

# VÍCE INFORMACÍ NA MIKROMETR KRYCHLOVÝ NOVÉ IONTOVÉ PAMĚTI

Tomáš Hrbek<sup>1</sup>, Max Fraenk<sup>1</sup>, Silviya Valkova<sup>2</sup>, Jakub Kolář<sup>2</sup>, Tomáš Wágner<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium Josefa Ressela, Chrudim, Olbrachtova 291

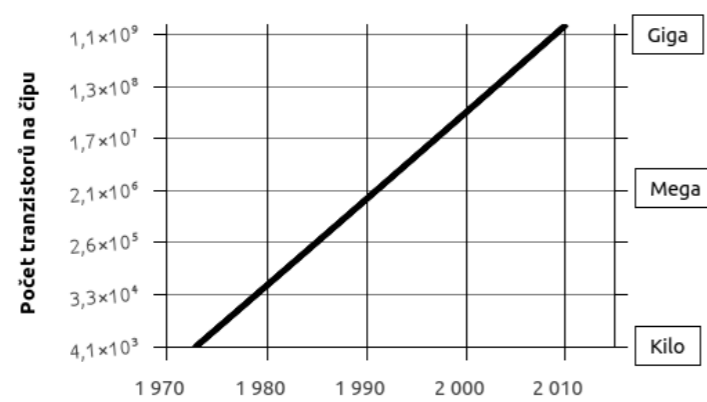
<sup>2</sup>Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, Studentská 573, 532 10 Pardubice

## Abstrakt

Byly připraveny paměťové cely využívající tvorbu vodivého nanovláknka (PMC – programmable metallization cell), které představují jeden z nových fyzikálních konceptů paměti. Jejich spínání probíhá na bázi elektrickým polem indukovaného vytváření a zpětného rozpouštění vodivého můstku s násobně vyšší vodivostí, než je vodivost elektrolytu.

## Motivace

V dnešní době se využívá standardních polovodičových integrovaných obvodů (paměti) na bázi křemíku. První integrovaný obvod byl vytvořen bezmála před 60 lety. Od té doby se výkon těchto obvodů zvyšuje – dle Moorova zákona – přibližně dvakrát za dva roky (Obr. 1). [1]



Obrázek 1: Moorův zákon

Tento růst výkonu má své meze. Nevýhodou křemíkových technologií je:

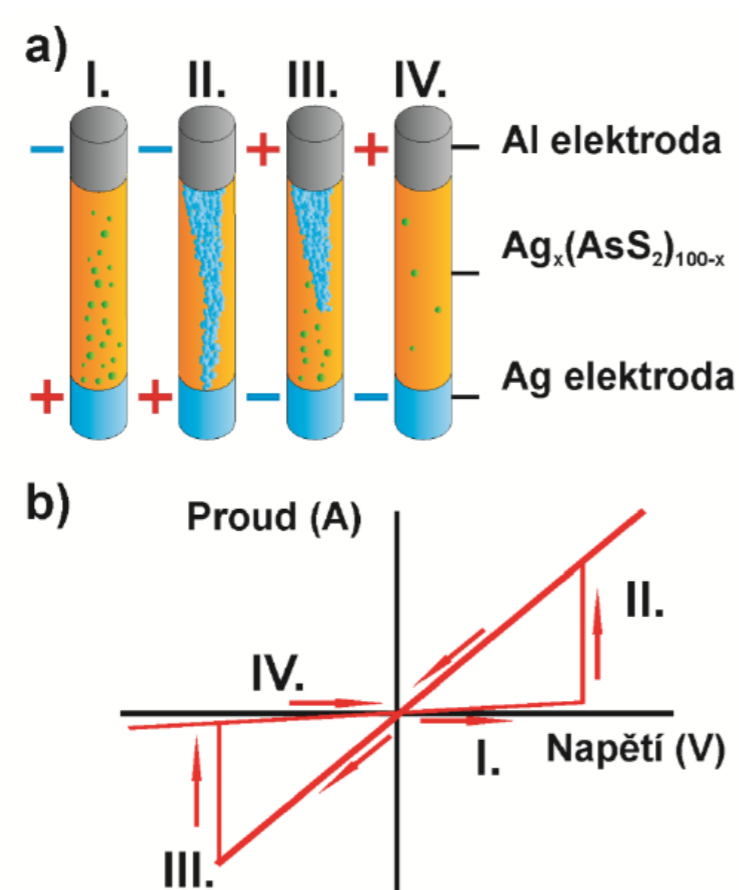
- Jejich **příprava litografií**, kterou je možno vyrobit jen omezeně velké součásti paměti.
- **Složitější struktura** oproti PMC. Uchování 1 bitu informace vyžaduje násobně větší objem (plochu) paměťového čipu.
- Standardní RAM paměti jsou **těžké**, pro uchování informace tedy potřebují dodávat energii.

