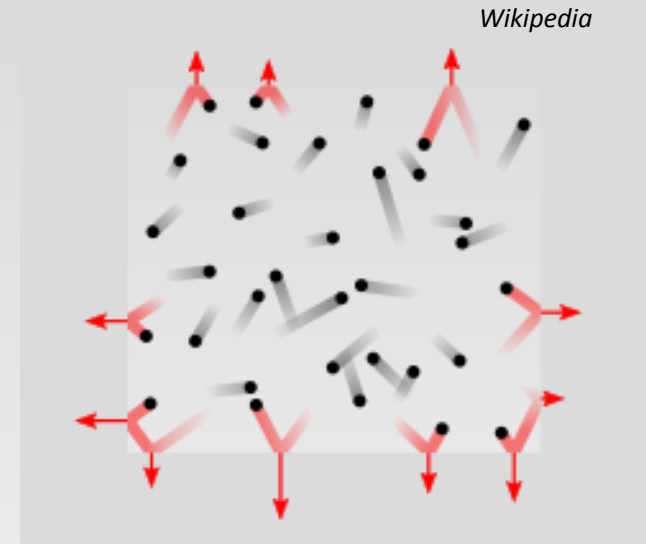


Χωρητικοί Αισθητήρες

1. Αισθητήρες Πίεσης
2. Αισθητήρες Επιτάχυνσης

Η **πίεση** είναι η δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας που ασκείται κάθετα στην επιφάνεια του αντικειμένου:

$$P = \frac{dF_N}{dA}$$



Μέτρηση Πίεσης

- Απόλυτη (*absolute*)
- Σχετική (*relative*)

	Pa
1 Pa	1 N/m ²
1 bar	10 ⁵
1 at	0.98 · 10 ⁵
1 atm	1.01 · 10 ⁵
1 Torr	133.32
1 psi	6.89 · 10 ³

Χωρητικοί

Χρήση διαφράγματος και κοιλότητας με πίεση προς δημιουργία μεταβλητού πυκνωτή, όπου ανιχνεύεται η τάση (*stress*) του διαφράγματος λόγω της εξωτερικής πίεσης

Στήλης υδραργύρου

Η εξωτερική πίεση οδηγεί στη μεταβολή της στάθμης μιας στήλης υδραργύρου που εκφράζεται ως μεταβολής ηλεκτρικής αντίστασης σε γέφυρα Wheatstone

Πιεζοαντιστατικοί

Μεταβολή στην αντίσταση σχετικού υλικού λόγω μεταβολής της έντασης (*strain*) που εφαρμόζεται εξαιτίας μεταβολής της εξωτερικής πίεσης

Πιεζοηλεκτρικοί

Αντίστοιχα με πριν, αλλά με υλοποίηση του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου

Μαγνητικοί

Μετράται η μετατόπιση ενός διαφράγματος μέσω της μεταβολής της επαγωγής

Συντονισμού

Μεταβολή στη συχνότητα συντονισμού ενός αισθητήρα λόγω έντασης (stress)

Ποτενσιομετρικοί

Μέτρηση της τάσης (strain) μέσω κινητών μερών και μεταβολής της αντίστασης

Οπτικοί

Χρησιμοποιείται οπτική ίνα για την ανίχνευση της τάσης (strain)

Θερμικής αγωγιμότητας

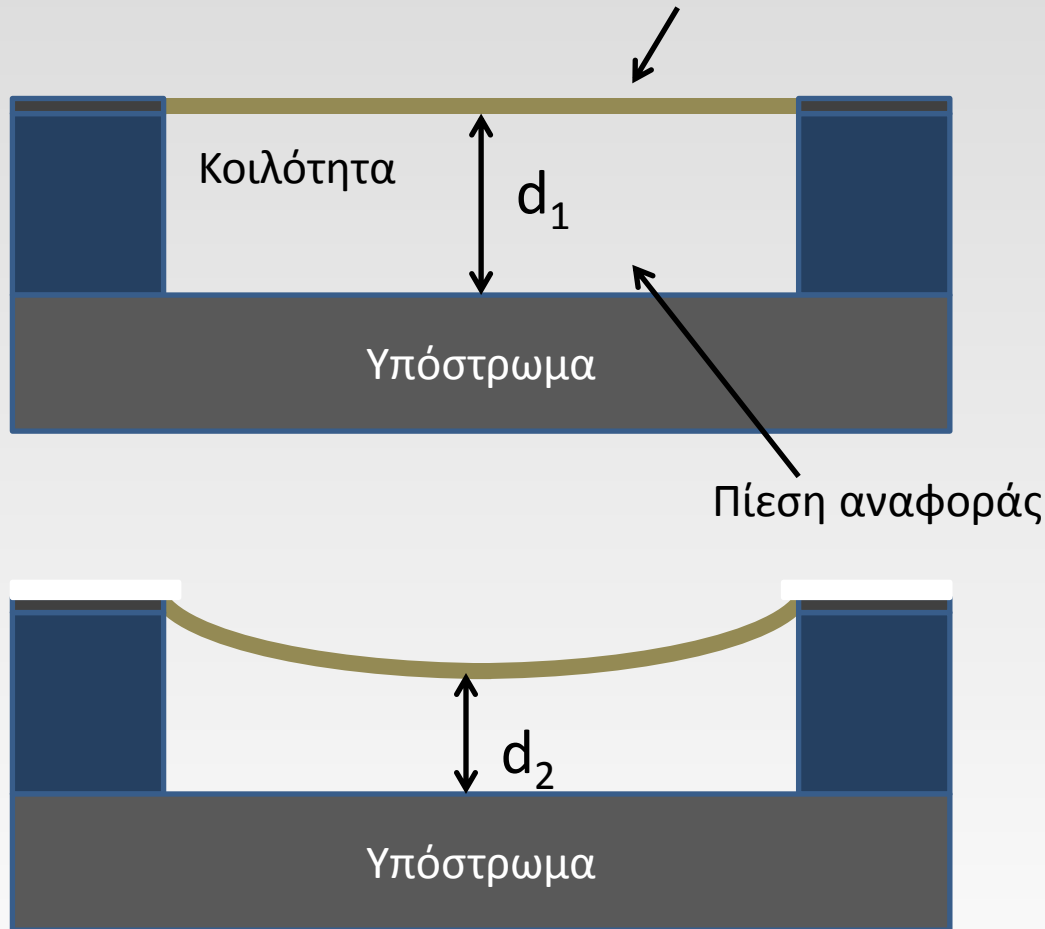
Μέτρηση του ρυθμού μεταφοράς της θερμότητας σε θερμαινόμενο αέριο όπως ορίζεται από την εξάρτηση της θερμικής αγωγιμότητας από την πίεση $k=k(p)$

