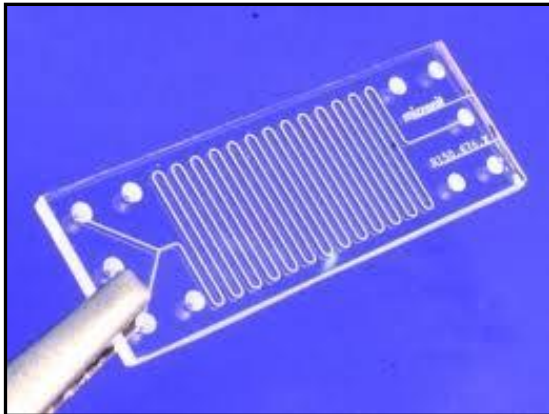




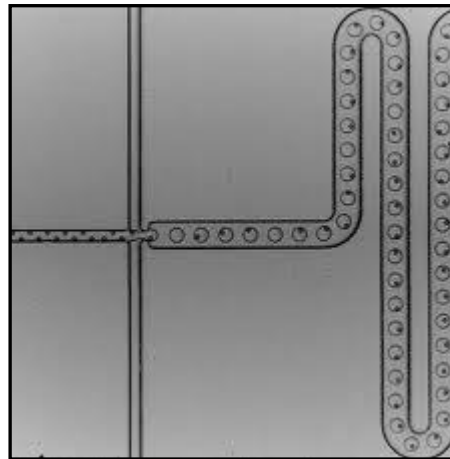
Διατάξεις βασισμένες σε πολυμερή υλικά

1. Μικρορευστομηχανική - *Microfluidics*
2. Εύκαμπτες διατάξεις

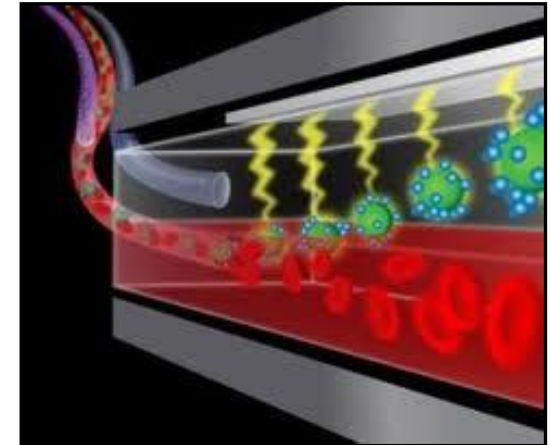
Το ευρύτερο πεδίο της **μικρορρευστομηχανικής (microfluidics)** είναι ένα από τους ταχύτερα εξελισσόμενους κλάδους της εφαρμοσμένης επιστήμης. Ο όρος αναφέρεται στην έρευνα και την ανάπτυξη συσκευών στην μικροκλίμακα οι οποίες επιτρέπουν τον χειρισμό πολύ μικρών ποσοτήτων ρευστού (από μικρόλιτρα έως νανόλιτρα ή ακόμα και πικόλιτρα). Οι συσκευές έχουν μέγιστη διάσταση που μπορεί να φτάνει τα αρκετά χιλιοστά, ενώ τουλάχιστον μία από τις χαρακτηριστικές διαστάσεις τους (τυπικά το **μικροκανάλι**) είναι της τάξης των μερικών μικρομέτρων.



Μικρορρευστομηχανική διάταξη , Micronit Microfluidics



Encapsulation of single cells and beads within picolitre-size monodisperse drops, Harvard University



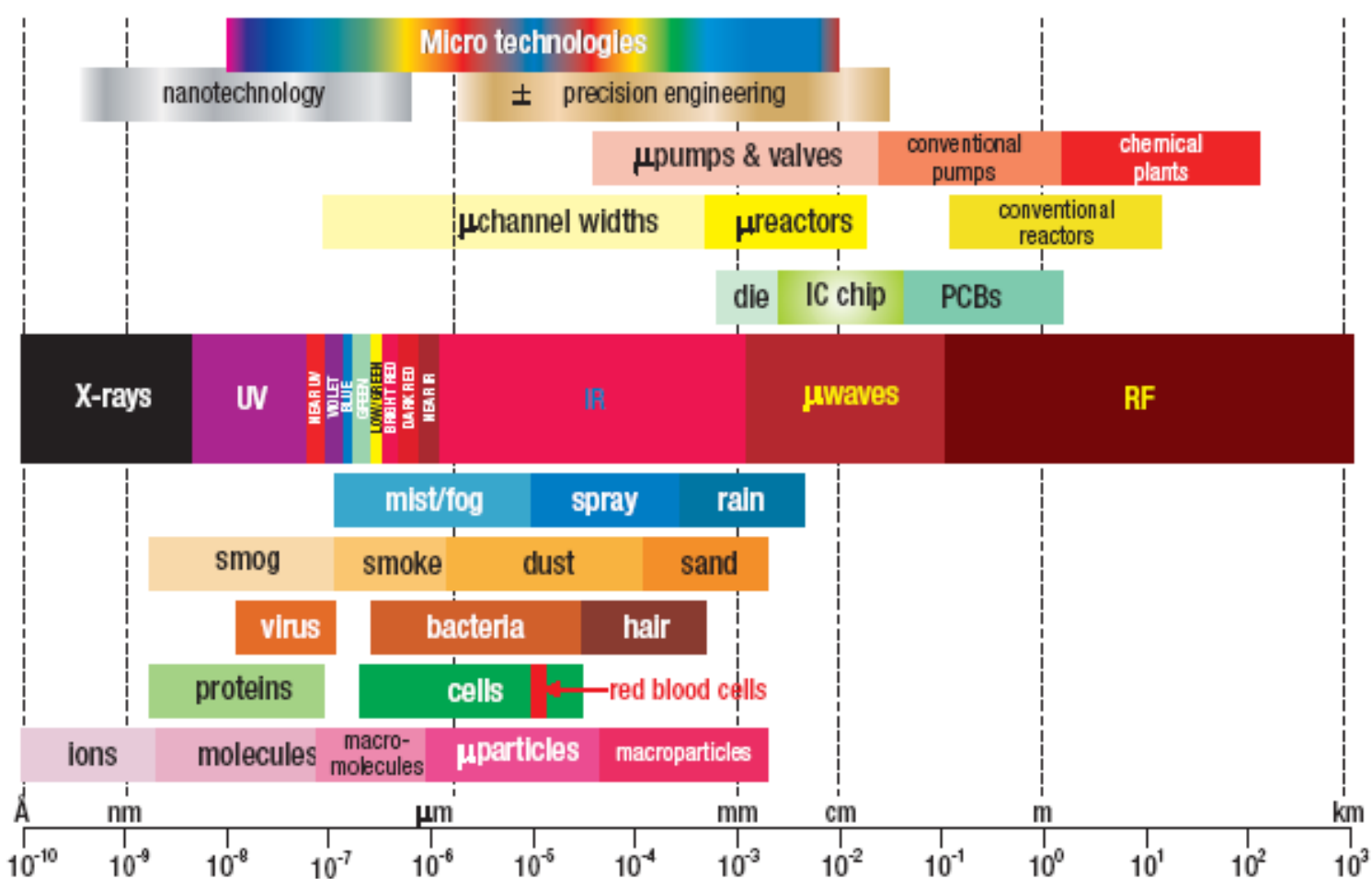
Micromagnetic-microfluidic blood cleansing device, K.Johnson and C. Wing Yung, Children's Hospital Boston)

Κύρια Χαρακτηριστικά

- **Μεγάλος λόγος επιφάνειας προς όγκο.**
Γρήγορες χημικές αντιδράσεις.
Μικρός όγκος παραπροϊόντων
- **Πολύ χαμηλός αριθμός Reynolds.**
Απόλυτα στρωτή ροή
Δυσκολία στη μίξη
- **Νέα φαινόμενα χωρίς μακροσκοπικό ανάλογο**
Π.χ. ηλεκτροόσμωση (electroosmosis)
Ηλεκτροφόρηση (electrophoresis)

Η κατασκευή μικρορευστομηχανικών διατάξεων απαιτεί διαφοροποιημένο σχεδιασμό και κατασκευαστική τεχνική σε σχέση με τις ανάλογες μακροσκοπικές διατάξεις. Συνήθως δεν είναι δυνατόν να κατασκευασθεί λειτουργικό ανάλογο της συμβατικής διάταξης μόνο με μείωση των διαστάσεων, καθώς στη μικροκλίμακα τα κυρίαρχα μεγέθη είναι διαφορετικά. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό είναι πολύ πιο έντονο σε σχέση με τις τυπικές διατάξεις της μικροηλεκτρονικής, καθώς εκεί η κλασική φυσική περιγραφή επαρκεί για την εξήγηση των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα, πέρα από κάποιες «εξωτικές» συσκευές που ωστόσο συνήθως παραμένουν σε επίπεδο εργαστηριακής έρευνας (π.χ. συσκευές μεμονωμένων ηλεκτρονίων - single electron devices). Τα συστήματα που περιέχουν ρευστά ωστόσο φθάνουν πολύ πιο γρήγορα στην τάξη μεγέθους όπου η σχετική δυναμική των φαινομένων διαφοροποιείται, απαιτώντας αντίστοιχες διαφοροποιήσεις σε σχέση με τη φυσική περιγραφή της μακροκλίμακας. Μια χαρακτηριστικής σημασίας διαφοροποίηση των μικρορευστομηχανικών συστημάτων σε σχέση με τα μακροσκοπικά τους ανάλογα είναι το γεγονός ότι η μεταφορά μάζας κυριαρχείται από ιξώδη διάδοση, ενώ η επίδραση των αδρανειακών φαινομένων συνήθως θεωρείται αμελητέα.

