

The 3rd Seminar on New Trends in Plasma Physics and Solid State Physics



Bratislava

Brno

Contributed Papers

Bratislava, Slovakia
4.10.2007

Editors: Peter Papp, Juraj Országh, Ján D. Skalný

ELEKTRICKÉ A OPTICKÉ VLASTNOSTI VÝBOJOV V SKLENNÝCH KAPILÁRACH

Karol Hensel¹, Satoshi Sato²

¹Oddelenie fyziky životného prostredia, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského, Mlynská dolina F2, 84248 Bratislava, Slovensko
e-mail: hensel@fmph.uniba.sk

²Department of Ecological Engineering
Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japonsko

Selektivitu a energetickú účinnosť chemických procesov v plazme je možné výrazne zvýšiť ak sa plazma kombinuje s katalyzátorom. Generácia stabilnej plazmy pomocou elektrického výboja vo vnútri úzkych kapilár automobilového katalyzátora je však veľmi obtiažna. Článok prezentuje novú metódu, ktorou je možné stabilný výboj jednako generovať. Metóda využíva kombináciu výboja v lôžku katalytických peletiek zapojeného do série so zväzkom sklenených kapilár simulujúcich kapiláry automobilového katalyzátora. Aplikovaním DC napätia na kapiláry je možné výboj z peletkového lôžka predĺžiť až do vnútra kapilár. Článok popisuje elektrické a optické vlastnosti tohto výboja a účinky priemeru kapilár, aplikovaného napätia a výkonu, zloženia plynu na jeho vizuálny charakter a emisné spektrá výboja.

ÚVOD

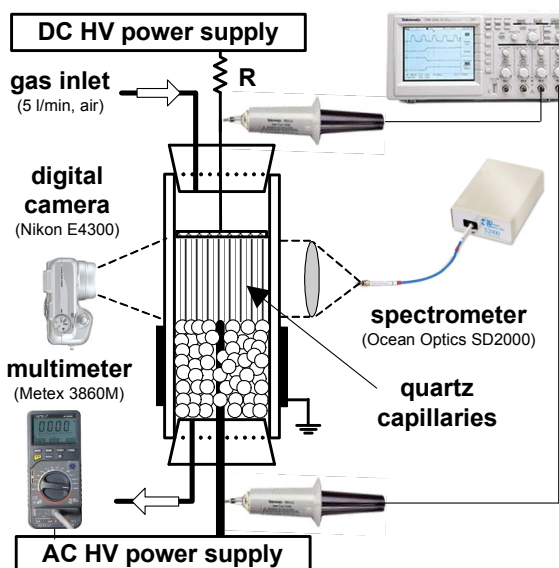
Odstraňovanie tuhých častíc, čistenie spalín a rozklad prchavých organických uhľovodíkov je možné dosiahnuť použitím rôznych typov atmosférických výbojov. Vlastnosti výbojov pritom závisia na tvare napäťového signálu (tvare, amplitúde, frekvencii), konfigurácii elektród a pod. Na zlepšenie selektivity a energetickej účinnosti chemických reakcií je vhodné kombinovať plazmu generovanú výbojmi s katalyzátormi rôzneho tvaru a zloženia. Napríklad umiestnením katalytických peletiek do priestoru výboja je možné zlepšiť účinnosť likvidácie NO_x a VOC. Katalyzátor tvaru včelieho plástu (honeycomb) je ďalšou bežne používanou geometriou (napr. v automobiloch). Generovať však stabilnú plazmu v úzkych a dlhých kapilárach honeycombu je podstatne ťažšie, kvôli jej nízkej stabilite v úzkych kapilárach a taktiež možnému mechanickému prierazu stien kapilár. Jednou z možností ako vygenerovať stabilný výboj v kapilárach spočíva v generácii „pomocného“ výboja mimo priestoru kapilár, najlepšie na jednom z ich koncov. Tento výboj plní pritom funkciu akejsi „plazmovej“ elektródy. Aplikovaním elektrického napätia na druhý koniec kapilár je možné predĺžiť tento výboj do ich vnútra, čím dochádza k jeho šíreniu po ich vnútornom povrchu kapilár. Tento typ výboja, generovaný na povrchu dielektrického materiálu kombináciou dvoch zdrojov vysokého napätia sa v literatúre nazýva ako tzv. kĺzavý výboj (*sliding discharge*) [1].

