

**Μάθημα:** ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

**Εισηγητής:** ΤΑΣΟΣ ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΣ

**Ακαδημαϊκό Έτος 2012-13**

**Εξεταστική Σεπτεμβρίου**

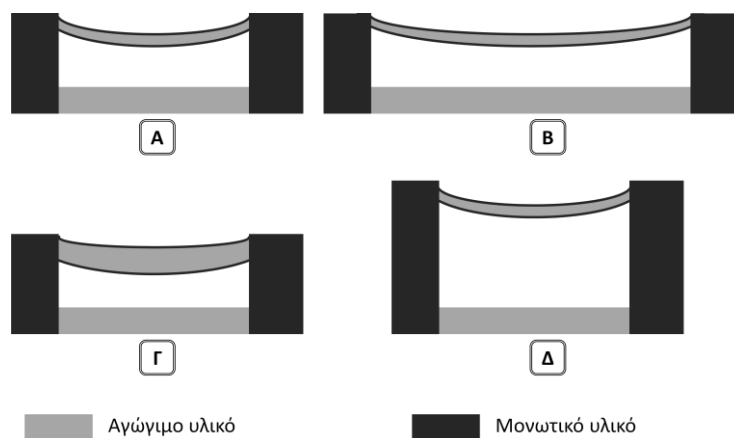
Σημειώσεις : κλειστές

Διάρκεια εξέτασης: 2,5 ώρες

Ημ. εξέτασης: 2/ 9 /2013

Έστω χωρητικοί αισθητήρας μέτρησης της πίεσης κατασκευασμένοι με μικρομηχανικές μεθόδους. Ο αισθητήρας αποτελείται από κυκλική μεμβράνη πυριτίου πακτωμένη στα άκρα της, πάνω από κοιλότητα δεδομένης πίεσης.

A) Να σχολιάσετε τους τέσσερις αισθητήρες πίεσης που φαίνονται στην παρακάτω εικόνα όσον αφορά την ευαισθησία και το μετρητικό τους πεδίο.



B) Έστω χωρητικός αισθητήρας μέτρησης πίεσης με μεμβράνη κυκλικού σχήματος ακτίνας  $a$ , πάχους  $h$ , ενώ όταν η εξωτερική πίεση είναι ίση με την εσωτερική, η το ύψος της κοιλότητας είναι σταθερό και ίσο με  $15\mu\text{m}$ .

i) Για ακτίνα  $a_3=400\mu\text{m}$  να βρείτε το μετρητικό πεδίο του αισθητήρα σε κανονική λειτουργία (normal mode – η μεμβράνη δεν ακουμπάει το υπόστρωμα)

ii) Για ακτίνα  $a_1$  και πίεση  $P_1$ , έστω ότι η μέγιστη απόκλιση της μεμβράνης είναι  $5\mu\text{m}$ . Να βρείτε τη μέγιστη τιμή της απομάκρυνσης  $w(r)$  όταν  $a_2=1.5a_1$ , για ίδια τιμή πίεσης.

iii) Έστω ότι η χωρητικότητα του αισθητήρα δίνεται από τη σχέση

$$C(P)=A_0 + A_1 \cdot P + A_2 \cdot P^2 + A_3 \cdot P^3 + A_4 \cdot P^4$$

με  $A_0 = 2fF$ ,  $A_1 = 1 fF / Pa$ ,  $A_2 = 3 fF / Pa^2$ ,  $A_3 = -5/6 fF / Pa^3$ ,  $A_4 = 1/12 fF / Pa^4$

Να βρείτε την τιμή της χωρητικότητας και της ευαισθησίας του αισθητήρα εκεί όπου η ευαισθησία του γίνεται μέγιστη. Πως συνδέεται η τιμή της χωρητικότητας με την απομάκρυνση της μεμβράνης;

Δίνονται:

$w(r) = \frac{P\alpha^4}{64D} \left[ 1 - \left( \frac{r}{\alpha} \right)^2 \right]^2$	$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$	$E_{Si} = 150 \text{ GPa}$	$\nu_{Si} = 0.2$
$1 \text{ Pa} = \text{N} / \text{m}^2$	$h = 10 \mu\text{m}$		