Χαρακτηριστικές διαστάσεις



Χαρακτηριστικές διαστάσεις τεχνητών και φυσικών διατάξεων. Καταδεικνύονται τα τυπικά μεγέθη των συσκευών που υφίστανται στη μικρορευστομηχανική όπως μικροκανάλια, μικροαντλίες, και μικροαντιδραστήρια, τα οποία και συγκρίνονται με κάποιες χαρακτηριστικές βιολογικές δομές όπως τα βακτήρια, οι ιοί και οι πρωτεΐνες [Kallio P., Kuncova J., Microfluidics Technology Review, TEKES, Helsinki, 2004]

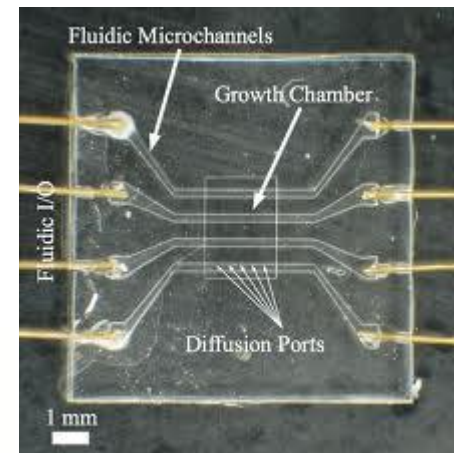
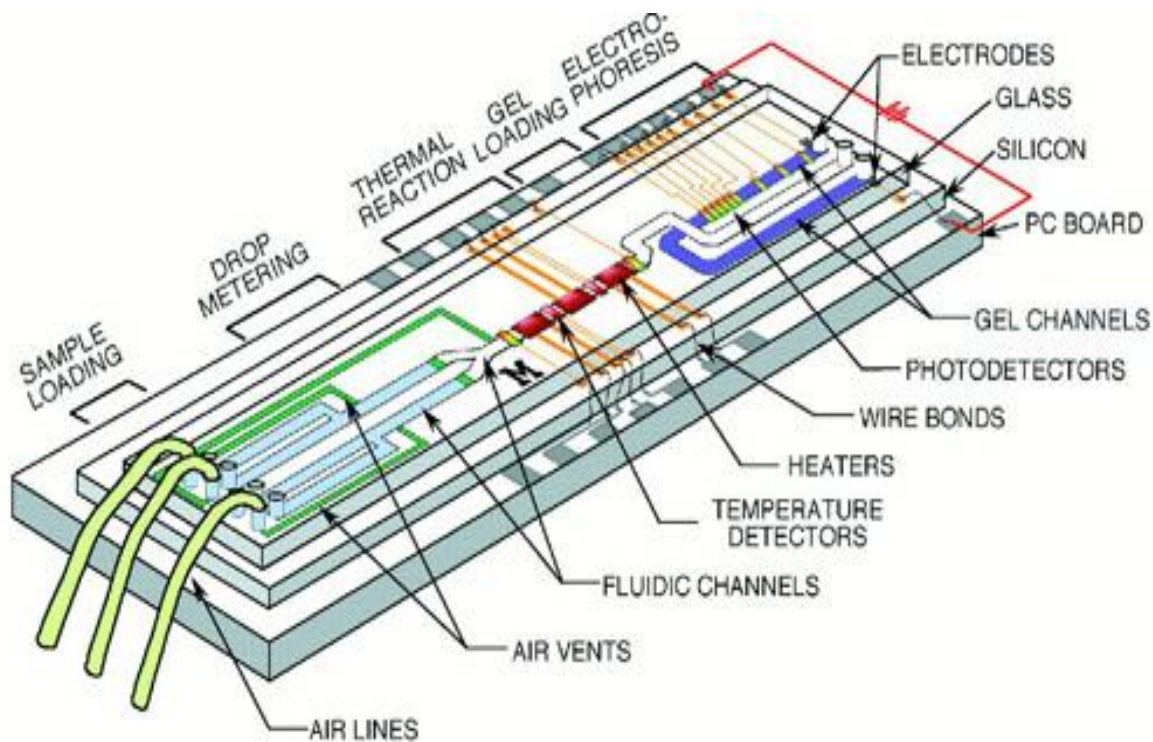
Εφαρμογές - Πλεονεκτήματα

Μικρορρευστομηχανικά συστήματα	
Εφαρμογές	Πλεονεκτήματα
Φαρμακευτική - Ανακάλυψη & δοκιμή φαρμάκων, έλεγχος ποιότητα διαδικασιών	Μικρότερο μέγεθος συσκευών - Επιτρέπει την φορητότητα των συσκευών και την δυνατότητα πραγματοποίησης της ανάλυσης στο χώρο εκτέλεσης της διαδικασίας
Ιατρική - Χορήγηση φαρμάκων, διαγνωστικά <i>in vivo</i>	Μειωμένο κόστος κατασκευής - Σε εξάρτηση με το μέγεθος παραγωγής
Βιομηχανία τροφίμων - διαγνωστικά τροφίμων, έλεγχος ποιότητας πακεταρίσματος	Μικρότερη κατανάλωση ενέργειας - Ενισχύεται η δυνατότητα ασύρματης επικοινωνία συσκευών
Βιοτεχνολογία - Τσιπ DNA, τσιπ πρωτεϊνών, τσιπ κυττάρων	Μικρότερος όγκος ακριβών χημικών αντιδραστηρίων - Επιπλέον δυνατότητα λειτουργίας σε καταστάσεις περιορισμένης διαθεσιμότητας του δείγματος
Χημεία - Αναλυτική χημεία: συστήματα ανάλυσης (μTAS – micro Total Analysis System) - Παρασκευή: μικροαντιδράσεις	Βελτιωμένη απόδοση - Μεγαλύτερη παραγωγή λόγω παράλληλης εκτέλεσης διαδικασιών - Μεγαλύτερες ταχύτητες αντιδράσεων
Περιβαλλοντική τεχνολογία - Μετρήσεις ποιότητας εδάφους, αέρα και νερού	Δυνατότητα ολοκλήρωσης & πολυδιάστατης μελέτης - Διενέργεια διαδικασιών και μετρήσεων πάνω σε ένα τσιπ - Παρατήρηση μεγάλου αριθμού παραμέτρων
Αυτοκινητοβιομηχανία - Ψεκασμός καυσίμωνμέτρηση ποιότητα λαδιού, ανάλυση καυσαερίων κ.ά.	Νέες λειτουργίες - Εκμετάλλευση των φαινομένων που κυριαρχούν στη μικροκλίμακα
Καταναλωτικά ηλεκτρονικά - Εκτυπωτές έγχυσης μελάνης (ink jet printers), τοπική ψύξη ηλεκτρονικών κυκλωμάτων	Επέκταση υπάρχουσας γνώσης - Το μικρό μέγεθος των μετρητικών συσκευών δίνει τη δυνατότητα για μελέτη φαινομένων σε δυσθεώρητες περιοχές
Διαστημικές εφαρμογές - Συστήματα προώθησης για δορυφόρους - Συστήματα παραγωγής ισχύος	Ενισχυμένη ασφάλεια - Ο μικρός όγκος δείγματος επιτρέπει τον ασφαλή χειρισμό επικίνδυνων ουσιών



Τα βασικά πλεονεκτήματα των μικρορευστομηχανικών διατάξεων έγκεινται στην ταχύτητα της χημικής αντίδρασης, τον πολύ μικρό όγκο δείγματος που απαιτείται, ενώ υπερέχουν σαφώς σε όρους οικονομίας λειτουργίας. Εκ φύσεως τα σχετικά συστήματα καταλαμβάνουν πολύ μικρό όγκο χαρακτηριστικό που μπορεί να τα καταστήσει φορητά, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα για διαρκή παρακολούθηση της υγείας ενός ασθενή. Στην πράξη συστήματα βασιζόμενα σε μικρορευστομηχανικές διατάξεις έρχονται να αντικαταστήσουν τα πλήρως εξοπλισμένα βιολογικά εργαστήρια, προσφέροντας τη δυνατότητα διενέργειας του συνόλου των αντίστοιχων διαδικασιών ανάλυσης πάνω σε ένα τσιπ (*lab-on-chip*). Γενικά, η μικρορευστομηχανική θεωρείται μια επανάσταση στο χώρο της βιολογίας και της χημείας, ανάλογη αυτής που πραγματοποιήθηκε στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές κατά τη μετάβαση από τις λυχνίες κενού στα τρανζίστορ και τα ολοκληρωμένα κυκλώματα. Επιπλέον, αν και η συντριπτική πλειοψηφία των εφαρμογών αναφέρεται στη βιολογία, στην χημεία και στην χορήγηση φαρμάκων, εν τούτοις έχουν παρουσιαστεί συσκευές που εμπίπτουν στις φυσικές επιστήμες όπως συστήματα ελέγχου και διαχείρισης θερμότητας, παραγωγής ενέργειας, καθώς και τεχνολογίας οθονών. Επίσης, ένα βασικό προϊόν της τεχνολογίας της ρευστομηχανικής θεωρούνται οι *εκτυπωτές έγχυσης μελάνης (ink jet printers)*, η εφεύρεση των οποίων το 1976 θεωρείται και ένα από τα ορόσημα στο χώρο.

Παραδείγματα συστήματος lab-on-a-chip [Burns, M.A., Science 1998]

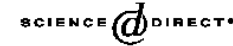


Μερικά είδη μικρορευστομηχανικών διατάξεων

- Integrated microfluidic devices
 - Introduction
 - Integrated microfluidic devices for DNA analysis
 - Polymerase chain reaction (PCR)
 - Integrated PCR and separation based detection
 - Integrated DNA hybridization
 - Other devices of interest
 - Devices for separation based detection
 - General capillary electrophoresis
 - Integrated detectors for laser induced fluorescence
 - Other detection or separation mechanisms
 - Devices for cell handling, sorting and general analysis
 - Cell handling and cytometry
 - Dielectrophoretic cellular manipulation and sorting
 - General cellular analysis
 - Devices for protein based applications
 - Protein digestion, identification and synthesis
 - Coupling of microfluidic devices with protein arrays and mass spectrometry
 - Other devices of interest
 - Integrated microfluidic devices for immunoassay
 - Integrated devices for chemical analysis, detection and processing
 - Integrated microreactors
 - Chemical detection and monitoring devices
 - Fuel processing devices and microfuel-cells
 - Other devices of interest
 - Integrated optical sensing elements
 - Electronics cooling
 - Integrated devices for fundamental analysis
 - Conclusions and outlook
 - Acknowledgements
 - References



Available online at www.sciencedirect.com



Analytica Chimica Acta 507 (2004) 11–26

ANALYTICA
CHIMICA
ACTA

www.elsevier.com/locate/aca

Review

Integrated microfluidic devices

David Erickson, Dongqing Li*

Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto, 5 King's College Road, Toronto, Ont., Canada M5S 3G8

Received 6 August 2003; accepted 3 September 2003

Abstract

“With the fundamentals of microscale flow and species transport well developed, the recent trend in microfluidics has been to work towards the development of integrated devices which incorporate multiple fluidic, electronic and mechanical components or chemical processes onto a single chip sized substrate. Along with this has been a major push towards portability and therefore a decreased reliance on external infrastructure (such as detection sensors, heaters or voltage sources).” In this review we provide an in-depth look at the “state-of-the-art” in integrated microfluidic devices for a broad range of application areas from on-chip DNA analysis, immunoassays and cytometry to advances in integrated detection technologies for and miniaturized fuel processing devices. In each area a few representative devices are examined with the intent of introducing the operating procedure, construction materials and manufacturing technique, as well as any unique and interesting features.

