgató koromban, 2013-ban kapcsolódtam be, doktori kutatásaimat 2018-ban kezdtem el.

2. CÉLKITŰZÉS

Hasonlóan a LIBS analízis általános fejlődési trendjeihez, az én kutatásaim kezdetén is az analitikai teljesítményjellemzők javítását, illetve új analitikai módszerek kifejlesztése révén az alkalmazási kör bővítésének célját tűztük ki. A teljesítményjellemzők javítását elsősorban új optikai kísérleti elrendezések építése és optimalása révén, valamint mintaelőkészítési eljárások fejlesztésével törekedtem elérni. Ezen a területen elsősorban a térbeli heterodin spektrométerek adaptálásával és az NELIBS metodológia gáz és folyadékmintákra való kiterjesztésével foglalkoztam.

Új adatkiértékelési módszerek kidolgozásával és tesztelésével szándékoztam a LIBS alkalmazási lehetőségeinek demonstrálását elérni olyan mintatípusokkal összefüggésben, amelyeket a szakirodalomban eddig még kevésbé vizsgáltak, illetve amelyek nagy gyakorlati (pl. ipari, környezetvédelmi vagy igazságügyi) jelentőséggel bírnak. Ezen a területen főként kőszennel, korom aeroszolokkal és üvegmintákkal foglalkoztam. Itt jegyzem meg, hogy az értekezésben szereplőknél jóval több ide vonatkozó eredmény született kutatásaimból, amelyeket azonban terjedelmi okokból nem tudtam szerepeltetni.

4. Műszerek, kísérleti módszerek és eljárások

Kísérleteim során számos különböző LIBS kísérleti rendszert alkalmaztam, a rendelkezésünkre álló műszerek közül mindig az adott feladat végrehajtására leginkább megfelelőt választva. A következőkben csak a legfontosabb komponenseket sorolom fel, a részletes ismertetést értekezésem fejezetei tartalmazzák.

A precíziós célzást és fókuszálást igénylő, szilárd mintákon végrehajtott kísérletek döntő többségét egy Applied Spectra (USA) által gyártott J-200 berendezésen hajtottam végre. A rendszer lézerefényforrása másodpercenként akár 20 darab, legfeljebb 17 mJ (változtatható) energiájú és 6 ns hosszúságú impulzus kibocsátására képes. A 266 nm hullámhosszúságú lézer emissziót az optika 40 és 200 μm között állítható átmérőjű foltba fókuszálja a minta felületén. A berendezés hatcsatornás spektrométere a 190 és 1040 nm közötti tartományon átlagosan 0,07 nm felbontással rendelkezik. A mintafelület megfigyelését több, különböző

felbontású kamera is segíti. A berendezés alkalmas lézer ablációs mintabeviteli rendszerként való használatra is.

A terepen megvalósított mérések kivitelezésére egy az Applied Optics Ltd. (Egyesült Királyság) által forgalmazott LIBScan 25+, passzív Q kapcsolós Nd:YAG lézert alkalmaztam, ami három másodpercenként képes maximum 50 mJ energiájú, 1064 nm hullámhosszúságú és 4 ns impulzushosszú nyalábok kibocsátására. A lézerfejbe épített lencsékkel gyűjtött spektrális információt száloptikák továbbítják a beépített négycsatornás spektrométerbe, ami 238-353 nm, 360-455 nm és 492-907 nm közötti tartományokban rögzíti azt. A spektrumok felvétele 1,27 μ s minimális késleltetési és 1,1 ms minimális integrációs idővel lehetséges ebben a rendszerben.

A nagy energiát igénylő méréseket egy akár 100 mJ-os impulzusok kibocsátására is képes Quantel Ultra 100 (Lumibird, Franciaország) aktív Q-kapcsolós Nd:YAG lézerrel végeztem. A lézerfejbe épített polarizációs gyengítőegységgel az 1064 nm-es, 10 ns hosszúságú impulzus energiája fokozatmentesen állítható.

