Assignment 2 MEMS-design
av Furkan Kaya

3. Konsentrasjonen av elektroner og hull:

En gitt formel er $n_0 p_0 = n_i^2$ hvor

$$n_i^2 = 4\left(\frac{4\pi^2 m_n^* m_p^* k^2 T^2}{h^2}\right) = \left(1{,}5 \times 10^{10}/cm^3\right)^2$$

ved RT.

Fosfordoping gir $n_0 = 10^{17}$ atomer/cm^3. Vi følger samme prosedyre som i eksempel 3.1 hvor vi antar at ved romtemperatur, så er alle fosforatomer ionisert. Dette gir oss $n_0 = \underline{\underline{10^{17}\,cm^{-3}}}$

$$p_0 = \frac{n_i^2}{n_0} \Rightarrow p_0 = \frac{\left(1{,}5 \cdot 10^{10}\right)^2/cm^3}{10^{17}/cm^3}$$

$$p_0 = \underline{\underline{2250\,/cm^3}}$$

Resistiviteten til materialet:

Vi bruker her formelen for resistivitet $\rho = \frac{1}{\sigma} \Rightarrow$

$$\rho = \frac{1}{q(\mu_n n_0 + \mu_p p_0)}$$ som gir oss

$$\rho = \frac{1}{(1{,}6 \cdot 10^{-19}) \cdot (1350 \cdot 10^{17} + 480 \cdot 2250)}$$

$$\rho = \underline{\underline{\frac{5}{108}}}\ \Omega \cdot cm \approx \underline{\underline{0{,}0463\ \Omega \cdot cm}}$$ (i desimal form)

Den totale resistansen:

$$R = \rho \frac{l}{wt}$$ (eller resistiviteten multiplisert med lengde, dividert på cross-sectional area)

$$R = \frac{5}{108} \cdot \frac{100 \cdot 10^{-6}}{(2 \cdot 10^{-6}) \cdot (0{,}5 \cdot 10^{-6})}$$

$$R = \underline{\underline{4629629{,}6}}\ \Omega$$

6. Vi finner den totale resistansen først

$$R = \rho_s \frac{l}{w} \Rightarrow R = 50 \cdot \frac{15 \cdot 10^{-6}}{0{,}25 \cdot 10^{-6}}$$

$$R = \underline{\underline{3000\ \Omega}}$$

Resistiviteten:

$$R = \rho \frac{l}{wt} \Rightarrow 3000 = \rho \cdot \frac{15 \cdot 10^{-6}}{(0{,}3 \cdot 10^{-6}) \cdot (0{,}25}$$

$$\rho = \underline{\underline{1{,}5 \cdot 10^{-5}\ \Omega \cdot cm}}$$

Fosfor-konsentrasjonen:

$$\rho = \frac{1}{q(\mu_n \cdot n_0 + \mu_p p_0)}$$

$$1{,}5 \cdot 10^{-5} = \frac{1}{(1{,}6 \cdot 10^{-19})(1350 \cdot n_0 + 480 \cdot p_0)}$$

$$1{,}5\cdot 10^{-5}\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19} = \frac{1}{1350\cdot \frac{n_i}{p_0} + 480\cdot p_0}$$

$$2{,}24\cdot 10^{-24}\cdot\left(1350\cdot \frac{1{,}5\cdot 10^{10}}{p_0} + 480\,p_0\right) = 1$$

$$2{,}24\cdot 10^{-24}\cdot\left(\frac{2{,}025\cdot 10^{13}}{p_0} + 480\,p_0\right) = 1$$

Vi multipliserer med p_0 på begge sider for å få en enklere funksjon å håndtere. Det gir

$$4{,}536\cdot 10^{-11} - p_0 + 1{,}0752\cdot 10^{-21}\,p_0^2 = 0$$

Så bruker vi andregradsformelen: $\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

$$\frac{1\pm\sqrt{1-4\cdot 4{,}536\cdot 10^{-11}\cdot 1{,}0752\cdot 10^{-21}}}{2\cdot(1{,}0752\cdot 10^{-21})}$$

$$\Rightarrow p_0 = \underline{\underline{9{,}3\cdot 10^{20}\ /\mathrm{cm}^3}}$$

- For den siste delen av oppgaven bruker vi formelen

$$n_i^2 = p_0 n_0 \Rightarrow \left(1{,}5\cdot 10^{10}\right)^2 = 9{,}3\cdot 10^{20}\cdot n_0$$

$$n_0 = \underline{\underline{0{,}242\ /\mathrm{cm}^3}}$$

14. Vi har her to oppgitte krefter å forholde oss til. Det ene er reactive force (eller shear force) og torque (bending moment). Det første er den algebraiske summen av vertikale krefter som agerer til venstre eller høyre på seksjonen. Mens bending moment er den algebraiske summen av kreftene til venstre eller høyre av seksjonen tatt av seksjonen.

