

## **Plazmatická úprava povrchu materiálů ve školní laboratoři**

*LUKÁŠ PAWERA, PETR SLÁDEK*  
*PDF MU Brno*

Nové technologie jsou mnohdy obtížně dostupné pro studenty ve školních podmínkách. Často nákladné doprovodné zařízení vyžaduje vysokou čistotu, vysoké vakuum a přísné bezpečnostní podmínky. Chladné plazma je vcelku rozšířené v mnoha průmyslových odvětvích. Zařízení pro plazmatickou úpravu povrchů materiálů je však vcelku jednoduché na sestavení i provoz i ve školní laboratoři. Jednoduchý způsob, jak pozorovat změny struktury na povrchu je určení povrchové energie metodou měření kontaktních úhlů pomocí různých kapalin. Příspěvek představuje možnosti využití chladného plazmatu ve školské praxi.

### **Nízkoteplotní plazma**

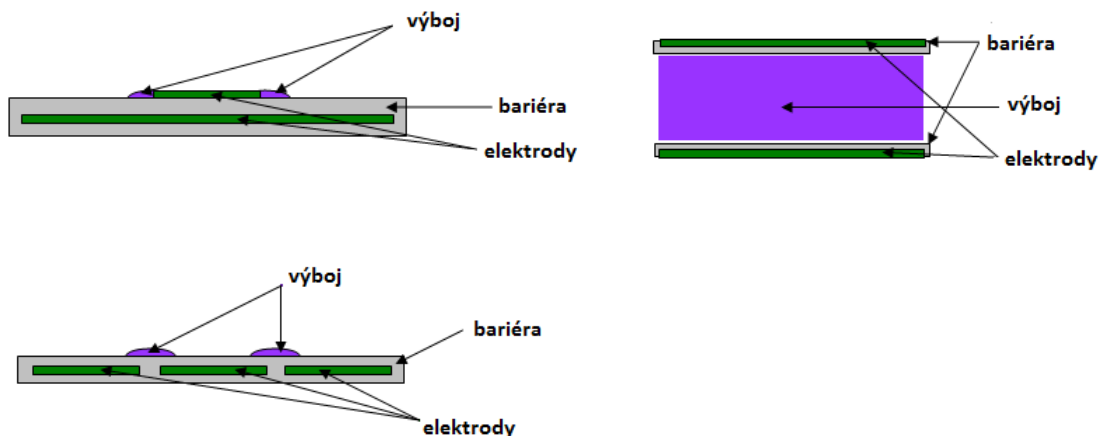
Plazma je částečně nebo úplně ionizovaný plyn, obsahující ionty, elektrony a neutrální částice, které vykazují kolektivní chování a kvazineutralitu. V nízkoteplotním plazmatu jsou excitovány na vysokou energii pouze elektrony a ionty zůstávají na teplotě blízké okolí, zatímco u horkého plazmatu dosahuje teplota 10000 až 20000 K. V důsledku toho má nízkoteplotní plazma velké využití při úpravě povrchů materiálů. Investice jsou relativně nízké a technologie nepředstavují zátěž škodlivými látkami pro prostředí. Navíc je možnost opracovávat velké plochy, protože plazma hoří za atmosférického tlaku a opracovávané materiály se nemusejí uzavírat do speciálních reakčních komor.

Vzhledem k širokému využití nízkoteplotního plazmatu v průmyslu, je vhodné, aby měli žáci ve školách představu a bližší kontakt s dnešními technologiemi a nezůstali pouze v představách, že fyzika je jen otázkou obsahu učebnic.

### **Bariérové výboje**

Vložíme-li mezi kovové elektrody dielektrickou bariéru, dojde k omezení průchodu nabitých částic mezi elektrodami a zároveň se sníží intenzita elektrického pole mezi elektrodami. Dochází k interakci elektronů s molekulami přítomného plynu mezi elektrodami. Po připojení elektrod ke zdroji vysokého napětí elektrony putují k anodě, na které ovšem kvůli bariéře nevyraží další elektrony z anody, tudíž dochází k ulpívání elektronů na povrchu bariéry do té doby, než se elektrický potenciál na obou elektrodách vyrovná a dojde k vyhasnutí výboje. Kdybychom použili jako zdroj stejnosměrné napětí, nedošlo by k opětovnému zapálení elektrického výboje. Bariéru můžeme umístit na jednu elektrodu nebo na obě, nebo také mezi elektrody. Jako dielektrikum se nejčastěji používá keramika (např. korund  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) z důvodu svých vhodných dielektrických vlastností. Dielektrická pevnost je pro korund udávána v rozmezí  $(10-35) \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$  a relativní permitivita 9,0 až 10,1. Další důležitou vlastností pro