PMC paměti naopak mají jednoduchou strukturu a jsou **netěžké** – udržení informace nespotebováá energii.

## Spínání

Proces spínání je založen na elektrochemickém růstu kovových vláken mezi dvěma elektrodami v pevném elektrolytu. [2] Tento proces je způsoben migrací  $Ag^+$  iontů z aktivní elektrody elektrolytem. Ionty stříbra migrují k inertní elektrodě (ITO), která je nerozpustná. [3] Přesun iontů je závislý na polaritě. Změnou polaritu se tvoří, nebo zaniká vlákno.

Elektrický odpor elektrolytu je výrazně větší než elektrický odpor kovu (stříbra), ze kterého je rostoucí vlákno. Stav ON nastává v okamžiku, kdy jsou obě elektrody spojeny tímto vodivým vláknem. Stav OFF naopak tehdy, nejsou-li elektrody spojeny vodivým vláknem. (Obr. 2) Rozdíl  $R_{ON}$  a  $R_{OFF}$  by měl být maximální. [4]

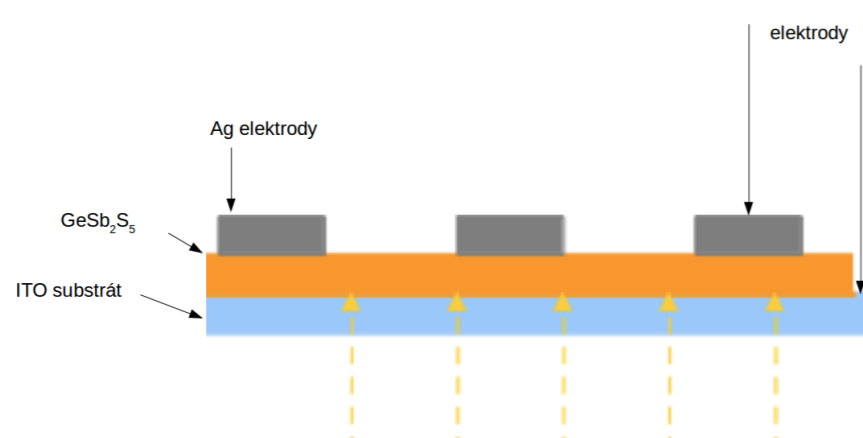


Obrázek 2: (a) Schéma funkce paměťové cely založené na odporovém spínání. + - Značí polaritu v jednotlivých fázích spínání. Zelené jsou  $Ag^+$  ionty, modré atomy Ag. (b) Závislost proudu na napětí v průběhu čtyř fází cyklu spínání. [5]

## Struktura a výroba cel

Jako základ elektrolytu bylo využito chalkogenidové sklo  $GeSb_2S_5$ , jehož tenká vrstva byla připravena metodou Flash vakuového napařování. Sklo  $GeSb_2S_5$  bylo z elektricky žhavené lodičky vypařeno při vysoké teplotě nad  $700^\circ C$  a tlaku menším než  $10^{-3} Pa$  a zkonzenzovalo v tenké vrstvě na ITO substrátu. ITO substrát fungoval jako inertní elektroda. Aktivní elektrodou bylo Ag. (Obr. 3)

Cela byla následně osvětlena xenonovou lampou, která napomohla rozpouštění Ag do vrstvy ( $GeSb_2S_5$ ), čímž byl vyroben pevný elektrolyt.

