

FOTOAKUSZTIKUS ELVEN MŰKÖDŐ MÉRŐMŰSZEREK
FEJLESZTÉSE ÉS GYAKORLATI ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK
BEMUTATÁSA

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Huszár Helga

Témavezetők:

Dr. Szabó Gábor
Egyetemi tanár,
az MTA Levelező tagja

Dr. Bozóki Zoltán
Tudományos főmunkatárs



SzTE TTIK Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék
Környezettudományi Doktori Iskola

2008

Szeged

1. Bevezetés

Napjainkban a gáزدetektálási módszerek és berendezések iránti igény jelentős mértékben megnőtt, mivel a technikai fejlődés és a vele járó környezetszennyezés mértéke egyre jobban erősödik. Ezen igényeket és követelményeket jelenleg a széles körben elterjedt laboratóriumi detektálási módszerek csak részben tudják kielégíteni, és pl. a környezettudomány számára szükséges terepi mérések elvégzésére alkalmas mérés technikák fejlődése távolról sem követi az igények növekedését. Megnyílt, tehát a lehetőség a korábban főleg laboratóriumi körülmények között alkalmazott módszerek (mint pl. a fotoakusztikus gáزدetektálás) gyakorlati alkalmazására. A módszer fejlődése több irányban indult el úgy, mint új fényforrások használata, új alkalmazások felkutatása, valamint automatikusan működő rendszerek fejlesztése.

Dolgozatom középpontjában a fotoakusztikus detektálási módszer áll. Magát a fotoakusztikus effektust először Bell észlelte, és 1880-ban megjelent dolgozatában ismertette. Bell az általa összeállított berendezést telekommunikáció céljára szolgáló gyakorlati eszköznek szánta, miután azonban erre a célra nem vált be, közel száz évre feledésbe merült egészen a lézerek 1960-as évekbeli elterjedéséig. A lézert, mint gerjesztő forrást először Kerr és Atwood alkalmazta a fotoakusztikában 1968-ban, ekkor rubin lézert használtak a levegő nedvességtartalmának kimutatására [2]. A CO₂ és a CO lézerek megjelenésével a fotoakusztika hatékony eszközhöz jutott a kis gázkoncentrációk kimutatásában, mivel az általuk lefedett hullámhossz tartományban (9-11 μm CO₂ és 5 μm környéke a CO) számos molekula gerjeszthető nagy hatékonysággal [3, 4]. A kezdeti eredmények – nagy szelektivitás, szub-ppb (**p**arts **p**er **b**illion, 1 nmol/mol) érzékenység – igen

biztatóak voltak, azonban a 90-es évek elejére kiderült, hogy a közép- és távoli infravörös tartományban működő lézerek magas ára és alacsony megbízhatósága olyan korlátozó tényező, ami a gyakorlati felhasználások elterjedését megakadályozta. Ez a felismerés a fotoakusztikus módszer iránti érdeklődést ismét radikálisan csökkentette. A 90-es évek első felében, elsősorban a telekommunikációs alkalmazások miatt a félvezetőlézerek elterjedésével vált ismét versenyképes eljárássá, különböző gázok kis mennyiségeinek kimutatásához. Ezek az eszközök a közeli infravörös tartományban működnek, ahol a gázok abszorpciós tényezője általában több nagyságrenddel kisebb, mint a közép- és távoli infravörösben, ami értelemszerűen a mérés érzékenységét is csökkenti. Számos olyan gyakorlati probléma van, ahol elsősorban nem az extrém nagy (szub-ppb) érzékenységre van szükség, hanem a fotoakusztika egyéb előnyei – szelektivitás, linearitás, gyorsaság – az igazán fontosak, valamint az, hogy a méréseket ipari és egyéb terepi körülmények között is el lehessen végezni.

A Szegedi Tudományegyetem Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékén már több mint egy évtizede folyik fotoakusztikus kutatás-fejlesztés. A fejlesztések egyik fő célja, hogy laboratóriumi eszközökből olyan mérőberendezések készüljenek, amelyek akár ipari, akár környezetvédelmi mérésekhez megfelelőek.

2. Célkitűzések

A munkám során bemutatott kutatások célja fotoakusztikus elven működő, diódalézereken alapuló, gáz fázisú anyagok, illetve gőzök koncentrációjának meghatározására alkalmas mérőberendezések fejlesztéséhez szükséges kutatások elvégzése, és a kifejlesztett műszerek gyakorlati alkalmazhatóságának vizsgálata.

A dolgozatomban egy mérőműszer tovább fejlesztésének eredményét és két új berendezés kifejlesztéséhez szükséges kísérleteket mutatom be, amelyek környezetvédelmi és ipari szempontból lényeges mérési problémákat oldanak meg.

