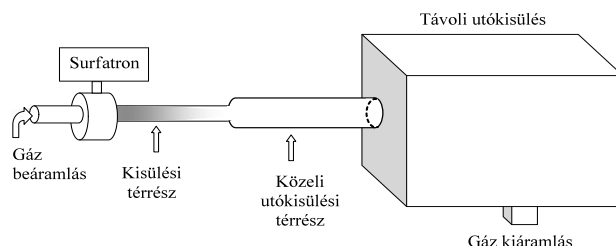


Sterilizálásra és felületkezelésre alkalmazható utókisülési plazmák modellezése

zárójelentés

A kémiaailag aktív, illetve UV sugárzó részecskéket tartalmazó kisülési plazmák számos területen találnak alkalmazásra. Számos alkalommal – különböző okokból kifolyólag, mint pl. túl magas gázhőmérséklet az aktív kisülési térrészben, vagy a kezelendő felületet roncsoló nagyenergiájú ionok jelenléte – nem az aktív kisülési térrészt, hanem az áramló utókisülést alkalmazzuk. Ha a kisülést áramló gázban hozzuk létre, a gázáram a plazmában keletkezett aktív részecskéket egy távoli reaktorba szállíthatja, amelynek jóval nagyobb méretei lehetnek mint a kisülésnek, pl. $60 \times 30 \times 28 \text{ cm}^3$ a 6 mm átmérőjű és 10 cm hosszú csővel szemben [K. Kutasi *et al. Plasma Processes and Polymers* **5** 840 (2008)]. Egy ilyen áramló utókisülési rendszert mutatunk az ábrán a térrészek megjelölésével.



Az áramló utókisülési rendszer három részből áll: (i) aktív kisülés, (ii) a kisülést és az utókisülési cellát összekötő térrész és (iii) az utókisülési reaktor. Ezt a rendszert két különböző modellel, a kisülésre és közeli utókisülésre, valamint a reaktorban keletkező távoli utókisülésre érvényes modellekkel lehet leírni. A surfatronnal generált felülethullám mikrohullámú kisülésre alapuló rendszer esetén – mely rendszer projektünk fő vizsgálati tárgya volt –, a kisülésben lévő részecskék sűrűségét a homogén elektron Boltzmann egyenleten és a részecskék keletkezését és eltűnését leíró mérleg-egyenleteken alapuló 1-dimenziós kinetikus modellel határozzuk meg. A stationárius kisülésre kapott sűrűségeket kezdeti feltételként használjuk a közeli utókisülést leíró kinetikus modellben, amely ugyanazokra a mérleg-egyenletekre épül mint a kisülési modell, viszont ebben az esetben az egyenleteket idő függvényében oldjuk elektromos tér hiányában. Az utókisülési reaktorba beáramló részecskék sűrűségének eloszlását egy 3-dimenziós hidrodinamikai modell segítségével követjük.