A spektrális információ külső spektrométerrel való rögzítésére az esetek többségében egy Avantes FT 2048 (Hollandia) spektrométert alkalmaztam, ami a 198 és 318 nm, valamint a 345 és 888 nm közötti tartományokon legalább 2 ms integrációs idővel tud működni. A plazma emisszióját szolarizációnak ellenálló száloptikák továbbították a gyűjtőlencsék és a spektrométer között.

A különálló berendezések időbeli szinkronizálására és monitorozására jelgenerátorokat (TTi TGP3152 és TTi TG5011, USA) és oszcilloszkópot (Tektronix TDS 1002, USA) alkalmaztam. A különböző optikai elrendezések megépítéséhez általában Thorlabs (USA) gyártmányú optomechanikai elemeket alkalmaztam.

A disszertációban leírt numerikus modelleket Comsol Multiphysics, Matlab és R környezetben fejlesztettem.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Kutatásaim során a következő új tudományos eredményeket értem el (a szögletes zárójelben megadott számok az értekezés alapjául szolgáló közlemények listájában a vonatkozó közleményt azonosítják):

1. Igazoltam, hogy megfelelő módosításokkal az eredetileg felületerősített Raman spektroszkópiához készített szubsztrátok (ezüst nanorészecskékkel borított indium-ón oxid réteggel ellátott üveglapok) alkalmassá tehetők folyadék minták nanorészecskékkel jelerősített LIBS mérésére is. A hordozók felületi borítottságát és a nanorészecskék méretét szisztematikusan változtattam és megállapítottam, hogy a jelerősítés számára a minél nagyobb felületi borítottság és a lehető legkisebb részecskék közötti távolság (a részecskék kontaktusa nélkül) az előnyös. 266 nm lézer hullámhossz mellett, a foltméret és az impulzusenergia optimalását követően háromszoros jelnövekedést tudtam elérni [4].
2. Részletesen megvizsgáltam az argongázban elosztatott, különböző méretű és számkoncentrációjú arany nanorészecskék jelenlétének a lézer indukált plazma képződésére gyakorolt hatását és megállapítottam, hogy
 - a) a nanorészecskék jelenléte jelentősen, kevesebb mint felére csökkenti a mikroplazma létrehozásához szükséges küszöb energiasűrűséget. Az effektus a gázba kevert részecskék tömegkoncentrációjával mutatott korrelációt. Bebizonyítottam, hogy a nanorészecskékből a nagy intenzitású lézerfény hatására tér- és/vagy termoemisszió által kilépő elektronok okozzák az effektust [6].
 - b) az effektus nem csak az argongáz (és potenciálisan más gázelegyek) nyomanalízisének érzékenyítésére alkalmas, hanem a gázban elosztatott részecskék kimutatására és tömegkoncentrációjának indirekt

meghatározására is alkalmazható, még olyan körülmények között is, amelyek mellett a részecskék közvetlen LIBS módszerrel nem detektálhatók. A módszerrel kimutatott legkisebb részecske tömegkoncentráció a fg/cm^3 tartományba esik [6].

3. Egyedi felépítésű, diódapumpált szilárdtest lézer gerjesztő forrással ellátott, kompakt konfokális térbeli heterodin Raman spektrométert építettem és karakterizáltam annak analitikai teljesítőképességét. Ciklohexán-izopropanol és glicerín-víz elegyek, valamint többváltozós regressziós adatkiértékelési módszerek felhasználásával elsőként demonstráltam az SH Raman spektrométerek mennyiségi analízisben való alkalmazhatóságát [3].
4. A térbeli heterodin spektrométerek LIBS spektroszkópiában való alkalmazhatóságának vizsgálata céljából geometriai optika és interferencia alapú számítógépes modelleket hoztam létre, majd a modellek segítségével feltártam a fontosabb kísérleti paraméterek és a spektroszkópiai teljesítményjellemzők közötti összefüggéseket. Megmutattam, hogy a spektrális tartomány szélességét elsősorban a detektor pixelek mérete szabja meg, míg a hullámhosszfüggő felbontást a detektor fizikai mérete (a fotoszenzor mátrix oldalhossza) és az alkalmazott optikai rácsok vonalsűrűsége határozza meg. Rámutattam, hogy bár a spektrométer az optikai rácsok finom elforgatásával könnyen hangolható, azonban ez a számos kísérleti körülménytől (az interferometrikus mintázás hatékonysága, a detektor hullámhossz és pozíciófüggő érzékenysége) is függő érzékenység görbe drasztikus változását hozza magával. Szimulációim feltárták, hogy az SH spektrométerekben fellépő időbeli diszperzió jelentősen kisebb, mint ami a külső fényvezető száloptikában jelentkezik, és így közvetlen fénybecsatolással akár ns-nál jobb időfelbontással alkalmazható spektrumok rögzítésére [5].

