

# NANOELECTRODES FOR IMPEDANCE MEASUREMENT OF CELLS

**Marian Márik**

Master Degree Programme (2.), FEEC BUT

E-mail: xmarik02@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jaromír Hubálek

E-mail: hubalek@feec.vutbr.cz

**Abstract:** In-vivo impedance measurements of cells are the objective of current scientific research in area of biological sciences. A problem that needs to be solved is how cells can be contacted with electrodes. One possible solution is based on nanoelectrodes that are fabricated due to current high technology level. The main goal of this work is to design and create nanoelectrodes using standard thin-film techniques (micro- and nanotechniques) and special methods developed at LabSensNano.

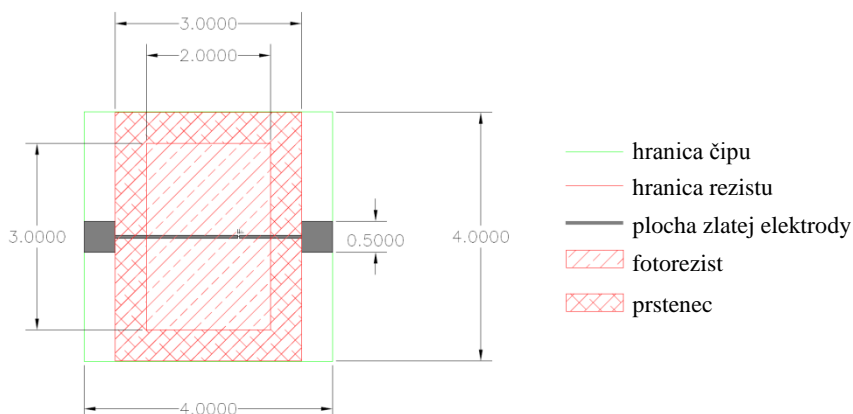
**Keywords:** Nanoelectrodes, lithography, FIB, electrochemical deposition

## 1. ÚVOD

Vývoj rôznych nanoelektrod pre biologické a bioelektrické aplikácie v 21. storočí je a bude základom modernej analýzy a vyšetrovania v lekárstve. Elektrické vlastnosti bunkových membrán a samotnej bunky sú dôležité kvôli zisteniu zdravotného a životného stavu bunky. Pre tieto aplikácie je potrebné vytvoriť špeciálny elektródový systém. Výroba zahŕňa radu technologických procesov, a to tenkovrstvové technológie, mikro- a nanoúpravy povrchov, podobne dôležité sú i elektrochemické procesy. Ďalšie časti tohto príspevku sa zaoberajú návrhom a výrobou páru zlatých nanoelektrod na snímanie elektrických veličín v živej bunke. [1]

## 2. NÁVRH A REALIZÁCIA

Dvojelektrodový systém pracuje na základe impedančných senzorov. Rozmery elektrod vyžadujú kombináciu výrobných procesov z mikrotechnológií a nanotechnológií. Preto je návrh a jeho realizácia rozdelená na dve hlavné časti. Rozmery čipu a elektrody sú uvedené na Obrázku 1.



**Obrázek 1:** Rozmerové požiadavky čipu pre mikrotechnologické úpravy s návrhom štruktúry systému dvoch nanoelektrod. Rozmery sú zadané v milimetroch.

Prvá časť zahŕňala vytvorenie hrubých štruktúr, ku ktorým patria kontaktné plochy pre merací prístroj, hrubé elektródy s koncovou hrúbkou 30  $\mu\text{m}$  a orientačné značky pre zosúlad'ovanie masiek v neskorších krokoch.

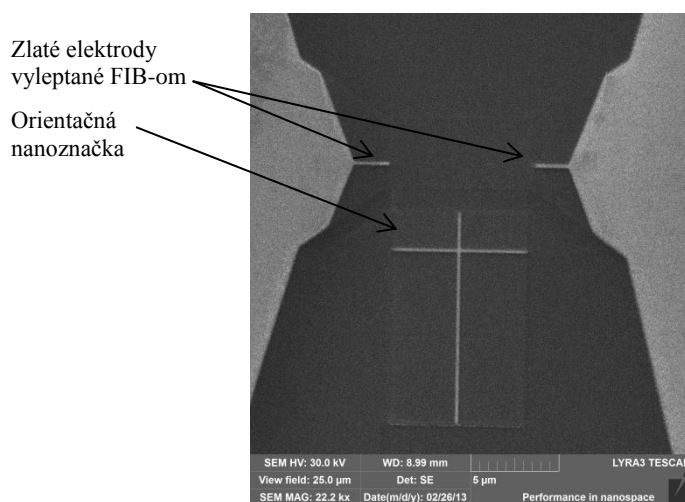
Do druhej časti patrí vytvorenie plochých nanoelektrod pomocou vrstvových techník a realizácia vertikálnych nanotyčíniek elektrochemickými procesmi.

