

Επιφανειακή Ενέργεια: $\gamma_s = \frac{E}{2A} \left(\frac{J}{m^2} \right)$ ①

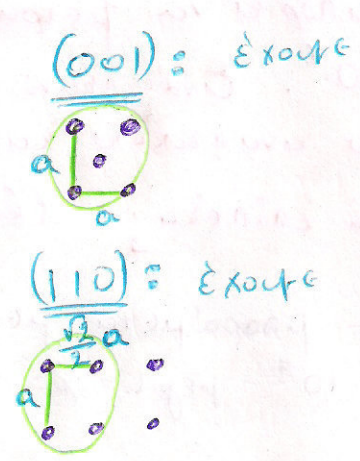
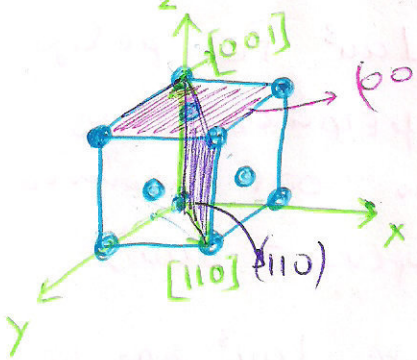
$W = \frac{\gamma_s - \gamma_f}{\gamma_s}$ $\alpha \nu \gamma_{film} > \gamma_s \Rightarrow W < 0$, island growth
 $\gamma_f < \gamma_s \Rightarrow W > 0$, layer-by-layer growth.

Διαβροχή (wetting) γ_s γ_f γ_{film}

Αποκύβωσις: $\gamma_s - \gamma_f > \gamma_{film}$ $\gamma_s - \gamma_f < \gamma_{film}$

Επιφανειακή Ενέργεια έχει τη μικρότερη επιφάνεια ανά τετραγόνο βήματα ίδιου όγκου

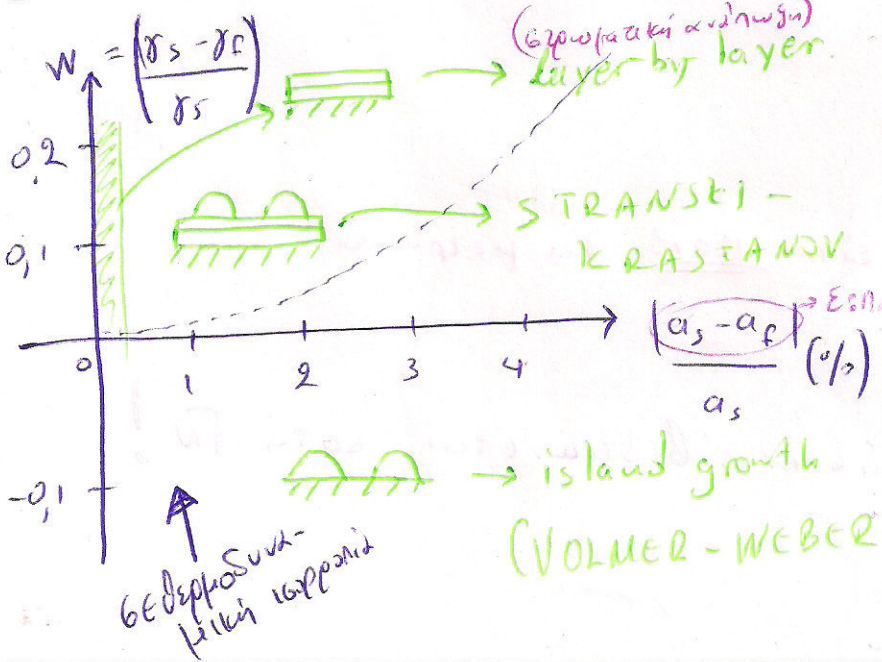
FCC, $a = 0,36 \mu m$, Επιφανειακή Ενέργεια? κατά τις διευθύνσεις 001 & 110 $\frac{J}{m^2} = ?$



$\chi_1 = \frac{8 \cdot 1 m^2}{0,36^2 m^2} = 15,432 \cdot 10^{13}$

$\chi_2 = \frac{1 \cdot 1 m^2}{\frac{1}{2} \cdot 0,36^2 m^2} = 0,79296 \cdot 10^{13}$