Práca prezentuje experimentálne výsledky generácie kĺzavého výboja v úzkych kapilárach. Namiesto keramického monolitu katalyzátora (honeycombu) sme však použili zväzok kremenných kapilár s vnútorným priemerom podobným ako u reálneho automobilového katalyzátora. Túto zmenu sme vykonali, aby sme mohli sledovať výboj vo vnútri kapilár a tiež kvôli implementácii emisnej spektroskopie na analýzu žiarenia výboja v rôznych podmienkach. Článok uvádza základné elektrické a optické vlastnosti kĺzavého výboja a účinky priemeru kapilár, aplikovaného napätia a výkonu, zloženia plynu na jeho vizuálny charakter a emisiu.

EXPERIMENTÁLNA APARATÚRA

Reaktor na generáciu kĺzavého výboja je znázornený na obr. 1. Telo reaktora tvorila kremenná trubica s priemerom 26 mm. V spodnej časti reaktora sa nachádzal systém na generáciu pomocného výboja. Ten pozostával z 15 mm vysokého lôžka peletiek z γ -Al₂O₃ s priemerom 3 mm. Elektródový systém tvoril nerezový drôt priemeru 6 mm zasunutý v strede lôžka a hliníková fólia so šírkou 15 mm nalepená z vonkajšej strany kremennej trubice. Na lôžku z peletiek bol umiestnený zväzok kremenných kapilár s vnútorným priemerom 1, 2 alebo 3 mm a dĺžkou 20 alebo 30 mm. Na vrchu kapilár bola ako tretia elektróda položená nerezová mriežka s priemerom 16 mm.

Na generáciu kízavého výboja v kapilárach sa použili dva zdroje vysokého napätia. Nerezový drôt bol napájaný striedavým (AC, 50 Hz) zdrojom napätia a mriežka jednosmerným (DC) zdrojom napätia zápornej polarity. DC zdroj bol k mriežke pripojený cez sériový odpor, ktorý slúžil ako záťaž, limitoval prúd výboja a bránil prechodu kízavého výboja do iskry a následne do oblúka (trvalého prierazu). Hliníková fólia nalepená na kremennej trubici bola uzemnená. Amplitúdy a časový priebeh napätia na oboch aktívnych elektródach boli merané vysokonapäťovými sondami (*Tektronix P644A*) pripojenými k digitálnemu osciloskopu (*Tektronix TDS2014*). Celkový prúd výboja bol meraný neindukčným odporovým bočným zaradeným medzi reaktorom a uzemnenou elektródou. Celkový výkon dodávaný zdrojom striedavého napätia bol meraný wattmetrom (*Metex 3860M*).



Obr.1. Schéma experimentálnej aparatury.

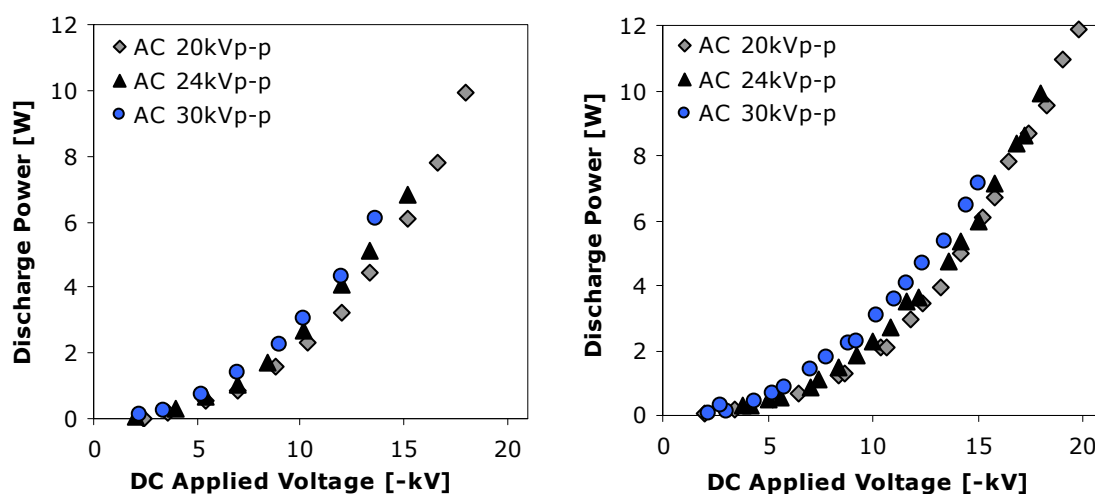
Optické merania výboja boli robené emisným spektrometrom (*Ocean Optics SD2000*) v UV-VIS-NIR oblastiach a fotografie výboja digitálnym fotoaparátom (*Nikon Coolpix 4300*).

