



ΕΘΝΙΚΟ
ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



Ηχοχημεία II

Ηχο-Ηλεκτροχημεία

Εφαρμογή των υπερήχων στην ηλεκτροχημεία

- Απλά πειράματα
 - Ηλεκτροχημικό κελί μέσα σε λουτρό υπερήχων
- Η ηλεκτροχημεία λειτουργεί με υπερήχους υψηλής ενέργειας
 - Το ηχόδιο χρησιμοποιείται ως κάθοδος
 - Και ως πομπός υπερήχων

Έντονη, τυρβώδης ροή → έντονη μεταφορά μάζας προς το ηλεκτρόδιο

Εφαρμογή των υπερήχων στην ηλεκτροχημεία

Φυσικές επιδράσεις των υπερήχων στην ηλεκτροχημεία:

- Ενισχυμένη μεταφορά μάζας λόγω ακουστικής μετάδοσης
 - $I_{lim} \sim P_w^{1/2}$ [1]
 - Μεταβολή του μηχανισμού από έλεγχο μεταφοράς μάζας σε έλεγχο μεταφοράς φορτίου [2]
 - Επιτάχυνση των αντιδράσεων στο ηλεκτρόδιο εργασίας
- Σπηλαίωση στην επιφάνεια
- Ενεργοποίηση και καθαρισμός των ηλεκτροδίων
- Η επιφάνεια του ηλεκτροδίου είναι μερικώς εμποδιζόμενη λόγω παρουσίας φυσαλίδων

[1] C. E. Banks et al., Phys. Chem. Chem. Phys. 6 (2004) 3147-3152

[2] M. E. Hyde, and R. G. Compton, J. Electroanal. Chem. 531 (2002) 19-24

Εφαρμογή των υπερήχων στην ηλεκτροχημεία

■ Προτερήματα

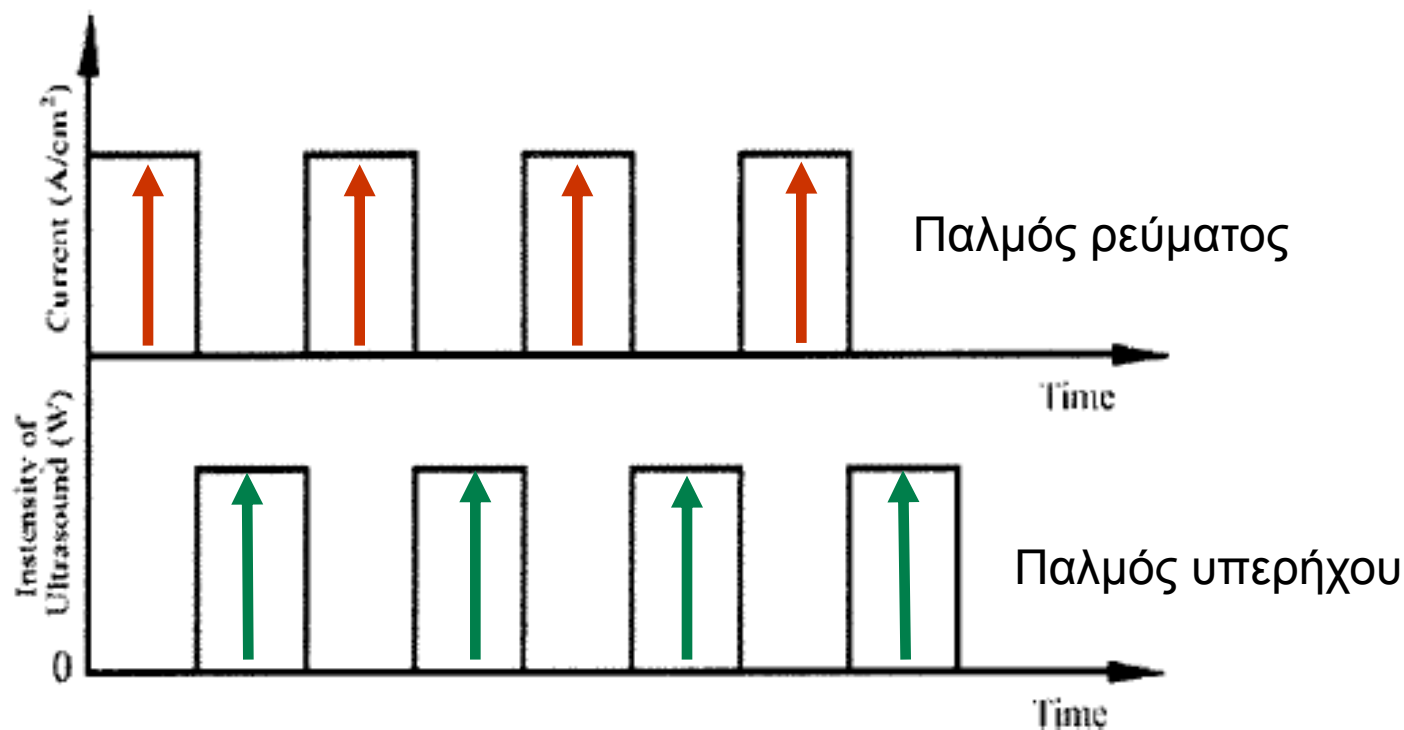
- Μέταλλα και κράμματα με βελτιωμένη ποιότητα, σκληρότητα, ομοιογένεια
- Αυξημένος ρυθμός εναπόθεσης
- Αποσυσσωμάτωση κεραμικών νανοσωματιδίων σε εναπόθεση μετάλλων/οξειδίων
- Μακροηλεκτρόδια εμφανίζοντα δράση μικροηλεκτροδίων
- Υψηλότερη ευαισθησία σε ηλεκτροαναλυτικές εφαρμογές
- Ηλεκτροχημική σύντηξη μεταλλικών νανοσωματιδίων (παλμική ηλεκτροχημεία)

Παλμική ηλεκτροηχοχημεία

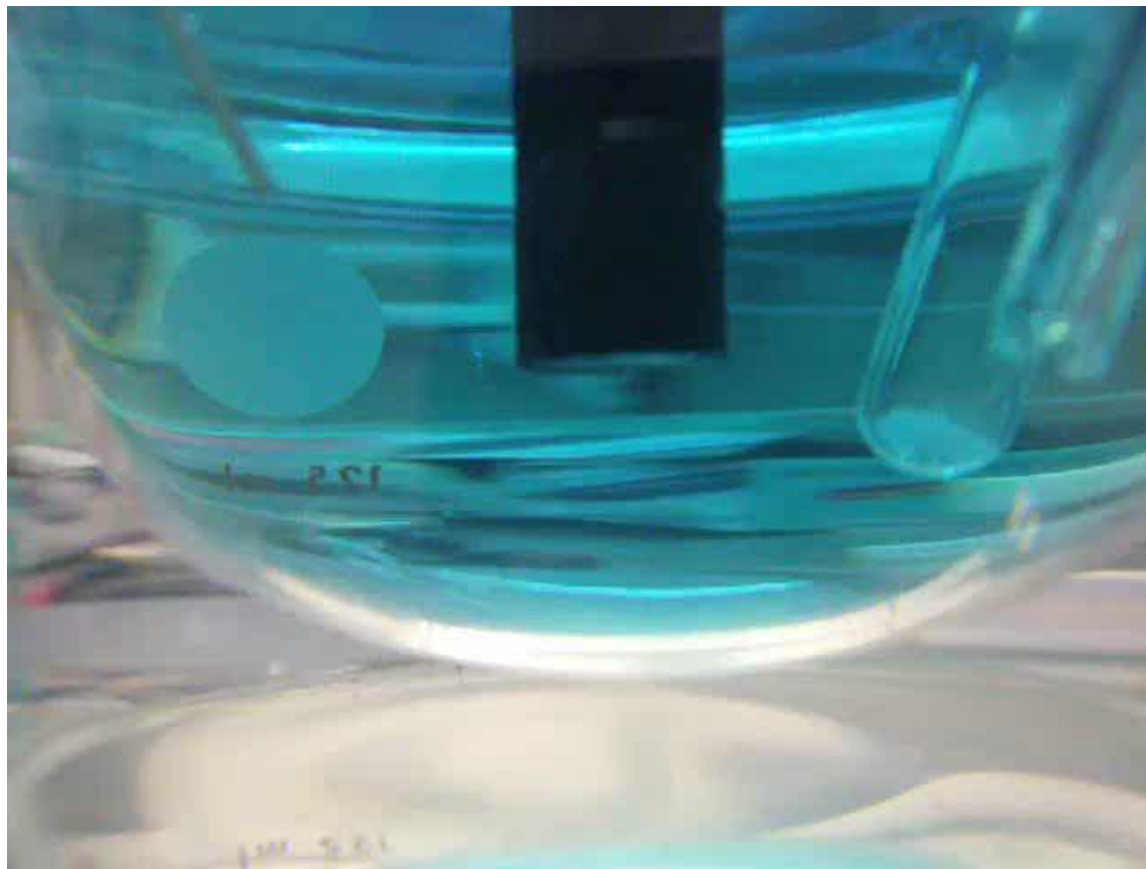
- Το ηχόδιο τιτανίου λειτουργεί ως ηλεκτρόδιο και πομπός υπερήχων
- Ο παλμός ηλεκτρικού ρεύματος ακολουθείται από παλμό υπερήχου
- Το επικαθήμενο υλικό αποκολλάται λόγω του παλμού υπερήχου και μπορεί να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία

sono(elec)trode

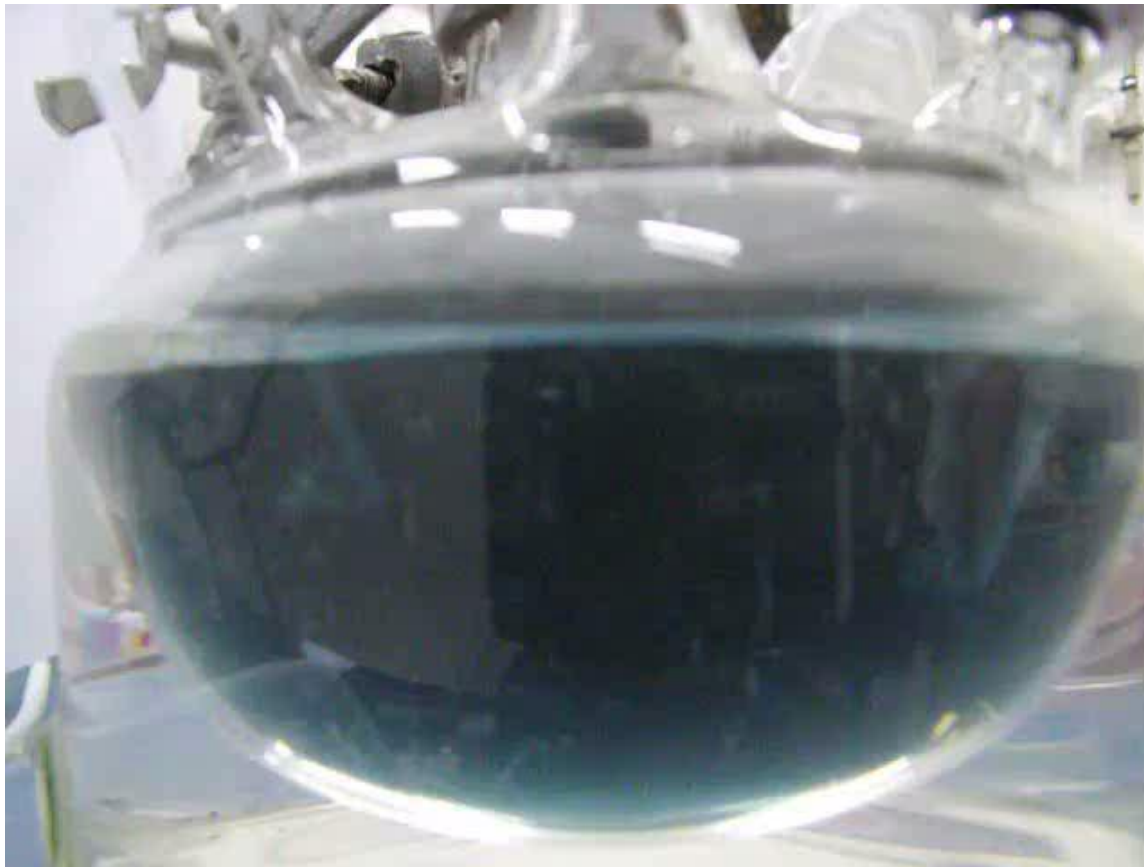
**Το μέγεθος των
σωματιδίων δεν
μεγαλώνει!**