Ιονισμού

Μέτρηση των ιόντων που παράγονται από ένα αέριο όταν βομβαρδίζεται με ηλεκτρόνια (συνάρτηση της πίεσης)

Χωρητικοί αισθητήρες πίεσης – Αρχή λειτουργίας

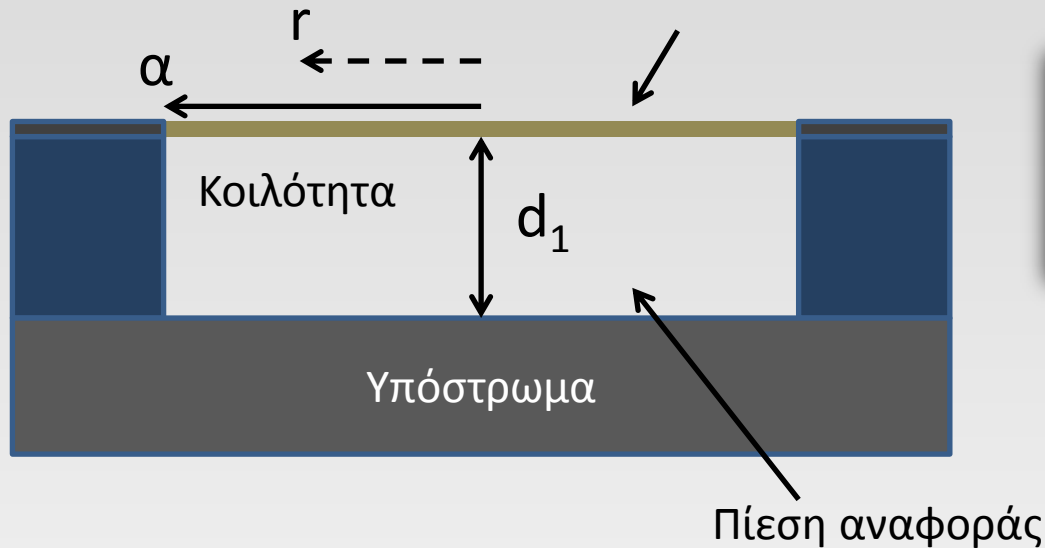
Μεμβράνη (διάφραγμα) (~ 10 μ m)



- Σχήμα Μεμβράνης
- Επιφάνεια μεμβράνης
- Πάχος μεμβράνης
- Πίεση αερίου κοιλότητας
- Μηχανικές ιδιότητες υλικών

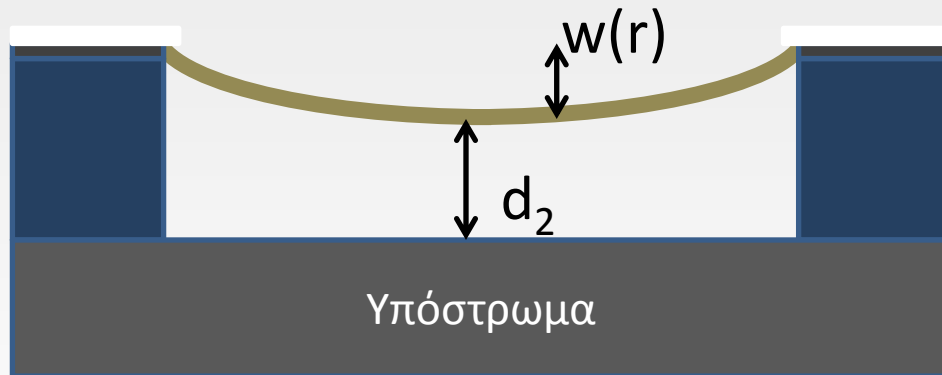
Χωρητικοί αισθητήρες πίεσης – Αρχή λειτουργίας