© 2003 Elsevier B.V. All rights reserved.

Keywords: Integrated microfluidic devices; Lab-on-a-chip; Miniaturized total analysis system; Biochips

1. Introduction

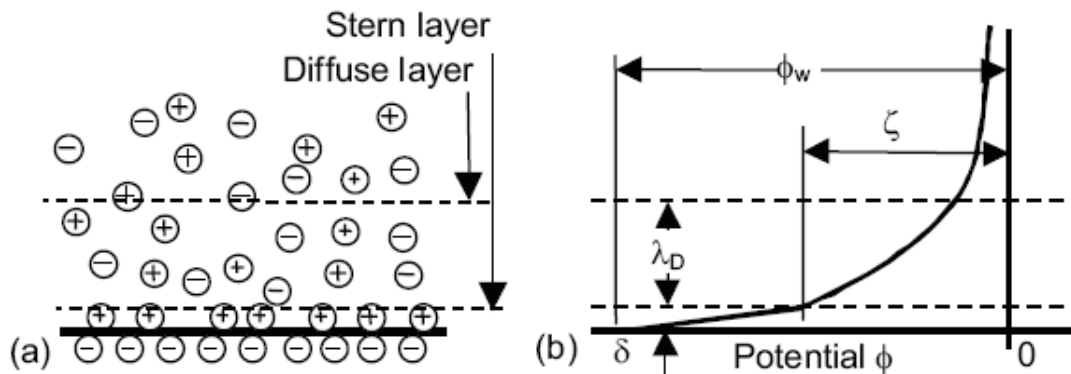
Modern microfluidics [1] can be traced back to the development of a silicon chip based gas chromatograph at Stanford University [2] and the ink-jet printer at IBM [3,4]. Though both these devices were quite remarkable, the con-

associated with the scaling down of the size [5]. Further development revealed other significant advantages including: minimized consumption of reagents, increased automation, and reduced manufacturing costs [14]. The latter of these has been perhaps the most important advancement as the field drifts from the relatively complex silicon and glass based mi-

Φαινόμενα στη μικροκλίμακα

Όταν αναφέρεται ότι η προσέγγιση της μικρορευστομηχανικής είναι διαφορετική από αυτή της μακρορευστομηχανικής, δεν εννοείται πως οι νόμοι που ισχύουν στον μακρόκοσμο παύουν να ισχύουν στη μικροκλίμακα. Αυτό που συμβαίνει είναι ότι μεταβάλλεται η σχετική ισχύς των διαφόρων δυνάμεων, με αποτέλεσμα τα φαινόμενα που κυριαρχούν στην κάθε περίπτωση να διαφοροποιούνται σε μεγάλο βαθμό, ένα φαινόμενο που ονομάζεται *φαινόμενο κλιμάκωσης (scaling effect)*. Με άλλα λόγια, κάποια φαινόμενα η επίδραση των οποίων είναι αμελητέα στις μακροροές και δεν λαμβάνεται υπ' όψιν κατά τη μελέτη ενός μακροσυστήματος, μπορεί να είναι αυτά που καθορίζουν τη συμπεριφορά ενός αντίστοιχου συστήματος μειωμένων διαστάσεων. Τα γενικά χαρακτηριστικά που προκύπτουν στις μικροροές έχουν να κάνουν με την αύξηση της ταχύτητας θερμικής διάχυσης και την ύπαρξη κατά βάση στρωτής ροής (χαμηλοί αριθμοί Reynolds). Επιπλέον, όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο λόγος της επιφάνειας προς τον όγκο είναι αντίστροφος της κλίμακας μήκους, κάτι που σημαίνει ότι οι επιφανειακές δυνάμεις συνάφειας (ιξώδες) αποκτούν βαρύνουσα σημασία σε σχέση με τις βαρυτικές δυνάμεις όγκου που κυριαρχούν στη μακροκλίμακα.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ενός φαινομένου χωρίς ανάλογο στη μακροκλίμακα είναι η ύπαρξη του λεγόμενου διπλού ηλεκτρικού στρώματος (*electric double layer*). Όταν ένα πολικό ρευστό όπως το νερό έρχεται σε επαφή με ένα στερεό, η επιφάνεια του τελευταίου φορτίζεται. Το επιφανειακό φορτίο στην επιφάνεια του στερεού στη συνέχεια επηρεάζει την μετακίνηση των φορτίων εντός του ρευστού στην περιοχή κοντά στο τοίχωμα. Τα ιόντα στο ρευστό έλκονται από την επιφάνεια με συνέπεια τη διαμόρφωση ενός πολύ λεπτού στρώματος (*στρώμα Stern*), όπου τα ιόντα του ρευστού σχηματίζουν ζεύγη με τα ιόντα της επιφάνειας. Το στρώμα Stern εν συνεχεία επηρεάζει την κατανομή του φορτίου βαθύτερα μέσα στο ρευστό δημιουργώντας ένα πιο παχύ στρώμα από πλεονάζων φορτίο του ίδιου πρόσημου με αυτό εντός του στρώματος Stern, το οποίο ονομάζεται *στρώμα διάχυσης* ή *στρώμα Gouy-Chapman*. Το στρώμα Stern και το στρώμα διάχυσης μαζί αποτελούν το λεγόμενο διπλό ηλεκτρικό στρώμα. Λόγω της εγγύτητας του φορτίου, το στρώμα Stern παραμένει ακίνητο στο χώρο, ενώ το στρώμα διάχυσης μπορεί να κινηθεί. Ειδικότερα, καθώς το συγκεκριμένο στρώμα έχει συνολικό φορτίο διάφορο του μηδενός, μπορεί να μετακινηθεί με την εφαρμογή ενός κατάλληλου ηλεκτρικού πεδίου. Η κατάσταση αυτή παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα και είναι τυπική σε πολλές μικρορευστομηχανικές διατάξεις.



Γραφική αναπαράσταση του ηλεκτρικού διπλού στρώματος. Στην α) παριστάνεται το στρώμα Stern και το στρώμα διάχυσης, ενώ στη β) τα σχετικά δυναμικά που προκύπτουν. Το δυναμικό στο τοίχωμα αναφέρεται ως *δυναμικό τοιχώματος ϕ_w* , ενώ το λεγόμενο *δυναμικό ζήτα (zeta potential)* αναφέρεται στο συνολικό φορτίο μεταξύ στρώματος Stern και του στρώματος διάχυσης [N.-T. Nguyen, S. Wereley].

Μειώνοντας τις διαστάσεις

Μια επίσης σημαντική παράμετρος που σχετίζεται με τη μείωση των διατάσεων είναι η μείωση του όγκου του δείγματος στις χημικές αντιδράσεις. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια την ανάλογη μείωση της κατανάλωσης των χημικών αντιδραστηρίων, αν και μπορεί να επιφέρει και τη μείωση του ανιχνευόμενου σήματος. Επιπλέον, με την αύξηση του λόγου επιφάνειας, καθίσταται σημαντική και η επίδραση της εξάτμισης του υγρού. Η μεταβολή του όγκου του ρευστού λόγω εξάτμισης μπορεί να λαμβάνεται υπ' όψιν κατά τη μέτρηση πολύ χαμηλών ρυθμών ροής.

Η σημαντικότερη ίσως πρόκληση σχετικά με τις μικρορευστομηχανικές συσκευές έχει να κάνει με την συναρμολόγηση (assembly), το πακετάρισμα (packaging) και την ολοκλήρωση (integration) αυτών. Γενικά, ακόμα και αν τα επί μέρους τμήματα των διατάξεων είναι αξιόπιστα, η μη κατάλληλη συναρμολόγηση αυτών μπορεί να οδηγήσει σε συνολικό σύστημα χαμηλής αξιοπιστίας. Το πακετάρισμα θα πρέπει να προστατεύει την συσκευή από ανεπιθύμητες περιβαλλοντικές επιδράσεις, αλλά ταυτόχρονα θα πρέπει να επιτρέπει την εισαγωγή του ρευστού. Οι διασυνδέσεις πρέπει να αντέχουν σε υψηλές πιέσεις, ενώ θα πρέπει να εξασφαλίζεται και η ηλεκτρική επικοινωνία της συσκευής με τον μακρόκοσμο. Συχνά απαιτείται ευθυγράμμιση του μικροκαναλιού με τις διασυνδέσεις του και τα σημεία εισαγωγής και εξαγωγής του δείγματος, ενώ επιπλέον βαθμός πολυπλοκότητας εισάγεται με την πιθανή ανάγκη για ευθυγράμμιση των ηλεκτρονικών ή ακόμα και οπτικών στοιχείων της εκάστοτε συσκευής.

Σε γενικές γραμμές, η κατασκευή μικρορευστομηχανικών συσκευών μπορεί είτε να πραγματοποιηθεί με βάση μια «συρρικνωμένη εκδοχή» των συμβατικών αρχών, είτε να εκμεταλλευθεί τα νέα φαινόμενα της μικροκλίμακας. Η πρώτη προσέγγιση κυριαρχούσε μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 90, όπου οι παραγωγή των σχετικών συσκευών πραγματοποιούνταν με κύριο εργαλείο τη μικρομηχανική πυριτίου και βασίζονταν σε κλασσικές αρχές λειτουργίας. Καθώς όμως οι μηχανικές δυνάμεις που επαρκούν για την λειτουργία των οργάνων στη μικροκλίμακα αποδείχθηκαν περιορισμένης ισχύος σε μικρότερες διαστάσεις, η ερευνητική προσπάθεια μετατοπίζεται προς την εκμετάλλευση μη μηχανικών αρχών. Σε αυτό το πλαίσιο παρουσιάζονται ηλεκτροκινητικές αντλίες, ροές παραγόμενες από την επιφανειακή τάση, ενώ επιχειρείται η εκμετάλλευση και των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων. Όλα τα προηγούμενα φαινόμενα έχουν αμελητέα επίδραση στο μακρόκοσμο, ωστόσο στη μικροκλίμακα πλεονεκτούν σε σχέση με τις μηχανικές αρχές λειτουργίας συσκευών οι οποίες βασίζονται σε κινούμενα μέρη. Το επόμενο αναπτυξιακό βήμα στο χώρο θεωρείται η υιοθέτηση νέων φαινομένων τα οποία μιμούνται τον τρόπο λειτουργίας των κυττάρων και των μορίων.