Molekuláris gázokban, úgy mint $\text{N}_2\text{-O}_2$, Ar-O_2 és $\text{Ar-N}_2\text{-O}_2$ keltett plazmák gazdagok kémiaailag aktív részecskékben, mint pl. O és N atomok, O_3 , metastabil molekulák $\text{N}_2(\text{A})$ és $\text{O}_2(\text{a})$, metastabil atomok; valamint sugárzó részecskékben, úgy mint $\text{NO}(\text{A})$ és $\text{NO}(\text{B})$ molekulák, illetve $\text{Ar}(4\text{s})$ rezonáns állapotú atomok, amelyek az UV sugárzásért felelősek. Ezen kisülési plazmák egyik legfontosabb eleme az oxigén atom, mely számos alkalmazási folyamat fontos résztvevője, mint pl. plazma alapú sterilizálás, metál-oxid nanohuzalok előállítás, oxid vékonyrétegek leválasztása, polimerek funkcionálizálása, szerves szennyeződések eltávolítása, kompozitok szelektív maratása, fémek passzíválása és felületek aktiválása. Számos alkalmazásban az oxigén atomok és ionok (úgy mint Ar^+), metastabilok vagy UV sugárzás együttes hatása jelentkezik. Az energetikus Ar^+ ionok az oxigén atomokkal illetve molekulákkal együtt szerepet játszanak a szénhidrogének maratásában az ún. kémiai porlasztási folyamat során. Itt az oxigén atomok és molekulák a felületen az ionok által keltett hibákkal lépnek reakcióba illékony vegyületeket alkotva, mint pl. CO , CO_2 . A kémiai porlasztást döntő folyamatnak találták a baktériumspórák maratása esetén, amely sterilizáláshoz vezet, valamint biológiai szennyeződéseknek: prionok, pirogének, felületekről való eltávolításában. A 275 nm-nél rövidebb hullámhosszú fotonok, amelyek az $\text{NO}(\text{A})$, $\text{NO}(\text{B})$ és $\text{Ar}(^3\text{P}_1, ^1\text{P}_1)$ köszönhetően lehetnek jelen a plazmában, fontos szerepet játszanak a sterilizálási folyamatban, mivel képesek szakadást okozni a DNS láncban. Az VUV/UV fotonok és O atomok együttes hatását figyelték meg a sterilizálási folyamatban, a zsírsavak eltávolítása, valamint a poliolefin (hexatriacontane -HTC) maratása során. Mivel minden alkalmazási folyamatban más-más részecskék, illetve részecske csoportok játszanak szerepet, a különböző alkalmazások különböző plazmaösszetételt igényelnek. A kisülések és azok utókisüléseinek különböző kisülési feltételek mellett történő részletes jellemzése lehetőséget ad arra, hogy az adott alkalmazáshoz ki tudjuk választani a legmegfelelőbb kisülési rendszert. A részecskesűrűségek ismerete a rendszer minden egyes pozíciójában segít megérteni a különböző részecskék és folyamatok szerepét az egyes alkalmazásokban. Az elmúlt három évben a fent említett hasznos részecskékben gazdag, orvosi műszerek sterilizálásra és felületek kezelésére

alkalmas plazmákat vizsgáltunk egyrészt a rendszerek megértése, másrészt az alkalmazások optimalizálása céljából.

N₂-O₂ felülethullám mikrohullámú kísérletek és utókisülések [1]

A rendszer vizsgálatához felépítettünk egy az N₂-O₂ utókisülési rendszert leíró önkonzisztens modellt, kifejtve egy 3-dimenziós hidrodinamikai modellt, amely a gázáram figyelembevételével képes megadni a részecskék sűrűségének, illetve a gáz hőmérsékletének az eloszlását az utókisülési reaktorban. Felépítettünk egy adatbázist, amely leírja a rendszerben a molekula kinetikát figyelembevéve úgy a gázfázisú, mint a felületi folyamatokat. Az aktív atomok rekombinációja a reaktor falán nagyon effektív - főleg fém felületek esetén -, ezért megvizsgáltuk a különböző felületek hatását a részecskék sűrűségeloszlására a reaktorban. Megállapítottuk, hogy nagyterefogatú reaktorok esetén is a felületi rekombináció nagyban befolyásolja az atomok sűrűségének térfogati eloszlását és ezen keresztül számos molekula sűrűségét is. Továbbá megmutattuk, hogy a reaktort rozsdamentes acélból a legkevesbé ajánlott készíteni. Kinetikus modell segítségével követtük a részecskék sűrűségének a változását a kisülést és az utókisülési cellát összekötő térrészben és meghatároztuk ezen rész ideális méretét ahhoz, hogy a sterilizálás szempontjából káros részecskék ne juthassanak a reaktorba, de ugyanakkor az inaktiválásban fontos szerepet játszó részecskék sűrűsége megfelelő nagyságú legyen.