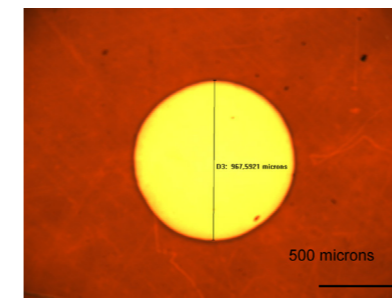


Obrázek 3: Struktura cely. Modrou barvou je znázorněn ITO substrát, oranžovou sklo  $GeSb_2S_5$ , a šedou Ag elektrody. Zlatou směrem ozařování Xe lampou.

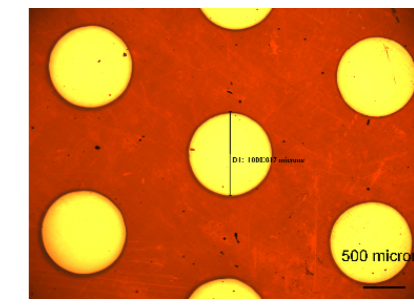
Připravená tenká vrstva  $GeSb_2S_5$  měla tloušťku 85 nm. Ag elektrody 300 nm. Napařování probíhalo za tlaku  $10^{-3} Pa$ .

## Výsledky

Nejprve byly vyrobeny paměťové cely:



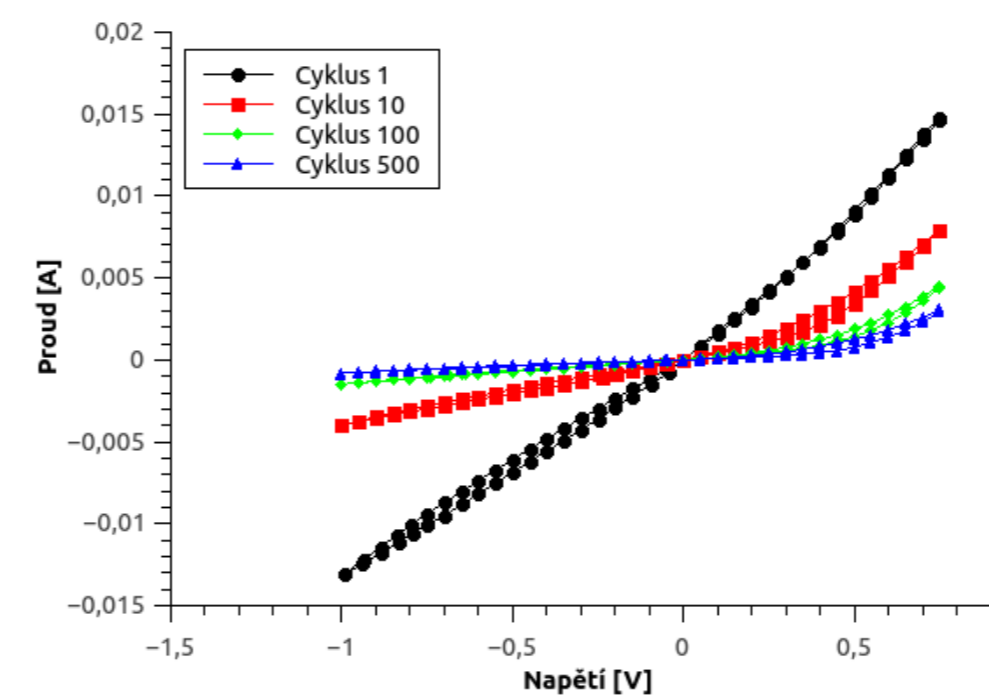
Obrázek 4: Cely ITO, zvětšení 20x.