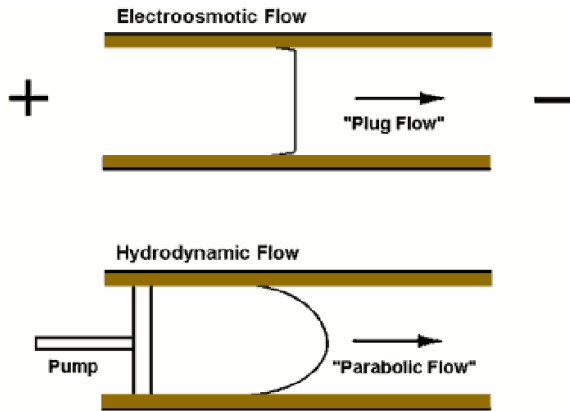
Σε μια ανάλογη κατάσταση με το γενικότερο πεδίο της παρασκευής συσκευών, στην τεχνολογία κατασκευής μικρορευστομηχανικών διατάξεων παρατηρείται μια μετατόπιση ενδιαφέροντος στα χρησιμοποιούμενα υλικά. Αρχικά τα μικροκανάλια, οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές που αναπτύχθηκαν ήταν βασισμένα στην τεχνολογία μικρομηχανικής του πυριτίου. Ωστόσο, σε αντίθεση με τη μικροηλεκτρονική όπου οι σχετικές διατάξεις έχουν να κάνουν με τη διαχείριση των ηλεκτρονίων στα ολοκληρωμένα κυκλώματα, στη μικρορευστομηχανική απαιτείται η μεταφορά μορίων και ρευστών σε πολύ μεγαλύτερα κανάλια. Το χαρακτηριστικό αυτό σημαίνει πως οι μικρορευστομηχανικές διατάξεις είναι πολύ μεγαλύτερες με συνέπεια πολύ λιγότερες από αυτές να χωράνε σε ένα δισκίδιο πυριτίου. Συνυπολογίζοντας το κόστος των υλικών, το κόστος παρασκευής και την απόδοση (yield), προκύπτει ότι οι μικρορευστομηχανικές συσκευές βασισμένες στο πυρίτιο είναι πολύ ακριβές για αν γίνουν αποδεκτές από την αγορά, ιδιαίτερα ως συσκευές μίας χρήσης.

Από τα μέσα της δεκαετίας του 90 και μετά πραγματοποιήθηκε μια στροφή προς τη χρήση πλαστικών υλικών. Με τη φιλοσοφία ότι η λειτουργικότητα είναι πιο κρίσιμη από το εύρος της σμίκρυνσης των διαστάσεων, και με την απλότητα πάνω από την πολυπλοκότητα, οι μικρορευστομηχανικές συσκευές διατηρήθηκαν απλές, μερικές φορές αποτελούμενες αποκλειστικά από ένα παθητικό σύστημα μικροκαναλιών. Συχνά, τα ενεργά και τα παθητικά τμήματα της συσκευής δεν είναι ολοκληρωμένα στην συνολική διάταξη, αλλά αποτελούν ξεχωριστές συσκευές. Η μαζική παραγωγή πλαστικών συσκευών είναι δυνατή με πολλές τεχνικές παραγωγής αντιγράφων (replication methods) και γενικότερα διαμόρφωσης υποστρωμάτων. Ωστόσο η ολοκλήρωση οικονομικών αισθητήρων και ενεργοποιητών σε μια πλαστική συσκευή παραμένει μια πρόκληση.

Πέρα από την οικονομική πλευρά του θέματος, τα πολυμερή υλικά που αποτελούν αυτή τη στιγμή την βασική κατηγορία υλικών που χρησιμοποιούνται στις μικρορευστομηχανικές διατάξεις, έχουν το σημαντικό πλεονέκτημα ότι είναι δυνατόν να μεταβληθούν οι επιφανειακές χημικές τους ιδιότητες με κατάλληλη επεξεργασία. Επειδή οι δυνάμεις επιφάνειας είναι οι κυρίαρχες στη μικροκλίμακα, η γενική ιδιότητα αυτή των πολυμερών υλικών τα καθιστά κατάλληλα για εφαρμογές στις οποίες δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τα τυπικά υλικά της μικροηλεκτρονικής. Επιπλέον η μεγάλη γκάμα υλικών αφήνει περιθώρια για την χρήση υλικών με τροποποιημένες οπτικές ιδιότητες ή μηχανικά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα η διαφάνεια στο ορατό φως και η ευκαμψία υπό την εφαρμογή μηχανικών τάσεων. Μερικά από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα πολυμερή είναι το PMMA, το PC (polycarbonate), το PSU (polysulfone), το PP (polypropylene) και το PDMS.

Τα πολυμερή υλικά χρησιμοποιούνται κυρίως για τη διαμόρφωση της διάταξης, δηλαδή των συστημάτων μικροκαναλιών. Όσον αφορά την υλοποίηση των απαραίτητων διατάξεων ηλεκτροδίων εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται τα μέταλλα (όπως Au, Pt, Ni), ενώ *ενεργά υλικά* όπως για παράδειγμα κεραμικά πιεζοηλεκτρικά υλικά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των ενεργων μερών των συσκευών, κυρίως σε αντλίες ή βαλβίδες.

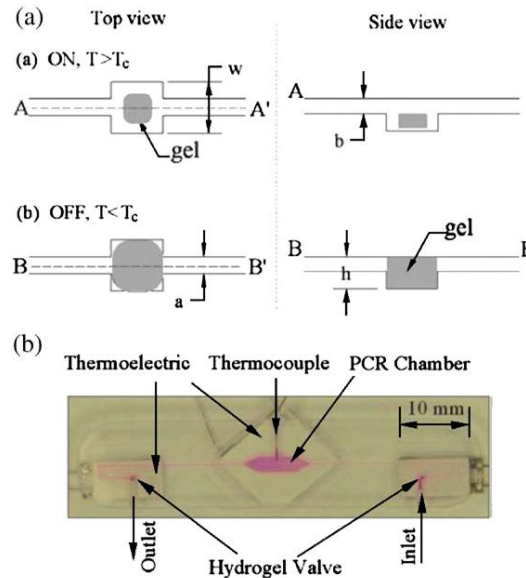
Αντλίες (Pumps)



<http://www.grin.com/en/doc/279212/wireless-microchip-capillary-electrophoresis-utilizing-pulsed-amperometric>

- Δημιουργία ελεγχόμενης ροής
- Τυπικά βασίζονται είτε στην δημιουργία διαφοράς πίεσης μηχανικά, είτε στο φαινόμενο της ηλεκτροόσμωσης

Βαλβίδες (Valves)



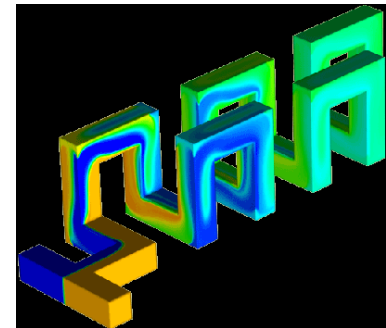
Zhang *et al.*, Wang *et al.*

- Λειτουργούν ως διακόπτης της ροής
- Μεγάλη ποικιλία μεθόδων και υλικών

Μείκτες (mixers)



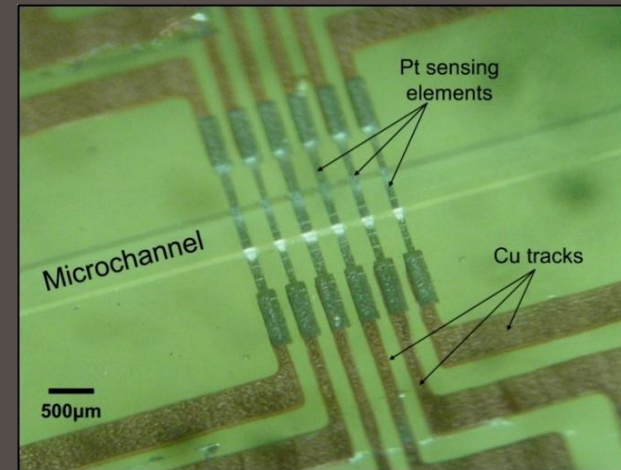
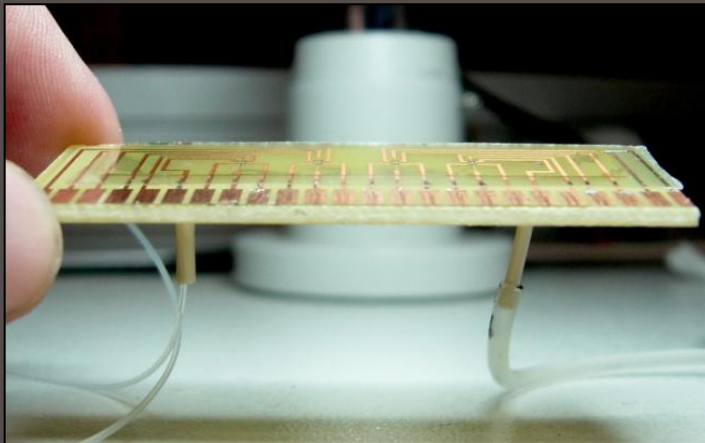
<http://micro.eng.utah.edu/TechnologyLibrary/Mixer/index.html>