Αποκύβωσις $\gamma_s > 10^2$
 Προβλέψτε πως θα γίνει η ανάπτυξη του BCC Fe πάνω σε επιφάνεια BCC V (110). $\gamma_{Fe} = 2,94 \frac{J}{m^2}$, $\gamma_V = 2,33 \frac{J}{m^2}$, $a_{Fe} = 0,287 \mu m$, $a_V = 0,352 \mu m$



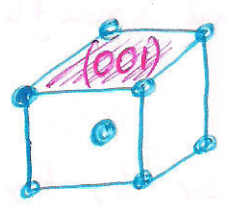
$W = \frac{\gamma_V - \gamma_{Fe}}{\gamma_V} = \frac{2,33 - 2,94}{2,33} < 0$

$\frac{|a_V - a_{Fe}|}{a_V} = 0,05 \approx 5\%$

ISLAND GROWTH

Άσκηση 3:

A) Ν.Υ. η πυκνότητα Fe (σε $\frac{\text{ατομά}}{\text{cm}^2}$) 001 να προσομοιωθεί
 στο BCC βδομα και έχει $a = 0,287 \mu\text{m}$



$4 \times \frac{1}{4} = 1 \text{ άτομο ανά επιφάνεια } (0,287 \mu\text{m})^2$

$$X = \frac{1 \cdot 1 \text{ cm}^2}{0,287^2 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2} = 12,5 \cdot 10^{14} \text{ άτομα}$$

Άρα πυκνότητα: $12,5 \cdot 10^{14} \frac{\text{ατομά}}{\text{cm}^2}$

B) Μαγνητόμετρο αερικής μπορεί να μετρήσει 1 cm^3 Fe με όση
 δύναμη προς όριο 10^7 . Είναι ικανό να μετρήσει άερα
 υφείο Fe το οποίο έχει ανακλώσει κατά των 001 διεύθυνση
 και έχει πάχος 10 ατομικά επίπεδα; (βύση υφείου = 1 cm^2)

$SNR = 10^7 \rightarrow$ σημαίνει ότι προαίτερα μετρήσετε 1 cm^3 όση η
 δύναμη είναι 10^7 μεγαλύτερη ως όριο.

Όγκος υφείου: $V = 1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times \frac{10a}{2} = \frac{10 \cdot 0,287}{2} \cdot 10^{-7} \text{ cm}^3 = 1,435 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^3$

\rightarrow Για των επιφανεία (110) είναι $\frac{a\sqrt{2}}{2}$ ατομικά επίπεδα
 \neq (001) είναι $\frac{a}{2}$

1 cm^3 $SNR = 10^7$
 $1,435 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^3$ $X = ?$

$X = 1,435 > 1 \rightarrow$ άρα είναι ικανό να μετρήσει

! ο λόγος SNR \propto μετρήσεων βελτιώνεται κατά \sqrt{N} !

STEP-FLOW GROWTH → 4^{ος} τρόπος ανάπτυξης.

(3)

→ ανισομορφία ως γ

η επιφανειακή ενέργεια μιας επίπεδης στερεάς επιφάνειας εξαρτάται από την κρυσταλλογραφική διεύθυνση. Η προκείμενη επιφάνεια λέγεται

→ ενέργεια/βήμα που δημιουργείται ΓΕΙΤΟΝΙΚΗ (vicinal)

$\gamma(\theta) = \left(\frac{\sigma}{a}\right) |\theta|$ → η απόλυτη τιμή δείχνει ότι γ ΠΑΝΤΑ ↑ με περίσφιξη δημιουργείται μιας γειτονικής επιφάνειας.
 ↪ ηλεκτρική σταθερά

Μήκος Διάχυσης: το μήκος που διανύει ένα άτομο όταν πηδά πάνω σε μία επιφάνεια μέχρι να συγκρουστεί με ένα άλλο άτομο. Η τιμή του μήκους διάχυσης εξαρτάται από την επιφάνεια & τη θερμοκρασία.

Για να έχω step-flow ανάπτυξη θα πρέπει:
 μήκος διάχυσης > πλάτος σκαλοπατιών.

