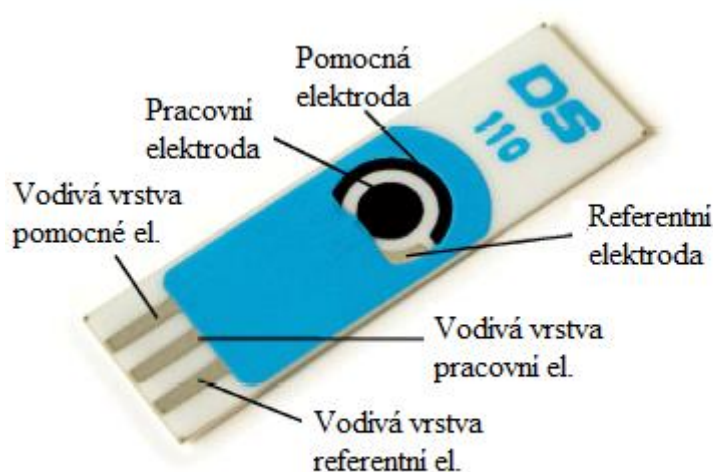


Charakteristika uhlíkových inkoustů

V průběhu posledních let se uhlíkový inkoust (*Carbon ink*; CI) stal jedním z nejoblíbenějších vodivých materiálů k výrobě tištěných uhlíkových elektrod (*Screen printed carbon electrode*; SPCE), které tvoří základní část sofistikovaných senzorů. Jejich postavení v analýze obecně je nepochybně dáno výsledkem optimální konstelace elektrochemických a fyzikálně-chemických vlastností uhlíku [1,2].

Precizní příprava CI představuje nezbytný krok při výrobě SPCE. Obr 1. zobrazuje tříelektrodovou SPCE zhotovenou společností DropSens. Jednotlivé elektrody se tisknou sítotiskovou technologií na keramickou platformu opatřenou vodivými kontakty.



Obr. 1. Uhlíková tištěná elektroda [3].

Běžné typy SPCEs jsou pevné, vodivé a inertní elektrodové materiály. Ty lze jednoduše rozdělit do dvou skupin, a to na nemodifikované SPCE (uhlíkový prášek a pojivo) a modifikované SPCE (uhlíkový prášek, pojivo a specifická komponenta). Zmíněné komponenty potom určují finální vlastnosti konkrétní SPCE. Mezi základní parametry SPCEs patří nízké proudové pozadí, poměrně široké potenciálové okno, jednoduchá manipulace, nízké náklady na výrobu či jednorázové použití [4,5].

Tyto převážně pracovní elektrody se hojně využívají především ve voltametrických stanoveních. Na tomto místě je nutno zmínit, že SPCEs našly své uplatnění i v amperometrii, coulometrii a potenciometrii [6].

Složení uhlíkových inkoustů

CI obsahuje pojivo, které se rozpouští v předem stanoveném rozpouštědle a grafitový prášek o velikosti částic v řádech jednotek μm . V ojedinělých případech mohou být do směsi přidána aditiva, která ovlivňují výsledné vlastnosti CI (např. dobu tvrdnutí, viskozitu) [1,2,7].

Každý CI je jedinečný svými vlastnostmi, které analytik ovlivní zvoleným typem grafitových částic, pojiva, jejich vzájemným poměrem ve směsi a následným zpracováním. Z toho vyplývá, že každá tištěná elektroda představuje unikát [8]. Profesionální technologií tvorby a následného tištění CI lze docílit téměř identických SPCEs.

Nemodifikované uhlíkové inkousty

Veškeré nemodifikované CIs lze klasifikovat jako binární směsi připravené z uhlíkového prášku a pojiva. Tyto dvě komponenty spolu úzce souvisí, jelikož pojivo absorbuje uhlíkový prášek a rovnoměrně ho rozptýluje ve směsi.

V minulosti byl výběr hlavních složek pro přípravu CIs spíše monotónní a ve skutečnosti neexistoval důvod hledat nové alternativní materiály, jelikož vlastnosti běžně užívaných CIs byly pro většinu aplikací uspokojivé. Nicméně i v této oblasti přinesly poslední roky některé zajímavé inovace [9].

Modifikované uhlíkové inkousty

CI lze modifikovat buď biologickými materiály, nebo lipofilními a povrchově aktivními substancemi [5]. Modifikátor lze rozpustit v pojivu nebo přimísit k CI během homogenizace. Alternativní metodou je nasycení uhlíkového prášku roztokem modifikátoru. Následuje odpaření rozpouštědla za zisku modifikátorem impregnovaného uhlíkového prášku. Objev schopnosti modifikace CI představuje nejvýznamnější milník v jejich historii.

Nejzásadnější modifikace byla realizována v 80. letech 20. století, kdy byly grafitové částice impregnovány diacetyldioximem. Jednalo se o první pokus, při němž klasické analytické činidlo sloužilo jako selektivní modifikátor. Od tohoto zlomu počet publikací týkajících se modifikovaných CIs začal exponenciálně růst. Největší ohlas zažily enzymy modifikované CIs, jež umožňují sledovat některé enzymaticky katalyzované reakce biologicky aktivních látek. Prvně byl zhotoven CI obsahující enzym glukózaoxidázu. Takto připravený CI tvoří pracovní elektrodu glukometru, uplatňovanou pro ampérometrickou detekci glukózy v krvi [2,9].

Existuje velké kvantum chemických modifikátorů, především se jedná o komplexní sloučeniny (diacetyldioxim), činidla s katalytickým účinkem, povrchově aktivní látky, činidla pro párování iontů a huminové látky. Poslední zmíněné huminy jsou černé polymerní látky zcela nerozpustné ve vodě. Jako modifikátor biologického původu se nejčastěji používá již zmíněná glukózaoxidáza, polyfenoloxidáza nebo alkoholdehydrogenáza [2].

Reference

1. Morrin A., Killard A. J., Smyth M. R., Electrochemical characterisation of commercial and home-made screen-printed carbon electrodes. *Analytical Letters* **2003**, 36 (9), 2021-2039.
2. Švancara I., Vytřas K., Kalcher K., Walcarius A., Wang, J., Carbon paste electrodes in facts, numbers, and notes: A review on the occasion of the 50-years jubilee of carbon paste in electrochemistry and electroanalysis. *Electroanalysis* **2009**, 21 (1), 7-28.
3. http://www.dropsens.com/en/img/productos/screen_printed_elect2.gif [online 20.05.2017]
4. Švancara I., Vytřas K., Metelka, R., Carbon paste electrodes in electroanalytical chemistry. *Journal of the Serbian Chemical Society* **2009**, 74 (10), 1021–1033.
5. Švancara I., Hvízdalová M., Vytřas K., Kalcher K., Novotný R., A microscopic study on carbon paste electrodes. *Electroanalysis* **1996**, 8 (1), 61-65.
6. Švancara I., Schachl K., Testing of unmodified carbon paste electrodes. *Chemické listy* **1999**, 93 (8), 490-499.
7. Cooper J. M., Cass A. E. G., Biosensors; second edition, published in the United States by Oxford University Press. Inc., New York 2004. ISBN 978-0-19-963846-8.
8. Mikysek T., Stočes M., Švancara I., Vytřas K., Možnosti charakterizace uhlíkových pastových elektrod. *Chemické listy* **2014**, 108 (5), 513-518.
9. Švancara I., Vytřas K., Barek J., Zima J., Carbon paste electrodes in modern electroanalysis. *Analytical Chemistry* 2001, 31 (4), 311-345.