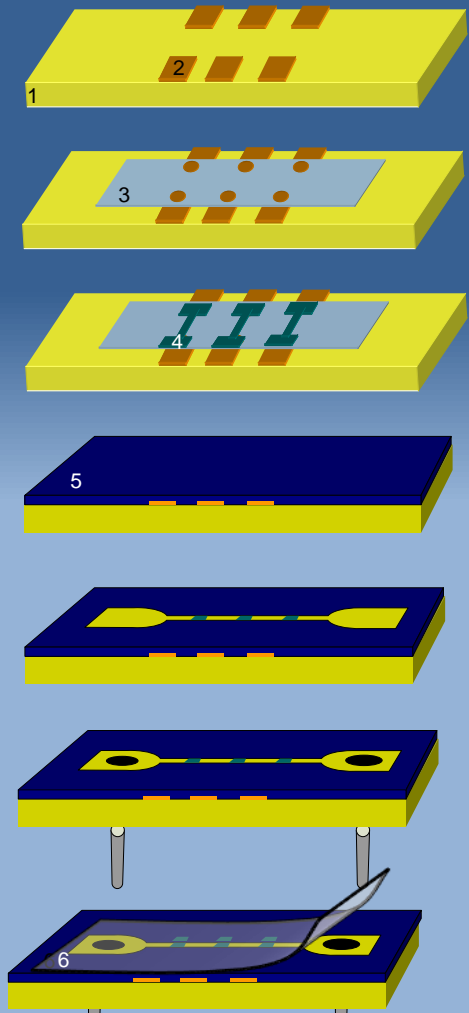
Tecplot - Coventor

- Η μείξη είναι απαραίτητη σε διάφορες διεργασίες που γίνονται σε ένα LoC, π.χ σε χημικές αντιδράσεις
- Λόγω του πολύ χαμηλού Re , η ροή είναι τόσο στρωτή, ώστε χρειάζεται υποβοήθηση ώστε να υπάρξει διάχυση των μορίων μεταξύ διαφορετικών ρευστών, παρότι σε επαφή

A multi-range PCB-MEMS microfluidic flow sensor with adjustable sensitivity



Polymer microfluidic flow sensor



1	2	3	4	5	6
FR4	Cu	SU-8 (15µm)	Pt	SU-8 (100µm)	Sealing tape

α)

Initial Stage:
Patterning of PCB

β)

Surface planarization:
1st SU-8 layer (15µm thickness)

γ)

Formation of the Pt sensing elements:
Pt sputtering and lift-off.

δ)

Microchannel formation:

Spin coating of 2nd SU8 layer (15 – 125µm)

Lithographic definition of microchannel and
reservoirs

ε)

Hole formation (drilling) and adjustment of
inlet/outlet tubes.

στ)

Microchannel Sealing.
Use of special olefin-based sealing tape

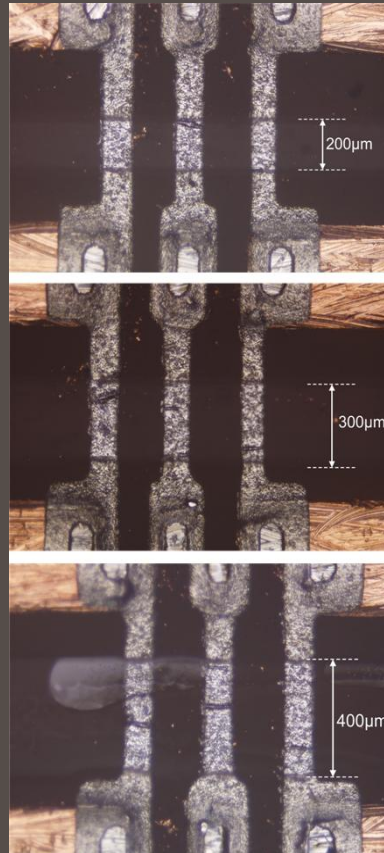


Sensor Characteristics

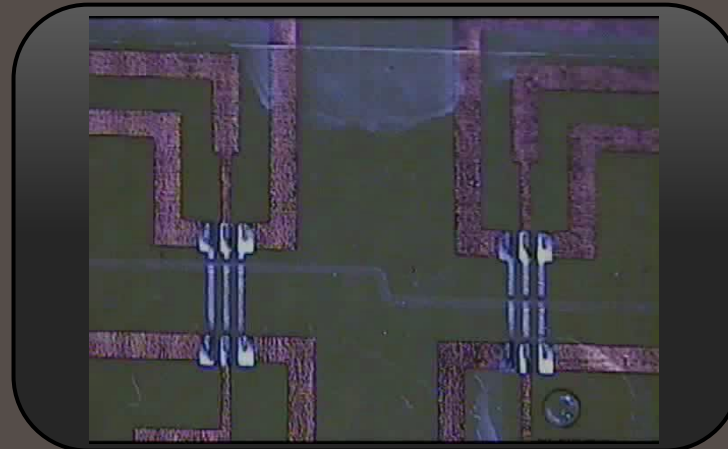
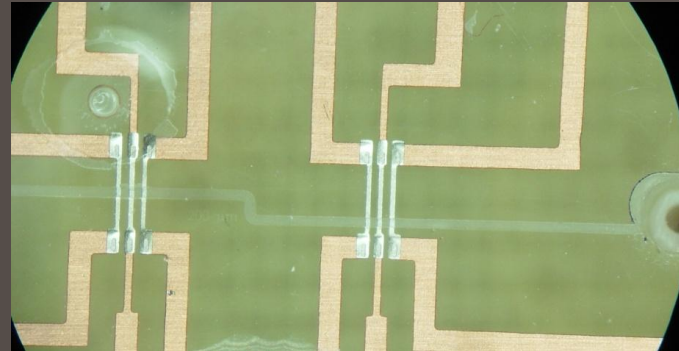
- ❑ Process simplicity
- ❑ Material compatibility to lab-on-a-chip technologies
- ❑ Direct sensor communication to the macroworld
(*no wire-bonding requirement*).
- ❑ Capability for direct device integration with the corresponding electronics
- ❑ Low thermal conductivity polymeric materials
(*enhanced sensitivity*)
- ❑ Full two-dimensional control on the microchannel cross-section (***Structural parameter. Adjustment of the relationship between flow rate and velocity***)

Polymer microfluidic flow sensor

Variable crosssection



Implementation of varying geometries

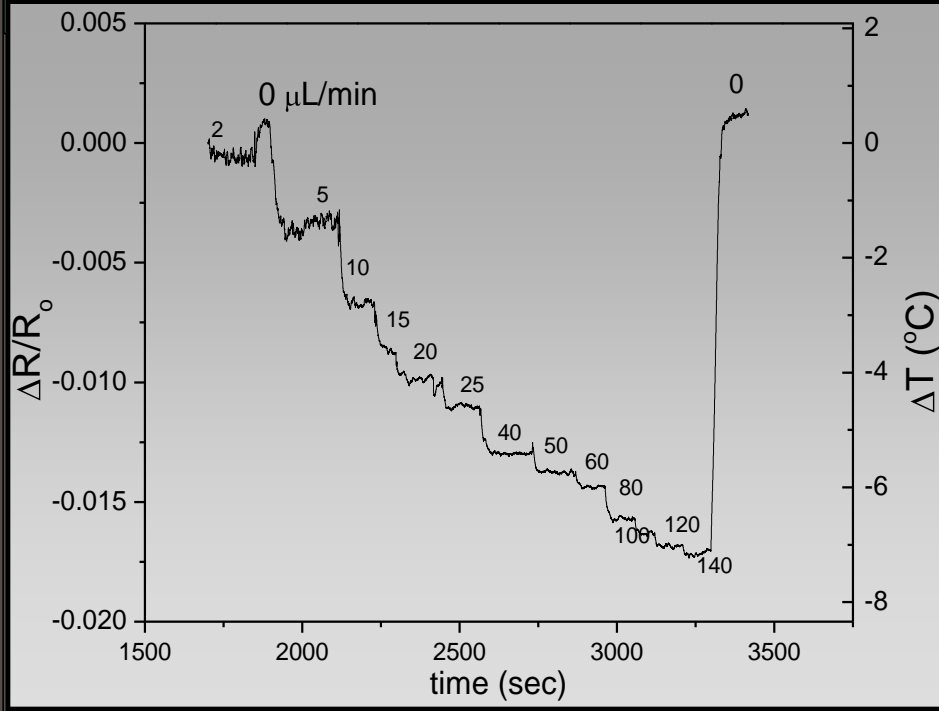


- Full two-dimensional control on the microchannel crosssection
- Low thermal conductivity polymeric materials
- Compatible to lab-on-a-chip technologies