N₂-O₂ rendszerben a sterilizálás nagyrészt az O atomok és az UV fotonok hatásának köszönhető. N₂-O₂ kisülésben az UV fotonok az NO molekuláknak az A²Σ⁺, B²Π és C²Π állapotból az X²Π alapállapotba való átmenete során emittálódnak és alkotják az NO_γ, NO_β és NO_δ spektrális rendszereket. Kísérletileg az N₂-O₂ utókisülésben az NO_γ és NO_β rendszereket figyelték meg, közel azonos intenzitással. A korábbi modellek a γ rendszert generáló NO(A) molekulákra nagyságrendekkel kisebb sűrűséget adtak mint az NO(B) molekulák esetén, mely ellentétben volt a kísérleti megfigyelésekkel. A célunk ezen eltérések tisztázása és az utókisülésben az UV emisszió kisülési feltételektől való függésének a meghatározása volt. Ennek érdekében átdolgoztuk az NO(A) és NO(B) keletkezését és eltűnését leíró kinetikus sémát és bebizonyítottuk, hogy az utókisülésben az NO(A) molekula az NO(B)-hez hasonlóan az N és O atomok asszociatív rekombinációja során keletkezik. Továbbá megmutattuk, hogy az NO(A) illetve NO(B) által generált γ és β rendszerek intenzitása azonos nagyságrendű az utókisülésben és hogy a sterilizálás szempontjából fontos UV sugárzás nagyrészt az NO(A) molekuláktól származik. A modell hitelességét az NO(A) sűrűségeloszlások és a mért UV intenzitáseloszlások összehasonlításával végeztük, az eloszlások egyezése igazolta a választott reakciósema helyességét. A számolások rámutattak arra, hogy a sterilizáló reaktorban homogén sűrűségeloszlást, mely ideális az alkalmazáshoz, 2 Torr nyomás és 1000 sccm gázáram mellett lehet létrehozni.

Alacsony nyomású reaktorban Ar ionsugárral keltett N₂-O₂, NO és NO-N₂ plazmák [2,3]

N₂-O₂ felülethullám mikrohullámú kísérletekben az O₂-vel ellentétben az N₂ disszociációs foka nagyon alacsony, a kisülési cső átmérőjétől függően 10% alatti. Ennek következtében az N és O atomok asszociációja során keletkező UV-t emittáló NO(A,B) molekulák keletkezésést az N atomok koncentrációja limitálja. Magasabb N₂ disszociációs fok érhető el kiterjedő termikus plazma (expanding thermal plasma) alkalmazásával. Itt a kis nyomáson molekuláris gázokkal feltöltött reaktorba egy nagynyomású, atmoszférikus, termikus plazmasugárt engedünk be. A két térrész közötti nagy nyomáskülönbségnek köszönhetően a plazmasugár szuperszonikus sebességgel terjed a reaktorban. Az általunk vizsgált rendszerben a plazmasugár egy Ar ívkisülésből származik, így a reaktorba nagysebességű Ar ionok kerülnek, amelyek képesek az ott lévő molekulákat disszociálni. Egy 3-dimenziós hidrodinamikai modellel meghatároztuk a molekulák disszociációjával triggerelt plazmakémiai folyamatok során keletkezett részecskék sűrűségeloszlását. A számolásokat elvégeztük különböző ion és molekuláris gáz áramlási sebességekre konstansan tartva a reaktorban a nyomást 0.2 Torr-on. Megállapítottuk, hogy az N₂ és O₂ disszociációja hangolható a gázárammal, ami egy lényeges előny az utókisülésekkel szemben, valamint hogy az NO molekulák keletkezését nagyban befolyásolják a felületi folyamatok.