Ερώτηση κρίσεως:

→ Πάτι σε ένα πολικρυσταλλό ωλη $AB \rightarrow N$, η τραχύτητα πάτος να αυξάνεται? → Έχω ότι αναπτύσσεται B πάνω στο A.
 Για να έχω layer-by-layer (βηματική) ανάπτυξη πρέπει $\lambda_B < \lambda_A$.
 Στη συνέχεια αναπτύσσεται το A πάνω στο B και αφού $\lambda_B < \lambda_A$, το A θα δημιουργήσει μπίδες πάνω στο B και έτσι εμφανίζονται τραχύματα.

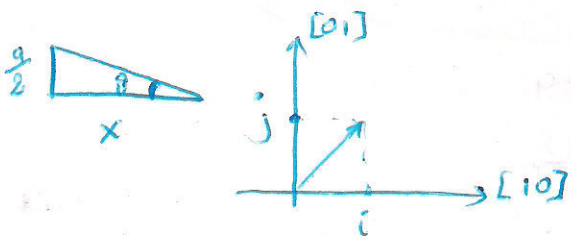
Άσκηση 4:

Μονοκρυσταλλός χαλκού, FCC, $a = 3,61 \text{ \AA}$

- A) ? η απόσταση λατομικών επιπέδων (001)
- B) γραφικό βοήθημα του κρυσταλλό κατά $\theta = 2,1^\circ$ σε σχέση με την (001).
 - Οριοθετήστε την κάθετη διεύθυνση στον κρυσταλλό
 - βρείτε το πλάτος των σκαλοπατιών (ατομικών βημάτων)

A) $d_{001} = \frac{a}{2} = 1,805 \text{ \AA}$

B) $\tan \theta = \frac{\text{η απόσταση 2 ατομ. επιπ.}}{\text{πλάτος ατομικών βημάτων}} = \frac{a/2}{x} \Rightarrow x = 48,78 \text{ \AA}$



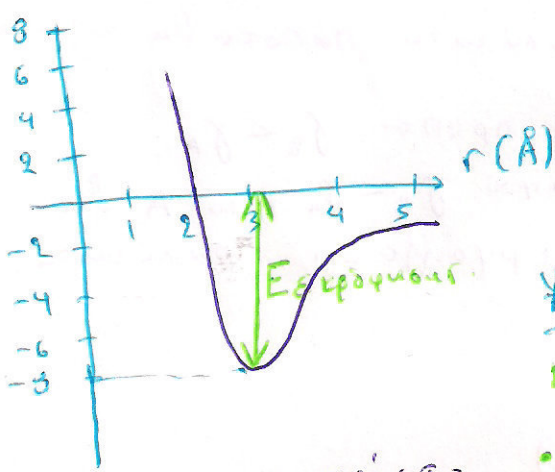
$\frac{1}{x} = \frac{a/2}{x} \Rightarrow \frac{1}{x} = 0,037 \Rightarrow x = 27$
 Άρα (1127) η κάθετη

→ Φυσική Προσρόφιση

- ο πιο αυθεντικός τρόπος προσρόφισης σε μία στερεά επιφάνεια
- χαρακτηρίζεται από την έλλειψη δημιουργίας πραγματικών χημικών δεσμών ανάμεσα στο προσροφημένο άτομο και το υπόστρωμα.
- Ποτέ είναι η θανάσιμη δύναμη που "δένει" άτομα από την αέρια φάση σε μια στερεά επιφάνεια;
- Δύναμη Van der Waals
 - οφείδεται σε διπολικές αλληλεπιδράσεις φορτίων ανάμεσα σε μόρια που, αν και είναι βωολικά ηλεκτρικά ουδέτερα, εμφανίζουν περιοχές με αρνητική ή θετική καθαρή φορτίων.

Άσκηση 5:

Δίνεται ελεύθερη επιφάνεια χρυσού και άτομο He παγιδεύεται στους 5°K στην επιφάνεια αυτή με φυσιορρόφιση. Με βάση το διάγραμμα αυτό να βρεθεί η θερμοκρασία εκρόφισης του He. Δίνεται θερμική ενέργεια στους 300K → 25 meV. Με δεδομένο το ότι η ενέργεια εκρόφισης είναι η ενέργεια που πρέπει να λάβει το He για να αποσπαστεί σε άπληρη απόσταση.