Μεμβράνη (διάφραγμα) (~ 10μm)



$$w(r) = \frac{P\alpha^4}{64D} \left[1 - \left(\frac{r}{\alpha} \right)^2 \right]^2$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$



w : deflection

r : απόσταση από το κέντρο του (κυκλικού) διαφράγματος

α : ακτίνα διαφράγματος

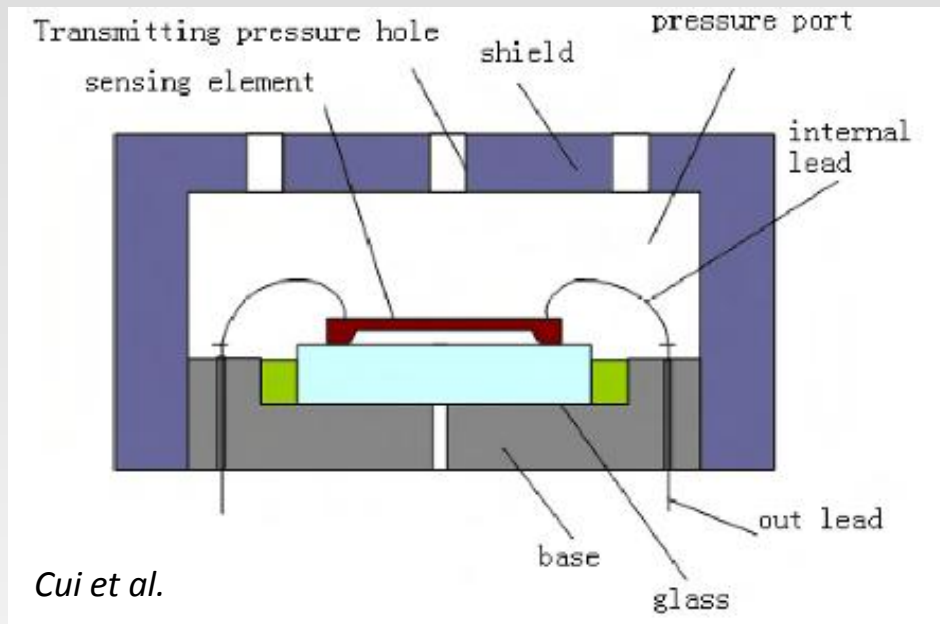
P : πίεση

E : μέτρο του Young

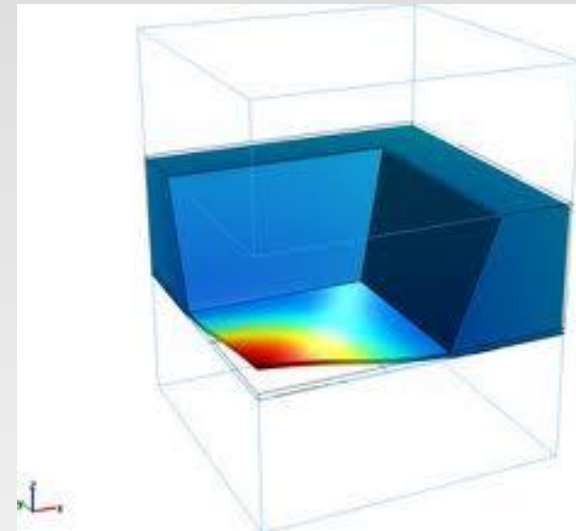
h : πάχος μεμβράνης

ν : λόγος Poisson

Σχηματικό αισθητήρα

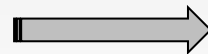


Προσομοίωση



➤ Η χωρητικότητα σε αυτήν την περίπτωση (κυκλική μεμβράνη) γίνεται:

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

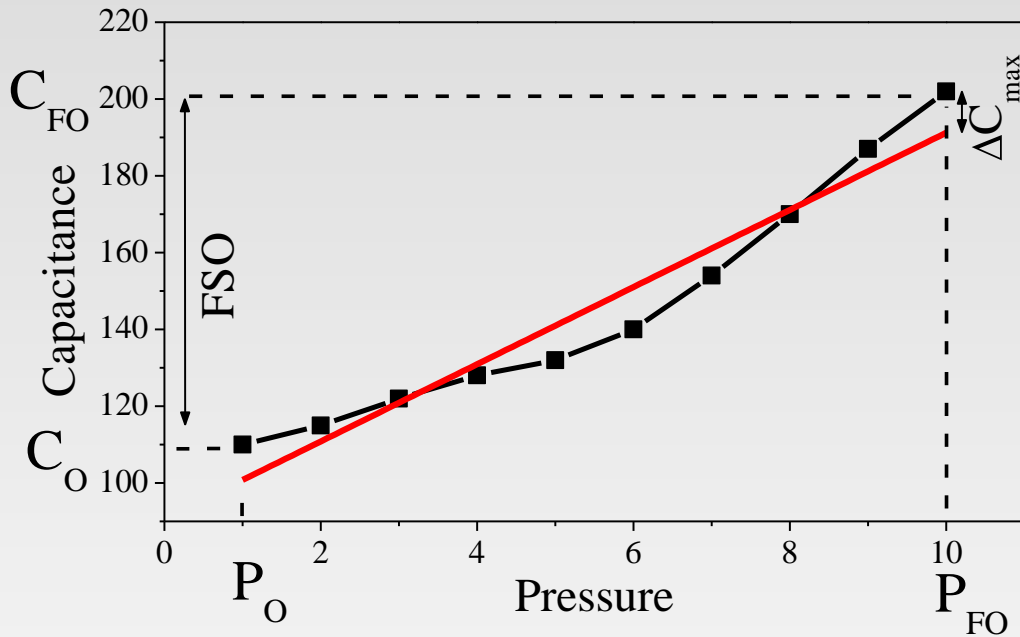


$$C = \iint \frac{\epsilon}{d - w(r)} r dr d\theta$$

➤ Με μέση χωρητικότητα:

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

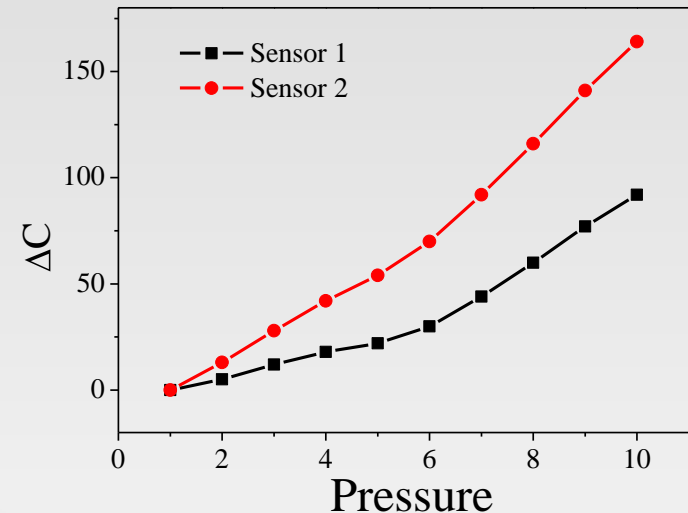
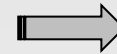
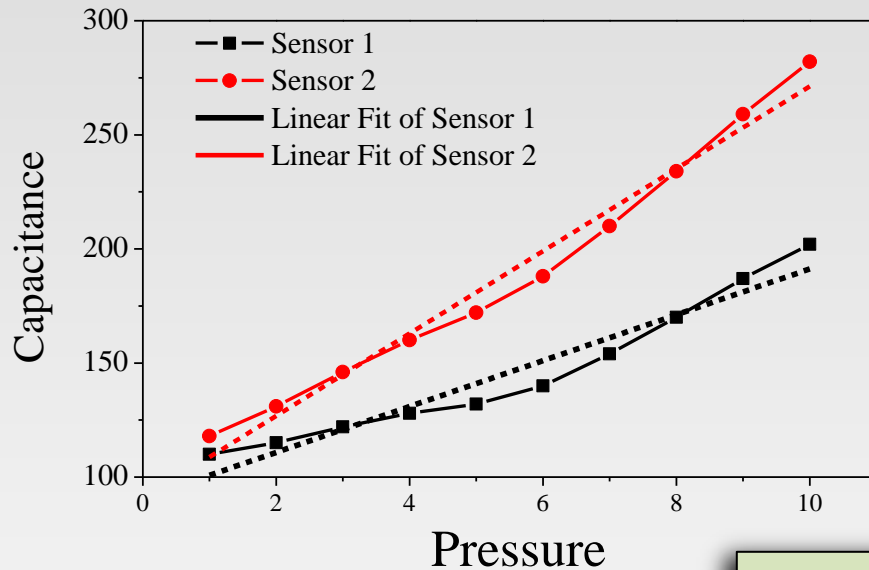
Γραμμικότητα



$$NL = \frac{\Delta C_{\max}}{FSO} \cdot 100\%$$

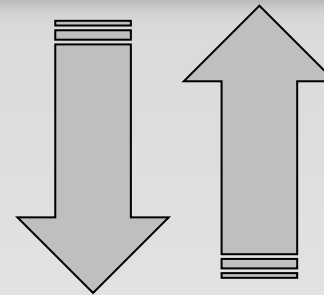
- ❑ Η μη γραμμικότητα (*non-linearity*) NL είναι το σφάλμα μεταξύ του πραγματικού σήματος και μιας ιδεατής ευθείας ως συνάρτηση μεταφοράς.
- ❑ Αρχικά, με βάση τα πειραματικά δεδομένα, υπολογίζεται η θεωρητική ευθεία με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.
- ❑ Στη συνέχεια, ως μη γραμμικότητα ορίζουμε τη μέγιστη απόκλιση των πειραματικών δεδομένων από την συγκεκριμένη ευθεία (εντός του μετρητικού πεδίου)

Ευαισθησία



$$S = \left. \frac{dC}{dP} \right|_{P=P_0}$$

- Η ευαισθησία (*sensitivity*) S είναι το μέτρο της μεταβολής της εξόδου του οργάνου (χωρητικότητα) για μια δεδομένη μεταβολή του μετρήσιμου μεγέθους (πίεση)
- Ουσιαστικά η κλίση του μετρούμενου ηλεκτρικού σήματος σε κάποιο σημείο



Η έννοια του trade-off

- ❑ Κατά τη σχεδίαση ενός αισθητήρα, υπάρχουν διάφοροι, κυρίως γεωμετρικοί παράμετροι, η μεταβολή των οποίων ορίζει τη συμπεριφορά του συστήματος (π.χ. η επιφάνεια της μεμβράνης).
- ❑ Στο ιδανικό σενάριο, ο στόχος είναι μια συσκευή με υψηλή ευαισθησία, μεγάλο μετρητικό πεδίο, χαμηλό θόρυβο, υψηλή ανάλυση, σταθερότητα στο χρόνο, μικρό χρόνο απόκρισης κλπ.
- ❑ Πολύ συχνά, επηρεάζοντας θετικά ένα χαρακτηριστικό του συστήματος, το κόστος είναι η αρνητική επίδραση σε ένα άλλο χαρακτηριστικό του (*trade-off*).
- ❑ Η τέχνη της σχεδίασης ενός αισθητήρα περιλαμβάνει την κατάλληλη σύνθεση των τιμών των διαφόρων παραμέτρων έτσι ώστε η συσκευή να έχει χαρακτηριστικά εντός των προδιαγραφών που έχουν τεθεί.

Στην προκειμένη περίπτωση, ας εξετάσουμε την απόκριση ενός χωρητικού αισθητήρα πίεσης, με δύο διαφορετικά μεγέθη μεμβρανών

Από το paper των Y. Zhang, R. Howver, B. Gogoi and N. Yazdi.