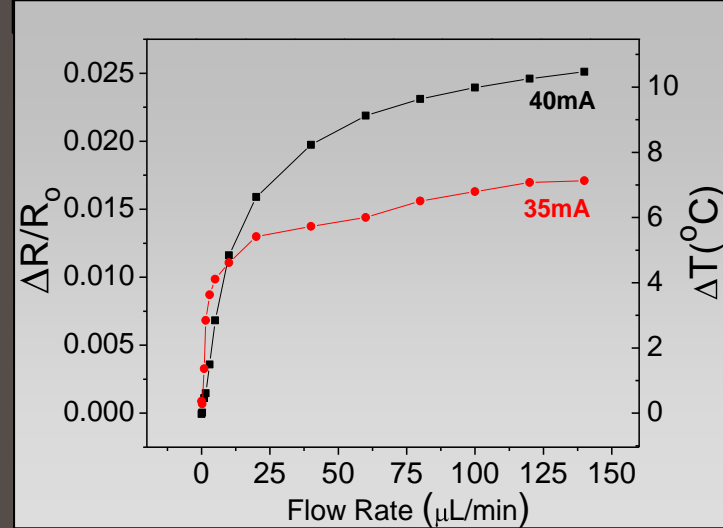


Polymer microfluidic flow sensor

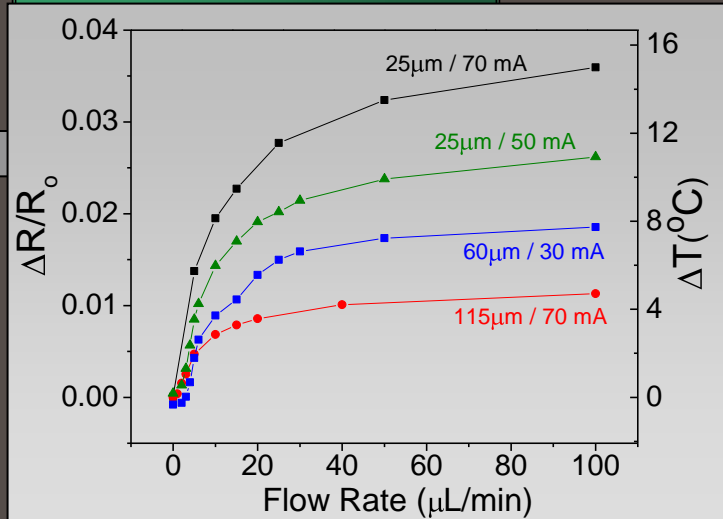
Real Time Signal



Operating Current



Microchannel Height



Related Parameters

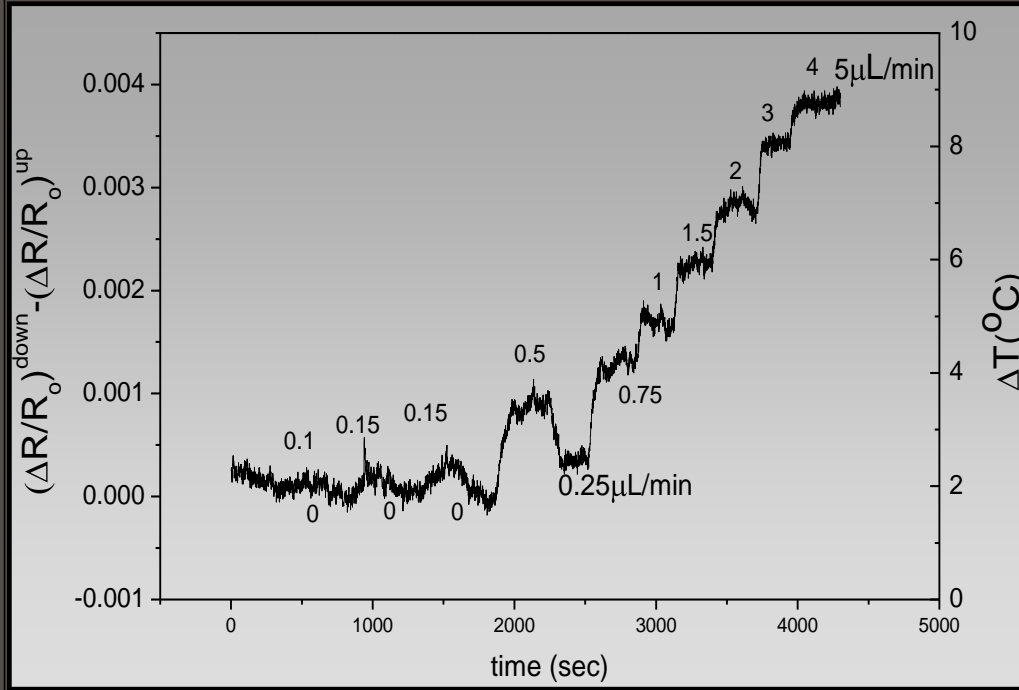
- Operating Current / Power
- Microchannel Height

Measurement Range: 2 – 150 $\mu\text{L}/\text{min}$

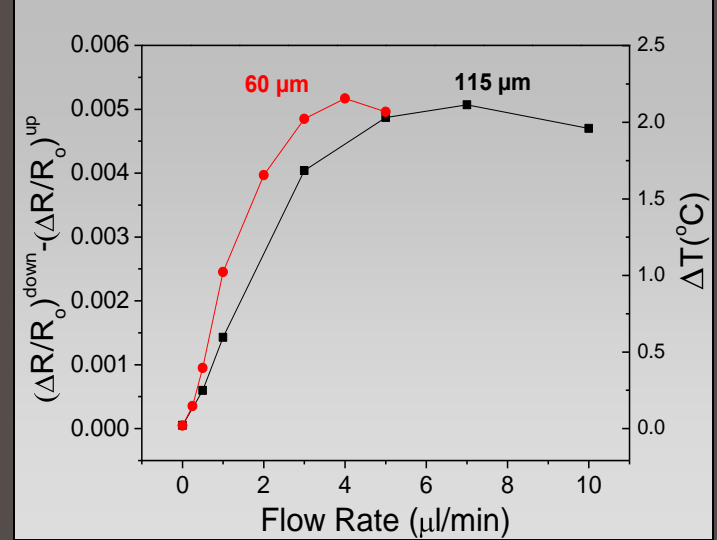


Polymer microfluidic flow sensor

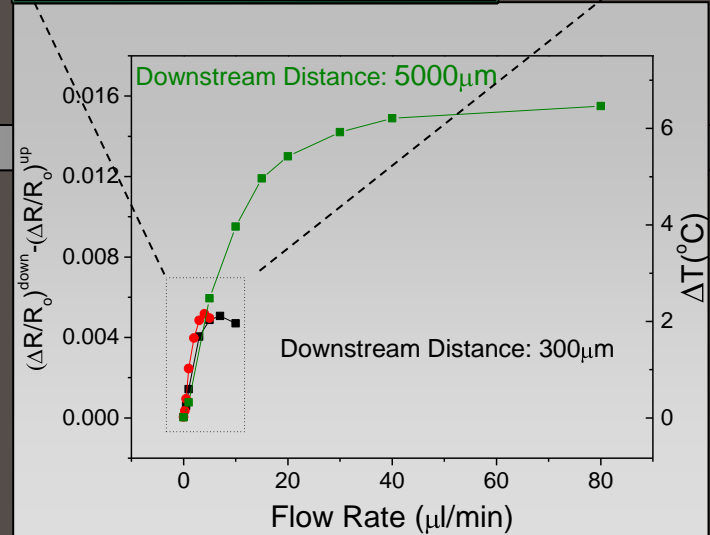
Real Time Signal



Microchannel Height



Sensing element distance



Related Parameters

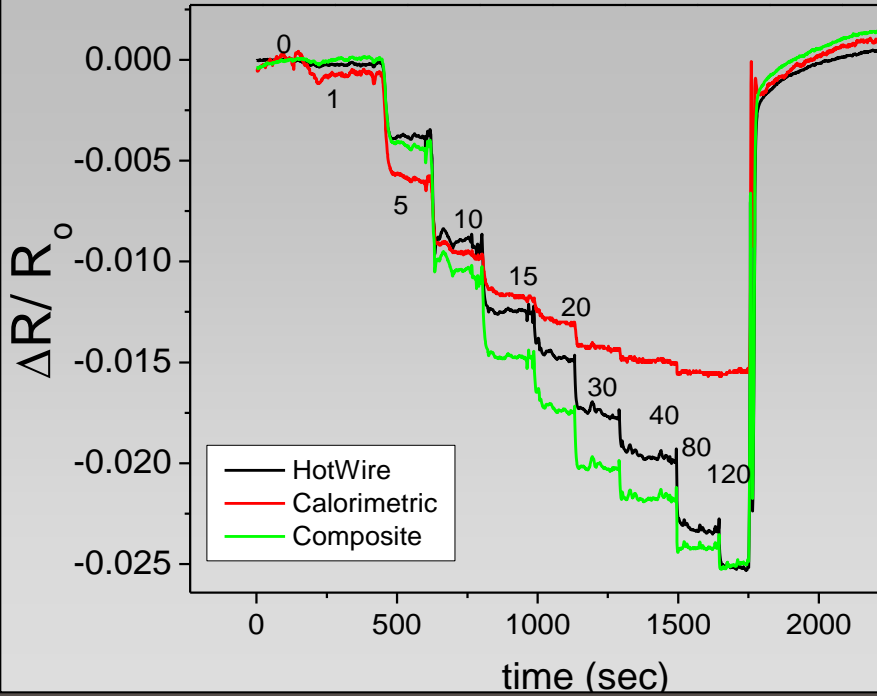
- Microchannel Height
- Downstream Sensing Element Distance

Measurement Range: 0.15 – 30 $\mu\text{L}/\text{min}$

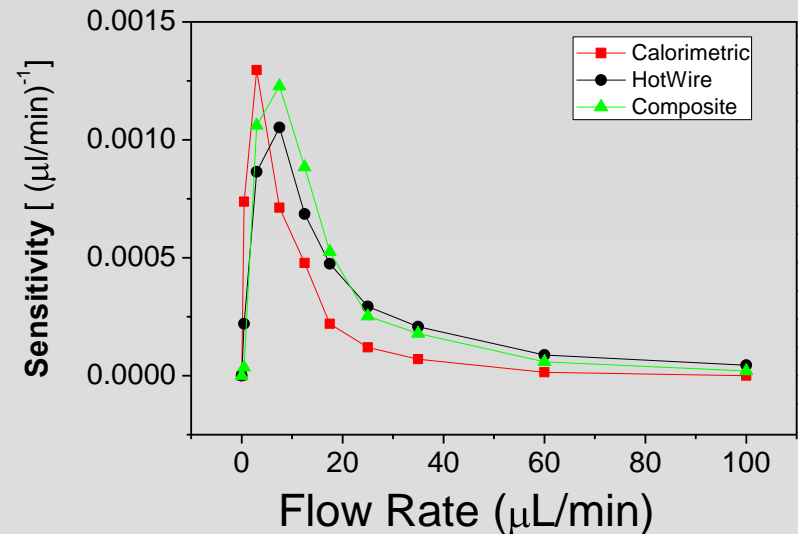
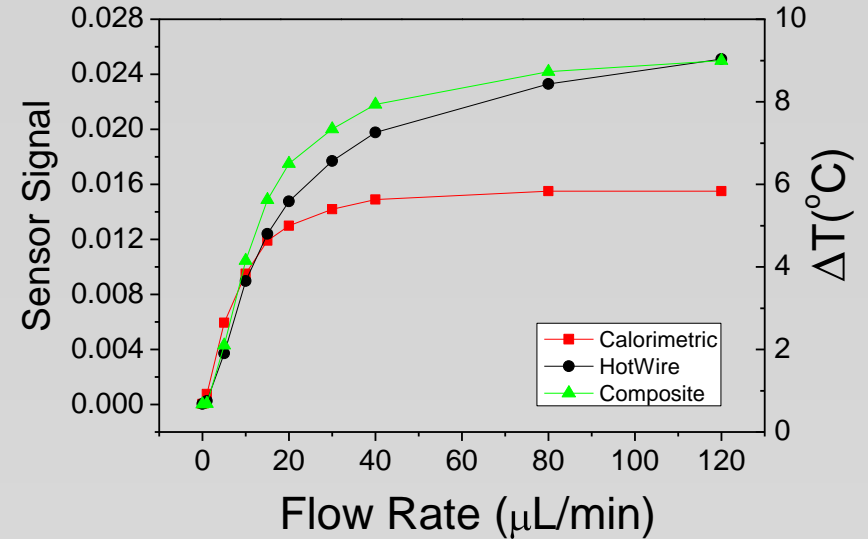