N₂-O₂ kísérletekben, illetve ezek kiáramló rendszerében az N és O atomok felületi rekombinációja következtében jelentős mennyiségű mérgező NO keletkezik. Ezért fontossá válik alacsony nyomáson is vizsgálni az NO lebontását és stabil O₂ és N₂ molekulákká való konvertálását. Munkánk során az NO lebontását egy NO gázzal töltött alacsony nyomású reaktorban ívkisülésből származó Ar plazmasugárral keltett plazmában vizsgáltuk. Az NO lebontása során a plazmában különböző

alkalmazásokban hasznosítható aktív részecskék is keletkeznek, úgy mint O és N atomok. Egy 3-dimenziós hidrodinamikai modell segítségével meghatároztuk különböző plazmasugár összetétel (mely az ívkisülés áramától függ) és áram, illetve NO gázáram mellett a reaktorban a plazma összetételét. Megállapítottuk, hogy a reaktor jelentős részében az N₂, O₂, és NO molekulák sűrűségeloszlása homogén, miközben az O atomok sűrűsége csökken a falak irányába és az N atomok néhány cm-re a reaktor bemenetétől eltűnnek az NO molekulákkal történő ütközésük következtében. Az N atomok hiányában az NO molekulák újrakeletkezése az atomok felületi rekombinációja során lehetetlené válik. Megmutattuk, hogy az NO lebontása hatékonyabbá válik az NO gázáram csökkentésével valamint az ívkisülés áramának növelésével. További vizsgálatok során az egyik reaktor bemenetnél az NO gázáramot N₂-vel helyettesítettük és tanulmányoztuk az N₂ szerepét az NO lebontásában. N₂ hozzáadásával hatékonyabb NO lebontást figyeltünk meg, illetve nagyobb N sűrűséget a reaktorban, habár az N atomok sűrűségaránya így sem haladta meg az 1%-ot.

Ar-O₂ felülethullám mikrohullámú kisülések és utókisülések [4-7]

Ar-O₂ felülethullám mikrohullámú kisülési rendszer esetén két önkonzisztens modellt fejlesztettünk ki: egy a kisülés és közeli utókisülés leírására alkalmas 1-dimenziós kinetikus modellt, és egy a reaktorban kialakult távoli utókisülésre érvényes hidrodinamikai modellt. A modellek segítségével meghatároztuk a kisülés jellemzőit – elektronok átlagenergiája, kisülést fenntartó elektromos tér, plazma elektronegativitása (negatív ionok és elektronok sűrűségének aránya) –, a részecskék sűrűségét a kisülésben, a sűrűségek időbeli viselkedését a közeli utókisülésben, valamint a sűrűségeloszlásokat a reaktorban. A modellek helyességét a számolt oxigén atomok sűrűségének kísérleti eredményekkel való összehasonlítása során bizonyítottuk.

Szisztematikus számolásokat végeztünk a kezdeti gázkeverék változtatásával – a 100%Ar-tól a 100%O₂-ig – különböző gáznyomások esetén. Megállapítottuk, hogy konstans elektronsűrűség esetén a fenntartó elektromos tér csökken a kezdeti gázkeverékben lévő Ar arány növelésével, miközben az elektronenergia minimumot mutat a 80%Ar-os keverékben. A részecskék esetén meghatároztuk különböző keverékek esetén a részecskék keletkezésében és eltűnésében fontos szerepet játszó folyamatokat, illetve követtük hogyan változik a részecskéknek a kisülésben betöltött szerepük a kezdeti feltételekkel. Úgy a plazmasterilizálás, mint a felületkezelés szempontjából az egyik legfontosabb részecske az oxigén atom. Megállapítottuk, hogy az oxigén molekula disszociációja változik a kezdeti gázkeverék összetételével, nevezetesen növekszik az Ar arány növelésével, így a kisülésben akár 60%-os disszociációs fok is elérhető. Továbbá megmutattuk, hogy a disszociációs fok nő a kisülési cső átmérőjének a növelésével és csökken az atomoknak a kisülés felületén történő rekombinációjával. Az atomok felületi rekombinációja függ a felület hőmérsékletétől, így ennek változtatásával az atomok koncentrációja szabályozható.

