



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΡΕΥΝΑΣ
ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΩΝ
ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ



Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών: Γεωεπιστήμες και Περιβάλλον
Μέθοδοι Έρευνας Ορυκτών & Πετρωμάτων



“Ηλεκτρονική μικροσκοπία με μικροδέσμες ηλεκτρονίων, με έμφαση στην Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης”

Δρ. Χρήστος Κανελλόπουλος, Γεωλόγος

Δρ. Βάια Ξανθοπούλου, Γεωλόγος

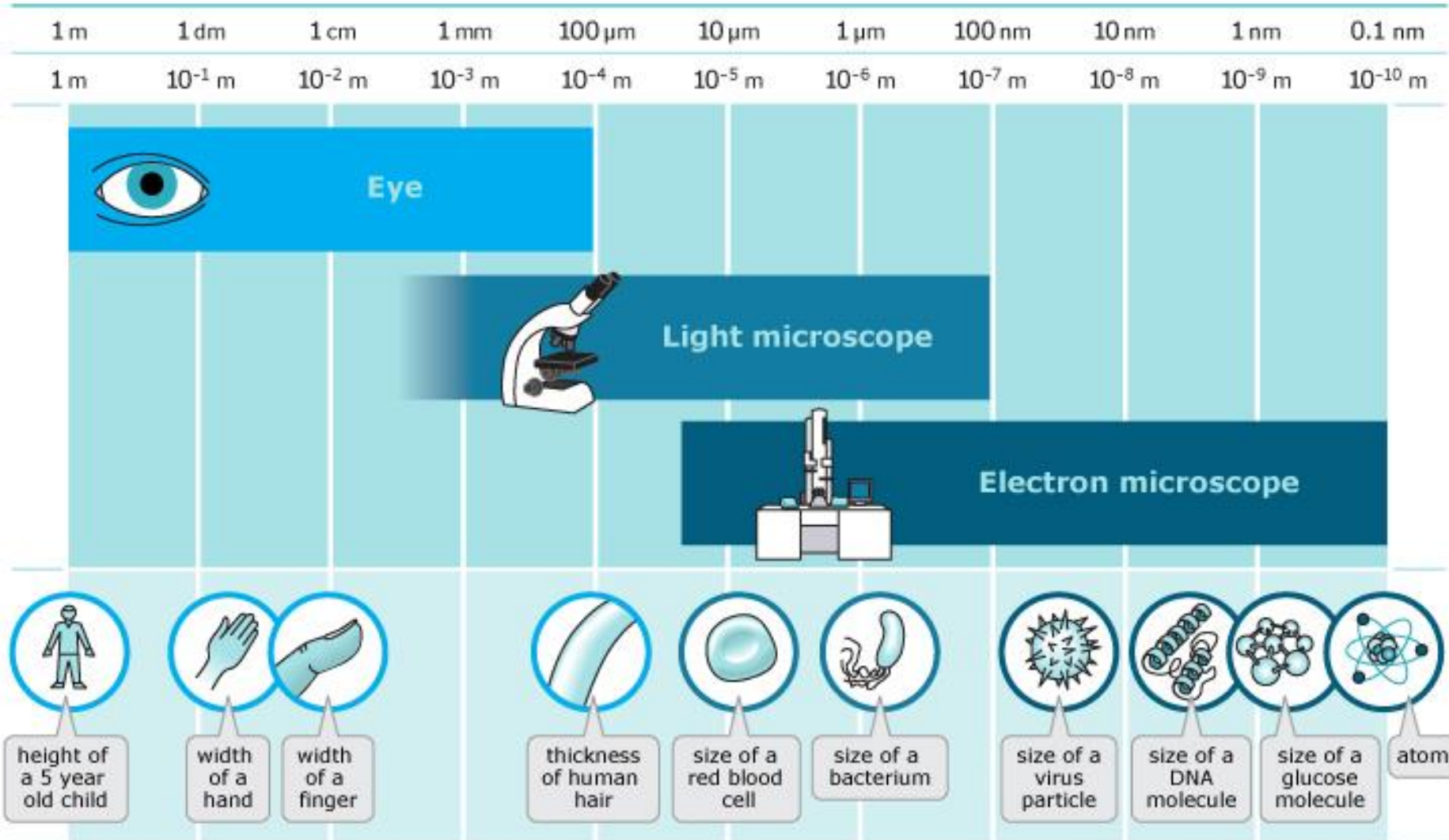
Κ Ε Ρ Α Μ Ο Σ

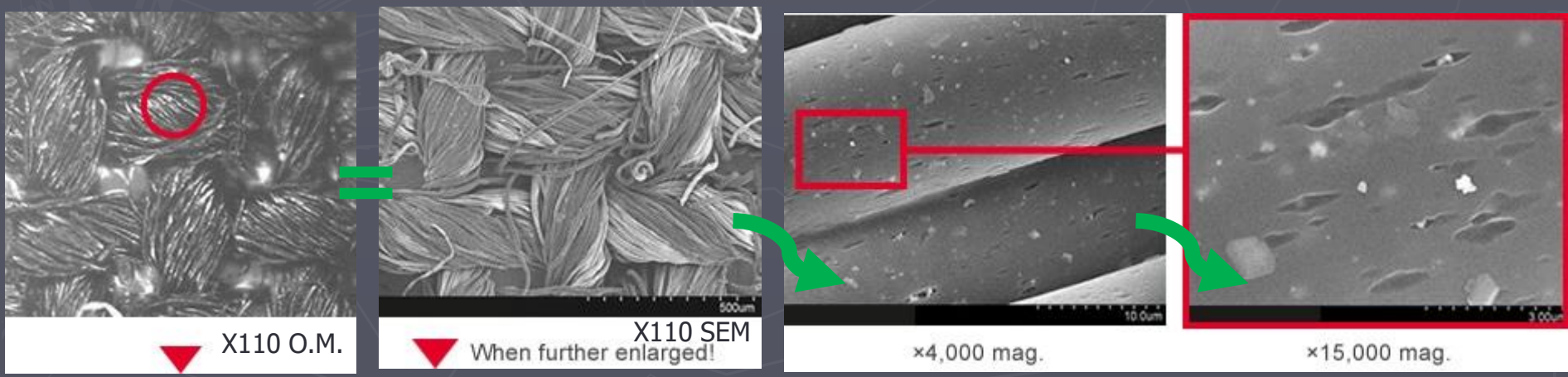
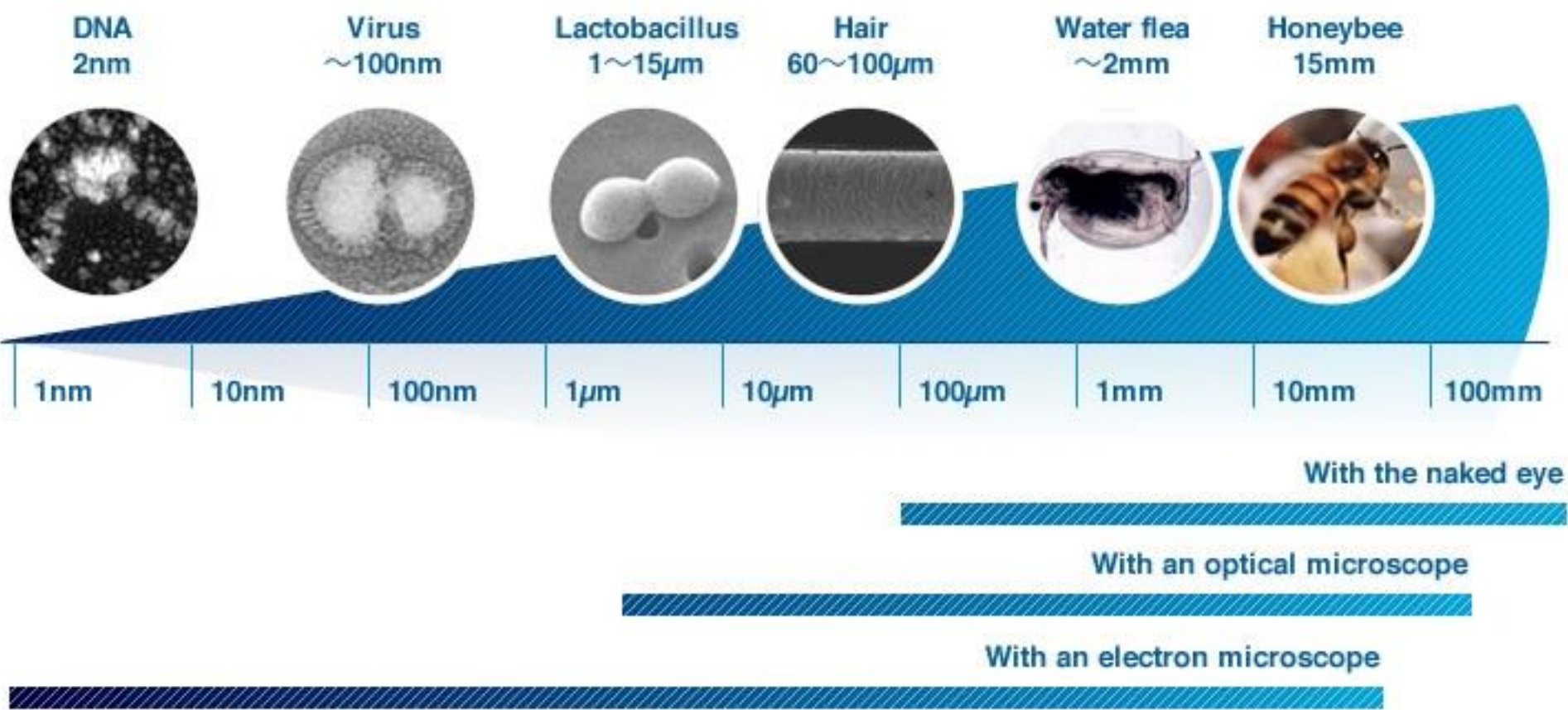
Κέντρο έρευνας Αρχαιο-υλικών





