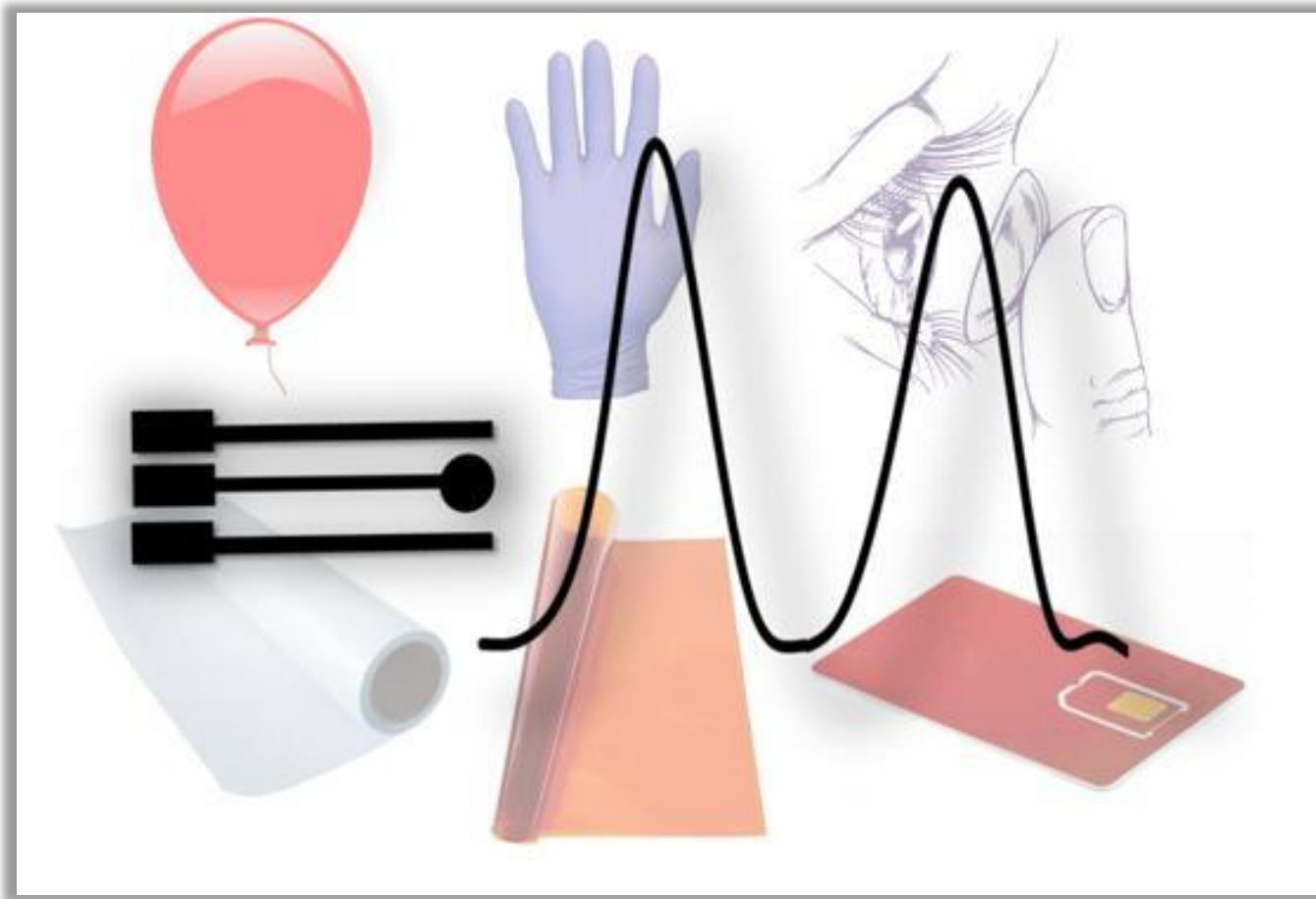


ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΟΙ ΒΙΟΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ



Χρήστος Κόκκινος
Αναπ. Καθηγητής ΕΚΠΑ

Δομή:

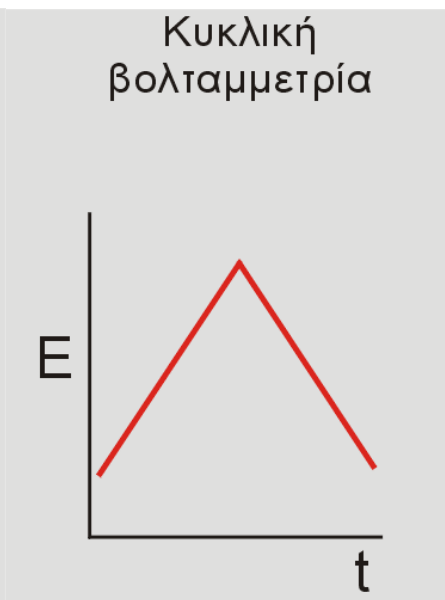
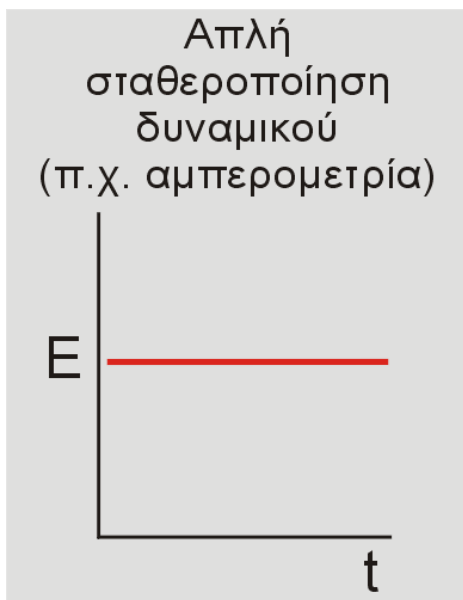
- 1) Βολταμμετρία- Αμπερομετρία
- 2) Κατασκευή αισθητήρων με νέες τεχνολογίες
- 3) Βιοαισθητήρες

Βολταμμετρία- Αμπερομετρία

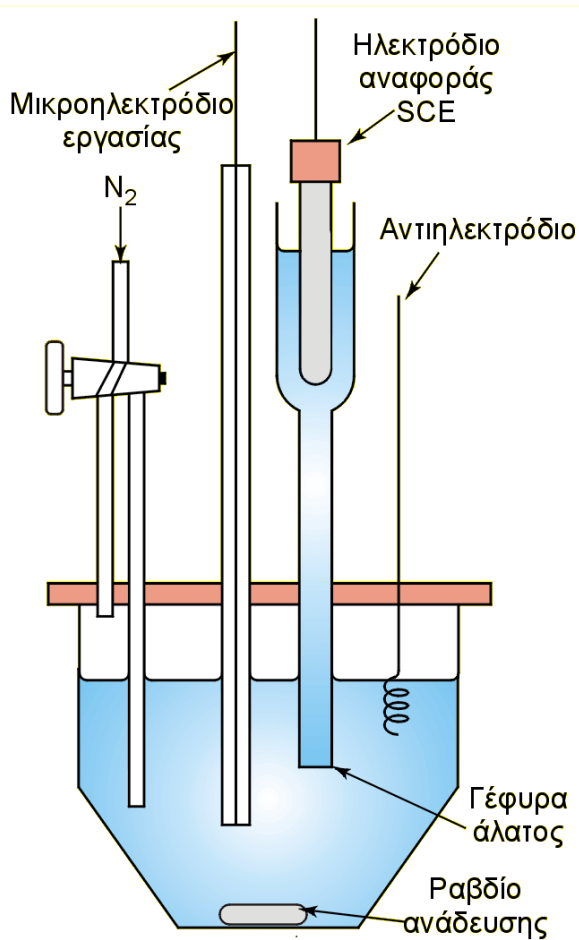
Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε συνθήκες που ευνοούν την πόλωση ενός μικρού ενδεικτικού ηλεκτροδίου του **ηλεκτροδίου εργασίας**. Για ενίσχυση της πόλωσης, τα ηλεκτρόδια εργασίας έχουν μικρές επιφάνειες

-**Αμπερομετρία**: Το ρεύμα, που είναι ανάλογο της συγκέντρωσης του αναλύτη, μετρείται σε **σταθερό δυναμικό**.

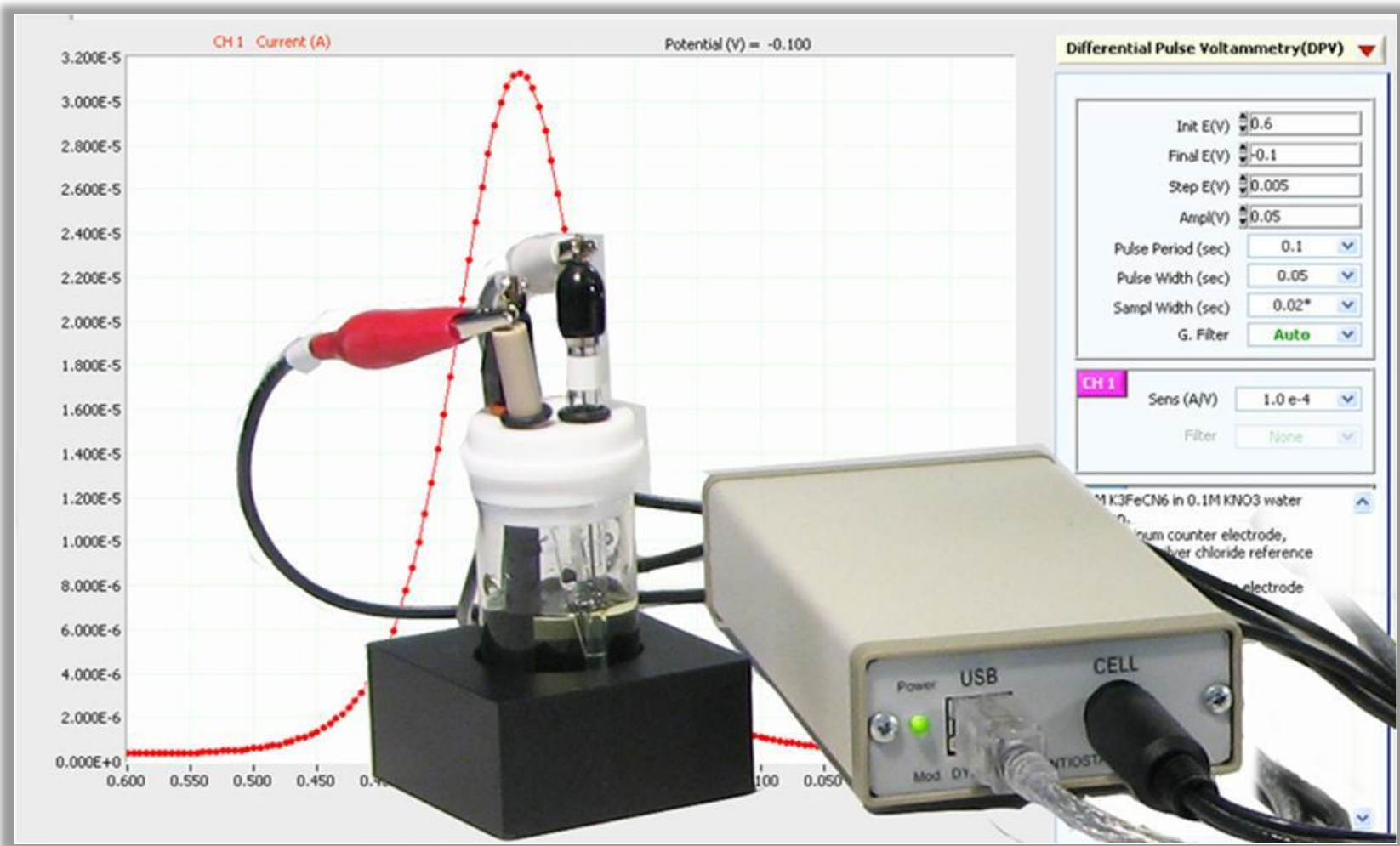
-**Βολταμμετρία**: **Μεταβολή δυναμικού** συναρτήσει του χρόνου και μέτρηση του ρεύματος για την **μη ποσοτική** οξείδωση ή αναγωγή της προσδιοριζόμενης ουσίας **A**.



Κυψελίδες

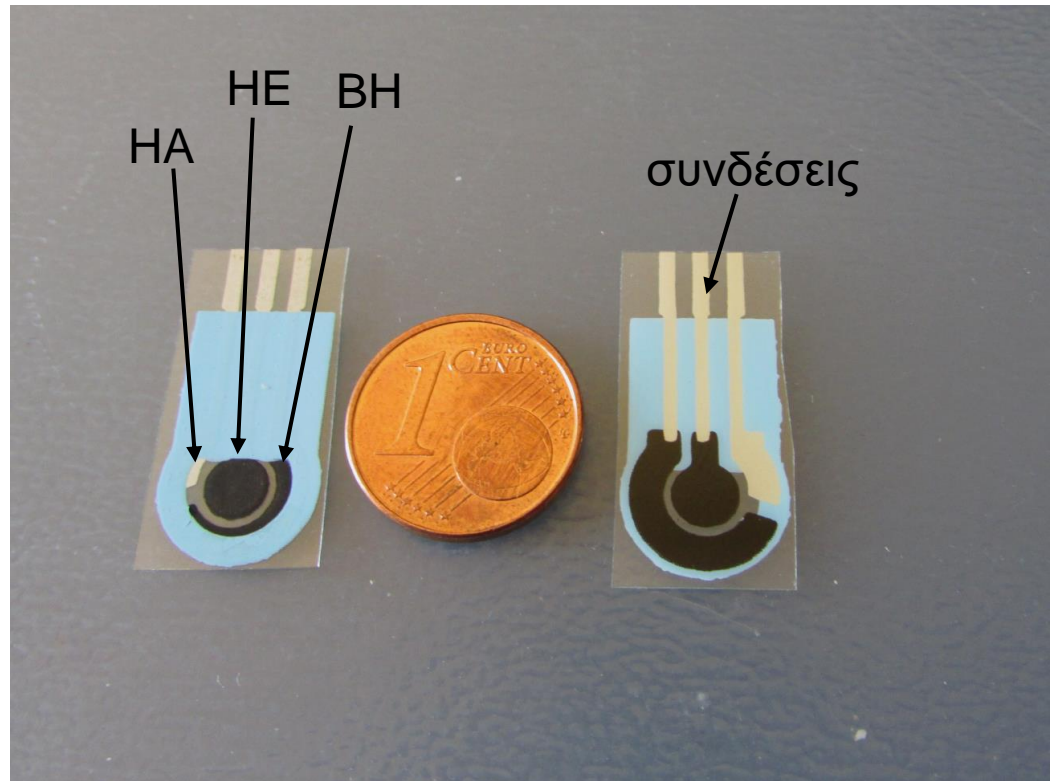


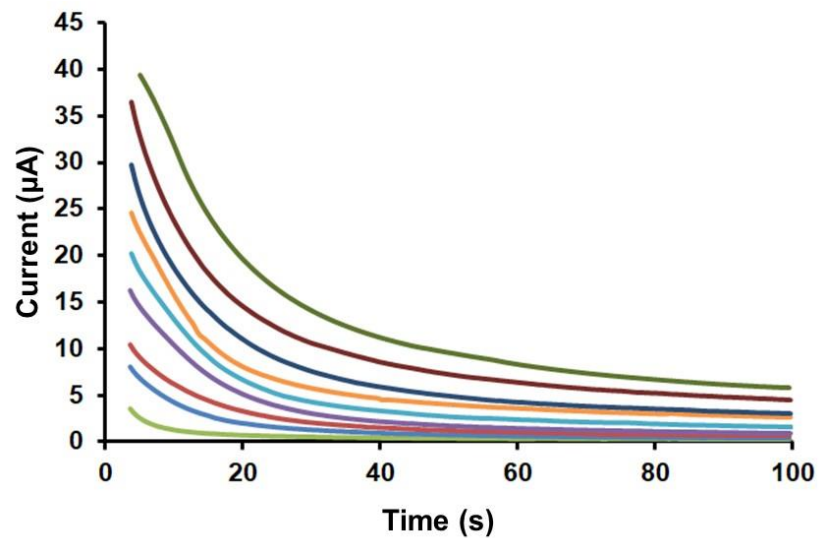
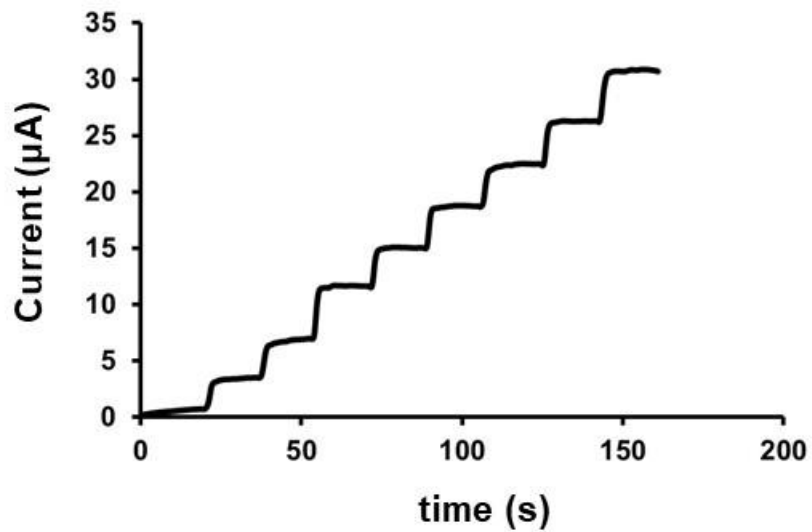
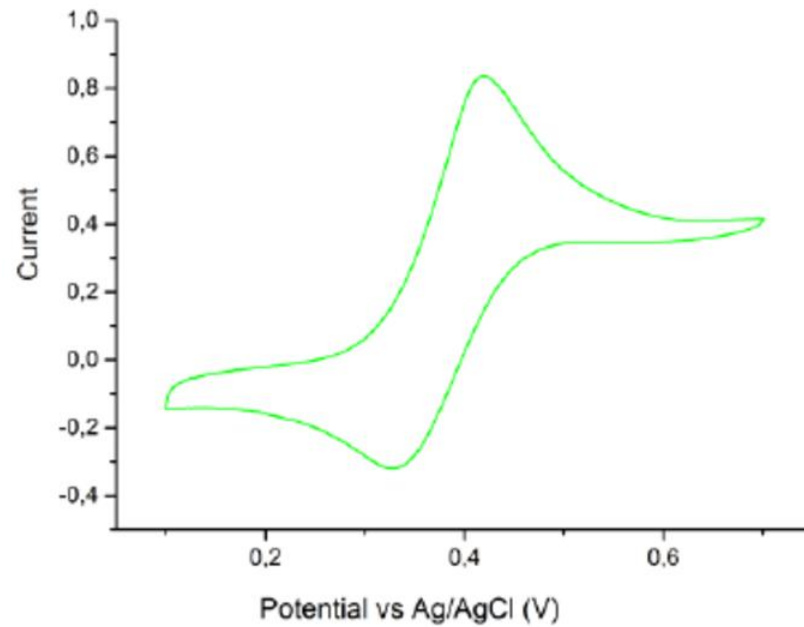
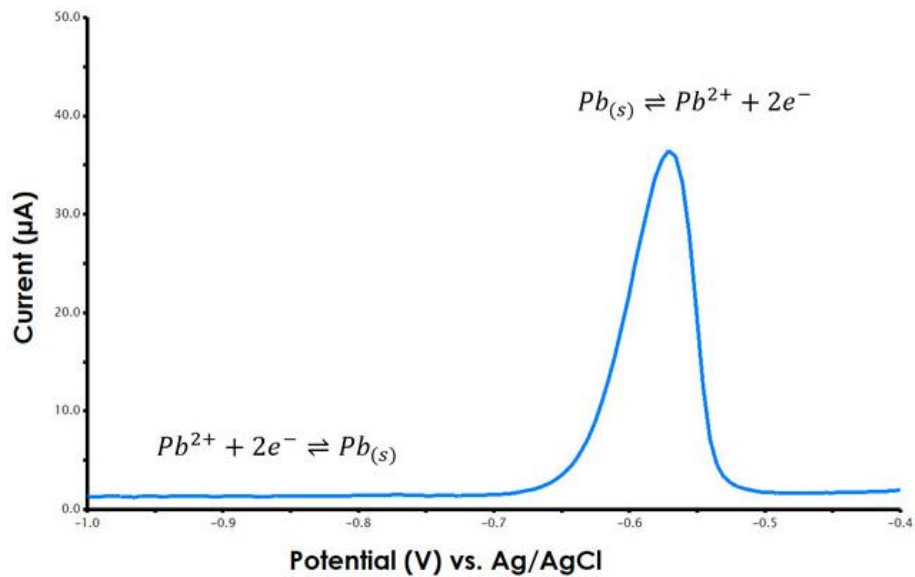
Ηλεκτρόδιο εργασίας του οποίου το δυναμικό ως προς το **ηλεκτρόδιο αναφοράς**, μεταβάλλεται (βολταμετρία) ή παραμένει σταθερό (αμπερομετρία) με τον χρόνο. Οι διαστάσεις είναι μικρές για ταχύτατη πόλωση. Στο ηλεκτρόδιο αναφοράς το δυναμικό παραμένει σταθερό σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Το **αντισταθμιστικό ηλεκτρόδιο** ή **αντιηλεκτρόδιο** ή **βοηθητικό**, το οποίο συνήθως είναι ένα απλό σπείραμα λευκοχρύσου ή μια επιφάνεια άνθρακα και εξυπηρετεί την αγωγή του ρεύματος από την πηγή σήματος μέσω του διαλύματος προς το ηλεκτρόδιο εργασίας



Ηλεκτρόδια Εργασίας

Τα ηλεκτρόδια εργασία είναι συχνά μικροί επίπεδοι δίσκοι αγωγιμού υλικού. Το αγωγιμο υλικό μπορεί να είναι ένα αδρανές μέταλλο, όπως λευκόχρυσος ή χρυσός, γραφίτης ή υαλώδης άνθρακας, μεταλλικά άλατα ή οξείδια αναμειγμένα με πάστα άνθρακα, όπως βισμούθιου, χαλκού, κασσιτέρου αντιμονίου, υδραργύρου.



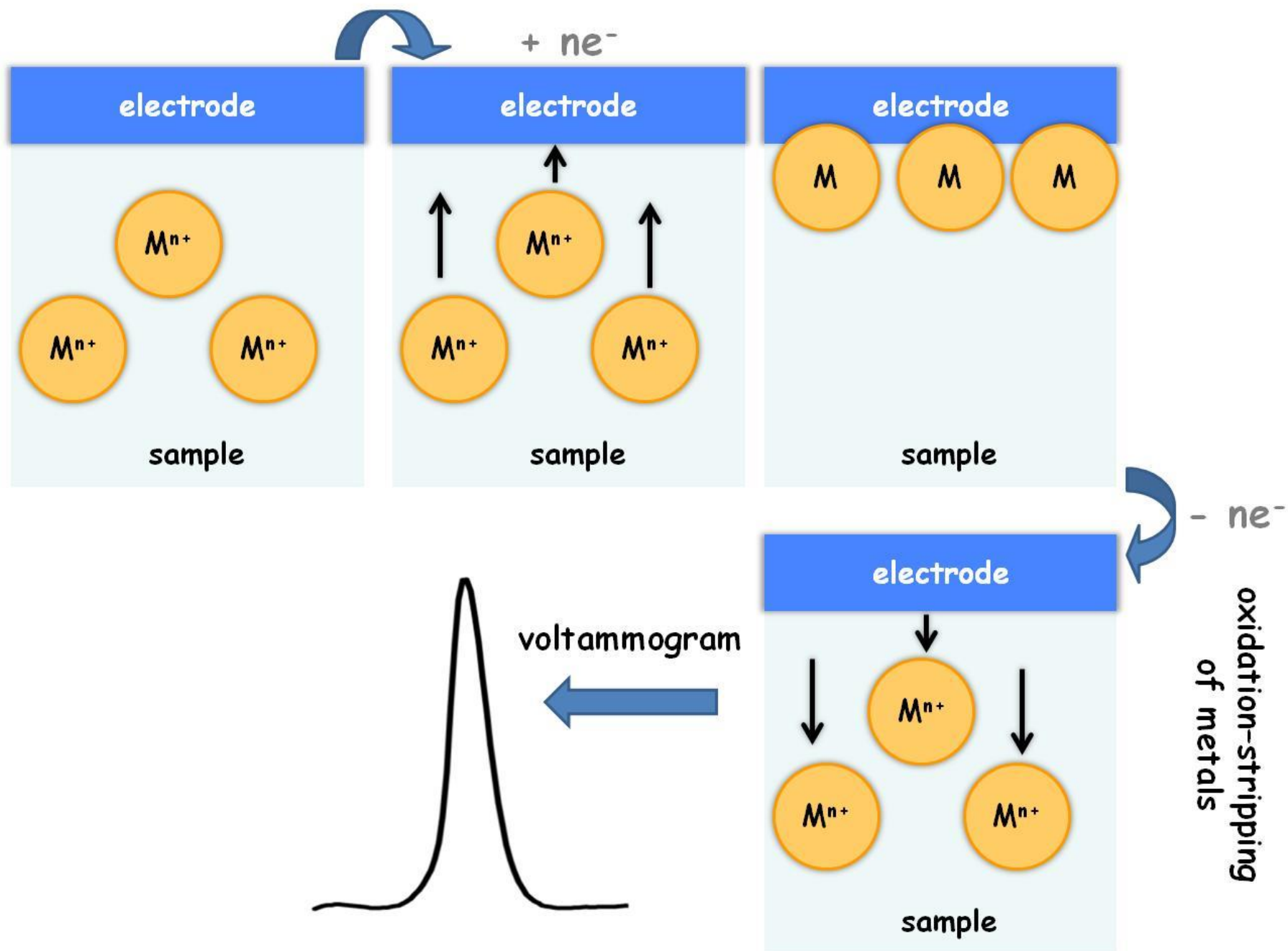


Αναδιαλυτική βολταμμετρία

Στην αναδιαλυτική βολταμμετρία χρησιμοποιούνται δύο στάδια:

- α) Το **στάδιο της προσυγκέντρωσης** (απόθεσης) της αναλυόμενης ουσίας από το διάλυμα του δείγματος επάνω στο ηλεκτρόδιο εργασίας. Μπορεί να θεωρηθεί ότι, κατά το στάδιο της προσυγκέντρωσης, το ηλεκτρόδιο «εμπλουτίζεται» με την αναλυόμενη ουσία
- β) Το στάδιο της **αναδιάλυσης** κατά το οποίο η προσυγκεντρωμένη ουσία ανάγεται ή οξειδώνεται με βολταμμετρική σάρωση

electrolytic preconcentration of metal cations



Κατασκευή Αισθητήρων

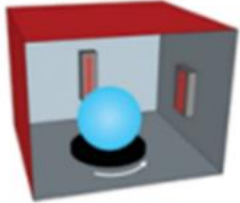
- 3D printing
- Screen printing
- Laser induced graphitization

3D-printing

Ψηφιακό τρισδιάστατο αντικείμενο



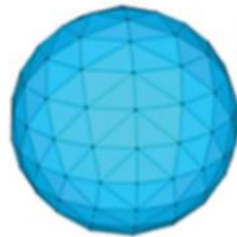
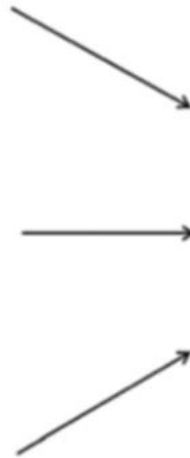
Σχεδίαση με λογισμικό CAD



Τρισδιάστατος σαρωτής

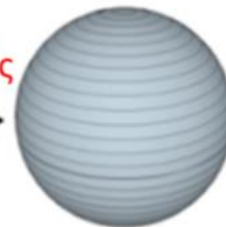


Λήψη φωτογραφιών



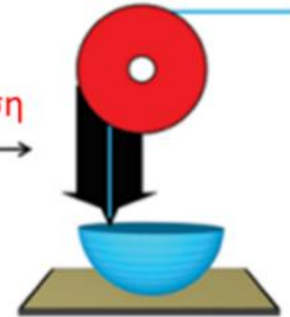
Αρχείο STL

Τεμαχισμός



Αρχείο G-code
(δισδιάστατες
στοιβάδες)

Εκτύπωση



4 βασικές κατηγορίες:

1. Μοντελοποίηση συντυγμένης εναπόθεσης

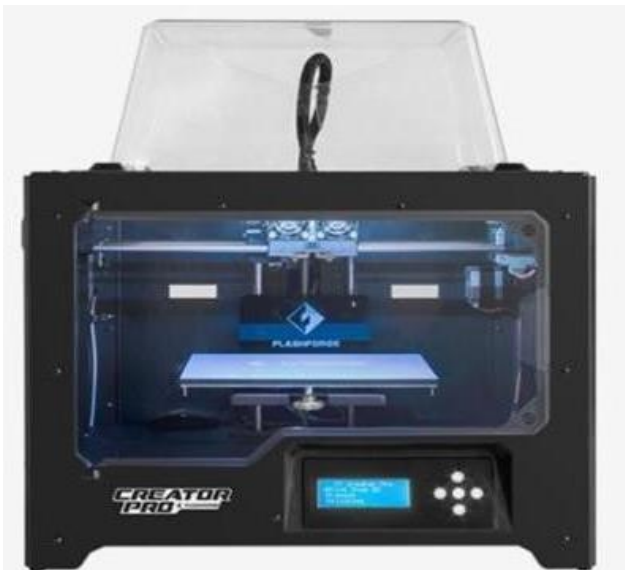
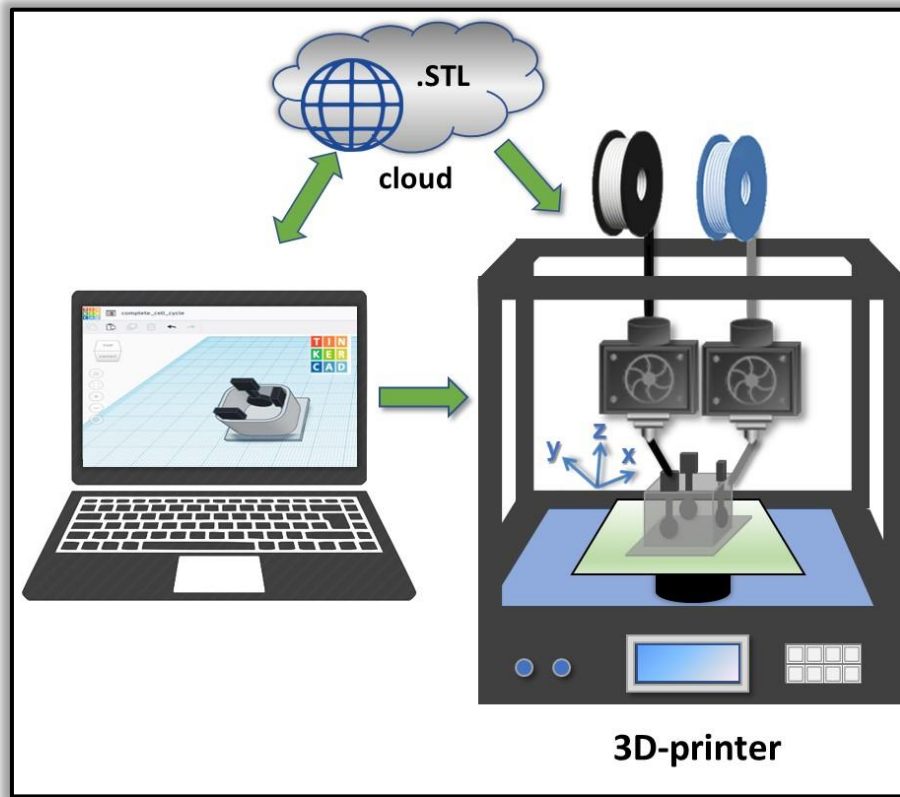
2. Φωτοπολυμερισμός

3. Κονιοποιημένη πρώτη ύλη

4. Πρώτη ύλη σε φύλλα

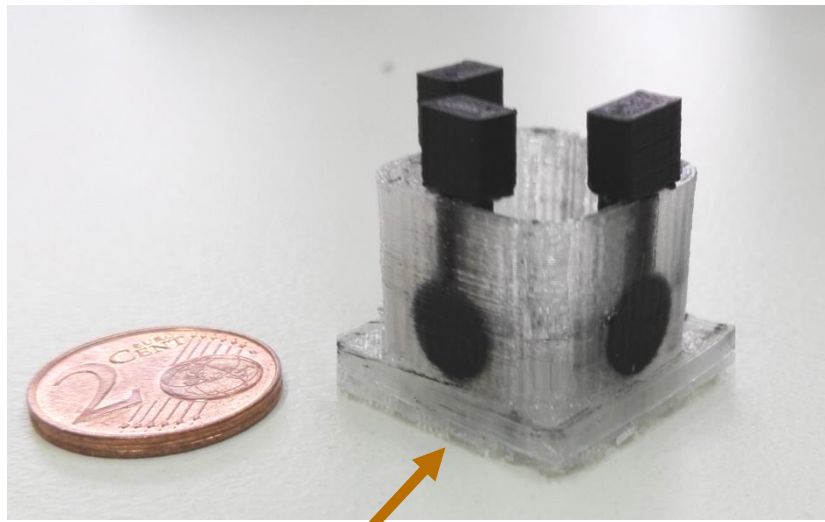
Μοντελοποίηση συντυγμένης εναπόθεσης (FDM)

- Δημιουργήθηκε από τον Scott Crump το 1989.
- Αρχή της διαδοχικής στρωματικής κατασκευής.
- Το υλικό τροφοδοτείται σε μορφή νήματος (filament) σε θερμαινόμενη κεφαλή όπου ρευστοποιείται και εξωθείται πάνω σε πλατφόρμα που έχει θερμοκρασία λίγο μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία ρευστοποίησής του, οπότε και στερεοποιείται στο προγραμματισμένο σχήμα.
- Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι
 - PLA (πολυγαλακτικό οξύ)
 - ABS (συμπολυμερές ακρυλονιτριλίου-βουταδιενίου-στυρενίου)
 - TPU (θερμοπλαστική Πολυουρεθάνη)
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα νημάτια με διαφορετικές ιδιότητες χρησιμοποιώντας εκτυπωτές πολλαπλών κεφαλών.



Πλεονεκτήματα αισθητήρων φτιαγμένων με FDM

- Ο εξοπλισμός είναι μικρός σε μέγεθος και απλός στη χρήση του.
- Μπορούν να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν αισθητήρες σε διάφορα μεγέθη και σχήματα.
- Η κατασκευή τους βασίζεται σε ανοιχτού κώδικα λογισμικού και δεν είναι χρονοβόρα.
- Η δημιουργία πολλών ομοιόμορφων αντιγράφων γίνεται με μεγάλη ακρίβεια.
- Το λειτουργικό κόστος, καθώς και το κόστος των υλικών είναι πολύ χαμηλό.
- Μπορούν να κατασκευαστούν αισθητήρες χρησιμοποιώντας μεγάλη ποικιλία αγώγιμων νημάτων.
- Οι αισθητήρες που κατασκευάζονται είναι φιλικό προς το περιβάλλον, καθώς δεν χρησιμοποιούνται χημικά και δεν παράγονται απόβλητα
- Παρέχεται η δυνατότητα κατασκευής, σε ένα στάδιο, ηλεκτροχημικών διατάξεων κατασκευασμένων από διαφορετικά υλικά, με τη χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή με πολλαπλές κεφαλές.
- e-transferable αισθητήρες (το σχέδιο στέλνεται με email και εκτυπώνεται οπουδήποτε υπάρχει 3D εκτυπωτής, πχ. σε πλοίο, στην κορυφή βουνού, στην παραλία, σπίτι)



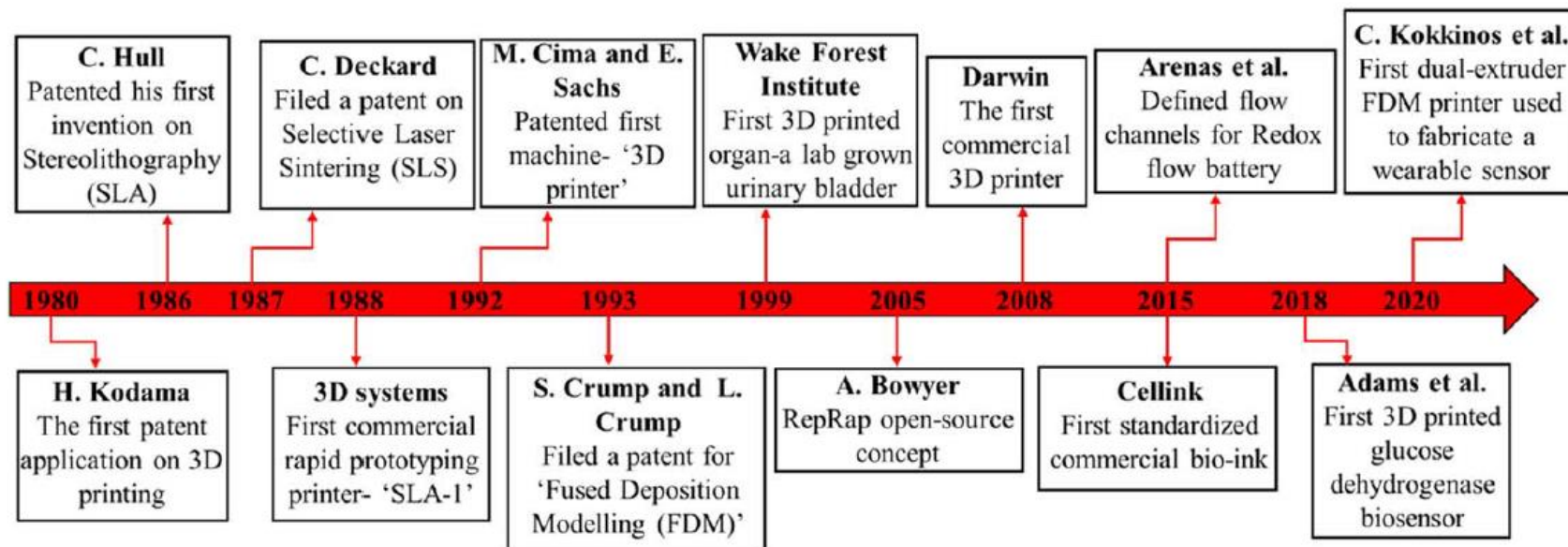
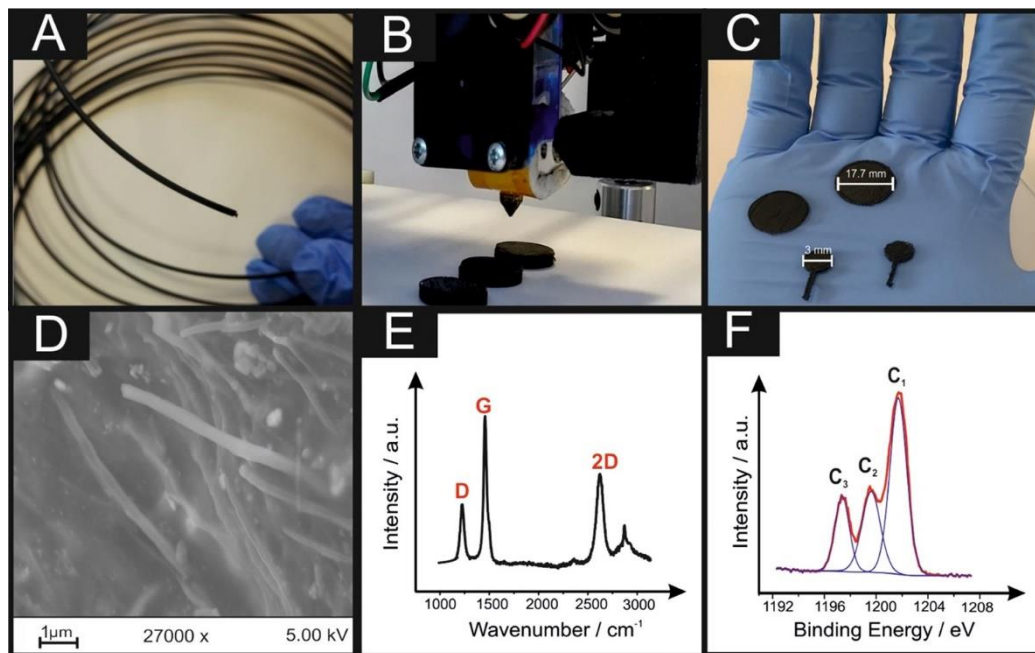
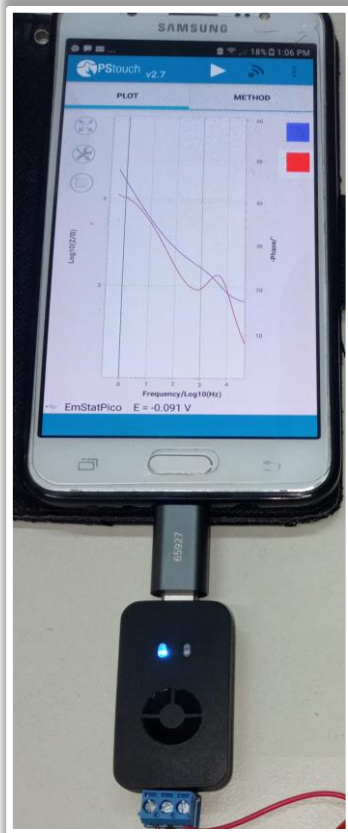
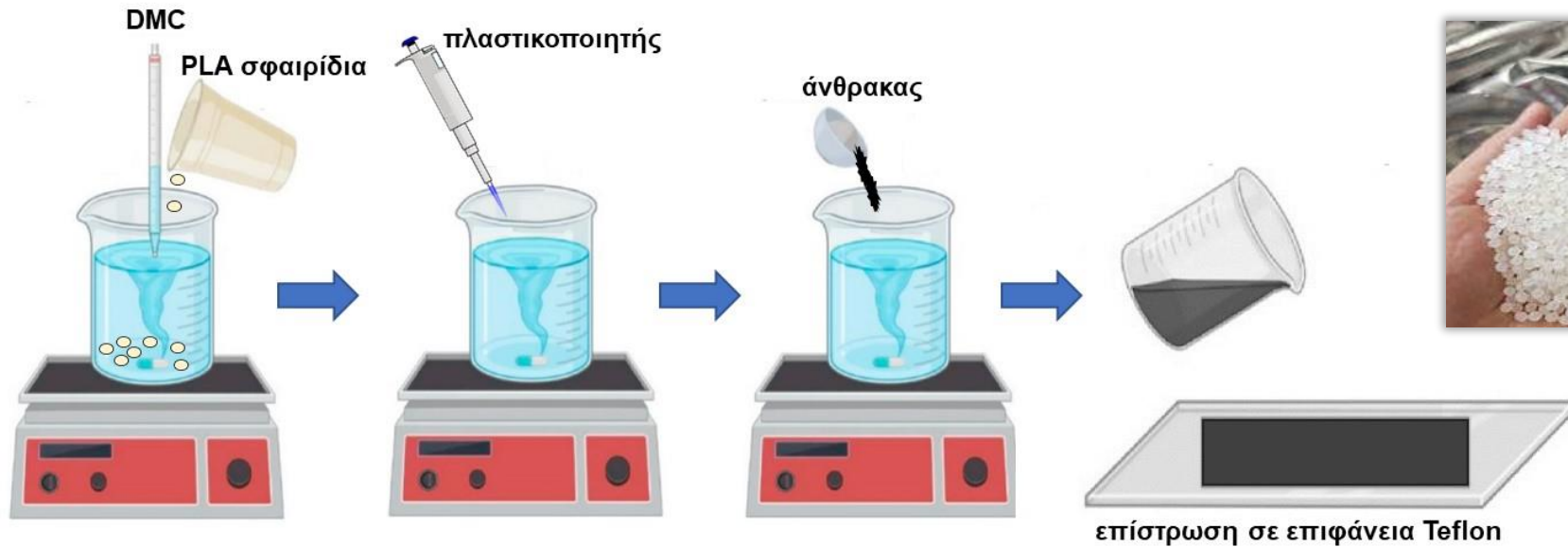


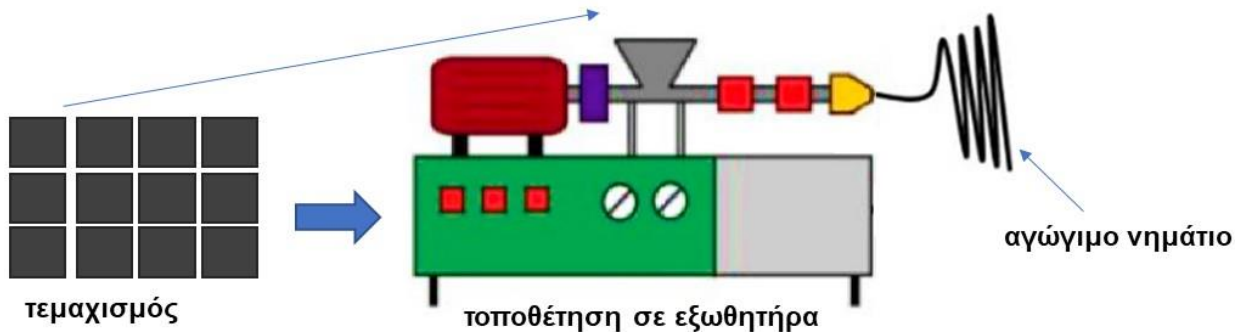
Figure 1. Timeline illustrating some of the important milestones relating to 3D printing technology and its application in the fabrication of sensors.



Σύνθεση ιδιοκατασκευασμένου filament



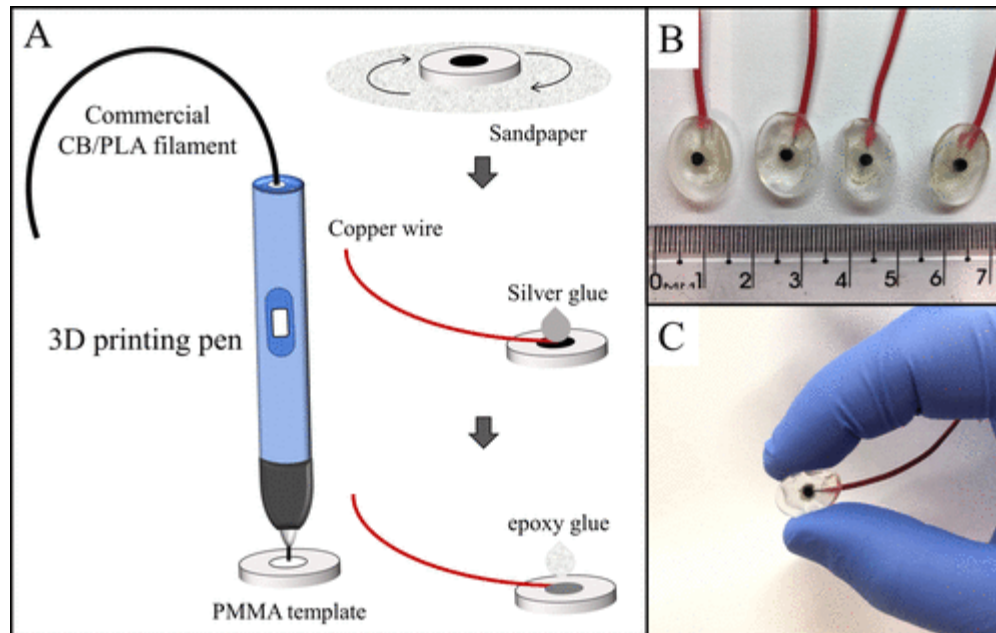
PLA σφαιρίδια



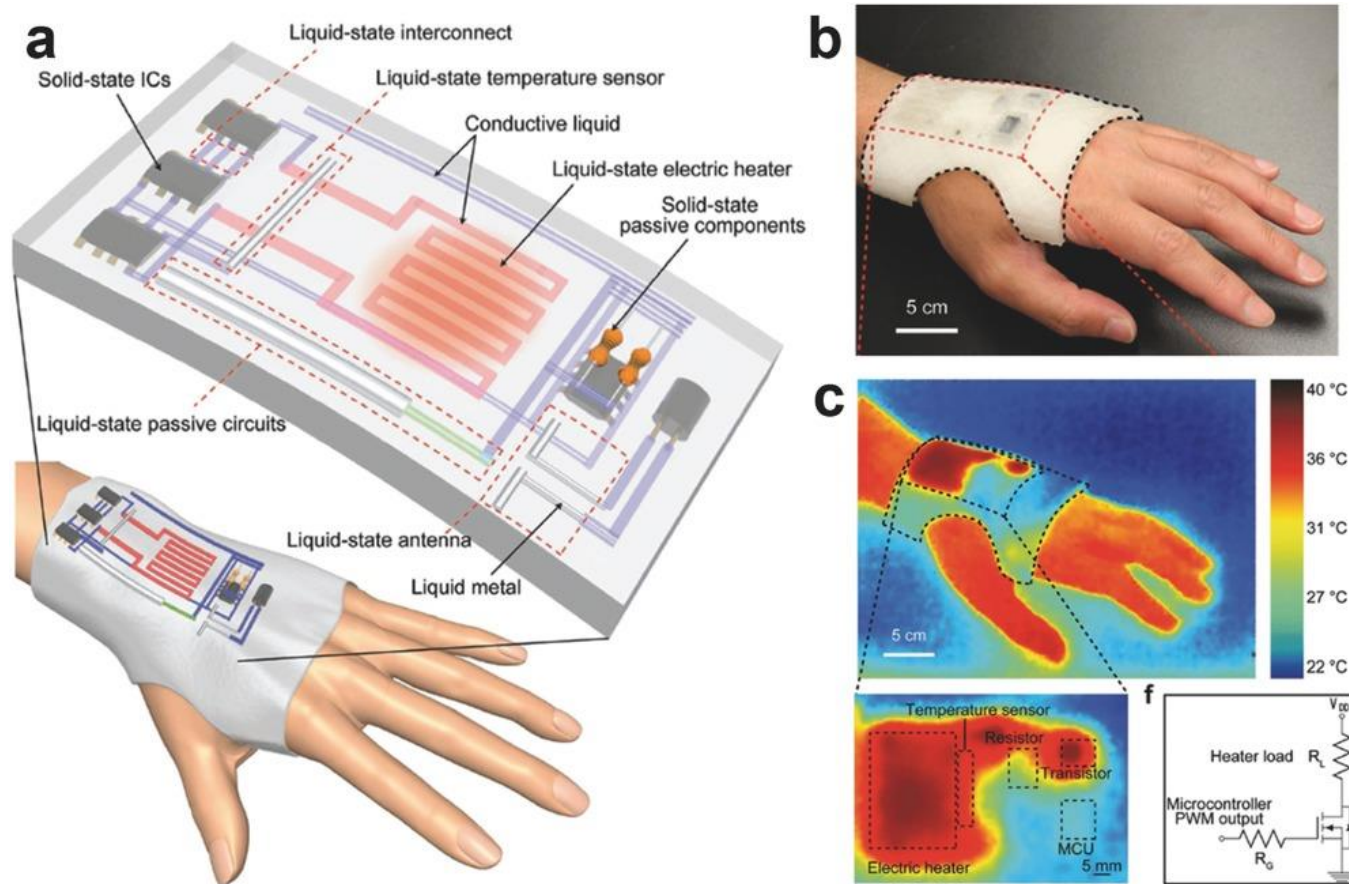
Αγωγή filament



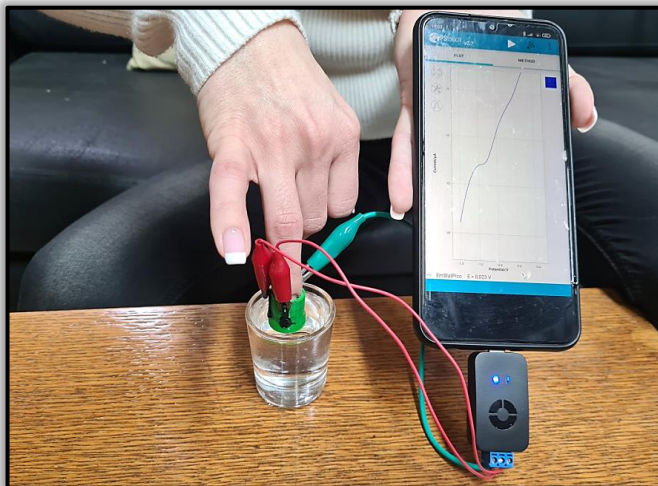
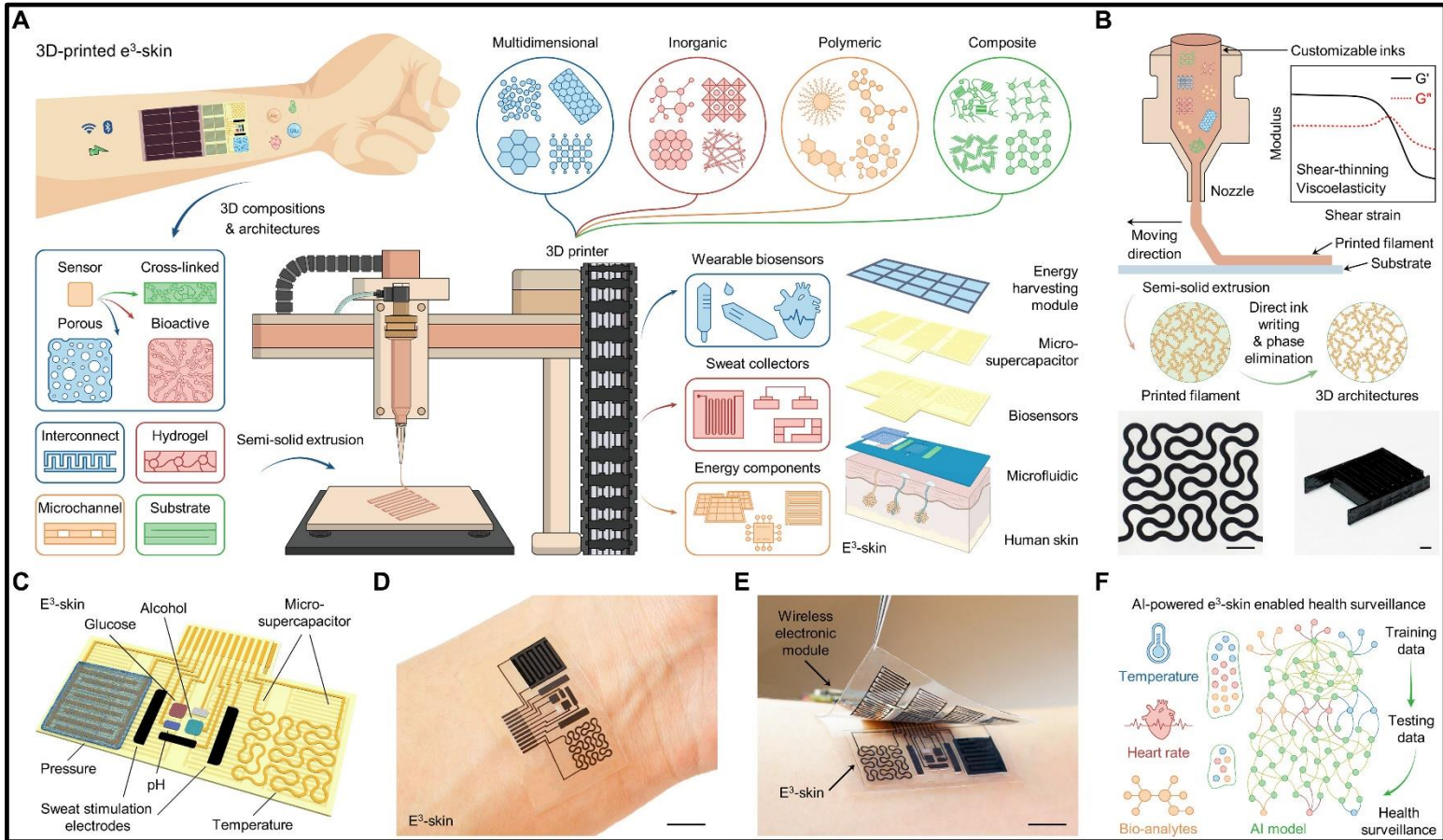
3D printed αισθητήρες με στηλό