Použitými plynmi boli okolitý vzduch a suchý dusík. Prietok vzduchu cez systém (4,5 l/min) bol zabezpečený vzduchovou pumpou pripojenou za reaktorom. Dusík bol dávkovaný z tlakových fliaš a jeho prietok kontrolovaný prietokomerom. Experimentálne merania boli robené pri izbovej teplote a atmosférickom tlaku.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

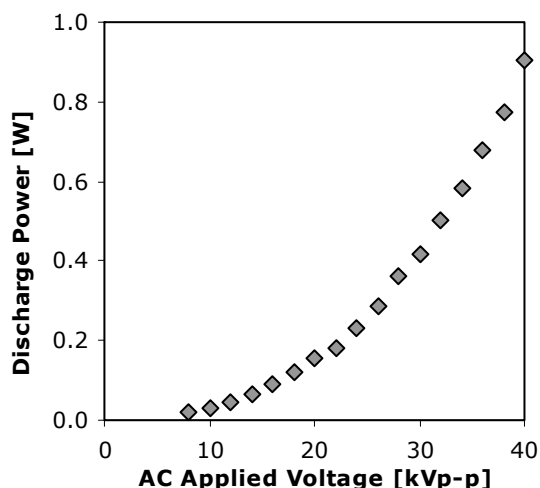
Experiment nadväzoval na predchádzajúce štúdie kízavého výboja [2, 3], kde boli vyšetrené základné elektrické charakteristiky výboja. Boli namerané hraničné hodnoty DC napätia zodpovedajúce zápalu (V_o) kízavého výboja a tiež jeho prechodu do iskry (V_s) pre rôzne priemery a dĺžky kapilár, a amplitúdy a frekvencie AC zdroja. Zistilo sa, že pri použití DC napätia zápornej polarite je rozsah oblasti (V_o - V_s) podstatne väčší ako v prípade kladnej polarite. Rovnako svetelná emisia výboja bola silnejšia v zápornej polarite. S ohľadom na tieto výsledky sme pri týchto meraniach pracovali so zdrojom jednosmerného napätia zápornej polarite.

Obrázok 2 zobrazuje závislosť výkonu kízavého výboja od DC napätia aplikovaného na kapilárach. Výkon výboja bola získaný ako súčin aplikovaného napätia na kapiláry a stredného



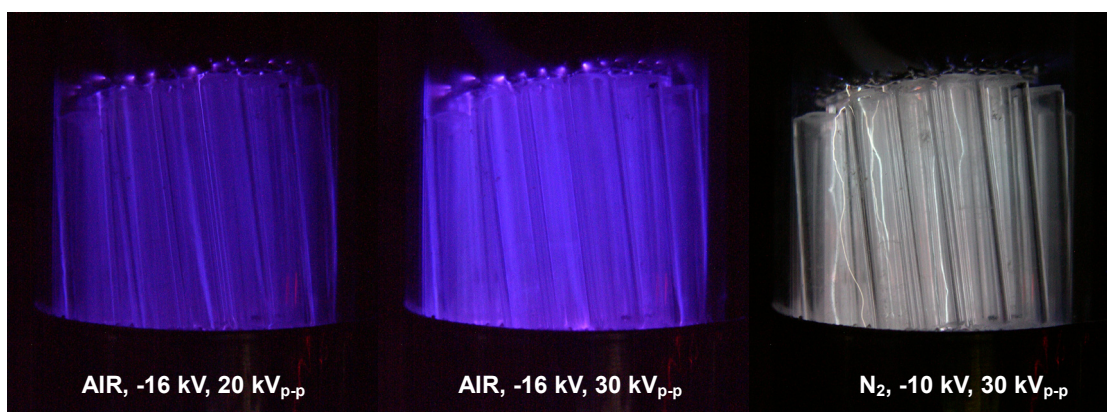
Obr.2. Závislosť výkonu kízavého výboja od aplikovaného DC napätia, pre rôzne hodnoty AC napätia pomocného výboja [vzduch, dĺžka kapilár 20 mm, priemer kapilár 1 mm (graf vľavo), 2 mm (graf vpravo)].