5. Megmutattam, hogy a látható tartományba eső LIBS spektrumaik diszkriminációs analízise révén a különböző eredetű és minőségű kőszenek egy minden lehetséges típust tartalmazó spektrális adatbázis alapján hatékonyan azonosíthatók, illetve minőségük változása e hiányában is jelezhető, ami az energetikai ipar számára fontos új lehetőséget kínál a műszeres folyamatszabályzásra és minőségellenőrzésre. Az új analitikai módszerek teljesítőképességét hat kőszén mintával, háromféle összehasonlító függvény és lineáris diszkriminancia analízis használatával demonstráltam, és a minták osztályozását 95% feletti pontossággal tudtam elvégezni [1].

6. Vizsgálati eljárást dolgoztam ki korom aeroszokok on-line (áramló közegben) történő analízisére.
 - a) Megállapítottam, hogy a nitrogéngázban szuszpendált, lézer ablációval többféle kőszén mintából előállított korom aeroszokok szubmikronos részecskéit tartalmazó áramába fókuszált lézerimpulzusok az aeroszol tömegkoncentrációjától függő gyakorisággal generálnak mikroplazmát. A korom részecskék tömegszerinti kimutatási határára 600 ng/cm^3 értéket mértem a hordozható, terepen is mérőképes LIBS rendszerünkkel. A mérések szerint a legkisebb, önmagában is észlelhető részecske átmérője (méret szerinti kimutatási határ) $2,3 \mu\text{m}$. [2]
 - b) A korom típusának osztályozását háromféle eljárással (lineáris diszkriminancia analízis, kvadratus diszkriminancia analízis, osztályozási fa) is elvégeztem és azt állapítottam meg, hogy a legnagyobb pontosságot az osztályozási fa módszerrel lehet elérni (87,2%). Megvizsgáltam azt is, hogyan módosítja a LIBS mérési adatok multilineáris görbe felbontásos alternáló legkisebb négyzetek módszerével (MCR-ALS) végzett dimenziócsökkentése, illetve többféle normával történő skálázása a pontosságot és azt állapítottam meg, hogy míg az adattömörítés rontotta, addig a skálázás nem befolyásolta jelentősen az eredményeket [2].

5. PUBLIKÁCIÓS LISTA

Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) azonosító: 10062648

Az értekezés alapjául szolgáló referált folyóiratközlemények:

- [1] A. Metzinger, **D.J. Palásti**, É. Kovács-Széles, T. Ajtai, Z. Bozóki, Z. Kónya, G. Galbács: Qualitative discrimination analysis of coals based on their laser-induced breakdown spectra
Energy and Fuels, 30 (2016) 10306-10313.
IF: 3,50 (Q1)
- [2] **D.J. Palásti**, A. Metzinger, T. Ajtai, Z. Bozóki, B. Hopp, É. Kovács-Széles, G. Galbács: Qualitative discrimination of coal aerosols by using the statistical evaluation of laser-induced breakdown spectroscopy data
Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 153 (2019) 34-41.
IF: 3,24 (D1)
- [3] A.B. Gojani, **D.J. Palásti**, A. Paul, G. Galbács, I. B. Gornushkin: Analysis and classification of liquid samples using spatial heterodyne Raman spectroscopy
Applied Spectroscopy, 73 (2019) 1409-1419.
IF: 2,19 (Q2)
- [4] **D.J. Palásti**, P. Albrycht, P. Janovszky, K. Paszkowska, Zs. Geretovszky, G. Galbács: Nanoparticle enhanced laser-induced breakdown spectroscopy of liquid samples by using modified surface-enhanced Raman scattering substrates
Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 166 (2020) 105793.
IF: 3,64 (D1)

[5] **D.J. Palásti**, M. Füle, M. Veres, G. Galbács: Optical modeling of the characteristics of dual reflective grating spatial heterodyne spectrometers for use in laser-induced breakdown spectroscopy
Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 183 (2021) 106236.