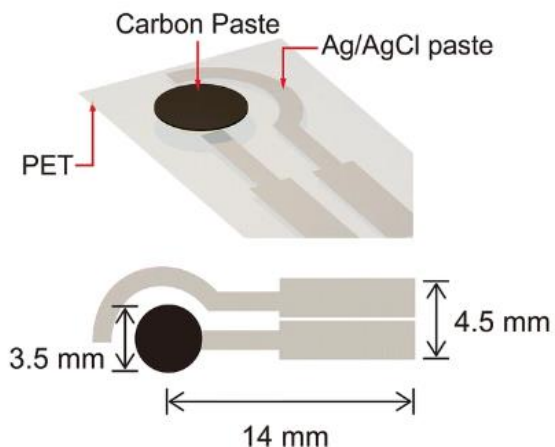
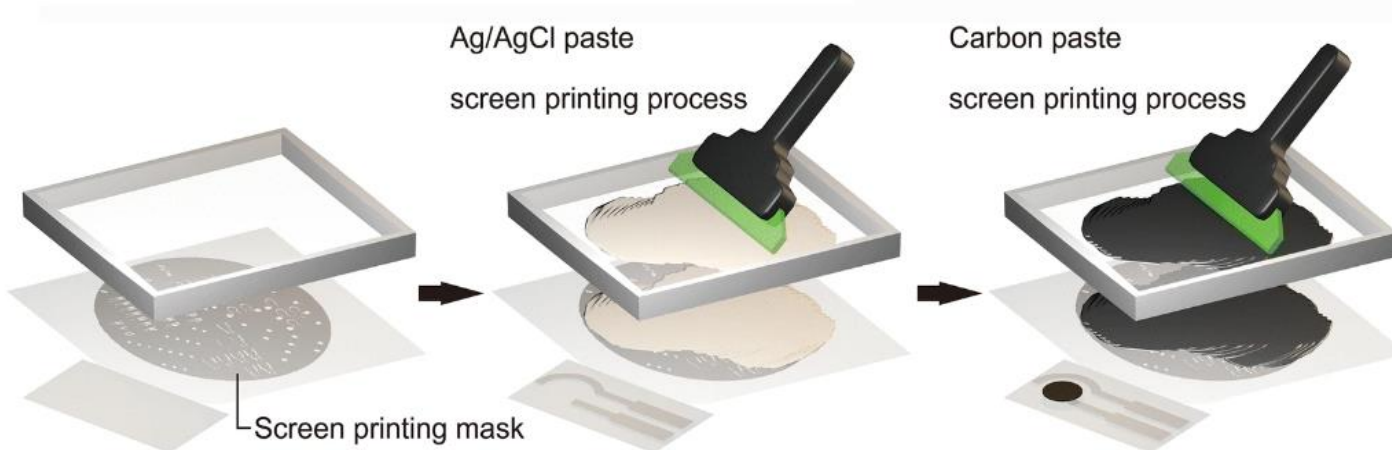
Φορητοί- εύκαμπτοι 3D printed αισθητήρες



- Η χρήση εύκαμπτων πολυμερικών υλικών (όπως TPU) επιτρέπει την κατασκευή φορητών αισθητήρων



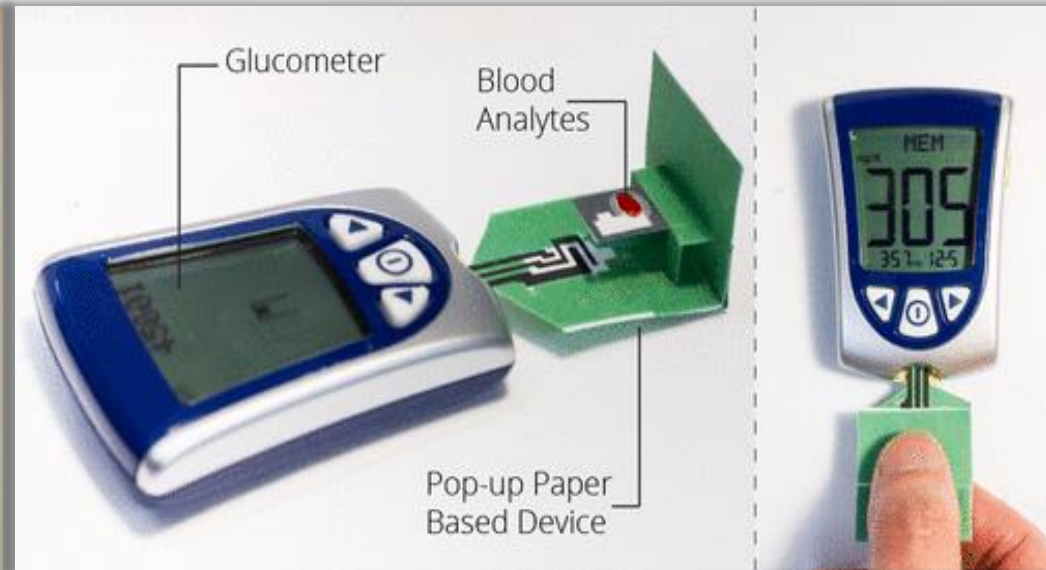
Screen -printing (εκτύπωση μέσω πλέγματος)



Η εκτύπωση βασίζεται στην απόθεση αγώγιμου υλικού πάνω σε ένα μη αγώγιμο υπόστρωμα. Το αγώγιμο υλικό εκτύπωσης (συνήθως μελάνι γραφίτη), κινούμενο υπό πίεση με τη βοήθεια ελαστικού σαρώθρου μέσω ενός πλέγματος- εκμαγείου (screen), εκτυπώνεται στο υλικό στήριξης (υπόστρωμα)

Πλεονεκτήματα screen-printed αισθητήρων

- Μπορούν να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν αισθητήρες σε διάφορα μεγέθη και σχήματα.
- Μαζική παραγωγή αισθητήρων.
- Χρησιμοποιούνται διάφορα υποστρώματα. Τελευταία χρησιμοποιούνται υποστρώματα χάρτου! Το χαρτί είναι φθινό υδρόφιλο υλικό που χάρη στα τριχοειδή φαινόμενα του τα αντιδραστήρια κινούνται μόνα τους χωρίς να απαιτείται πρόσθετη οργανολογία (π.χ. εξωτερικές μηχανικές αντλίες).



Μόνωση χάρτου και δημιουργία καναλιών με εκτύπωση ΚΕΡΙΟΥ

Pattern Designing



Wax Printed Paper



Wax reflow



Grade. 1 Filter paper

χαρτί



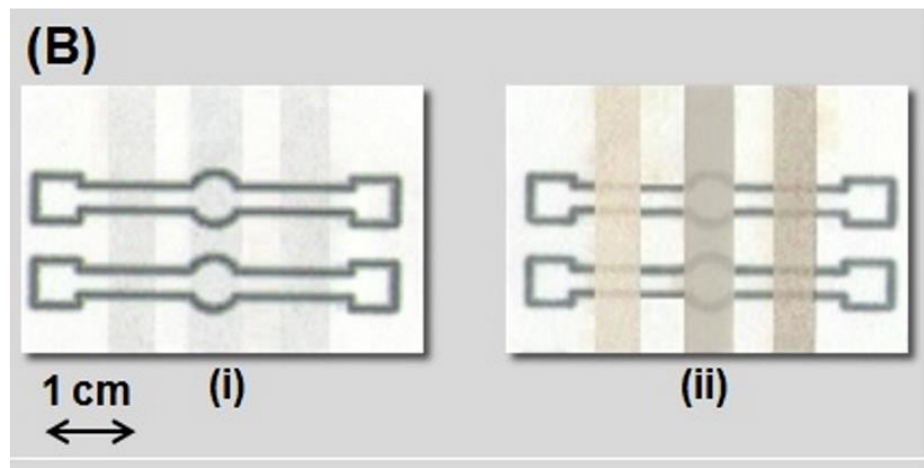
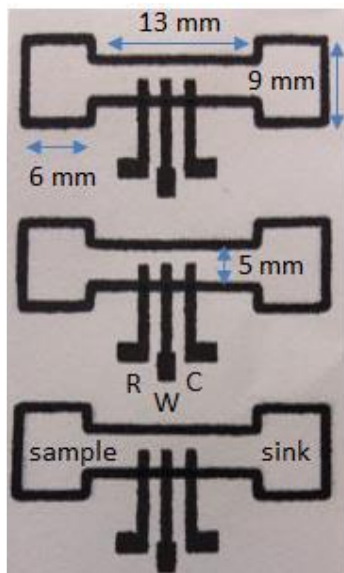
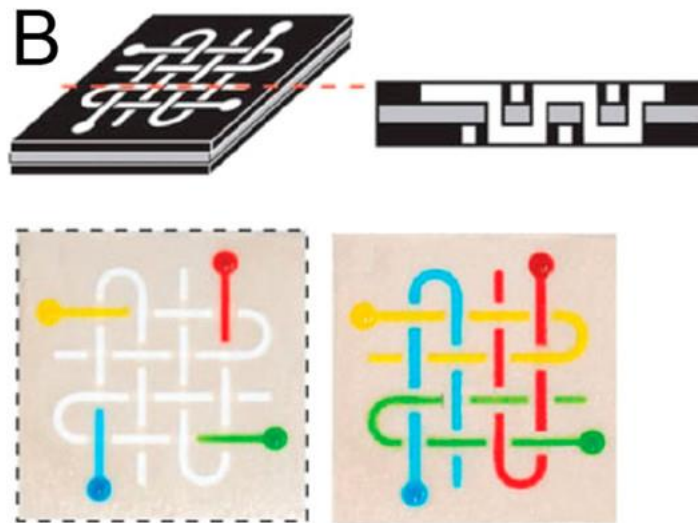
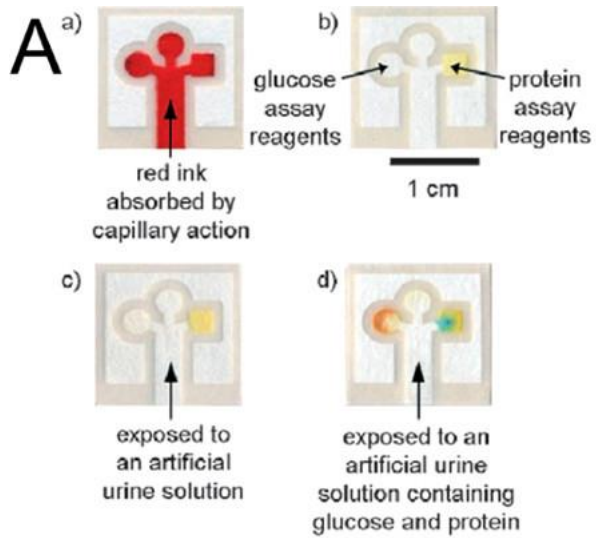
κερί

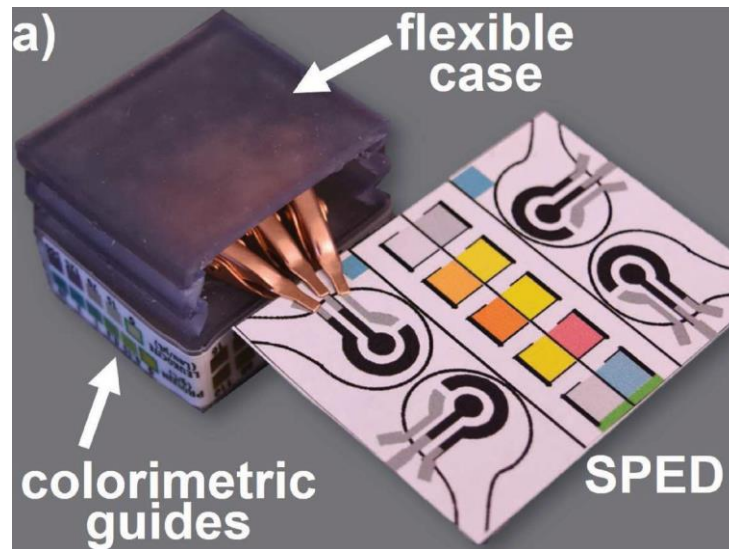
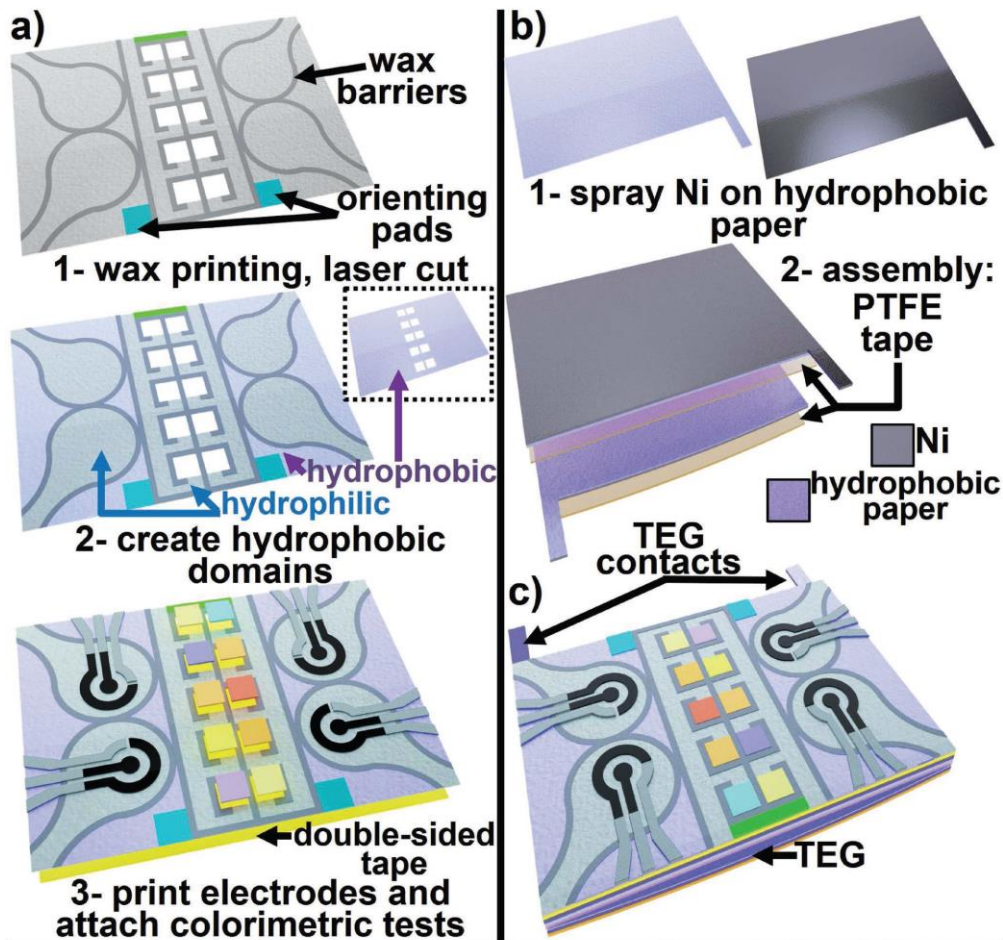


θέρμανση

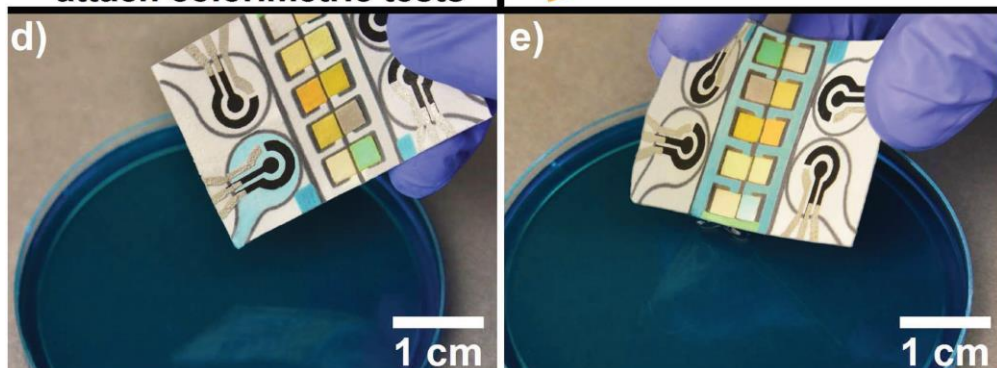


Κερί εκτυπώνεται σε επιφάνεια χάρτου και στη συνέχεια μέσω θέρμανσης το κερί «λιώνει» και διαπερνά το χαρτί και μονώνει την επιφάνεια σε βάθος

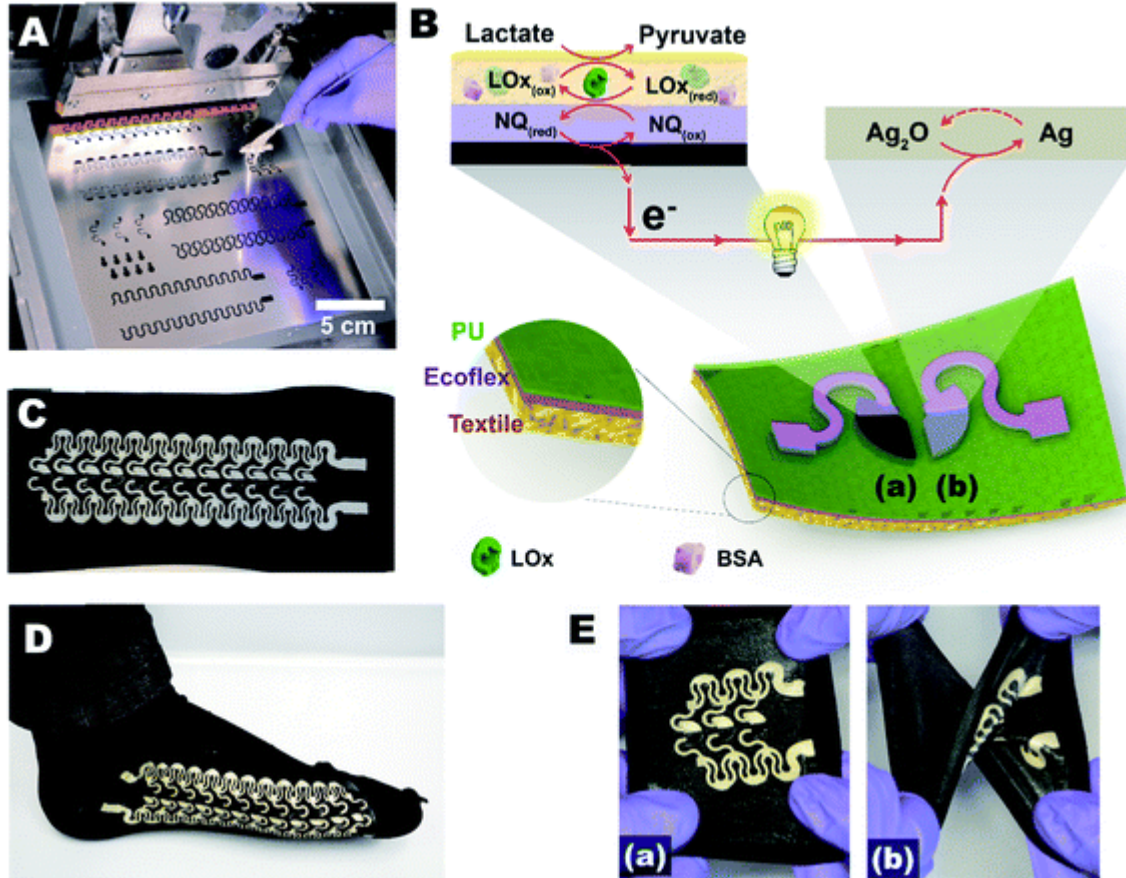




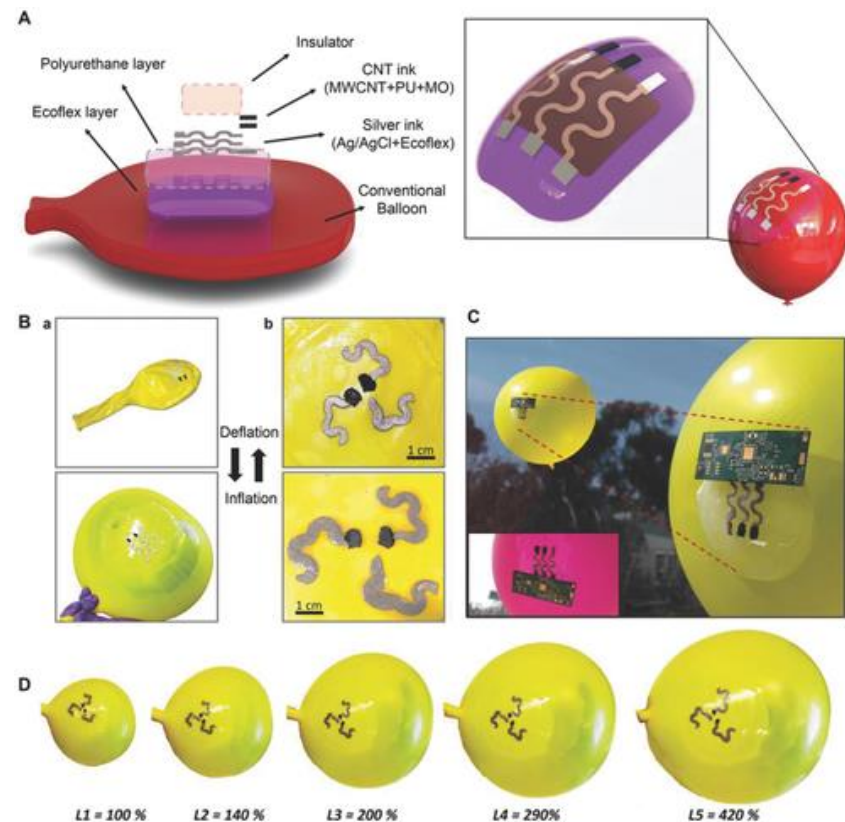
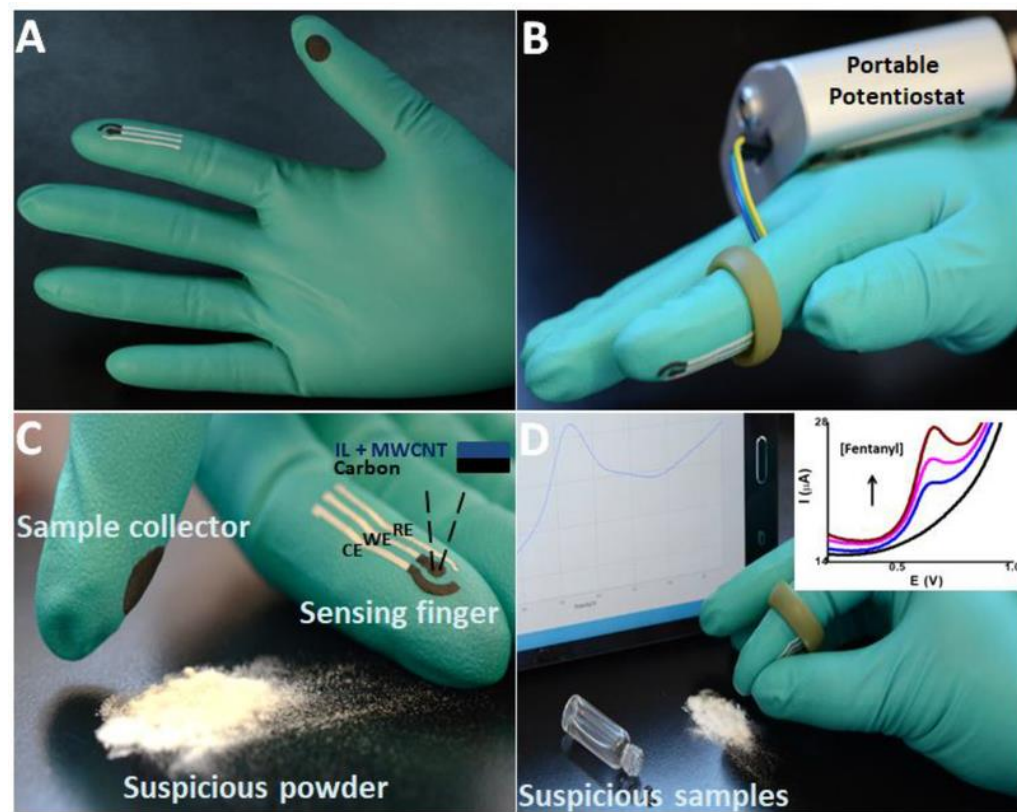
colorimetric analysis for leukocyte, nitrite, urobilinogen, protein, pH, hemoglobin, ketone, bilirubin



Φορητοί- εύκαμπτοι screen-printed αισθητήρες



Ανίχνευση βιοδεικτών όπως
γλυκόζης, γαλακτικού οξέως
κ.α.