prúdu výboja. Výkon výboja rástol s hodnotou aplikovaného napätia. Ako vidno z porovnania grafov, pri danom napätí bol vplyv priemeru kapiláry na výkon výboja minimálny. Rovnako to možno konštatovať aj pre vplyv AC napätia pomocného výboja, kde vyššie napätie len mierne zvýšilo výkon kĺzavého výboja. Výkon pomocného výboja v peletkovom lôžku v porovnaní s výkonom kĺzavého výboja bol o jeden rád nižší (viď obrázok 3) a dosahoval 1 W pri hodnote 40 kVp-p (*peak-to-peak*). Výkon pomocného výboja bol vypočítaný z osciloskopicky zaznamenaných lissajouvských kriviek v podmienkach bez aplikovaného DC napätia na kapilárach. Napriek tomu, že hodnota AC napätia pomocného výboja mala minimálny vplyv na výkon kĺzavého výboja, jeho vplyv na emisiu výboja bol podstatne väčší.

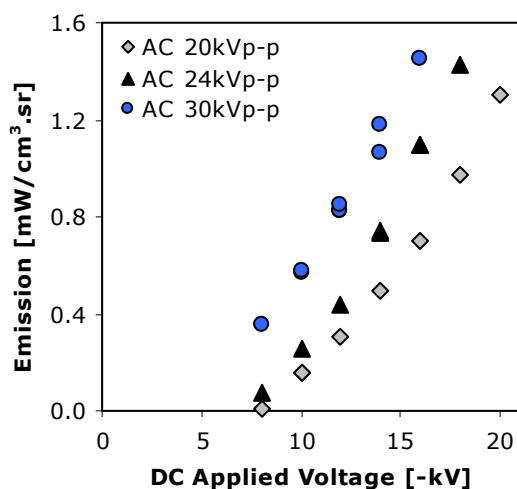


Obr.3. Závislosť výkonu pomocného výboja od aplikovaného AC napätia [vzduch].

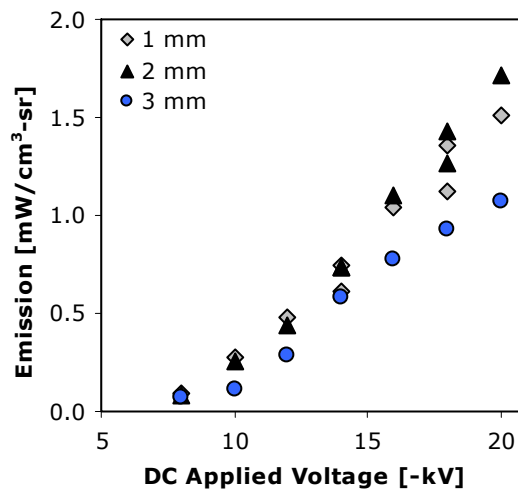
Obrázok 4 zobrazuje fotografie kĺzavého výboja vo zväzku sklených kapilár s vnútorným priemerom 2 mm a dĺžkou 20 mm. Na prvých dvoch snímkach je výboj vo vzduchu pri rovnakom DC napätí aplikovanom na kapilárach, avšak rôznej hodnote AC napätia pomocného výboja.



Obr.4. Fotografie kĺzavého výboja v sklených kapilárach [priemer kapilár 2 mm, dĺžka 20 mm, parametre nastavenia kamery: ISO 400, f/2.8, 1/2 s].



Obr.5. Závislosť emisie výboja od DC napätia pre rôzne amplitúdy AC napätia pomocného výboja [vzduch, priemer kapilár 2 mm, dĺžka 20 mm].



Obr.6. Závislosť emisie kĺzavého výboja od DC napätia pre kapiláry rôzneho priemeru [vzduch, dĺžka kapiláry 20 mm, AC 20 kVp-p].