Αισθητήρας πίεσης με διαφορετική επιφάνεια μεμβράνης

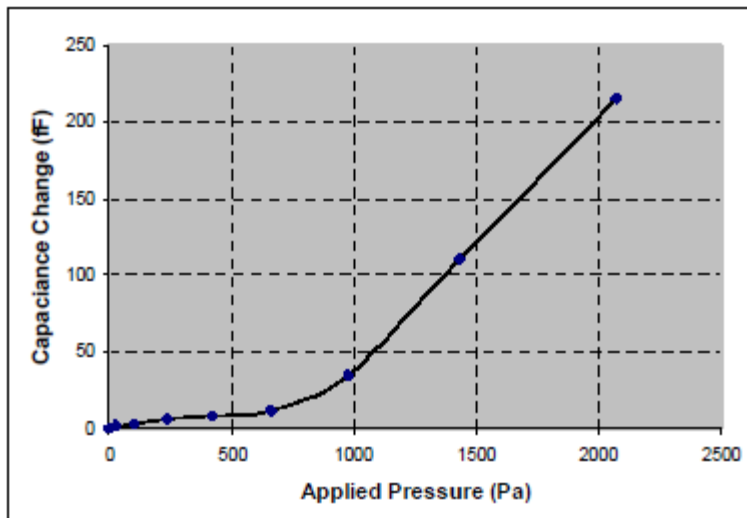


Figure 6: A measured capacitive pressure sensor performance for a pressure sensor having a 90 μm -radius diaphragm and a 150 μm -radius moving plate.

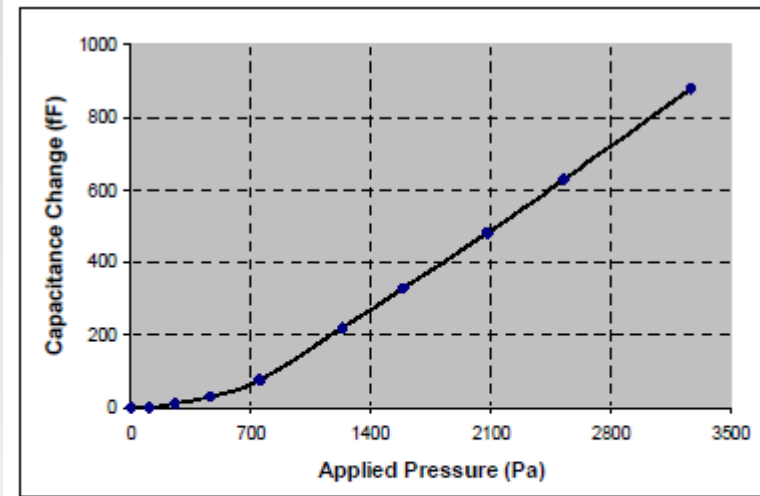
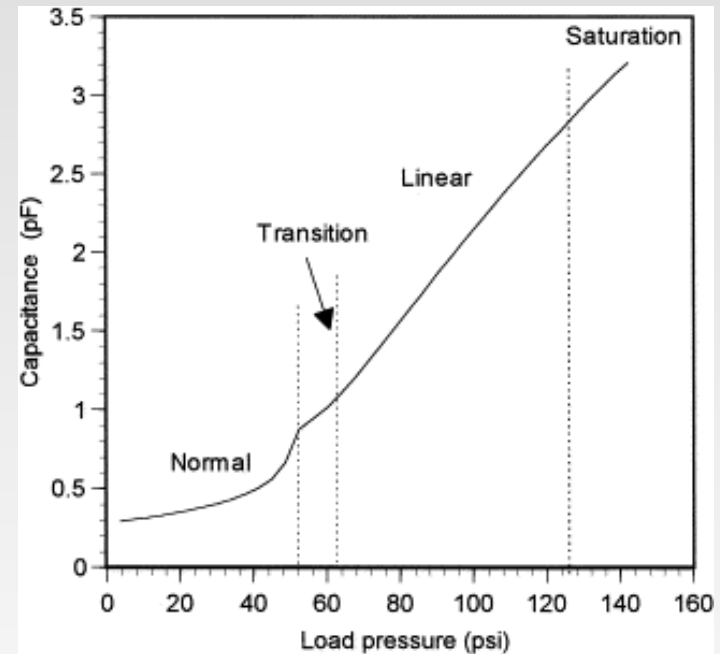
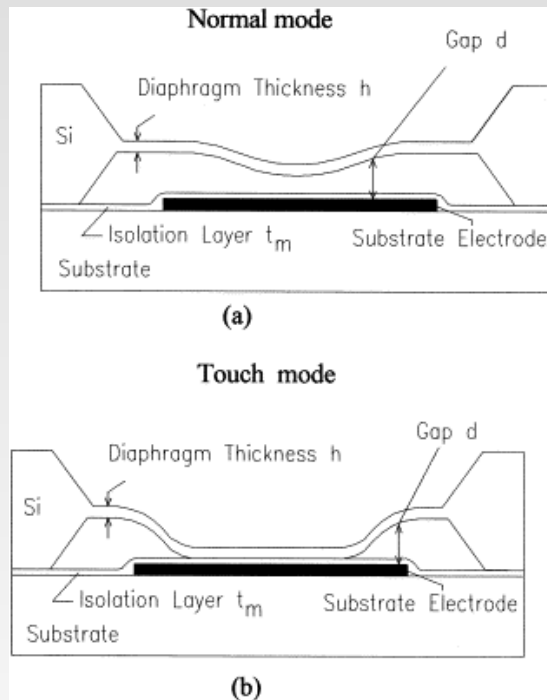


Figure 7: A measured capacitive pressure sensor performance for pressure sensor having a 100 μm -radius diaphragm and a 150 μm -radius moving plate.

