

# The 3<sup>rd</sup> 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

# VIZUALIZÁCIA MIKROVÝBOJOV V PORÉZNYCH KERAMIKÁCH

Karol Hensel<sup>1</sup>, Pierre Tardiveau<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Oddelenie fyziky životného prostredia, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského, Mlynská dolina F2, 84248 Bratislava, Slovensko  
e-mail: [hensel@fmph.uniba.sk](mailto:hensel@fmph.uniba.sk)

<sup>2</sup>Laboratoire de Physique des Gaz et des Plasmas  
Université Paris Sud, Orsay, Francúzsko

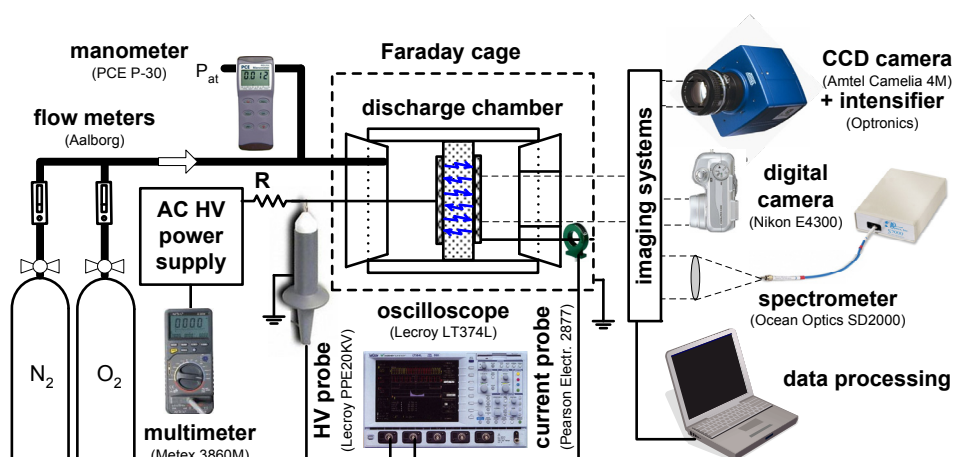
*Mikrovýboje v poréznych keramikách generovaných striedavým zdrojom vysokého napätia boli vizualizované pomocou intenzifikovanej CCD kamery pri rôznej citlivosti a časových škálach. Snímky výboja boli synchronizované s harmonickým signálom aplikovaného vysokého napätia. Pozorovali sa mikrovýboje vo vnútri keramiky ale i bariérový výboj na povrchu keramiky. Zdokumentovaný bol tiež rozdiel medzi mikrovýbojmi generovanými v keramikách s rôznou veľkosťou pórov.*

## ÚVOD

Nerovnovážna plazma generovaná elektrickým výbojom pri atmosférickom tlaku má charakter tenkých filamentárnych mikrovýbojov. Vďaka svojmu vysokému chemickému potenciálu sa plazma generovaná mikrovýbojmi využíva pre rôzne environmentálne aplikácie. Účinnosť a selektivitu chemických procesov v plazme je možné zlepšiť ak sa plazma kombinuje s katalyzátorom. Ako vhodná kombinácia plazmy a katalyzátora sa javí generácia plazmy v dielektrických materiáloch, akými sú napr. keramické monolity v tvare včelieho plástu alebo porézne keramiky. Generácia mikrovýbojov v úzkych dutinách a kapilárach rôznych poréznych materiálov, skúmanie ich fyzikálnych vlastností a potenciálu na čistenie výfukových plynov boli cieľom niekoľkých vedeckých prác [1-3]. V našich predošlých prácach sme sledovali fyzikálne vlastnosti mikrovýbojov generovaných v poréznych keramikách pomocou DC [4-5] alebo AC [6] vysokého napätia. Metódy skúmania pozostávali z elektrických a optických meraní použitých na vyhodnotenie efektu veľkosti pórov, výkonu výboj, zloženia plynnej zmesi a jej prietoku na rozvoj a stabilitu výboja. Optické merania zahŕňali štandardnú fotografickú dokumentáciu a optickú emisnú spektroskopiu. Tento článok prezentuje výsledky získané použitím intenzifikovanej CCD kamery. Snímky získané kamerou sú synchronizované so signálom zdroja aplikovaného striedavého napätia v rôznych časových škálach.

## EXPERIMENTÁLNA APARATÚRA

Experimentálna aparatúra je znázornená na obr.1. Výbojku tvorila keramika vyrobená zo zmesi  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ , vložená medzi dvoma mriežkovými elektródami z nereze a umiestnená v kremennej cylindrickej rúre. Veľkosť pórov vybraných keramik bola 10 and 80  $\mu\text{m}$ , polomer a hrúbka keramik bola 31 and 7 mm. Výboj bol generovaný regulovaným zdrojom striedavého vysokého napätia (50 Hz). Napätie na výbojke bolo merané vysokonapätňovou sondou Lecroy



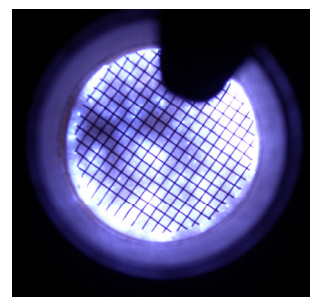
Obr.1. Schematické znázornenie experimentálnej aparatúry.