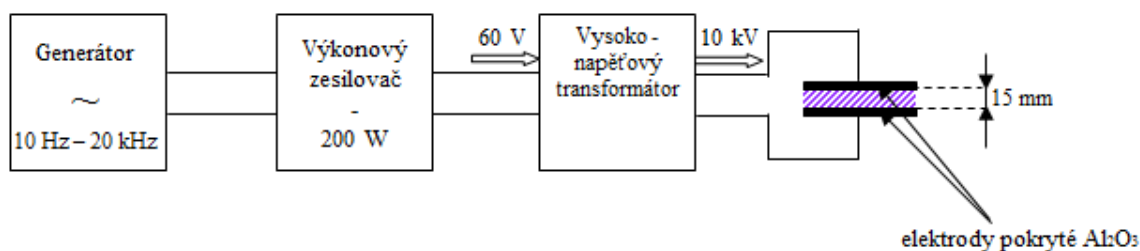
výběr dielektrika je vysoká homogenita materiálu a nízká tepelná vodivost. Dané požadavky splňuje korund, křemičité sklo (to se dá snadno sehnat) nebo polymerní materiály. Napětí mezi elektrodami může být v rozsahu jednotek až desítek kilovoltů a frekvence řádu kHz. Podle uspořádání elektrod rozlišujeme základní druhy bariérových výbojů – povrchový (surface discharge), objemový (volume discharge) a koplanární (coplanar discharge) výboj.



Obr. 1. a,b,c. Bariérové výboje (plošný, objemový, koplanární)

### Vytvoření bariérového výboje ve školní laboratoři

Konstrukce zařízení pro generování nízkoteplotního plazmatu využívá objemový bariérový výboj. Aby tento druh výboje vznikl, je zapotřebí zdroj napětí řádu desítek kilovoltů sinusového nebo pulzního průběhu s měnitelnou frekvencí pro dosažení optimálních podmínek výboje. Blokové schéma zařízení je na obr. 2.

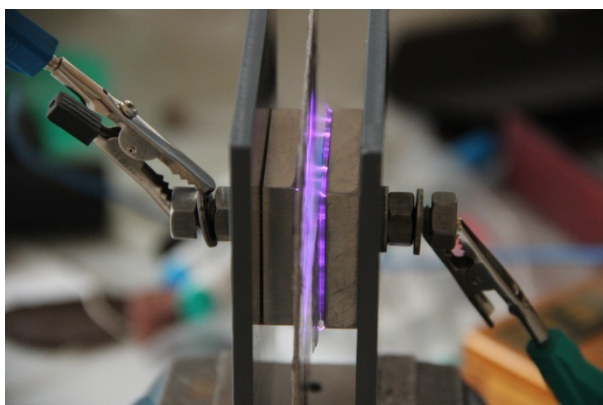


Obr. 2. Blokové schéma zařízení pro generování chladného plazmatu

Sinusový signál potřebný k buzení koncového stupně je vytvořen v generátoru s možností volby frekvence. Rozsah frekvencí potřebných pro generování bariérového výboje leží v akustickém pásmu, lze tedy s výhodou použít jako koncový stupeň pro výkonové zesílení signálu hudební nízkofrekvenční výkonový zesilovač bez jakýchkoli úprav. Doporučený výkon je 200 až 400 W v závislosti na ploše elektrod. Nejdůležitější je volba transformátoru zvyšujícího napětí z výstupu zesilovače řádově

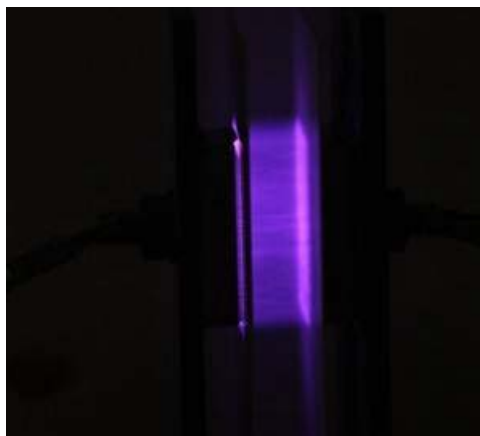
desítek voltů na hodnotu desítek kilovoltů. Na tento prvek jsou kladeny podmínky jednak z hlediska vhodné impedance primárního vinutí – při pracovní frekvenci by neměla být impedance nižší, než pro jakou je konstruován použitý výkonový zesilovač (4, resp. 8 ohm). Dalším parametrem je převod transformátoru, který by měl být minimálně 200 (v experimentu je 400) a v neposlední řadě dostatečná izolační pevnost – na sekundární straně můžeme dosahovat napětí naprázdno až 100 kV! Ze školního vybavení kladeným požadavkům vyhovuje Ruhmkorffův generátor s možností odpojení Wagnerova kladívka a přímým zapojení do primárního obvodu vinutí. Pro výboje o nižším výkonu lze také použít některých starších typů zapalovacích cívek z automobilu. Elektrody lze vyrobit z hliníku nebo jiného kovu a mohou mít libovolný tvar, nejčastěji čtvercový nebo kruhový. Elektrody je vhodné upevnit na izolační podstavě pro lepší manipulaci a rovnoběžnou polohu vůči sobě.