- Ο αισθητήρας με τη μεγαλύτερη επιφάνεια μεμβράνης παρουσιάζει μεγαλύτερη **ευαισθησία** (γιατί;)
- Ο αισθητήρας με τη μικρότερη επιφάνεια μεμβράνης παρουσιάζει μεγαλύτερο **μετρητικό πεδίο** (δεν διακρίνεται στις γραφικές). (γιατί;)

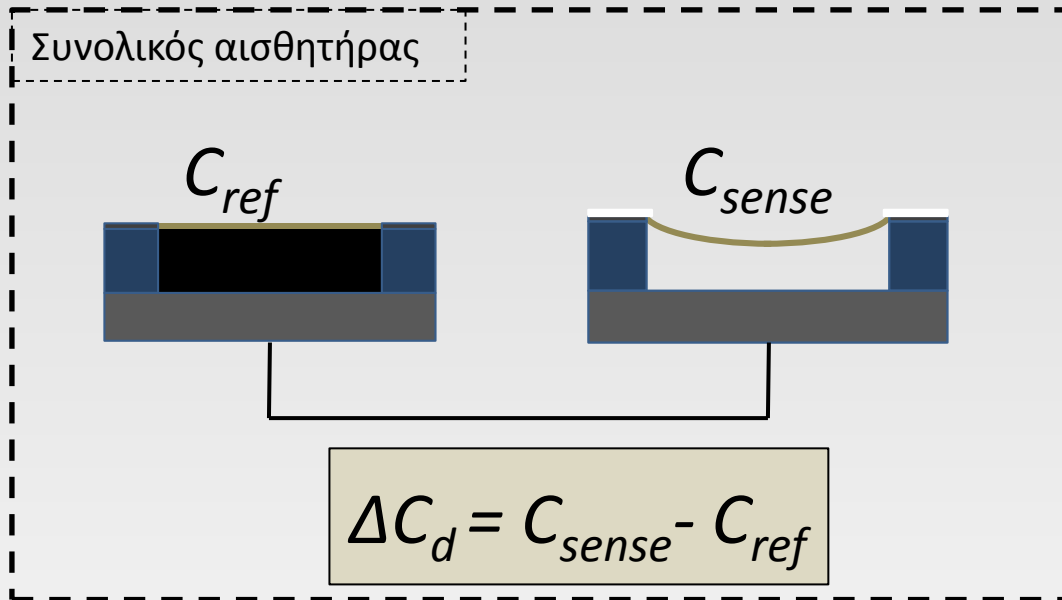
Λειτουργία του αισθητήρα, όπου οι πλάκες του πυκνωτή είναι σε επαφή στην κεντρική περιοχή.



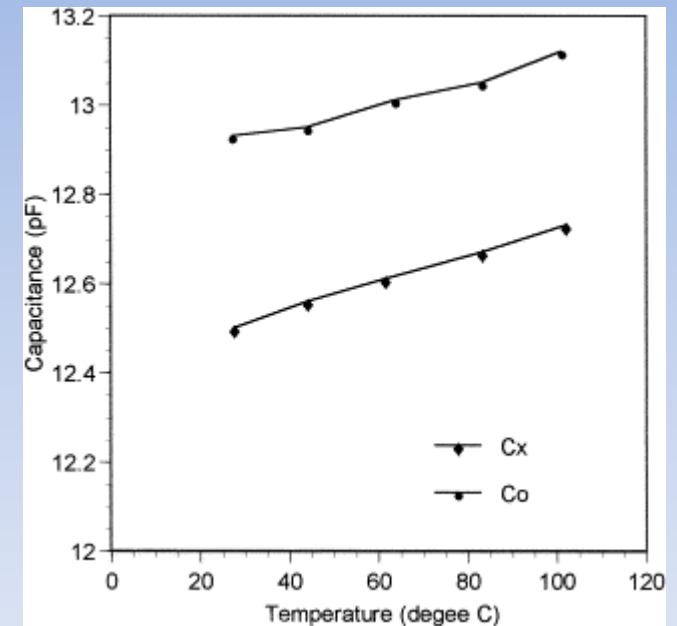
Wen H. Ko, Qiang Wang

- Μεγαλύτερη ευαισθησία
- Μεγαλύτερη γραμμικότητα
- Λειτουργία σε δύσκολες συνθήκες (harsh environment)
- Παρουσίαση φαινομένων υστέρησης

Τεχνική ακύρωσης σφάλματος



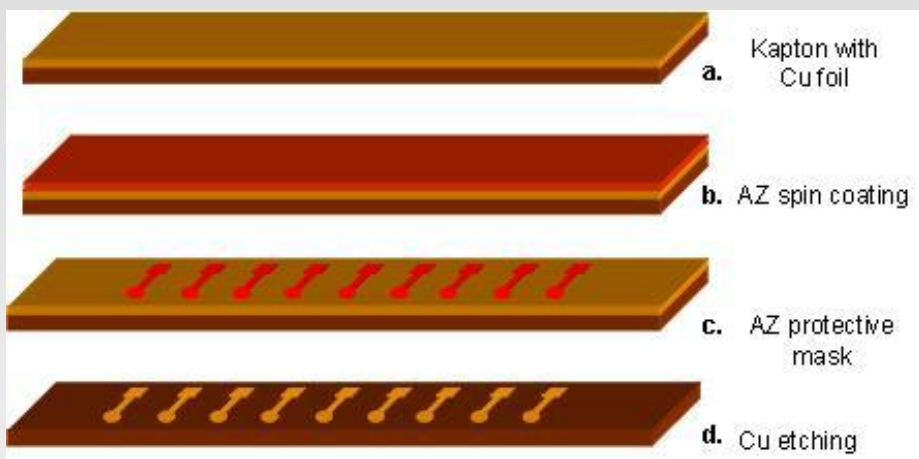
Μεταβολή χωρητικότητας με την εξωτερική θερμοκρασία