$E_{εκρ} = 8 \text{ meV}$

τα 25 meV → 300K

8 meV → $\gamma = 96 \text{ K}$

Άσκηση 6: Αν συχνότητα δόσης: $\frac{1}{\tau_0} = 10^{12} \text{ Hz}$

και εντάση $E_0 = 0.25 \text{ kJ/mol}$
 Η αντίδραση γίνεται αυθόρμητα

$R_{300K} = 2,479 \text{ kJ/mol}$

Πόσος είναι χρόνος παραμονής σε $T_1 = 300 \text{ K}$

και $T_2 = 100 \text{ K}$?

$$t_{1/2} = \tau_0 \cdot e^{-E_0/kT}$$

300K: $t_{1/2} = 10^{-12} \cdot e^{-\frac{0.25}{2.5}} = 2,2 \cdot 10^{-8} \text{ sec} \approx 0 \text{ sec}$

100K: $t_{1/2} = 10^{-12} \cdot e^{-\frac{0.25}{2.5}} = 10,68 \text{ sec}$

Το άτομο ισορροπεί στο επίπεδο του ελαχίστου.

-υπεκροβατική άλση των εξωτερικών φλοίων

Άρα: Η φυσική προσρόφιση έχει νόημα μόνο σε ΧΑΜΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ.

→ Χημική Προσρόφιση

• η ενδογενής χημειορρόφιση είναι μια τάξη μετέδους μεταβολής από τη φυσική προσρόφιση. Η διαδικασία είναι εξώθερμη. Ελαττώνει την ελεύθερη ενέργεια του βυθίσματος πω αποτελείται μόνο από την ελεύθερη ενέργεια και το άτομα ή μόρια πω είναι σε αέρια κατάσταση.

$$\gamma = \gamma(0) - \frac{RT}{P_{1/2}} \ln \left[1 + \frac{P}{P_{1/2}(T)} \right]$$
 πύξινος κλίμα κάλυψ επιφάνειας

$$\Gamma \equiv \frac{N_s}{A} \left(\frac{\text{ατομα}}{\text{cm}^2} \right)$$
 η τιμή του Γ όταν όση επιφάνεια έχει καλυφθεί από το μέγιστο αριθμό προσροφημένων ατόμων.

→ πιθανότητα προσκόλλησης: $S = \frac{R_{\text{προσρόφισης}}}{R_{\text{προσκόλλησης}}}$

* Αν $\gamma < 0$: αβίαση επιφάνεια \Rightarrow αβίαση \Rightarrow $S > 1$

• πιθανές δεσμοί: $\sqrt{m \cdot \omega}$

Σε $P = 10^{-6}$ mbar και $S = 1$ έχω 1 Langmuir/sec

Τα προσκολλημένα άτομα ενδέχεται με το υδρογόνο με λογικό ή ομοιοπολικό δεσμό και χάνουν την ταυτότητα

Αόκινα τ :

Στα 10^{-10} mbar, πόσα sec χρειάζεται για να καλυφθεί μια επιφάνεια χαλκού πλήρως με μόρια αερίων αν $S = 1$?

Για 10^{-6} mbar ο αντίστοιχος χρόνος είναι 1 sec;

$$10^{-6} \text{ mbar} \rightarrow \frac{1 \text{ Langmuir}}{\text{sec}}$$

$$10^{-10} \text{ mbar} \rightarrow x$$

$$x = 10^{-4} \frac{\text{Langmuir}}{\text{sec}} \Rightarrow 10^4 \text{ sec}$$

↓
Σταθεί όλα μόρια προσκολλημένα τούτα και απορροφώνται

→ Διάταξη των προσροφημένων ατόμων στην επιφάνεια

→ Σύμφωνο Επιστρωμα

→ Ασυμφωνο επιστρωμα (η συγκέντρωση του προσροφημένου υδρόγenu $S < 1$ σχετίζεται ή σχετίζεται ωχαια με αυτή του υδρογenu)

→ Κατάθεση (καταλύτες: κατεβάζουν το φράγμα θερμικό ανέμετα στα αντιδρώντα & προϊόντα)

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΥΜΕΝΙΩΝ:

PVD: → Σε ουρβαίων χημικές αντιδράσεις στην αέρια φάση και στην επιφάνεια του υποστρώματος.