Nejdostupnější materiál pro vytvoření dielektrické bariéry je kvalitní sklo, které musí být velice homogenní, mít dostatečnou elektrickou pevnost, musí odolat velké intenzitě elektrického pole a vyšším teplotám. Nejvhodnějším materiálem, ne však tolik dostupným jsou destičky z korundové keramiky tloušťky přibližně do 1 mm. Bariéra se připevní mezi elektrody jednoduše přilepením oboustrannou lepicí páskou na kovovou elektrodu. Plocha bariéry by měla být větší než je plocha elektrod, aby nedocházelo k přeskokům jisker z okrajů elektrod. Konstrukce je vidět na obr. 3.



Obr. 3. Hliníkové elektrody s dielektrickou bariérou.

Objemový bariérový výboj vniká mezi dvěma rovinnými elektrodami napájenými střídavým napětím, mezi kterými je plyn a vhodná dielektrická přepážka, která zabraňuje průchodu nabitých částic. Výboj se udržuje pouze indukčně. Ukázka bariérového výboje je na obr. 4.



Obr. 4. Objemový bariérový výboj

Vzhledem k nízké teplotě plazmatu, můžeme použít tento výboj k opracovávání organických nebo i polymerních materiálů s nízkou teplotou tavení. Charakter modifikace závisí od použitého prekurzoru, který musí být buď v plynném skupenství, nebo se aplikuje formou výparů do plazmatu.

Budíme-li bariérový výboj ve vzduchu, jako prekurzor tam působí kyslík, který se používá pro vznik hydrofilních povrchů.

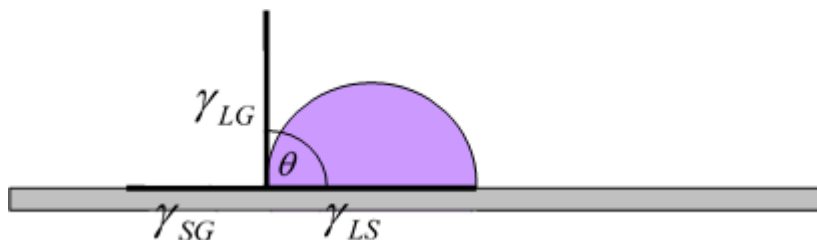
### Možnosti využití ve škole

Sestavit zařízení na bariérový výboj není tak obtížné, přímé pozorování vlivu působení chladného plazmatu na povrchovou strukturu materiálu není však ve školním prostředí dostupné z důvodu potřeby speciálních spektroskopických metod. Změny, které na povrchu proběhnou, nejsou pozorovatelné okem, ani školním optickým mikroskopem. Existuje však metoda, kterou lze určité změny na povrchu pozorovat i bez drahých přístrojů. Je to metoda měření kontaktního úhlu kapky na povrchu materiálu. Změny v kontaktním úhlu lze pozorovat i okem bez dalších nutných zařízení (obr. 5 a,b). Kontaktní úhel kapky lze měřit také ze snímku, který se zachytí pomocí mikroskopu.



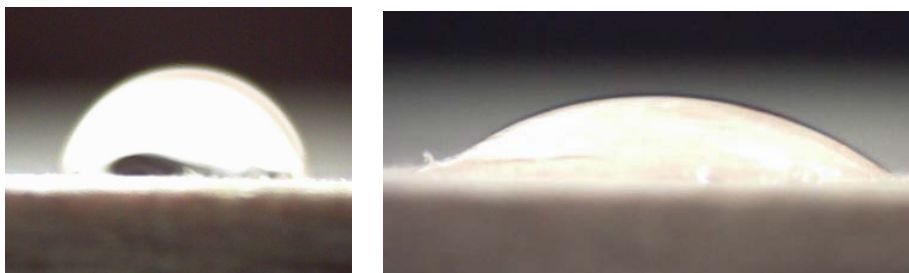
Obr. 5. a, b. Dřevo a sklo opracované v plazmatu (vždy levá část oddělena červenou čarou byla opracována v plazmatu) a kapky vody

Metoda měření kontaktního úhlu kapky kapaliny sedící na pevném podkladu je velice přesná, rychlá a levná metoda charakterizace pevných materiálů. Na základě zjištěného kontaktního úhlu lze vypočítat povrchovou energii daného materiálu a tyto informace použít pro lepší porozumění interakcím mezi daným materiálem a kapalinou.