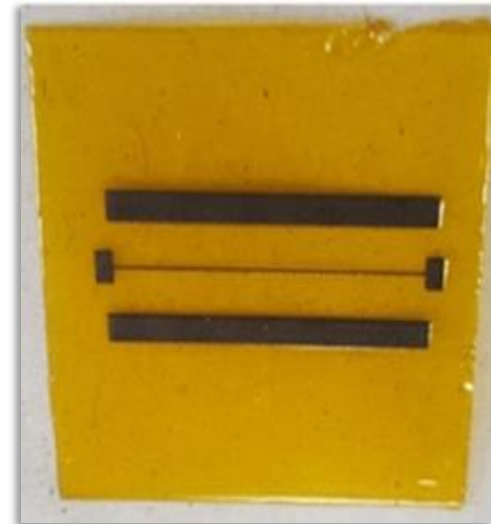
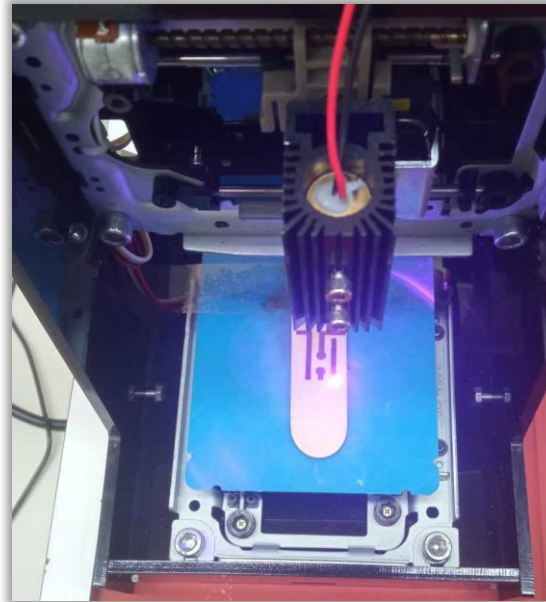
Η ύποπτη σκόνη συλλέγεται από τον αντίχειρα (C) και στη συνέχεια ο δείκτης που φέρει τα ηλεκτρόδια ενώνεται με τον αντίχειρα (D). Τα 3 ηλεκτρόδια είναι καλυμμένα με **στερεό ηλεκτρολύτη** (200 μL of 1 wt % agarose gel). Προσδιορισμός φαιντανύλης (fentanyl) που είναι συνθετικό οπιοειδές

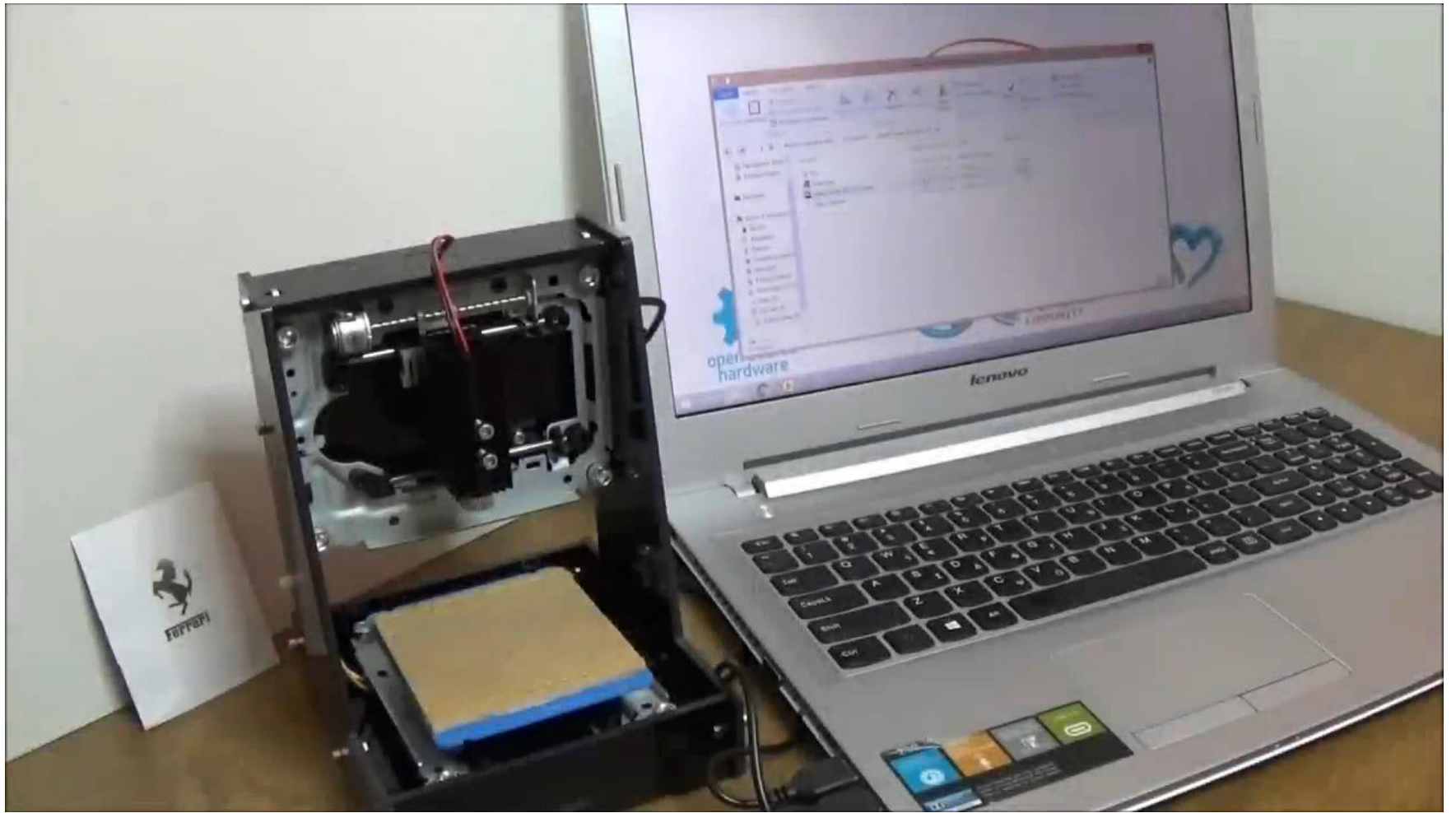
Ανίχνευση εκρηκτικών (όπως DNT) στον αέρα. Χρήση **στερεού ηλεκτρολύτη** όπως γέλη αγαρόζης

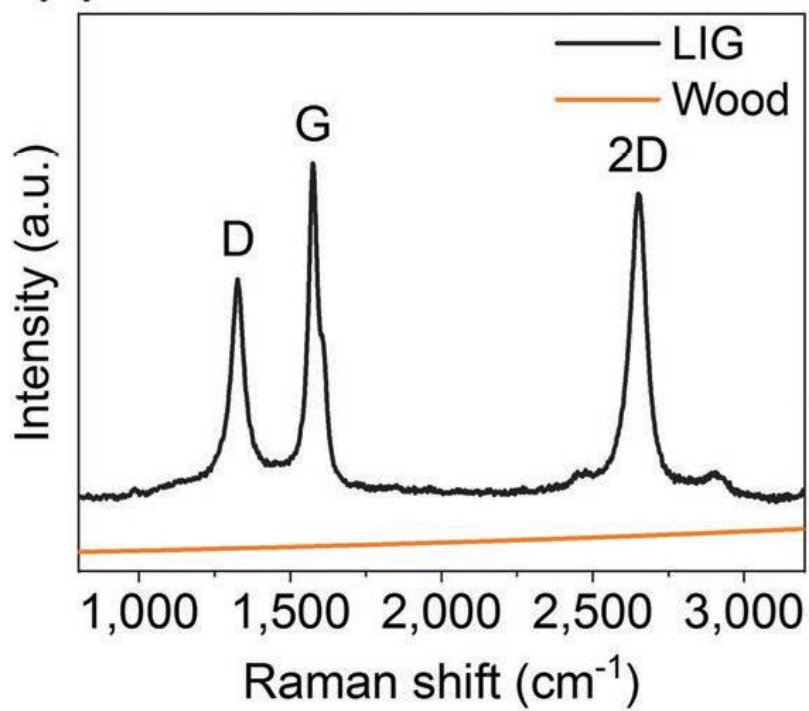
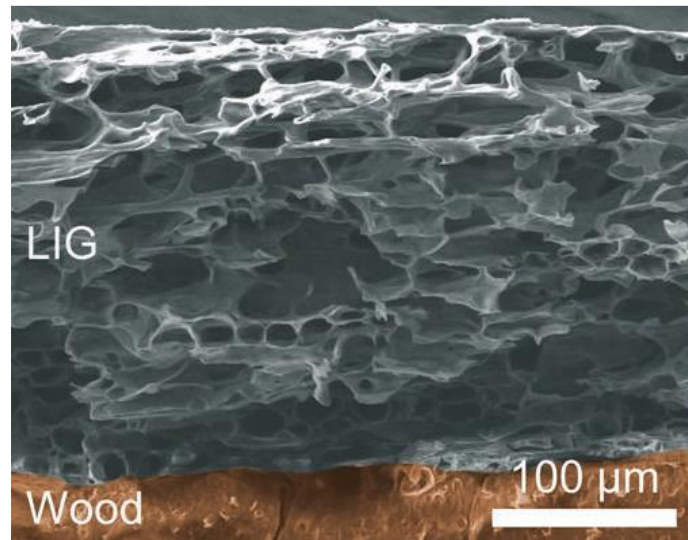
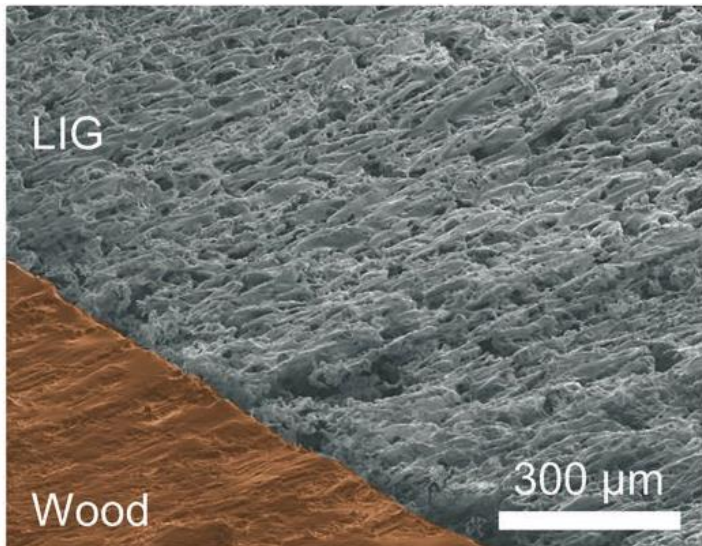
Γραφίτοποίηση με laser

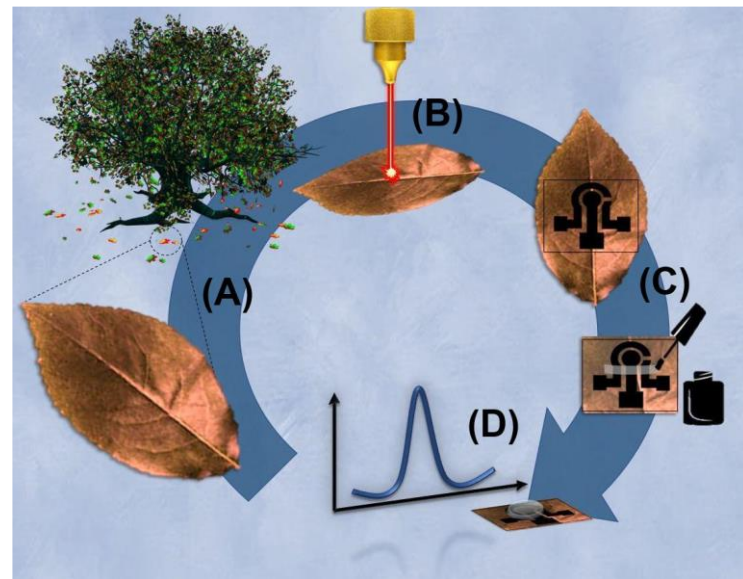
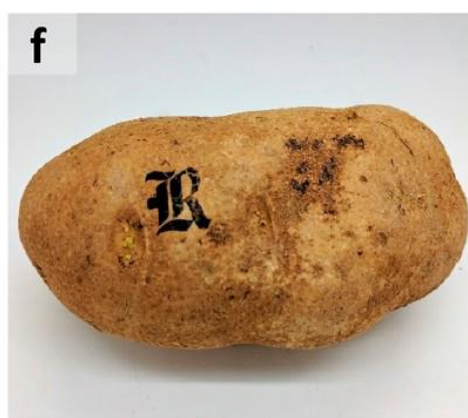
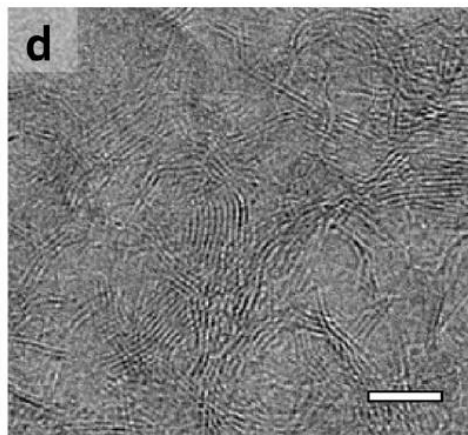
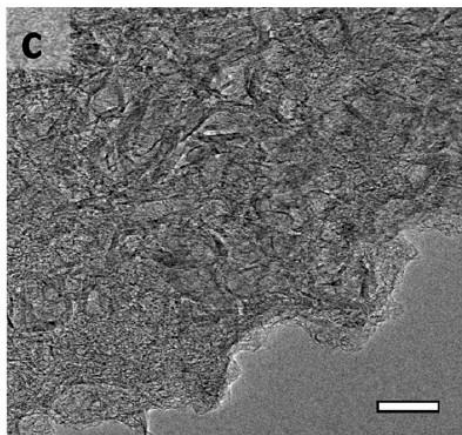
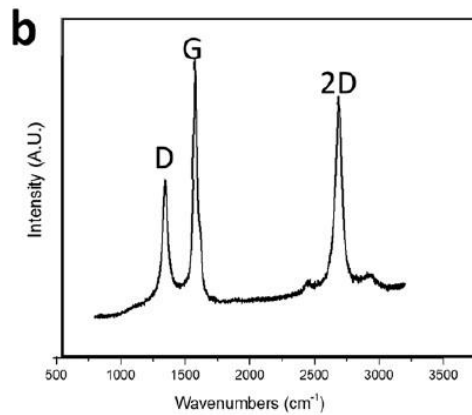
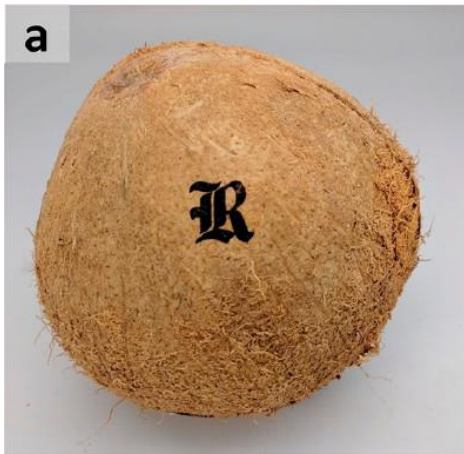
Υπόστρωμα από χαρτί, ξύλο, πολυιμίδιο ακτινοβολείται με laser (υψηλής ισχύος -CO_2 ή χαμηλής ισχύος διοδικό) και απανθρακώνεται «καίγεται» οπότε μετατρέπεται σε γραφίτη (γραφένιο)

Όταν χρησιμοποιείται laser υψηλής ισχύος, πρέπει να χρησιμοποιούνται επιβραδυντικά καύσεις (Βορικό οξύ), ή και αδρανείς ατμόσφαιρα (π.χ. Ar), για να μην προκληθεί φωτιά. Με χαμηλής ισχύος δεν χρειάζονται ειδικές συνθήκες.

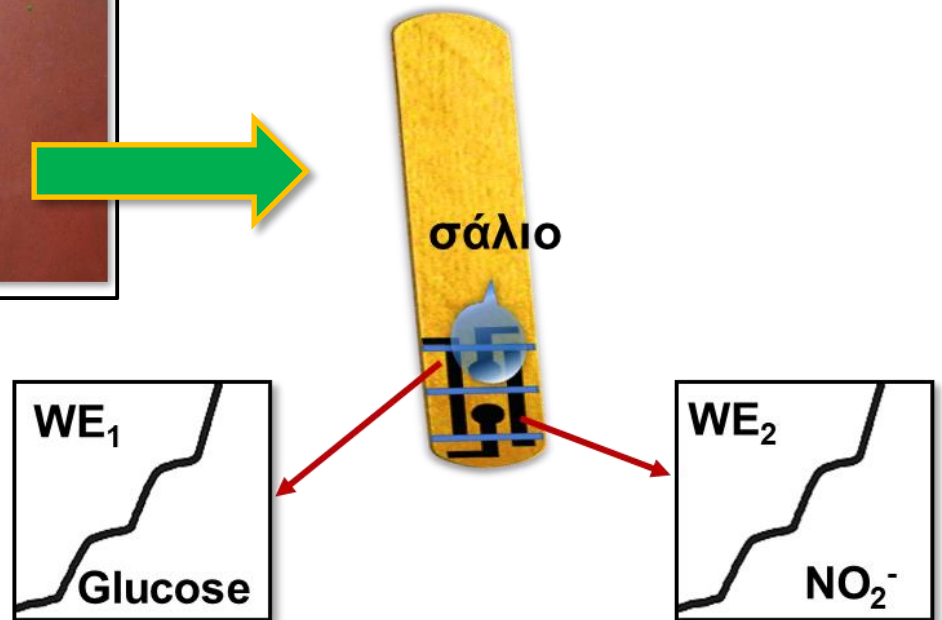
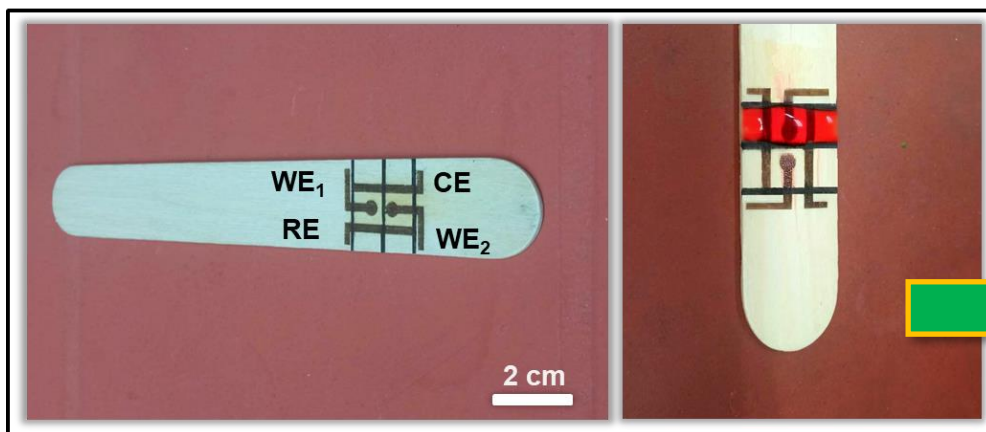
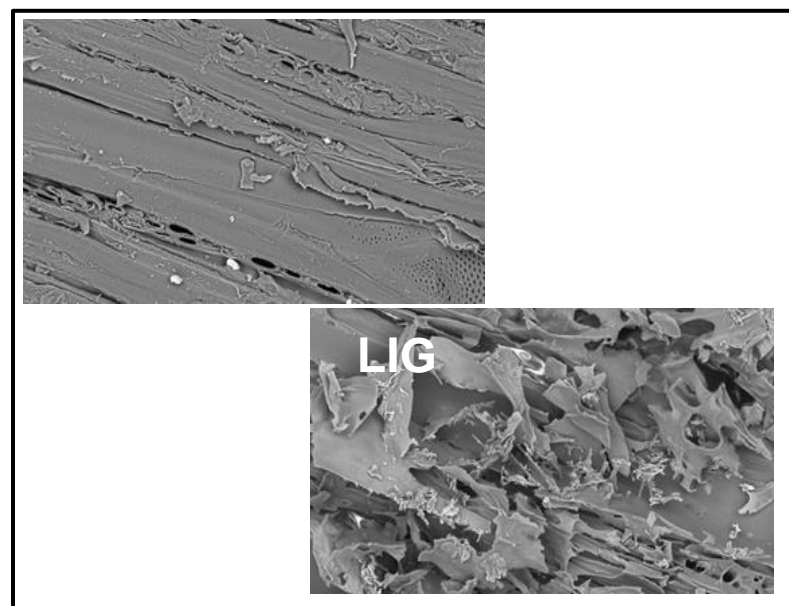
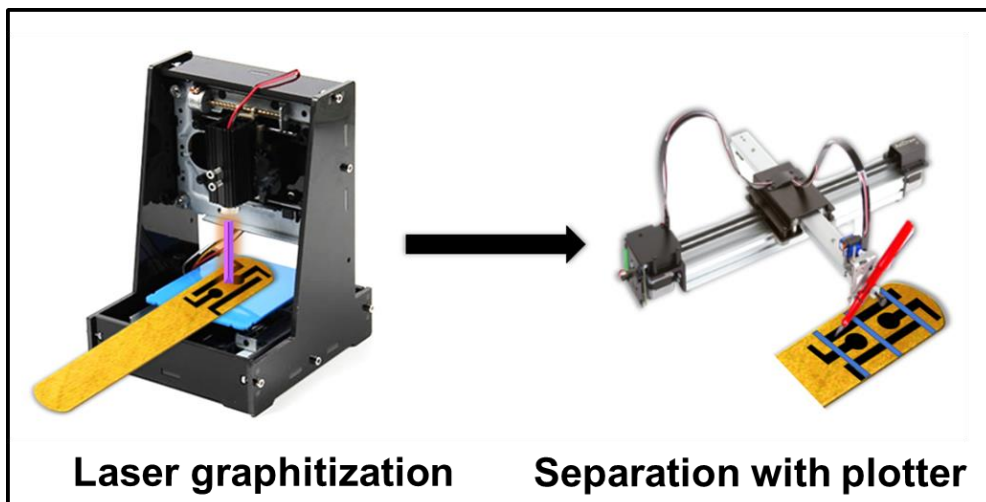








Γλωσσοπίεστρο για προσδιορισμό βιοδεικτών στο σάλιο



Βιοαισθητήρες

- ορισμός, αναγκαιότητα
- αρχή λειτουργίας
- ηλεκτροχημικοί βιοαισθητήρες
 - ενζυματικοί
 - γλυκόζης
 - Φορετοί
 - Ανοσοαισθητήρες και βιοαισθητήρες DNA

Ορισμός βιοαισθητήρα

-Βιοαισθητήρας είναι μια διάταξη που χρησιμοποιεί εκλεκτικές χημικές αντιδράσεις που βασίζονται στην χρήση ενζύμων, αντισωμάτων, ιστών ή κυττάρων για να ανιχνεύσουν χημικές ουσίες, συνήθως μέσω ηλεκτρικών, θερμικών ή οπτικών διεργασιών (IUPAC, 1992)

-Ως βιοαισθητήρας ορίζεται μια διατάξη που είναι ικανή να παρέχει εκλεκτικές ποιοτικές ή ημι-ποσοτικές αναλυτικές πληροφορίες χρησιμοποιώντας ένα βιολογικό στοιχείο αναγνώρισης (IUPAC, 2001)

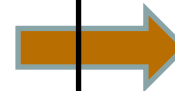
- Βιοαισθητήρας είναι μια αναλυτική διάταξη
- Κάνει χρήση ενός βιολογικού στοιχείου αναγνώρισης
- Το βιολογικό στοιχείο αναγνώρισης αλληλεπιδρά εκλεκτικά με τον αναλύτη
- Συνέπεια της αλληλεπίδρασης είναι η μεταβολή κάποιας χημικής ή φυσικής παραμέτρου
- Η μεταβολή αυτή μετατρέπεται από ένα μεταλλάκτη σε μετρήσιμο σήμα
- Γίνεται συσχέτιση της τιμής του σήματος με την περιεκτικότητα του αναλύτη στο δείγμα

Η ανάγκη για την ανάπτυξη των βιοαισθητήρων

- Παραδοσιακά οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιούνταν με
 - κατάλληλη δειγματοληψία
 - μεταφορά του δείγματος στο εργαστήριο
 - προκατεργασία του δείγματος
 - χημική ανάλυση
 - έκδοση αποτελέσματος
- Αργή, επίπονη και ακριβή διαδικασία
- Ακριβός εξοπλισμός και εξειδικευμένο προσωπικό
- Τα τελευταία χρόνια υπάρχει τάση αντικατάστασης αυτού του μοντέλου με μετρήσεις στο πεδίο, στο σπίτι ή στο σημείο φροντίδας.



- Απαιτούνται μετρητικές διατάξεις
 - χαμηλού κόστους
 - μικρού μεγέθους
 - ικανοποιητική εκλεκτικότητα και ευαισθησία
 - χωρίς προκατεργασία
 - δυνατότητα μαζικής παραγωγής
 - άμεση έκδοση αποτελέσματος

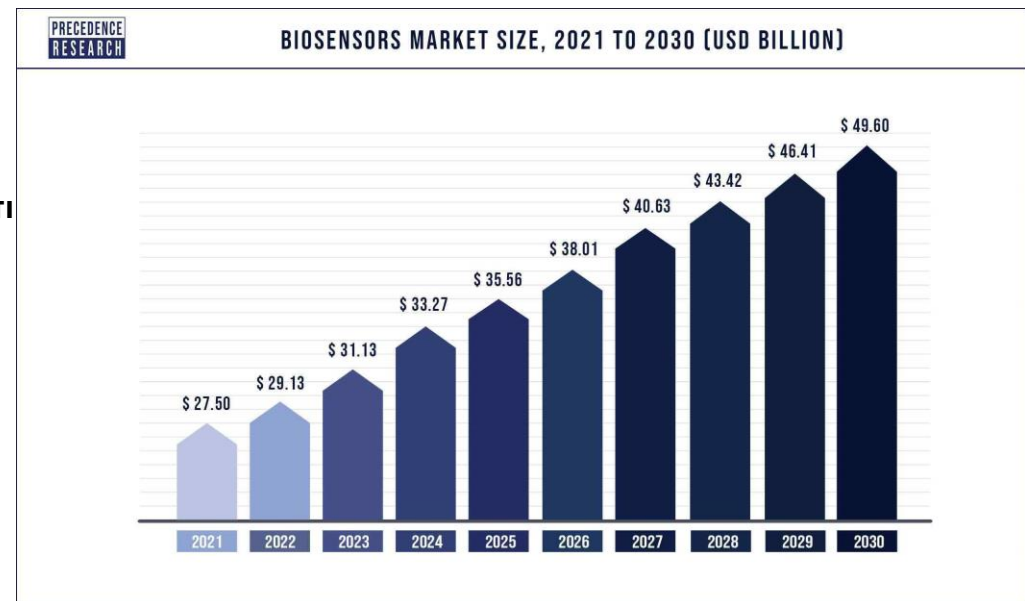


Βιοαισθητήρες

Η οικονομική διάσταση των βιοαισθητήρων

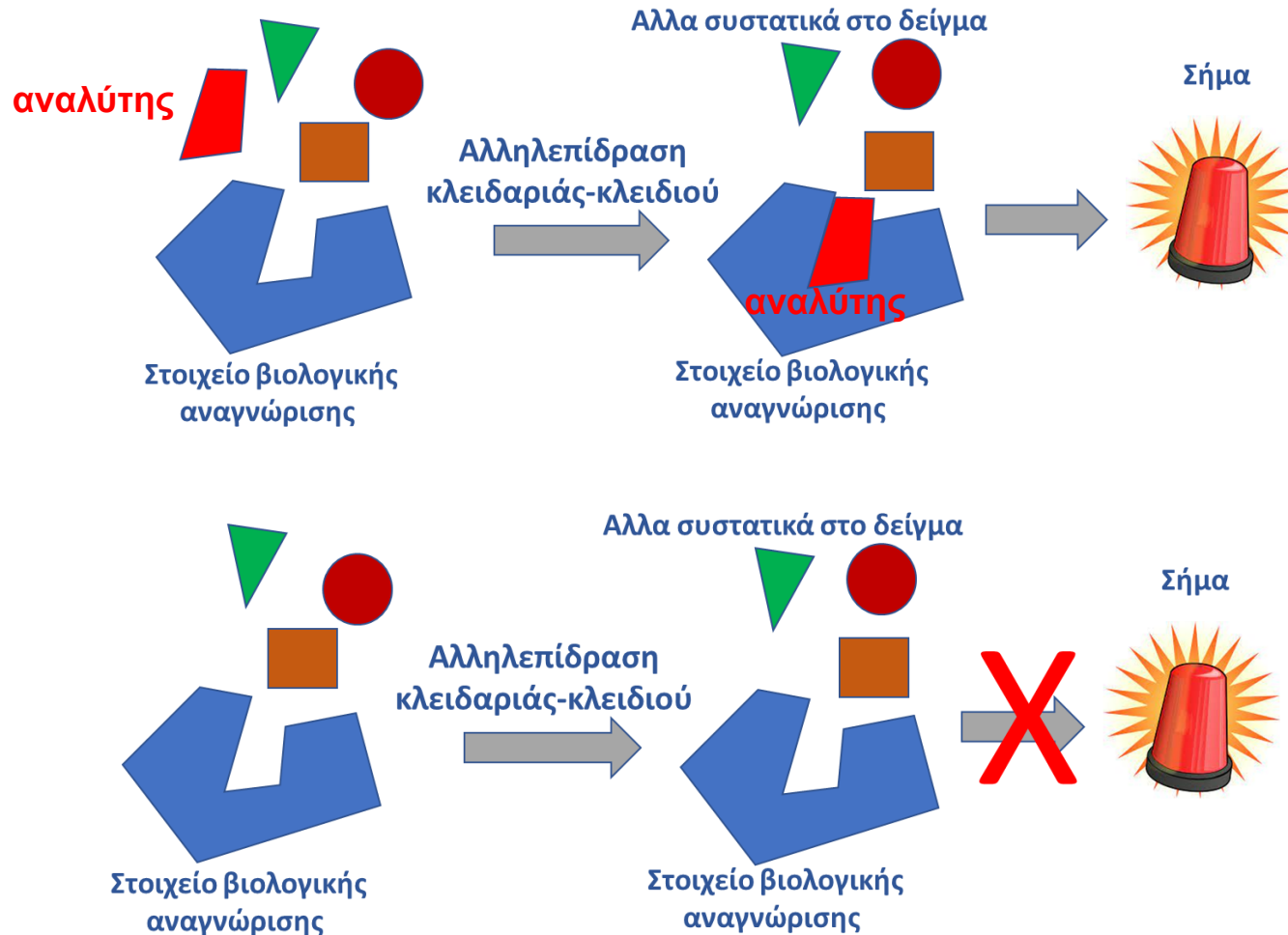
- Το 2021 η αγορά των βιοαισθητήρων έφτασε το ποσό των **27.5 δισ. \$**
- Αναμένεται να αυξάνεται με ρυθμό 8.0% ανά έτος την περίοδο 2022 με 2030
- Το 2030 η αγορά των βιοαισθητήρων αναμένεται να προσεγγίσει το ποσό των **49.6 δισ. \$**