Αδερμική Εξάχνιση



Με κινητική ενέργεια που μεταφέρεται σε θερμική μετά την πρόσκρουση στην επιφάνεια του βώλου \leftrightarrow λίγη αναβρασμού υλικού που εξαχνύεται

Εξάχνιση με δέσμη e-

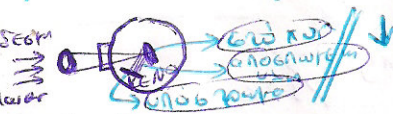
⊕ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ ΕΞΑΧΝΙΣΗ ΠΑΝΙ ΣΥΒΟΛΙΚΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ
⊖ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ ΕΞΑΧΝΙΣΗ ΠΡΩΤΩΝ ΕΞΑΧΝΙΣΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΡΕΥΣΑ ΤΗΣ ΔΕΣΜΗΣ e-

3) απόθεση με τη βοήθεια ιοντικών κορμολιπίων (sputtering)

βόλος - κορμολίπιο // υδρόγιο → κορμολίπιο Ar → - αδρανές αέριο
- μικροδυναμικό ιονισμό
- θερμά άτομα
- δεν αφυθύνει

4) απόθεση με τη βοήθεια ηλδρικού Laser

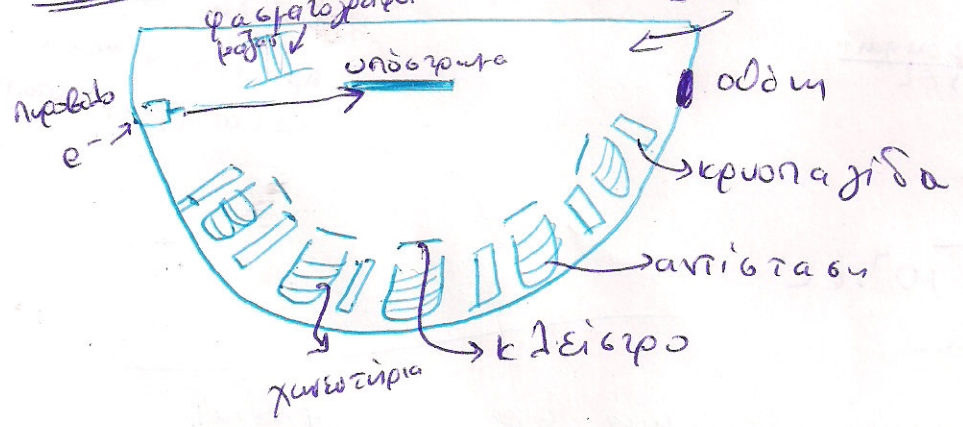
εγέρει → δε συχναίρει ανεπίδωμητες ενώσεις με την επιφάνεια του βώλου.



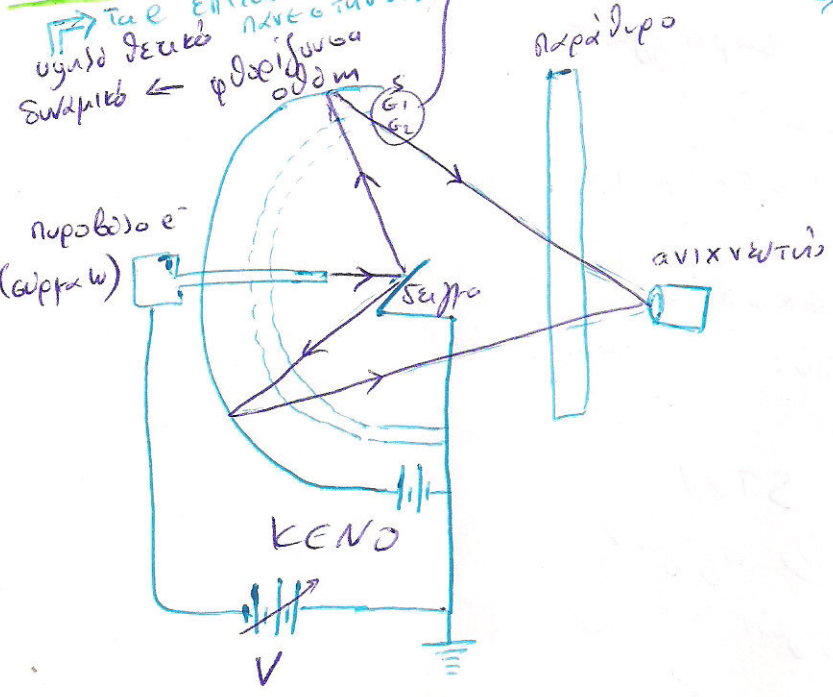
CVD: → Δεν χρειάζεται αντιδραστήρια κενό ή γρήγορη υδερμική υστ

- 1) μεταφορά αερίων βωλ ή η αντιδραστή
- 2) χημική αντίδραση στην αέρια φάση → παράγεται νέον προϊόντων - μορφοτόπων
- 3) μεταφορά αρχικών αντιδραστήων & προϊόντων πάνω στην επιφάνεια του υποστρώματος
- 4) φυσική και χημική προεργασία των αερίων στο υποστρώμα & διάχυση τους πάνω
- 5) σχηματισμός υμενίου
- 6) αποκόλληση των αερίων παραπροϊόντων.