Παλμική ηλεκτροηχοχημεία



Παλμική ηλεκτροηχοχημεία



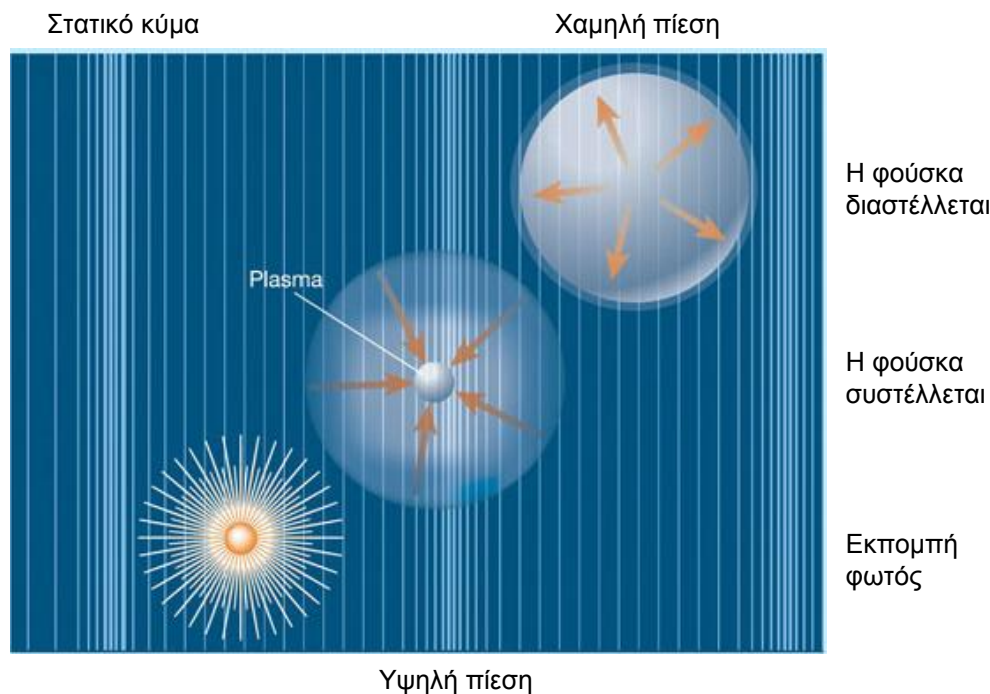
Πεδία εφαρμογών της ηλεκτροχημείας στην επιστήμη υλικών

- Προετοιμασία μεταλλικών υμενίων
- Προετοιμασία κεραμικών υμενίων μέσω
 - Ηλεκτροχημικής οξείδωσης μεταλλικού υποστρώματος
 - Επικάθιση από αιώρημα (ηλεκτροφορητική εναπόθεση)
- Προετοιμασία σύνθετων υμενίων
 - Συνεπικάθιση μετάλλων
 - Συνεπικάθιση μετάλλων και κεραμικών κόνεων
 - Υμένια οξειδίων με μεταλλικά στοιχεία προσθήκης (ακινητοποίηση και προστασία καταλυτών)
 - Προετοιμασία μεταλλικών νανοσωματιδίων με συνδιασμό ηλεκτροχημείας και ηχοβόλησης
- ...

Πεδία εφαρμογών

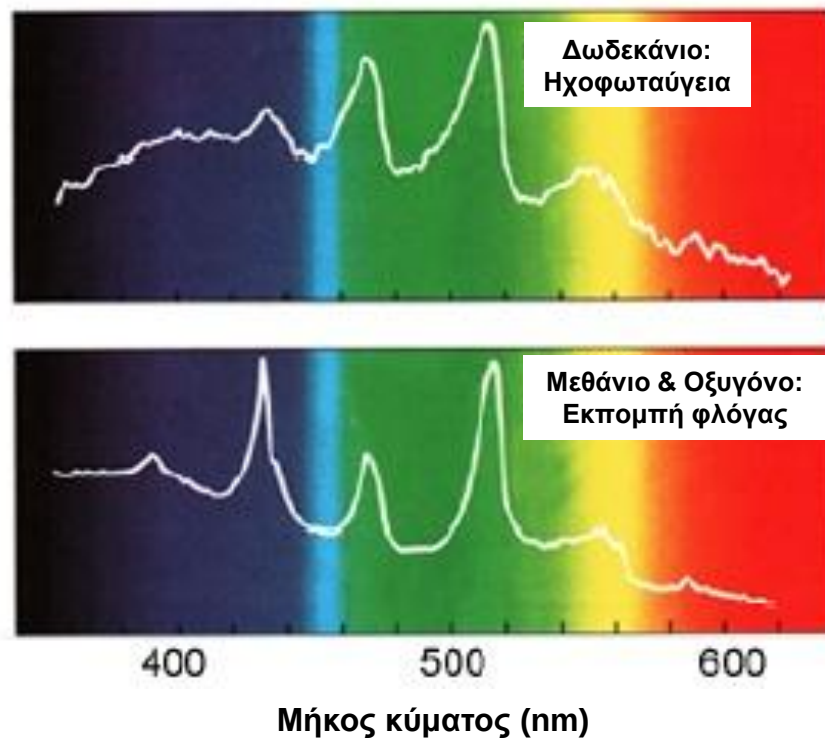
- Βιολογία, βιοχημεία-ομογενοποίηση και διάρρηξη κελιών
 - Ιατρική: διαγνωστική και θεραπευτική
 - Οδοντιατρική: καθαρισμός και τρύπημα δοντιών
 - Γεωγραφία: γεολογικές τεχνικές παλμού/ηχούς για μετρήσεις θέσης/βάθους
 - Βιομηχανία: Διασπορά υγρών/στερεών, καθαρισμός και απολίπανση
 - Μηχανική: διάτρηση, λείανση, κοπή, συγκόλληση...
 - Χημεία: υπέρηχοι υψηλής ενέργειας προσφέρουν μορφές ενέργειας για την μεταβολή χημικής αντίδρασης
- Ηχοχημεία

Ηχοφωταύγεια (sonoluminescence)



Επακόλουθο των εξαιρετικά υψηλών θερμοκρασιών που δημιουργούνται κατά την διάρρηξη μιας φυσαλίδας. Το αέριο περιεχόμενο της φούσκας ιονίζεται μερικώς με επακόλουθο την ανασύνταξη ηλεκτρονίων και ιόντων η οποία οδηγεί στη έκληση φωτός.

Ηχοφωταύγεια



Υγρό που υπόκειται στη δράση υπερήχων:
τοπική θέρμανση προκαλεί διεγερμένη κατάσταση των μορίων
και κατ' επέκταση φως (όπως και σε μια φλόγα).

Παράμετροι επηρεασμού της σπηλαίωσης (cavitation)

1. Ιδιότητες εξοπλισμού

- Ένταση ηχοβόλησης (αύξηση ως τον βέλτιστο βαθμό)
- Συχνότητα ηχοβόλησης (ιδιοσυχνότητα 'f' της γεννήτριας)

2. Ιδιότητες υγρής φάσης

- Τάση ατμών (χαμηλές πιέσεις)
- Ιξώδες (»)
- Θερμοκρασία (»)
- Επιφανειακή τάση (»)

3. Φύση του διαλελυμένου αερίου

- Πολυτροπική σταθερά (μονοατομικά αέρια)
- Θερμική αγωγιμότητα (χαμηλές τιμές)
- Διαλυτότητα (»)

Η ηχοχημεία στην επιστήμη των νανοϋλικών

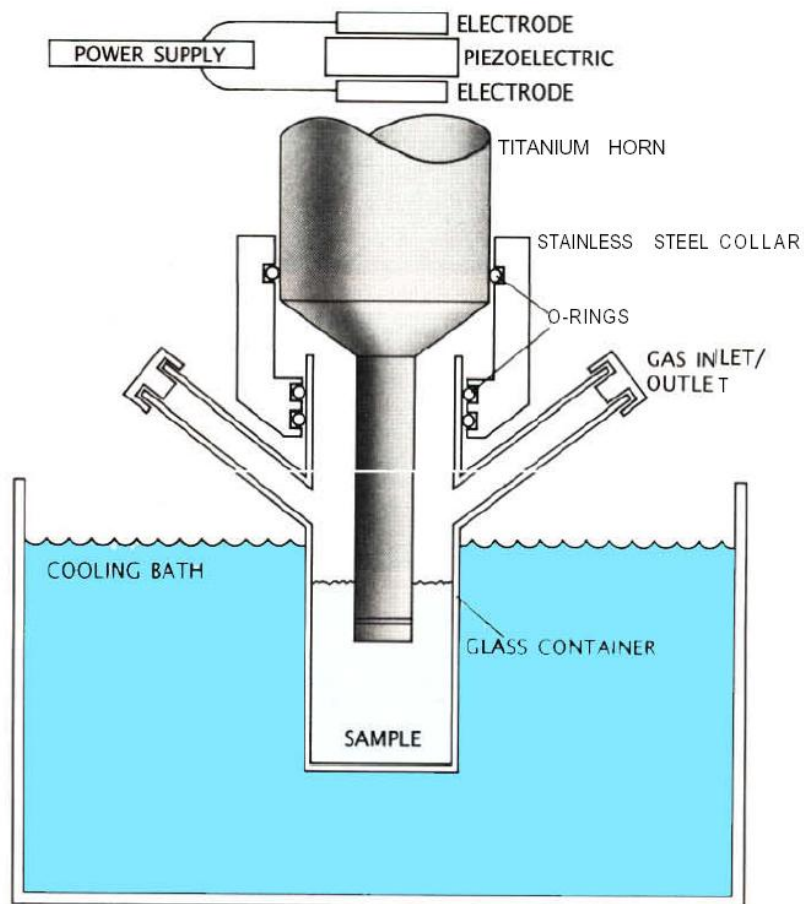
- Η νανοτεχνολογία δίνει τη δυνατότητα εξασφάλισης νέων ιδιοτήτων χρησιμοποιώντας παλαιά κα ιγνωστά υλικά, ελλατώνοντας το μέγεθος σωματιδίων.
- Ελλάτωση του μεγέθους σωματιδίων οδηγεί σε δραματικές αλλαγές των φυσικών τους συμπεριφορών.
- Τα νανოსωματίδια μετάλλων έχουν μοναδικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, όπως καταλυτικές, οπτικές, ηλεκτρονικές και μαγνητικές ιδιότητες.
- Οι εξαιρετικές συνθήκες που επιτυγχάνονται στα πλαίσια της ακουστικής σπηλαίωσης (cavitation) επιτρέπουν αστραπιαίους ρυθμούς αντιδράσεων και τη δημιουργία πολλαπλών σημείων πυρηνοποίησης, κάτι το οποίο οδηγεί στη δημιουργία των νανοςωματιδίων.
- Η ηχοχημεία αποτελεί ένα δυνατό εργαλείο προετοιμασίας μιας νέας γενιάς νανοϋλικών

Περιοχές εφαρμογής ηχοχημικών τεχνικών

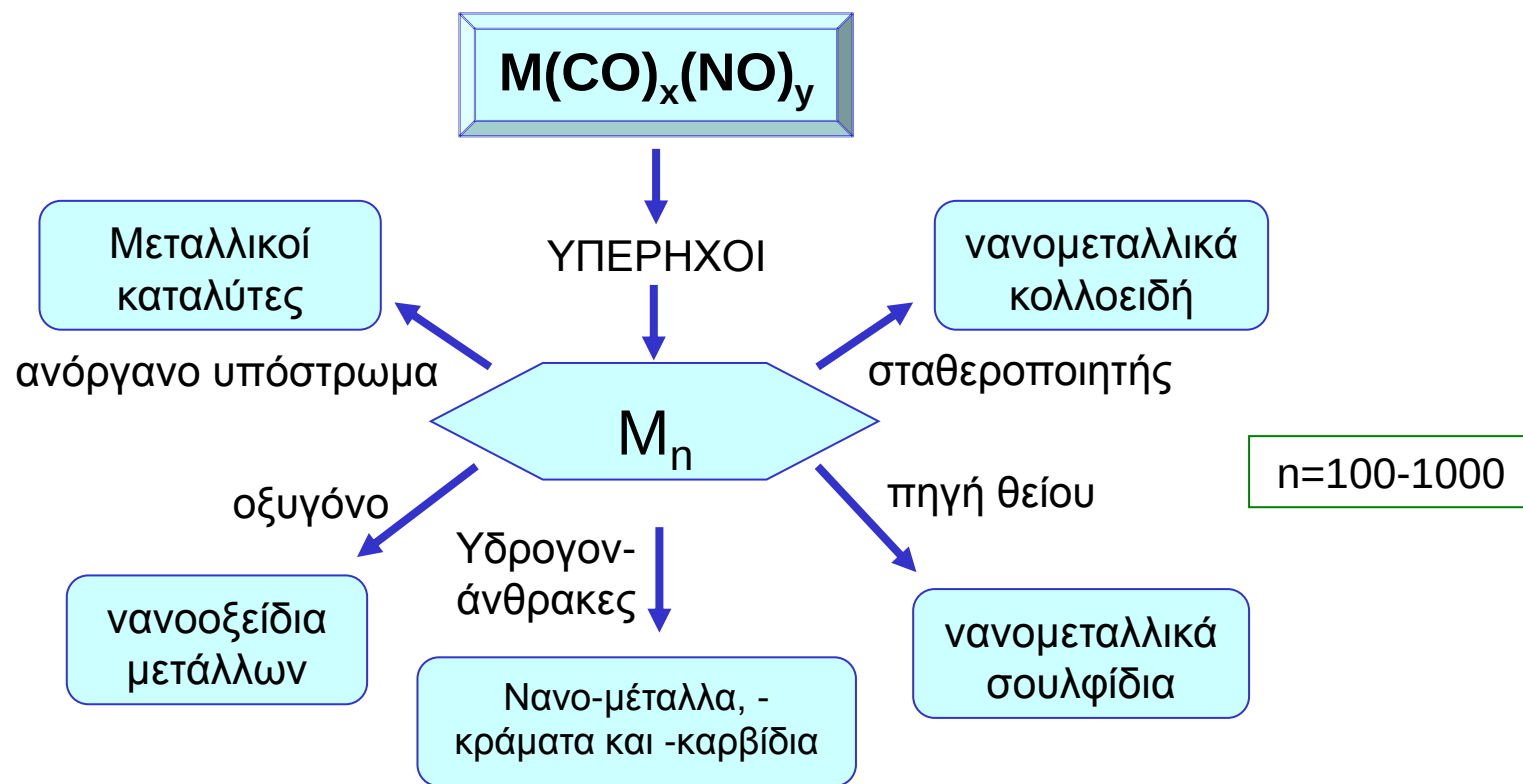
Που επιδικνύει υπεροχή η ηχοχημεία:

- Προετοιμασία άμορφων προϊόντων (μέταλλα, κράματα και μεταλλικά οξείδια)
- Σύνθεση μεσοπορώδων υλικών και εισαγωγή νανοϋλικών εντός αυτών
- Εναπόθεση νανοϋλικών σε κεραμικές και πολυμερικές επιφάνειες

Τυπικός εξοπλισμός ηχοχημείας

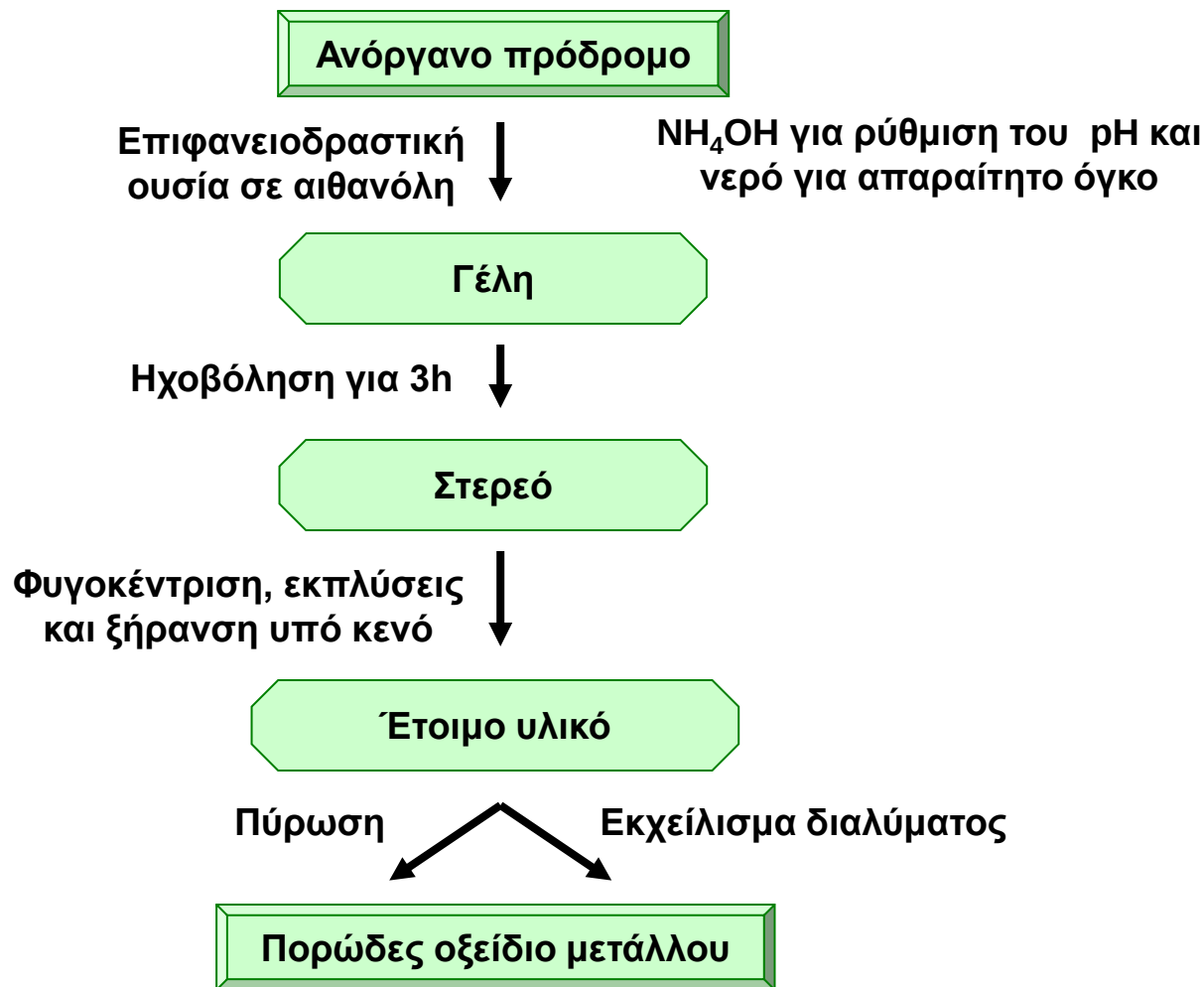


Σύνθεση νανοσχηματισμένων ανόργανων υλικών

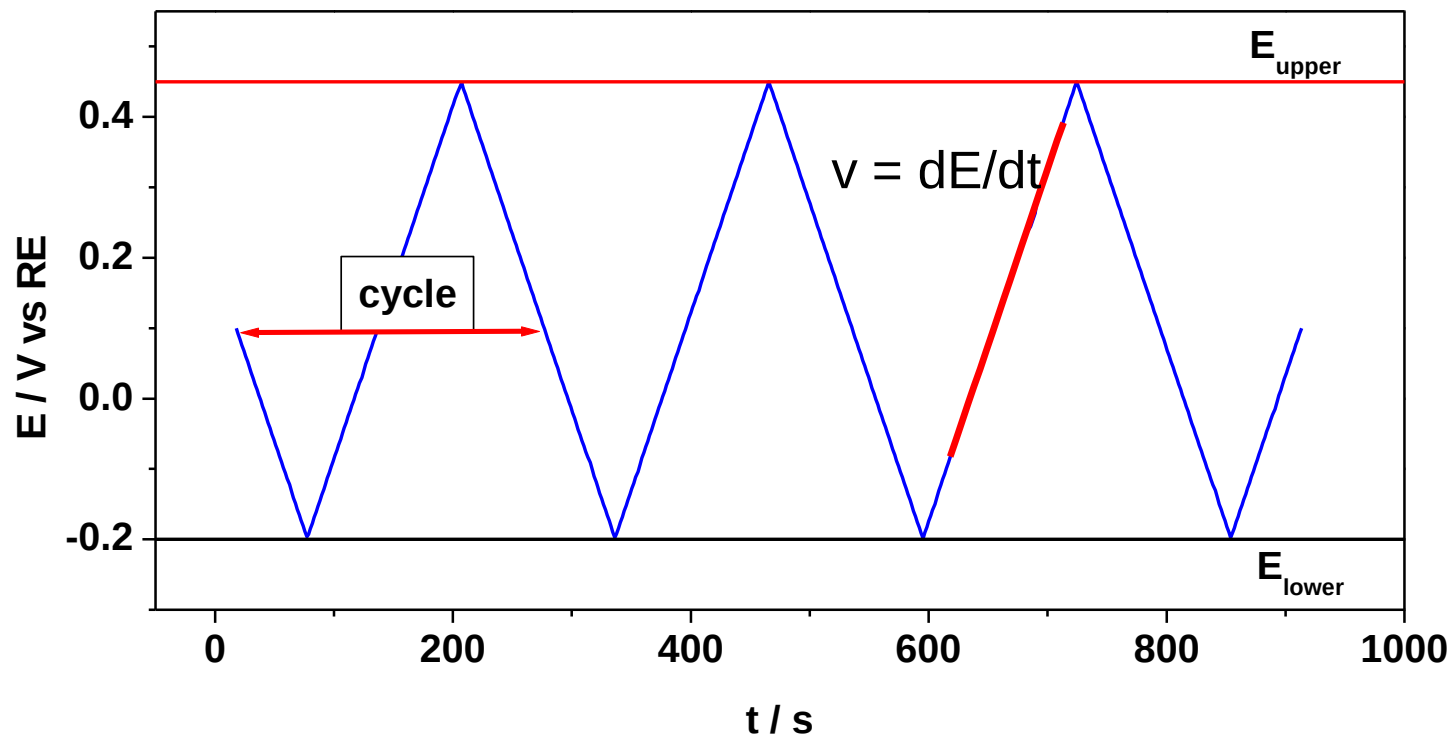


Οι ηχοχημικές αντιδράσεις καρβονυλίων μετάλλων (volatile transition metal carbonyls) έχουν αποδειχθεί ως μια γενική προσέγγιση προς τη σύνθεση νανοσχηματισμένων υλικών.

Σύνθεση πορώδων μεταλλικών οξειδίων



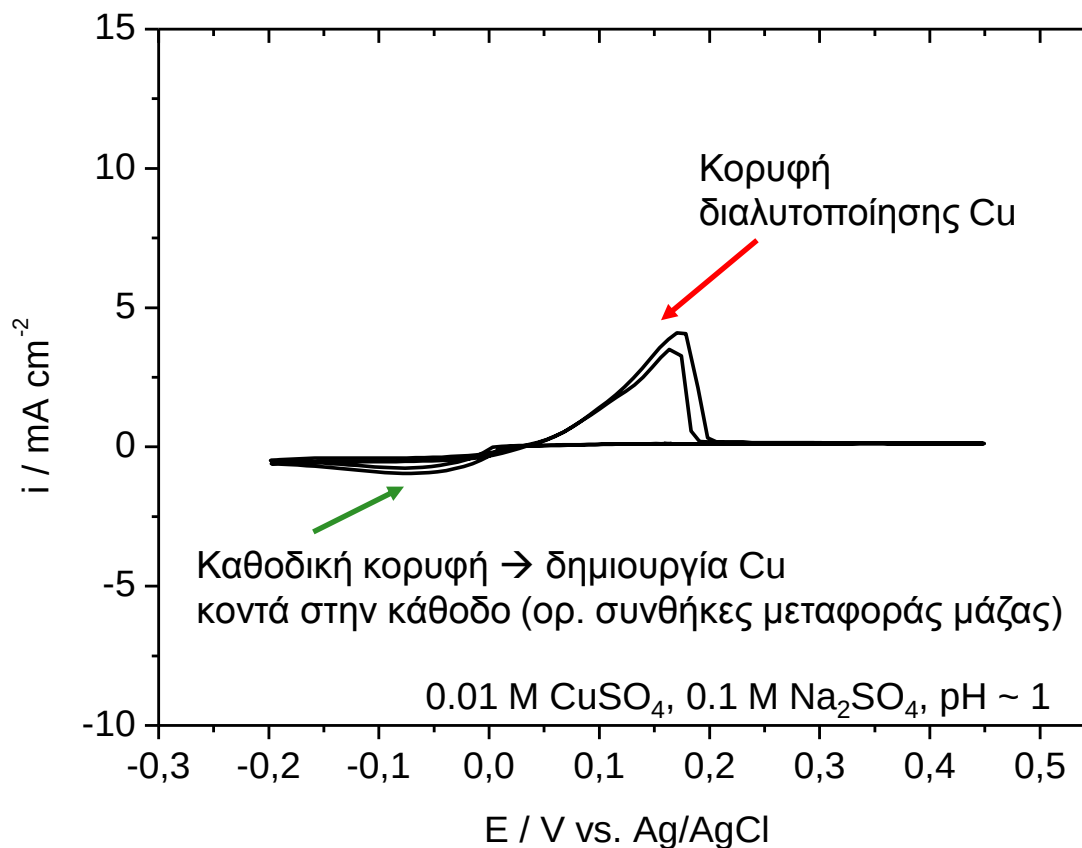
Εφαρμογές των υπερήχων στην ηχοχημεία



Στην **κυκλική βολταμετρία** το δυναμικό του ηλεκτροδίου εργασίας μετράται με το χρόνο (με βάση ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς) **μεταξύ δύο ορίων δυναμικού**, ακολουθώντας μια τριγωνική συνάρτηση.