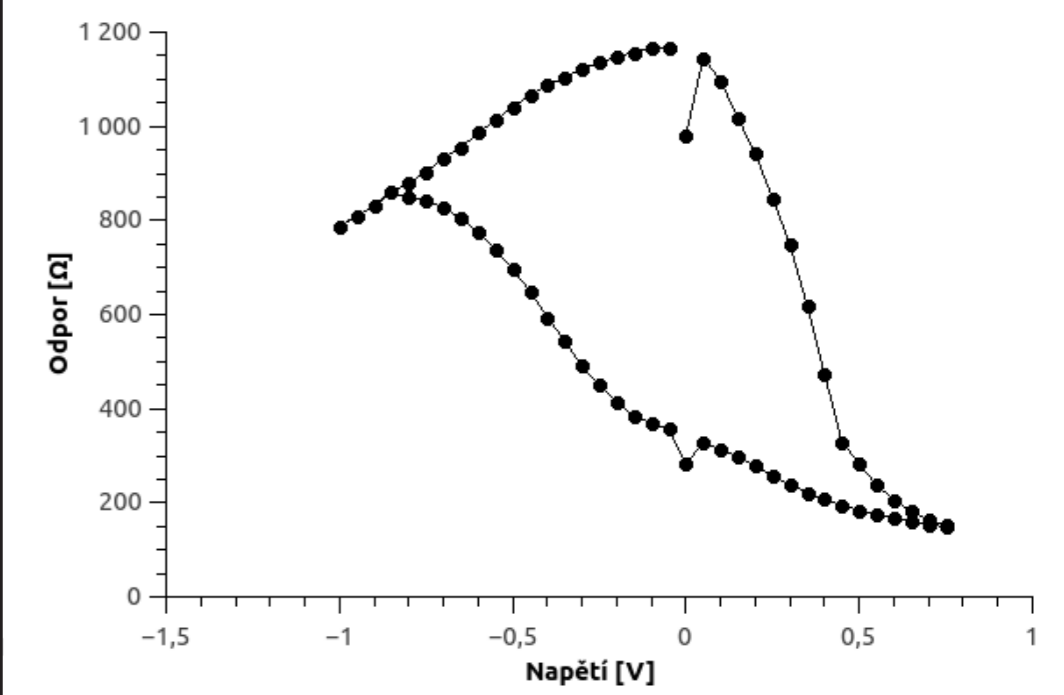
Obrázek 5: Cely ITO, zvětšení 10x.

Připravené cely byly elektricky spínány (vystaveny měnícímu se napětí na elektrodách od  $-1 V$  do  $0,8 V$ ) rychlostí 1 sepnutí za 1 sekundu.

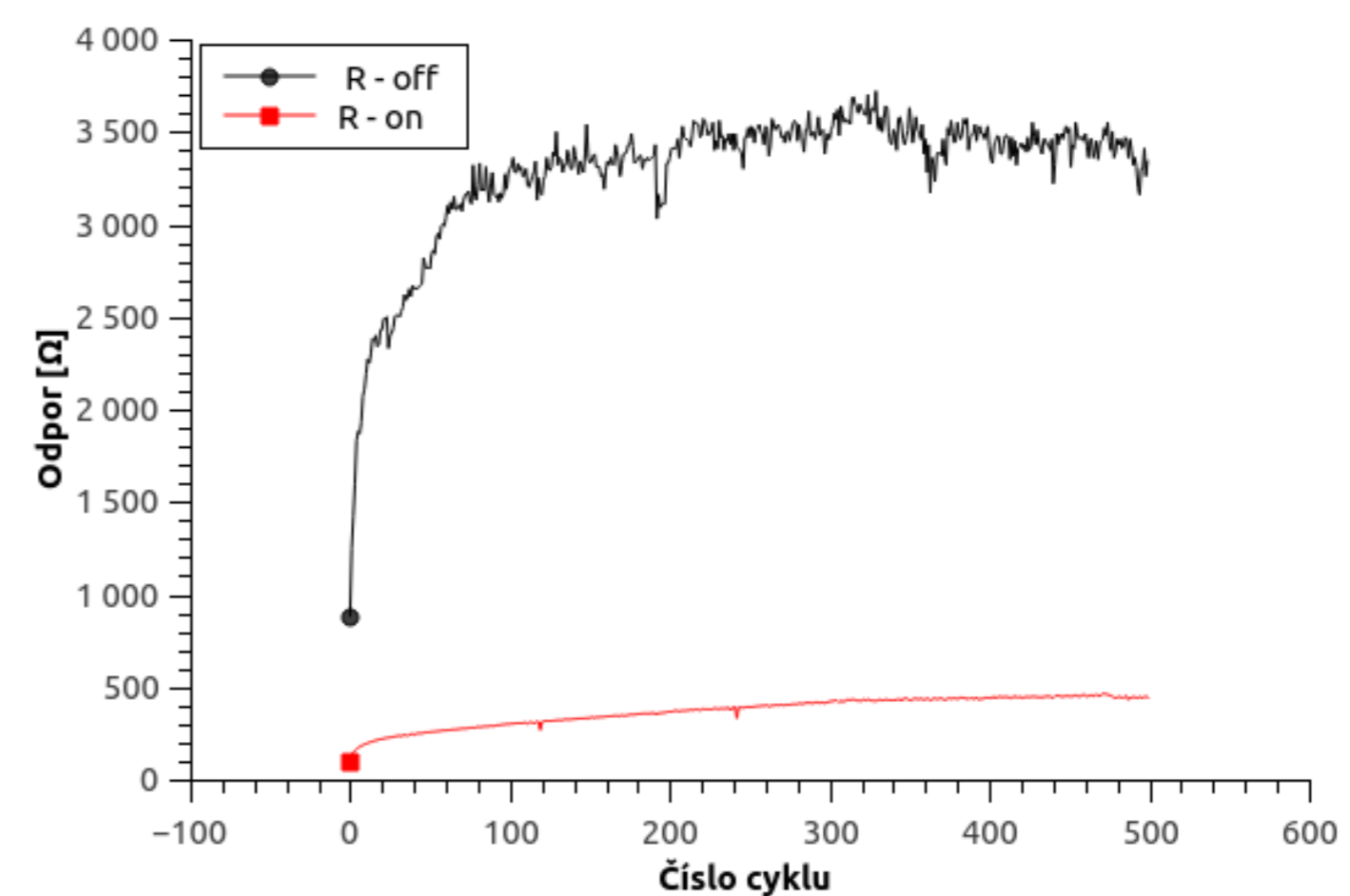
Cely byly spínány až 1000x na jedné stříbrné elektrodě. Byly získány následující výsledky, zachycené v grafech. (Obr. 6)(Obr. 7)(Obr. 8):