MBE



LEED



Επειδή μόνο τα e^- των οποίων διασπείρεται η κινητική ενέργεια φθάνει στον οθόνι (7)

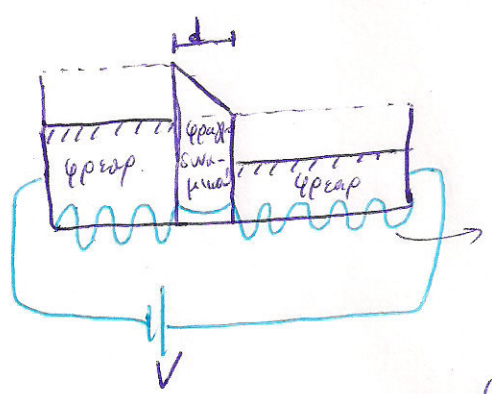
- απεικόνιση απιότροφου ηλέκτρον επιφανείας

STM

- απεικόνιση • ενδύως ηλέκτρον
- τοπογραφία επιφανείων
- μη καταστρεπτική τεχνική
- δεν απαιτείται όγκρη περιοδικότητας των επιφανείων
- σε χρειάζεται κενό

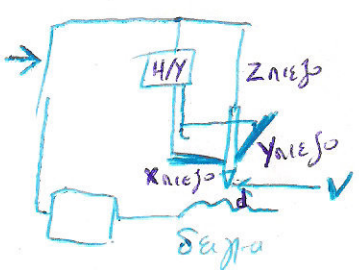
- Απαιτήσεις για:
- υψεκρουική κατάσταση
 - χυφεία \rightarrow επιφανείων
 - τοποδογία \uparrow

\Rightarrow Φακός βραχίονος \rightarrow η πιθανότητα ένα e^- να περάσει από τη μία άκρη του πυλιδίου στον άλλη.
 βραχίονος δυναμικός



εφαρμόζουμε e^- στο επίπεδο Fermi

ακίδα (από W, ιρίδιο ή πλατίνη)
 $d \approx 0,5 \text{ nm}$



- βάρων επιφανείας με τη βοήθεια των X, Y, Z πιεζοκρυστάλλων
- τάση V διατηρείται σταθερή (1 Volt)
- πόση αντίδρασης του Ζ πιεζοκρ. \rightarrow κρατά σταθερό το ρεύμα κυρίαρχας (0,01-10 μA)