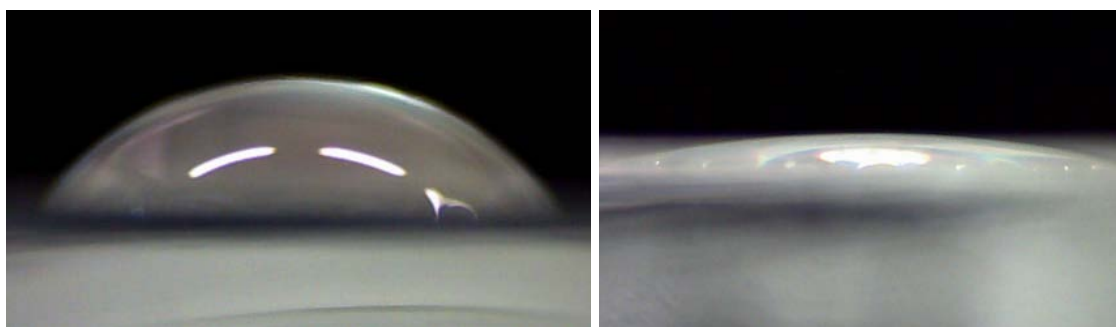


Obr. 6. Situace na rozhraní tří prostředí

Kontaktní úhel měříme mezi povrchem a tečnou sestrojenou na povrch kapky příslušné kapaliny (obr. 6). Hodnoty kontaktního úhlu nám pak dávají informaci o smáčivosti povrchu materiálu. Nejhrubší stupnicí kvality smáčivosti je kategorizace na hydrofilnost (snadná smáčivost) a hydrofobnost (obtížná smáčivost) povrchu. V tomto případě je dělicím úhlem  $90^\circ$ . Změny hodnot kontaktního úhlu nám tak mohou dát informaci o tom, jak plazmatické opracování změnilo povrchové vlastnosti materiálu.



Obr. 7a, b. Kapka vody na povrchu dřeva před (vlevo) a po (vpravo) ošetření plazmatem 10 s.



Obr. 8a, b. Kapka vody na povrchu skla před (vlevo) a po (vpravo) ošetření plazmatem 10 s.

Tab. 1. Hodnoty kontaktního úhlu po vystavení povrchů materiálů chladnému plazmatu po dobu 10 s

materiál	Kontaktní úhel před ošetřením	Kontaktní úhel po ošetření
dřevo	81°	35°
sklo	56°	12°

Ukázky hodnot kontaktního úhlu kapky vody na skle a dřevě před a po expozici povrchu chladnému plazmatu po dobu 10 s jsou na obr. 7a,b a 8a,b. Je zřejmé, že v obou případech se povrch stal hydrofilním.

Pro kontaktní úhel platí Youngův vztah:  $\cos \theta = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LG}}$ , kde  $\gamma_{LS}$   $\gamma_{SG}$   $\gamma_{LG}$  představují složky příslušných mezifázových energií. Pro další výpočty je potřeba provést měření s kapalinami jiných kapalin.

Pro školní účely je pozorovatelná změna kontaktního úhlu dostatečná. Při použití různých prekurzorů můžeme vytvářet materiály savé (hydrofilní) např. pro pleny, obvazy nebo nesavé (hydrofobní) pro automobilová skla či pro nezašpinitelnou úpravu oblečení.

## Závěr

Pro přiblížení výhod, které nám moderní technologické postupy ve fyzice nabízejí, představuje jednoduché zařízení pro generování chladného plazmatu jednu z možností, se kterou můžeme experimentovat i ve školní laboratoři. Použité komponenty jsou dostupné ve sbírkách škol, a další materiál je finančně nenáročný. Pomocí úprav povrchů materiálů můžeme žákům přiblížit svět výzkumných chemických a fyzikálních laboratoří. Mnohdy si žáci neuvědomují, že výsledky vědy nám přinášejí výhody v běžném životě.

## Literatura

- [1] BURŠÍKOVÁ, Vilma, 2004. Surface energy evaluation of plasma treated materials by con-tact angle measurement. 1st ed. Brno: Masaryk University, 70 s. ISBN 80-210-3563-3.
- [2] KRÍŽ, Martin, 2009. Hydrofilita a hydrofobicita jako klíč k řízení vlastností povrchů [online]. Brno [cit. 2015-06-15]. Dostupné z: [http://is.muni.cz/th/150674/prif\\_m/Diplomova\\_prace\\_Kriz.pdf](http://is.muni.cz/th/150674/prif_m/Diplomova_prace_Kriz.pdf). Diplomová práce. MU.
- [3] TUNOVÁ, Martina, 2015. Elektrické výboje v plynech [online]. Brno [cit. 2015-06-15]. Dostupné z: [http://is.muni.cz/th/392265/pedf\\_b/Bakalarska\\_prace.pdf](http://is.muni.cz/th/392265/pedf_b/Bakalarska_prace.pdf). Bakalářská práce. MU.