

# 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

# Odstraňovanie NO pomocou mikrovýbojov v poréznych keramikách

Leštinský M., Hensel K.

Univerzita Komenského, Katedra astronómie, fyziky zeme a meteorológie,  
Mlynská dolina F2, 84248 Bratislava, Slovenská Republika

## Úvod

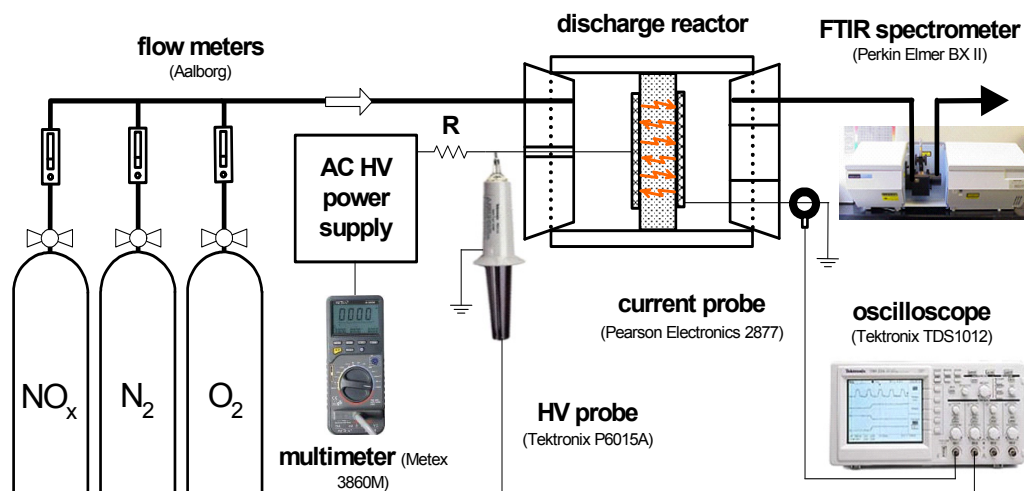
Štúdium fyzikálnych vlastností mikrovýbojov v malých dutinách a úzkych kapilárach rôznych dielektrických materiálov a ich aplikácia na čistenie zložiek výfukových plynov boli v posledných rokoch predmetom mnohých vedeckých štúdií [1-5]. Naša skupina venovala pozornosť skúmaniu fyzikálnych vlastností mikrovýbojov generovaných v poréznych keramikách meraním ich elektrických a optických vlastností [6-7]. Súčasne sme testovali aj plazmochemické efekty týchto výbojov prostredníctvom generácie ozónu [8]. V tejto práci sme sa zamerali na odstraňovanie oxidu dusíka NO v zmesi s dusíkom.

## Experimentálna aparatúra

Obrázok 1 schematicky znázorňuje experimentálnu aparatúru. Výbojku tvoril valec z kremenného skla, vnútri ktorého bol umiestnený porézny keramický disk s priemerom 31 mm a hrúbkou 7 mm a veľkosťou pórov 80  $\mu\text{m}$ . Keramika bola zložená zo zmesi oxidu hlinitého ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) a oxidu kremičitého ( $\text{SiO}_2$ ) s rôznymi prímiesami. K oboch povrchom keramického disku boli pritlačené mriežky z nerezovej ocele, ktoré slúžili ako elektródy. Na oboch koncoch výbojky boli umiestnené kremenné okienka, ktoré umožňovali emisnú spektroskopiu výboja.

Elektrickú časť aparatúry tvoril vysokonapäťový zdroj a prístroje na meranie elektrických charakteristík výboja. Na generáciu výboja sme použili striedavý zdroj vysokého napätia vlastnej konštrukcie (max. 25 kV, 700 W). Napätie na reaktore sme merali vysokonapäťovou sondou Tektronix P6015A pripojenou na digitálny osciloskop Tektronix TDS1012. Celkový výkon vrátane strát v elektrickom okruhu bol meraný digitálnym multimetrom Metex 3860M.

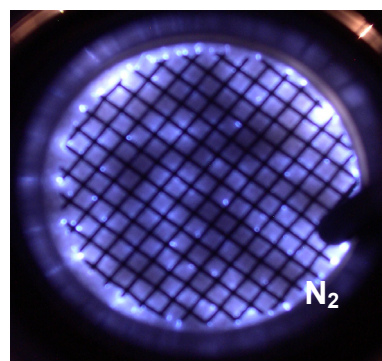
Analýzu plynov sme robili infračerveným spektrometrom FTIR Perkin Elmer Spectrum BXII. Všetky experimenty sme robili pri atmosférickom tlaku a izbovej teplote.