AFM

- ΔΕΝ εξαρτάται από φωτισμένο βύραχα

→ Σταθερός Δυναμς Μικροσκοπία

• απόσταση κλίδας - επιφάνειας: 6 ταθερή

→ Μεταβλητός Δυναμς Μικροσκοπία

• μεταβάλλεται η απόσταση ως κλίδας από την επιφάνεια

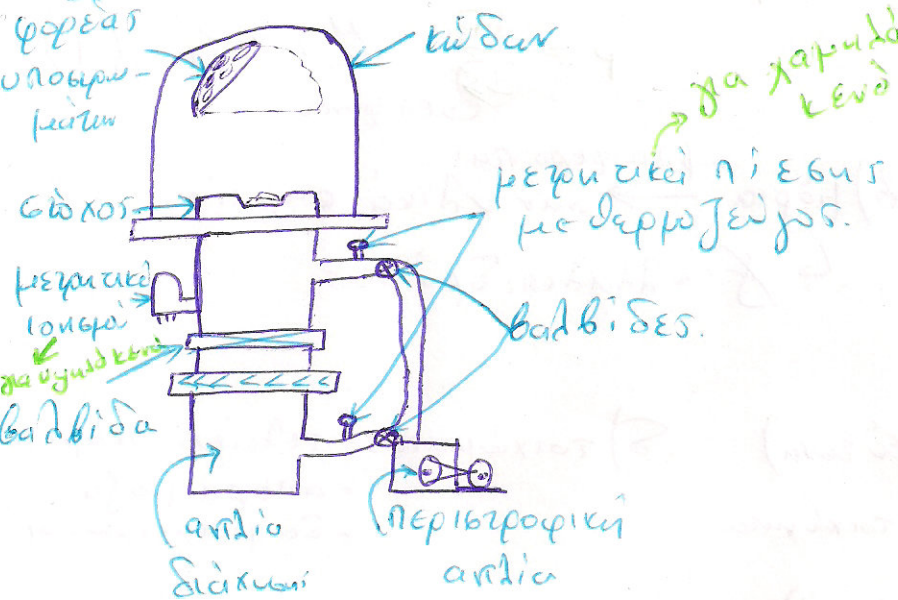
→ Πλεονέκτηματα σε σχέση με STM

• βλέπει επιφάνειες & κορυφών & αγκώνων
• ενό STM → μόνο αγκώνι & κρυφών

• με μαθητικές κλίδες → βλέπει βιδορομαθητικές περιοχές



Σύστημα Κενού:

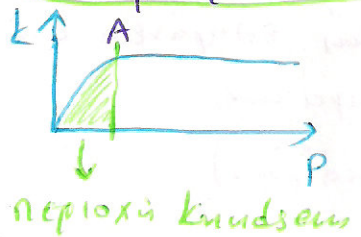


$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

↓
 νερό γέρω

Μερική πίεση με μανόμετρα

→ Μανόμετρο Ρίγαυι



Ευθεία θερμική αγωγιμότητα

→ βγαίνει, βγαν εξάρτηση της θερμικής αγωγιμότητας των αερίων από την πίεση ($1 \text{ atm} = 10^{-3} \text{ mbar}$)

- αποτελείται από απίσταση που είναι κλεισμένη σε δοχείο και διαρρέεται από ρεύμα.
- το δοχείο βυθώνεται με το χώρο που ουσίως δέχεται να μετρήσουμε την πίεση

↓ k ⇒ ↓ τω αγωγιμότητα θερμότητας από την απίσταση



αλλά ρεύμα → σταθερό

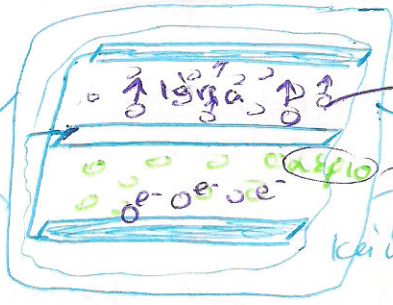


θερμοκρασία Jule → σταθερή

αρχ ↑ (προσφερόμενη ^{μείωση} επαγόμενη θερμότητα) στην απίσταση

αρχ ↑ θερμοκρασία ⇒ μεταβολή αντίστασης

→ Μανόμετρο Penning → επιρρίεται στο φάσμα του υδρογόνου (10⁻³ - 10⁻⁵ μbar)



κathodos (2) → τα επιλεκτικά ιόντα ελκάζονται προς την κathodos
 anodos (1) → τα μόρια του αερίου ionίζονται από τα e⁻ της cathodos