Alkalmazások szempontjából a hasznos térrészek a közeli és távoli utókisülés. A kisülési modellel kapott részecskesűrűségeket kezdeti feltételként alkalmazva a közeli utókisülés modellel vizsgáltuk a részecskék sűrűségének időbeni változását a kisülést a reaktorral összekötő térrészben. Mint már említettük az ionoknak szerepük lehet bizonyos alkalmazási folyamatokban – úgy mint felületkezelés, káros fehérjék felületről való eltávolítása –, ezért először az ionok viselkedését vizsgáltuk. Különböző kezdeti gázkeverék esetén végzett számolások azt mutatták, hogy kis nyomáson, 1 mbar, 100%Ar esetén a domináns Ar⁺ és Ar₂⁺ ionok 1 ms-ig (ami a gázáramtól függően néhány cm távolság lehet a kisülés végétől) képesek megmaradni. Továbbá, már kis O₂ hozzáadásával, úgy mint 5%, az utókisülésben az O₂⁺ ionok válnak dominánssá, és miközben a többi ion 0.1 ms alatt rekombinálódik, az O₂⁺ ionok 1 ms-ig lesznek jelen az utókisülésben. A nyomás növelésével a molekuláris ionok veszik át a szerepet és akár 10 ms-ig is megmaradhatnak 10 mbar, és annál nagyobb nyomásokon. Ami az UV sugárzást biztosító gerjesztett Ar atomokat illeti, azt figyeltük meg, hogy 100%Ar kisülés utókisülésében 1 ms-ig lesznek jelen, de már kis 5% O₂ hozzáadás esetén is élettartamuk 0.1 ms alá csökken, illetve tovább csökken a nyomás növelésével. Az utókisülésben a hosszú élettartamú aktív részecskék az O₂(a) és O₂(b) molekulák, valamint az alapállapotú O atomok. Az O₂(b) molekulák 10 ms-ig, az O atomok 100 ms-ig, míg az O₂(a) metastabilok ennél jóval hosszabb ideig képesek megmaradni. Ezen részecskék élettartamát csak kis mértékben befolyásolja a kezdeti gázkeverék illetve gáznyomás. Az O atomok esetén meghatároztuk az O₂ disszociációs fokot is, amely az abszolút sűrűség mellett egy fontos paraméter az alkalmazások szempontjából is. A disszociációs fok 95%Ar-5%O₂ keverékben találtatott a legnagyobb, pl. 4 mbar-on 37% a kisülés végén, mely 14 ms alatt 10% alá csökkent. A nyomás változtatásával a disszociációs fok egy minimumot mutatott 4 mbar-on. A kisülés végétől 0, 1 illetve 10 ms távolságra helyezett aluminium reaktorban a 3-dimenziós modell

segítségével meghatároztuk a részecskesűrűségek, a disszociációs fok, valamint az $O_2(a)$ hozam ($[O_2(a)]/[O_2(X)]$) eloszlását különböző kezdeti gázkeverék és nyomás esetén. Megmutattuk, hogy az O atomok sűrűségeloszlását nagyban befolyásolja a felületi rekombináció, ezért a reaktorban a sűrűség közel egy nagyságrendet csökken, miközben az $O_2(a)$ sűrűségeloszlások közel homogének.

Ar-N₂-O₂ felülethullám mikrohullámú kisülések és utókisülések [8,9]

Ar-O₂-N₂ kisülések esetén elsősorban a UV sugárzást vizsgáltuk, mivel az UV fotonok jelentős szerepet játszanak a baktériumok inaktiválásában. Ar-O₂ kisülésben az UV sugárzás a rezonáns állapotú Ar atomoknak köszönhető, amelyek a 140-170 nm spektrális tartományban emittálnak. Ar-O₂-N₂ kisülésben extra UV sugárzás nyerhető az itt keletkező gerjesztett NO(A,B) molekuláknak köszönhetően. Az Ar-O₂-N₂ kisülés jelentőségét az adja, hogy őrzi mind az Ar-O₂, mind az N₂-O₂ kisülés előnyeit. Megmutattuk, hogy az UV fotonokat emittáló rezonáns Ar állapotok populációja, annak ellenére hogy magas a kisülésben, lecseng a közeli utókisülésben, így nem járulhatnak hozzá az utókisülési reaktorban az UV emisszióhoz. Ezzel ellentétben Ar-N₂-O₂ kisülésben és utókisülésben erős UV sugárzás figyelhető meg a gerjesztett NO molekuláknak köszönhetően. A számolások szerint 48%Ar-2%O₂-50%N₂ kisülésben közel azonos NO(A,B) sűrűségek érhetők el mint Ar mentes 98%N₂-2%O₂ kisülésben.