IF(2020): 3,64 (D1)

[6] **D.J. Palásti**, L. Villy, A. Kohut, T. Ajtai, Geretovszky, G. Galbács: Signal enhancement effect of gold nanoparticles suspended in argon gas with laser-induced breakdown spectroscopy,
Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 2022, közlésre elfogadva

IF(2020): 3,64 (D1)

Σ impakt faktor=19,85

Az értekezés témájához kapcsolódó további referált folyóirat közlemények:

7. M. Pintér, T. Ajtai, G. Kiss-Albert, D. Kiss, N. Utry, P. Janovszky, **D.J. Palásti**, T. Smausz, A. Kohut, B. Hopp, G. Galbács, Á. Kukovecz, Z. Kónya, G. Szabó, Z. Bozóki, Thermo-optical properties of residential coals and combustion aerosols

Atmospheric Environment, 178 (2018) 118-128.

IF:4,01 (Q1)

8. P. Janovszky, K. Jancsek, **D.J. Palásti**, J. Kopniczky, B. Hopp, T.M. Tóth, G. Galbács, Classification of minerals and the assessment of lithium and beryllium content in granitoid rocks by laser-induced breakdown spectroscopy

Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 36 (2021) 813-823.

IF(2020):4,02 (Q1)

9. D.J. Palásti, J. Kopniczky, B. Hopp, A. Metzinger, G. Galbács: Qualitative analysis of glass microfragments using the combination of laser-induced breakdown spectroscopy and refractive index data

Sensors, 22 (2022) 3045.

IF(2020): 3,58 (Q2)

$\Sigma\Sigma_{\text{impakt faktor}}=31,46$

Az értekezés témájához kapcsolódó konferencia publikációk:

1. **D.J. Palásti**, L.P. Villy, A. Kohut, Zs. Geretovszky, T. Ajtai, É. Kovács-Széles, G. Galbács: The effect of the presence of gold nanoparticles on the laser induced breakdown in argon gas
27th International Symposium on Analytical and Environmental Problems (2021) Szeged
2. P. Janovszky, A. Kéri, **D.J. Palásti**, J. Kaiser, M. Tóth, G. Galbács: Biológiai és geológiai minták nyomelem és nanorészecske eloszlásának tanulmányozása mikrométeres térbeli felbontású lézer indukált plazma spektroszkópiával
Az EFOP-3.6.2-16-2017-00005 „Ultragyors fizikai folyamatok atomokban, molekulákban, nanoszerkezetekben és biológiai rendszerekben” projekt zárókonferenciája (2021) Szeged
3. **D.J. Palásti**, P. Janovszky, L.P. Villy, A. Kohut, Zs. Geretovszky, M. Veres, G. Galbács: A lézer indukált plazma spektroszkópia érzékenysége javítása optikai és plazmonikai eszközökkel
Az EFOP-3.6.2-16-2017-00005 „Ultragyors fizikai folyamatok atomokban, molekulákban, nanoszerkezetekben és biológiai rendszerekben” projekt zárókonferenciája (2021) Szeged
4. Á. Bélteki, T. Biros, **D.J. Palásti**, L.P. Villy, B. Leits, A. Kéri, A. Kohut, É. Kovács-Széles, T. Ajtai, Zs. Geretovszky, G. Galbács: On-line and off-line LIBS detection of nanoaerosols generated by electrical discharges
International Workshop on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (2020) Szeged
5. **D.J. Palásti**, A. Metzinger, J. Kopniczky, B. Hopp, G. Galbács: LIBS-based approaches for the classification of glass microfragment samples
International Workshop on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (2020) Szeged
6. **D.J. Palásti**, P. Janovszky, Á. Bélteki, É. Kovács-Széles, M. Óvári, Cs. Tóbi, Zs. Varga, A. Berlizov, G. Galbács: Analysis of uranium-bearing materials by laser-induced breakdown spectroscopy
International Workshop on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (2020) Szeged
7. P. Janovszky, K. Jancsek, **D.J. Palásti**, J. Kopniczky, B. Hopp, T.M. Tóth, G. Galbács: Identification and Be, Li content assessment of minerals in granitoid rock samples by LIBS
International Workshop on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (2020) Szeged