PPE20KV pripojenou k osciloskopu Lecroy LT374L (500 MHz, 4 GS/s) a celkový výkon dodávaný zdrojom sme merali pomocou digitálneho wattmetru Metex 3860M.

Kamerový systém tvorila digitálna kamera *Atmel Camelia 4M* (b/w, rozlíšenie 2048x2048, veľkosť pixlu 14  $\mu\text{m}$ , expozičná doba 1-2000 ms) a intenzifikátor *Optronics* (expozičná doba 3 ns - 110 ms, spektrálna citlivosť 400-700 nm). Uzávierka a expozičná doba kamery boli synchronizované so signálom zdroja vysokého napätia. Makroskopický charakter výboja pri dlhších expozičných časoch bol zaznamenávaný digitálnym fotoaparátom *Nikon Coolpix 4300*. Snímky výboja boli snímané kolmo na povrch keramik. Experimenty boli realizované v dusíku pri atmosférickom tlaku a izbovej teplote. Celkový prietok plynu bol 1 l/min.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

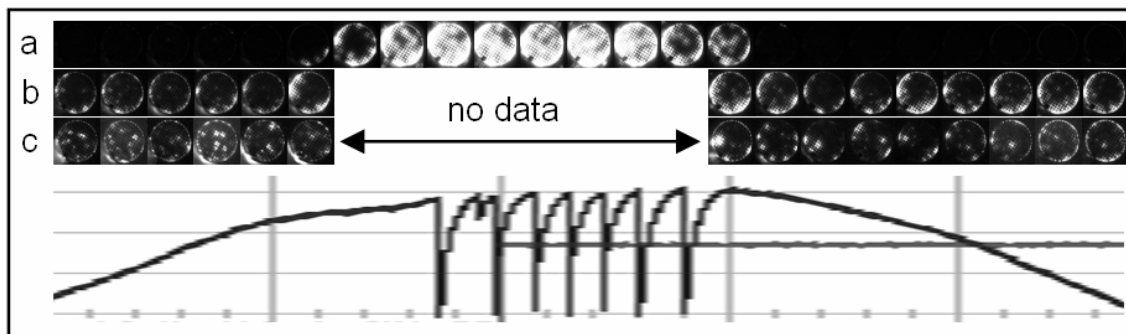
Vizuálny charakter mikrovýbojov generovaných v keramike zachytený bežnou digitálnou kamerou pri expozičnej dobe 1 s prezentuje obr. 2. Obrázok zobrazuje integrovanú emisiu mnohých mikrovýbojov počas danej expozičnej doby. Na získanie informácie o rozvoji mikrovýbojov a ich svetelnej emisie v kratších časových intervaloch bol využitý systém ICCD kamery s nastaviteľnou dobou expozície a citlivosťou.



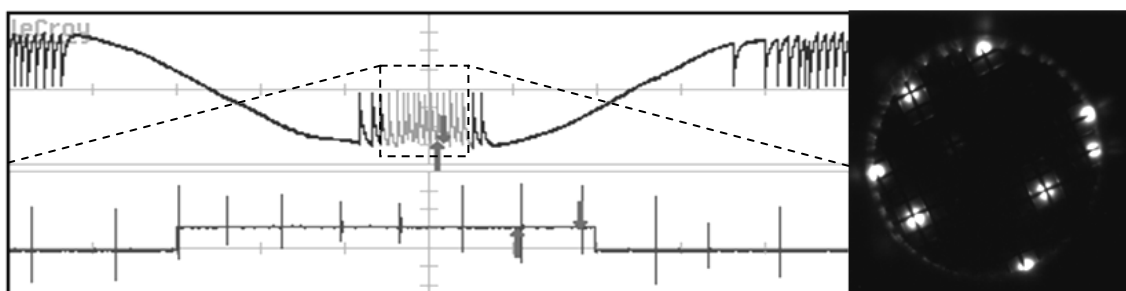
Obr.2. Fotografia mikrovýbojov v keramike [veľkosť pórov 80 $\mu\text{m}$ , dusík, výkon 10 W, uzávierka kamery 1 s].