Αγορά βιοαισθητήρων 2021

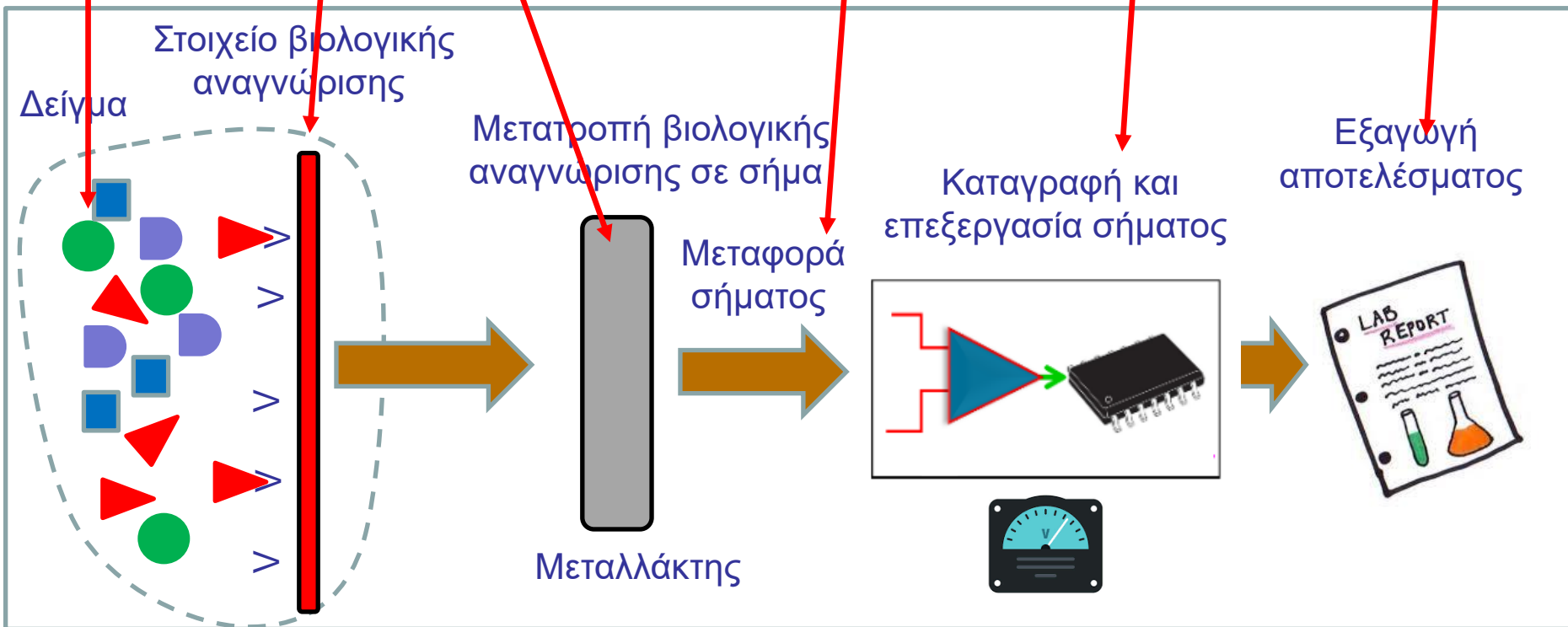
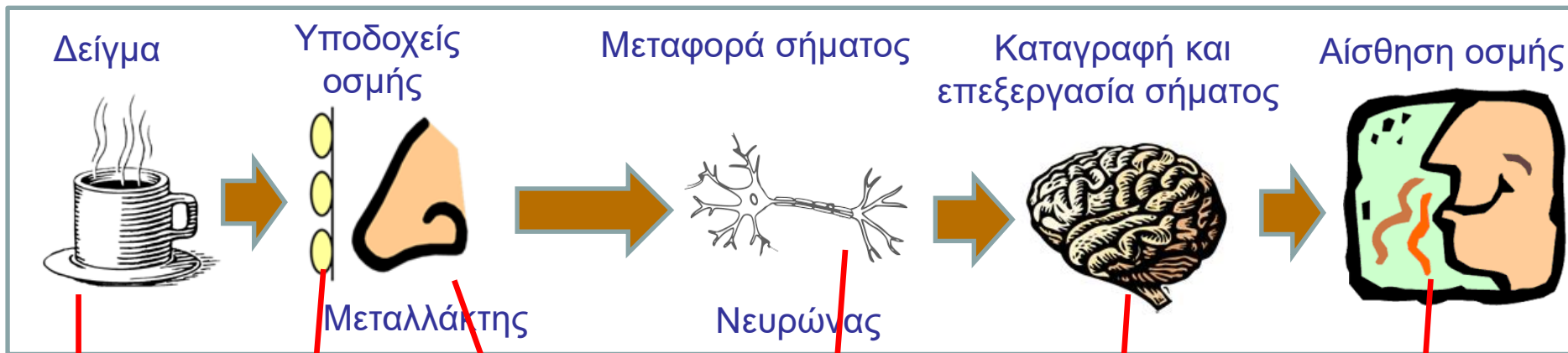


Αρχή λειτουργίας βιοαισθητήρων

Το παραγόμενο αναλυτικό **σήμα** είναι αποτέλεσμα **βιοαναγνώρισης**, δηλαδή εκλεκτικής αλληλεπίδρασης του στοιχείου βιολογικού αναγνώρισης (παράγοντας βιοαναγνώρισης) με την προσδιοριζόμενη ουσία.

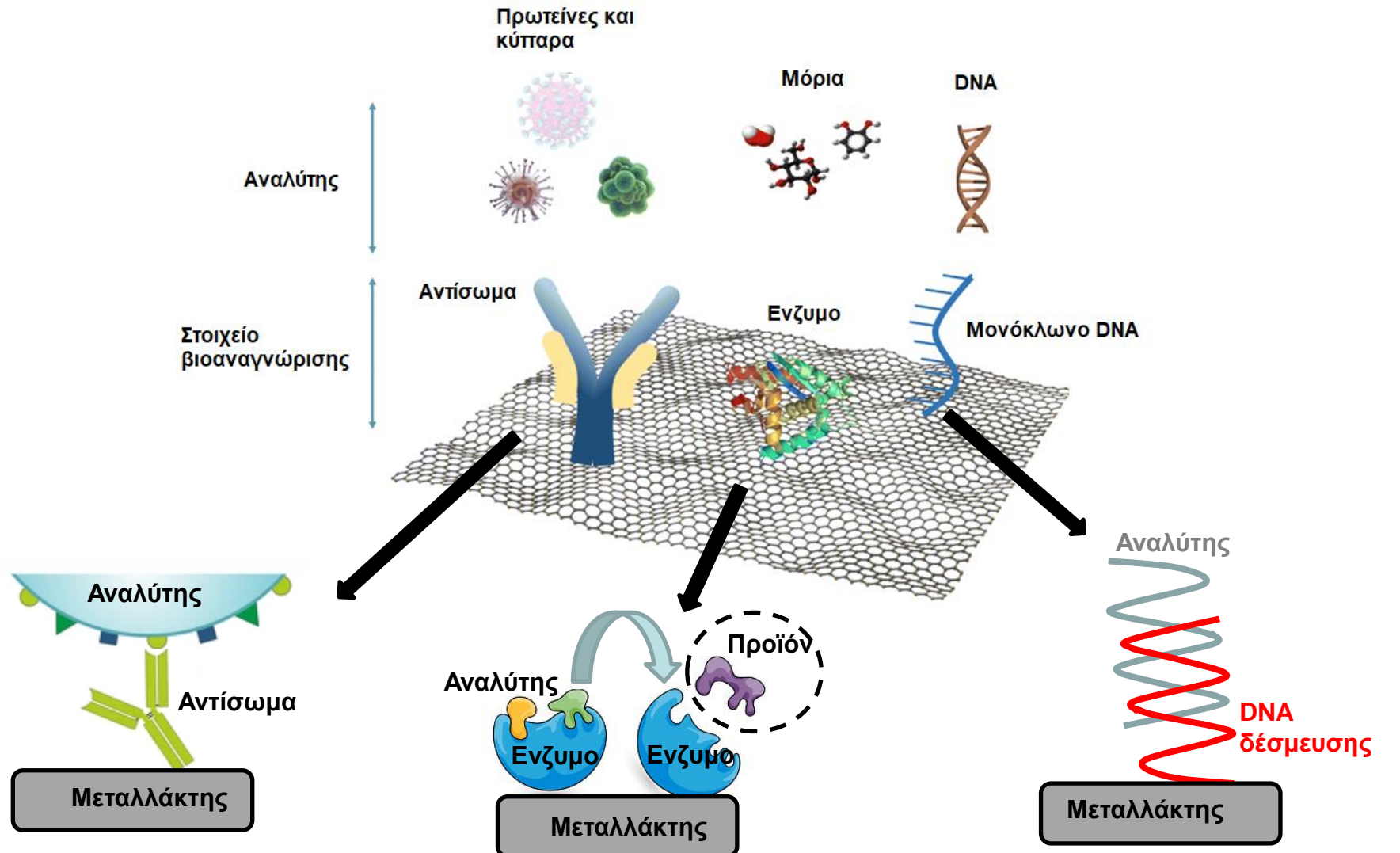


Αίσθηση όσφρησης



- Συνήθως στους βιοαισθητήρες ως στοιχείο βιολογικής αναγνώρισης χρησιμοποιείται ένα ένζυμο (ενζυμικοί βιοαισθητήρες) ή βιολογικοί υποδοχείς όπως αντισώματα, κύτταρα, ιστοί (βιοαισθητήρες συγγένειας)
- Το βιοστοιχείο των περισσότερων βιοαισθητήρων είναι ακινητοποιημένο πάνω σε μεμβράνη ή μέσα σε γέλη έτσι, ώστε το βιοστοιχείο να κρατιέται σε στενή επαφή με το μεταλλάκτη
- Το παραγόμενο αναλυτικό σήμα είναι αποτέλεσμα βιοαναγνώρισης, δηλαδή εκλεκτικής αλληλεπίδρασης του βιολογικού παράγοντα ανίχνευσης (π παράγοντας βιοαναγνώρισης) με την προσδιοριζόμενη ουσία.

Στοιχεία βιολογικής αναγνώρισης



Ανοσοαισθητήρες
Αντίσωμα: πρωτεΐνη που δεσμεύει αντιγόνο

Ενζυμικοί αισθητήρες
Ενζυμο: πρωτεΐνη που καταλύει χημική αντίδραση

Αισθητήρες DNA
DNA δέσμευσης: δημιουργεί διπλή έλικα με τον αναλύτη

Ιδιότητες ιδανικού βιοαισθητήρα

- Υψηλή ευαισθησία και αξιοπιστία
- Μεγάλη εκλεκτικότητα
- Καλή επαναληψιμότητα και ακρίβεια
- Ταχεία απόκριση
- Μεγάλη δυναμική περιοχή
- Μεγάλη διάρκεια ζωής και δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης
- Χαμηλό κόστος
- Ανεξαρτησία απόκρισης από φυσικές και χημικές μεταβολές

Χρήση βιοαισθητήρων

- Κλινική διάγνωση και βιοιατρική
- Ποιοτικό έλεγχο και φαρμακευτική ανάλυση
- Ποιοτικό έλεγχο τροφίμων
- Έλεγχο βιομηχανικών αποβλήτων
- Έλεγχο ρύπανσης περιβάλλοντος
- Ανίχνευση ουσιών χημικού/βιολογικού πολέμου.



Τύποι βιοαισθητήρων

Διάκριση

Παράγοντας βιοαναγνώρισης

- Ενζυμικοί
- Ανοσοχημικοί
- Κυττάρων, ιστών, μικροοργανισμών

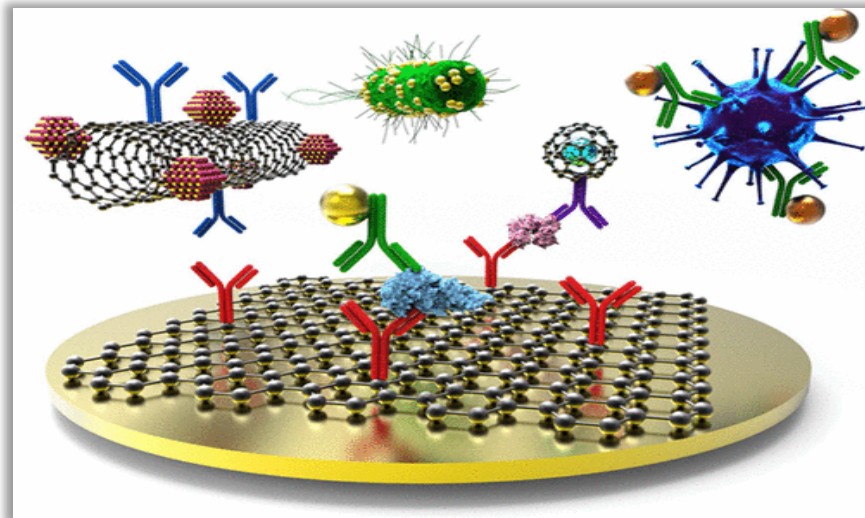
Μεταλλάκτης

Συνηθέστεροι

- Ηλεκτροχημικοί
- Ακουστικοί
- Οπτικοί

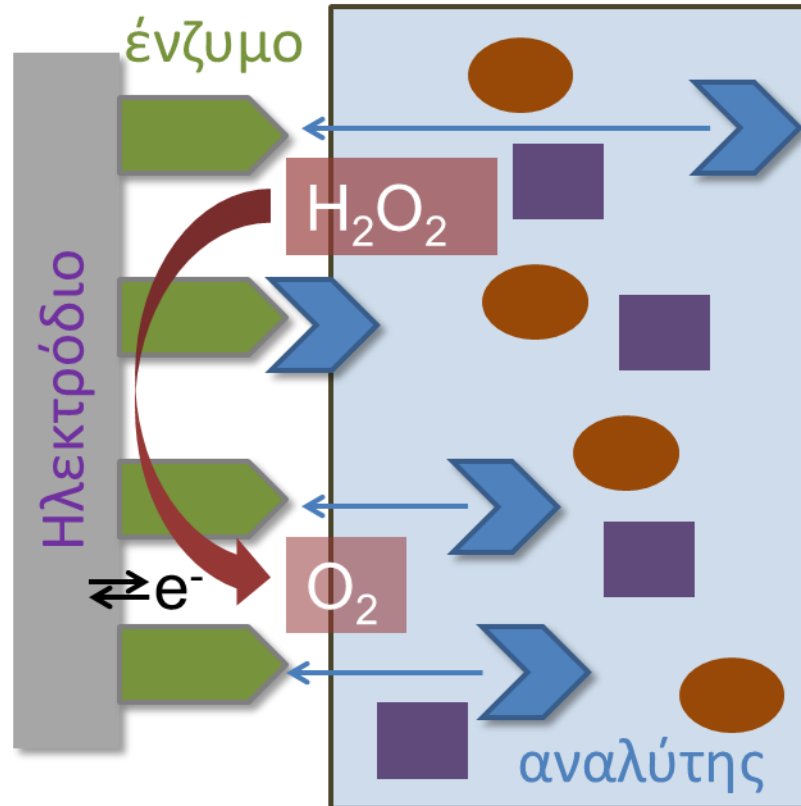
Ηλεκτροχημικοί βιοαισθητήρες

- Η λειτουργία βασίζεται στην μέτρηση ενός ηλεκτρικού μεγέθους (δυναμικό, ρεύμα, φορτίο)
- Τυπικά, το βιοστοιχείο είναι ένα ένζυμο ή ένα αντίσωμα και ο μεταλλάκτης είναι ένα ηλεκτρόδιο ή μία ηλεκτροχημική διάταξη.
- Είναι οι πιο κοινοί βιοαισθητήρες, ιδίως όταν το βιοστοιχείο είναι ένζυμο.
- Ο διασημότερος είναι ο βιοαισθητήρας γλυκόζης. Με μικρό τσίμπημα στο δάχτυλο προσδιορίζεται με ακρίβεια η ποσότητα της γλυκόζης στο αίμα.



Ενζυμικοί βιοαισθητήρες

- Η λειτουργία τους βασίζεται στην ηλεκτρική σύνδεση του στοιχείου βιοαναγνώρισης με τον αισθητήρα
- Η στιβάδα βιοαναγνώρισης τοποθετείται κοντά ή επάνω στο ηλεκτρόδιο εργασίας.



Ιδιότητες Ενζύμων

- Δρουν αποτελεσματικά σε πολύ μικρές ποσότητες
- Παραμένουν αναλλοίωτα κατά τη διάρκεια της αντίδρασης
- Σε μικρές (έναντι υποστρώματος) ποσότητες δεν επηρεάζουν τη θέση της χημικής ισορροπίας, αλλά αυξάνουν την ταχύτητά της μέχρι επίτευξης της κατάστασης ισορροπίας
- Παρουσιάζουν όλες τις χαρακτηριστικές ιδιότητες των πρωτεϊνών
- Η καταλυτική τους ικανότητα οφείλεται στην ειδική στερεοχημική τους δομή

Οι ενζυματικές μέθοδοι ανάλυσης:

- Επιτρέπουν τον εξειδικευμένο (εκλεκτικό) προσδιορισμό
- Δεν είναι απαραίτητη η χρήση μεθόδων διαχωρισμού (χρονοβόρες και συνοδεύονται από μεγάλη απώλεια δείγματος)
- Καθιερώθηκαν ως μεθοδολογία σε προσδιορισμούς σε όργανα ζώικών και φυτικών οργανισμών, βιολογικά υγρά, θρεπτικά υλικά, τρόφιμα, φάρμακα

Ενζυμικοί βιοαισθητήρες

Χαρακτηριστικά που συνεπάγεται η ακινητοποίηση ενός ενζύμου:

1. Διατήρηση του ακινητοποιημένου ενζύμου για εβδομάδες ή μήνες αλλά με μειούμενη ενεργότητα (λόγω καταστροφής)
2. Δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης
3. Μεγάλη ευελιξία στη μορφή ακινητοποίησης.
4. Μείωση κόστους

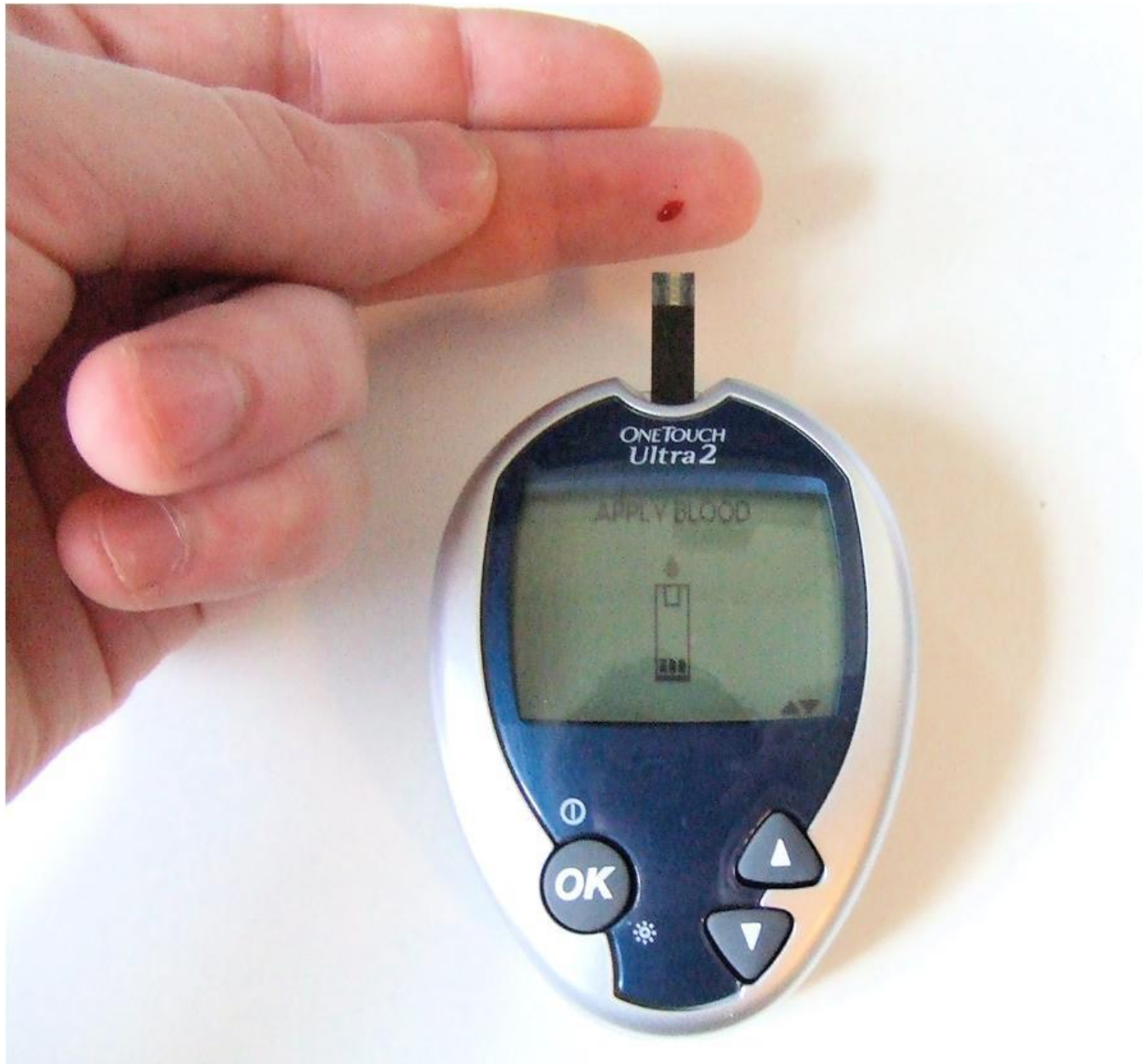
Η ακινητοποίηση της στιβάδας βιοαναγνώρισης στο μεταλλάκτη επιτυγχάνεται με:

1. Εγκλεισμό (ακινητοποίηση σε πηκτή ή αδρανή μεμβράνη)
2. Προσρόφηση (φυσικού χαρακτήρα π.χ. με δεσμούς van der Waals)
3. Χημικό δεσμό

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΝΖΥΜΩΝ

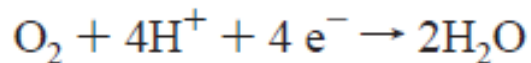
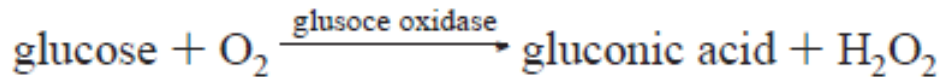
- Θερμοκρασία
- pH
- Παρουσία άλλων ηλεκτρολυτών
- Αναστολείς, επιβραδυντές (inhibitors), π.χ. άλατα βαρέων μετάλλων

Βιοαισθητήρας ενζύμου γλυκόζης

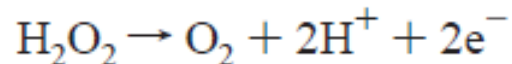


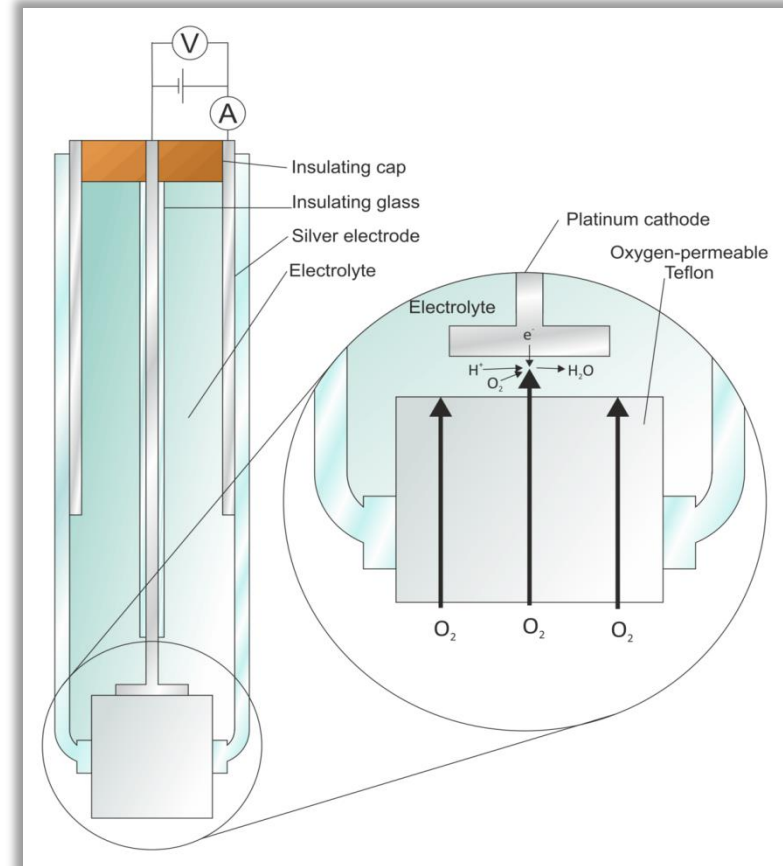
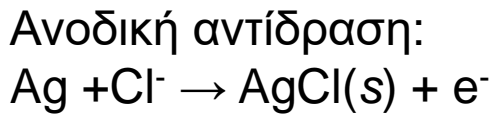
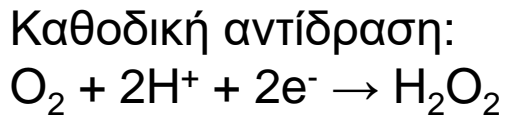
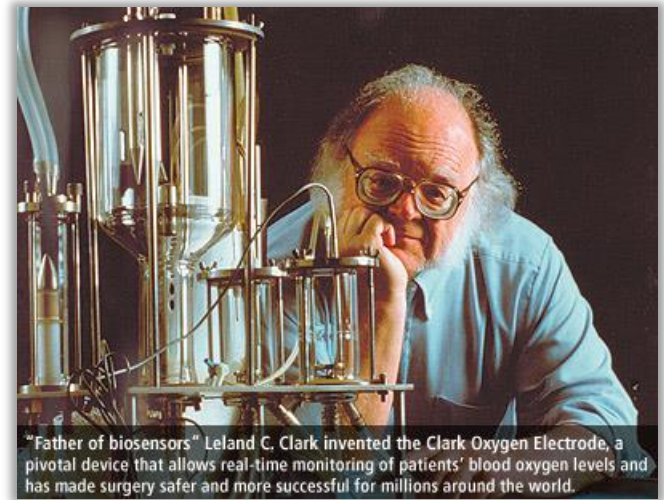
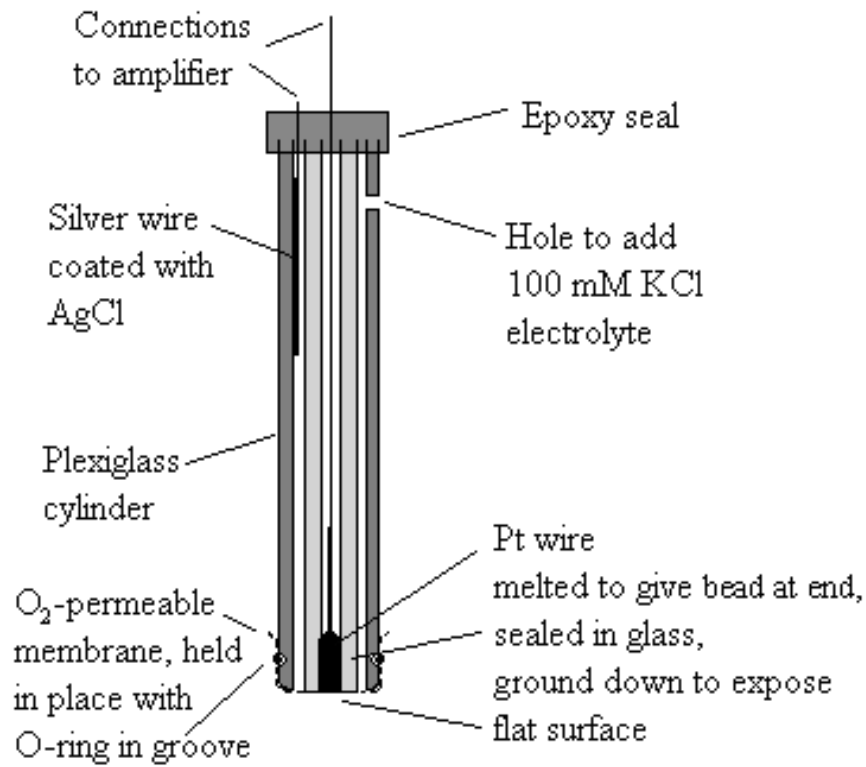
Βιοαισθητήρας γλυκόζης -Ιστορικά στοιχεία

Η ιστορία των ενζυμικών ηλεκτροδίων γλυκόζης ξεκινά το 1962 με την ανάπτυξη της πρώτης συσκευής από τους Clark και Lyons στο παιδιατρικό νοσοκομείο Cincinnati. Η συσκευή στηριζόταν στην ακινητοποίηση οξειδάση της γλυκόζης (GOx) στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου οξυγόνου και η μέτρηση βασιζόταν στη μέτρηση του οξυγόνου που καταναλωνόταν από την ενζυμική αντίδραση. Ένα αρνητικό δυναμικό εφαρμοζόταν στην κάθοδο λευκοχρύσου για τον αναγωγικό προσδιορισμό του καταναλωμένου οξυγόνου.