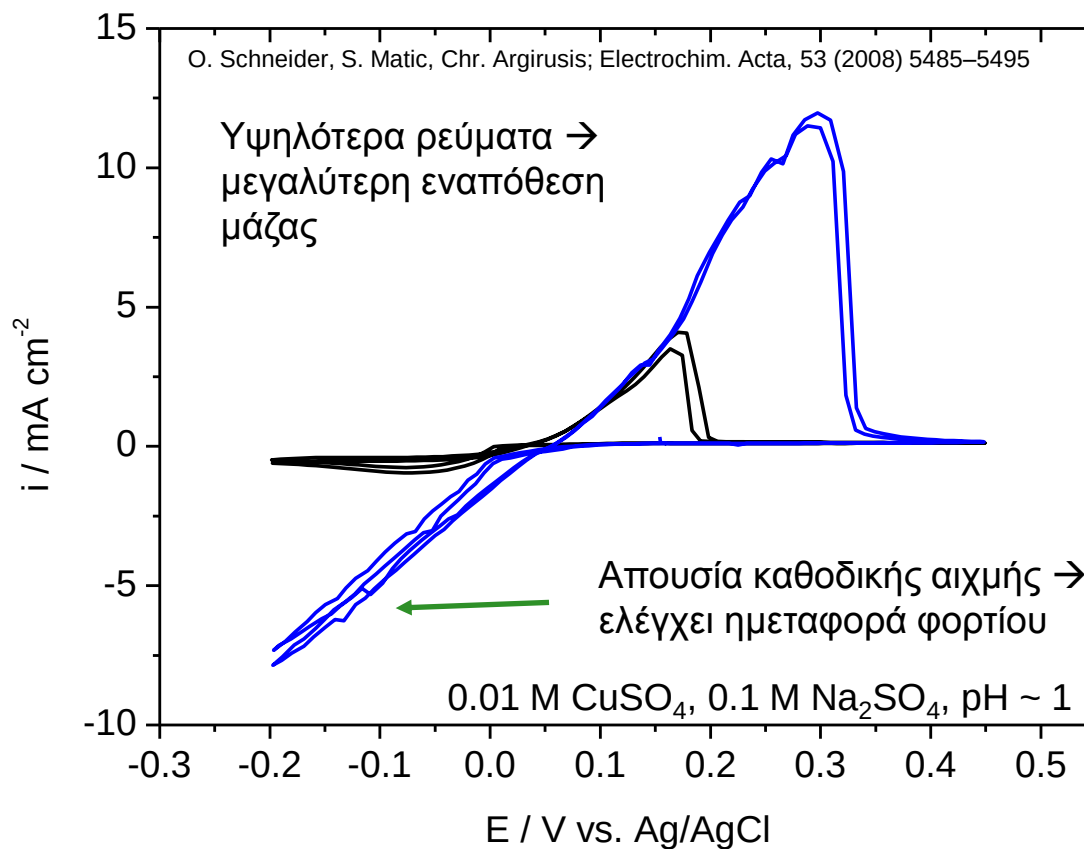
Εφαρμογές των υπερήχων στην ηχοχημεία

Παράδειγμα επιτάχυνσης του ρυθμού: **απουσία ηχοβόλησης**



Εφαρμογές των υπερήχων στην ηχοχημεία

Παράδειγμα επιτάχυνσης του ρυθμού: με ηχοβόληση



Όμοιες παρατηρήσεις
στην περίπτωση
ηλεκτροαπόθεσης σε
συνδιασμό με την
ηχοβόληση για ένα
αριθμό διαφόρων
μετάλλων.

Αρχές του ηλεκτροχημικού μικροζυγού κρυστάλλου χαλαζία

Electrochemical Quartz Crystal Microbalance

Πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο

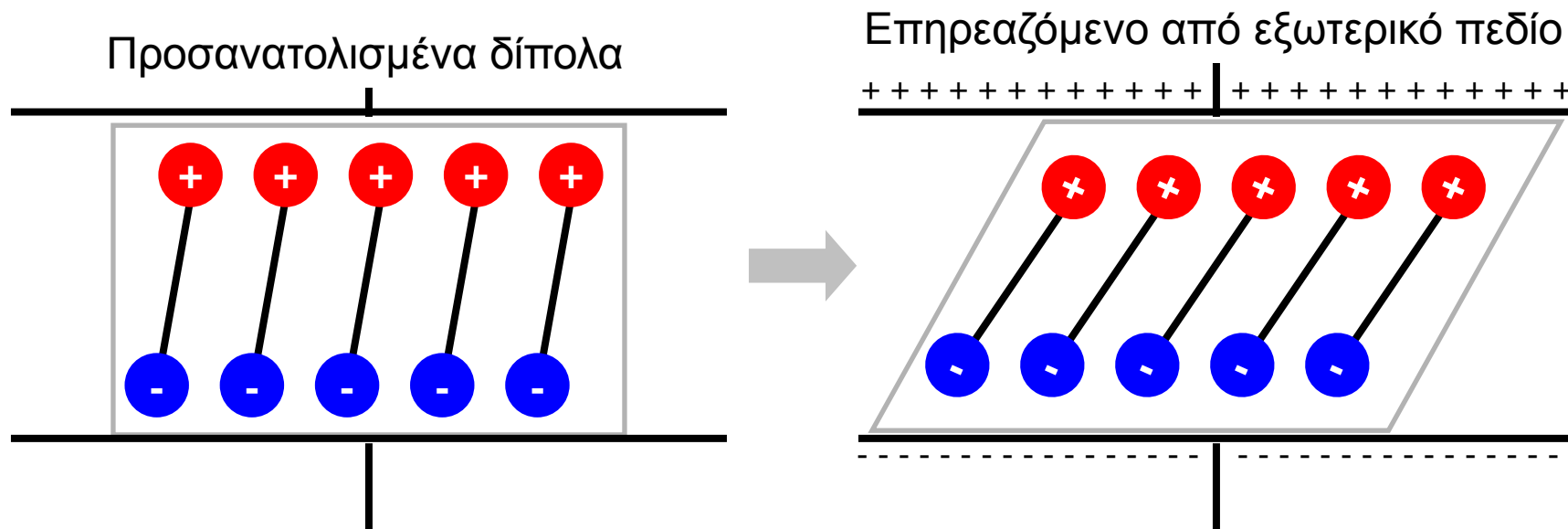
Μηχανική παραμόρφωση του κρυστάλλου → Διαφορά δυναμικού

Αντίθετο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο

Διαφορά δυναμικού → Μηχανική παραμόρφωση του κρυστάλλου

Εναλλασσόμενη τάση → Μηχανική ταλάντωση του κρυστάλλου

Αρχές του ηλεκτροχημικού μικροζυγού κρυστάλλου χαλαζία



- Για τομές του κρυστάλλου διαμορφωμένες κατά συγκεκριμένες κρυσταλλογραφικές διευθύνσεις, η δημιουργία διατμητικών (ακουστικών) κυμάτων μεταδίδονται κατά την κάθετη διεύθυνση του κρυστάλλου
- Ανακλάσεις των κυμάτων στα περατωτικά όρια του κρυστάλλου (συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτροδίων)
- Για δεδομένο πάχος (κρύσταλλος + ηλεκτρόδια) αναπτύσσονται στατικά κύματα στην ιδιοσυχνότητα. Πιθανές είναι οι υψηλότερες (ασύμμετρες) αρμονικές.

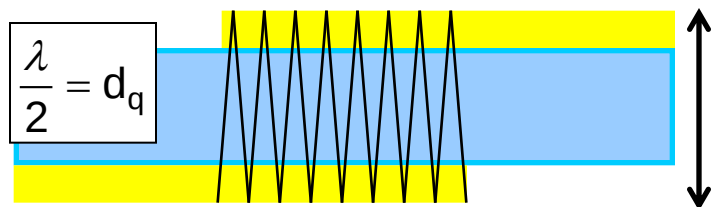
D. A. Buttry, M. D. Ward; Chem. Rev. **92** (1992) 1355 - 1379

Αρχές του ηλεκτροχημικού μικροζυγού κρυστάλλου χαλαζία

Υλικά (κυρίως μονοκρύσταλλοι):

- Χαλαζίας
- LiNbO_3
- $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ (Langasite)
- GaPO_4

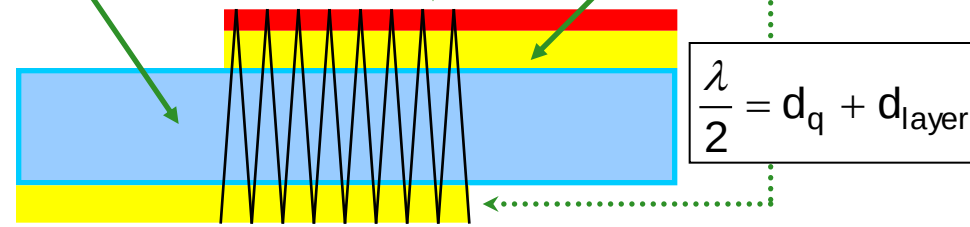
Μονοκρύσταλος χαλαζία,
κομμένος κατά την διεύθυνση "ΑΤ"
Πάχος: 169μm (10 MHz)



$$f_0 = \frac{1}{2d_q} \sqrt{\frac{\mu_q}{\rho_q}}$$

Ηλεκτροαποθετημένο
υμμένιο

Ηλεκτρόδια χρυσού
Πάχος: ~100nm



Αρχές του ηλεκτροχημικού μικροζυγού κρυστάλλου χαλαζία

Εξίσωση Sauerbrey:

- Επιτρέπει τον υπολογισμό μάζας του εναποθετημένου υμμενίου μέσω των μεταβολών συχνότητας
- Ισχύει μόνο για λεπτά υμμενία, ακουστικά
- Προϋποθέτει συνθήκες μη ολίσθησης
- Προβλήματα με αδρά/βισκοελαστικά στρώματα

$$\Delta f = -\frac{2f_0^2}{Z_Q} \rho L = -\frac{2f_0^2}{Z_Q} \frac{\Delta m}{A} = -\frac{2f_0^2}{\sqrt{\mu_q \rho_q}} \frac{\Delta m}{A}$$

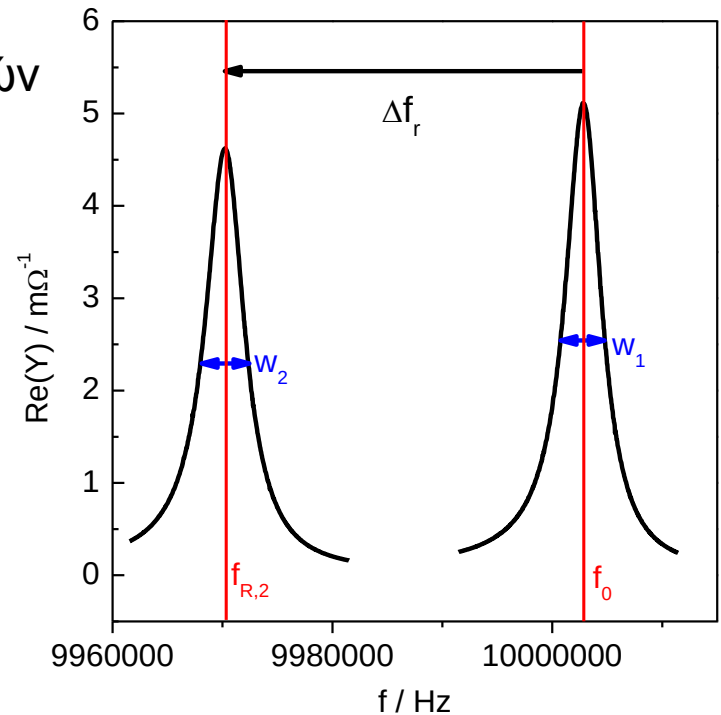
Δf : frequency difference before and after deposition

Z_Q : mechanical impedance = $8.854E5 \text{ gcm}^{-2}\text{s}^{-1}$

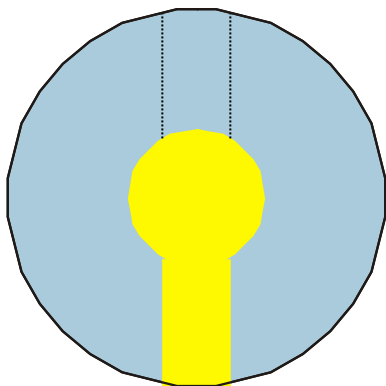
μ_q : shear modulus

ρ_q : density of the quartz

$\Delta m/A$: mass density



Αρχές του ηλεκτροχημικού μικροζυγού κρυστάλλου χαλαζία

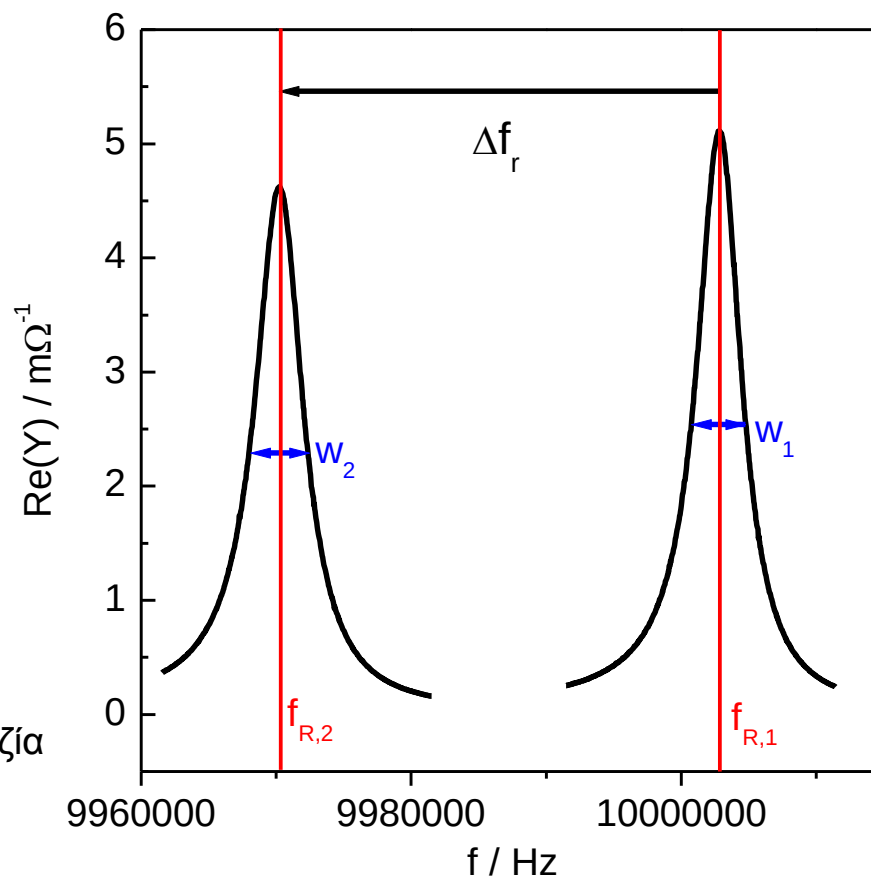


Εξίσωση Sauerbrey:

$$\Delta f = -\frac{2f_0^2}{Z_Q} \rho L = -\frac{2f_0^2}{Z_Q} \frac{\Delta m}{A}$$

ω: ενεργειακές απώλειες του κρυστάλλου χαλαζία λόγω της βισκοελαστικής του συμπεριφοράς η τραχύτητας της επιφανείας.