Z porovnania snímok vidno, že intenzita emisie výboja vo viditeľnej oblasti závisí na napätí pomocného výboja. Rovnako tak emisia rastie aj s amplitúdou DC napätia na kapilárach. Snímky tiež dokumentujú, že výboj horel vo všetkých kapilárach rovnako a žiarenie výboja vo vnútri kapilár bolo relatívne homogénne. Posledný snímok na obrázku predstavuje výboj v suchom dusíku. Zistili sme, že tu už pri malej hodnote aplikovaného DC napätia dochádza k prechodu kízavého výboja do iskry. Na snímku vidno kanály iskrových výbojov v kapilárach. Intenzita emisie iskrových kanálov bola podstatne väčšia ako kízavého výboja a došlo aj k zmene farby výboja na bielu. Iskrové prierazy v suchom dusíku neboli ani tak výsledkom absencie kyslíka (v porovnaní so vzduchom), ako skôr absenciou vodných pár. Ako vyplynulo z neskorších meraní emisia žiarenia kízavého výboja vo vlhkom dusíku bola dokonca vyššia ako v prípade okolitého vzduchu.

Emisná spektroskopia je metóda, ktorou je možné získať dôležité informácie o existujúcich atómových a molekulových stavoch, určiť teploty v plazme a tak aj stupeň jej nerovnovážnosti. Zo zaznamenaných emisných spektier výboja v UV-VIS-NIR oblastiach (200 - 1000 nm) bolo zrejmé, že intenzita emisie kízavého výboja v UV oblasti bola podstatne vyššia (viac ako dva rády) ako vo viditeľnej oblasti. Na numerické vyhodnotenie intenzity emisie výboja v závislosti na hodnote aplikovaného DC napätia sme použili spektrálnu čiaru (337 nm) druhého pozitívneho systému N₂. Na obrázkoch 5 a 6 je prezentovaná emisia kízavého výboja v závislosti na aplikovanom DC napätí pre rôzne hodnoty AC napätia pomocného výboja a kapiláry rôznych priemerov. Zatiaľ čo pri danom DC napätí na kapilárach zmena AC napätia ovplyvnila výkon kízavého výboja len minimálne (obr. 2), zmena intenzity emisie kízavého výboja bola výraznejšia (obr. 5). Na druhej strane, vplyv priemeru kapiláry na emisiu výboja, najmä pri nižších napätiach, bol minimálny (obr. 6.).

ZÁVER

Práca sa zaoberala možnosťami generácie stabilných výbojov vo zväzku sklenených kapilár, ako v modeli simulujúcom monolit automobilového katalyzátora. Podstata generácie výbojov v úzkych kapilárach katalyzátora spočívala v generácii pomocného výboja mimo objemu kapilár a jeho vtiahnutiu do ich vnútra externým DC elektrickým poľom. V práci bol prezentované hodnoty DC a AC napätí pre ktoré bolo možné pozorovať generáciu stabilného kízavého výboja vo vnútri kapilár. Hoci pomocný výboj mal minimálny vplyv na elektrické charakteristiky kízavého výboja, ukázalo sa že jeho vplyv na intenzitu emisie žiarenia kízavého výboja je podstatne väčší. Stabilita výboja a intenzita emisie výboja záviseli tiež významne od obsahu vlhkosti v plyne.

Výskum bol podporený projektmi APVT 20-032404 a SK-FR-00506 a VEGA 1/3041/06.

REFERENCIE

- [1] C. Louste, G. Artana, E. Moreau, G. Touchard, *J. Electrostat.* **63** (2005) 615.
- [2] S. Sato, H. Yamauchi, K. Takashima A. Mizuno: Sliding Discharge in Capillary for Honeycomb Catalyst, *28th International Conference on Processes in Ionized Gases ICPIG XXVIII*, Prague, July 15-20 (2007) 3P16-14.
- [3] S. Sato, H. Yamauchi, K. Takashima A. Mizuno: Onset and Flashover of Sliding Discharge in Honeycomb Catalyst - Characteristics of the Discharge of a Bundle of Glass Capillaries, *1st International Symposium on New Plasma and Electrical Discharge and on Dielectric Materials Applications ISNPEDADM 2007*, Tahiti, August 16-23 (2007).