- For U har vi ingen netto kraft eller moment fordi det blir utjevnet i henhold til Newtons tredje lov. Det gjelder ved både „ankeret" og ved punkt A.

- For F har vi igjen netto null i kraft, men vi har et moment. Det kommer av F multiplisert med henholdvis L og $L/2$.

Ved „ankeret":

$M = \underline{\underline{F \cdot L}}$ og Reaktiv torque $= -\underline{\underline{F \cdot L}}$

Ved punkt A:

$$\Sigma M = FL - \frac{FL}{2} = \underline{\underline{\frac{FL}{2}}}$$

16.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{(20 \cdot 10^{-6}) \cdot (1 \cdot 10^{-6})}$$

$$\sigma = \underline{50000000}$$

$$\sigma = E s \Rightarrow s = \frac{\sigma}{E} \Rightarrow s = \frac{50000000}{1{,}12 \cdot 10^{11}} \times 100\%$$

$$s = \underline{\underline{0{,}0446\ \%}}$$

Hvis fracture strain er på 0,3 %

$s = 3 \cdot 10^{-3}$ og formelen er $\frac{EA}{s} = F$

som gir

$$F = \frac{1{,}12 \cdot 10^{11} \cdot (20 \cdot 10^{-6})(1 \cdot 10^{-6})}{3 \cdot 10^{-3}}$$

$$F \approx \underline{\underline{747\ N}}$$

20. Denne oppgaven handler om fjærkonstanter. Vi skal bevise at fjærkonstanten til en centrally loaded fixed-fixed beam er det dobbelte av det til en fixed-guided beam når det er halvparten av fixed-fixed beam. Fjærkonstanten følger regelen: $k_m = \frac{F}{x}$

For fixed-guided beam:

$$k = \frac{12EI}{\ell^3} \quad \text{hvor } I = \frac{wt^3}{12}$$

for fixed-fixed beam:

$$k = \frac{16 E w t^3}{l^3}$$ (fant denne ved hjelp av Internett-søk. Det kommer av 192/12 fra $I = wt^3/12$. Vi har fra før $k = \frac{192 EI}{l^3}$)

Dette gir oss da

$$k_{ff} = k_{fg} \Rightarrow$$

$$\frac{16 E w t^3}{l^3} = \frac{E w t^3}{\left(\frac{l}{2}\right)^3} \Rightarrow \frac{16 E w t^3}{l^3} = \frac{E w t^3}{\frac{l^3}{8}}$$

som gir $$\frac{16 E w t^3}{l^3} = \frac{8 w t^3}{l^3}$$

eller på en annen måte $\underline{\underline{2 k_{ff} = k_{fg}}}$

Altså så er det dobbelt så stort.

22. Scaling of moment of inertia:

Med flexural beam mener vi bøyingsmomentet.
Scaling loven til moment of inertia er:

$$I = \frac{w t^3}{12}$$

Hva betyr dette for MEMS-design?
Vi har her loven $M = -EI \cdot \frac{1}{R}$. Her er bøyingsstivheten gitt av $E \cdot I$

Implikasjonen for MEMS sensorer er at man får et produkt som heter Inertialle sensorer. Disse er, som navnet tyder på, sensorer som er basert på moment of inertia. Det har gitt opphav til sensorer som accelerometer og gyroscopes. Moment of Inertia er et mål på et objekts resistans til forandringer i rotasjonsretning. Det har det samme forholdet til vinkelakselerasjon som masse har til linear akselerasjon.

- Det gir da for gyroskop-sensorer, så gir rotasjon av komponenten en kraft på proof mass. Denne forflytningen er så målt capacitively.
- For en accelerometer, som måler såkalt relativ akselerasjon, så er det slik at sensoren kan bevege seg i forhold til bøyingen.
- En aktuator er en komponent av maskinen som er ansvarlig for å bevege eller kontrollere en mekanisme eller systemet. Man kan lage moment of inertia ved å bruke MEMS-aktuator,

26. Vi har en formel i eksempel 3.11 som vi må omgjøre litt:

$$f_n = \left(\frac{22,4}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{120 \cdot 10^9 \cdot T^2}{2330 \cdot L^4 \cdot 12}} \right.$$

$$10\,000 = 7385,67 \cdot \frac{T}{L^2} \Rightarrow 1,354 = \frac{T}{L^2}$$

Så setter vi inn for de forskjellige alternativene for alt 1:

$$T = 1,354 \cdot (6,4 \cdot 10^{-3})^2 \Rightarrow T = \underline{55,45\ \mu m}$$

7 stemmer ikke

for alt 2:

$$T = 1,354 \cdot (2,9 \cdot 10^{-3})^2$$

$$T = \underline{11,39 \mu m}$$

for alt 3:

$$T = 1,354 \cdot (143 \cdot 10^{-3})^2$$

$$T = 0,028 m \quad \text{eller} \quad T = \underline{2,8 mm}$$

Dette alternativet ~~er~~ nærmest. Så det er enten det eller det andre alternativet som stemmer (alt 4 altså?).