Obrázok 1: Schéma experimentálnej aparatúry.

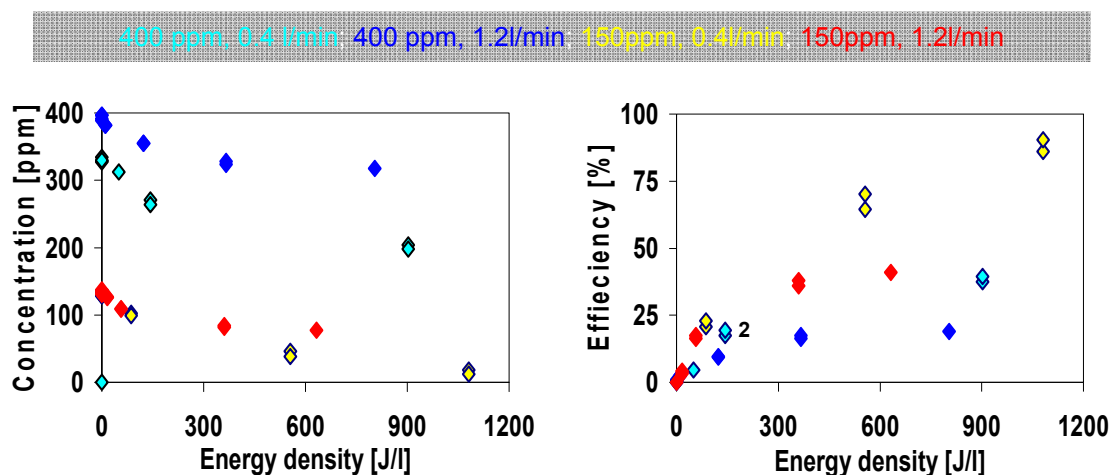
## Výsledky a diskusia

Výsledky predchádzajúcich prác [6-7] ukázali, že generácia mikrovýbojov bola možná iba pre keramiky s istou veľkosťou pórov a od istého minimálneho aplikovaného napätia. Pri malých napätiach bolo možné pozorovať iba bariérový výboj na povrchu keramiky. Pri vyšších napätiach dochádzalo postupne k vzniku prierazov (mikrovýbojov) aj vo vnútri keramiky. Zápalné napätie mikrovýbojov s rastúcou veľkosťou pórov klesalo. V keramikách s veľkosťou pórov 2  $\mu\text{m}$  a menej dominoval bariérový výboj, pretože na zapálenie mikrovýbojov by bolo potrebné extrémne vysoké napätie. Na obrázku 2 je fotografia výboja v keramike s veľkosťou pórov 80  $\mu\text{m}$ , pri výkone výboja 3 W v čistom dusíku (expozičná doba fotoaparátu bola 1s).



Obrázok 2: Fotografia mikrovýbojov v keramike (póry 80 $\mu\text{m}$ , výkon 3 W).

V predchádzajúcej práci sme sa už zaoberali plazmochemickými účinkami mikrovýbojov prostredníctvom generácie ozónu [8]. Tentokrát sme sa zamerali, na odstraňovanie oxidov dusíka z plynu. Merania sme robili pre dve rôzne počiatkové koncentrácie (150 a 400 ppm NO v  $\text{N}_2$ ) a dva prietoky (0,4 a 1,2 l/min). Obrázok 3 zobrazuje výsledky týchto meraní. Z obrázku môžeme vidieť, že vo všetkých prípadoch koncentrácia NO klesala s rastom výkonu. Pri prietoku 0,4 l/min klesla koncentrácia NO z počiatkových 150 ppm prakticky na nulu. Zistili sme, že pri väčšej počiatkovej koncentrácii sme schopní odstrániť celkovo väčšie množstvo NO, ako pri menšej. Ak sa zoberie do úvahy účinnosť odstraňovania (v %) a nie celkové odstránené množstvo (ppm), účinnnejším sa naopak javí pracovať s nižšími počiatkovými koncentráciami. Účinnosť odstraňovania NO (v %) môžeme vidieť na obrázku 4. Percentuálne najvyššia bola v prípade menšieho prietoku a menšej počiatkovej koncentrácie. S každým zvyšovaním či už prietokovej rýchlosti alebo koncentrácie sa percentuálna účinnosť odstraňovania výrazne znižovala. Pre začiatočnú koncentráciu 400 ppm a prietok 1,2 l/min bola necelých 25% zatiaľ čo pri 150 ppm a 0,4 l/min účinnosť odstraňovania dosiahla 90% pri hustote energie 1100 J/l.