- Αν $\omega > 10\%$ τότε η εξίσωση δεν είναι πλέον ακριβής
- Η μιγαδική μετατόπιση συχνότητας Δf^* παρέχει χαρακτηριστικότερη εικόνα του χαλαζία



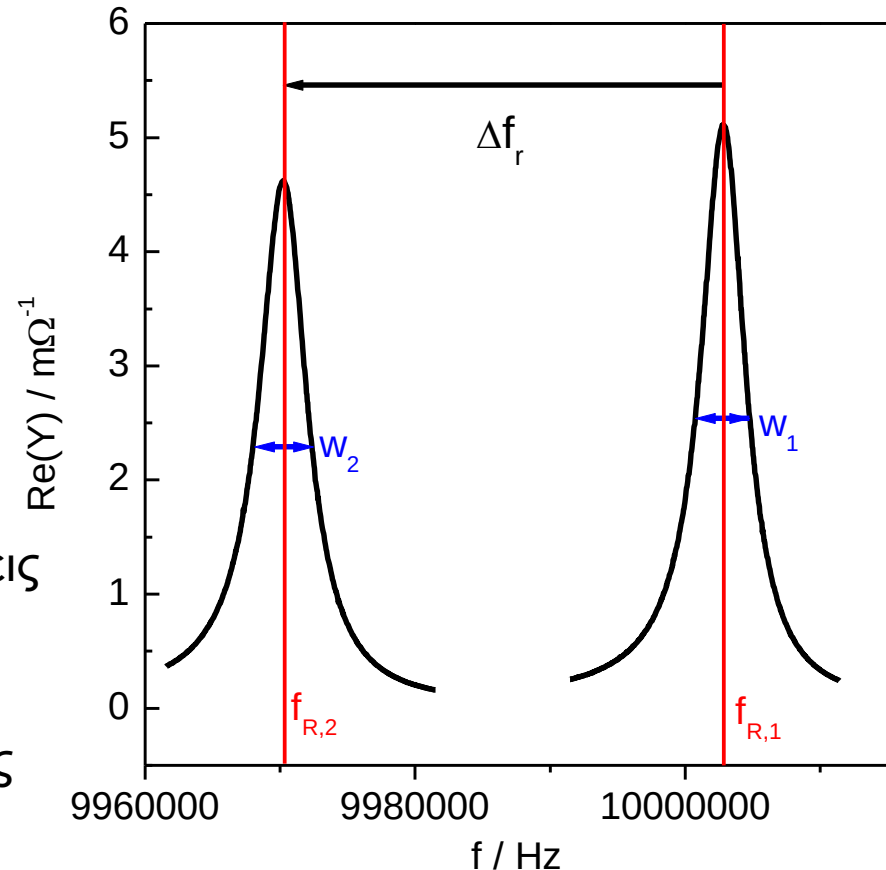
$$\Delta f^* = (f_{R,2} - f_{R,1}) + i/2(w_2 - w_1)$$

Αρχές του ηλεκτροχημικού μικροζυγού κρυστάλλου χαλαζία

Μετρητικές λειτουργίες:

- **Ενεργός μέτρηση:**
Κύκλωμα ταλαντωτή και μετρητής συχνοτήτων
- **Παθητική μέτρηση:**
Μέτρηση της εμπέδησης Z ή αγωγιμότητας Y ($=1/Z$) μεταξύ των ηλεκτροδίων χρυσού κοντά στις φάσεις ιδιοσυχνότητας

Το πραγματικό μέρος της αγωγιμότητας $\text{Re}(Y)$ εμφανίζεται ως λορεντζιανή καμπύλη.



Σε όλα τα πειράματα της παρουσίασης εφαρμόζεται η παθητική μέτρηση.

Στόχοι

- Παρουσιάζεται η εφαρμοσιμότητα της τεχνικής του EQCM σε ένα ηχοχημικό πεδίο το οποίο δημιουργείται από ένα ηχόδιο για την ηλεκτραπόθεση χαλκού
- Ηλεκτραπόθεση λεπτών υμενίων και στρωμάτων Ni/δημητρίας και Co/δημητρίας καταλλήλων για εφαρμογές κελιών καυσίμου
- Μελέτη της αποτελεσματικότητας των υπερήχων κατά την ενσωμάτωση της δημητρίας χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθόδους ηλεκτροχημικής απόθεσης και διαφορετικές συστάσεις ηλεκτρολυτών
- Εφαρμογή του EQCM ώστε να αποκομισθούν πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την επίδραση του υπερήχου αλλά και της συμμετοχής της δημητρίας στην ηλεκτροχημική διαδικασία.

Προτερήματα του EQCM

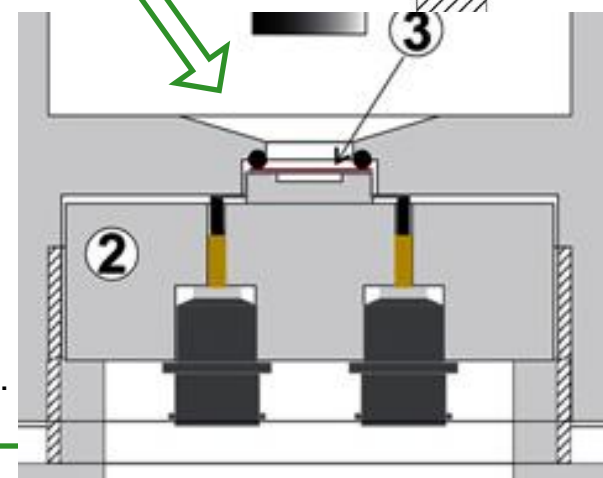
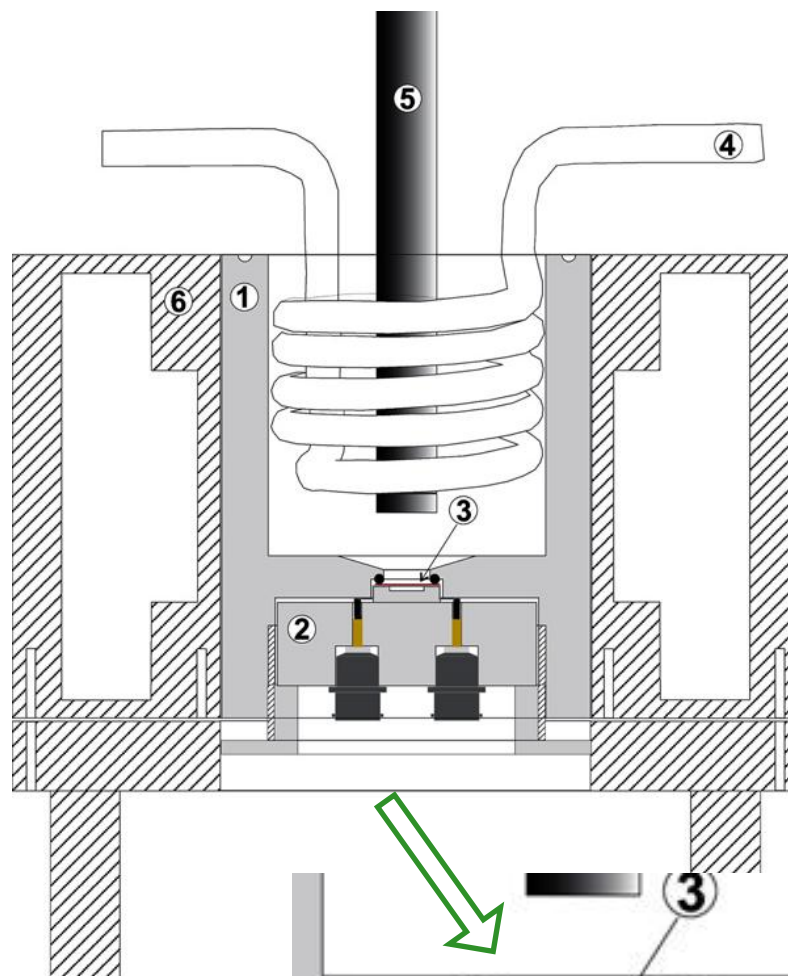
- Προσδιορισμός των μεταβολών μάζας επί του ηλεκτροδίου παράλληλα με τις ηλεκτροχημικές μετρήσεις
- Μετά από σύγκριση μεταξύ του συνολικού ηλεκτρικού φορτίου και της μάζας που εναποτίθεται στο ηλεκτρόδιο είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων για:
 - Το είδος των εναποθετημένων στοιχείων
 - Απόδοση του συνολικού ρεύματος
 - Διαδικασίες ανταλλαγής ιόντων
 - Μηχανισμοί

Πειραματική διάταξη

- Αναλυτής φάσματος Agilent 5100 A
- Solartron 1287 Electrochemical Interface
- Zahner IM5
- Πομπός υπερήχων VCX-750
- Για το χαρακτηρισμό των δειγμάτων:
 - Οπτική μικροσκοπία
 - SEM
 - Electron probe microanalysis (EPMA)

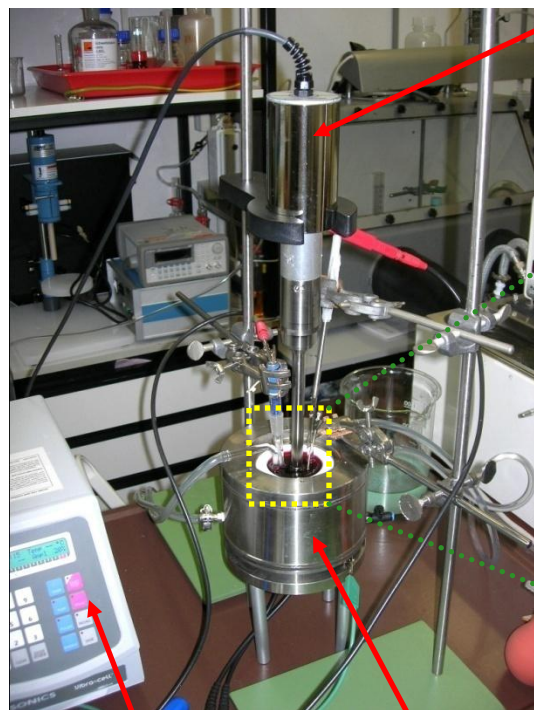
Πειραματική διάταξη

1. Το σώμα του κελιού ειδικά διαμορφωμένο από Teflon
2. Τμήμα ηλεκτρικής επαφής: δύο βύσματα BNC με φύλλο Pt κολλημένο σε αυτά ώστε να προσφέρεται επαφή στο ηλεκτρόδιο χαλαζία
3. Χαλαζίας EQCM 10 MHz σφραγισμένο από την κάτω πλευρά με O-ring. Το ηλεκτρόδιο εργασίας ενώνεται αγώγιμα με την κάτω πλευρά του χαλαζία μέσω πάστας Ag.
4. Σπείρωμα θερμοστάτισης από γυαλί.
5. Το κατώτερο τμήμα του ηχοδίου σε παράλληλία με τον κρύσταλλο EQCM και απόσταση 22mm
6. Μανδύας ψήξης από ανοξείδωτο χάλυβα, ο οποίος συγκρατεί το κελί



Το ηλεκτρόδιο αναφοράς, Ag/AgCl, και το αντίθετο ηλεκτρόδιο, Cu ή Ti/Pt, (μη εμφανή εδώ) εισάγονται από το άνω μέρος. Το ηλεκτρόδιο αναφοράς πρέπει να είναι αρκούντως χαμηλά έτσι ώστε το ηχόδιο να μην παρεμβάλλεται μεταξύ αυτού και του χαλαζία.