A) Η χωρητικότητα του αισθητήρα είναι συνάρτηση της απομάκρυνσης της μεμβράνης, λόγω της μεταβολής της πίεσης. Η χωρητικότητα δίνεται από το διπλό ολοκλήρωμα στην επιφάνεια της μεμβράνης, που σε πολικές συντεταγμένες (μεμβράνη κυκλικού σχήματος) είναι

$$C = \iint \frac{\varepsilon}{d - w(r)} r dr d\theta$$

Με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων του σχήματος έχουμε ότι ο αισθητήρας Β έχει αυξημένη ευαισθησία και μειωμένο μετρητικό πεδίο σε σχέση με τον Α, λόγω του αυξημένου εμβαδού. Ο αισθητήρας Γ λόγω αυξημένου πάχους μεμβράνης έχει μειωμένη ευαισθησία και αυξημένο μετρητικό πεδίο. Τέλος στον Δ, λόγω της μεγάλης απόστασης των σπλισμών, η ευαισθησία είναι μειωμένη (καθώς μειωμένη είναι η αρχική χωρητικότητα) ενώ θα είναι αυξημένο το μετρητικό του πεδίο, καθώς θα χρειαστεί αυξημένη πίεση για τη μεμβράνη ώστε να ακουμπήσει το ηλεκτρόδιο της βάσης.

B)

i)

Είναι  $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$

$$D = \frac{150 \cdot 10^9 \cdot (10 \cdot 10^{-6})^3}{12(1-0.2^2)} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 = 13 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3$$

Για σταθερή πίεση, η μέγιστη απομάκρυνση είναι στο σημείο  $r=0$ . Ψάχνουμε να βρούμε τη μέγιστη πίεση για την οποία η μεμβράνη ακουμπάει στο υπόστρωμα, δηλαδή  $w(0)=15\mu\text{m}$ .

Λύνοντας ως προς P είναι

$$P = \frac{64Dw(0)}{a^4} = \frac{64 \cdot 13 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \cdot \text{m}}{(4 \cdot 10^{-3})^4 \text{ m}^4} = 487500 \text{ Pa} = 4.9 \text{ Atm}$$

ii) Για σταθερή πίεση, η μέγιστη απομάκρυνση είναι στο σημείο  $r=0$ .

$$\text{Άρα } w(r)|_{\max} = w(0) = \frac{P\alpha^4}{64D}$$

Για  $\alpha_2=1.5\alpha_1$  ισχύει ότι

$$w_2(0) = \frac{P(1.5\alpha_1)^4}{64D} \approx 5 \frac{P\alpha_1^4}{64D} = 5w_1(0)$$

Άρα αφού  $w_1(0)=5\mu\text{m}$ , από την προηγούμενη σχέση προκύπτει ότι  $w_2(0)=25\mu\text{m}$ .

Όμως το ύψος της κοιλότητας είναι  $15\mu\text{m}$ . Οπότε, αφού δεν γίνεται η μέγιστη απόκλιση της μεμβράνης να ξεπεράσει αυτό το νούμερο, η μέγιστη απόκλιση για  $\alpha_2$  είναι  $15\mu\text{m}$ .

Γ) Για την ευαισθησία είναι:

$$S(P) = \frac{dC(P)}{dP} = 1 + 6P - \frac{15}{6}P^2 + \frac{4}{12}P^3$$

Για να βρούμε τα ακρότατα έχουμε

$$\frac{dS}{dP} = \frac{d^2C}{dP^2} = 6 - 5P + P^2$$

Η συνάρτηση αυτή είναι θετική για  $P < 2$  και  $P > 3$  και αρνητική για  $2 < P < 3$ . Αντίστοιχα η  $S$  είναι αύξουσα στα  $P < 2$  και  $P > 3$  και φθίνουσα για  $2 < P < 3$ . Κατά συνέπεια το σημείο μέγιστου της συνάρτησης είναι το  $P=2$ .

Είναι  $C(2)=10.6\text{fF}$

$S(2)=5.6\text{fF/Pa}$

Η χωρητικότητα του αισθητήρα είναι συνάρτηση της απομάκρυνσης της μεμβράνης, λόγω της μεταβολής της πίεσης. Η χωρητικότητα δίνεται από το διπλό ολοκλήρωμα στην επιφάνεια της μεμβράνης, που σε πολικές συντεταγμένες (μεμβράνη κυκλικού σχήματος) είναι

$$C = \iint \frac{\epsilon}{d - w(r)} r dr d\theta$$

Η μέση απομάκρυνση δίνεται αντίστοιχα από το μέσο όρο των απομακρύνσεων σε κάθε στοιχειώδες κομμάτι  $r dr d\theta$ ,

$$w_m = \frac{1}{A} \iint w \cdot r dr d\theta$$