Obr.3 znázorňuje emisiu mikrovýbojov pozdĺž polovice periódy signálu aplikovaného striedavého napätia. Jednotlivé snímky v sériách (a, b, c) zodpovedajú príslušnej oblasti napätového signálu znázorneného pod nimi. Série a) a b) znázorňujú svetlo integrované počas 100 expozičných cyklov, zatiaľ čo séria c) je svetlom iba z jedného cyklu. Dĺžka jedného cyklu bola 500  $\mu\text{s}$ . Zo série a) je zrejmé, že k emisii svetla dochádza v oblasti maxima amplitúdy aplikovaného napätia, kedy vznikajú prírazy vo forme mikrovýbojov. V oblastiach mimo mikrovýbojov (b, c) je intenzita emisie svetla výbojom podstatne menšia. Svetlo v týchto oblastiach pochádza najmä z emisie bariérového výboja. Maximum svetelnej emisie bariérového výboja je možné pozorovať v oblastiach s najväčšou hodnotou  $dU/dt$ .

Na obr.4. je priebeh signálu napätia na výbojke a pod ním detail príslušnej časovej oblasti maxima aplikovaného napätia v ktorej dochádza ku vzniku mikrovýbojov v oblasti. Na spodnom



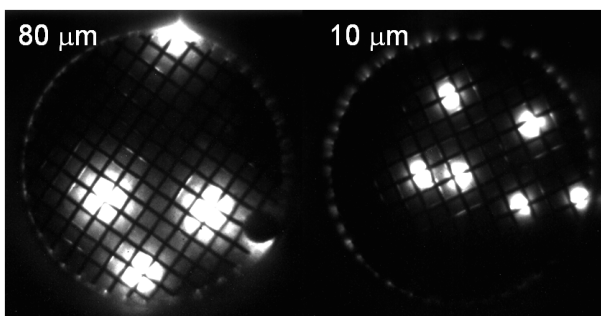
Obr.3. Obrázky výboja synchronizované so signálom harmonického napätia VN zdroja [veľkosť pórov 80 $\mu\text{m}$ , dusík, napätie 15.7 kV, uzávierka kamery 500  $\mu\text{s}$ ]. Série: a) citlivosť kamery 500, integrácia 100x, b) citlivosť kamery 600, integrácia 100x, c) citlivosť kamery 760.



Obr.4. Svetelná emisia mikrovýbojov [veľkosť pórov 10 $\mu\text{m}$ , dusík, napätie 16 kV, uzávierka kamery 1ms, citlivosť kamery 470].

obrázku súčasne vidno signál uzávierky kamery ktorej dĺžka bola 1 ms. Napravo sa nachádza snímok zodpovedajúci snímok mikrovýbojov. Z porovnania signálu zaznamenaného osciloskopom a snímku zaznamenaného kamerou vidno, že počet napätových poklesov (ktoré sú dôsledkom prerazu keramiky vo forme mikrovýbojov) zodpovedá počtu emisných bodov na keramike. Z tohto výsledku vyplýva, že distribúcia mikrovýbojov v keramike je náhodná a k následným prerezom nedochádza na tom istom mieste, ale na rôznych miestach. Ďalšími experimentálnymi meraniami sa súčasne zistilo, že s rastom pre keramiky s väčšou veľkosťou pórov pravdepodobnosť toho, že prerazu dôjde na tom istom mieste rastie. K takémuto efektu dochádza najmä na okrajoch keramiky (viac ako v strede keramiky) v blízkosti vonkajšieho okraju mriežkových elektród, kde je intenzita elektrického poľa najväčšia.

**Obr.5.** porovnáva emisiu mikrovýbojov v keramikách s rôznou veľkosťou pórov, pri rovnakom napätí a nastaveniach kamery. Z obrázku vidno, že intenzita svetla jednotlivých mikrovýbojov rastie s veľkosťou pórov. Tá je dôsledkom väčšieho priemeru kanálov, amplitúdy prúdových pulzov a tým aj stredného elektrického prúdu mikrovýbojov pri rovnakom aplikovanom napätí.



**Fig.5.** Porovnanie mikrovýbojov v rôznych keramikách [dusík, napätie ~ 16 kV, uzávierka kamery 1ms, citlivosť kamery 420.

Výskum bol podporený Agentúrou na podporu výskum a vývoja projektmi APVT 20-032404 a SK-FR-00506 a projektom Slovenskej grantovej agentúry VEGA 1/3041/06.

## REFERENCIE

- [1] M. Kraus, B. Eliasson, U. Kogelschatz, A. Wokaun, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 3 (2001) 294.
- [2] N. Blin-Simiand, P. Tardiveau, A. Risacher, F. Jorand, S. Pasquiers, *Plasma Proc. Polym.* 2 (2005) 256.
- [3] N. Jidenko, M. Petit, J.-P. Borra, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 39 (2006) 281.
- [4] K. Hensel, S. Katsura, A. Mizuno, *IEEE Trans. Plasma Sci.* 33 (2005) 574.
- [5] K. Hensel, Y. Matsui, S. Katsura, A. Mizuno, *Czech. J. Phys.* 54 (2004) C683.
- [6] K. Hensel, V. Martišovitš, Z. Machala, M. Janda, M. Leštinský, P. Tardiveau, A. Mizuno, *Plasma Process. Polym.* 4 (2007) 682–693.