Ezért célul tűzöm ki:

1. Repülőgépre telepíthető dióda lézeres fotoakusztikus vízgőz mérő berendezéshez egy újfajta modulációs eljárás kidolgozását, amely a repülőgépes mérésekre jellemző nyomástartományban (180-1000 mbar) érzékenyebb és pontosabb méréseket tesz lehetővé, mint a korábbi modulációs módszerek, miközben megtartja a rendszerre jellemző gyors válaszidőt és automatikus működést.
2. A földgáz dehidratációs folyamatában alkalmazott glikolok víztartalmának folyamatos monitorozására alkalmas fotoakusztikus berendezés kifejlesztését.
3. Egy olyan dióda lézeres fotoakusztikus elven működő ammónia mérő berendezés létrehozását, amely alkalmas a levegő ammónia-tartalmának folyamatos mérésére, terepi körülmények között a ppb koncentráció-tartományban.

3. Módszerek, eszközök

A fotoakusztikus effektus azon alapszik, hogy ha egy közegben - ami lehet gáz, folyadék és szilárd anyag is – periodikusan modulált fény nyelődik el, az anyag molekulái magasabb energiaszintre jutnak, majd visszakerülnek alapállapotba, így periodikus hőmérsékletváltozás történik a közegben, ami periodikus nyomásváltozást idéz elő, ez tovaterjed, azaz hang keletkezik, amelyet

valamilyen módszerrel (pl. mikrofonnal) detektálni lehet. A keletkezett hang amplitúdója arányos a fényelnyelő komponens koncentrációjával.

Egy fotoakusztikus berendezés általában négy fontosabb részegységből áll: A mérendő komponens elnyelési vonalával megegyező hullámhosszú *fényforrásból*, amelyből kilépő nyaláb valamilyen fénymodulációs módszer alkalmazása után áthalad a mintát tartalmazó *fotoakusztikus kamrán*, amelyben periodikus nyomásváltozást hoz létre. A kamrába helyezett mikrofon jele egy *mikrofonerősítő segítségével* történő jelerősítés után egy *jelfeldolgozó egységbe* (lock-in, fázis érzékeny erősítő) jut.

4. Új tudományos eredmények

Bevezettem egy új nyomásfüggő modulációs eljárást, ami a vízgőzmérő rendszer érzékenységét körülbelül 20 %-kal javította meg az atmoszférakutatásban tipikus nyomás tartományon (200-1000 mbar), megtartva a rendszer gyors válaszüdejét. Az így kapott legkisebb kimutatható vízgőz koncentráció 300 ppb 200 mbar nyomáson, és 188 ppb 1000 mbar nyomáson, amely megfelel az atmoszférakutatásokban megkövetelt értékeknek. Megvizsgáltam a rendszer működését egy szimulált atmoszféra mérés keretében, amivel bebizonyítottam, hogy az új modulációs eljárás alkalmazható a repülőgépen történő mérésekhez [1, 6, 8].

Megmutattam, hogy a rendszernek a nyomásfüggő érzékenységét döntő mértékben a mikrofon érzékenységének nyomásfüggése határozza meg [1, 8].

Elkészítettem egy diffúziós elvű mintavételi egységet, amelyet kombináltam a gáz fázisú fotoakusztikus mérő módszerrel, így kialakítottam

egy olyan mérőberendezést, amely alkalmas a glikol víztartalmának mérésére [2, 4, 9].

Kalibráltam a glikol víztartalmát mérő fotoakusztikus műszert alacsony és magas víztartalmakra is különböző glikol mintákban. Megállapítottam, hogy a legkisebb kimutatható víz koncentráció függ a glikol fajtájától, viszont nem függ attól, hogy a glikol a technológia mely fázisából származik [2, 4, 9].

Kifejlesztettem egy olyan ammónia koncentrációt mérő műszert, amelynek kimutatási határa 50 ppb. A terepi mérésekkel bebizonyítottam, hogy a laboratóriumban kalibrált műszer alkalmas akár terepi körülmények között is működni [3, 7].

Kifejlesztetem egy olyan két hullámhosszon történő különbségi mérési eljárást, amellyel a levegőben lévő mérést zavaró komponensek (vízgőz és szén-dioxid) keresztérzékenysége jelentősen csökkenthető. [3, 7].

Tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

1. M. Szakáll, **H. Huszár**, Z. Bozóki and G. Szabó: On the Pressure Dependent Sensitivity of a Photoacoustic Water Vapor Detector Using a Novel Modulation Method
Infrared Physics and Technology. **48**, 192-201 (2006)
2. **H. Huszár**, Z. Bozóki, Á. Mohácsi, G. Szabó, S. Puskás and J. Tamás, Combination of photoacoustic detector with diffusion sampler for the measurement of water vapor concentration in ethylene glycols for the natural gas industry
Sensors and Actuators B **119** (2006) 600-607
3. **H. Huszár**, A. Pogány, Z. Bozóki, Á. Mohácsi, L. Horváth, G. Szabó: Ammonia monitoring at ppb level using photoacoustic spectroscopy for environmental application