Ar-O₂ felülethullám mikrohullámú kisülés - Oxigén-jód lézer [10]

A már említett alkalmazások mellett az oxigén tartalmú kisülések ígéretesek a hagyományosan kémiailag pumpált oxigén-jód lézer gerjesztésére is az $O_2(a^1\Delta_g)$ molekula jelenlétének köszönhetően. A lézer esetén a sugárzás a jód $^2P_{1/2}$ állapotáról történik, amit a klasszikus kémiai lézer esetén a vegyileg generált $O_2(a)$ populál. Az $O_2(a)$ kémiai előállítás a robbanásveszélyes folyamat; ennek megkerülésére régóta cél az $O_2(a)$ plazmában történő előállítása. Ar-O₂ kisülést vizsgáltunk széles nyomástartományban és megállapítottuk, hogy 10 mbar-nál nagyobb nyomások esetén a pozitív erősítéshez szükséges $O_2(a)$ küszöbhozamnál - 400 K gázhőmérséklet esetén $\gamma_{th} = 0.24$ ($\gamma = [O(a)]/[O_2(X)]$) - nagyobb hozamok érhetőek el. A számolások megmutatták, hogy a hozam nő a gázkeverékben lévő Ar százalékkal, valamint a nyomással 100 mbar-ig. 100 mbar-nál az általunk megfigyelt legnagyobb érték 0.56 volt a 80%Ar-20%O₂ gázkeverékben. Rámutattunk arra, hogy a hozamnak maximuma van az utókisülésben, miközben az $I(^2P_{1/2})$ állapot depopulálásáért részben felelős O atomok koncentrációja hangolható.

Referenciák

- [1] K. Kutasi, C. D. Pintassilgo, J. Loureiro: "An overview of modelling of low-pressure post-discharge systems used for plasma sterilization", *2nd Int. Workshop on Non-equilibrium Processes in Plasmas and Environmental Science, Journal of Physics: Conference Series* **162** (2009) 012008
- [2] K. Kutasi "Composition of a plasma generated from N₂-O₂ by an Ar ion jet in a low pressure reactor" *J. Phys. D: Appl. Phys.* **43** 055201 (2010) [2.104]
- [3] K. Kutasi "Modelling of NO destruction in a low pressure reactor by an Ar plasma jet: species abundances in the reactor" *J. Phys. D: Appl. Phys* **44** *accepted* (2011) [2.104]
- [4] V. Guerra, K. Kutasi, M. Lino da Silva, P. A. Sá and J. Loureiro: "Kinetic simulation of discharges and afterglows in molecular gases", *Journal of High Temperature Material Processes* **14** 135-150 (2010) [0.268]
- [5] K. Kutasi, V. Guerra, P. Sa "Theoretical insight into Ar-O₂ surface-wave microwave discharges" *J. Phys. D: Appl. Phys.* **43** 175201 (2010) [2.104]
- [6] K. Kutasi, V. Guerra, P. A. Sá "O-atoms downstream an Ar-O₂ surface-wave microwave discharge" Proceedings of the XXth European Conference on Atomic and Molecular Physics in Ionized Gases (ESCAMPIG), (Ed. Z. Lj. Petrovic, G. Malovic, D. Maric, Institute of Physics, Belgrade, Serbia) 13-17 July 2010, Novi Sad, Serbia, P2.48
- [7] K. Kutasi, V. Guerra, P. A. Sá "Active species downstream an Ar-O₂ surface-wave microwave discharge for biomedicine, surface treatment and nanostructuring" *Plasma Sources Sci. Technol.*, *submitted* [2.384]
- [8] Kutasi K, Guerra V, Sá P, Loureiro J: UV radiation in Ar-O₂, N₂-O₂ and Ar-O₂-N₂ microwave discharges and post-discharges, CD Proc. of XXIX International Conference on Phenomena in

Ionized Gases, Cancún, México, 12-17 July, 2009 (4 pg.)