Polymer microfluidic flow sensor

Real Time Signal



Comparative



- Composite Signal: Heater as the upstream sensing element

- Hot Wire: Large flow rate region
- Calorimetric: Low flow rate region
- Composite Signal: Intermediate flow rate region



... bringing all them together

Flow rate	0.15μL/min	1μL/min	5μL/min	20μL/min	40μL/min	140μL/min
<i>Operating Principle</i>	Calorimetric	Composite signal		Hot Wire		
<i>Power / Current</i>	15mW / 30mA	30mW / 40mA		45mW / 70mA		
<i>Microchannel height</i>	25μm	60μm		115μm		
<i>Downstream Distance</i>	300μm	5000μm				

- ❑ Measurement Range : 0.15μL/min – 140μL/min
- ❑ Maximum Flow-induced temperature variation: 15°C

Polymer microfluidic flow sensor

➤ Fabrication Technology

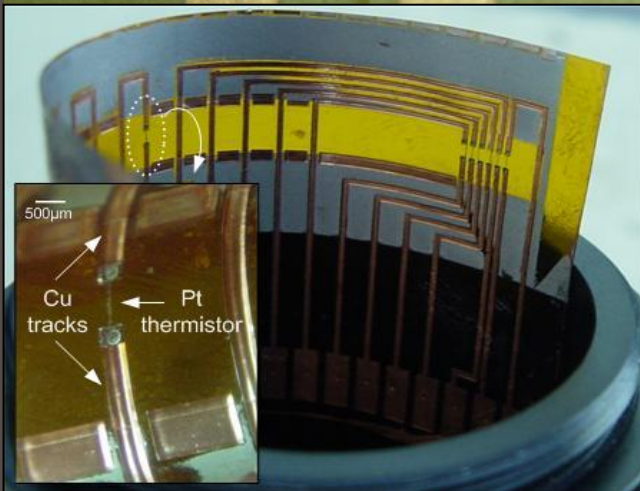
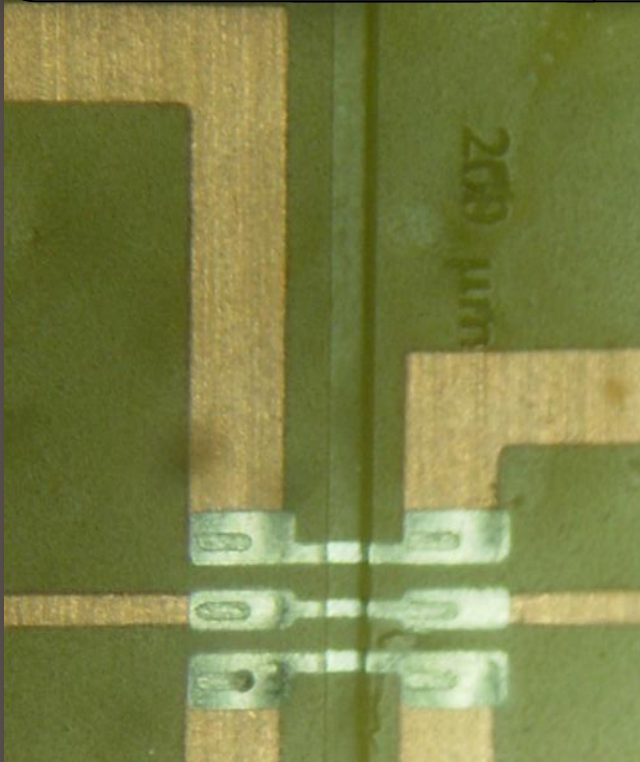
- No wire bonding
- Direct microchannel integration on the sensor surface
- Highly effective thermal isolation
- 2D control on the microchannel crosssection dimensions

➤ Tunable Operating Characteristics

- Adjustment of sensitivity in specified flow rate regions
- Extended measurement range: 0.15 μ l/min – 140 μ l/min

➤ Future

- Gas flow characterization (tens of ml's)
- Technology transfer in flexible substrates



Εύκαμπτα Οργανικά ηλεκτρονικά (*flexible organic electronics*)

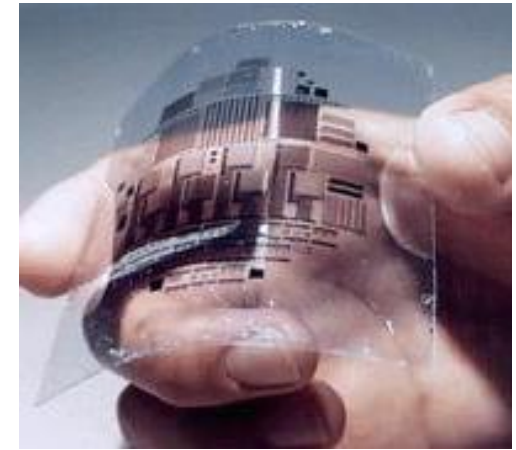
OLEDs



Φωτοβολταϊκά

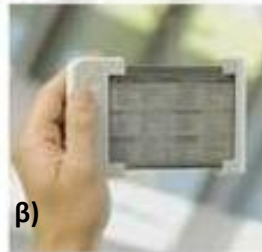


OTFTs



Τα **οργανικά ηλεκτρονικά (*flexible organic electronics*)** έχουν καταστεί σχετικά πρόσφατα πεδίο εκτεταμένου ενδιαφέροντος και εντατικής έρευνας

Η ερευνητική δραστηριότητα υπολείπεται στην ανάπτυξη αισθητήρων

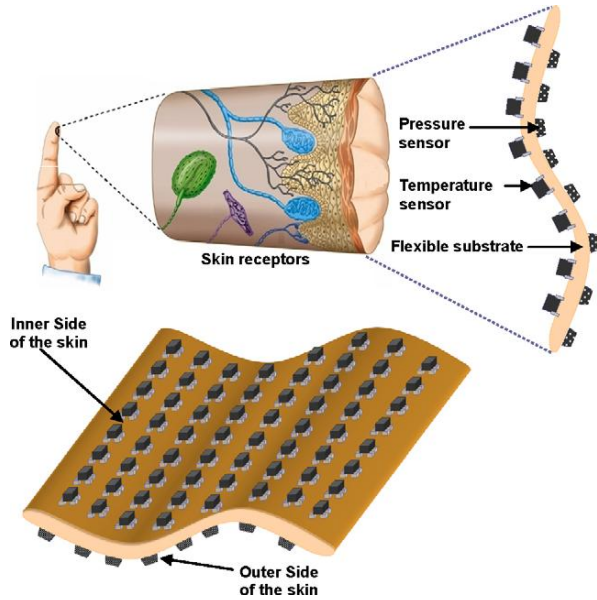


Η εύκαμπτη οθόνη της Sony βασισμένη σε τεχνολογία OLED. Το πάχος της είναι 0,3mm, η διαγώνιος της 2.5 ίντσες, ενώ έχει τη δυνατότητα απεικόνισης 16.7 εκ. χρωμάτων [<http://pinktentacle.com/2007/05/flexible-full-color-organic-el-display/>]

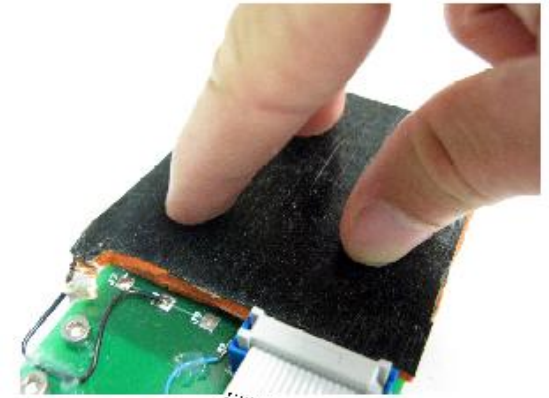
Παραδείγματα καταναλωτικών προϊόντων σχετιζόμενων με εύκαμπτες οθόνες. α) Επεξεργασία roll-to-roll υπό ανάπτυξη στο Fraunhofer-IZM, όπου ενεργά και παθητικά στοιχεία ολοκληρώνονται άμεσα σε μία εύκαμπτη διεργασία β) Το προϊόν Radius της Philips Polymer Vision, χρησιμοποιεί οθόνη ηλεκτροφόρησης, η οποία επιδεικνύει πλήρη δυνατότητα στρέψης σε ρολό γ) Εύκαμπτο φιλμ για εφαρμογές ανάγνωσης από την Plastic logic [Fihn, M.]