Sensors and Actuators B 134 (2008)1027-1033

4. **Huszár Helga**, Bozóki Zoltán, Mohácsi Árpád, Szabó Gábor, Puskás Sándor, Tamás János: Etilén-glikol víztartalmának mérése diffúziós mintavevővel ellátott fotoakusztikus detektorral
MOL Szakmai Tudományos Közlemények 2005/2; 177-180

Konferencia kiadványok

5. **H. Huszár**, M. Szakáll, Z. Bozóki, A. Zahn and G. Szabó: Characterization of Photoacoustic Water Vapor Detector for Atmospheric Applications
7th Atmospheric Spectroscopy Applications Meeting, Reims-France, 6-8 September 2005, Proceeding book pp. 243-244.
6. **H. Huszár**, A. Pogány, L. Horváth, Z. Bozóki and G. Szabó: Ammonia sensor for agricultural applications using diode laser based photoacoustic spectroscopy
European Geosciences Union General Assembly 02-07 April 2006, Vienna Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 06765, 2006, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-06765,
7. **H. Huszár**, Z. Bozóki, Á. Mohácsi, G. Szabó, A. Zahn: WaSul-Hygro: A diode laser based photoacoustic instrument for airborne measurement of water vapour and total water concentration.
European Geosciences Union General Assembly 14-18 April 2008. Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-01890, 2008, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2008-A-01890
8. **Huszár Helga**, Bozóki Zoltán, Mohácsi Árpád, Szabó Gábor, Puskás Sándor, Tamás János: Diffúziós mintavételezésen alapuló fotoakusztikus detektor alkalmazása vízgőz koncentráció meghatározására etilén-glikolban
XXVI. Nemzetközi Olaj- és Gázipari Konferencia, Kiállítás (2005), Előadás kivonatok

További tudományos közlemények, előadások

1. Smausz T., Hopp B., **Huszár H.**, Kecskeméti G., Pelsöczy K. I., Turzó K.: Fogvékonyréteg előállítása impulzus lézeres vékonyréteggépítéssel. Budapest, Október 21. Kvantumelektronika 2003, P 36.

2. T. Smausz, B. Hopp, **H. Huszár**, Z. Tóth, G. Kecskeméti: Pulsed laser deposition of bioceramic thin films from human tooth *Applied Physics A* **79**, 1101-1103 (2004)
3. Szabó Gábor, Bozóki Zoltán, Mohácsi Árpád, Szakáll Miklós, Hegedűs Veres Anikó, Filus Zoltán, Ajtai Tibor, **Huszár Helga**, Varga Attila: Fotoakusztikus gázdetektáló rendszerek alkalmazás orientált fejlesztése *Magyar Tudomány* **12**; 1489-1494 (2005)
4. Zoltán Bozóki, Miklós Szakáll, Árpád Mohácsi, Attila Varga, **Helga Huszár**, Anikó Hegedűs Veres, Zoltán Filus, János Csikós, Gábor Szabó: Photoacoustic System Development for Industrial and Environmental Gas Monitoring *Forum Acousticum*, **91**, S95, Budapest 2005. augusztus 29-szeptember 2.
5. M. Szakáll, Z. Bozóki, Á. Mohácsi, A. H. Veres, A. Varga, **H. Huszár** and G. Szabó: Photoacoustic Detectors for Gas Emission and Imission Monitoring *7th Atmospheric Spectroscopy Applications Meeting*, Reims-France, 6-8 September 2005, Proceeding book 131-134.
6. Dr. Szabó Gábor, Dr. Mohácsi Árpád, Dr. Bozóki Zoltán, Szakáll Miklós, Hegedűs Veres Anikó, Varga Attila, **Huszár Helga**, Dr. Motika Gábor, Schmél Zoltán, Krímer Tibor: Fotoakusztikus elven működő mérőberendezések a levegőszennyezés mérésére *XIX. Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás* 2005. október 24-26. Tanulmánykötet 52-56
7. Szabó G., Bozóki Z., Mohácsi Á., Szakáll M., Ajtai T., Csikós J., Filep Á., Filus Z., **Huszár H.**, H. Veres A., Pogány A., Varga A.: Gázok és folyadékok szennyező komponenseit mérő műszerek fejlesztése Ipari kapcsolatok napján bemutatott poszter, (2006)
8. dr. Bozóki Zoltán, Pap Gábor, **Huszár Helga**, Varga Attila, dr. Mohácsi Árpád, Prof. Dr. Szabó Gábor: Biogáz kénhidrogén- és vízgőz-tartalmának mérésére kifejlesztett fotoakusztikus berendezés *Bioenergia* 2007. II. évfolyam 3. szám-Június, 2-5
9. Pogány Andrea, **Huszár Helga**, Bozóki Zoltán, Szabó Gábor: Terepi mérésekre alkalmas fotoakusztikus ammóniamérő rendszer fejlesztése, Egyetemi meteorológiai füzetek No.21. Mérések a lokális skálától a globális folyamatokig - De miért is?, II. kötet 68-71 (2007)