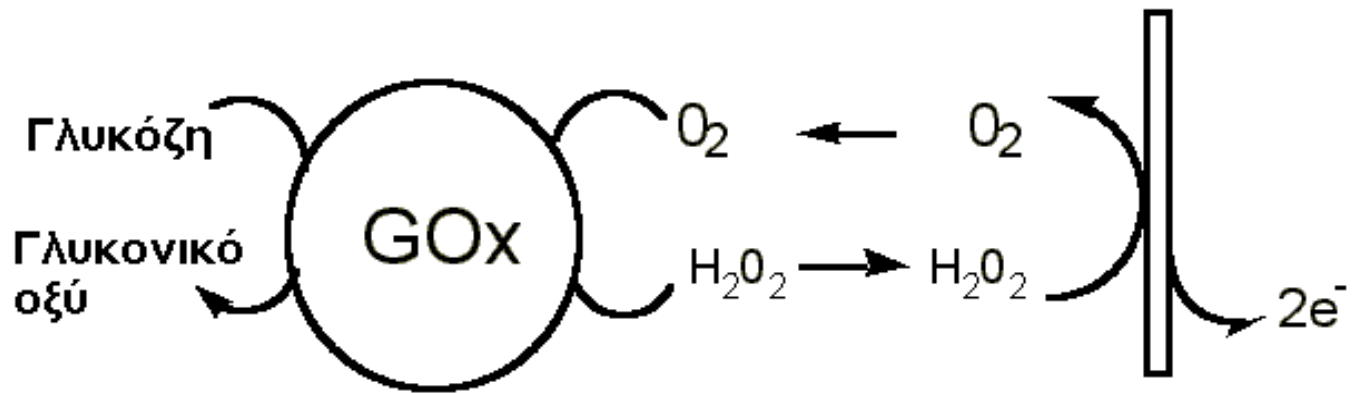


Το 1973 οι Guilbault και Lubrano περιέγραψαν ενζυμικό ηλεκτρόδιο γλυκόζης μετρώντας αμπερομετρικά το παραγόμενο H_2O_2



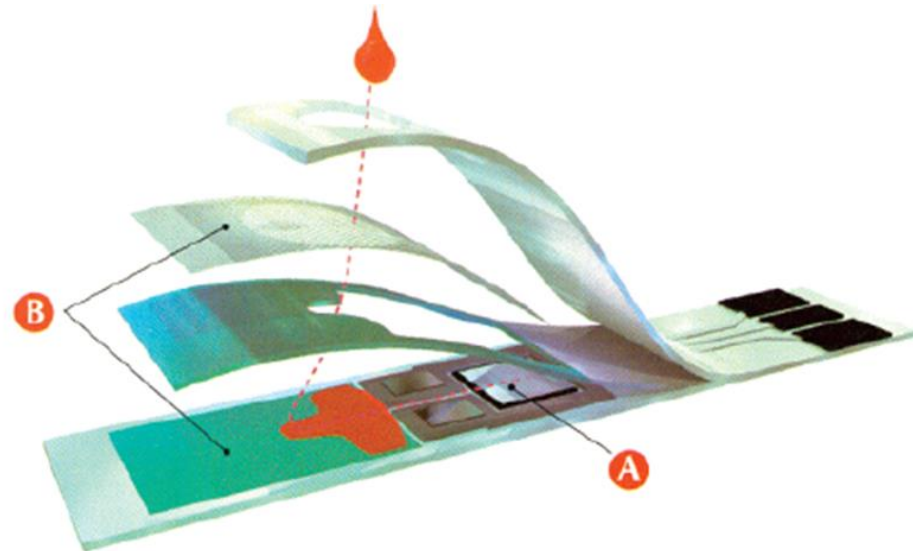
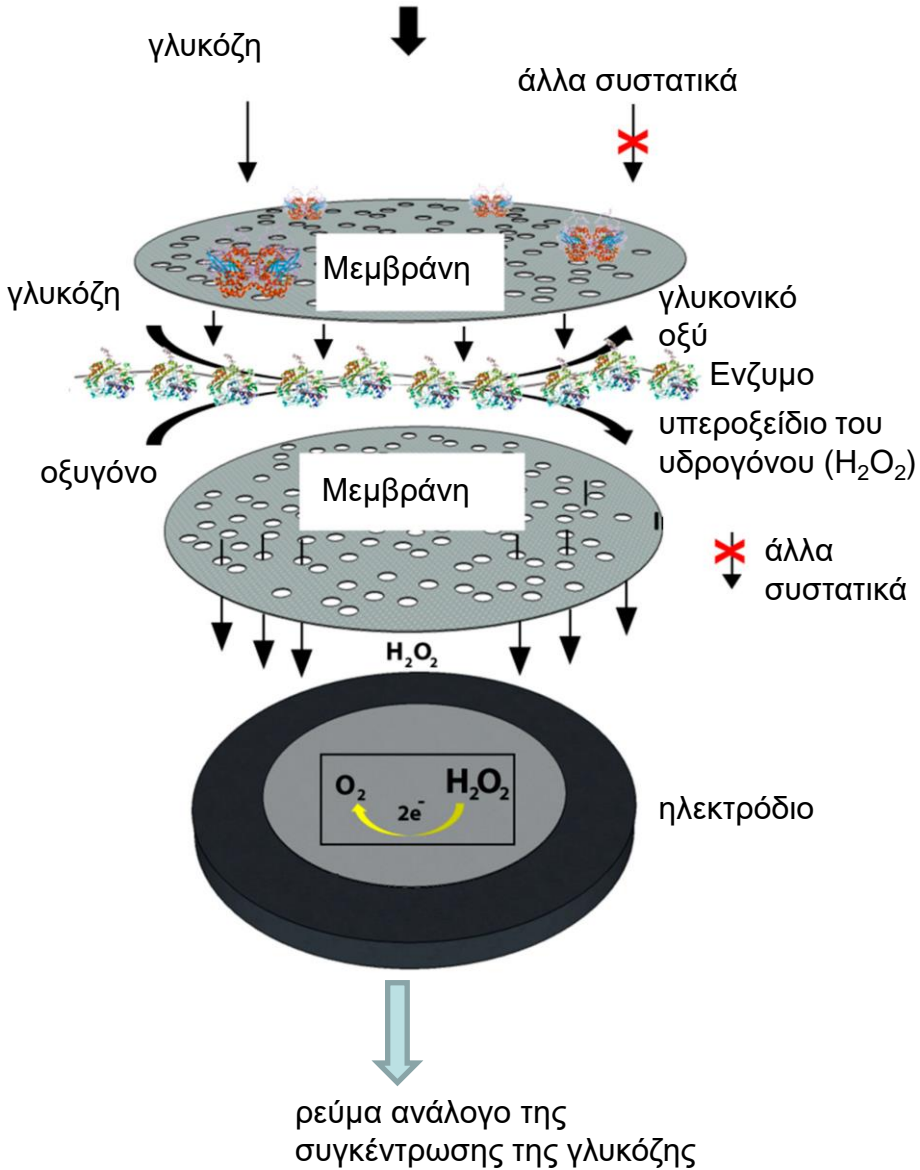


Βιοαισθητήρας ενζύμου γλυκόζης



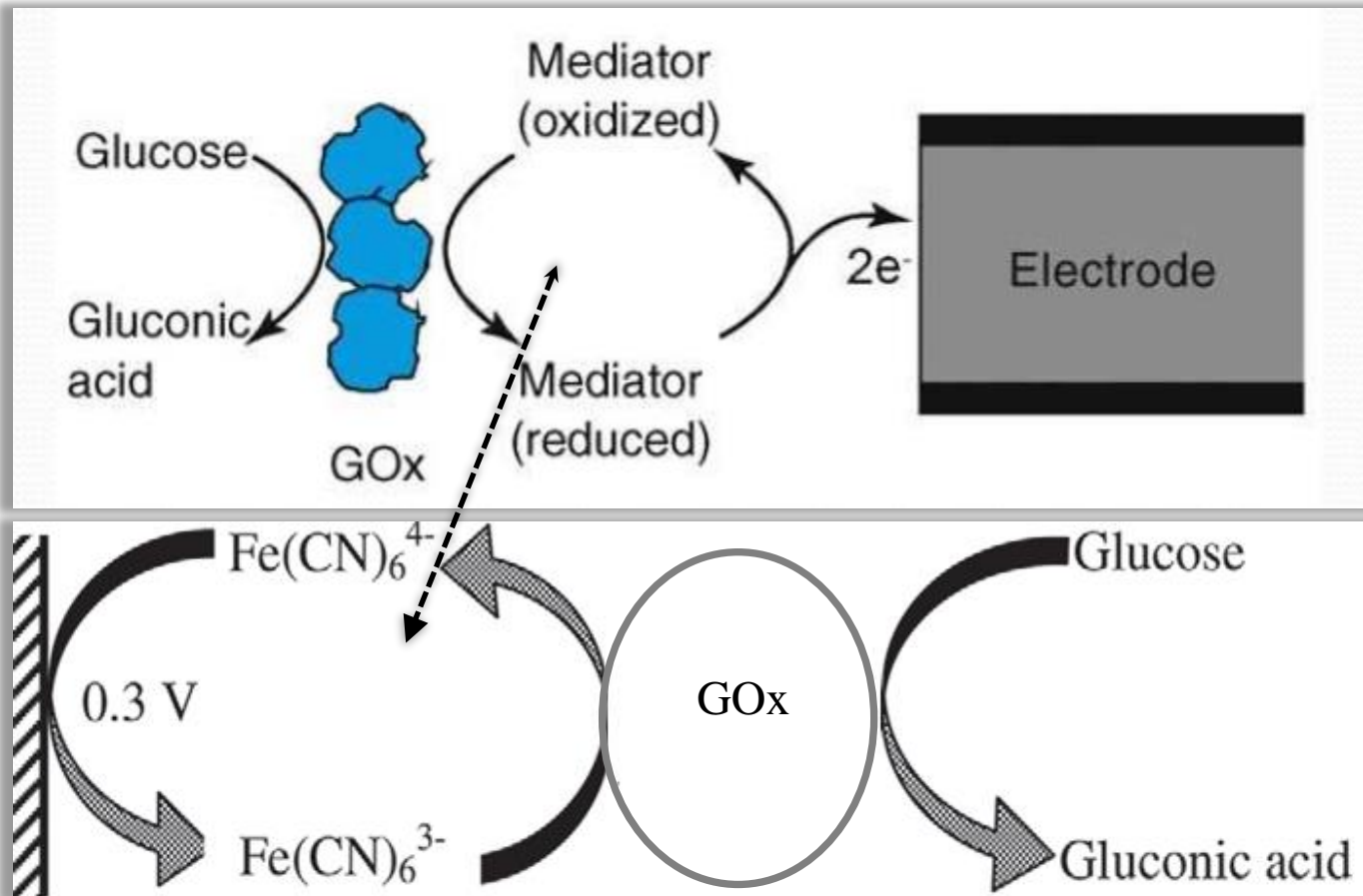
Βιοαισθητήρας γλυκόζης

Δείγμα αίματος



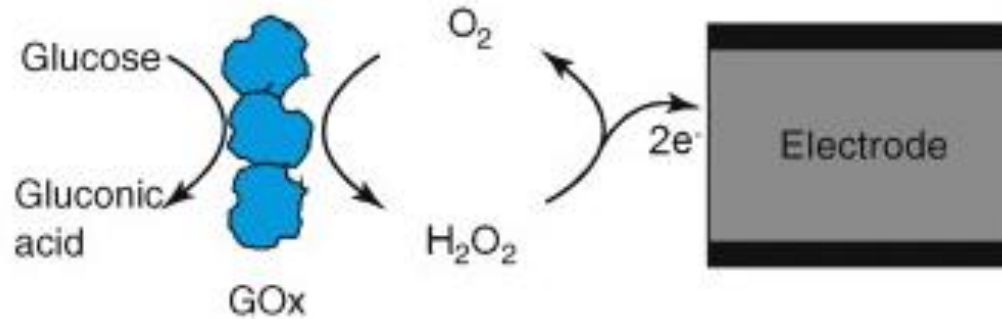
Διαμεσολαβητές

- Σε πολλές περιπτώσεις, η διαδρομή των ηλεκτρονίων από το ένζυμο στο ηλεκτρόδιο και αντίστροφα είναι αρκετά μεγάλη
- Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πολύ μικρή πιθανότητα ανταλλαγής φορτίου μεταξύ του ενζύμου και του ηλεκτροδίου. Έτσι, η μεταφορά ηλεκτρονίων γίνεται μέσω κάποιων διαμεσολαβητών (mediators) που διευκολύνουν τη μεταφορά φορτίου

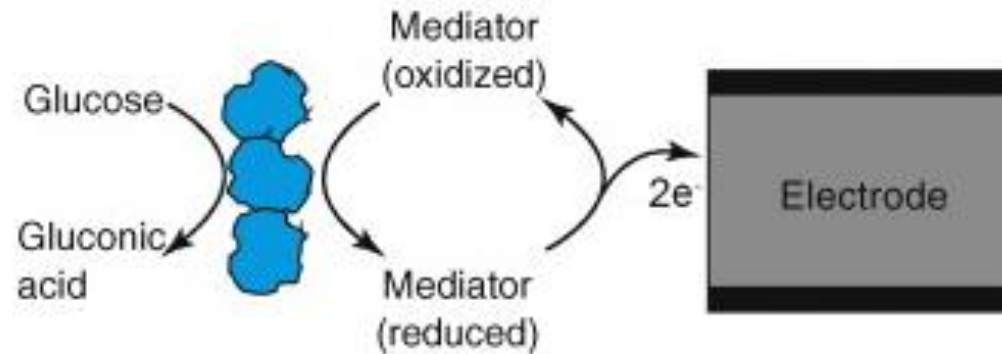


Βιοαισθητήρες γλυκόζης

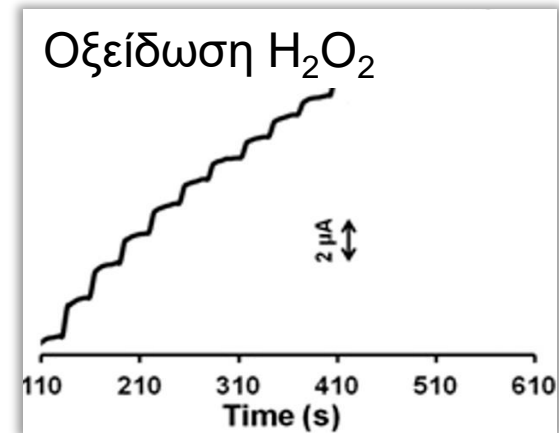
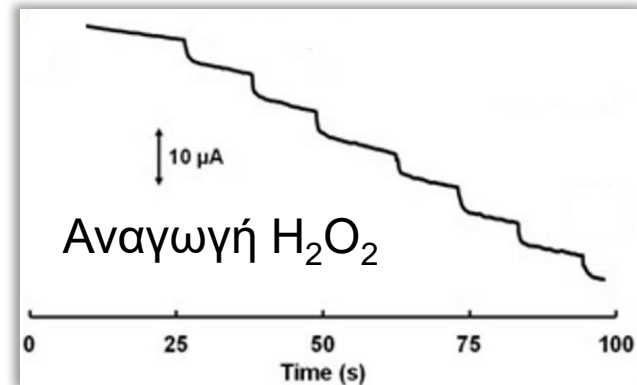
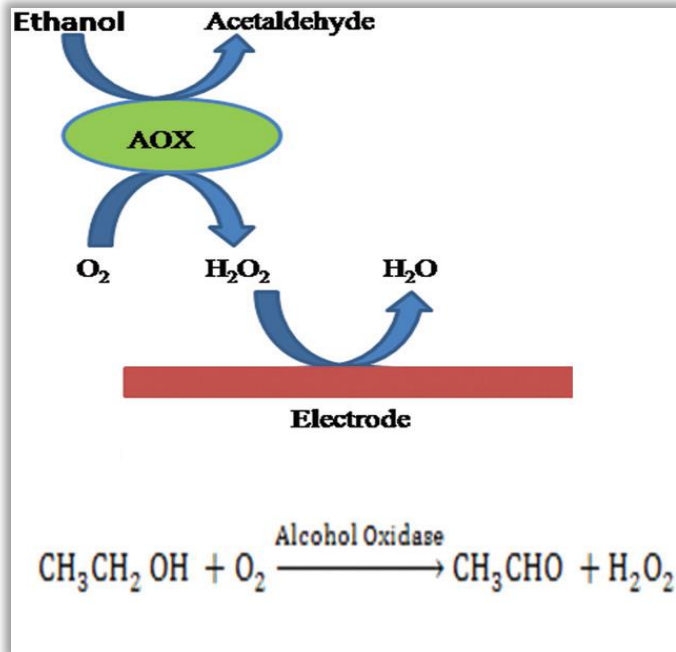
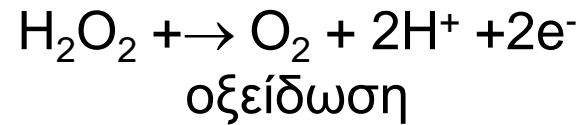
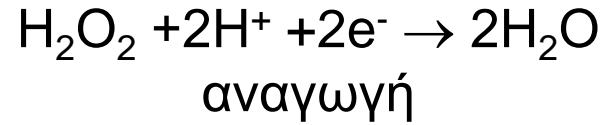
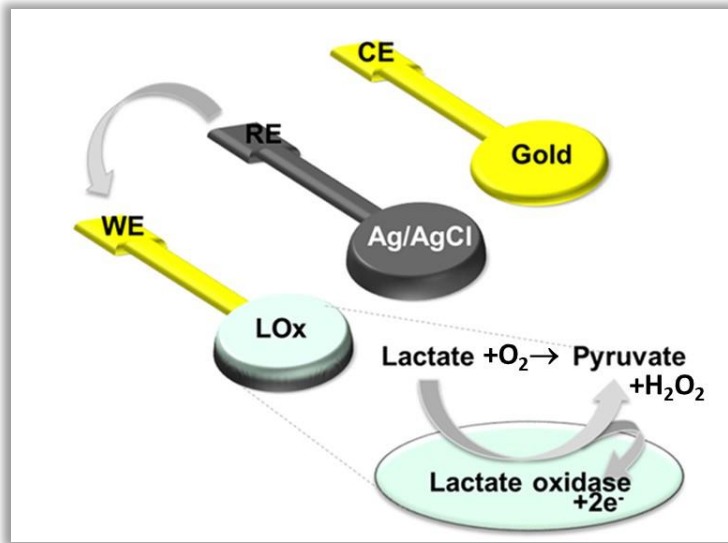
(a) First-generation glucose sensors

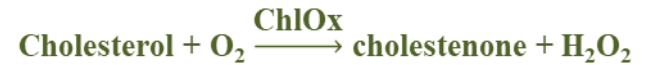
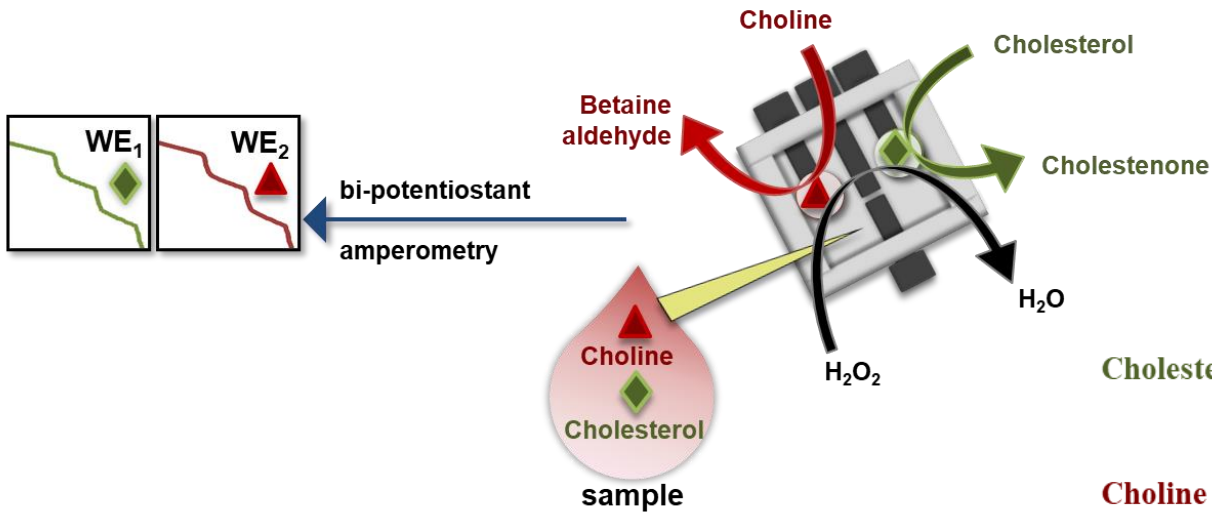
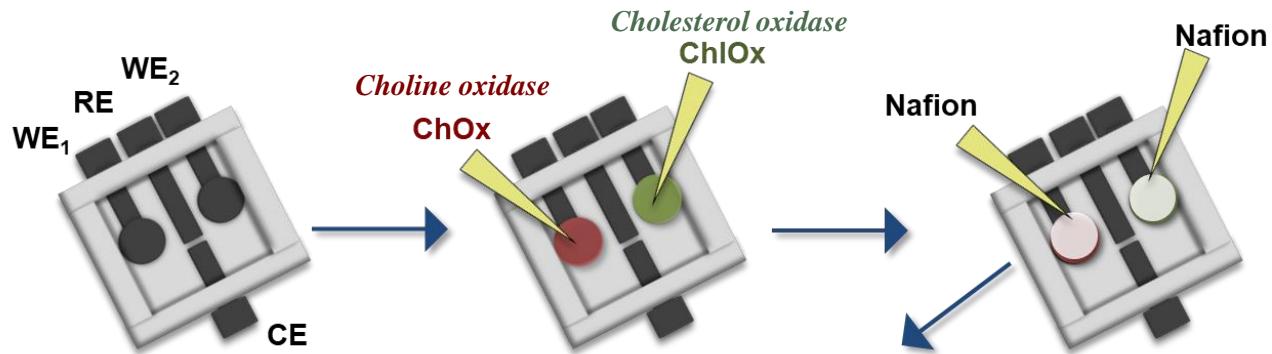
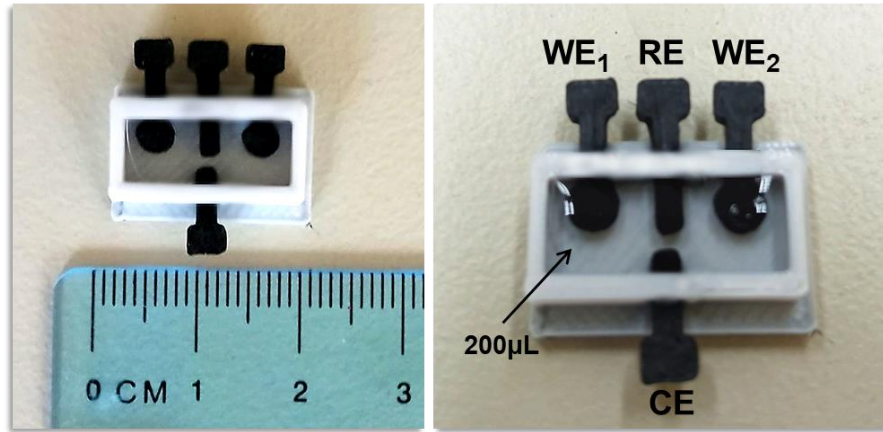


(b) Second-generation sensors



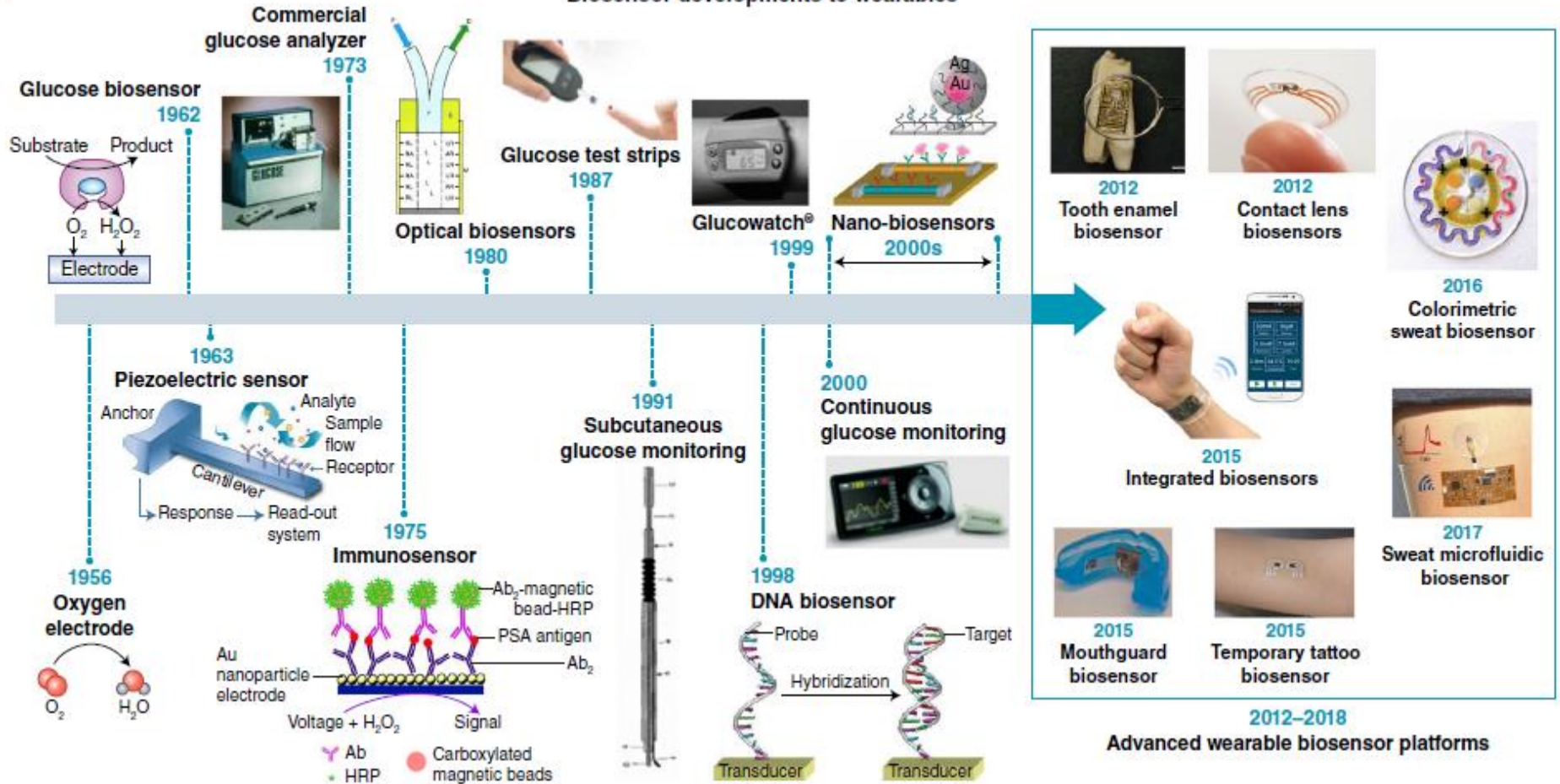
Βιοαισθητήρες ενζύμων (παραγωγή H_2O_2)