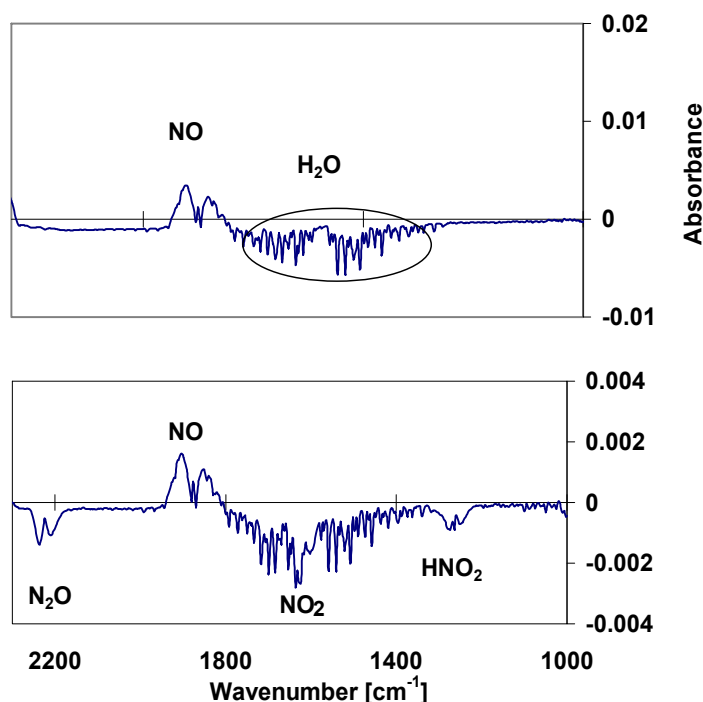


Obrázok 3: Koncentrácia NO v závislosti od hustoty energie.

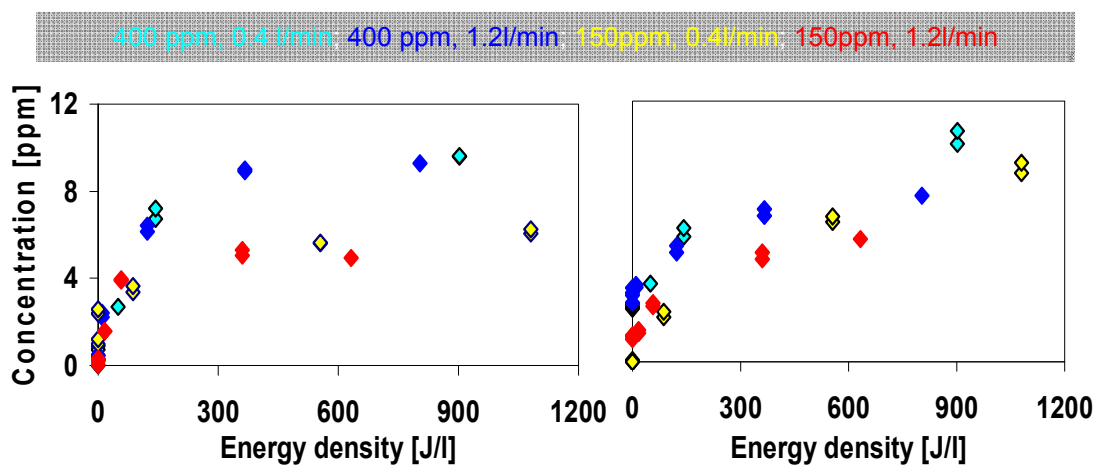
Obrázok 4: Účinnosť likvidácie NO v závislosti od hustoty energie.

