

# MEMS CAPACITANCE PRESSURE SENSORS USING CNT ARRAY

**Miroslav Šeda**

Master Degree Programme (1), FEEC BUT

E-mail: xsedam00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Richard Ficek & Radimír Vrba

E-mail: ficek@feec.vutbr.cz & vrbar@feec.vutbr.cz

## ABSTRACT

The project directs attention to manufacture MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) capacitance pressure sensor using carbon nanotube (CNTs) array. The sensor consists of two electrodes; elastic CNTs electrode as a membrane and solid CNTs electrode. Applied pressure deflects the anode membrane so that the distance between electrodes is smaller and value of capacitance is higher. CNT arrays on both electrodes increase their surfaces which have an influence on the capacitance value (1). Whole sensor use automated measurement of capacitance by serial port RS 232 controlled by microcontroller ATMEL MEGA 8515.

## 1. ÚVOD

V předložené práci je popsán princip a výroba kapacitního tlakového senzoru skládajícího se z elastické elektrodové membrány s polem uhlíkových nanotrubic a elektrody pevné opatřené taktéž polem uhlíkových nanotrubic (CNTs). Při působení tlaku se mění vzdálenost mezi elektrodami a tím i kapacita. Pro sledování a měření kapacity je použit obvod AD 7745, který představuje 24bitový sigma-delta ADC převodník komunikující s počítačem prostřednictvím sériového portu RS232 za pomoci obvodu MAX 232 a mikrokontroléru ATMEL MEGA 8515.

## 2. TEORETICKÁ ČÁST

Kapacita je obecně dána empirickým vztahem

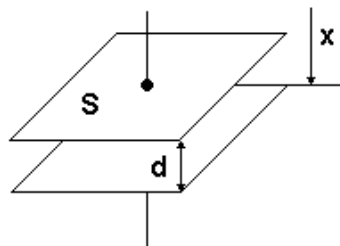
$$C = \frac{\epsilon S}{d}, \quad (1)$$

kde  $\epsilon$  je absolutní permitivita a je rovna

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \quad (2)$$

kde  $\epsilon_0$  je konstantní hodnota permitivity vakua  $\epsilon_0 = 8,854187 \cdot 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$ .  $\epsilon_r$  je relativní permitivita daná daným prostředím či materiálem mezi elektrodami a vyjadřuje, kolikrát se

elektrická síla zmenší v případě, že tělesa s elektrickým nábojem jsou místo ve vakuu umístěna v látkovém prostředí (v našem případě vzduchu  $\epsilon_r = 1,00054$ ). Proměnná  $S$  je plocha elektrod a  $d$  vzdálenost elektrod.



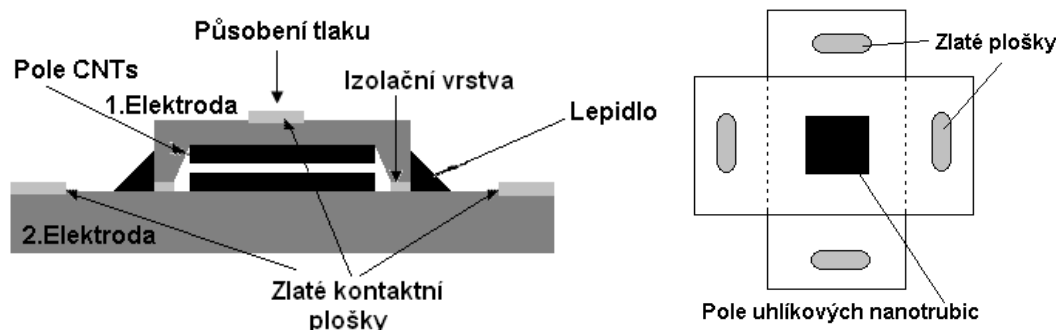
**Obrázek 1:** Principiální schéma deskového kapacitního senzoru s proměnnou mezerou.

Pro výpočet kapacity při změně vzdálenosti  $d$  se využije následující matematický výpočet. Vycházíme z obecného vztahu (1). Pro změnu kapacity  $\Delta C$  v závislosti na změně  $d$  přepíšeme na vztah do tvaru

$$\Delta C = \epsilon S \left( \frac{1}{d + \Delta d} - \frac{1}{d} \right). \quad (3)$$