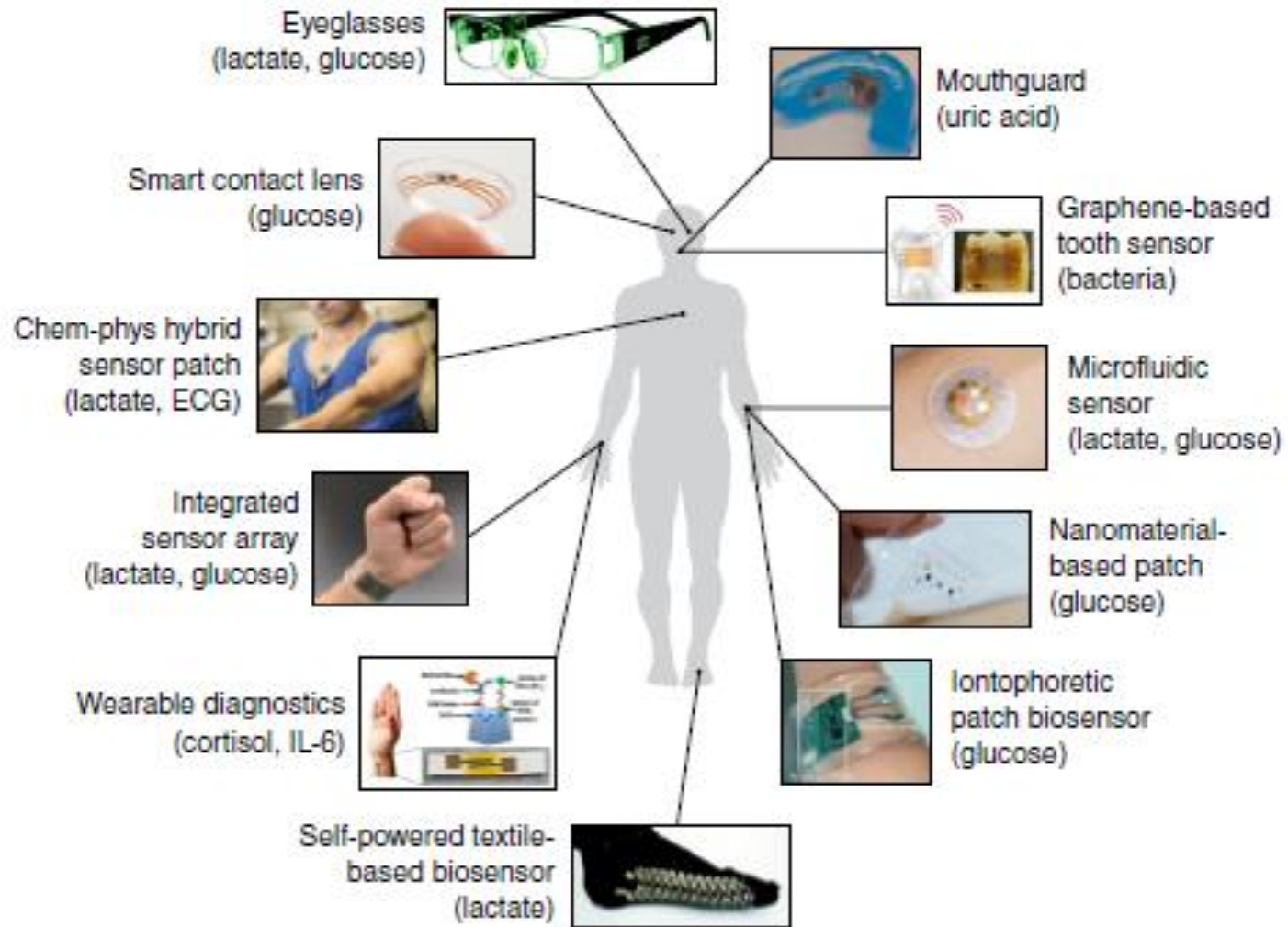


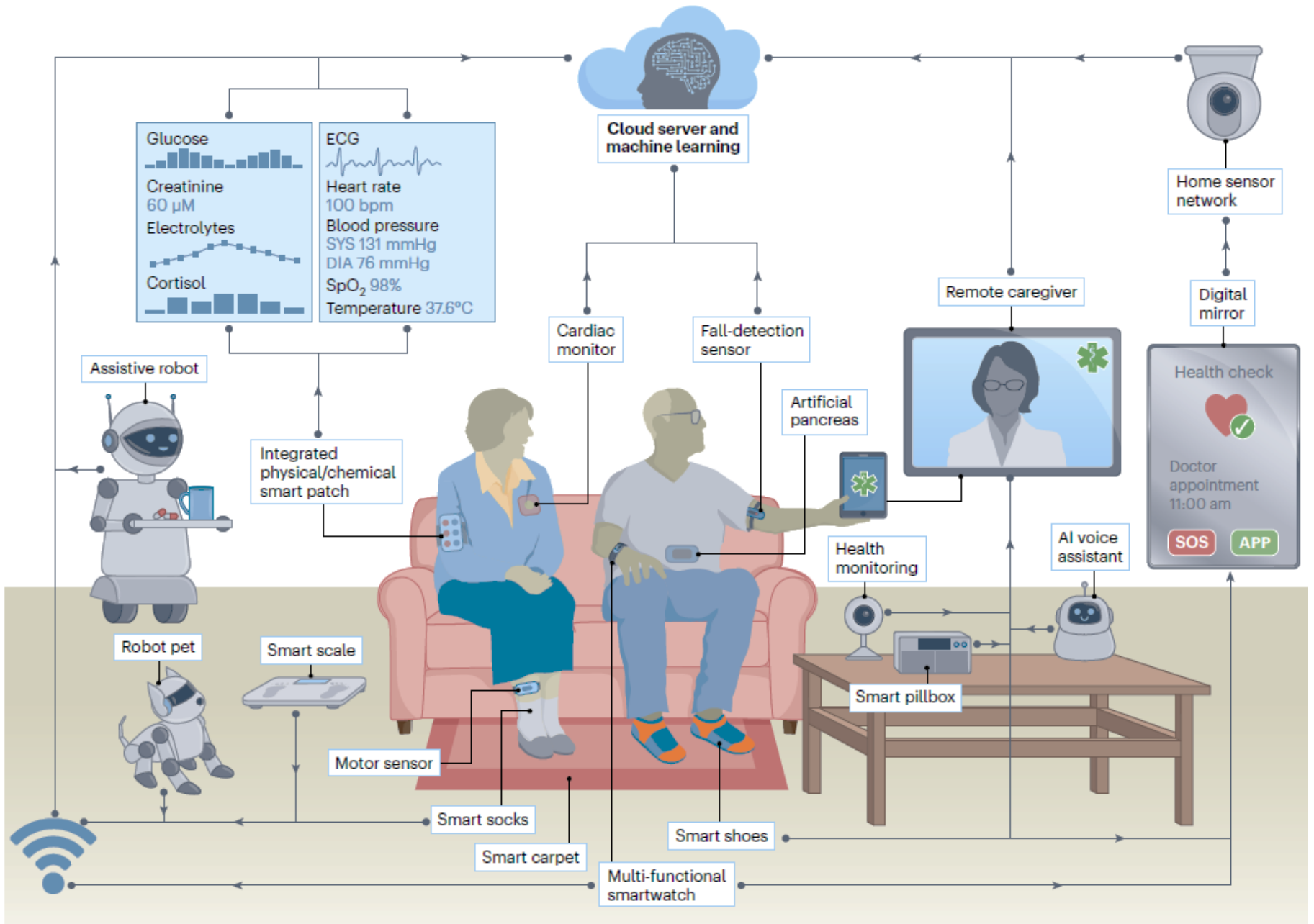


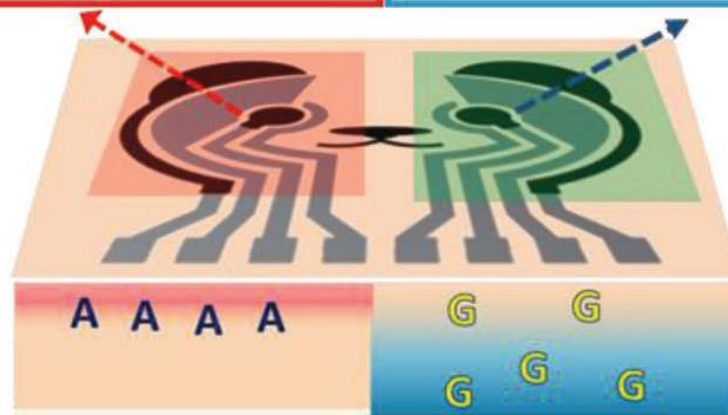
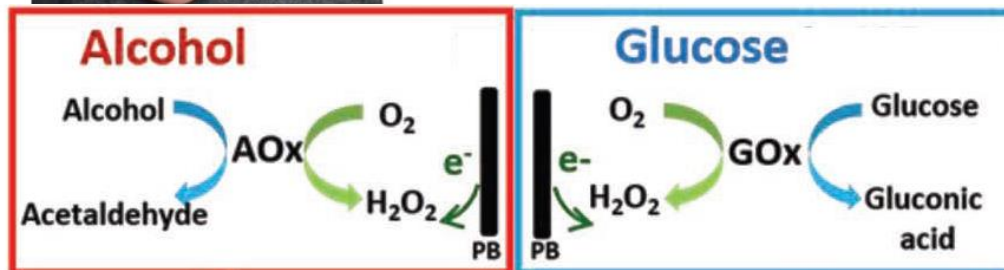
Φορητοί βιοαισθητήρες

Biosensor developments to wearables

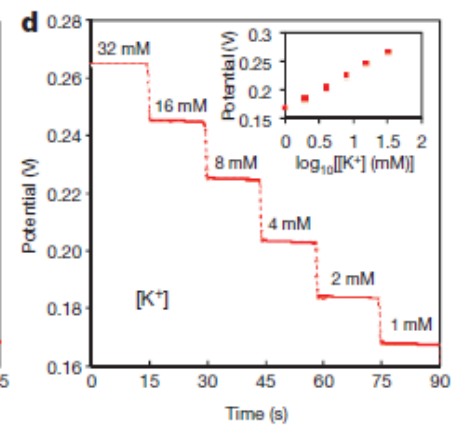
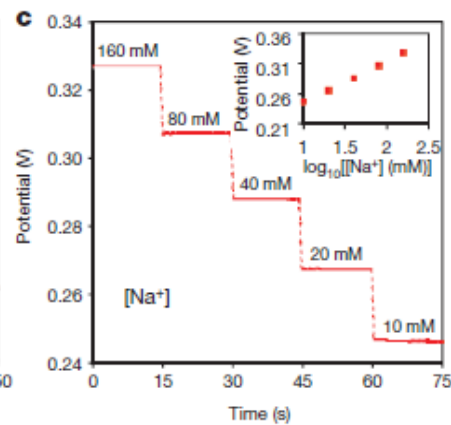
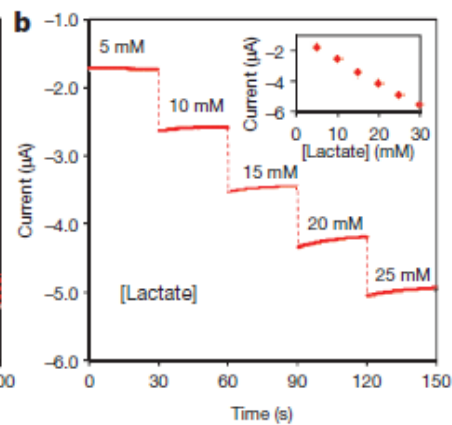
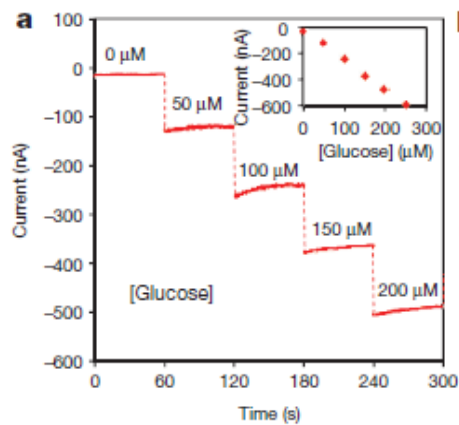
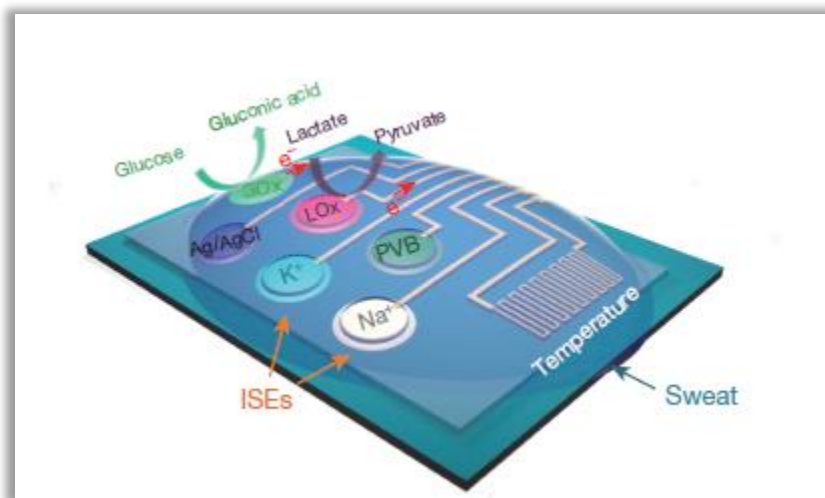




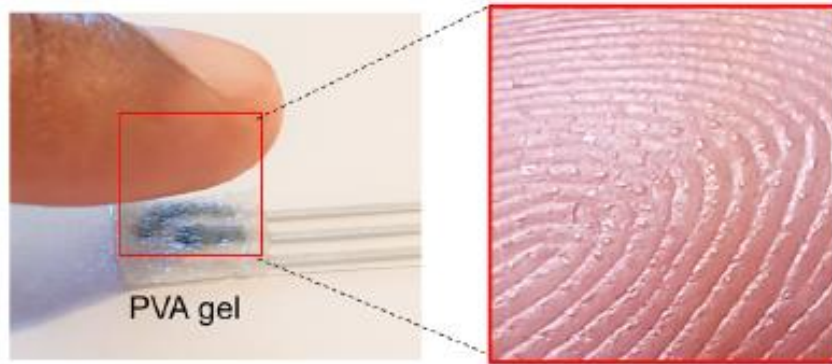
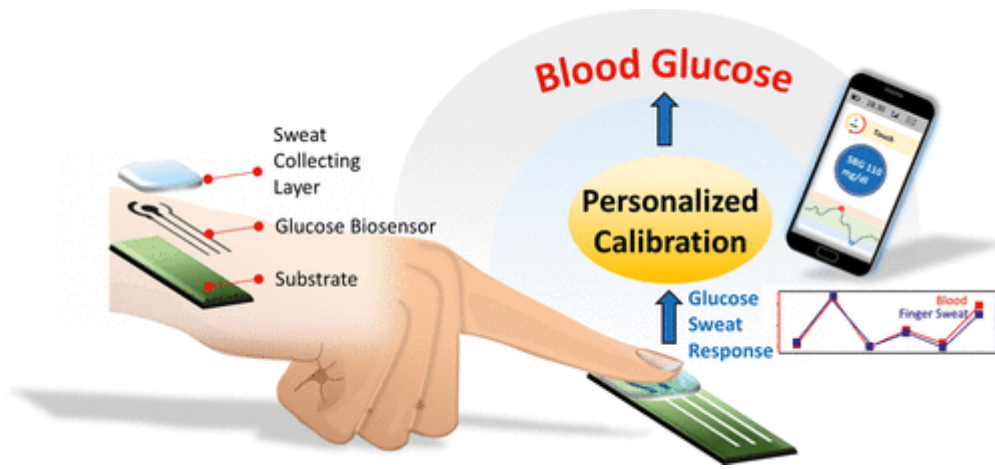




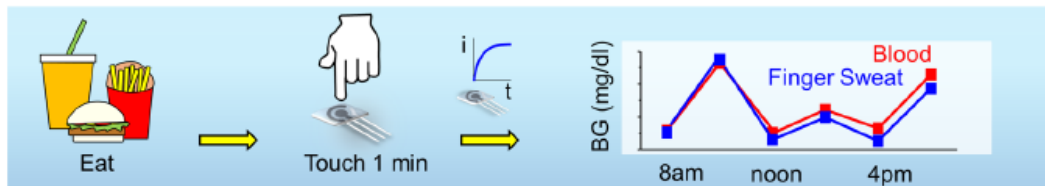
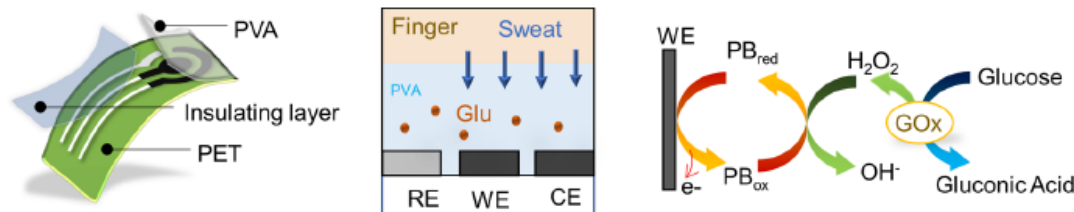
A Alcohol G Glucose



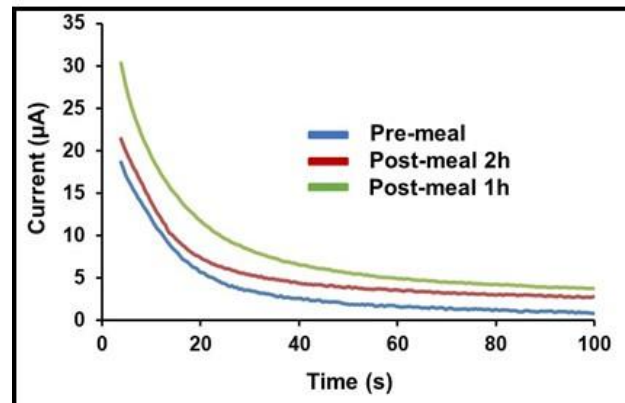
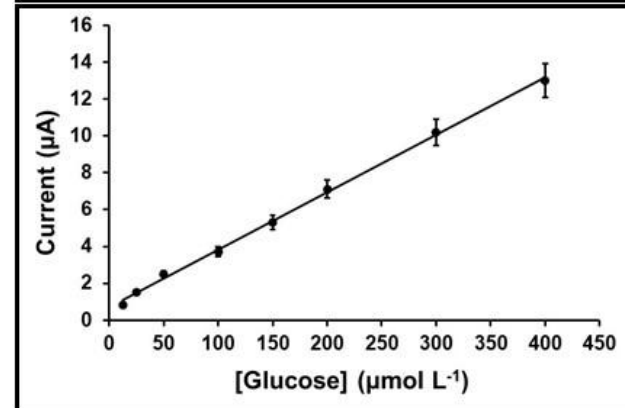
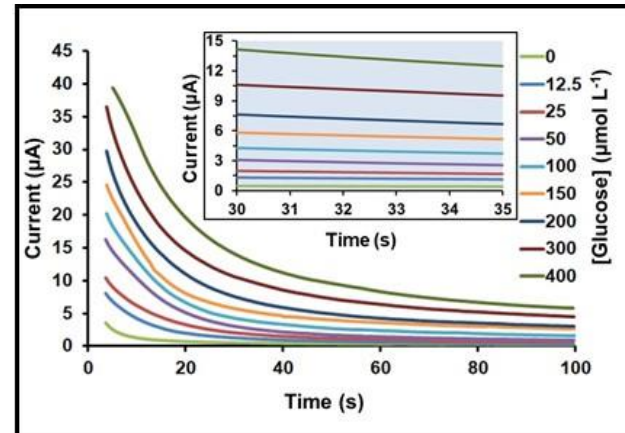
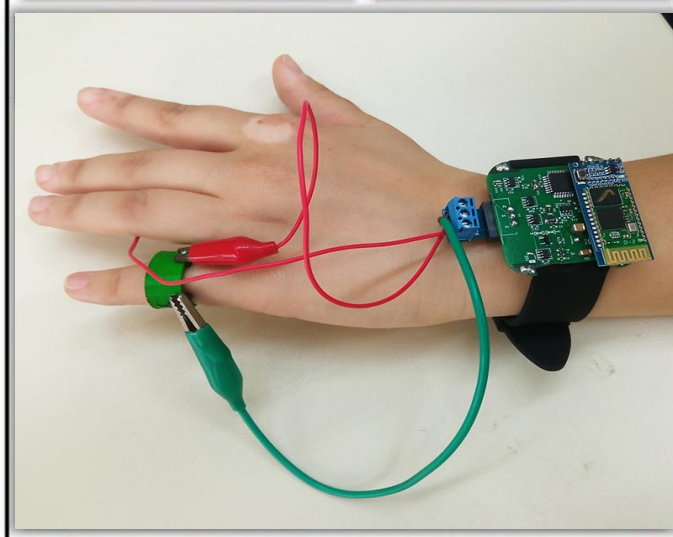
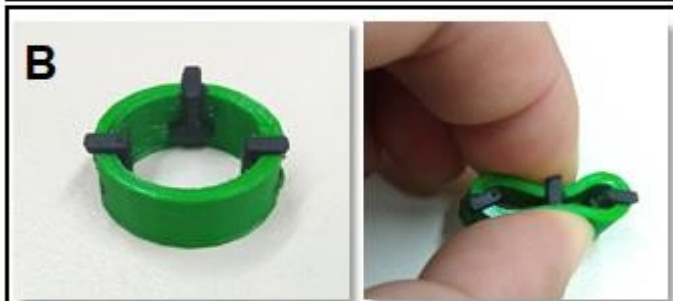
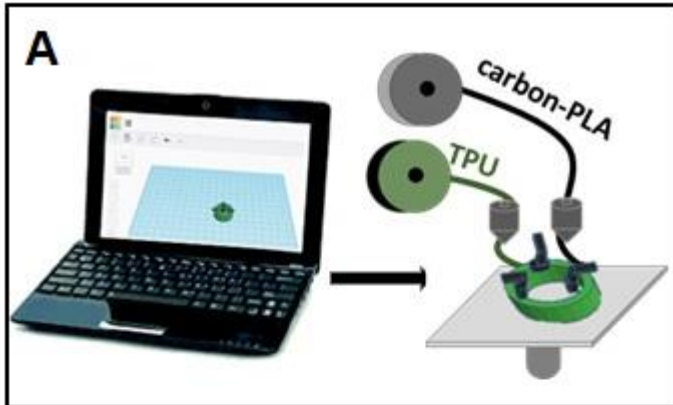
Βιοισθητήρας αφής γλυκόζης



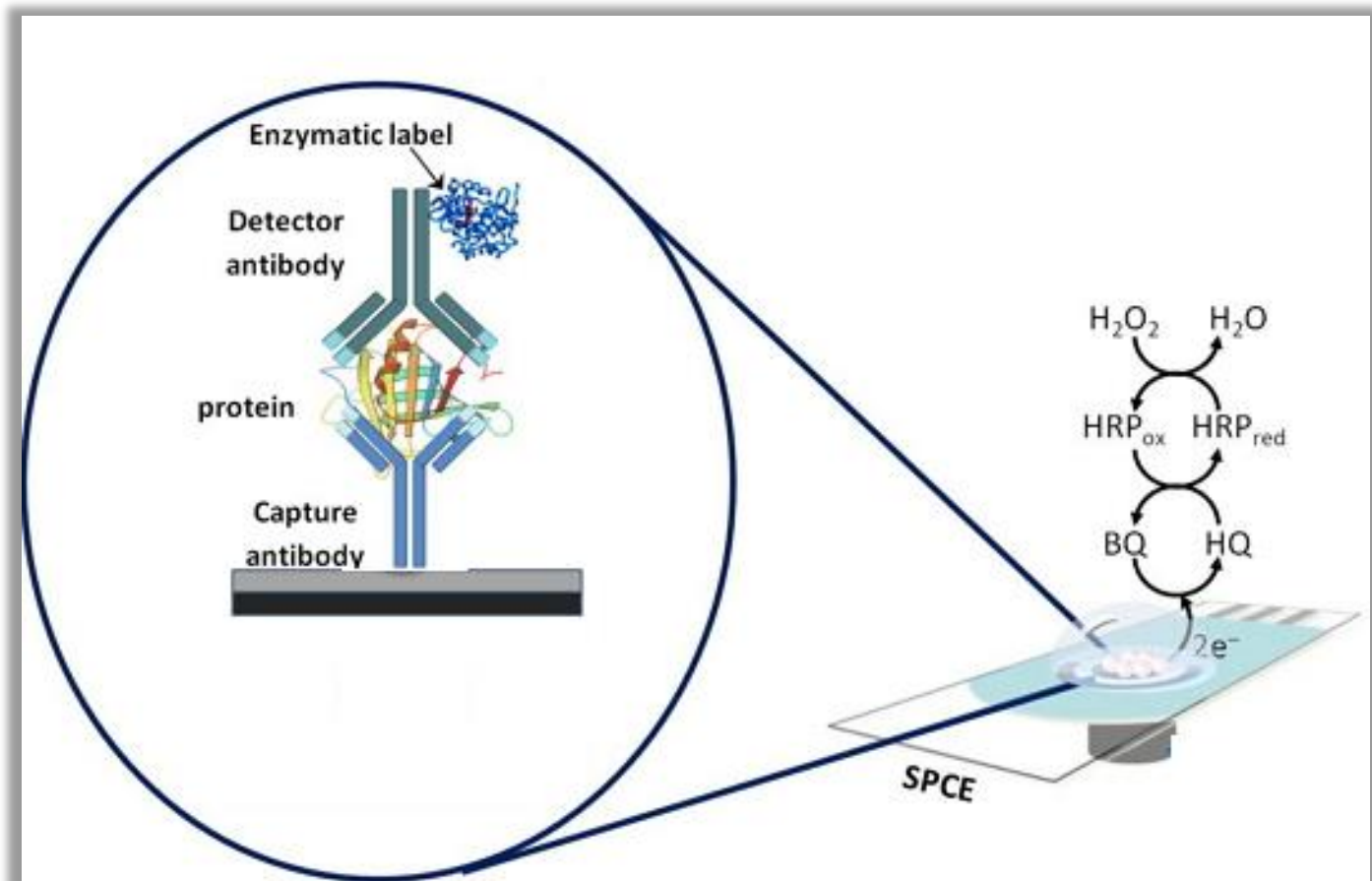
Η συλλογή ιδρώτα βασίζεται στο άγγιγμα της επιφάνειας μεμβράνης πολυβινυλικής αλκόολης που είναι ικανή να απορροφήσει σταγονίδια ιδρώτα από το δαχτύλο