Na obrázku 5 (hore) je zobrazené infračervené spektrum zmesi pred začiatkom výboja. Pod ním (dole) je rozdielové spektrum získané odčítaním spektra po výboji od spektra pred výbojom. Z obrázku vidno, že pôsobením výboja prišlo k poklesu NO za vzniku produktov  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  a  $\text{HNO}_2$ . Obrázok 6 znázorňuje závislosti koncentrácií  $\text{N}_2\text{O}$  a  $\text{NO}_2$  od hustoty energie výboja. Obe

koncentrácie rastú so zvyšovaním energetickej hustoty. Krivka  $\text{NO}_2$  má zo začiatku prudký nárast, avšak pri istej hodnote hustote energie sa rast koncentrácie zastaví. Táto maximálna (saturovaná) koncentrácia je tým vyššia, čím je nižší prietok a počiatková koncentrácia  $\text{NO}$ . Ak uvažíme absolútnu koncentráciu  $\text{NO}_2$ , tento prírastok je viac-menej zanedbateľný, pretože sa pohybuje rádovo do 10 ppm. To je aj prípad  $\text{N}_2\text{O}$ , čo možno vidieť na obrázku 7. Okrem oxidov dusíka sme v spektre produktov monitorovali aj malé množstvo kyseliny dusitej. K jej vzniku dochádzalo vďaka zbytkovej vlhkosti v systéme, ktorej prítomnosť je možné pozorovať i v spektre pred výbojom.



Obrázok 5: Infračervené spektrum bez výboja (hore) a rozdielové spektrum (dole).



Obrázok 6: Koncentrácia  $\text{NO}_2$  v závislosti od hustoty energie.

Obrázok 7: Koncentrácia  $\text{N}_2\text{O}$  v závislosti od hustoty energie.

## Záver

Cieľom práce bolo odstraňovanie  $\text{NO}$  z plynu pomocou mikrovýbojov v poréznych keramikách pri rôznych počiatkovej koncentracii  $\text{NO}$  a prietoku plynu. Zistili sme, že koncentrácia  $\text{NO}$  klesá rýchlejšie, ak je jeho počiatková koncentrácia väčšia. Ak sa zoberie do úvahy percentuálna účinnosť odstraňovania, výhodnejším sa javí pracovať s nižšími prietokmi. Pri prietoku 0,4 l/min a počiatkovej koncentracii 150 ppm  $\text{NO}$  sme dosiahli účinnosť až 90%. Produkty ktoré nám pri výboji vznikali boli  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  a  $\text{HNO}_2$ . Počiatkový nárast ich koncentrácie bol výrazný, ale pri istej hustote dodávanej energie sa zastavil. V závislosti od prietoku a bola koncentrácia  $\text{NO}_2$  a  $\text{N}_2\text{O}$  približne 4-10 ppm. Vznik  $\text{HNO}_2$  bola výsledkom zbytkovej vlhkosti v systéme.

Výsledky ukázali, že pomocou mikrovýbojov je možné celkom efektívne odstraňovať niektoré typy polutanty z plynov. Ďalším cieľom práce bude realizovať experimenty s použitím keramik na ktorých sú nanosené katalyzátory ako Pt, Pd, TiO<sub>2</sub>, vďaka ktorým by bolo možné zlepšiť účinnosť odstraňovania. Navyše budeme pozorovať vplyv teploty a vlhkosti na stabilitu a kvalitu výboja a výboj použijeme aj na iné znečisťujúce látky (napr. prchavé organické látky).

Práca bola podporená projektmi APVT 20-032404, VEGA 1/3041/06, MŠ SR MVTS NATO981194/07 a APVV 0267-06.

## Literatúra

- [1] N. Gherardi, G. Gouda, E. Gat, A. Ricard, F. Massines, *Plasma Sources Sci. Technol.* 9 (2000) 340.
- [2] H.H. Kim, Application of Non-thermal Plasma in Environmental Protection, PhD Thesis, Toyohashi University of Technology, Toyohashi (2000).
- [3] M. Kraus, B. Eliasson, U. Kogelschatz, A. Wokaun, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 3 (2001) 294.
- [4] N. Blin-Simiand, P. Tardiveau, A. Risacher, F. Jorand, S. Pasquiers, *Plasma Proc. Polym.* 2 (2005) 256.
- [5] N. Jidenko, M. Petit, J.-P. Borra, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 39 (2006) 281.
- [6] K. Hensel, Y. Matsui, S. Katsura, A. Mizuno, *Czech. J. Phys.* 54 (2004) C683.
- [7] K. Hensel, V. Martišovič, Z. Machala, M. Janda, M. Leštinský, P. Tardiveau, A. Mizuno, *Plasma Process. Polym.* 4 (2007) 682.
- [8] M. Leštinský et al., *Ozone Generation by Microdischarges in Porous Ceramics*, 16<sup>th</sup> Symposium on Applications of Plasma Processes SAPPXVI, Podbanské, Slovakia, January 20-25 (2007) 217.