Πειραματική διάταξη



Πιεζοηλεκτρικός
πομπός και
ενισχυτής

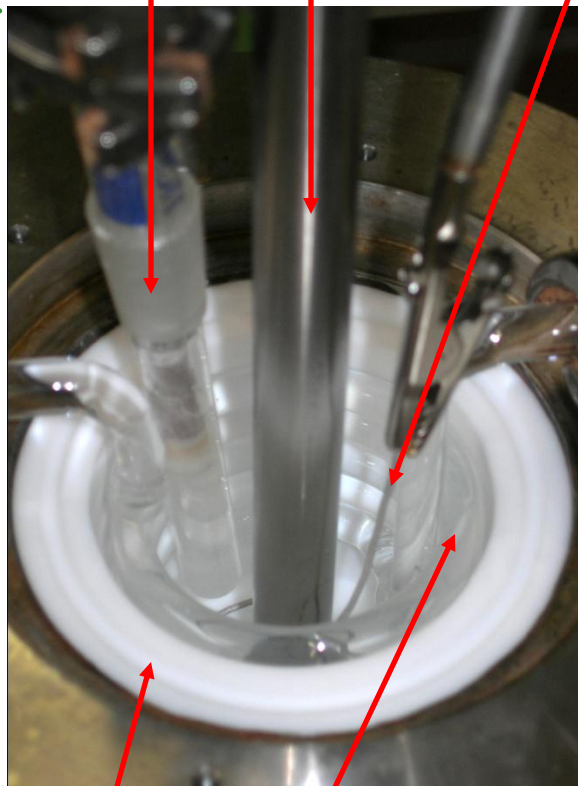
Γενήτρια υπερήχων

Χαλύβδινος μανδύας ψήξης

Ηλεκτρόδιο
αναφοράς A
g/AgCl

Ηχόδιο

Αντίθετο
ηλεκτρόδιο Pt/Ti



Κελί

Σπείρωμα
ψύξης

Ηλεκτρολύτες

- Cu: 0.01M CuSO_4 and 0.1M Na_2SO_4 (pH ρυθμισμένο σε 1–1.4)

- Ni:
 - Ηλεκτρολύτης Watts
 - Σουλφαμιδικό λουτρό [1]: 100 ml of 50wt% solution of $\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2$ + 10 g/l $\text{NiCl}_2 \times 6 \text{H}_2\text{O}$ + 40 g/l H_3BO_3 , 50 °C

- Co:
 - 0.1 M CoSO_4 + 0.1 M Na_2SO_4 + H_2SO_4 (pH ~ 4) [2], 25 °C
 - 1 M CoSO_4 + 0.2 M CoCl_2 + 0.28 M H_3BO_3 + 0.4 g/l Sodium dodecylsulfate + KOH (pH ~4.5) [3]

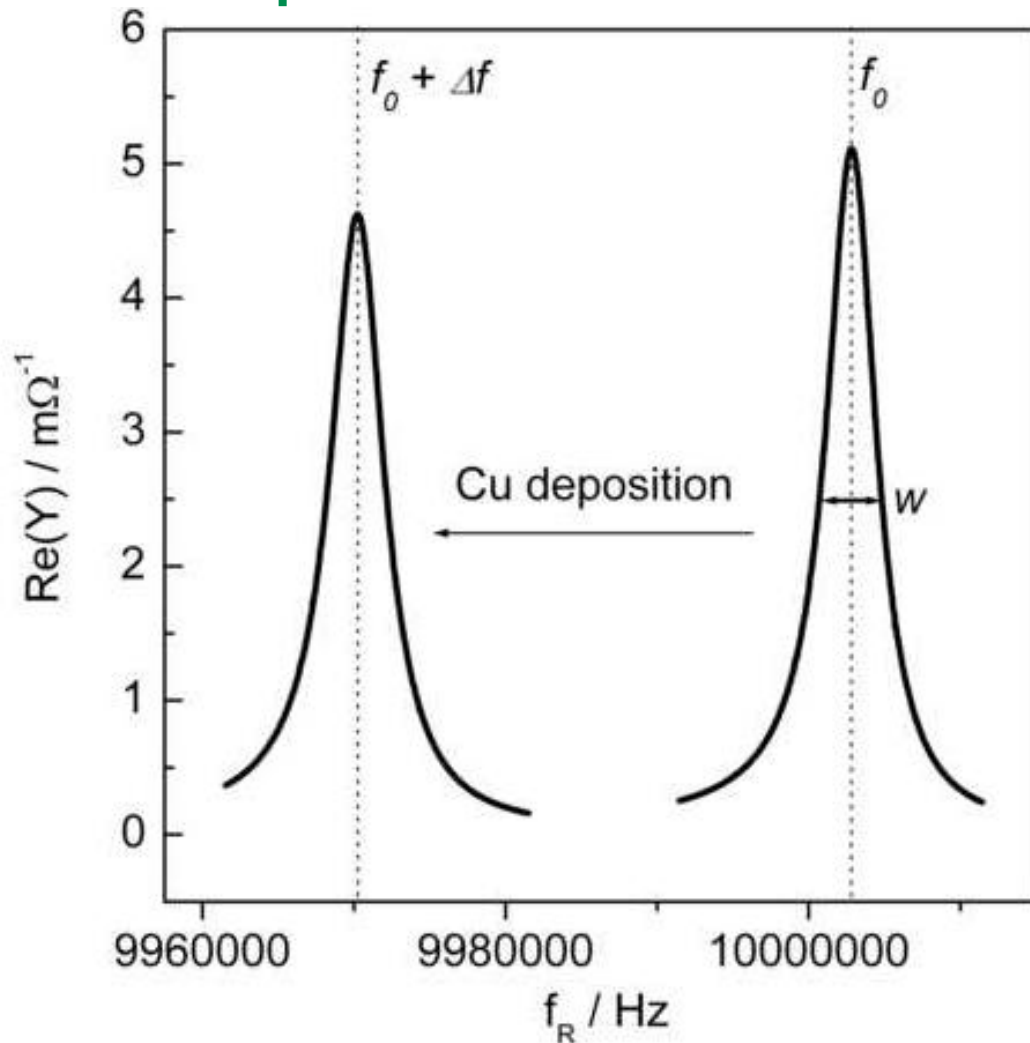
- Συνεναπόθεση: addition of 3-5 g/l CeO_2 (GDC)

[1] J-F. Castagnet, Ph.D. thesis, TU Clausthal, 2004.

[2] modification of recipe used in Matsushima et al, Electrochim. Acta 51 (2006) 1960

[3] G. Cârâc et al., Surf. Engineering 20 (2004) 353

Εναπόθεση Cu



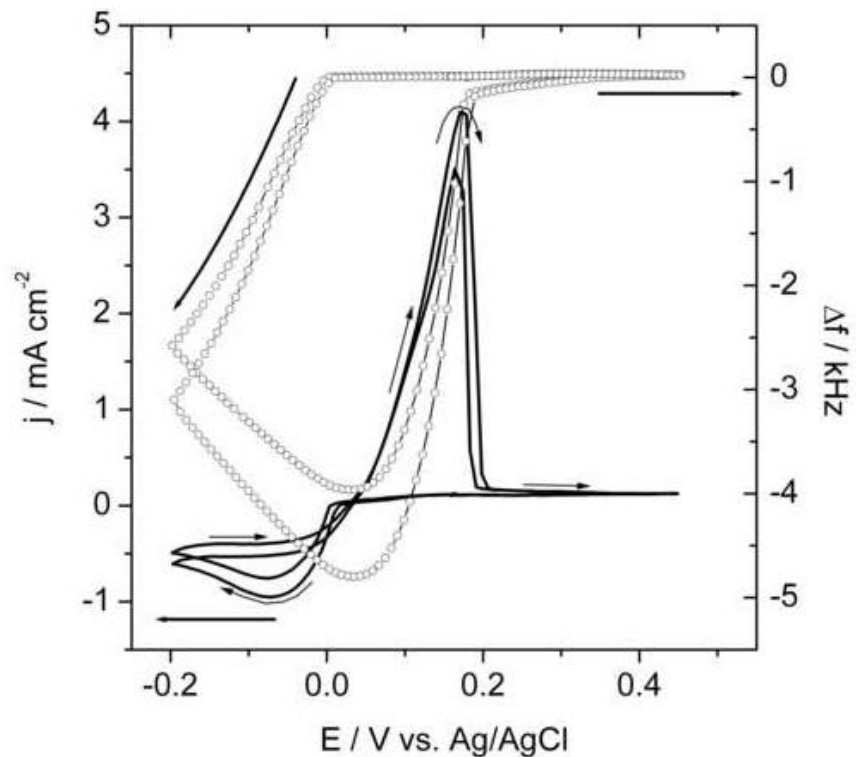
Επιτρεπτή απομείωση
κατά τη διάρκεια εναπόθεσης Cu