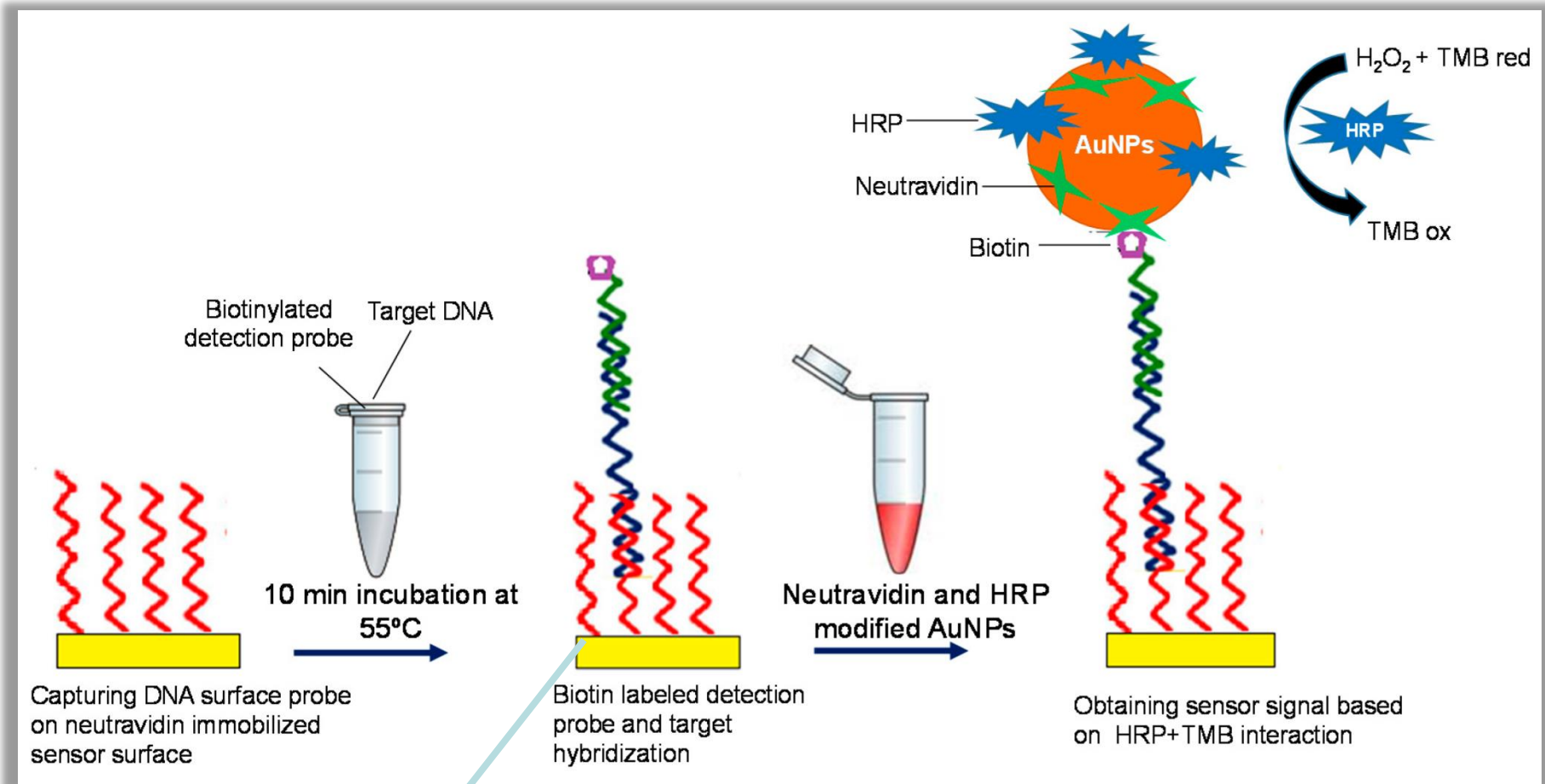


3D printed e-ring



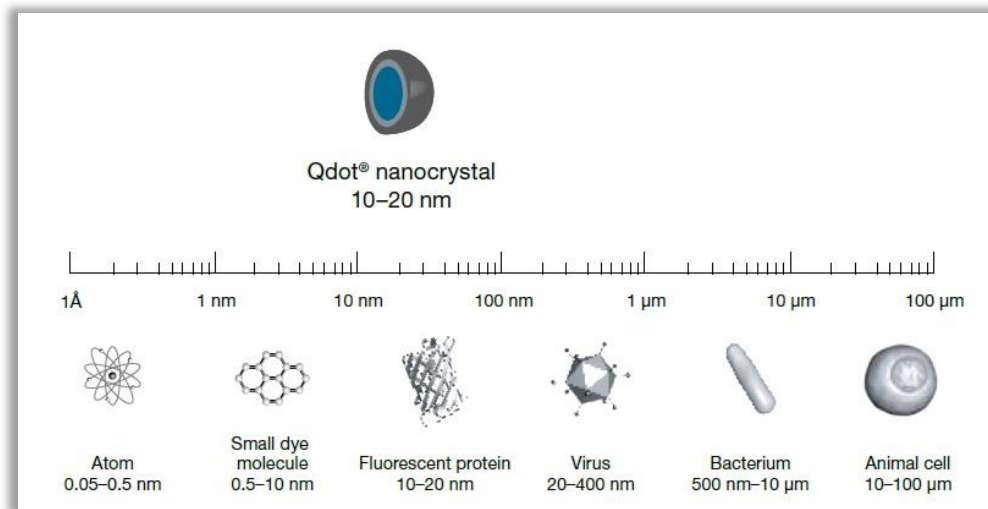
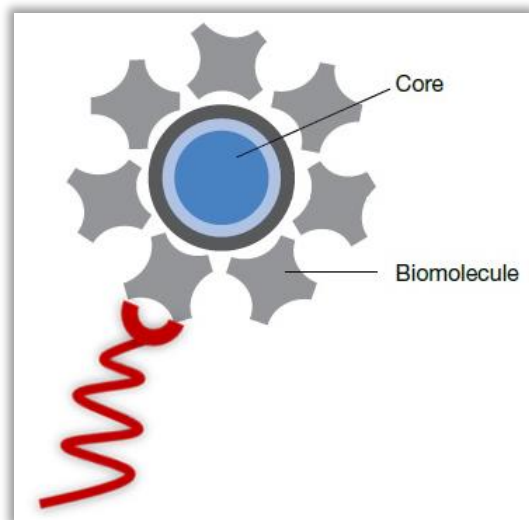
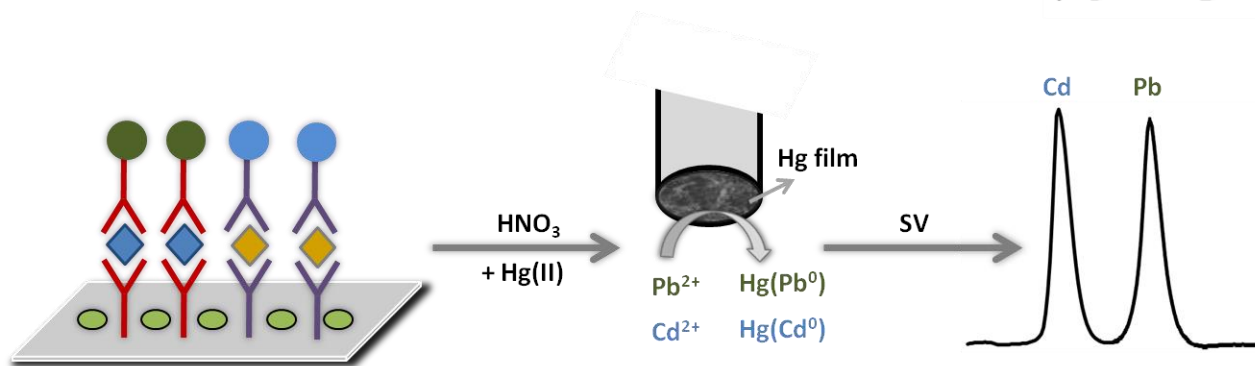
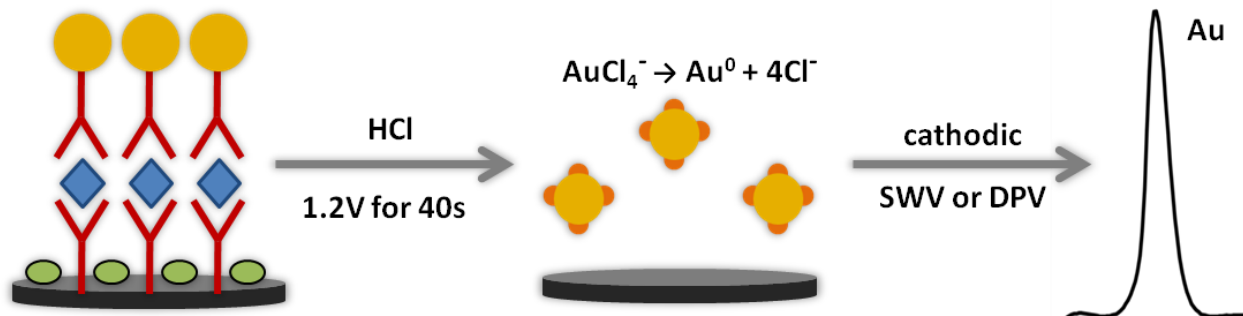
Ανοσοαισθητήρες και βιοαισθητήρες DNA

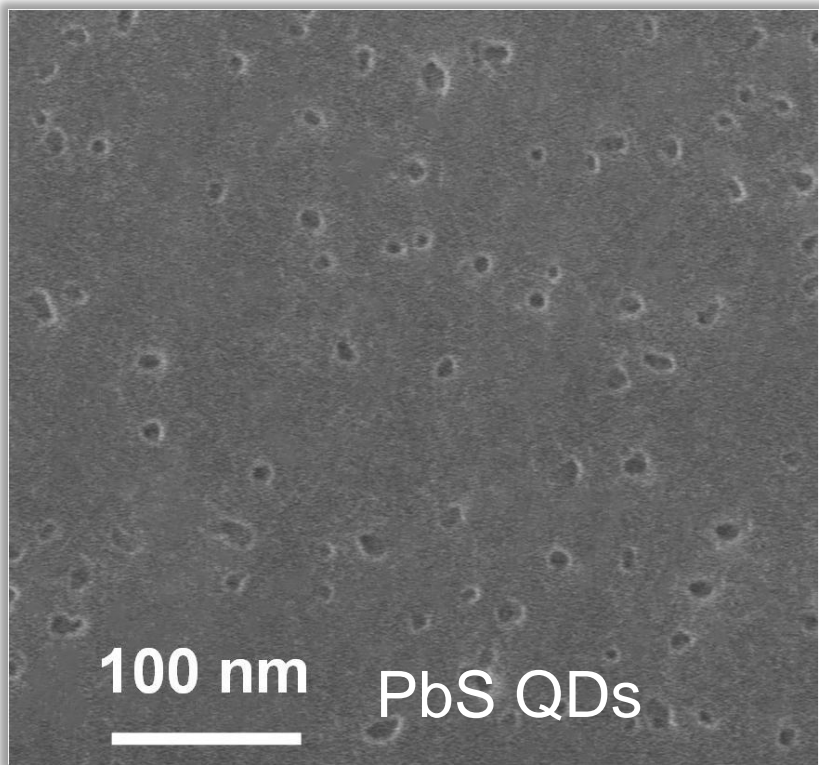
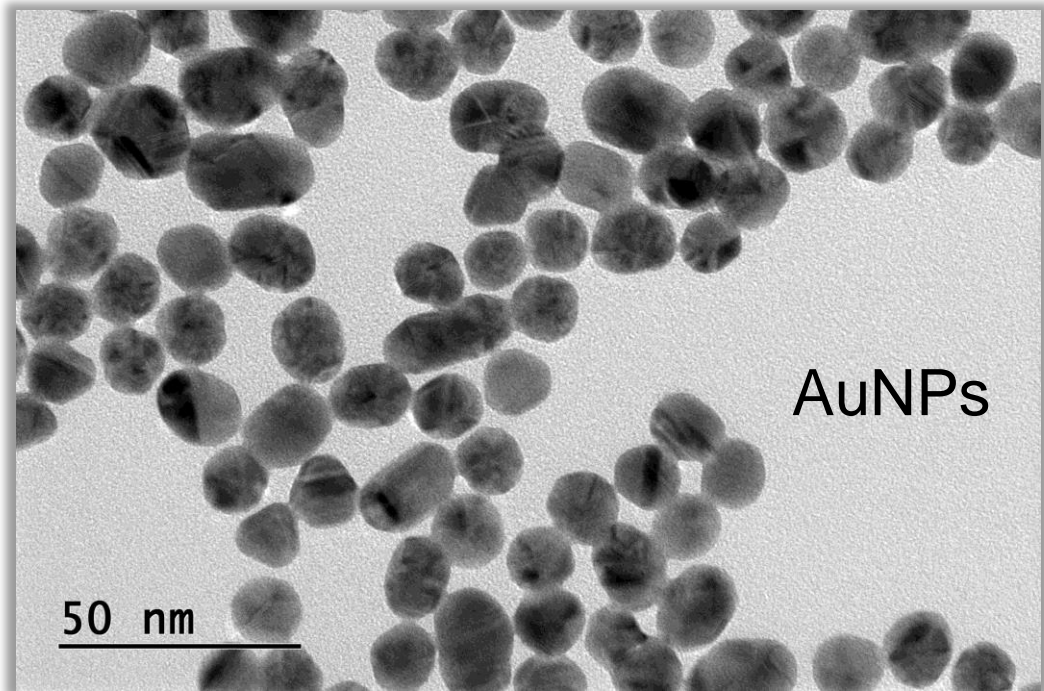




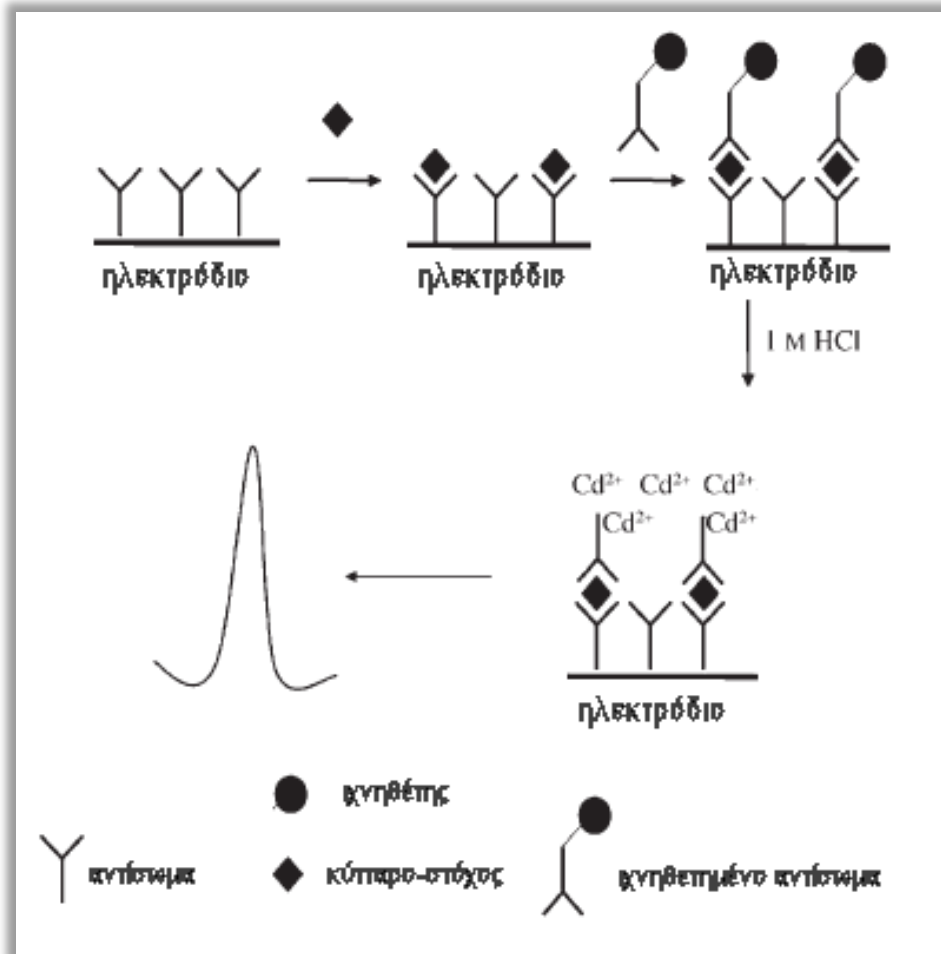
Η συμπληρωματικότητα αλληλουχίας βάσεων ή δομής μεταξύ ενός μορίου-ανιχνευτή (probe) και ενός μορίου-στόχου (target) έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό συμπλόκου ανιχνευτή-στόχου. Το σύμπλοκο στη συνέχεια μπορεί να μετρηθεί με κατάλληλα επισημασμένο ανιχνευτή (ραδιοϊσότοπα, ένζυμα, ή άλλοι ιχνηθέτες)

Νανοϋλικά ως ιχνηθέτες



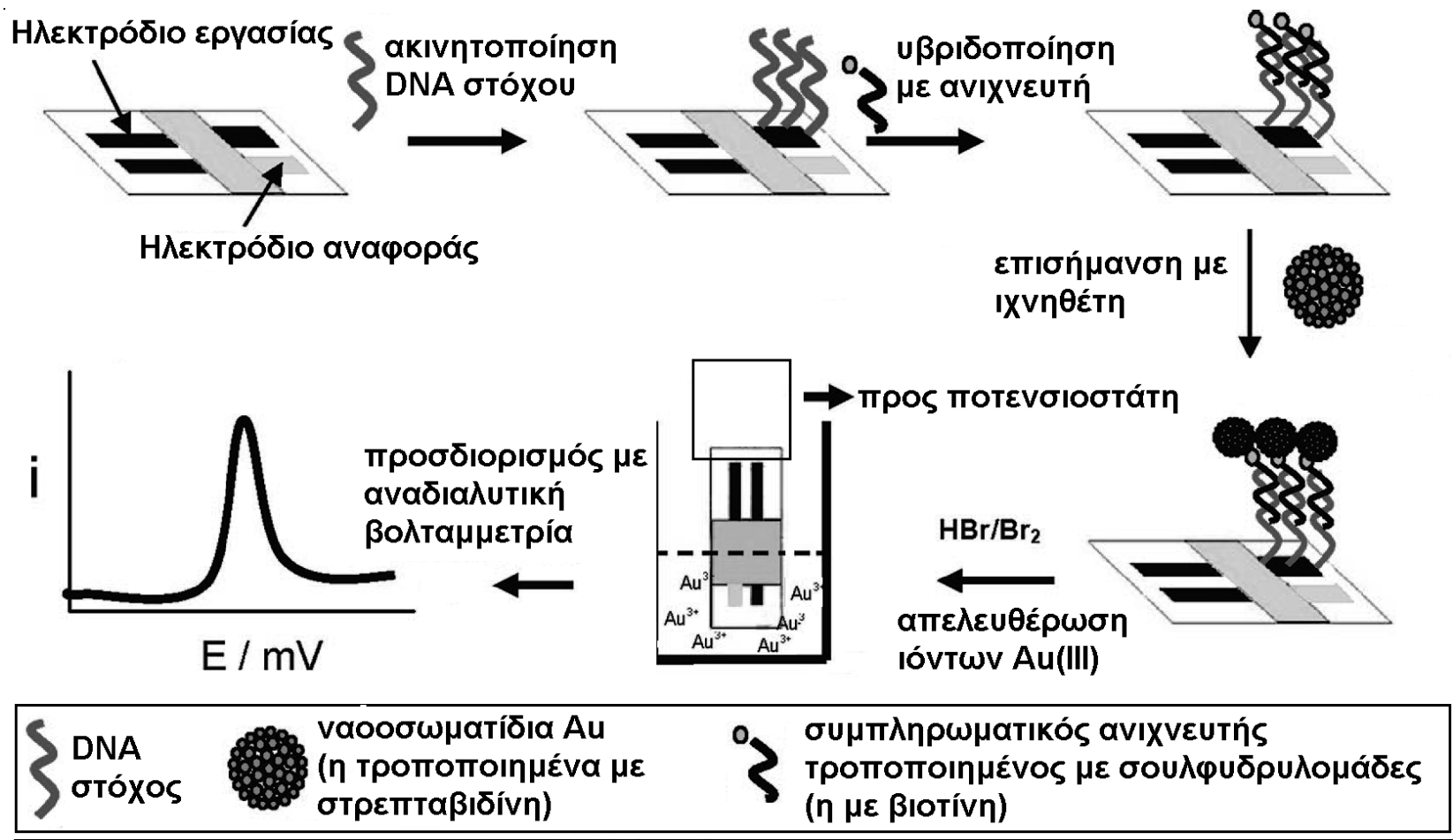


Βολταμμετρικοί ανοσοαισθητήρες ιχνηθετημένοι με νανοϋλικά



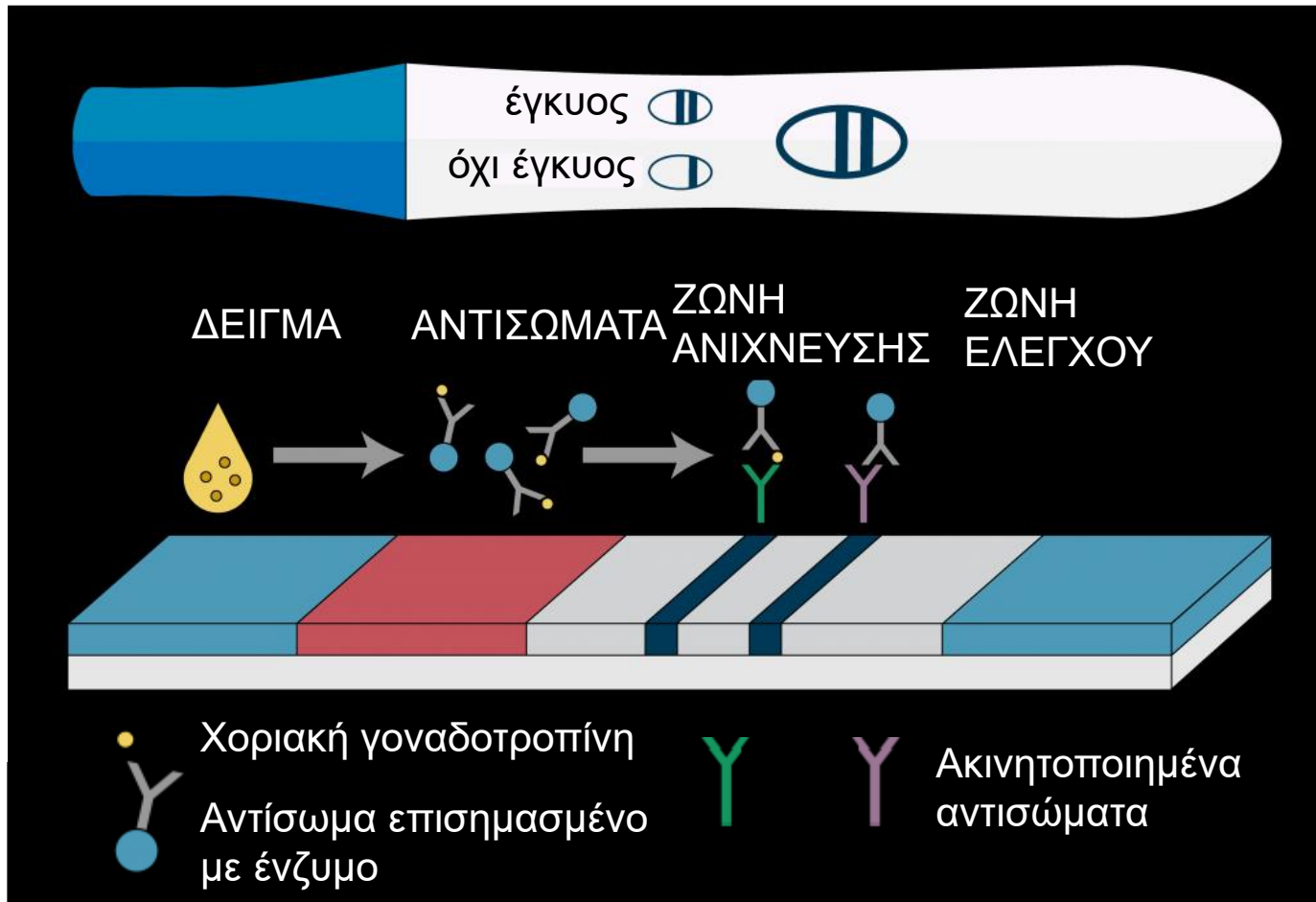
- Βασίζονται στην ακινητοποίηση αντισώματος σε ηλεκτρόδιο
- Προκαλείται βιοειδική αλληλεπίδραση με βιομόριο-στόχο
- Προκαλείται αλληλεπίδραση με αντίσωμα ιχνηθετημένο με κβαντικές κουκκίδες CdS
- Προσδιορίζεται το Cd με αναδιαλυτική βολταμμετρία

Βολταμμετρικοί βιοαισθητήρες DNA ιχνηθετημένοι με νανοϋλικά

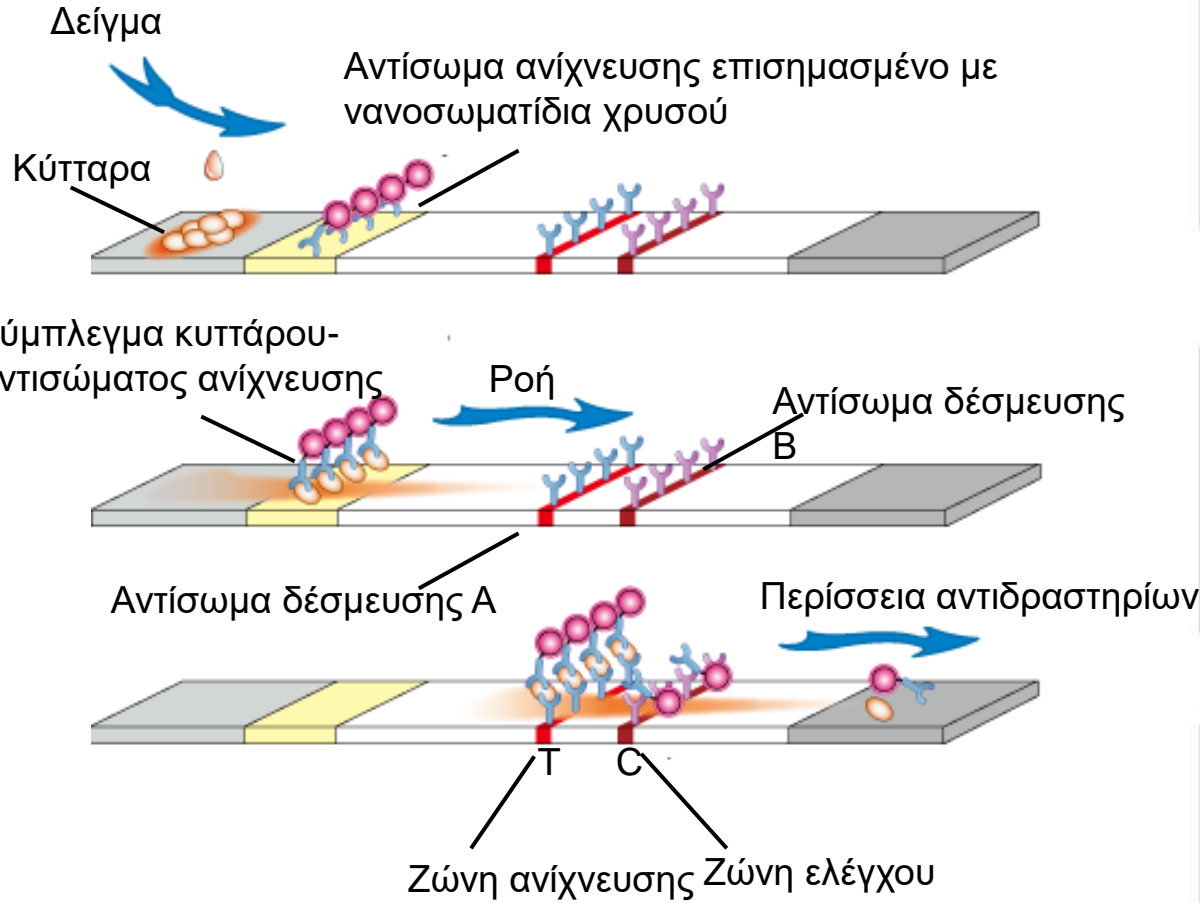


- Βασίζονται στην ακινητοποίηση DNA μονής έλικας σε ηλεκτρόδιο
- Προκαλείται υβριδισμός με συμπληρωματικό DNA ιχνηθετημένο με Au
- Προσδιορίζεται ο Au με αναδιαλυτική βολταμμετρία

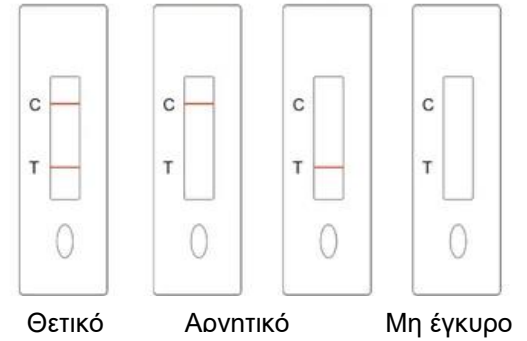
Τεστ εγκυμοσύνης



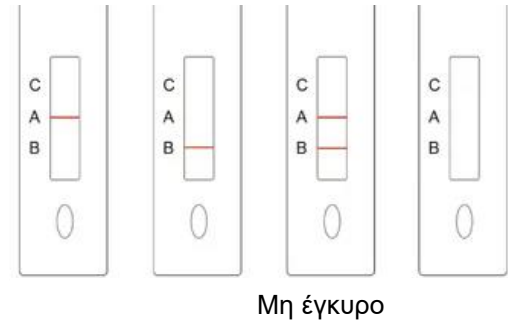
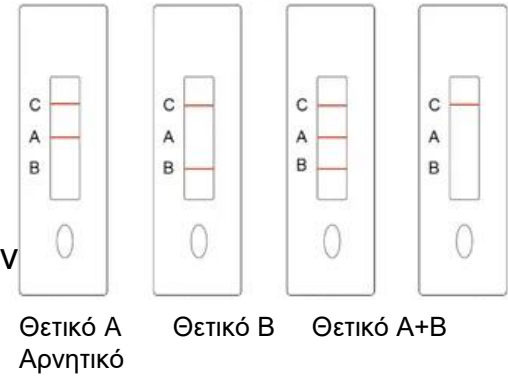
Τεστ COVID



SARS-CoV-2



Flu A+B



Προτεινόμενη βιβλιογραφία

- *Trends in Analytical Chemistry* 79 (2016) 88-105
- *Lab Chip* 18 (2018) 1812-1830
- *Annu. Rev. Anal. Chem.* 12 (2019)1-22
- *Electroanalysis* 27(2015) 562 - 572
- *Chem. Rev.*, 108 (2008) 814-825
- *Nature Biotechnology* 37 (2019) 389-406
- *Biosensors* 2023, 13(6), 630
- *RSC Adv.*, 2023,13, 22973-22997
- *Nature Medicine* (29) 2023,1623-1630