Resolving power of microscopes





Σύγχρονα όργανα

- ❖ Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Scanning Electron Microscope, SEM)
- ❖ Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διέλευσης (Transmission Electron Microscope, TEM)
- ❖ Ηλεκτρονικός μικροαναλυτής (Electron Microprobe Analyzer, EMPA)

Scanning Electron Microscope - SEM

- Στο **οπτικό μικροσκόπιο** χρησιμοποιείται το φως για να εξεταστεί ένα αντικείμενο και το σύστημα μεγέθυνσης αποτελείται από γυάλινους φακούς.
- Στο **ηλεκτρονικό μικροσκόπιο**, αντί για φως, χρησιμοποιείται μια δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας και το σύστημα μεγέθυνσης αποτελείται από μαγνητικούς φακούς.
- Το πρώτο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο κατασκευάστηκε από τον E. Ruska το 1933.



<https://en.wikipedia.org>

Scanning Electron Microscope - SEM



<http://coen.boisestate.edu/corrosionlab/education/lego-mse-lab/sem/>

Το SEM είναι σχεδιασμένο για απευθείας παρατήρηση επιφανειών στερεών αντικειμένων

Κόστος: €0.5-2.0 εκατ.

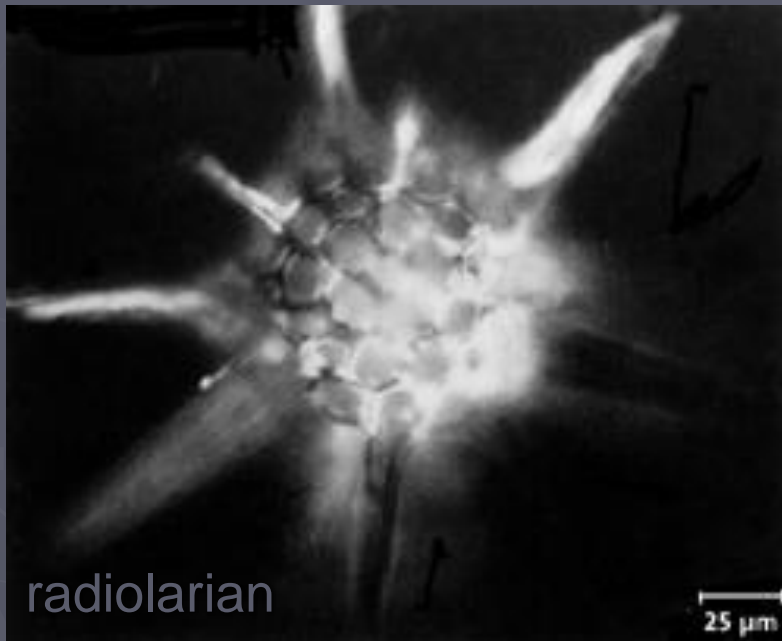
Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) είναι ένα μικροσκόπιο που για να απεικονίσει μια εικόνα χρησιμοποιεί **ηλεκτρόνια** αντί για **φως**.

Πλεονεκτήματα χρήσης SEM έναντι OM

- Το SEM έχει μεγάλο βάθος πεδίου, που επιτρέπει την εστίαση σε μια μεγάλη περιοχή του δείγματος την ίδια στιγμή, αναπαράγοντας μια πολύ καλή τρισδιάστατη απεικόνιση του δείγματος.
- Δίνει επίσης εικόνες υψηλής διακριτικότητας, γεγονός που ευνοεί την παρατήρηση σε μεγάλη μεγέθυνση χαρακτηριστικών του δείγματος που βρίσκονται σε πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους.
- Ο συνδυασμός πολύ υψηλής μεγέθυνσης, μεγάλου βάθους πεδίου, υψηλής διακριτικής ικανότητας, καθώς και συστασιακών και κρυσταλλογραφικών πληροφοριών που παρέχει το SEM, το καθιστούν ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα όργανα τόσο στην έρευνα όσο και στη βιομηχανία.