## 2.1 MIKROTECHNOLOGICKÉ ÚPRAVY

Základom elektródového systému bola kremíková doska pokrytá termálnym oxidom kremíku s hrúbkou 500 nm. Samostatné elektródy boli vytvorené naparením (PVD-Physical Vapour Deposition) zlatej vrstvy s adhéznou chrómniklovou vrstvou. Zlatá vrstva mala hrúbku 100 nm a chrómniklová vrstva 15 nm. Pomocou UV litografie bola zhotovená ochranná maska z fotorezistu s tvarom štruktúry hrubých elektród a kontaktných plôch. Maskou nechránený povrch zlata bol chemicky odleptaný s leptadlom Gold etchant standard od firmy Sigma Aldrich, pre leptanie chrómniklovej vrstvy bola používaná leptadlo na bázi dusičanu ceričito amonného  $((\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{NO}_3)_6)$ . Nakoniec ochranná maska bola odstránená s acetónom. [2]

## 2.2 NANOTECHNOLOGICKÉ ÚPRAVY

Vytvorenie motívu s rozlíšením desiatky nanometrov bolo vykonané pomocou vrstvových úprav s fokusovaným iónovým zväzkom (Focused Ion Beam, ďalej len FIB). Tvar elektródového systému a orientačné nanoznačky boli vyleptané pomocou FIB do vrstvy zlata. [3] Hrúbka elektródového páru bola v najužšom mieste okolo 150 nm  $\pm$  5 nm (Obrázek 2).

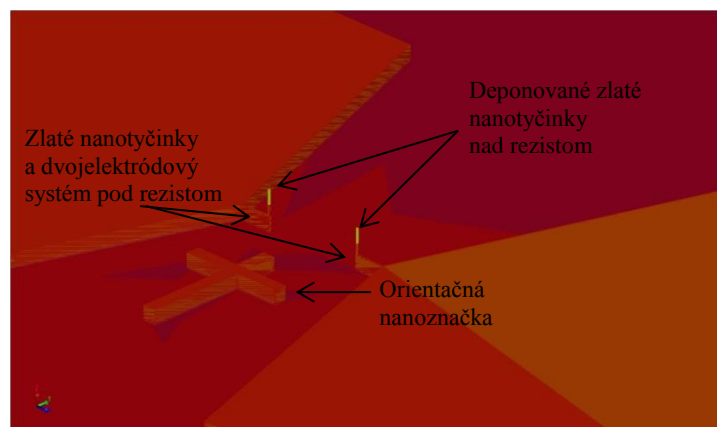


**Obrázek 2:** Tvar elektródového systému a orientačné nanoznačky, ktoré boli vyleptané pomocou FIB do vrstvy zlata.

Kvôli dosiahnutiu správnych podmienok merania bolo potrebné zakryť povrch elektródy izolačným materiálom. K tomuto účelu bol použitý organický polymér, fotorezist PMMA 495, ktorý má kľúčový význam i u elektrochemických procesov.

Vertikálne nanotyčinky na konci nanoelektrody sa dajú vytvoriť rôznymi spôsobmi, ako fokusované deponovanie z prekursoru alebo deponovanie elektrochemickou cestou. V tejto práci bol do vrstvy rezistu motív prenesený elektrónovou litografiou pomocou skenovacieho elektrónového mikroskopu Tescan Mira II LMU. Takto boli vytvorené dve nanodiery s priemerom 100 nm nad koncami elektród. Keďže rezist bol neobvykle hrubý pre elektrónovú litografiu s takým malým rozlíšením, boli vyvinuté a použité neštandardné prúdové a časové nastavenia elektrónového zväzku.

Tie nadštandardné nastavenie snižovali i tzv. proximity efekt, s čím litografia s elektrónovým svazkom bola presnejšia.



**Obrázek 3:** Deponované zlaté nanotyčinky v rezistu PMMA 495

Vytvoriť nanotyčinky s predom danou hrúbkou a výškou v malom množstve bolo veľmi náročné. Po preštudovaní možných realizačných techník bol vybraný elektrochemický proces: napätím riadená pulzná depozícia. Tvar deponovaných nanotyčínok je zobrazený na 3D modeli na Obrázku 3.

Posledný krok výroby bolo vytvorenie prstenca z pozitívneho rezistu klasickou UV litografiou.

### 3. ZÁVER

V priebehu projektu boli preštudované a vyskúšané tenkovrstvové technológie dostupné v laboratóriách LabSensNano. Vytvorené elektródy sú vhodné na detekciu elektrických veličín v rozmedzí rádovo mikrovolty až stovky milivoltov. Elektródova štruktúra bola nachystaná tak aby umožnil meranie buniek v elektrolyte na vodnej báze, sú vodeodolné a použiteľné opakovane. Problémy s elektrochemickým predeponovaním zlatých nanotyčínok, ako aj veľký proximity efekt u elektrónovej litografie boli vyriešené. Vedomosti získané počas projektu boli veľkým osobným i tímovým prínosom pre neskoršie projekty.

### POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu projektu Doc. Ing. Jaromírovi Hubálkovi, Ph.D. za jeho efektívnu metodickú, a technickú podporu a cenné rady v priebehu riešenia projektu. Ďakujem aj kolegom z tímu LabSensNano za plodné diskusie a za technickú podporu v chemickom laboratóriu a pri PVD technikách. Práca bola podporovaná projektom NANOE CZ.1.07/2.3.00/20.0027 a CEITEC CZ.1.05/1.1.00/02.0068.

### POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Fraden, J.: Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications, New York, Springer Verlag 2004, s. 533-555, ISBN 0-387-00750-4
- [2] Cui, Z.: Nanofabrication: Principles, Capabilities and Limits, Didcot, UK, Springer 2008, s. 348 ISBN 978-0-387-75576-2.
- [3] Shinji, M., Takashi, K., Junichi, F., Masanori, K., Kazuhiro, K., Yuichi, H.: Three-dimensional nanostructure fabrication by focused-ion-beam chemical vapor deposition, Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures, 2000, s. 3181-3184