



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Ηλεκτρονική Μικροσκοπία

Β. Μπίνας, Γ. Κυριακίδης
Τμήμα Φυσικής



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται στην άδεια χρήσης Creative Commons και ειδικότερα

Αναφορά – Μη εμπορική Χρήση – Όχι Παράγωγο Έργο 4.0 Ελλάδα
(Attribution – Non Commercial – Non-derivatives 4.0 Greece)



CC BY-NC-ND 4.0 GR

[ή επιλογή ενός άλλου από τους έξι συνδυασμούς]

[και αντικατάσταση λογότυπου άδειας όπου αυτό έχει μπει (σελ. 1, σελ. 2 και τελευταία)]

- Εξαιρείται από την ως άνω άδεια υλικό που περιλαμβάνεται στις διαφάνειες του μαθήματος, και υπόκειται σε άλλου τύπου άδεια χρήσης. Η άδεια χρήσης στην οποία υπόκειται το υλικό αυτό αναφέρεται ρητώς.

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ

ΔΡ. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΠΙΝΑΣ

*Post Doc Researcher, Chemist
Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Κρήτης
Email: binasbill@iesl.forth.gr
Thl. 1269*

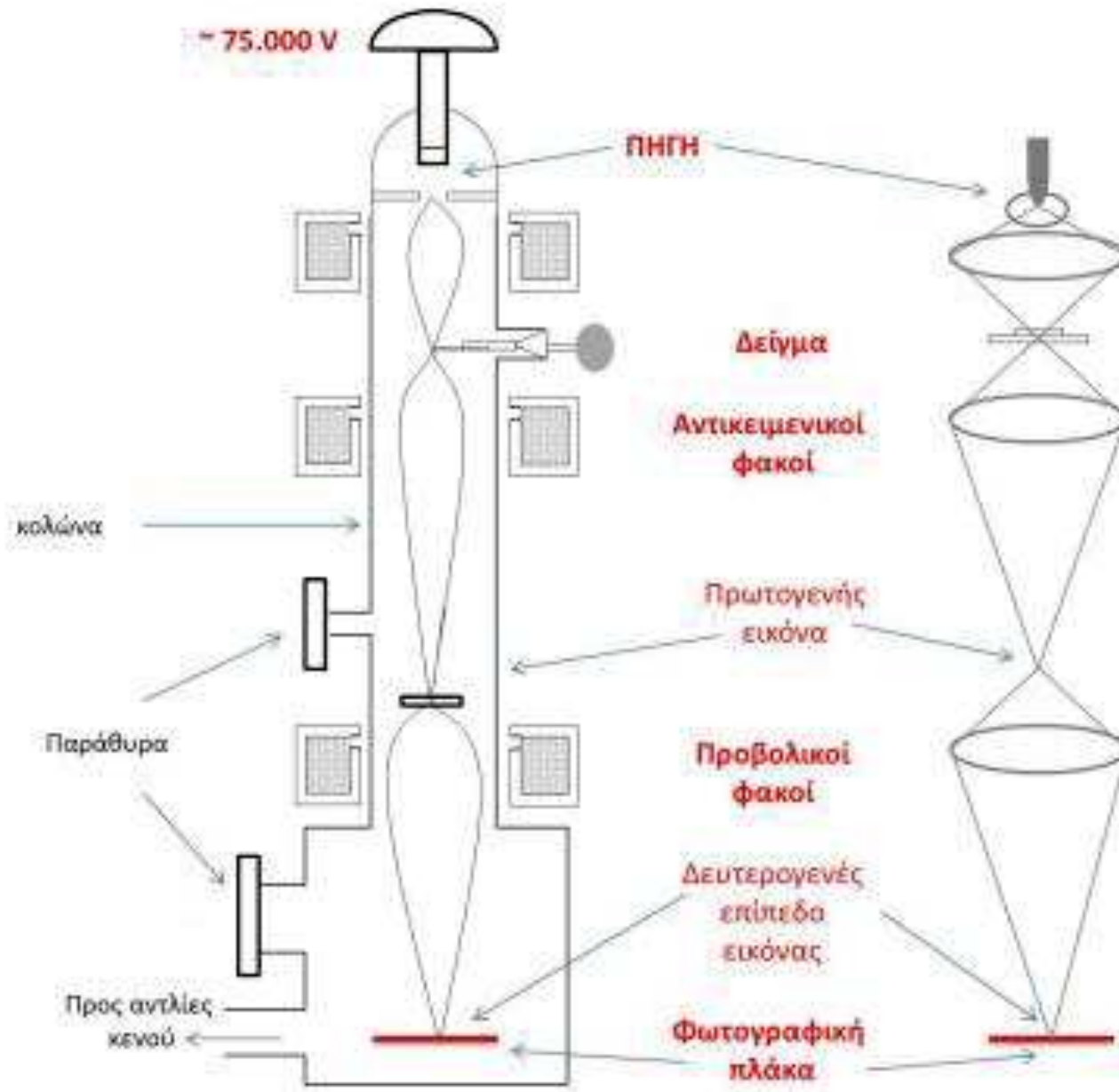
Crete Center for Quantum Complexity and
Nanotechnology
Department of Physics, University of Crete

Transparent Conductive Materials (Head prof. G. Kiriakidis)
Institute of Electronic Structure & Laser – IESL
Foundation for Research and Technology - FORTH



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Διέλευσης ή Διαπερατότητας





ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ



Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Διέλευσης Υψηλής Ανάλυσης JEOL 2011 (200KV), με διακριτική ικανότητα 0.194 nm



Ηλεκτρονικό Διέλευσης Υψηλής Ανάλυσης JEOL 2000FX (200KV), με διακριτική ικανότητα 0.28 nm



Μικροσκόπιο Ατομικών Δυνάμεων (AFM) Explorer 2000 Truemetrix Topometrix, δύο σαρωτών των 100 μm x 100 μm , 2.5 μm x 2.5 μm και υγρό σαρωτή των 2.5 μm x 2.5 μm με ανάλυση μερικών nm

Συμβατικό Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Διέλευσης JEOL 100 CX (100 KV) με διακριτική ικανότητα καλύτερη από 0.5 nm και υποδοχείς δείγματος με δυνατότητα ψύξης, θέρμανσης και εφέλκυσμού.

Εργαστήριο Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας
Τομέας Φυσικής Στερεάς Κατάστασης
Τμήμα Φυσικής Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

*Εργαστήριο Ηλεκτρονικής
Μικροσκοπίας
Πανεπιστήμιο Κρήτης*





ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ

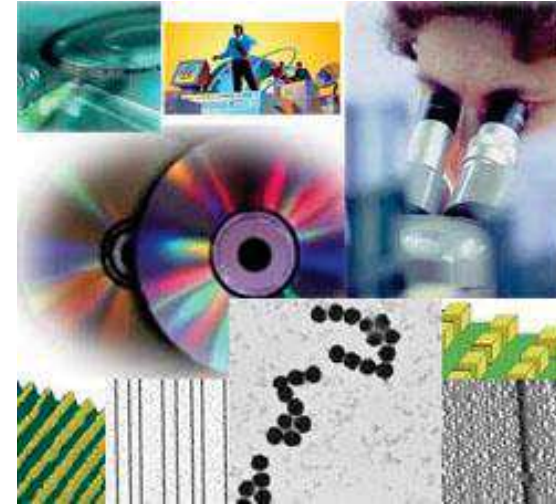
ΔΟΜΗ

Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Διερχόμενης Δέσμης (TEM)

Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM)

Μικροσκοπία Ατομικών Δυνάμεων (AFM)

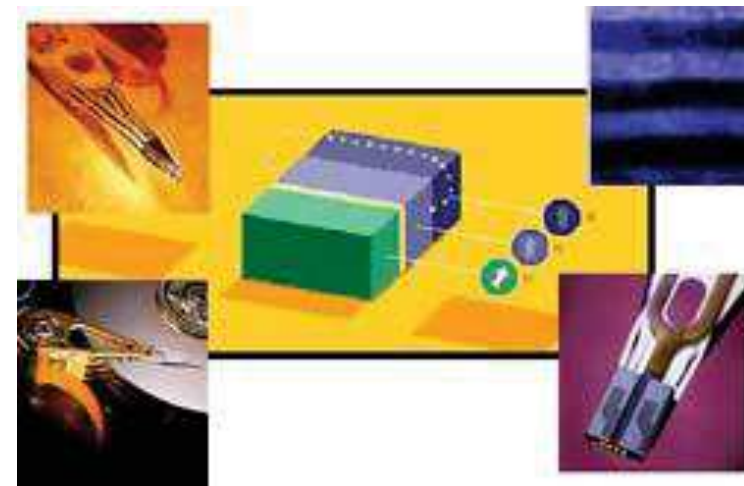
Περίθλαση Ακτίνων-Χ (XRD)



Σύγχρονα Μαγνητικά Μέσα



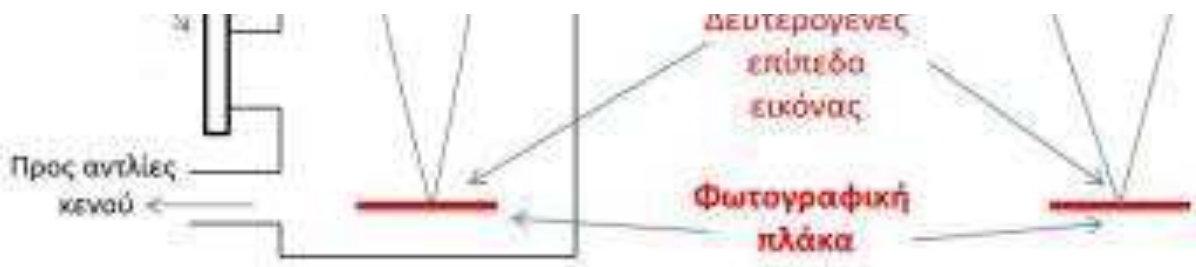
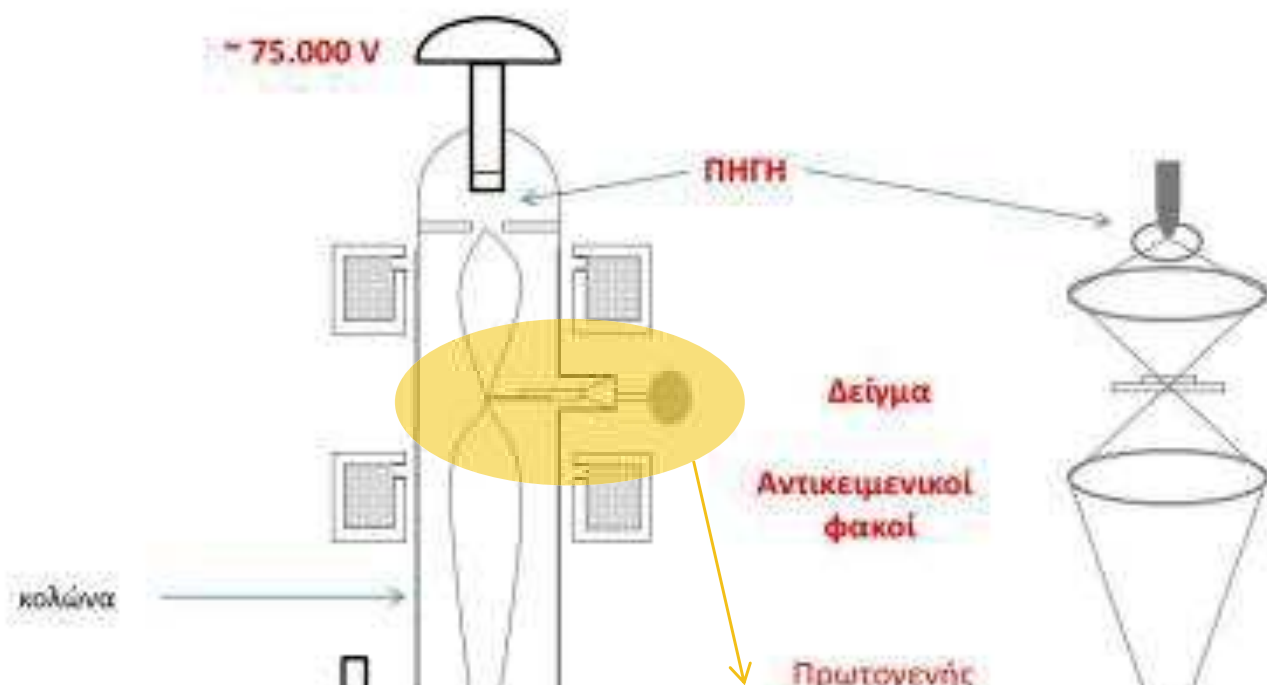
Βιοϊατρικές Εφαρμογές



Αισθητήρες & Ανιχνευτές



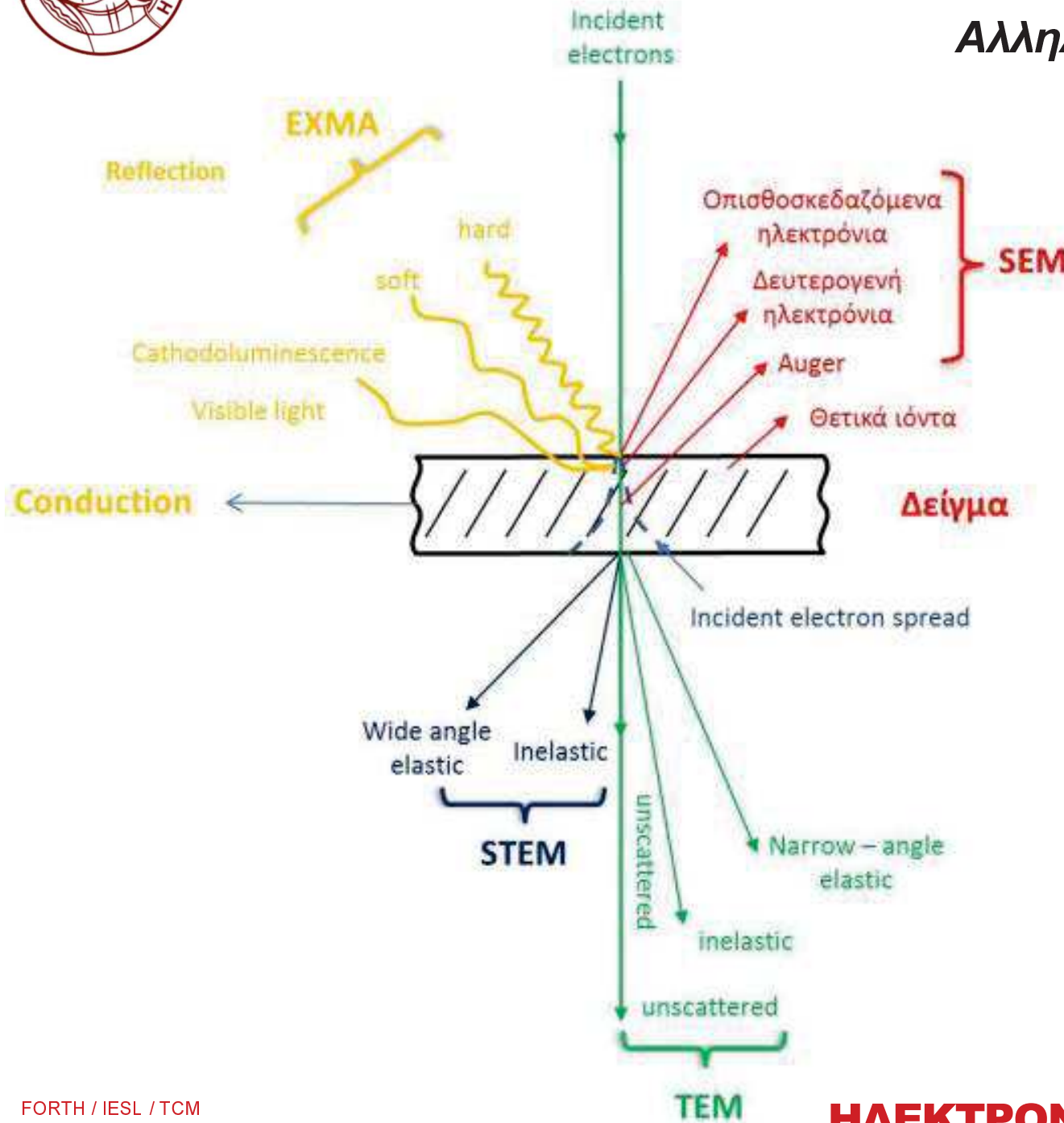
ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ





ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

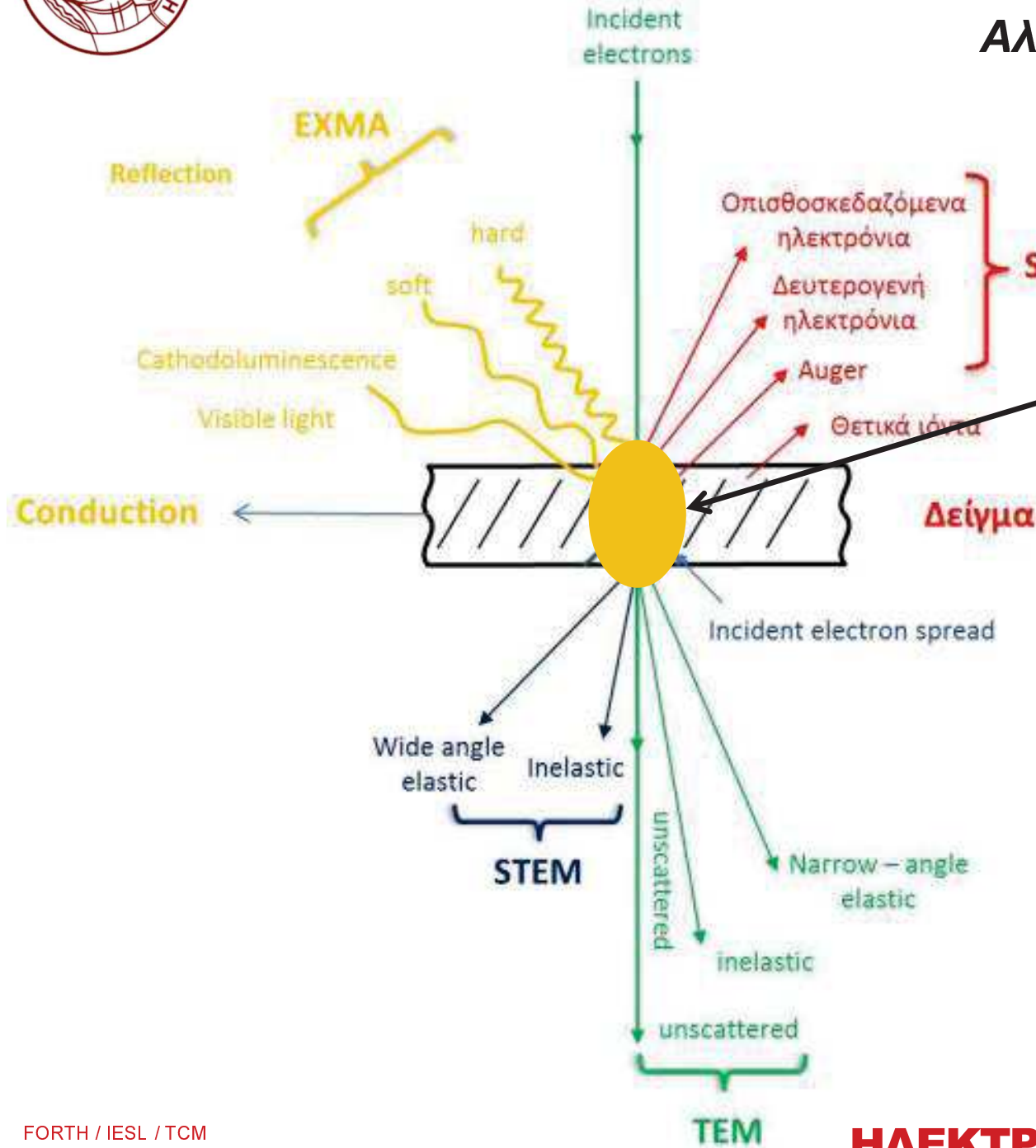
Αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων ύλης





ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων ύλης



Δέσμη ταχέως κινούμενων ηλεκτρονίων (πρωτογενή)

Η πιθανότητα ένα e^- της δέσμης να σκεδαστεί με έναν συγκεκριμένο τρόπο χαρακτηρίζεται από την ενεργό διατομή σ ή από την μέση ελεύθερη διαδρομή

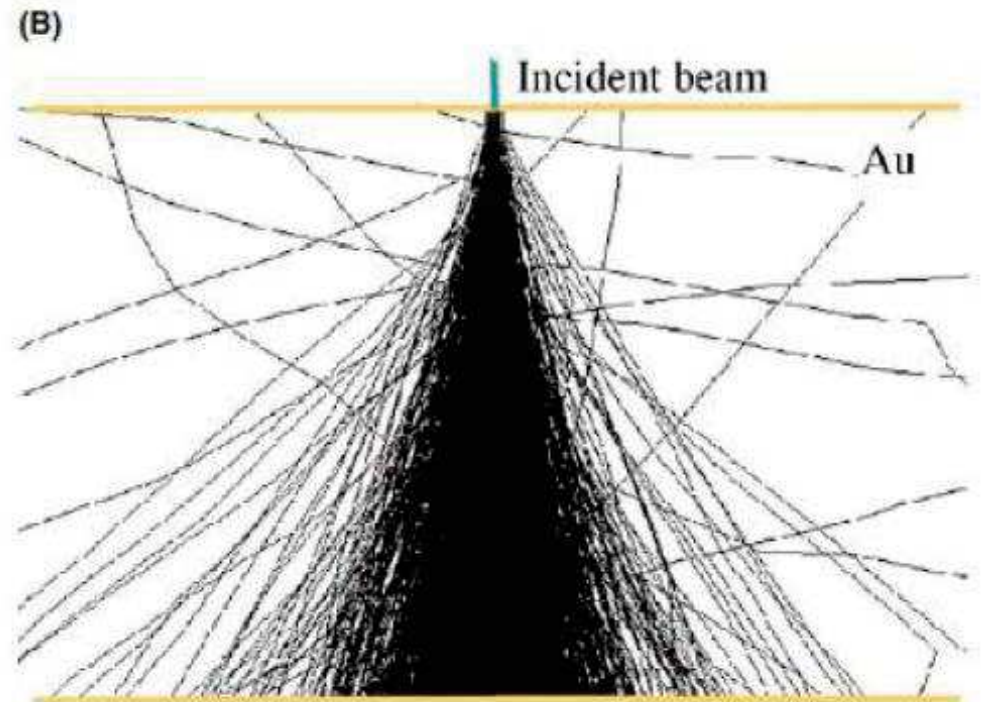
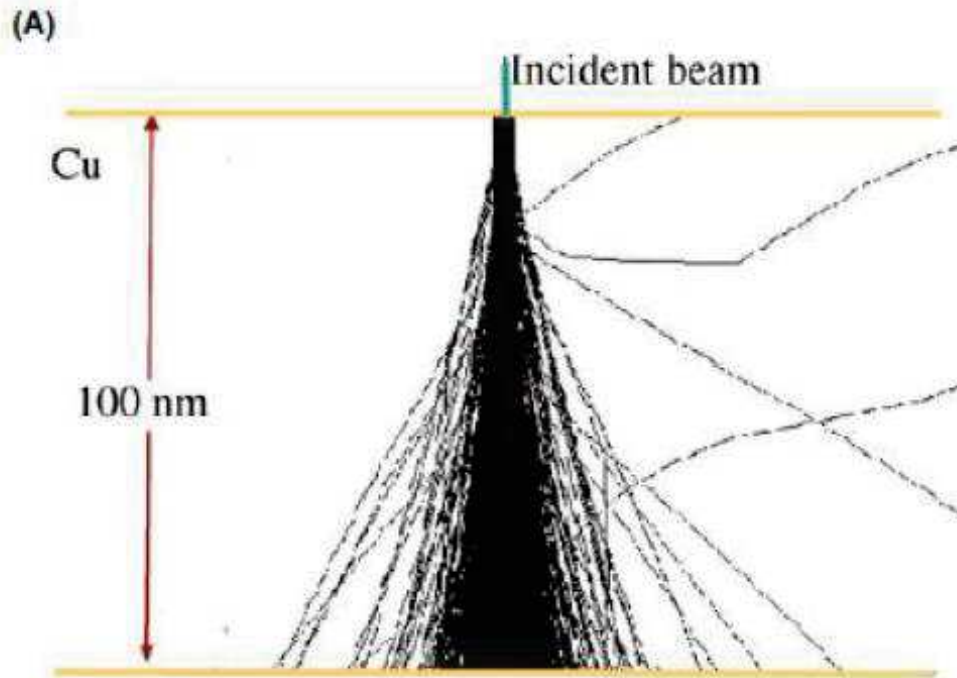
$$\lambda = \frac{1}{N\sigma}$$

N: αριθμός σκεδάσεων και λ η μέση απόσταση μτξ 2 διαδοχικών σκεδάσεων



ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων ύλης



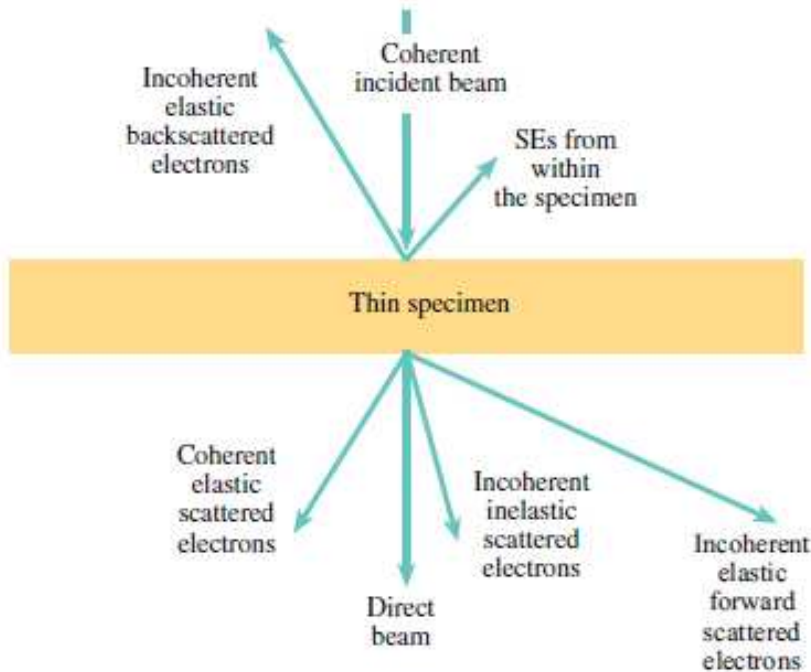
$$p(n) = \frac{1}{n!} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^n \exp\left(-\frac{x}{\lambda}\right)$$



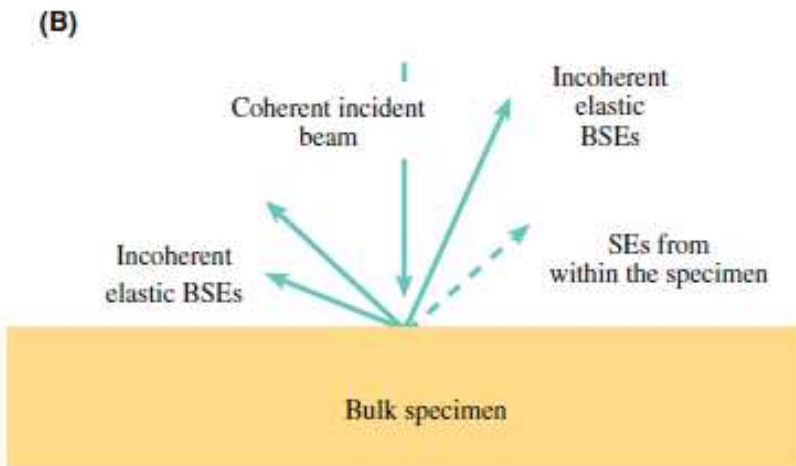
ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων ύλης

Λεπτό Δείγμα



Παχύ Δείγμα



Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Διέλευσης
(Transmission Electron Microscope, TEM)
τα *ηλεκτρόνια σκεδάζονται ελάχιστα*

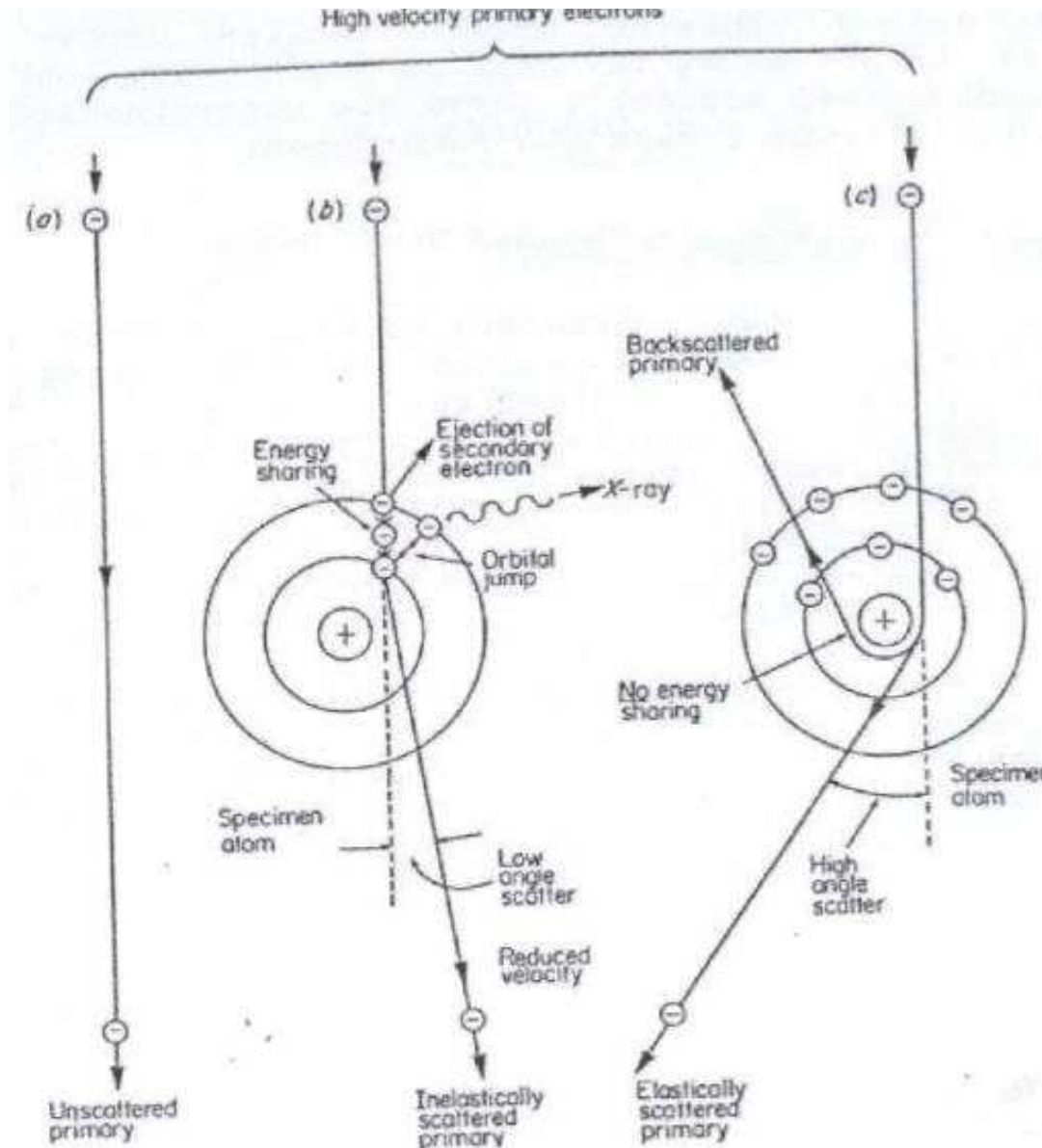
Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης
(Scanning Electron Microscope, SEM) τα
ηλεκτρόνια σκεδάζονται σε μεγάλο ποσοστό μέχρι να μηδενιστεί η ταχύτητά τους