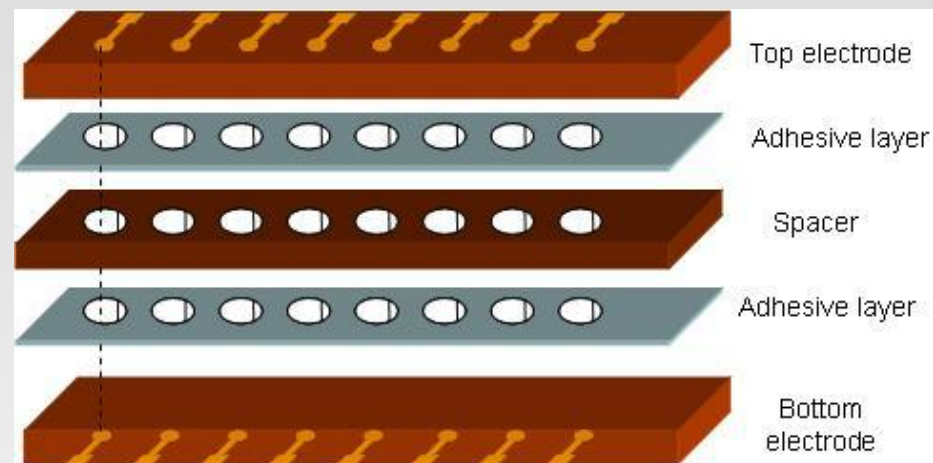
Wen H. Ko, Qiang Wang

- ❑ Το συνολικό σύστημα αποτελείται από ένα πυκνωτή μέτρησης (*sense*) και ένα πυκνωτή αναφοράς με μη μεταβλητή απόσταση οπλισμών (*reference*)
- ❑ Στο τελικό σήμα ΔC_d , η επίδραση μη επιθυμητών παραγόντων που επηρεάζουν το σήμα του ενός πυκνωτή (πχ θερμοκρασία), αλληλοαναιρούνται από την αφαίρεση των δύο σημάτων.