8. **D.J. Palásti**, M. Veres, M. Füle, G. Galbács: Optical and numerical modeling of a spatial heterodyne laser-induced breakdown spectrometer
International Workshop on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (2020) Szeged
9. L.P. Villy, **D.J. Palásti**, G. Skoda, A. Kohut, Zs. Geretovszky, É. Kovács-Széles, G. Galbács: Signal enhancement of gaseous samples in the presence of nanoaerosols generated by a spark discharge
International Workshop on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (2020) Szeged
10. **D.J. Palásti**, M. Veres, M. Füle, Zs. Geretovszky, G. Galbács: Computational and experimental investigations on a tuneable spatial heterodyne spectrometer
26th International Symposium on Analytical and Environmental Problems (2020) Szeged
11. **D.J. Palásti**, Á. Béltéki, É. Kovács-Széles, A. Berlizov G. Galbács: Experimental optimization and assessment of the performance of laser-induced breakdown spectroscopy for the quantitative analysis of 20+ trace elements in uranium dioxide
European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry (2019) Pau
12. **D.J. Palásti**, A. Gojani G. Galbács, I. Gornushkin: Quantitative and qualitative analysis of liquid samples by spatial heterodyne Raman spectroscopy
European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry (2019) Pau
13. **D.J. Palásti**, M. Veres, I. Rigó; Zs. Geretovszky, É. Kovács-Széles, A. Gojani, I. Gornushkin, G. Galbács: Optimization and detailed spectroscopic characterization of an improved spatial heterodyne laser-induced breakdown spectroscopy setup
European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry (2019) Pau
14. **D.J. Palásti**, P. Albrycht, K. Paszkowska, G. Galbács: Evaluation of silver nanoparticles on indiumtin-oxide (ITO) type SERS substrates for nanoparticle-enhanced LIBS analysis of liquid samples
Euro-Mediterranean Symposium on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (2019) Brno
15. **D.J. Palásti**, A. Kéri, L.P. Villy, T. Biros, Á. Béltéki, B. Leits, P.M. Janovszky, A. Kohut, É. Kovács-Széles, Zs. Geretovszky, G. Galbács: Nanoparticle analysis by LIBS and ICP-MS in industrial and environmental samples
Euro-Mediterranean Symposium on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (2019) Brno

16. **D.J. Palásti**, A. Metzinger, A. Berlizov, É. Kovács-Széles, G. Galbács: Exploring the potential of LIBS for the in-field analysis of nuclear samples
Euro-Mediterranean Symposium on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (2019) Brno
17. **D. J. Palásti**, L. Himics, T. Váczi, M. Veres, I. Gornushkin, G. Galbács: Optical modelling of spectroscopic characteristics of a dual-grating tunable spatial heterodyne LIBS spectrometer
Euro-Mediterranean Symposium on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (2019) Brno
18. N. Sushkov, P. Janovszky, **D.J. Palásti**, G. Galbács, T. Labutin, N. Lobus, K. Fintor: The use of laser spectroscopy techniques in studying zooplankton
Euro-Mediterranean Symposium on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (2019) Brno
19. **D.J. Palásti**, A. Metzinger, G. Galbács: Spectral fingerprint analysis of forensic glass microsamples by LIBS
Euro-Mediterranean Symposium on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (2019) Brno
20. **D.J. Palásti**, A. Metzinger, J. Kopniczky, G. Galbács: Üvegszemcsék LIBS spektroszkópiás megkülönböztethetőségének vizsgálata
62. Spektrokémiai Vándorgyűlés (2019) Balatonszárszó
21. **D.J. Palásti**, P. Albrycht, K. Paszkowska, P. Janovszky, G. Galbács: Az analitikai jel növelése lézer indukált plazma spektroszkópiában ezüst nanorészecskéket tartalmazó felület-erősített Raman spektroszkópiás szubsztrátok alkalmazásával
62. Spektrokémiai Vándorgyűlés (2019) Balatonszárszó
22. **D.J. Palásti**, G. Galbács, A. Gojani, I. Gornushkin: Folyadékminták Raman-analízise térbeli heterodin-spektroszkópiával
VIII. Eötvözet Konferencia (2019) Szeged
23. **D.J. Palásti**, T. Ajtai, Z. Bozóki, É. Kovács-Széles, G. Galbács: Qualitative discrimination of coal aerosols via multivariate statistical evaluation of LIBS spectra
XVI. Hungarian - Italian Symposium on Spectrochemistry (2018) Budapest