### 3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Senzorický čip se skládá ze dvou elektrod s deponovanými CNT poli tvořící deskový kondenzátor. Prostor mezi elektrodami je vyplněn vzduchem. Jako výchozí substrát pro výrobu elektrod je použit monokrystalický, čtyřpalcový, 525  $\mu\text{m}$  tlustý křemíkový substrát (wafer) typu N s atomární orientací  $\langle 100 \rangle$  dodaný společností ON Semiconductor. Na povrchu waferu je 200nm tlustá vrstva termického oxidu  $\text{SiO}_2$ , který zároveň slouží jako leptu-odolná vrstva při anizotropním leptání membrány v roztoku fluoridu amonného a fluoridu amonného kyselého. Mezi oběma elektrodami je 100  $\mu\text{m}$  tlustá izolační vrstva ze simaxového skla, která zároveň obě elektrody spojuje. Simaxové sklo je polarizovatelná látka, jejíž domény se při ohřevu natočí a při přiložení napětí, se stávají vodivými, což má za následek vytvoření elektrochemických vazeb způsobující pevné spojení elektrod a simaxu. Po ochlazení se simaxové sklo opět stává dielektrikem, kdy se domény vrátí do svých rovnovážných poloh. Tento proces se nazývá anodické pájení křemíku. Potřebné zařízení však ještě není k dispozici, a proto je spojení realizováno lepidlem a vhodným dielektrikem (např. fotorezistem). Zmíněný senzor pak vypadá následovně.



**Obrázek 2:** Profil a pohled shora na kapacitní senzor

Leptací proces elektrod je uskutečňován následovně. Přes offsetovou pozitivní fólii s motivem je vytvořena šablona ve fotorezistu RISTON<sup>®</sup> MM140, potřebná k vytvoření

oxidové masky. Před laminováním je na wafer nanesen roztok hexamethyldisilazanu z důvodu lepší adheze fotorezistu a minimalizaci podleptání. Po vytvoření oxidové masky je křemíková deska leptána v námi vyrobené aparatuře za pomoci roztoku KOH. Rychlost leptání křemíku je 1  $\mu\text{m/s}$ , což nám umožňuje vytvoření membrány s přesnou tloušťkou.

Depozice nanotubic je uskutečňována pomocí PECVD (plasma enhanced chemical vapour deposition), což znamená depozici z plynné fáze za pomoci plazmy. Elektroda, na jejímž povrchu se má deponovat pole nanotubic, se vyčistí 4% roztokem HF a poté opláchne v demineralizované vodě. Pomocí vakuového naprašování se přes kovovou šablonu nanese 10 nm tlustá vrstva železa, sloužící jako katalyzátor tvořící základ pro tvorbu uhlíkových nanotubic. Samotná depozice se uskutečňuje v reaktoru při mikrovlnném výboji 2.4 GHz v Ar plynu za přítomnosti směsi vhodného uhlovodíku ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ) a  $\text{H}_2$ . Uhlovodík se poté rozkládá a s katalyzátorem pak vytváří pole uhlíkových nanotubic. Jednotlivé průtoky plynů jsou  $Q(\text{Ar}) = 1450 \text{ sccm}$ ,  $Q(\text{H}_2) = 425 \text{ sccm}$  a  $Q(\text{CH}_4) = 40 \text{ sccm}$ .

Z vrchní strany senzoru jsou elektrody opatřeny zapuštěnými zlatými kontakty, které jsou také nanášeny vakuovým naprašováním přes kovovou masku. Sensorické čidlo je pomocí hliníkových drátků spojeno s řídicím obvodem procesem bondování.

#### 4. ZÁVĚR

V současné době probíhají první testy námi navrhnutého senzoru skládajícího se s elektrod opatřenými uhlíkovými nanotubicemi na povrchu. Elastická elektroda je vybavena tenkou membránou, jenž působícím tlakem mění svůj tvar, resp. vzdálenost vůči pevné elektrodě. Křemíkové membrány s deponovanými CNT jsou podrobeny testování pomocí elektronového mikroskopu. Dále se řeší otázka výpočtu plochy  $S$ , která je tvořena nanotubicemi, aby bylo možno sestavit přesný matematický model chování senzoru a vlivu průhybu membrány na změně kapacity.

#### PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu MPO 2A-1TP1/143 a výzkumného záměru MSM 0021630503. Poděkování patří vedoucímu diplomové práce Ing. Richardu Fickovi, a Prof. Radimíru Vrbovi za vedení a cenné rady, dále pak kolegovi Bc. Janu Pekárkovi, Mgr. Ondřeji Jaškovi a Mgr. Markovi Eliášovi za pomoc při samotné realizaci jednotlivých součástí senzoru. Mgr. Matějkové z ÚPT AVČR za analýzu uhlíkových polí pomocí elektronového mikroskopu.

#### LITERATURA

- [1] B. Mahar, C. Laslau: Development of Carbon Nanotube-Based Sensors, *IEEE Sensors Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 266-282, February 2007
- [2] R. Ficek, R. Vrba, B.H. Kim, S. Goodnick, S. Milicic, Z. Kučerová, L. Zajíčková, M. Eliáš: Carbon nanotubes: Preparation and measurement of their electrical properties for pressure sensor application, *IMAPS CS INTERNATIONAL CONFERENCE PROCEEDINGS 2006*, Brno, September 2006. Dražanský, M., Orság, F.: Biometric Security Systems: Robustness of the Fingerprint and Speech Technologies. In: *BT 2004 - International Workshop on Biometric Technologies*, Calgary, CA, 2004, s. 99-103