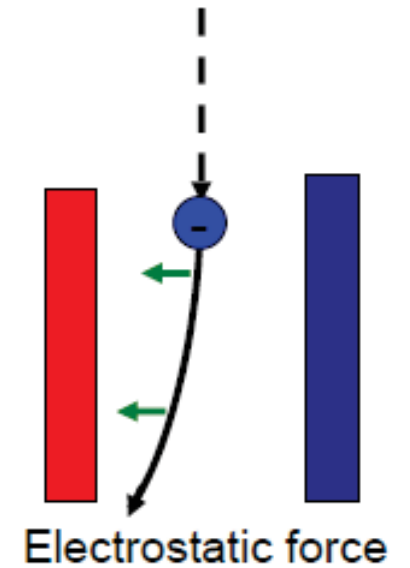
ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων ύλης

Ανελαστικές



Ελαστικές

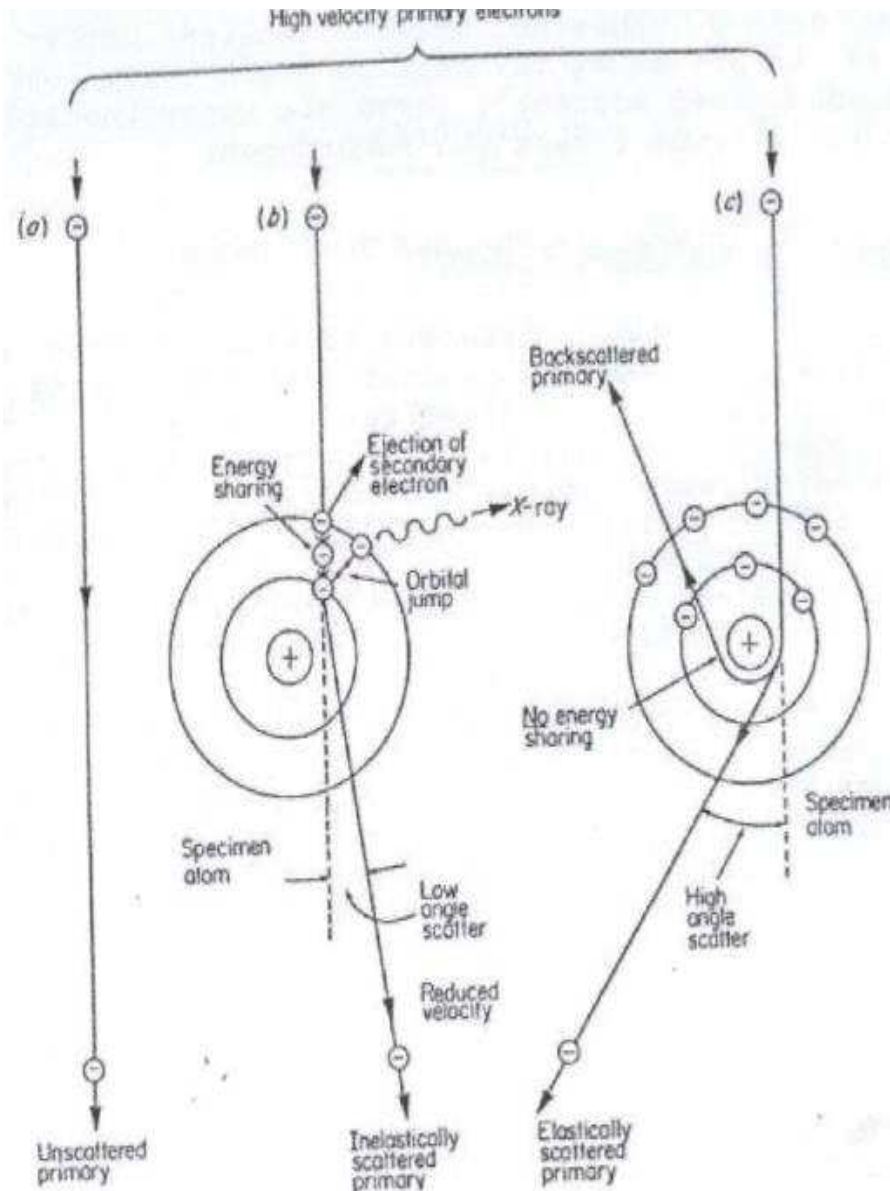




ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Ελαστικές

Αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων ύλης



$$\sigma_{electron} = \pi \left(\frac{e}{V\theta} \right)^2$$

$$\sigma_{nucleus} = \pi \left(\frac{Ze}{V\theta} \right)^2$$

Μεγάλη γωνία σκέδασης

Η σκέδαση σε μεγάλες γωνίες είναι πιθανότερη για βαριά άτομα

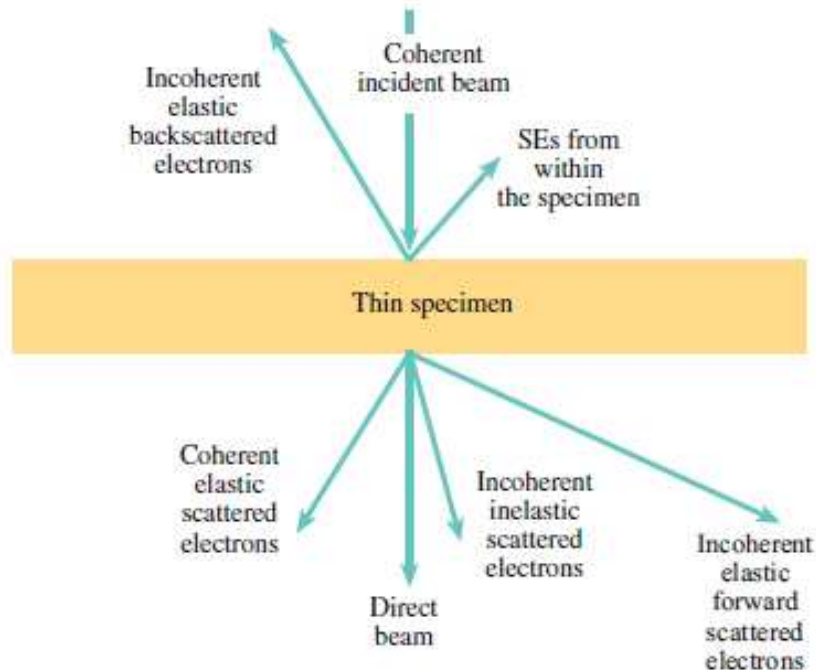


(A)

ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων ύλης

Λεπτό Δείγμα



Ηλεκτρόνια υφίστανται απλή σκέδαση (TEM)



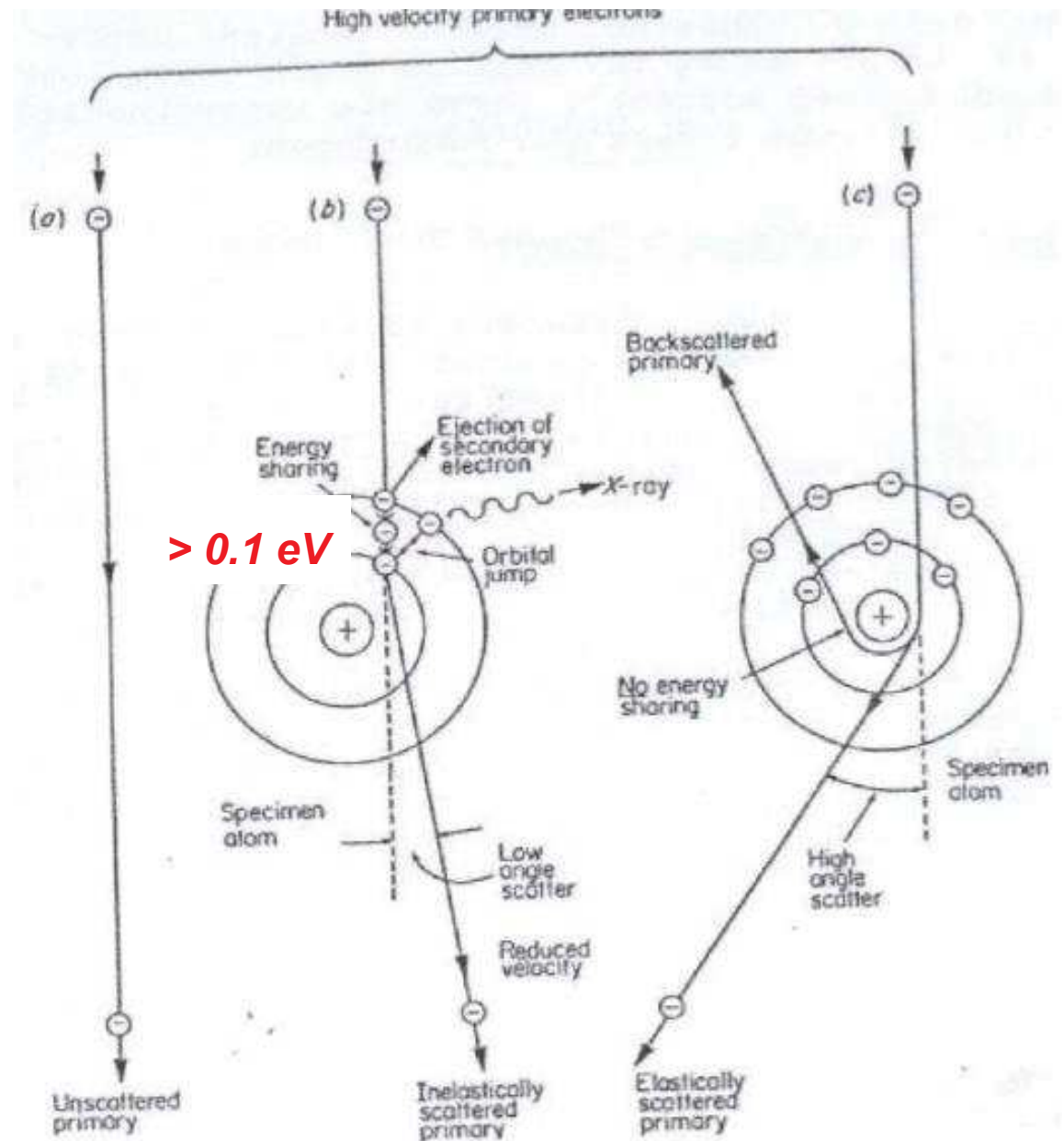
Η περίθλαση μας δίνει πολύτιμες πληροφορίες για την **περιοδική διάταξη των ατόμων** στο εσωτερικό του υλικού



ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων ύλης

Ανελαστικές





ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

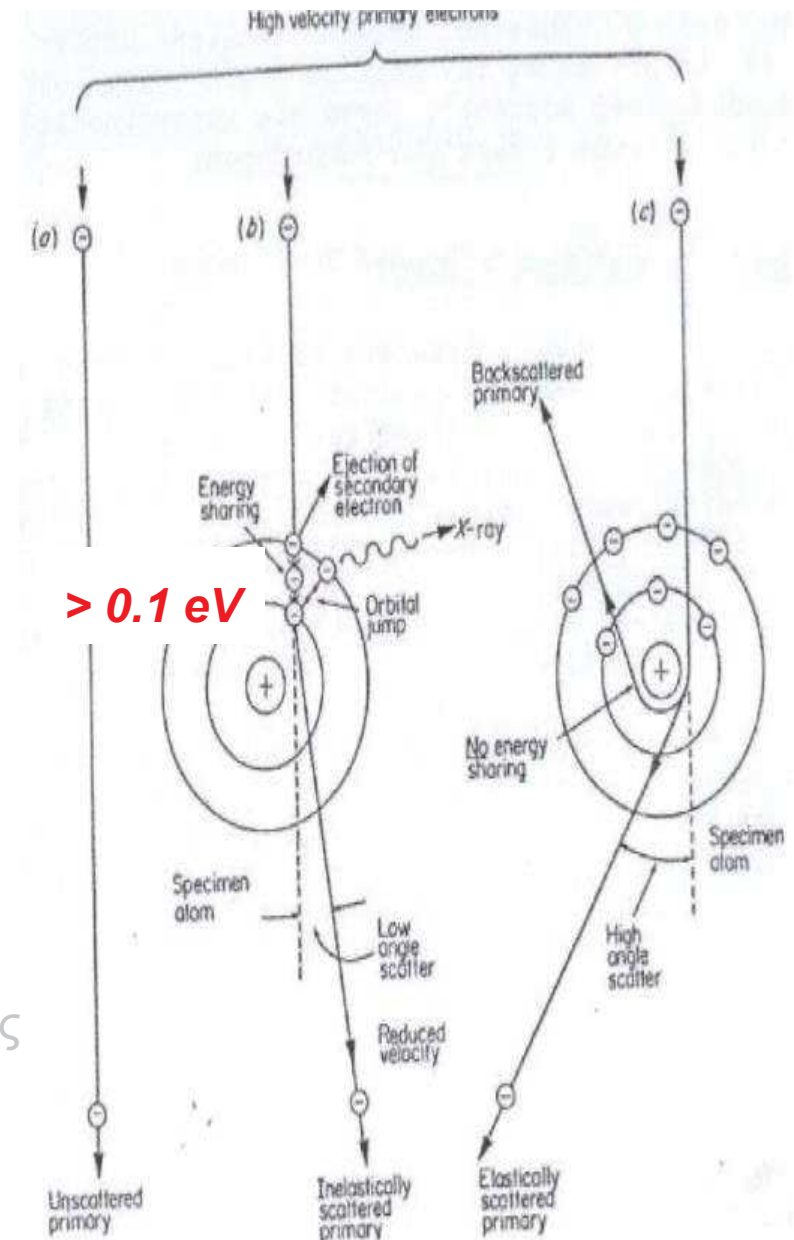
Αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων ύλης

Ανελαστικές

Ένα πρωτογενές ηλεκτρόνιο χάνει ενέργεια διεγείροντας:

- **Φωνόνιο**, οδηγώντας σε θέρμανση του δείγματος (απώλεια ενέργειας 1eV, μέση ελεύθερη διαδρομή μm)
- **Πλασμόνιο**, (απώλεια ενέργειας 5-30eV, μέση ελεύθερη διαδρομή nm)
- **e- εσωτερικών στοιβάδων** (απώλεια ενέργειας μεγάλη και εξαρτάται από το διεγερμένο άτομο και την στοιβάδα, μέση ελεύθερη διαδρομή μm)

Φωνόνιο είναι το κβάντο των ταλαντώσεων πλέγματος ενός υλικού

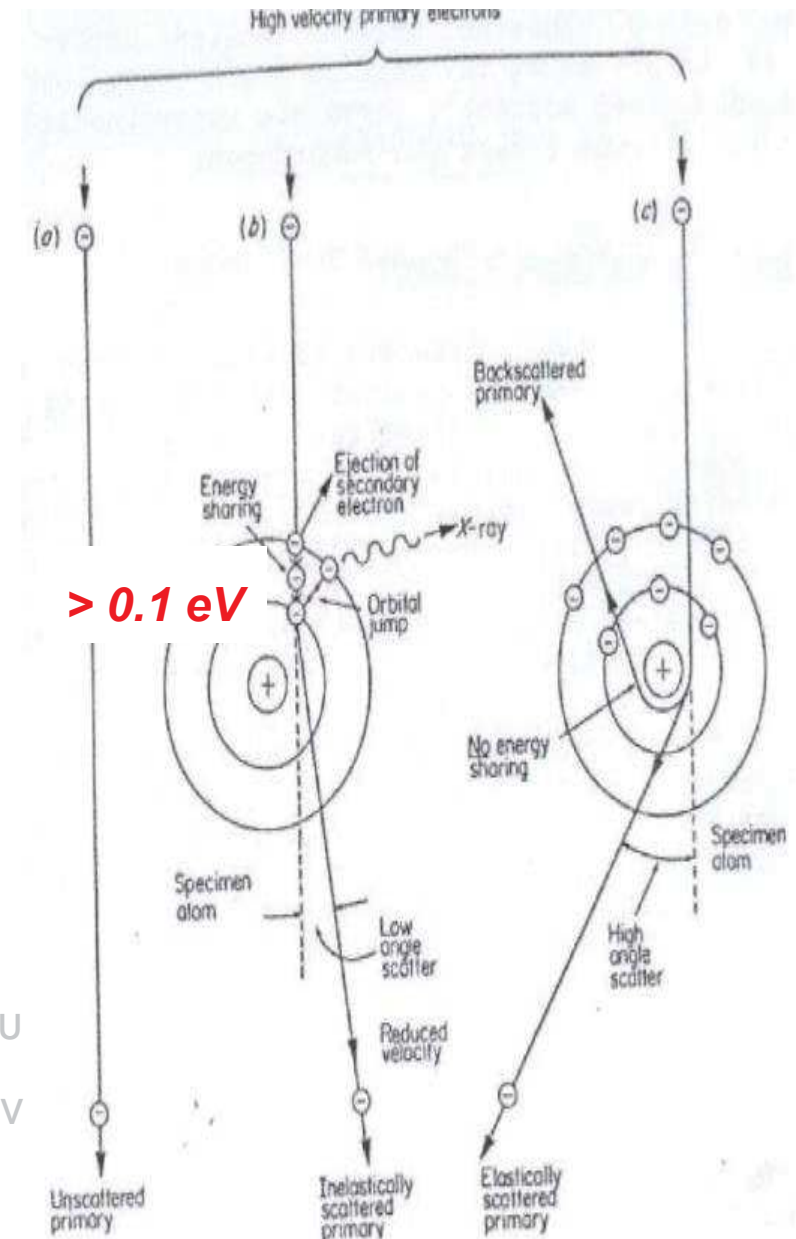




Ανελαστικές

Ένα πρωτογενές ηλεκτρόνιο χάνει ενέργεια διεγείροντας:

- **Φωνόνιο**, οδηγώντας σε θέρμανση του δείγματος (απώλεια ενέργειας 1eV, μέση ελεύθερη διαδρομή μm)
- **Πλασμόνιο**, (απώλεια ενέργειας 5-30eV, μέση ελεύθερη διαδρομή nm)
- **e⁻ εσωτερικών στοιβάδων** (απώλεια ενέργειας μεγάλη και εξαρτάται από το διεγερμένο άτομο και την στοιβάδα, μέση ελεύθερη διαδρομή μm)



Πλασμόνιο είναι το κβάντο των ταλαντώσεων φορτίου της ζώνης αγωγιμότητας ενός μετάλλου ή των ηλεκτρονίων των δεσμών σε μη αγώγιμα υλικά

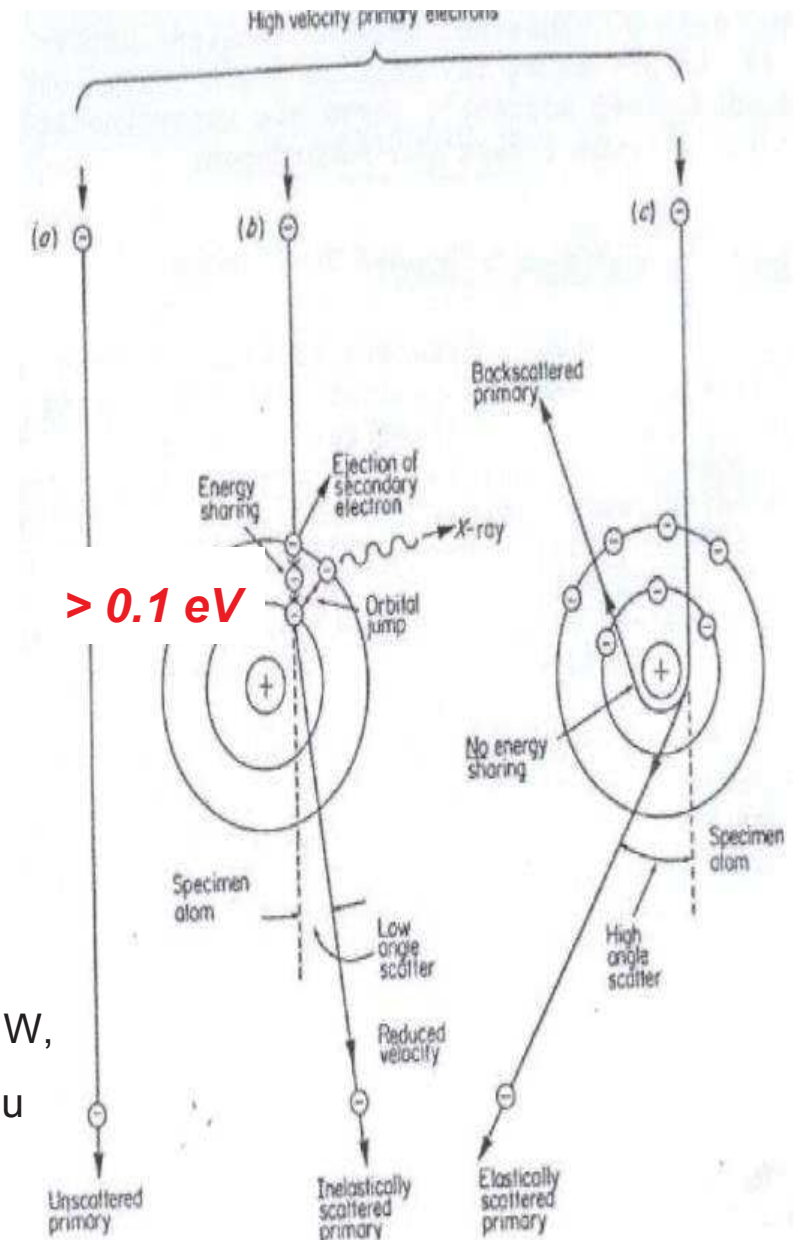


Ανελαστικές

Ένα πρωτογενές ηλεκτρόνιο χάνει ενέργεια διεγείροντας:

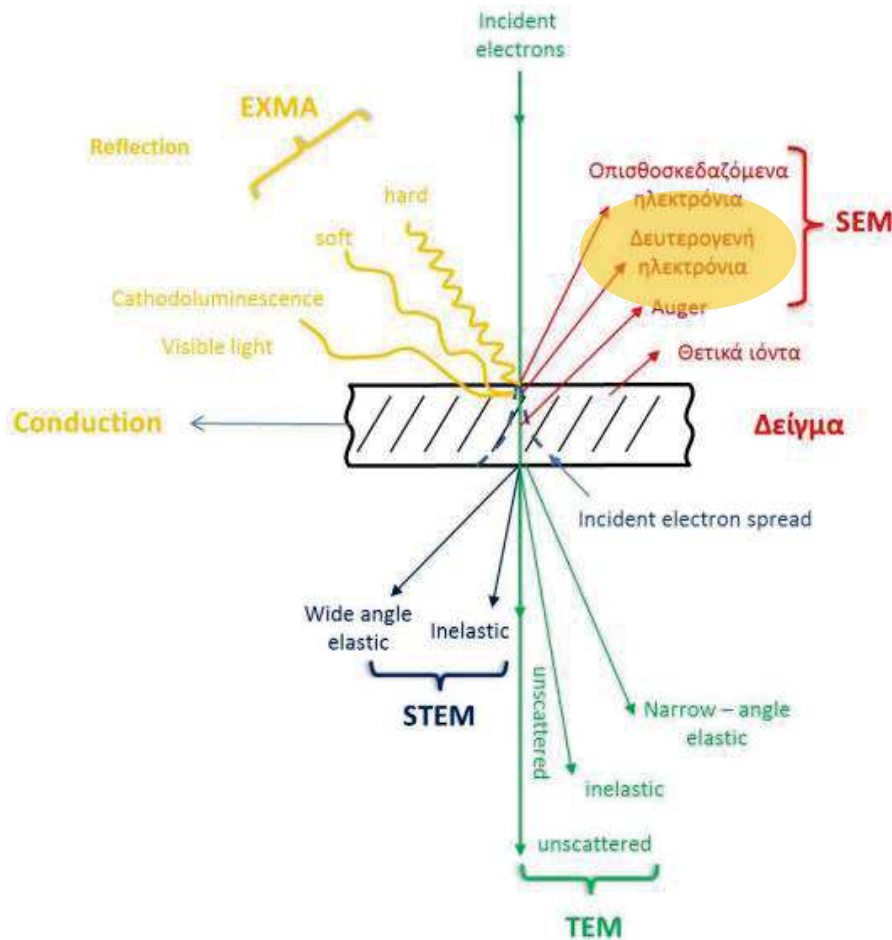
- **Φωνόνιο**, οδηγώντας σε θέρμανση του δείγματος (απώλεια ενέργειας 1eV, μέση ελεύθερη διαδρομή μm)
- **Πλασμόνιο**, (απώλεια ενέργειας 5-30eV, μέση ελεύθερη διαδρομή nm)
- **e- εσωτερικών στοιβάδων** (απώλεια ενέργειας μεγάλη και εξαρτάται από το διεγερμένο άτομο και την στοιβάδα, μέση ελεύθερη διαδρομή μm)

283 eV για την διέγερση ενός ηλεκτρονίου της K στοιβάδας του C,
69508 eV για την διέγερση ενός ηλεκτρονίου της K στοιβάδας του W,
1100 eV για την διέγερση ενός ηλεκτρονίου της L στοιβάδας του Cu





Δευτερογενή Φαινόμενα



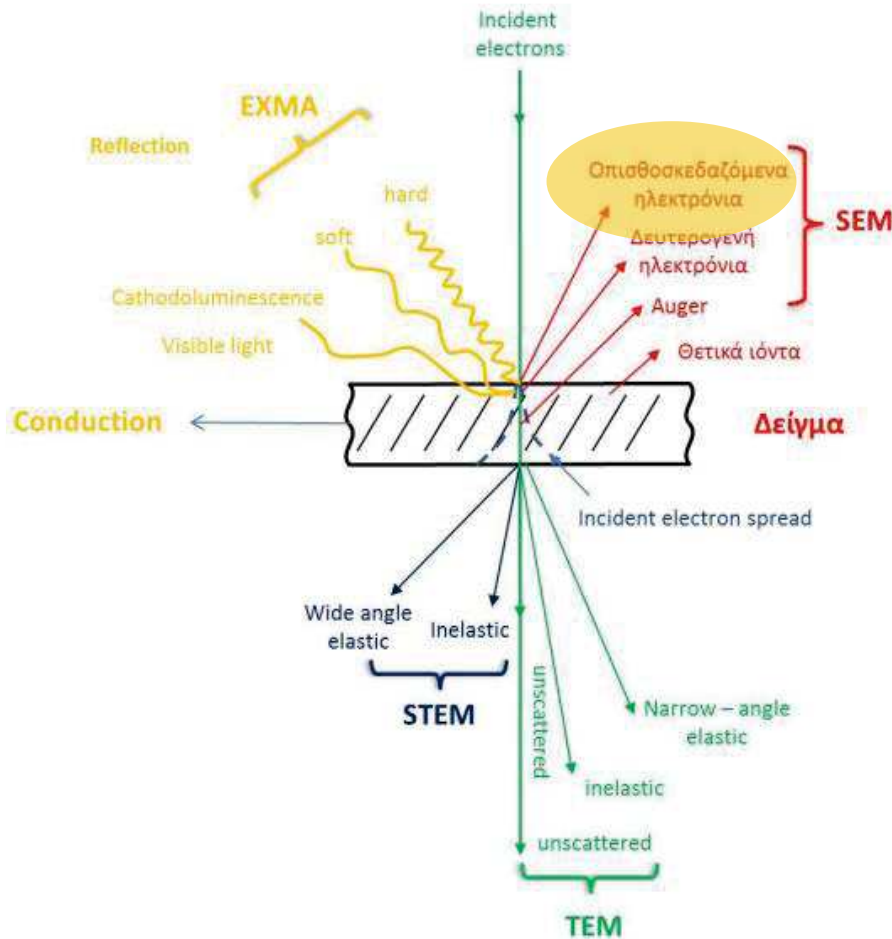
Οφείλονται στα ηλεκτρόνια της δέσμης και μπορούν να ανιχνευτούν εκτός δείγματος

Δευτερογενή ηλεκτρόνια ονομάζονται τα ηλεκτρόνια που διαφεύγουν από την πλευρά εισόδου της δέσμης (ενέργεια μικρότερη από 50eV). Διαφεύγουν από το δείγμα μόνο εάν βρίσκονται πολύ κοντά στην επιφάνεια και έχουν μικρή ενέργεια.

Χρησιμοποιούνται για τον σχηματισμό ειδώλου της επιφάνειας του δείγματος στο SEM



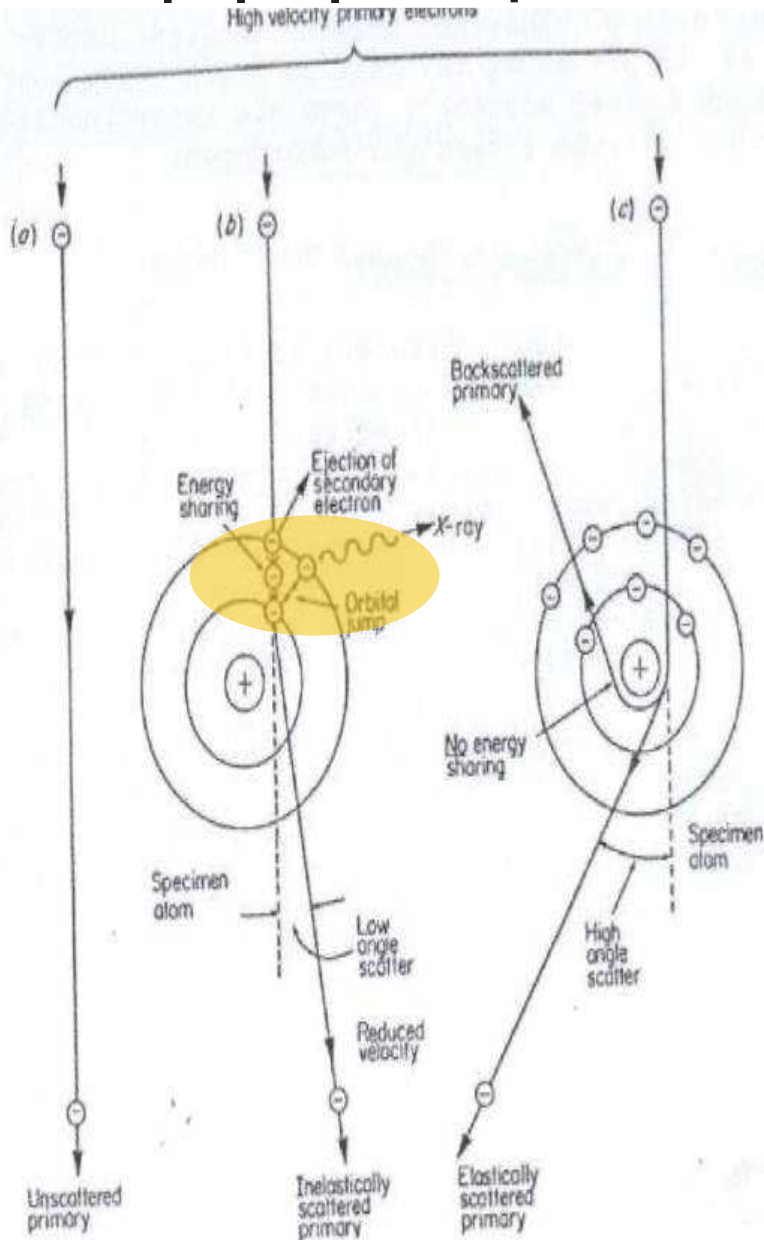
Δευτερογενή Φαινόμενα



Οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια: τα ηλεκτρόνια που διαφεύγουν από την πλευρά εισόδου της δέσμης και έχουν μεγάλη ενέργεια. Προέρχονται από μεγάλο βάθος μέσα στο δείγμα (σκέδαση από πυρήνα ατόμων)



Δευτερογενή Φαινόμενα



Τρόποι αποδιέγερσης

- καθοδοφωταύγεια, άδεια θέση e^- σε εξωτερική στοιβάδα και απελευθέρωση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας χαμηλής ενέργειας που αντιστοιχεί στο ορατό φάσμα
- **Φάσμα ακτίνων X ή εκπομπή ενός e^- Auger,** άδεια θέση σε εσωτερική στοιβάδα.