24. **D.J. Palásti**, A. Metzinger, É. Kovács-Széles, G. Galbács: Qualitative discrimination analysis of corn hybrids by laser-induced breakdown spectroscopy
European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry (2017) Sankt Anton
25. **D.J. Palásti**, I. Rigó, M. Veres, G. Galbács: Construction and initial characterization of a spatially heterodyne LIBS spectrometer
Euro-Mediterranean Symposium on Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (2017) Pisa
26. **D.J. Palásti**, É. Kovács-Széles, A. Berlizov, G. Galbács: Feasibility study of contaminants analysis in uranium-containing materials by LIBS spectroscopy
23rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems (2017) Szeged
27. **D.J. Palásti**, M. Veres, G. Galbács: Térbeli heterodin lézer indukált plazma spektrométer építése és jellemzése
XL. Kémiai Előadói Napok (2017) Szeged
28. **D.J. Palásti**, G. Galbács: Kukoricatermések lézer indukált plazma spektroszkópiás vizsgálata hibridek kemometriai azonosítása céljából
VI. Eötvözet Konferencia (2017) Szeged
29. **D.J. Palásti**, T. Ajtai, R. Rajkó, G. Galbács: Tüzelésre szánt szenek diszkriminációja tömbi és aeroszol fázisú LIBS spektrumaik alapján
V. Eötvözet Konferencia (2016) Szeged
30. Metzinger, **D.J. Palásti**, A. Nagy, A. Gáspár, É. Kovács-Széles, T. Ajtai, Z. Bozóki, G. Galbács: Analysis of liquid and aerosol sample by laser-induced breakdown spectroscopy
European Winter Conference on Plasma Spectrochemistry (2015) Münster
31. **D.J. Palásti**, A. Metzinger, R. Rajkó, T. Ajtai, É. Kovács-Széles, G. Galbács: Discriminant Analysis of coal samples by laser-induced breakdown spectroscopy
21st International Symposium on Analytical and Environmental Problems (2015) Szeged
32. **D.J. Palásti**, A. Metzinger, R. Rajkó, T. Ajtai, É. Kovács-Széles, G. Galbács: Szén minták és az ezekből lézeres ablációval keltett aeroszolok vizsgálata lézer indukált plazma spektroszkópiával
Magyar Aeroszol Konferencia (2015) Szeged

Témavezetői nyilatkozat

Alulírott, mint *Palásti Dávid Jenő* jelölt doktori témavezetője a *Teljesítménynövelő technikák és analitikai módszerek fejlesztése a lézer indukált plazma spektroszkópiában* című doktori értekezéshez kapcsolódó

A. Metzinger, **D.J. Palásti**, É. Kovács-Széles, T. Ajtai, Z. Bozóki, Z. Kónya, G. Galbács:

Qualitative discrimination analysis of coals based on their laser-induced breakdown spectra

Energy and Fuels, 30 (2016) 10306-10313.

és

A.B. Gojani, **D.J. Palásti**, A. Paul, G. Galbács, I. B. Gornushkin:

Analysis and classification of liquid samples using spatial heterodyne Raman spectroscopy

Applied Spectroscopy, 73 (2019) 1409-1419.

publikációval és a jelölt 5. és 3. tézispontjával kapcsolatban ezúton nyilatkozok arról, hogy az értekezésben felhasznált eredmények tükrözik a jelölt önálló hozzájárulását.

.....

Prof. Dr. Galbács Gábor