Obrázek 6: Závislost proudu na napětí.



Obrázek 7: Závislost odporu na napětí.



Obrázek 8: Změna odporu v průběhu cyklů.

Na (Obr. 6), (Obr. 7) je voltampérová charakteristika 1., 10., 100. a 500. cyklu. Je zde zachycen značný rozdíl mezi ON a OFF stavem – spínání tedy proběhlo.

Na (Obr. 8) jsou zachyceny odpory  $R_{ON}$  a  $R_{OFF}$  a jejich změnu v průběhu spínání. Rozdíl v odporech  $R_{ON}$  a  $R_{OFF}$  byl 10-ti násobný. V průběhu prvních 50 cyklů se cely stabilizovaly. Dále byly odpory takřka konstantní.

## Shrnutí

- úspěšně jsme připravili paměťové cely využívající tvorbu vodivého nanovláknka.
- úspěšně jsme provedli 1000 spínacích cyklů  $\Rightarrow$  zapsání a vymazání 1000 bitů informace.
- rozdíl odporů  $R_{ON}$  a  $R_{OFF}$  byl desetinásobný, což je dostatečný rozdíl k rozpoznání stavu ON a OFF.
- struktura cely se ukázala funkční.

## Budoucí výzkum

Slibné chování připravených paměťových cel by mohlo být dále prozkoumáno a rozvinuto. Další výzkum by mohl být zaměřen především na optimalizaci parametrů – složení elektrolytu, způsob přípravy atd. – a miniaturizaci paměťových cel, která je nutná pro praktické využití.

## Reference

- [1] <http://www.integrovanecel.euweb.cz/OdPohyblivosti.pdf>
- [2] W. Lu, D.S.Jeong, M. Kozicki, R.Waser: MRS Bulletin, Vol.31, Feb.2012, 125
- [3] F. Wang, W.P. Dunn, M. Jain, C. De Leo, N. Vickers; Solid-State Electronics 61, 2011, 33–37
- [4] W.Lu, D.S.Jeong, M. Kozicki, R.Waser: MRS Bulletin, Vol.31, Feb.2012
- [5] Kolar J., Macak J., Terabe K., Wágner T., Down-scaling of resistive switching to nanoscale using porous anodic alumina membranes, J. Mater. Chem. C 2 (2014) 349-355.