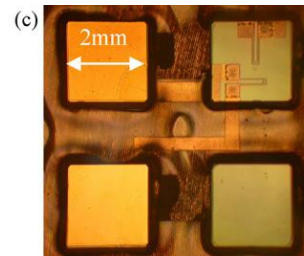
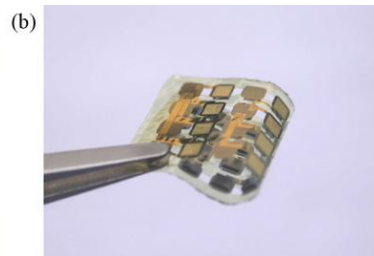
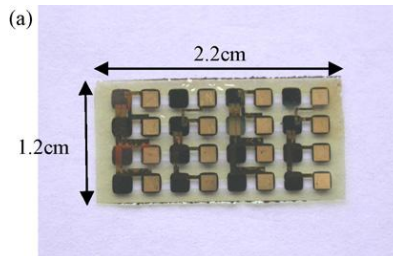
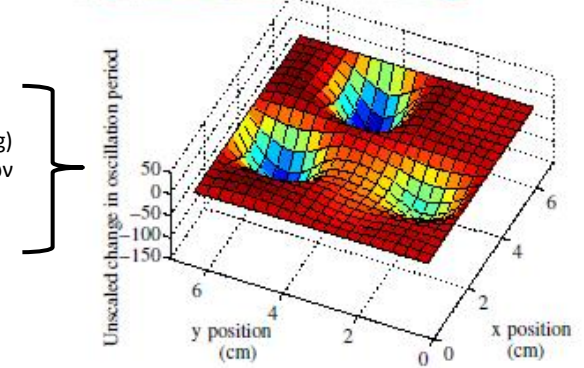
Πρωτότυπα μοντέλα από οργανικά ηλιακά κύτταρα σε σχήματα φύλλων και λουλουδιών, σε διάφορα χρώματα [<http://www.daylife.com/photo/013h4Qtde35LP>]



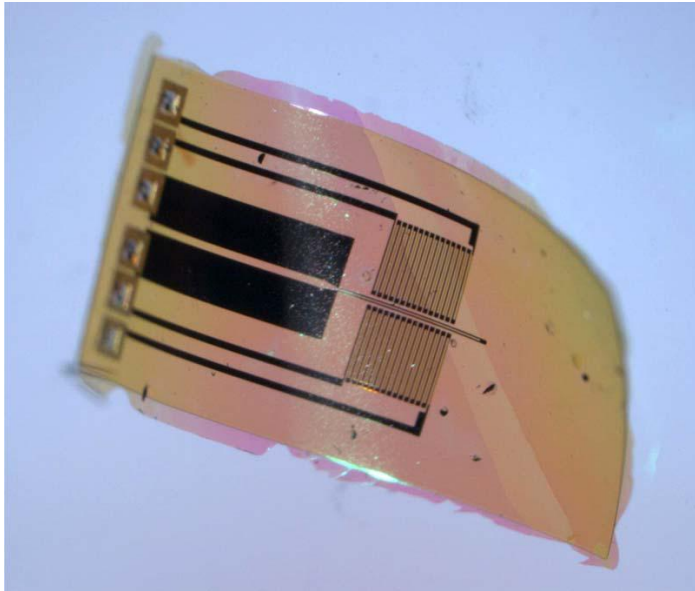
Σχηματική αναπαράσταση της τεχνητής επιδερμίδας των Yang, Y.-J. et. al. Διακρίνονται οι αισθητήρες θερμοκρασίας και αφής στις δύο επιφάνειες ενός εύκαμπτου υποστρώματος, τείνοντας έτσι να προσομοιώσουν τη λειτουργία των αντίστοιχων αισθήσεων μιας βιολογικής επιδερμίδας



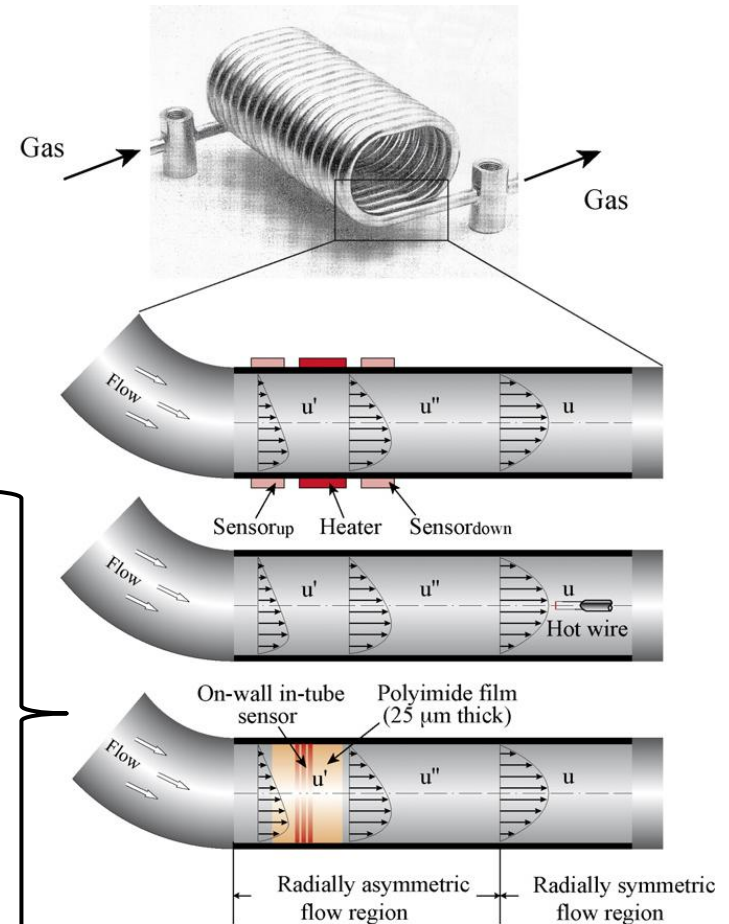
Απεικόνιση της «μέτρησης της αφής» (tactile sensing) όπως προκύπτει από των 4x4 πίνακα χωρητικών αισθητήρων των J. Ulmen and M. Cutkosky



α) Εικόνα της εύκαμπτης επιδερμίδας από πυρίτιο, όπου διακρίνονται οι νησίδες πυριτίου και οι μεταξύ τους διασυνδέσεις β) Το ίδιο υπόστρωμα σε κάμψη γ) Μικρογραφία τεσσάρων νησίδων πυριτίου. Το άνω δεξιά είναι ολοκληρωμένοι αισθητήρες μέτρησης της έκτασης (*strain*) [Katragadda, R.B.]



Ο αισθητήρας ροής των Buchner et. al. Η συσκευή αποτελείται από θερμοστοιχεία υλοποιημένα σε ένα εύκαμπτο στρώμα πολυιμιδίου πάχους 10 μm .



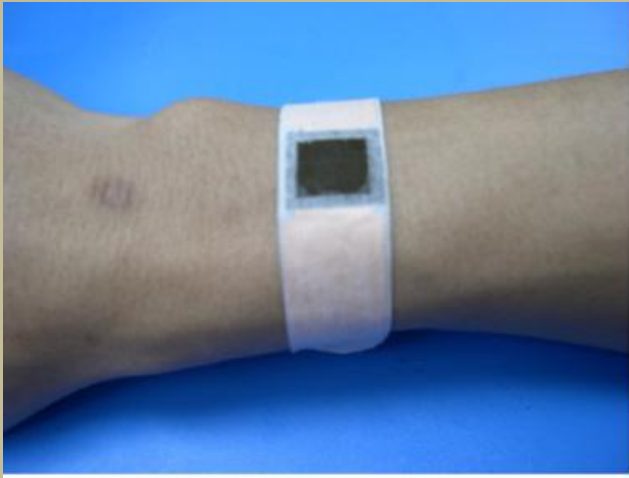
Σχηματική σύγκριση διάφορων διευθετήσεων μέτρησης της ροής εντός εύκαμπτου κυλινδρικού σωλήνα:

α) Προσαρμογή των αισθητήριων στοιχείων σε τμήμα της εξωτερικής επιφάνειας του σωλήνα

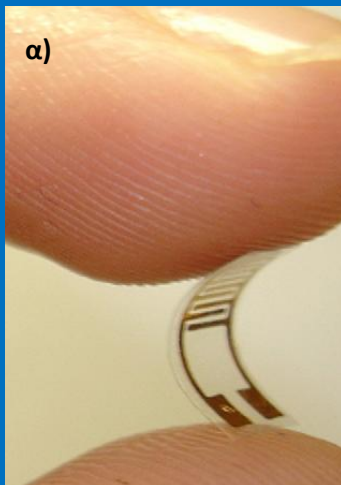
β) Τοποθέτηση ενός αισθητήριου στοιχείου εντός του σωλήνα

γ) Προσαρμογή του εύκαμπτου αισθητήρα εντός των τοιχωμάτων

Η τελευταία διεύθετηση επέτρεψε την πειραματική μελέτη του προφίλ ταχυτήτων αμέσως μετά από μια καμπύλωση του σωλήνα [Tan, Z. et al.].



Εύκαμπτη ετικέτα σε λευκοπλάστη (*patch tag*) η οποία τοποθετείται στον καρπό του ασθενή, για τη μέτρηση των καρδιακών παλμών. [Chang, W.-Y. et al.]



α)

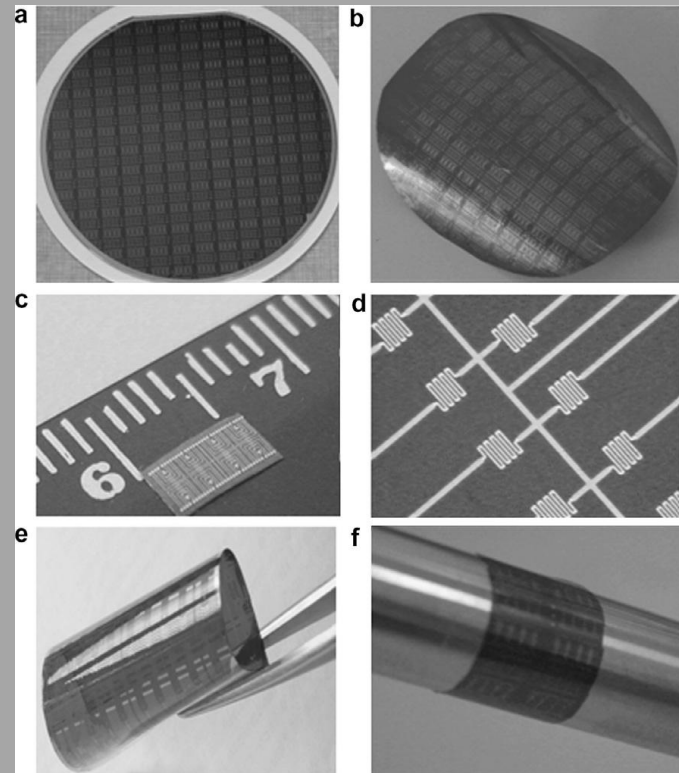


β)

Αισθητήρες μέτρησης υγρασίας:

α) Ο αισθητήρας των Su *et al*

β) Ο αισθητήρας των Lee *et al*



Αισθητήρες θερμοκρασίας πάνω σε επιστρωμένο πολυϊμίδιο. Αρχικά οι συσκευές παρασκευάζονται πάνω στο στρώμα πολυϊμίδιου που έχει επιστρωθεί στο δισκίο-φορέα. Στη συνέχεια το στρώμα πολυϊμίδιου αποκολλάται για να προσαρμοστεί σε κυλινδρική επιφάνεια. Οι διαστάσεις των αισθητήρων στοιχείων πλατίνας είναι $68\mu\text{m} \times 68\mu\text{m}$ [S.Y. Xiao et al.]