- [9] Kutasi K, Guerra V, Sá P, Loureiro J: Active species in Ar-O₂ and Ar-O₂-N₂ flowing microwave discharges and post-discharges, CD Proc. of 19th International Symposium on Plasma Chemistry (Ed. A. von Keudell, J. Winter, M. Böke, V. Schulz-von der Gathen), Bochum, Germany, July 26 - 31, 2009, P2.2.02 (4 pg.)
- [10] V. Guerra, K. Kutasi, P. A. Sá "O₂(a¹Δ_g) production in flowing Ar-O₂ surface-wave microwave discharges: possible use for oxygen-iodine laser excitation" *Applied Physics Letters* **96** 071503 (2010) [3.726]

Eredményeinket számos szóbeli előadás keretén belül is bemutattuk:

K. Kutasi, V. Guerra, Paulo Sa: Production of O₂(a) molecules in flowing Ar-O₂ surface-wave microwave discharges [oral presentation], at 63rd Annual Gaseous Electronics Conference and 7th International Conference on Reactive Plasmas, Paris, France, Friday 8th October 2010

K.Kutasi: Flowing plasma-afterglow as a promising sterilization medium [oral presentation], Plasmas in Medicine Workshop at 20th Europhysics Conference on Atomic and Molecular Physics in Ionized Gases (ESCAMPIG), 13-17 July 2010, Novi Sad, Serbia

K.Kutasi: O-atoms in Ar-O₂ surface wave microwave discharges and post-discharge [topical invited lecture], 2nd International Conference on Advanced Plasma Technologies (iCAPT-II) & International Plasma Nanoscience Symposium (iPlasmaNano-I), Piran, Slovenia, September 29th-October 2nd 2009

K. Kutasi: UV radiation in Ar-O₂, N₂-O₂ and Ar-O₂-N₂ microwave discharges and post-discharges [topical invited lecture], XXIX International Conference on Phenomena in Ionized Gases, Cancún, México, 12-17 July, 2009

K.Kutasi: Modeling of post-discharge plasmas for medical sterilization: effect of the wall material on the species density distributions in a large volume reactor [general invited lecture], The 7th EU-Japan Joint Symposium on Plasma Processing, Liblice, Czech Republic 23rd to 26th April 2009

K.Kutasi: Plasma sterilization: the applicability of discharge and post-discharge plasmas for medical sterilization [general invited lecture], 17th Symposium on Application of Plasma Processes & Visegrad Workshop on Research of Plasma Physics, Liptovsky Ján, Slovakia, 17-22 January 2009

K. Kutasi: An overview of plasma sterilization in post-discharges [general invited lecture], II. International Workshop on Nonequilibrium Processes in Plasma Physics and Studies of Environment, Belgrade, Serbia, August 23 - 24, 2008

V. Guerra, K. Kutasi, P. A. Sá and J. Loureiro: Self-consistent kinetic modeling of Ar-O₂ discharges [oral presentation] EPS Conference on Plasma Phys. Sofia, June 29 - July 3, 2009

V. Guerra, K. Kutasi, P. A. Sa, J. Loureiro: Kinetic modelling of a microwave Ar-O₂ flowing afterglow for plasma sterilization [invited lecture] 7th international Workshop on Microwave discharges: Fundamentals and applications Curreac, Hamamatsu, Japan September 22-27, 2009

Budapest, 2011 január 22

Kutasi Kinga