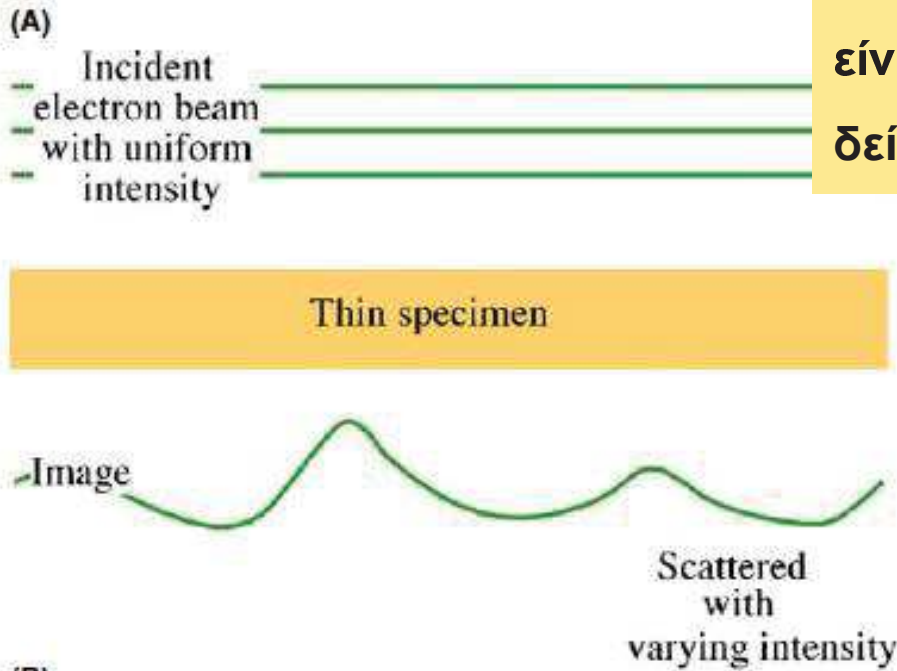
Η ενέργεια των ακτίνων X είναι χαρακτηριστική του είδους του ατόμου και τις στοιβάδας, οπότε εάν διαθέτουμε τον κατάλληλο ανιχνευτή είναι δυνατό να ταυτοποιήσουμε το στοιχείο από το οποίο προήλθε.



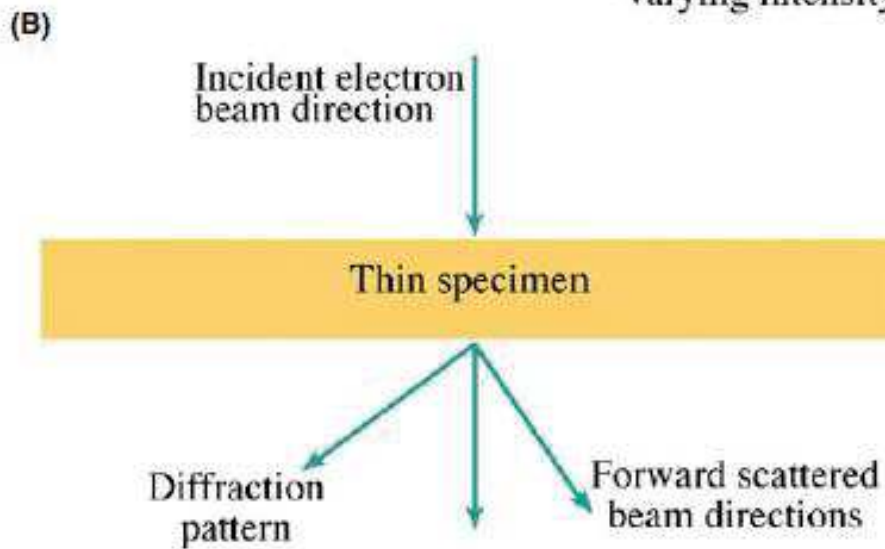
ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Η Μορφή και το σχήμα της δέσμης e- με το δείγμα είναι καθοριστικά για το είδος του ειδώλου του δείγματος

Ομοιογενής δέσμη



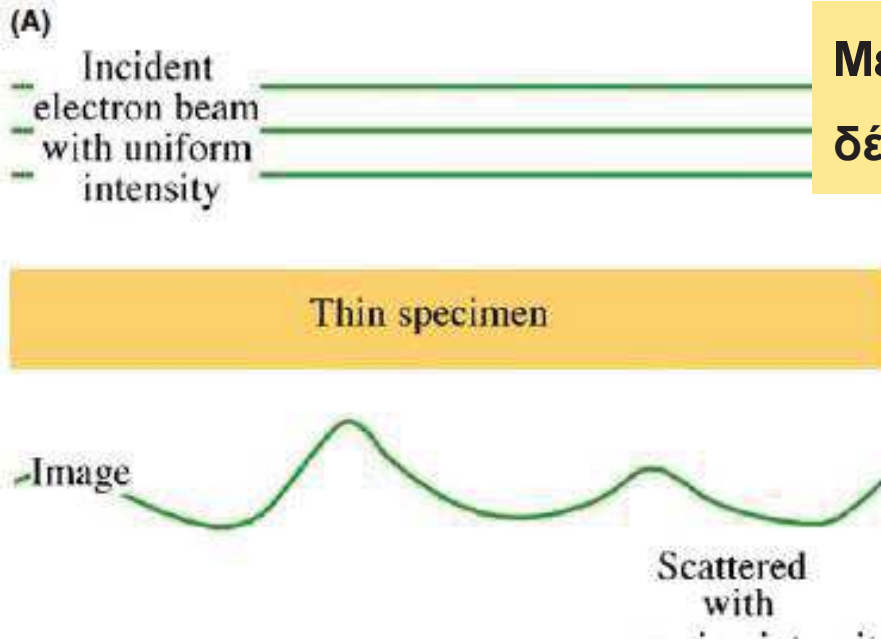
Λεπτή δέσμη





ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Ομοιογενής δέσμη



Μεγάλου ανοίγματος (1 μ m – 1mm διάμετρος) δέσμη φωτίζει μεγάλη περιοχή δείγματος



Σχηματισμός ειδώλου περιορισμένης Δ.Ι.

Μέθοδος Σταθερής Δέσμης ή Κλασσική



ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Ισχυρή Δέσμη η οποία εστιάζει σε ένα σημείο (2 – 200Å διάμετρος). Η σημειακή δέσμη εκτρέπεται πλαγίως και καθέτως πάρα πολύ γρήγορα σαρώνοντας γρήγορα μεγάλη περιοχή δείγματος (τηλεόραση)



Λεπτή δέσμη

Incident electron beam direction



Thin specimen

Η Δ.Ι. καθορίζεται από το μέγεθος της σημειακής δέσμης

Μέθοδος Σάρωσης



- **Κλασσικό Σταθερής Δέσμης Η.Μ. διαπερατότητας ή Διέλευσης**
Transmission Electron Microscopy -TEM
- **Σαρωτικό, σταθερής δέσμης Η.Μ. διαπερατότητας ή Διέλευσης**
Scanning Transmission Electron Microscope – STEM
- **Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης**
Scanning Electron Microscope – SEM
- **Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Ανάκλασης**
Reflection Electron Microscopy
- **Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Εκπομπής**
Emission Electron Microscopy
- **Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Υψηλής Τάσης**
High voltage Electron Microscopy
- **Ηλεκτρονικής Δέσμης Μικροαναλυτή ακτίνων – Χ**
Electron Probe X-ray Microanalyser



- **Μικροσκοπία Σάρωσης με Ακίδα**
Scanning Probe Microscopy -SPM



ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

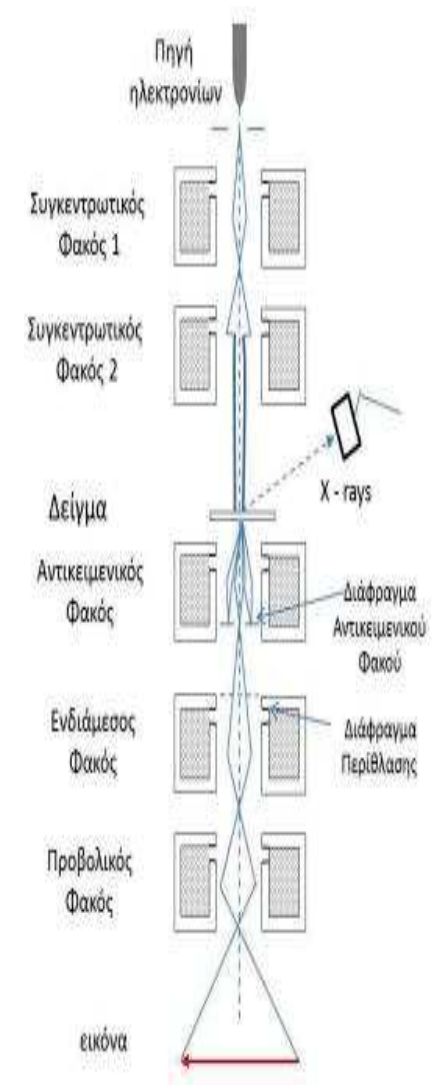
Κλασικό Σταθερής Δέσμης Η.Μ. διαπερατότητας ή Διέλευσης

Transmission Electron Microscopy -TEM

- Σχηματισμός ειδώλων **ΜΟΝΟ** σε λεπτά δείγματα
- 50-90% της προσπίπτουσας δέσμης ηλεκτρονίων διαπερνά το δείγμα
- Έως 4 μαγνητικούς φακούς
- Δ.Ι. περιορίζεται από την τελειότητα των φακών

Σε ένα συμβατικό Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Διέλευσης, ένα λεπτό δείγμα ακτινοβολείται από μία δέσμη e⁻ ομοιόμορφης πυκνότητας ρεύματος

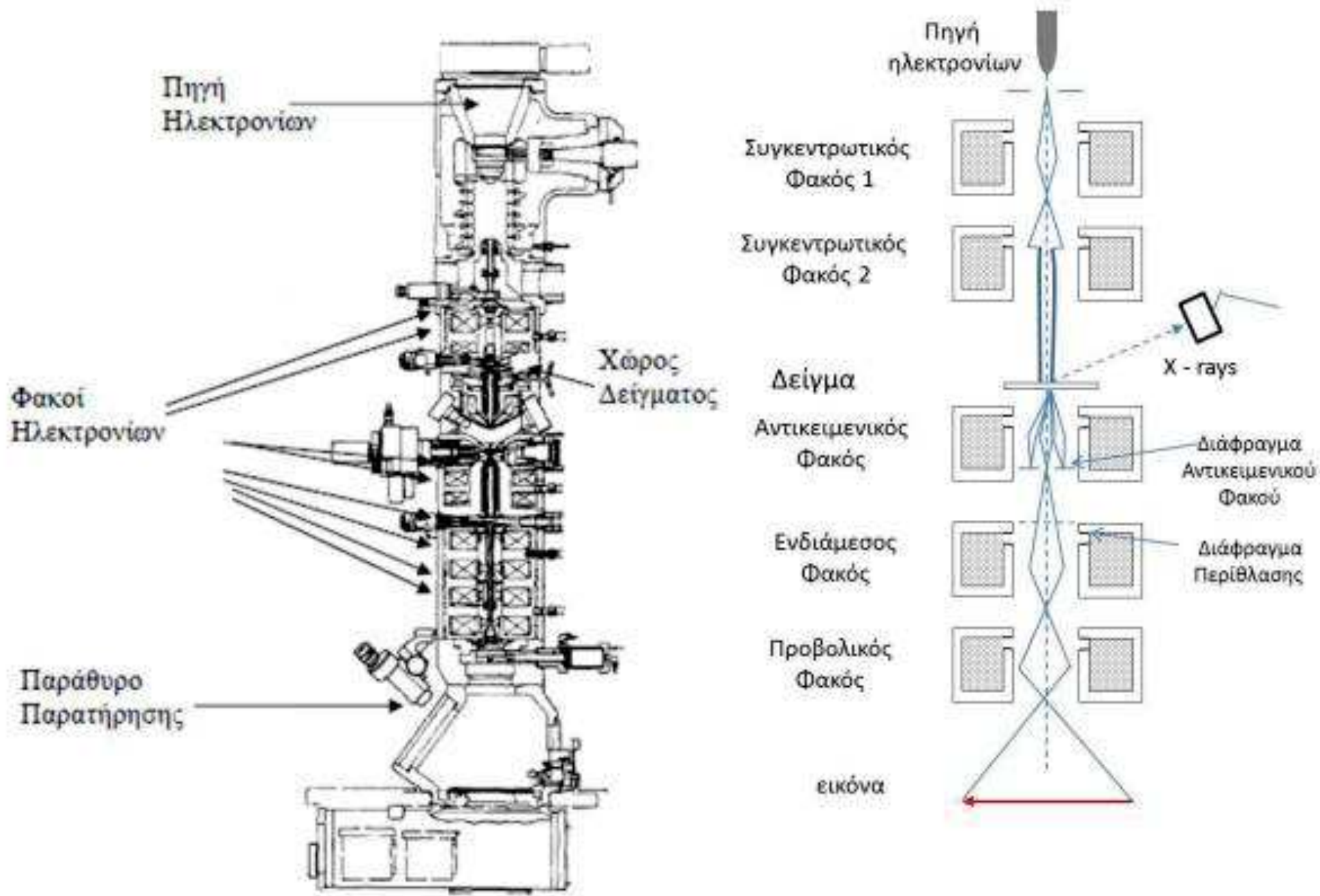
Μικροσκόπια υψηλότερης Δ.Ι. λειτουργούν με δυναμικά 200-500kV





ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

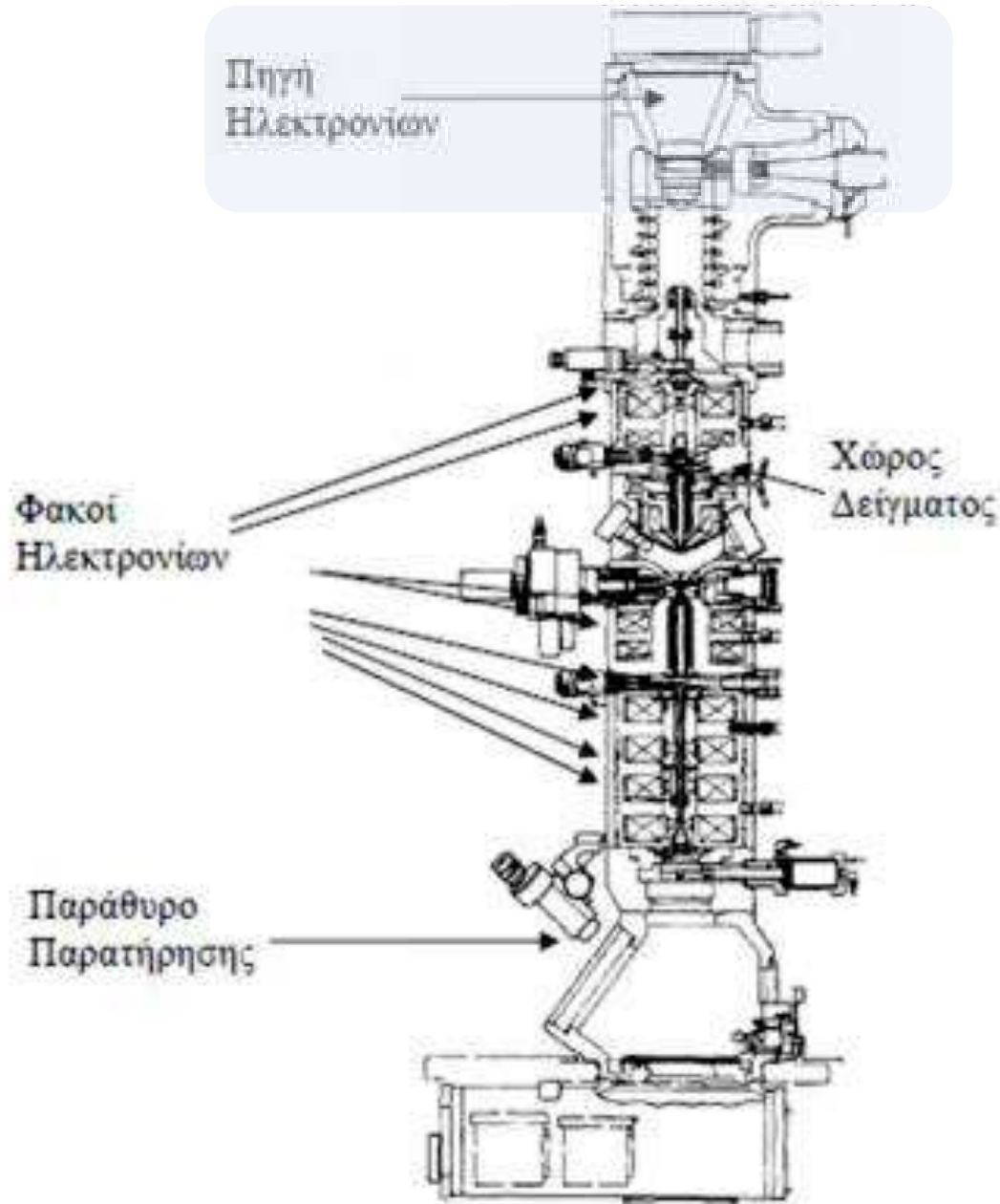
Κλασικό Σταθερής Δέσμης Η.Μ. διαπερατότητας ή Διέλευσης





ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Κλασικό Σταθερής Δέσμης Η.Μ. διαπερατότητας ή Διέλευσης



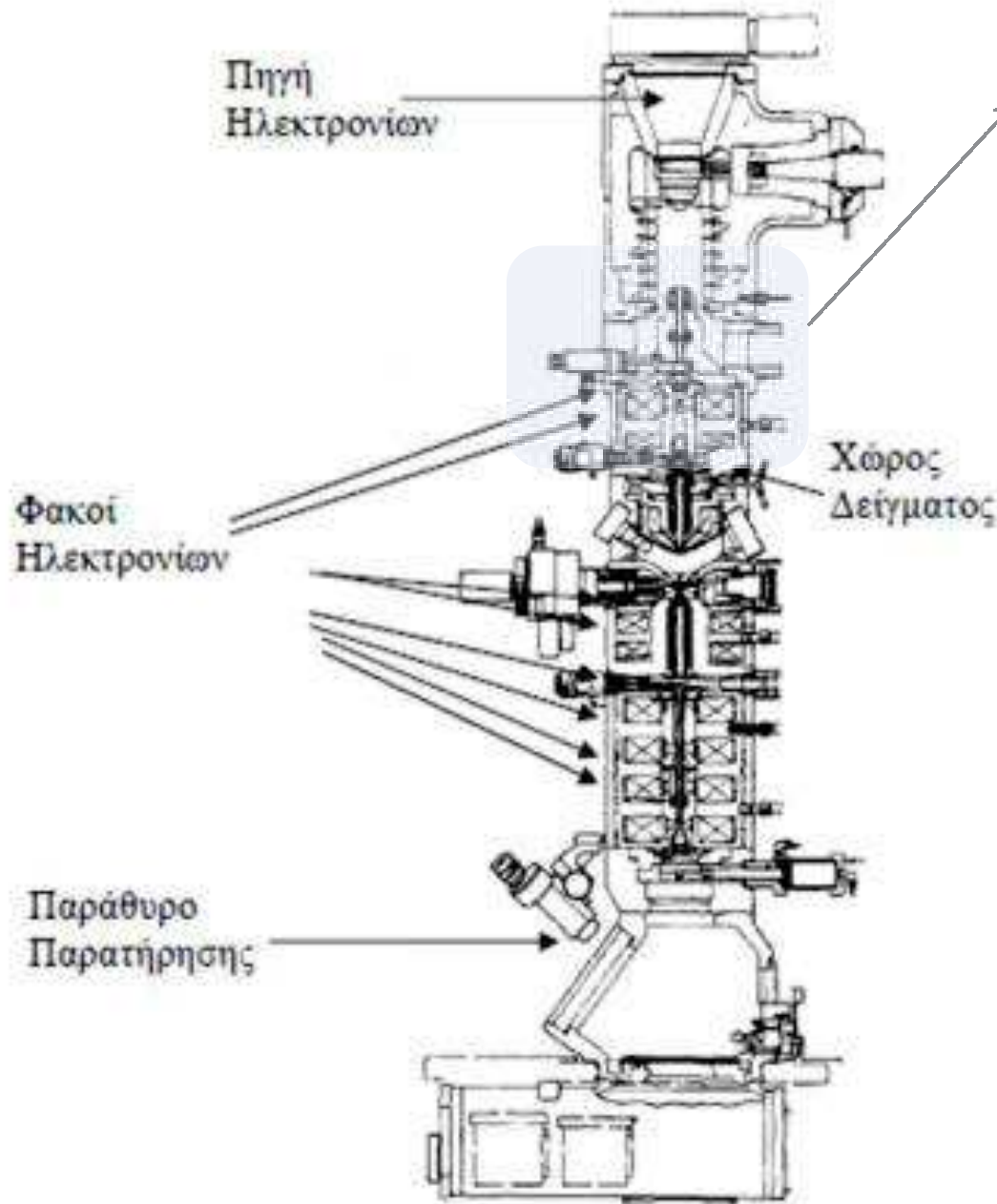
- Θερμαινόμενο νήμα βολφραμίου
θερμιονική εκπομπή
- Μεταλλική ακίδα
εκπομπή πεδίου
- Υπερυψηλό κενό 10^{-10} mbar

Η εκπεμπόμενη δέσμη e^- επιτυγχάνεται με την βοήθεια δύο ηλεκτροδίων που βρίσκονται σε υψηλή τάση kV - MV



ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Κλασικό Σταθερής Δέσμης Η.Μ. διαπερατότητας ή Διέλευσης



- Εστίαση της δέσμης e- με την χρήση 2 συγκεντρωτικών φακών μαγνητικού τύπου
- Ηλεκτρομαγνητικά πηνία

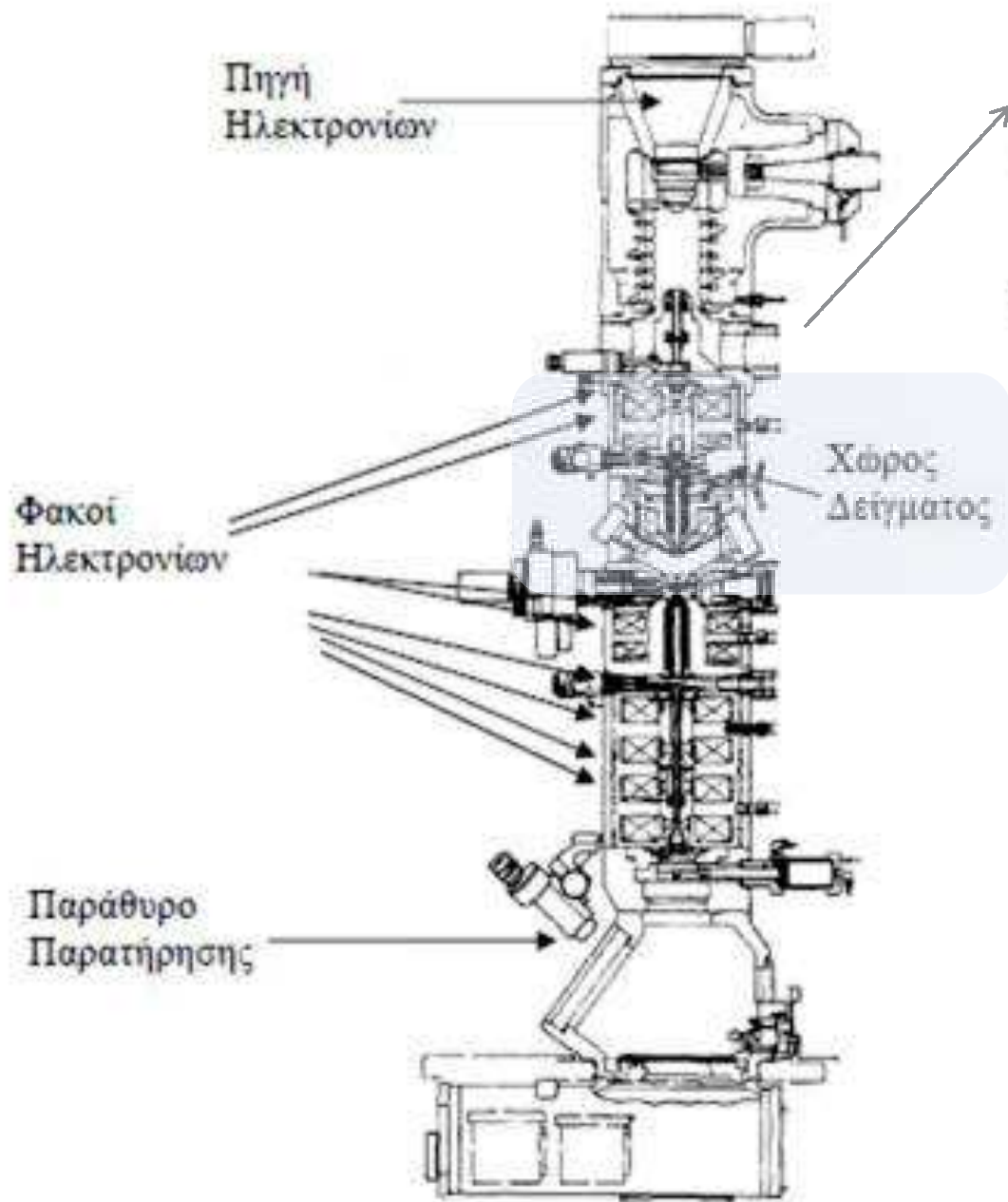
- Κενό $10^{-7} - 10^{-4}$ mbar

Οι συγκεντρωτικοί φακοί προκαλούν εστίαση της δέσμης e-, σε μια περιοχή ελάχιστων τετραγωνικών μm^2 του αντικειμένου



ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

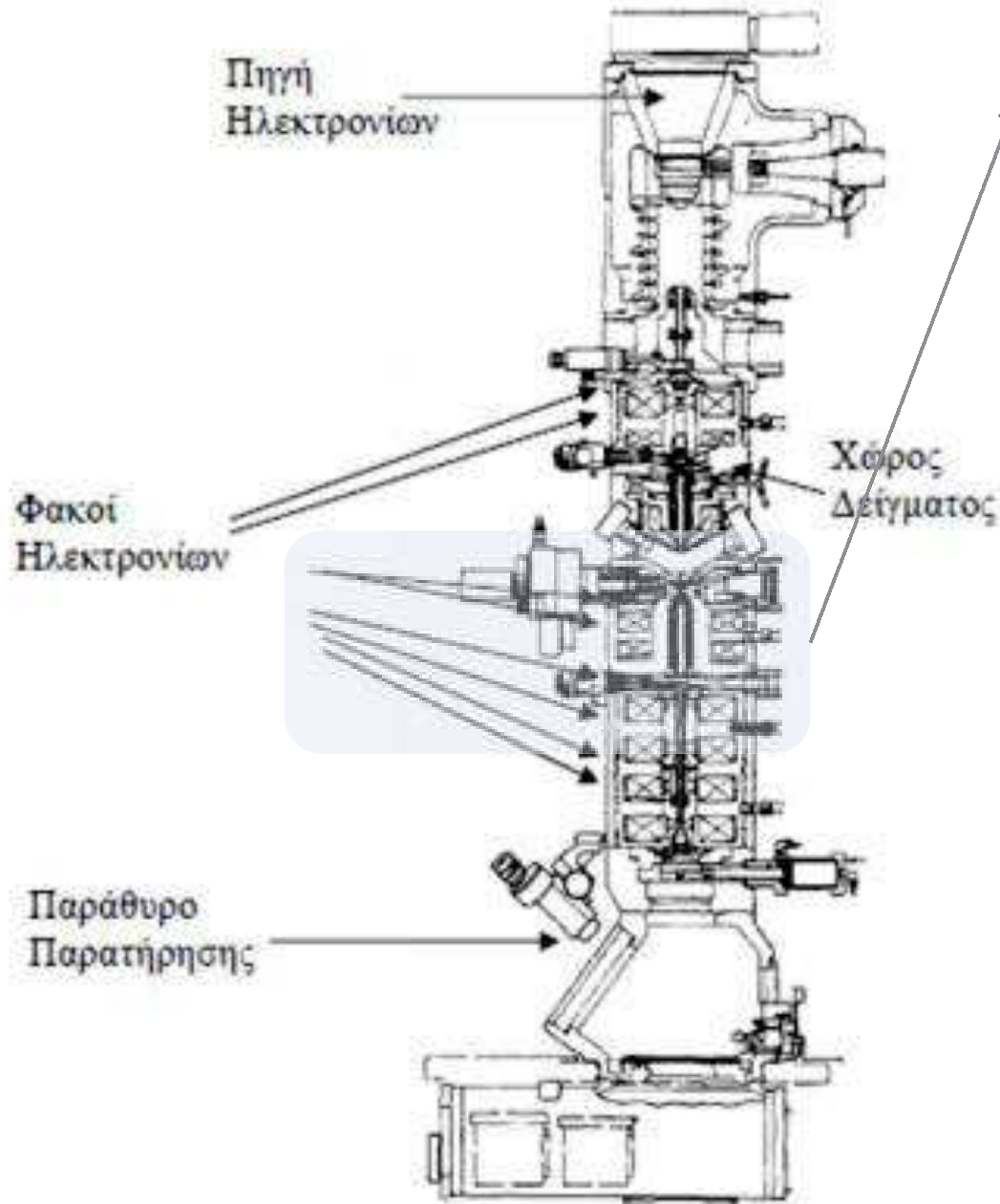
Κλασικό Σταθερής Δέσμης Η.Μ. διαπερατότητας ή Διέλευσης





ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Κλασικό Σταθερής Δέσμης Η.Μ. διαπερατότητας ή Διέλευσης



- **Αντικειμενικός Φακός**, βρίσκεται μετά το δείγμα
- **Ενδιάμεσος Φακός**, σχηματισμός ενός ενδιάμεσου ειδώλου το οποίο αποτελεί μεγεθυμένη απεικόνιση του αντικειμένου
- **Προβολικός Φακός**, προβολή του ενδιάμεσου ειδώλου μεγεθυμένο σε φθορίζουσα οθόνη