$$w \ll 10\%$$

Η εξίσωση Sauerbrey
ισχύει

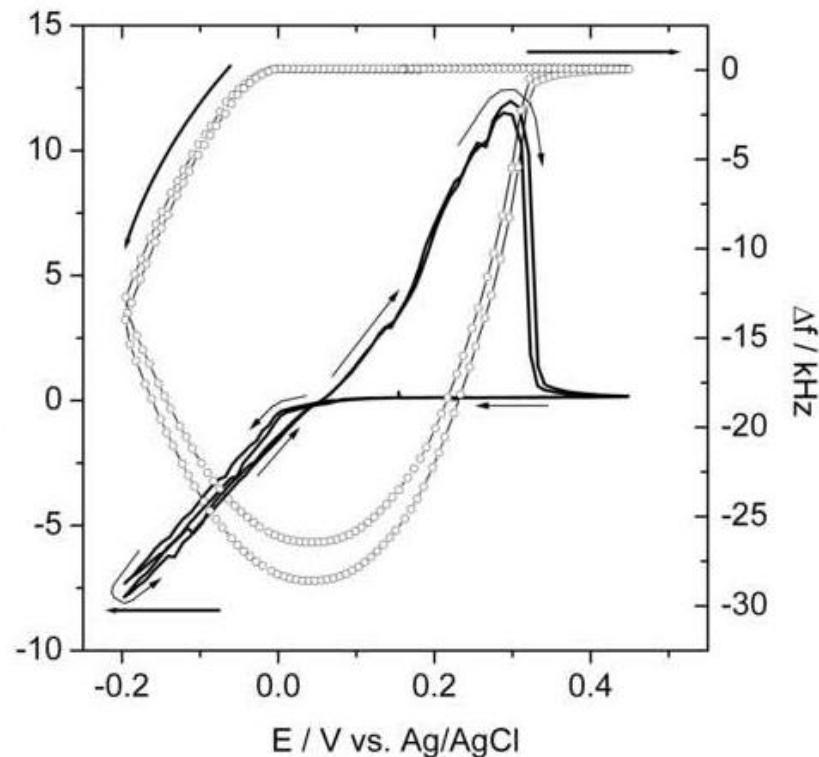
Εναπόθεση Cu

Υπό σιωπηλές συνθήκες



0.016 V έναρξη εναπόθεσης
0.03 V έναρξη διαλυτοποίησης

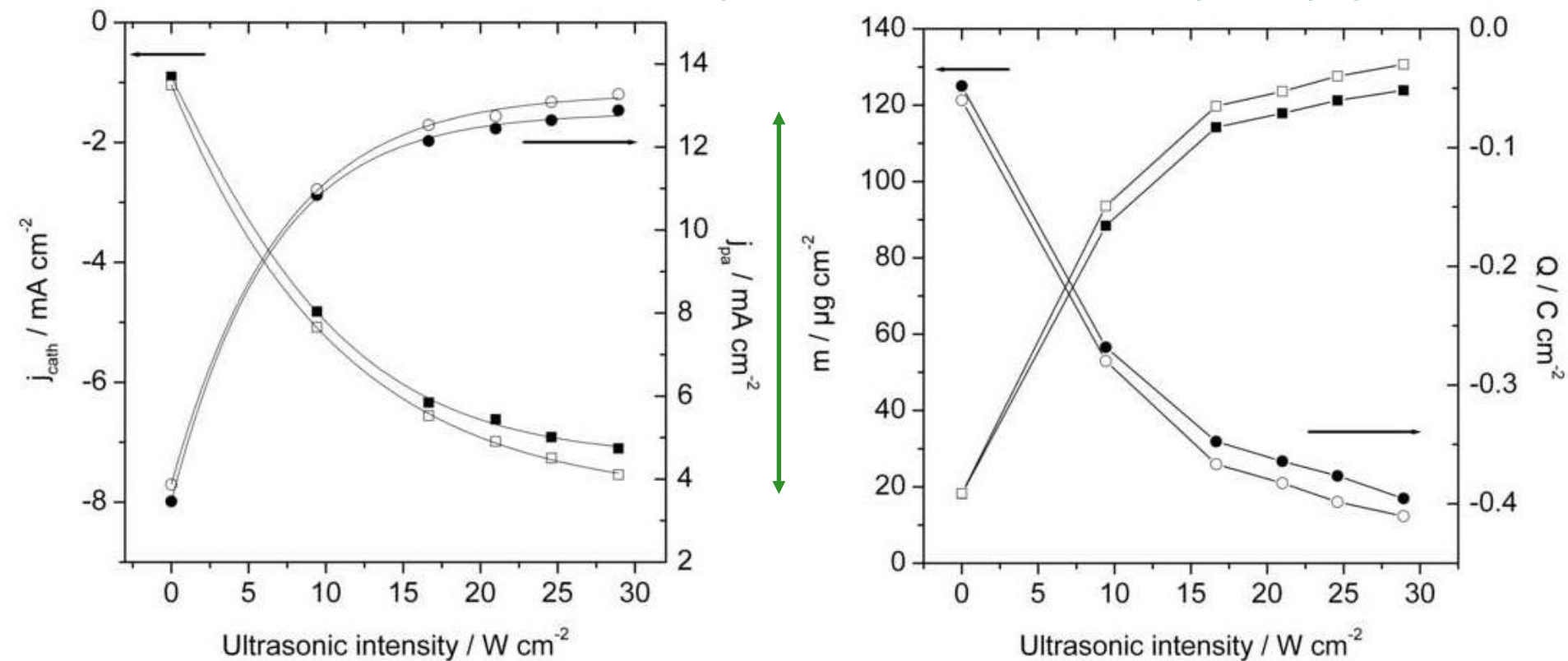
Υπό ηχοβόληση



0.003 V έναρξη εναπόθεσης
0.04 V έναρξη διαλυτοποίησης

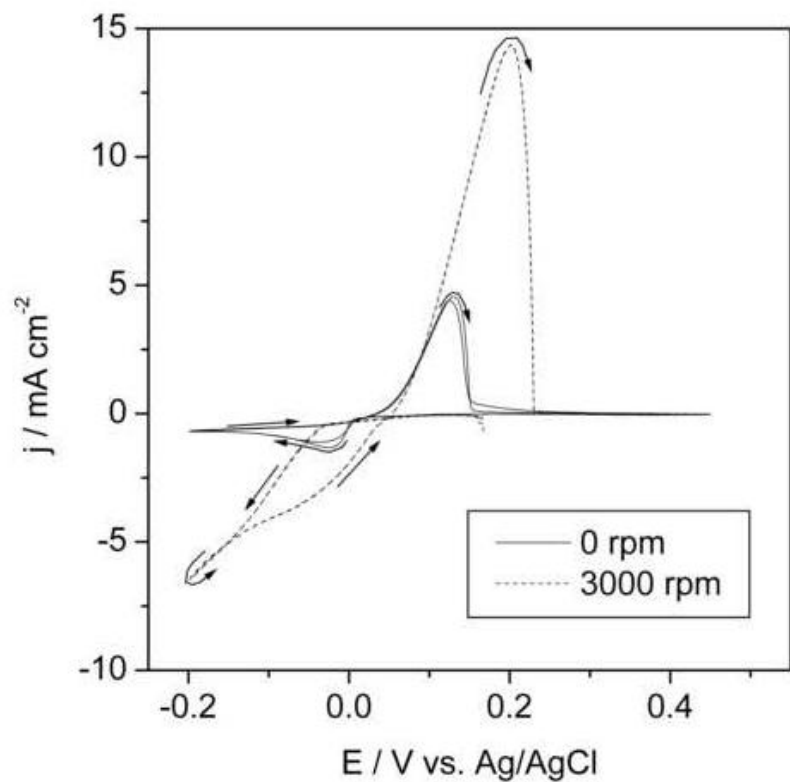
Αυξημένες πυκνότητες ρεύματος και εναπόθεση μάζας

Η εφαρμογή υπερήχων αύξησε τις πυκνότητες ρεύματος και την ποσότητα εναποτιθέμενου Cu επτά (7) φορές υπό, κατά τα άλλα, παρόμοιες συνθήκες.

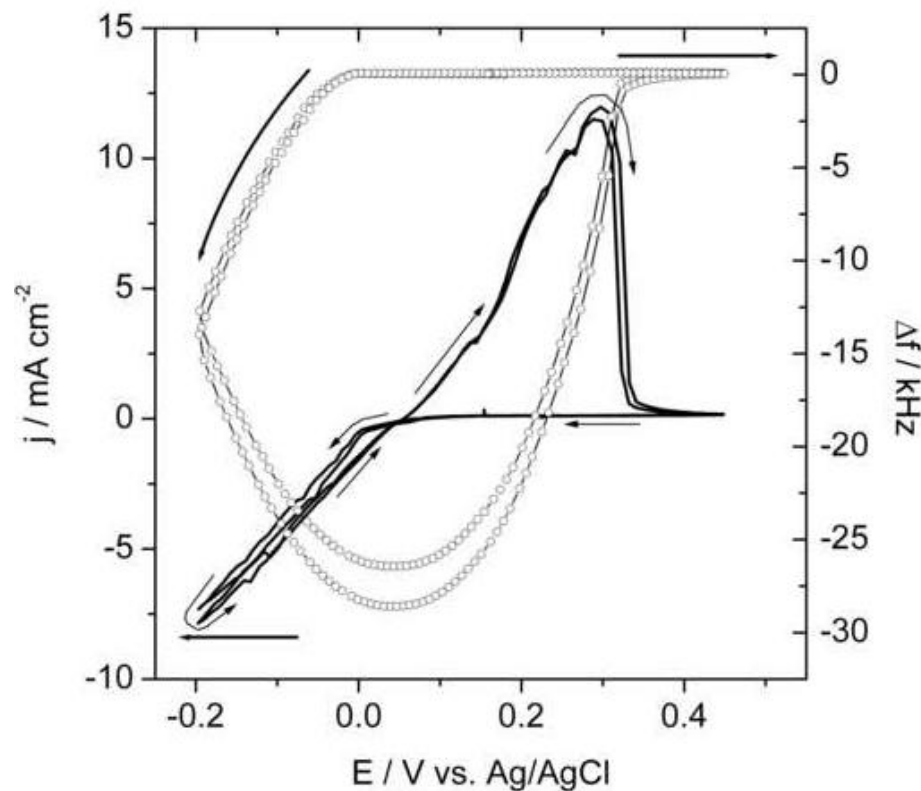


Η ένταση ηχοβόλησης αρχικά αυξάνεται έντονα και απομειώνεται στις μεγαλύτερες εντάσεις.

Ηλεκτροαπόθεση: ηχοηλεκτροχημική vs περιστρεφόμενο ηλ/διο



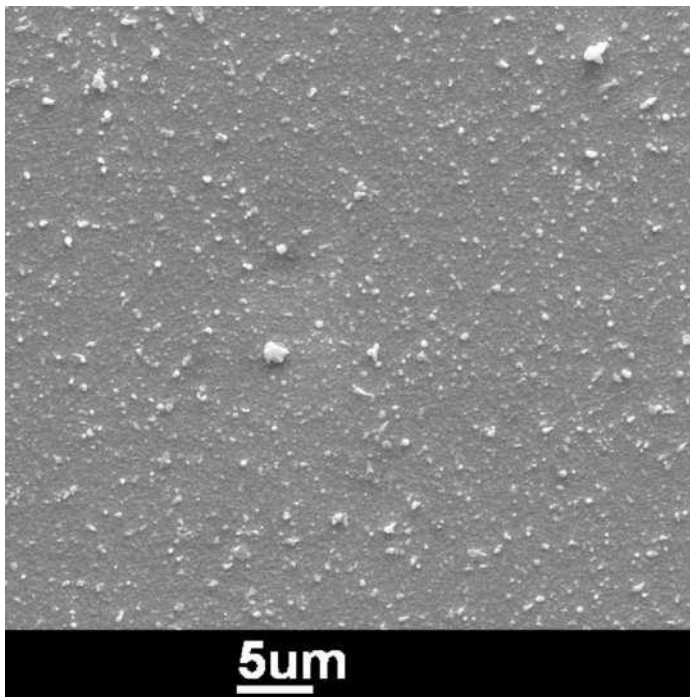
rotating electrode



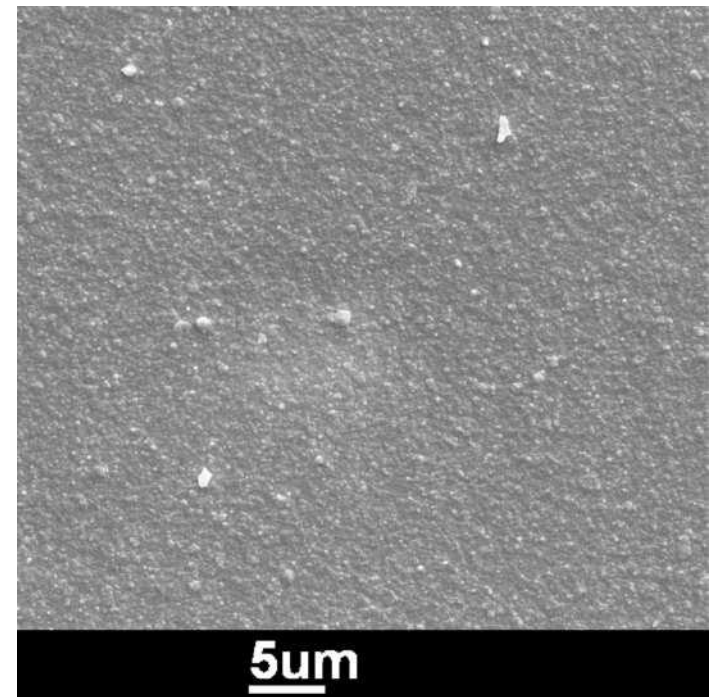
Sonoelectrochemistry

Η έλλειψη αξιόλογης μεταβολής στα δυναμικά των κατωφλιών εναπόθεσης και διαλυτοποίησης υποδεικνύει ότι δεν υπεισέρχεται κάποιο αξιοσημείωτο ηχοχημικό φαινόμενο στην κινητική της μεταφοράς φορτίου ή το δυναμικό πυρήνωσης.

Βελτιωμένη ποιότητα των λεπτών υμενίων με ηχοβόληση



1h στα -0.15 V δίχως ηχοβόληση



10min στα -0.15 V με ηχοβόληση



Σύνθεση μεταλλοκεραμικών συνθέτων υλικών

- Ni/δημητρία
- Co/δημητρία

Μεταλλοκεραμικά σύνθετα υλικά

- Μπορούν να προκύψουν από ηλεκτραπόθεση μετάλλων από διαλύματα που περιέχουν διεσπαρμένα μικρο- ή νάνο-μεγέθη κεραμικά σωματίδια
- Εμφανίζουν διαφορετικές ιδιότητες σε σύγκριση με τα αμιγή μέταλλα
 - Διαφορές στο μέγεθος κρυστάλλου και προσανατολισμό αυτού
 - Ενισχυμένες μηχανικές ιδιότητες:
αυξημένη σκληρότητα, αντοχή και αντίσταση έναντι της φθοράς
 - Βελτιωμένη αντοχή έναντι της οξείδωσης και διάβρωσης σε υψηλές T
 - Διαφορετικές ηλεκτρικές, μαγνητο-οπτικές και καταλυτικές ιδιότητες
- Η έκθεση σε υπερήχους πριν ή κατά τη διάρκεια της ηλεκτραπόθεσης εξασφαλίζει αποσυσσωμάτωση σωματιδίων και ενισχύει τη διασπορά στα στρώματα [1-3].

[1] T. Lampke et al., Appl. Surf. Sci. 253 (2006) 2399

[2] N.S. Qu et al., Scripta Mater. 54 (2006) 1421

[3] D. Lee et al., Mat. Sci. Eng. A 447 (2007) 209

Μεταλλοκεραμικά σύνθετα υλικά

■ Ni/CeO₂ και Co/CeO₂:

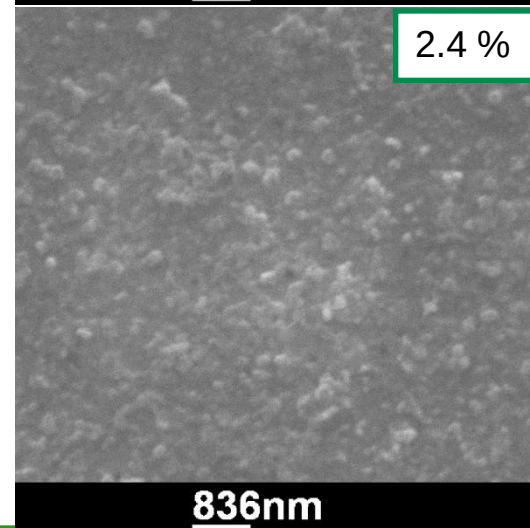
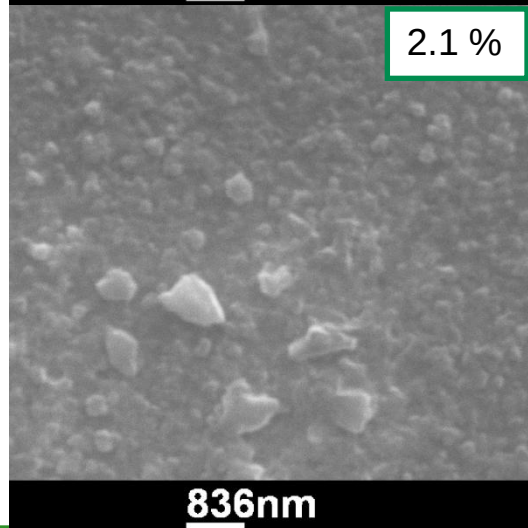
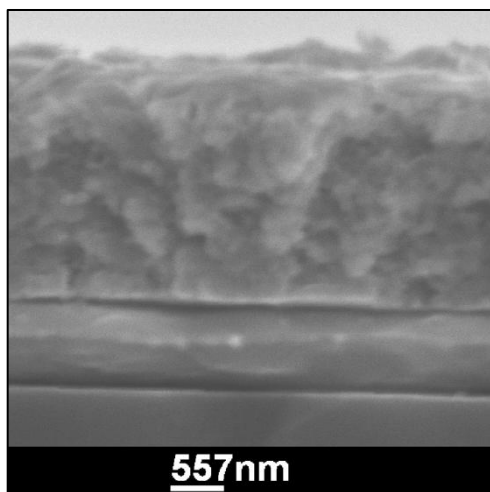
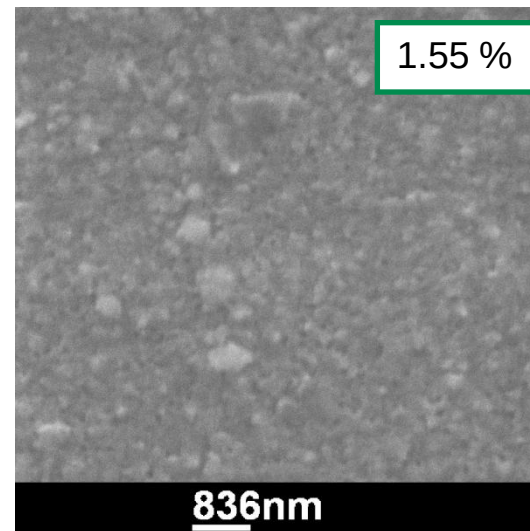
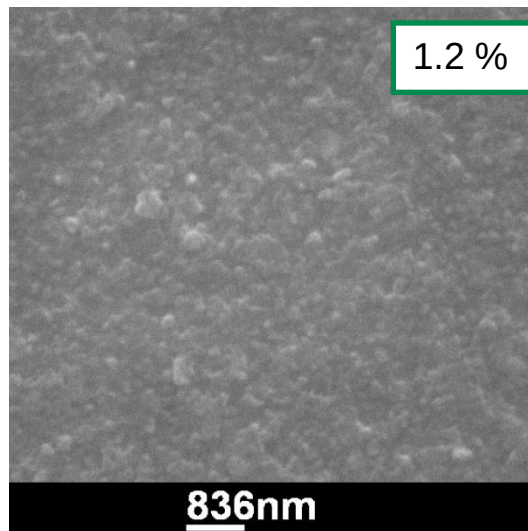
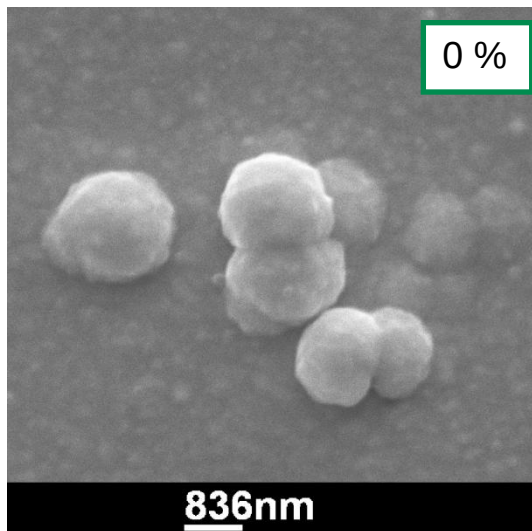
- Ενδιαφέρον ως υλικό ηλεκτροδίων σε εφαρμογές κυψελών καυσίμου
- Έως 22 wt% CeO₂ (μέγεθος της τάξης των μm) σε Co (50 g/l) και 5 vol% σε Ni (50 g/l) έχουν επιτευχθεί χωρίς τη χρήση υπερήχων. [4]
- Αναφορές σχετικά με ενσωμάτωση νανομετρικής CeO₂ σε Ni με χρήση υπερήχων προ της εναπόθεσης και σε χαλκό κατά τη διάρκεια της εναπόθεσης [5,6]

[4] G. Cârac et al., Surf. Engineering 20 (2004) 353

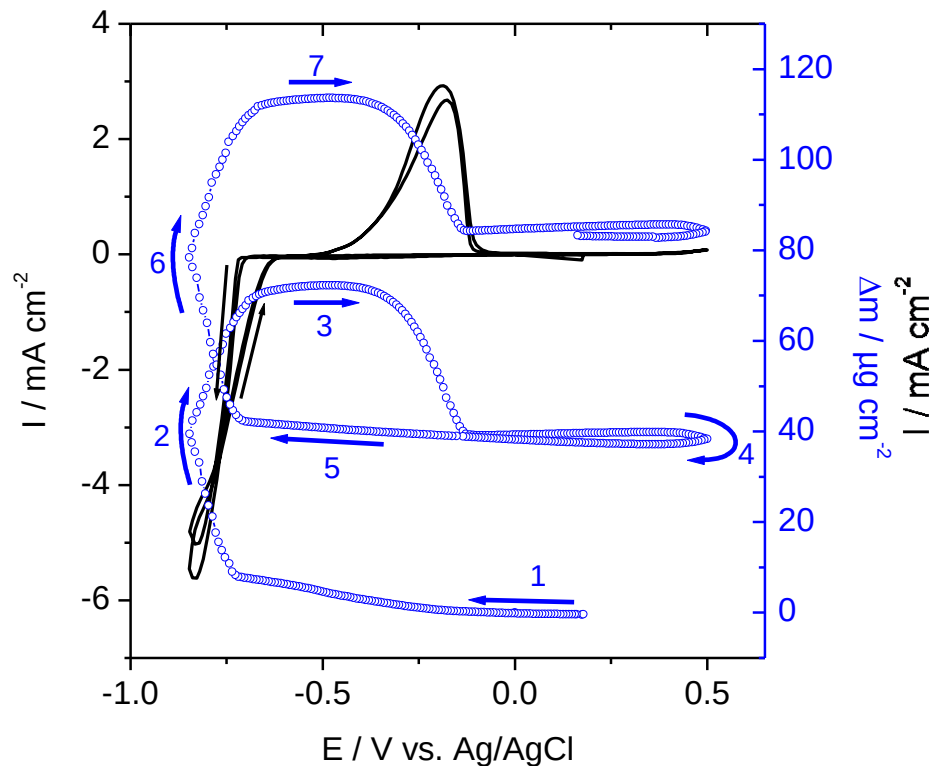
[5] N.S. Qu et al., Scripta Mater. 54 (2006) 1421

[6] D. Lee et al., Mat. Sci. Eng. A 447 (2007) 209

Εναποθέσεις νικελίου: SEM

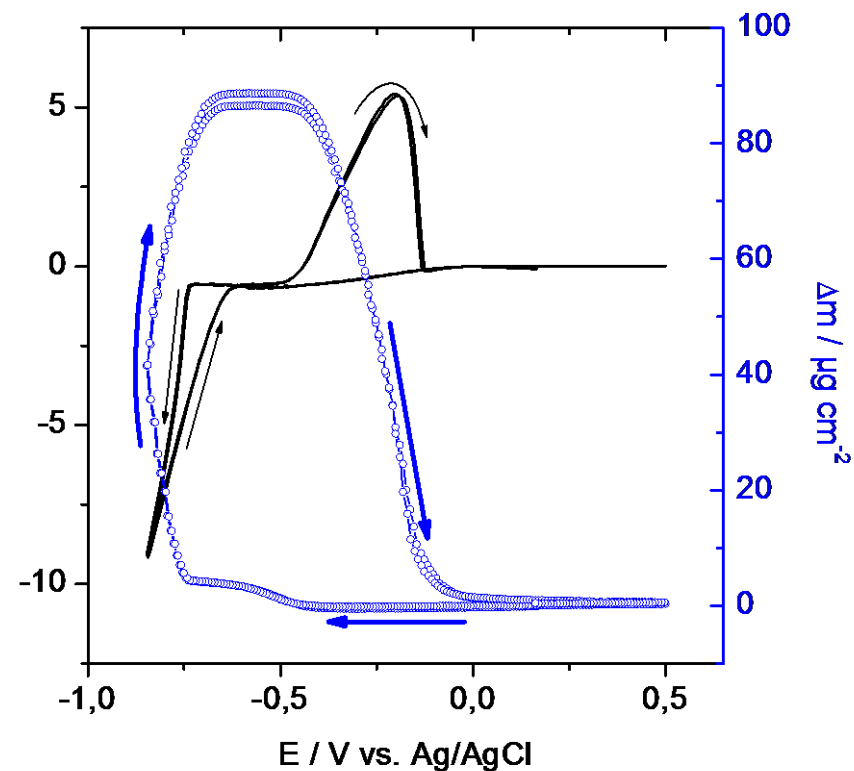


Εναπόθεση Co: κυκλική βολταμετρία, δίχως δημητρία



no ultrasound

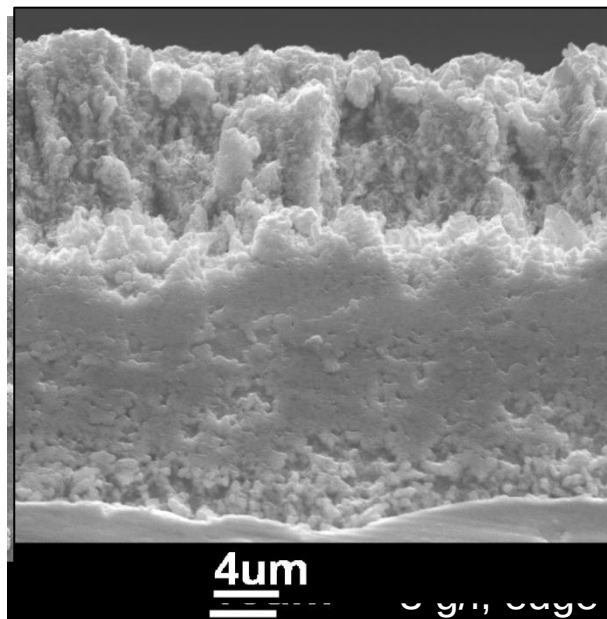
Remaining mass due to hydroxides ??



40 % amplitude

Complete remove of Co with ultrasound

Εναπόθεση Co: ποτενσιοστατικά

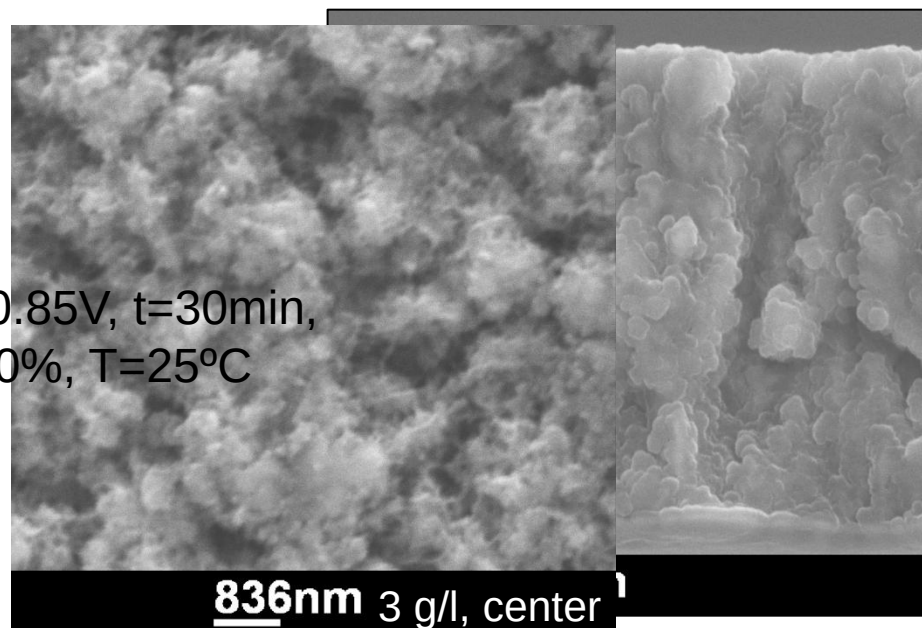


Co bath + 10g/l GDC



1.27 wt% Ce στο
εναποτεθέν επίπεδο

$U = -0.85V$, $t = 30\text{min}$,
 $A = 40\%$, $T = 25^\circ\text{C}$



Co bath + 50g/l GDC



4.57 wt% Ce στο
εναποτεθέν επίπεδο

Συμπεράσματα

- Η τεχνική EQCM δύναται να χρησιμοποιηθεί στο πεδίο δράσης των υπερήχων για την εξέταση μεταλλοκεραμικής εναπόθεσης.
 - Επιπρόσθετη πληροφορία σχετικά με τις ηλεκτροχημικές διεργασίες
- In Ni electrochemistry in sulfamate electrolyte
 - the application of ultrasound changes the shape of the voltammograms due to the enhancement of cathodic side reactions
 - The more ceria was incorporated into nickel the higher the Ni deposition rate was.
 - Maximum ceria concentrations were 2 wt% under these conditions.
- From diluted cobalt electrolytes rather rough and in part inhomogeneous layers were deposited.
 - Rather large amounts of ceria were embedded, up to almost 8%. Such rough layers might be more suitable for applications in catalysis and fuel cells than high quality layers