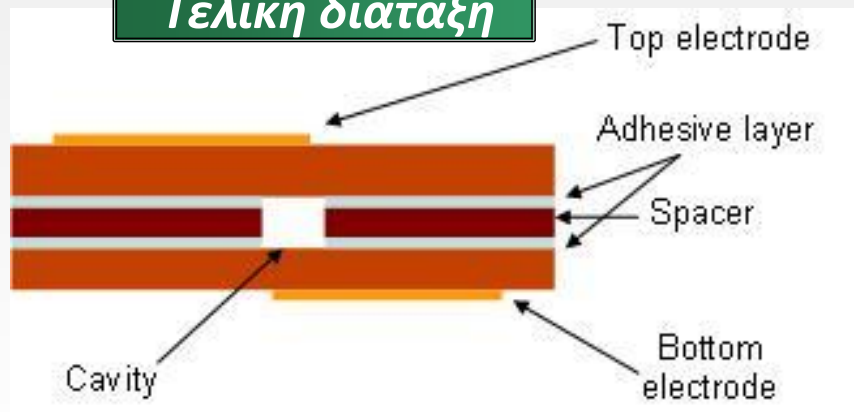
Κατασκευή Ηλεκτροδίου

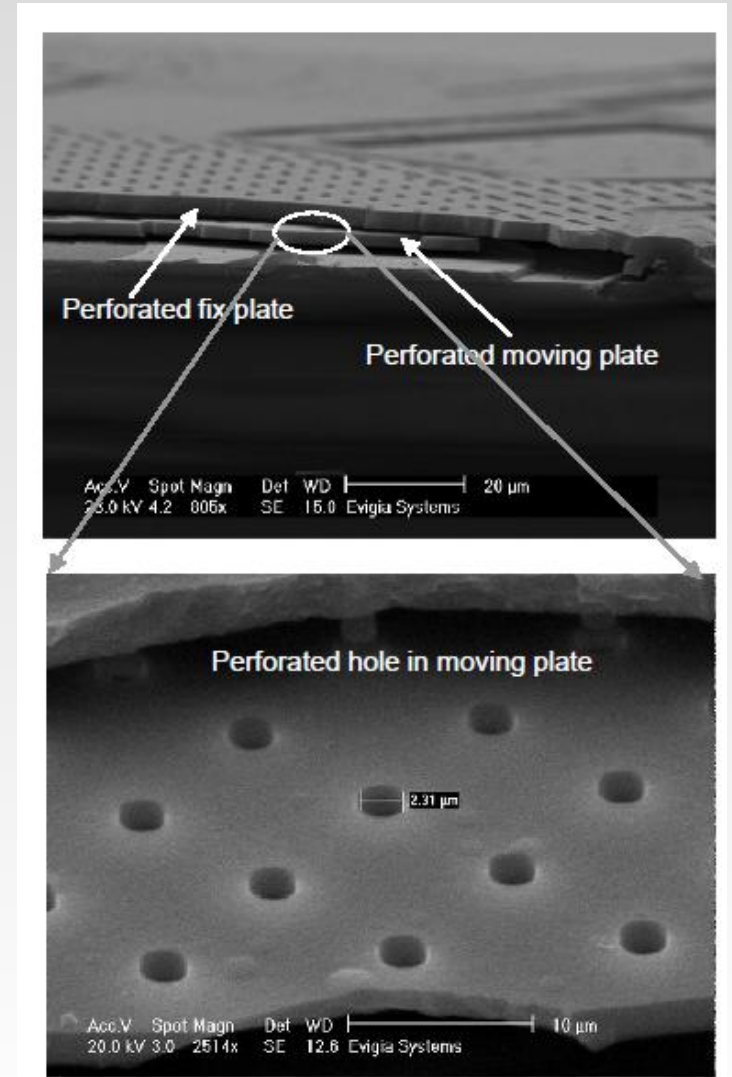
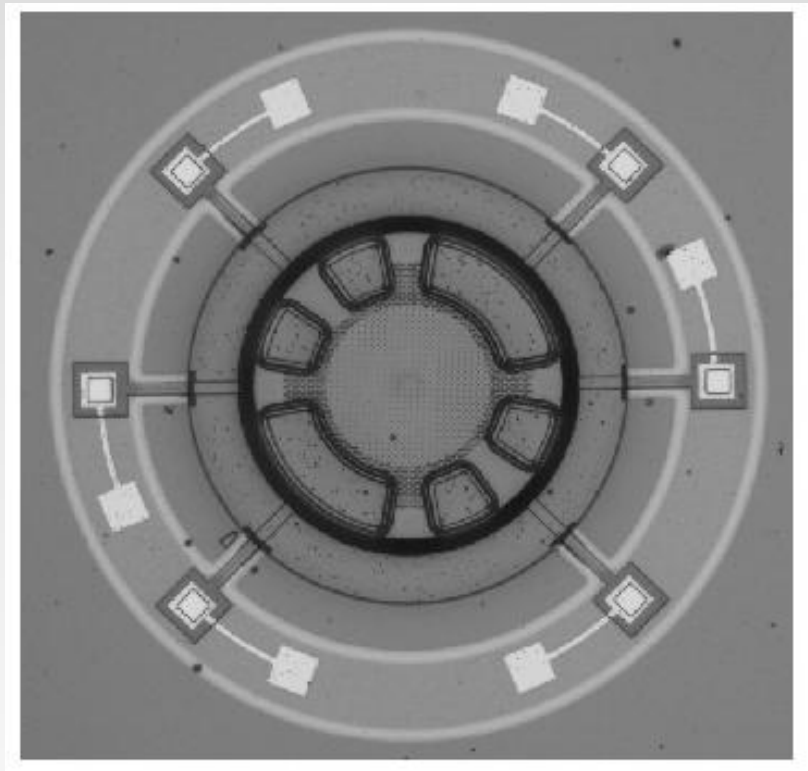


Ενδιάμεση Δομή



Τελική διάταξη





Χωρητικοί Αισθητήρες πίεσης

- Αυξημένη ευαισθησία
- Μειωμένη εξάρτηση από τη θερμοκρασία
- Μεγάλη απώλεια σήματος από παρασιτικές χωρητικότητες
- Απλός μετατροπέας, σύνθετο ηλεκτρονικό κύκλωμα

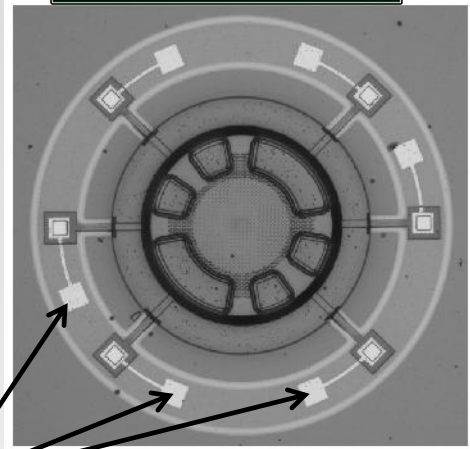
➤ Οι χωρητικοί αισθητήρες ευνοήθηκαν περισσότερο από την πρόοδο στην σχεδίαση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

Πιεζοαναταστατικοί Αισθητήρες πίεσης

- Μειωμένη ευαισθησία
- Αυξημένη εξάρτηση από τη θερμοκρασία
- Σύνθετος μετατροπέας, απλό ηλεκτρονικό κύκλωμα

Χωρητικοί αισθητήρες πίεσης – Τρόπος μέτρησης

Αισθητήρας



Pads

Prober



Μικροσκόπιο

Ακίδες
(probes)

Chuck

Εικόνα μέσα από Prober



Ακίδες

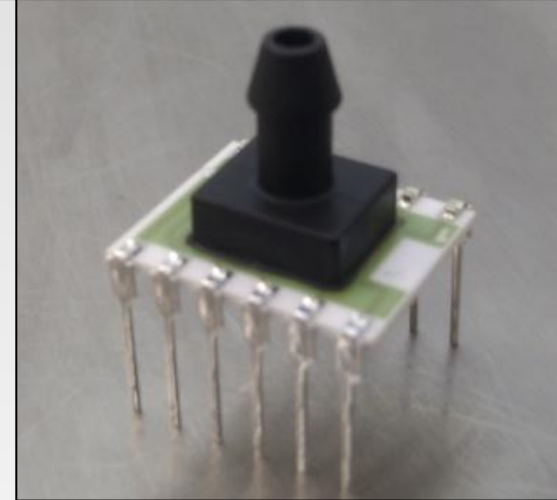
Μεγεθυμένη
εικόνα

*Ολοκλήρωση αισθητήρα με
ηλεκτρονικά*



Green Sensor Co, Ltd.

Module αισθητήρα πίεσης



Theon Sensors S.A.