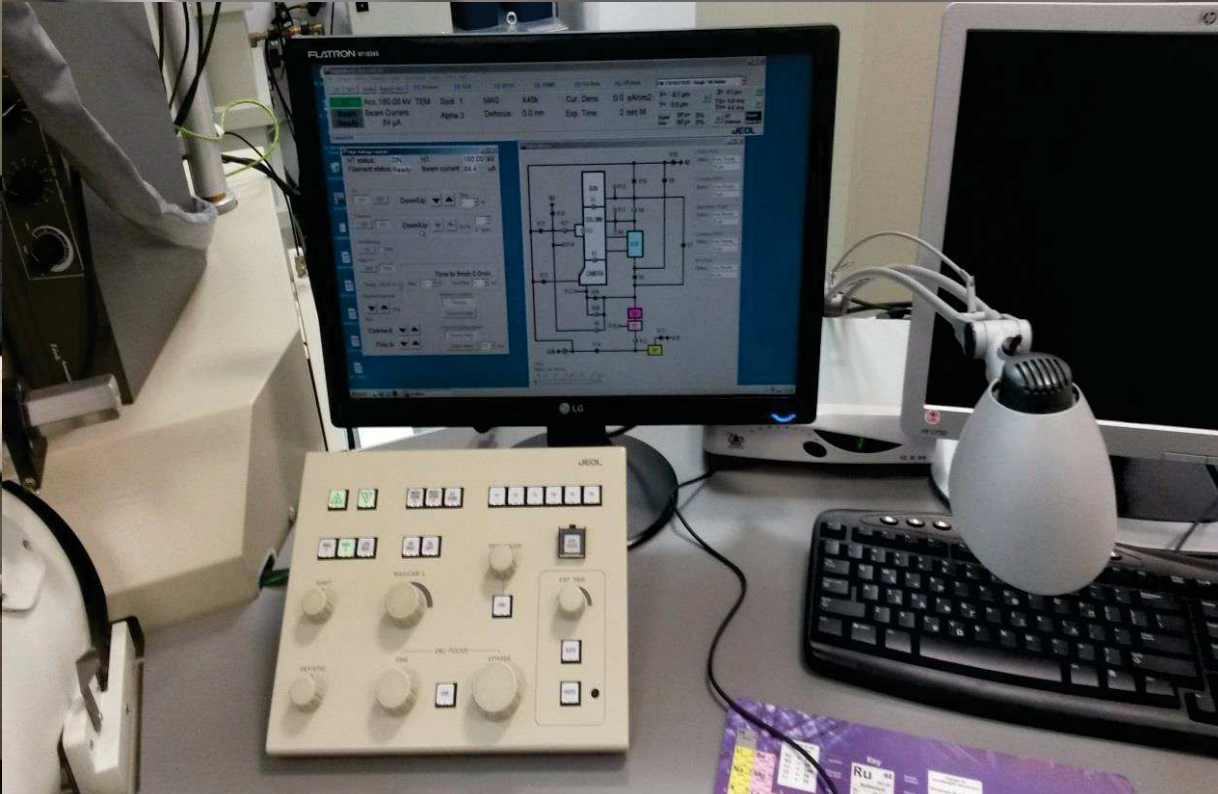
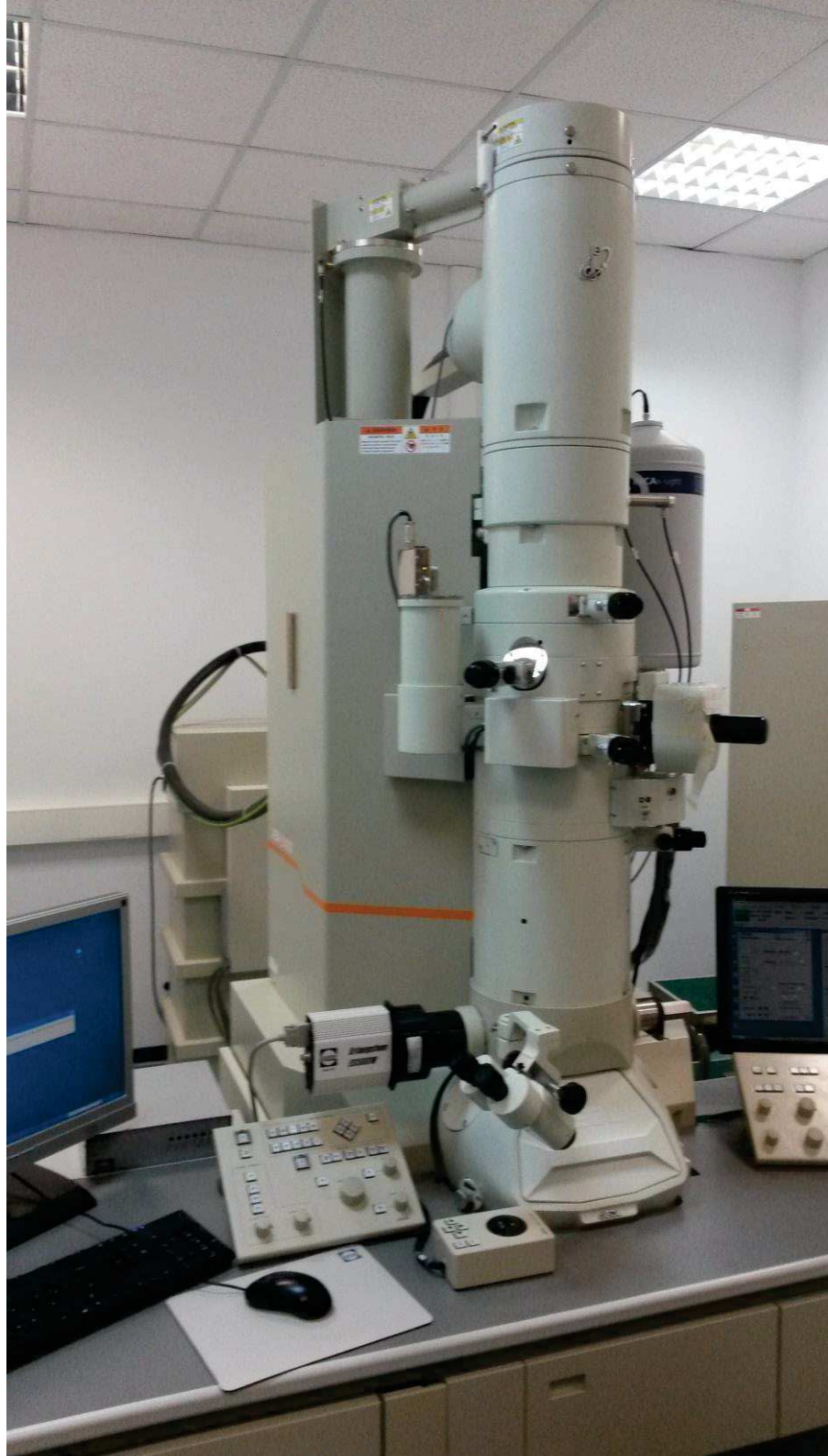


ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Κλασικό Σταθερής Δέσμης Η.Μ. διαπερατότητας ή Διέλευσης

Transmission Electron Microscopy -TEM







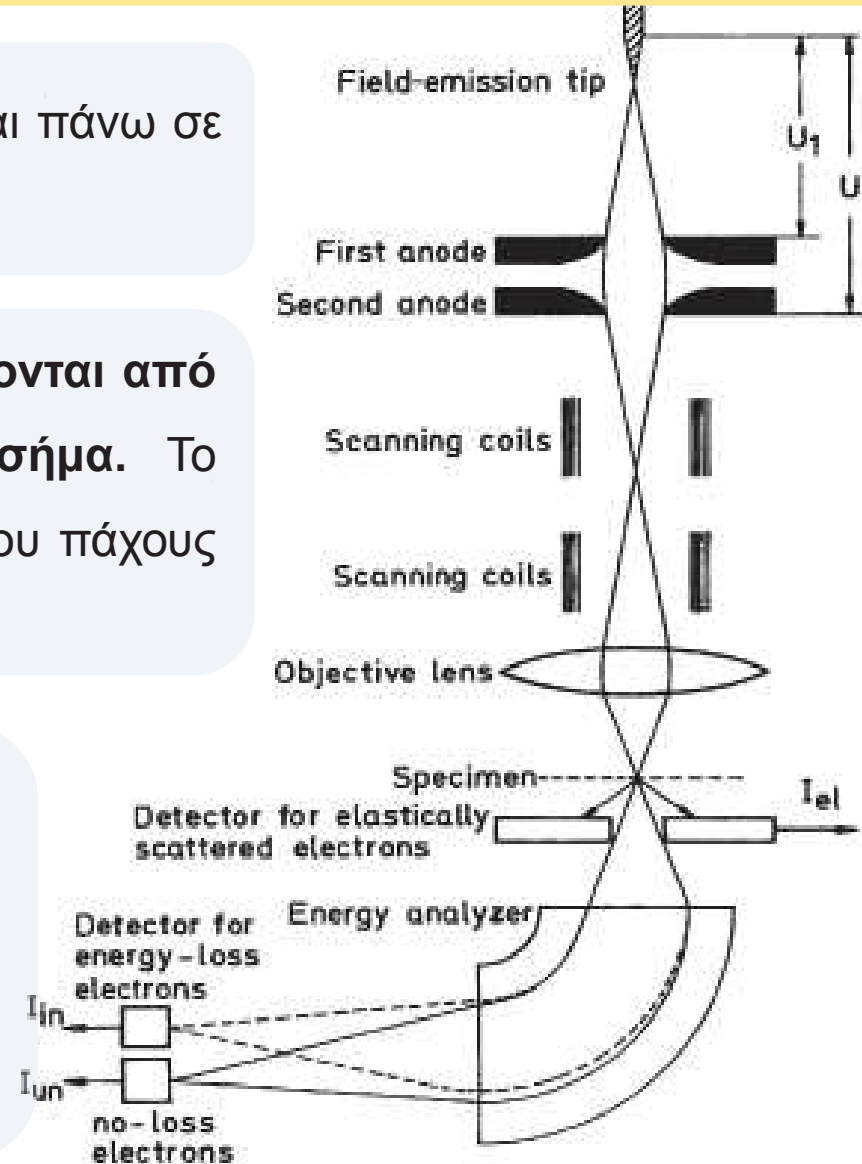
ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Σαρωτικό, σταθερής δέσμης Η.Μ. διαπερατότητας ή Διέλευσης Scanning Transmission Electron Microscope – STEM

Σημειακή πρωτογενής δέσμη e^- σαρώνεται πάνω σε λεπτό διαπερατό δείγμα

τα e^- που διαπερνούν το δείγμα ανιχνεύονται από κατάλληλο ανιχνευτή σαν ηλεκτρικό σήμα. Το ηλεκτρικό σήμα είναι μέτρο της μάζας και του πάχους της περιοχής

- Η **Δ.Ι.** καθορίζεται από το φυσικό μέγεθος της σημειακής δέσμης e^- .
- Η **μεγέθυνση** είναι ο λόγος της γραμμής σάρωσης πάνω στο δείγμα προς αυτήν πάνω στην οθόνη προβολής

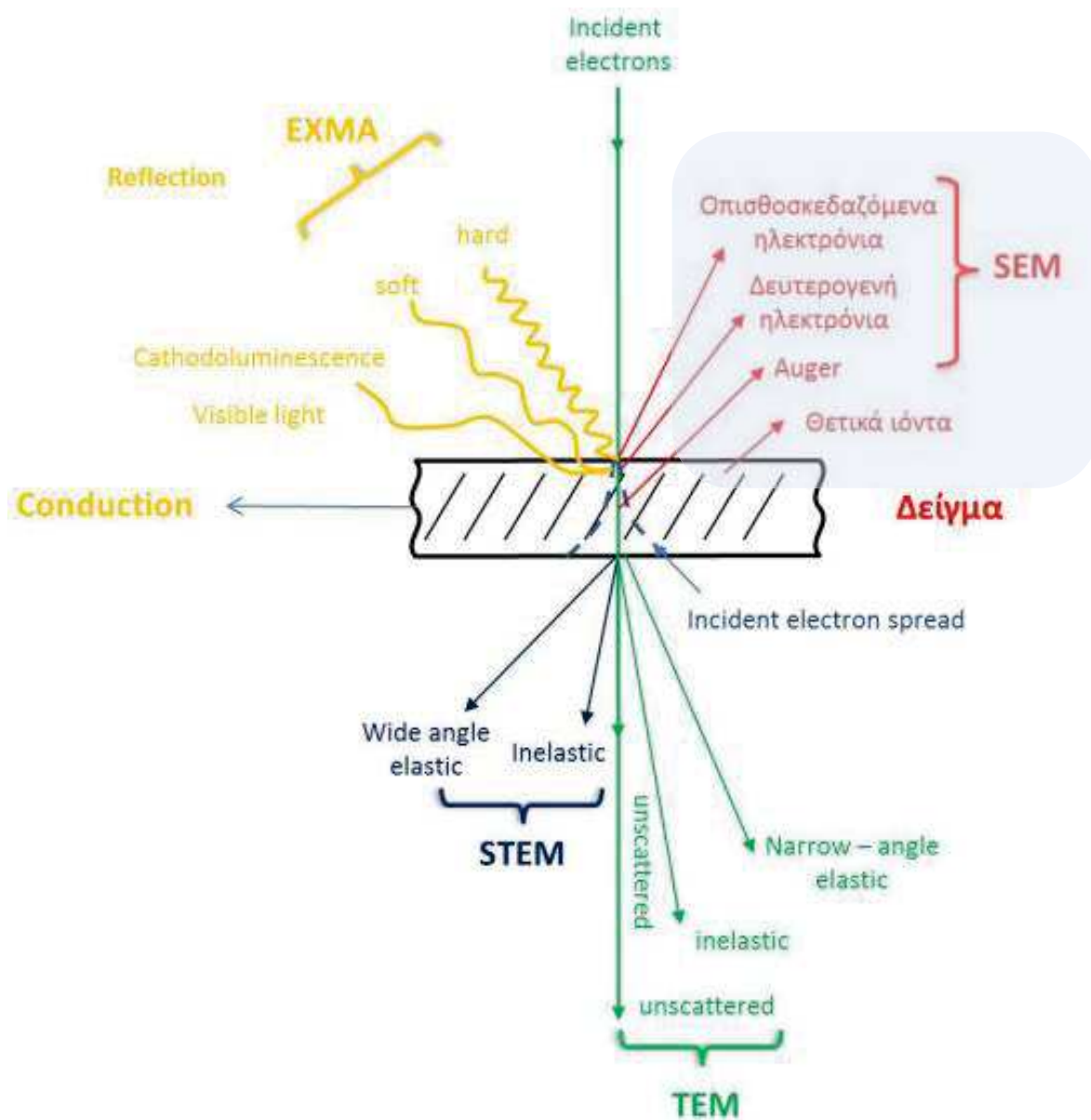




ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης

Scanning Electron Microscope – SEM



Εικόνα της επιφάνειας του δείγματος

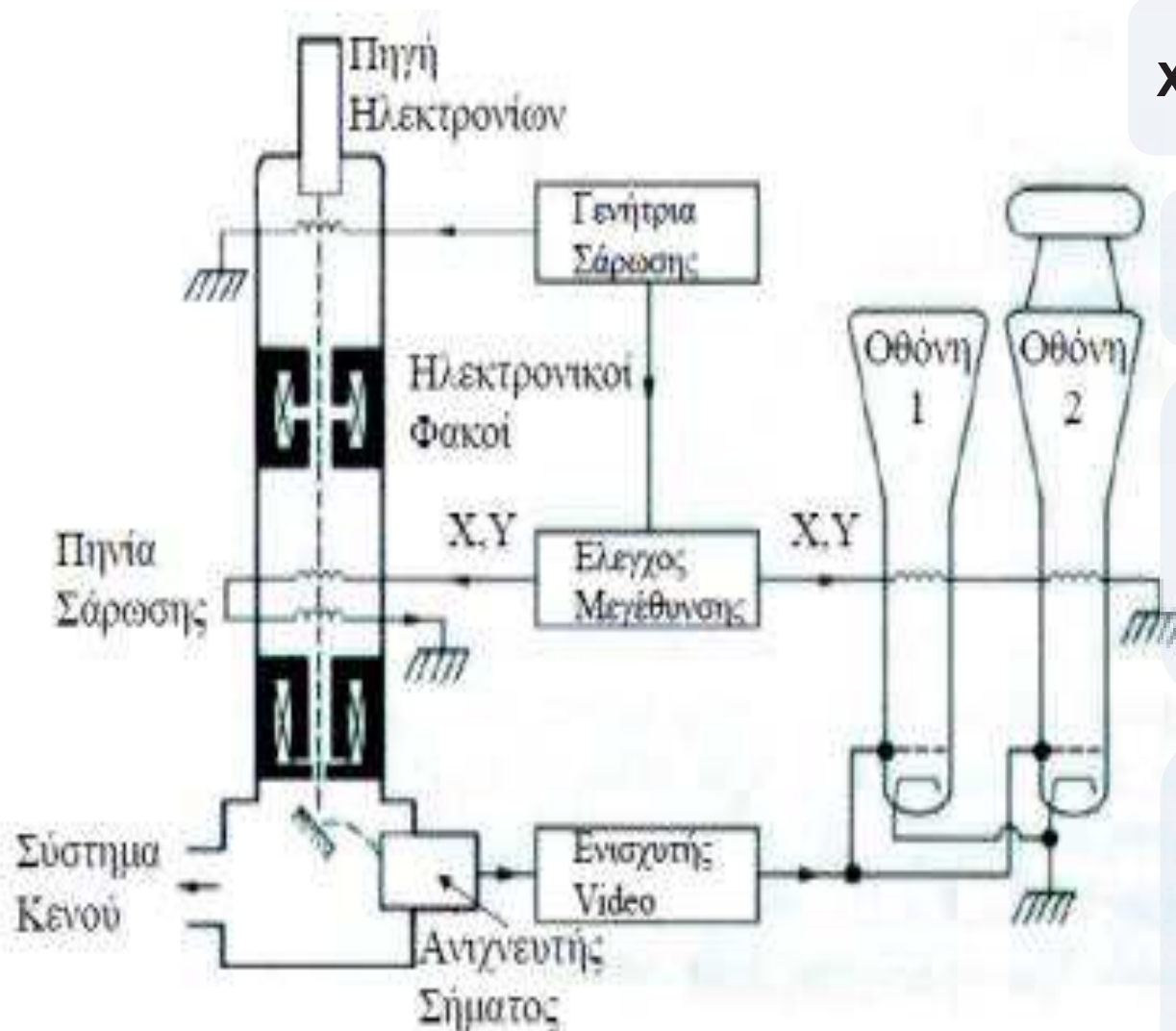
Η Δ.Ι. και οι μεγεθύνσεις είναι χαμηλές σε σχέση με το TEM αλλά η συμβολή του SEM στην μελέτη ανόργανων και οργανικών δειγμάτων είναι μοναδική



ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης

Scanning Electron Microscope – SEM



Χρήση e^- για την μελέτη δειγμάτων

Λεπτή δέσμη e^- ενέργειας 1-50keV,
Διάμετρο 2-10nm

Εκπομπή δευτερογενών e^- και e^- που έχουν υποστεί ελαστική σκέδαση ή χαμηλή απώλεια ενέργειας, ακτίνες X και φωταύγεια

Δευτερογενή & οπισθοσκεδαζόμενα e^- ενισχύονται και διαμορφώνουν την ένταση της δέσμης. Εμφάνιση μεγεθυμένης εικόνας



ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης

Scanning Electron Microscope – SEM





ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Ανάκλασης

Reflection Electron Microscopy



Προσπίπτουσα δέσμη e^- αντί να διαπερνά το δείγμα, ανακλάται σχηματίζοντας πολύ μικρές γωνίες πρόσπτωσης και ανάκλασης με την επιφάνεια του δείγματος

έχουν επισκιασθεί από τα SEM

- Οπισθοσκεδαζόμενα e^-
- Σημείο παρατήρησης πάνω στον άξονα της δέσμης
- Πρόσπτωση και ανάκλαση των e^- σε μικρή γωνία
- Δ.Ι. 10-20nm



ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Εκπομπής

Emission Electron Microscopy

Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Εκπομπής Ηλεκτρονίων
Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Εκπομπής Πεδίου Ηλεκτρονίων
Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Εκπομπής Πεδίου Ιόντων

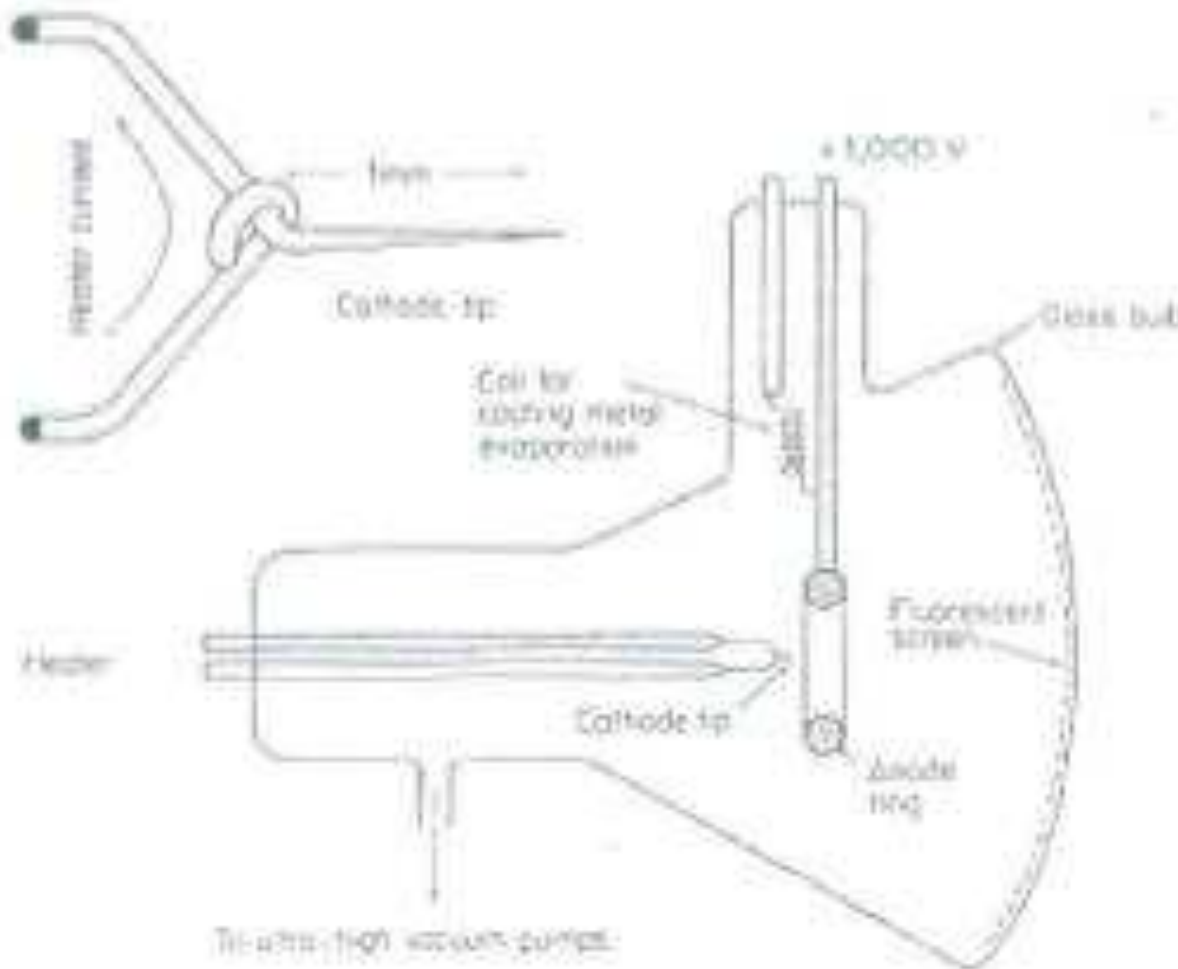


Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Εκπομπής Ηλεκτρονίων

- Δείγμα : μέταλλο ή ημιαγωγός (περιέχει πλήθος e^-)
- Σχηματισμός ειδώλου λόγω εξαναγκασής αυτών των e^- να φύγουν από την επιφάνεια του δείγματος (προκαλώντας διέγερση ή εφαρμογή ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου)
- Η θερμιονική εκπομπή χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την ευθυγράμμιση ενός TEM χρησιμοποιώντας σαν δείγμα την πηγή των ηλεκτρονίων (νήμα)



Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Εκπομπής Πεδίου Ηλεκτρονίων



- e^- ελευθερώνονται από μία μυτερή άκρη ενός μετάλλου με υψηλό σημείο τήξεως π.χ. W
- Επιταχύνονται από το δυναμικό ανόδου και χτυπούν σε φθορίζουσα οθόνη
- Μεγέθυνση: λόγος της ακτίνας της μύτης προς την απόσταση μύτης - οθόνης

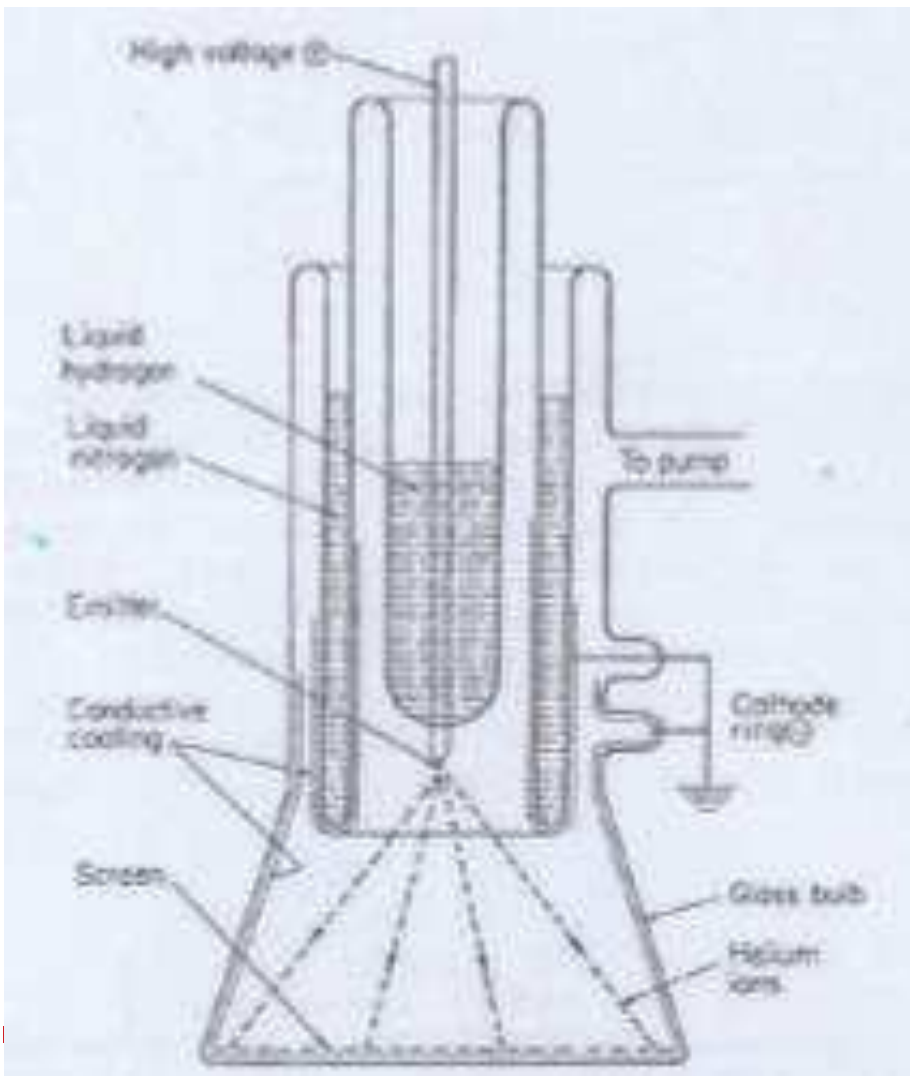


ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Εκπομπής

Emission Electron Microscopy

Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Εκπομπής Πεδίου Ιόντων



- Ο θάλαμος κενού έχει αδρανές αέριο (He)
- Η μύτη του μετάλλου (κάθοδος στο προηγούμενο) γίνεται άνοδος και έλκει τα e^- (το He χάνει ένα e^- καθώς μπαίνει σε ισχυρό πεδίο ιονίζεται θετικά και επιταχύνεται προς την οθόνη)
- Το μέγεθος ιονισμού εξαρτάται από την διάταξη των ατόμων του μετάλλου και έτσι η απεικόνιση είναι χαρακτηριστική του μετάλλου



ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Ηλεκτρονικής Δέσμης Μικροαναλυτή ακτίνων – X
Electron Probe X-ray Microanalyser

Δεν είναι Η.Μ., είναι μια μέθοδος με την οποία μπορούμε να κάνουμε στοιχειακή ανάλυση των στοιχείων ενός δείγματος

Αρχή Λειτουργίας

Αλληλεπίδραση e^- με δείγμα και εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Μικρού μήκους κύματος – μεγάλης ενέργειας (σκληρές), Μεγάλου μήκους – μικρής ενέργειας (Μαλακές)





ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Ηλεκτρονικής Δέσμης Μικροαναλυτή ακτίνων – X
Electron Probe X-ray Microanalyser

Μηχανισμοί παραγωγής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από αλληλεπίδραση e- ύλης

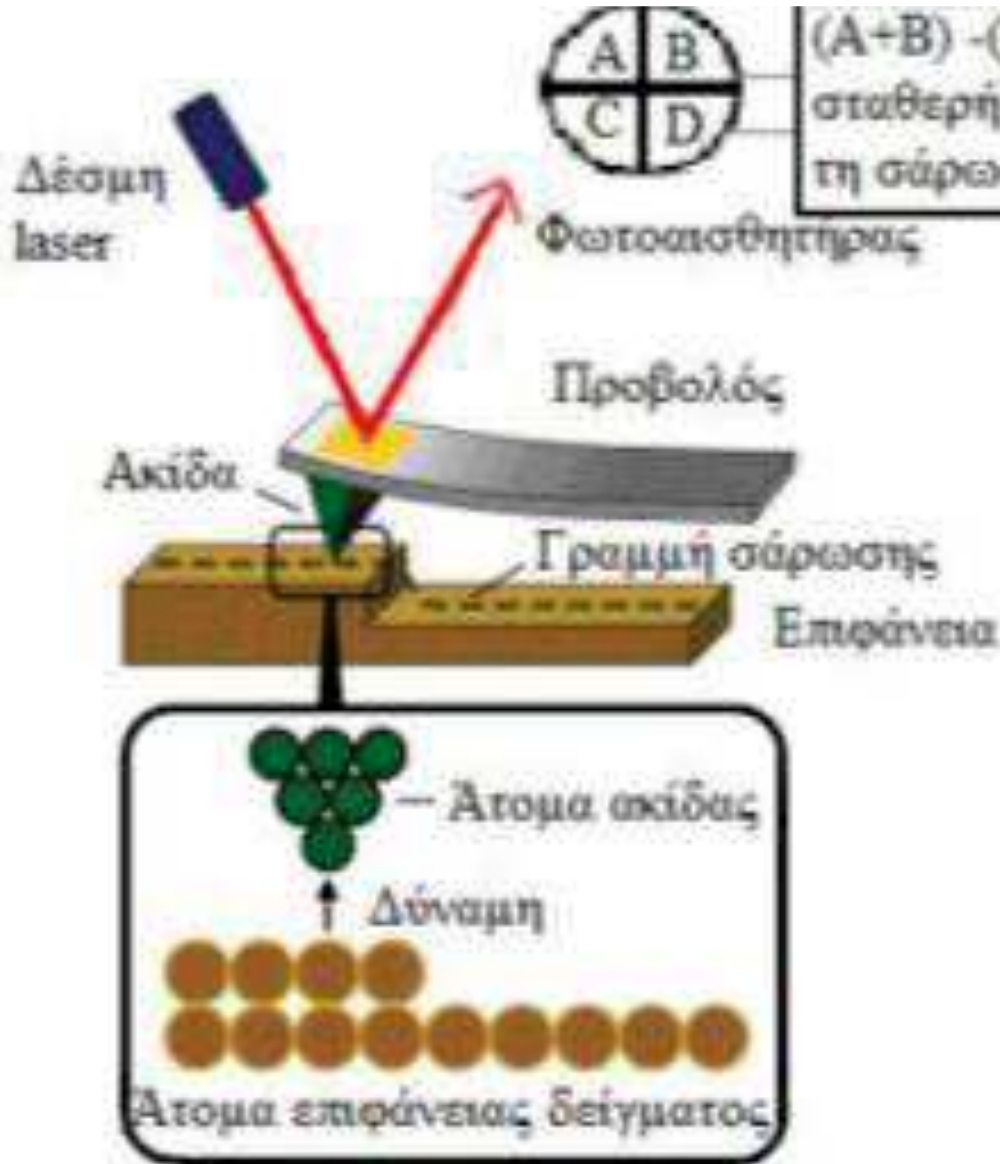
- **Ελάττωση ενέργειας πρωτογενών e- λόγω κρούσεων με τα e- των εξωτερικών στιβάδων.** (εκπομπή συνεχούς φάσματος ακτίνων X)
- Η ενέργεια των πρωτογενών e- είναι πάνω από 1kV και **αντιδρούν με e- εσωτερικών στιβάδων των ατόμων του δείγματος** (εκπομπή ακτίνων χ καθορισμένου μήκους κύματος, χαρακτηριστικά για κάθε δείγμα)



ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Μικροσκοπία Σάρωσης με Ακίδα

Scanning Probe Microscopy -SPM

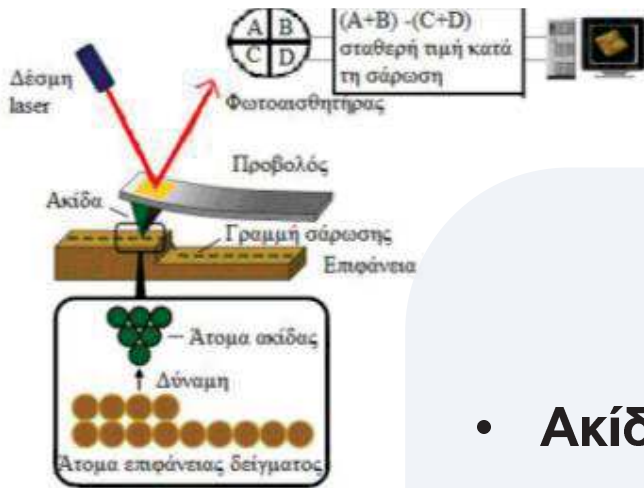




ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΩΝ

Μικροσκοπία Σάρωσης με Ακίδα

Scanning Probe Microscopy -SPM



- Ακίδα αλληλεπιδρά με την επιφάνεια του δείγματος (καθορίζει την ανάλυση της εικόνας)
- Η ισχύς της αλληλεπίδρασης εξαρτάται από τις επιφανειακές ιδιότητες
- Σαρωτής