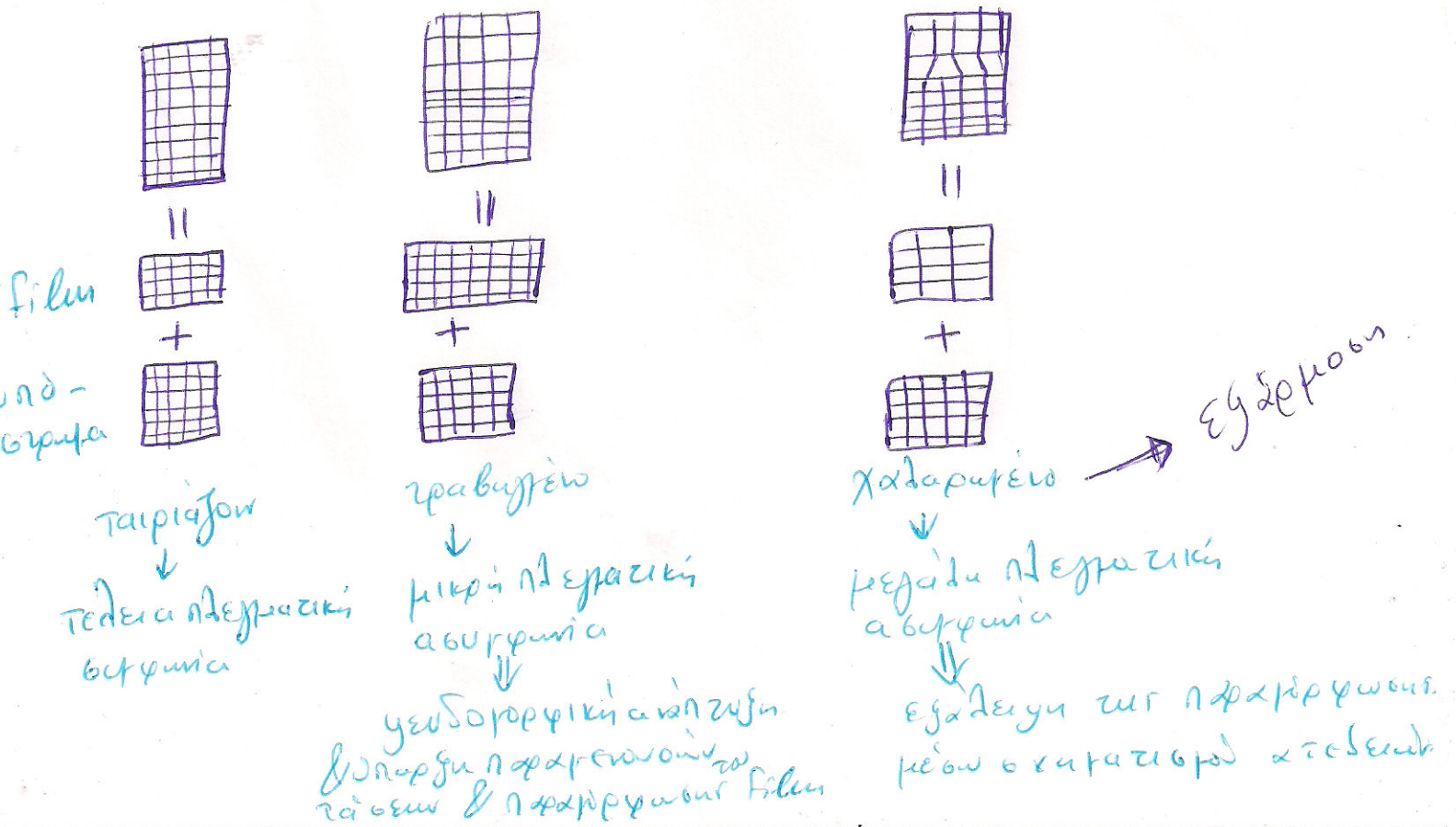
μέτρηση ρεύματος ιονίων
 ↓
 μέτρηση της πίεσης του αερίου

Για πολλαπλάσια με ευχέρεια χρονο μαγνητικό πεδίο

Επιταγή (6CS.115) *
 βηματισμός εκτεταμένου μοнокρυσταλλικού υφούς στην επιφάνεια ενός κρυσταλλικού υποστρώματος.

- ομοεπιταγία: το υφένιο & το υπόστρωμα είναι από το ίδιο υλικό.
 • επιβάρυνση → απλά υφένιο από ατέλειες.
 → έχει καλύτερη καθαρότητα
 → μπορεί να προστεθούν γενεουργίες. (ανάλογα με ιδιότητες ή δετότητα)

- ετεροεπιταγία: υφένιο & υπόστρωμα από διαφορετικά υλικά



- 1) Τα άτομα προσκράδω των επιφάνεια
- 2) Από προσροφιδών, διαχέονται πάνω σε αζίν.
- 3) Τα προσροφιδέτα άτομα βλάπτουν άλλα προσροφιδέτα άτομα και σχηματίζουν διμερή ή υμενά.
- 4) Αποκάλυψη αζίν από τα υμενά ή διάχυση τους κατά μήκος των υμενίων.
- 5) Επιβροφή των αέρια φάση (σε ↑ θερμοκρασίες)
- 6) Διαλύονται στο υδρογόνο.



[Faint handwritten notes and diagrams at the bottom of the page, including arrows and additional grid structures.]