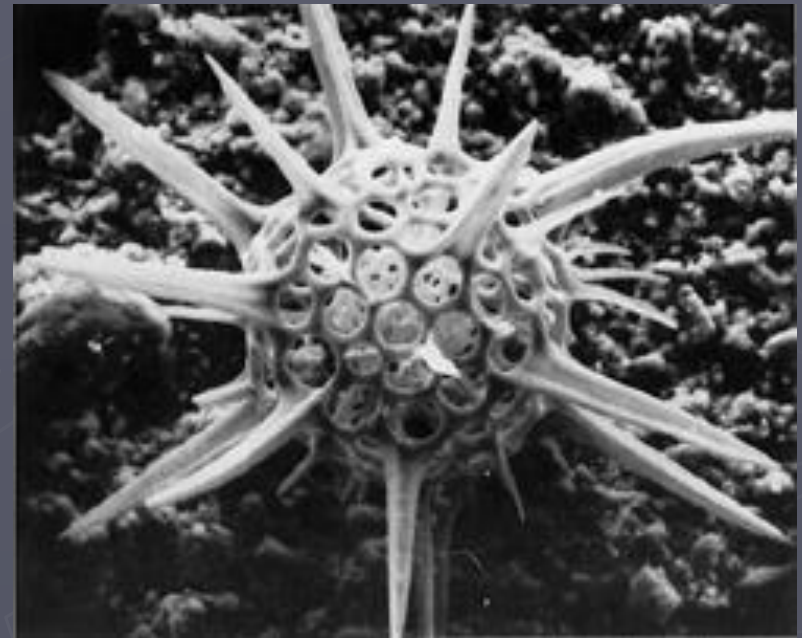
	Magnification	Depth of Field	Resolution
OM	4x – 1000x	15.5μm – 0.19μm	~ 0.2μm
SEM	10x – 3000000x	4mm – 0.4μm	1-10nm

Οπτικό μικροσκόπιο vs SEM



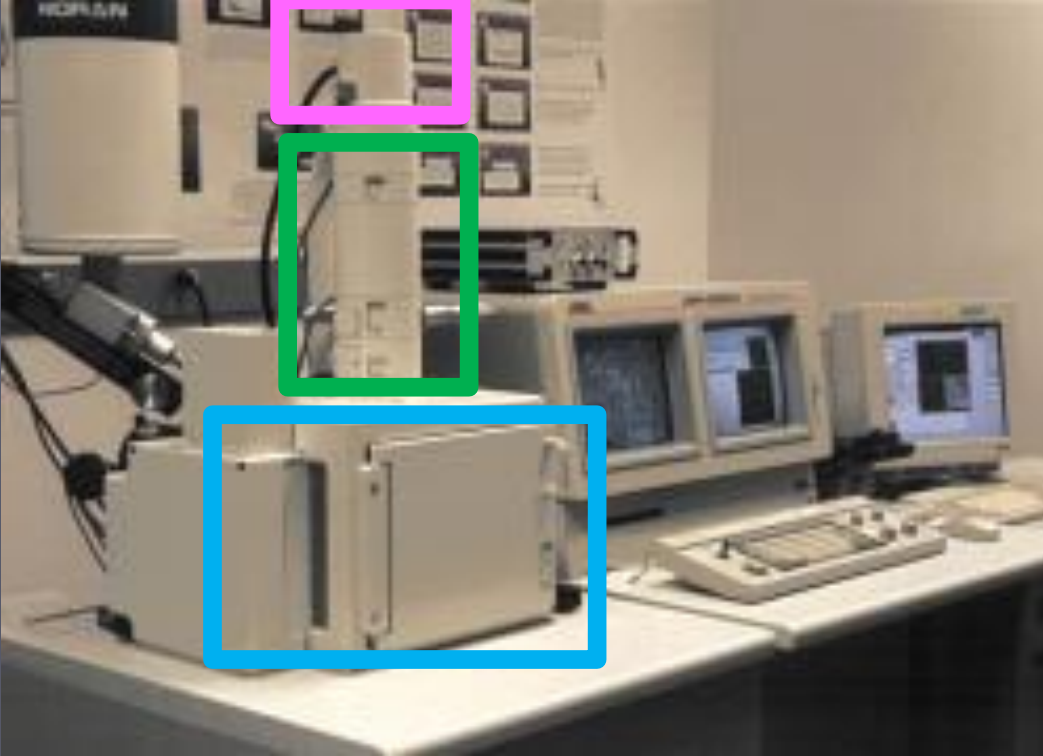
Οπτικό μικροσκόπιο

*Μικρό βάθος πεδίου
Χαμηλή διακριτικότητα*



SEM

*Μεγάλο βάθος πεδίου
Υψηλή διακριτικότητα*



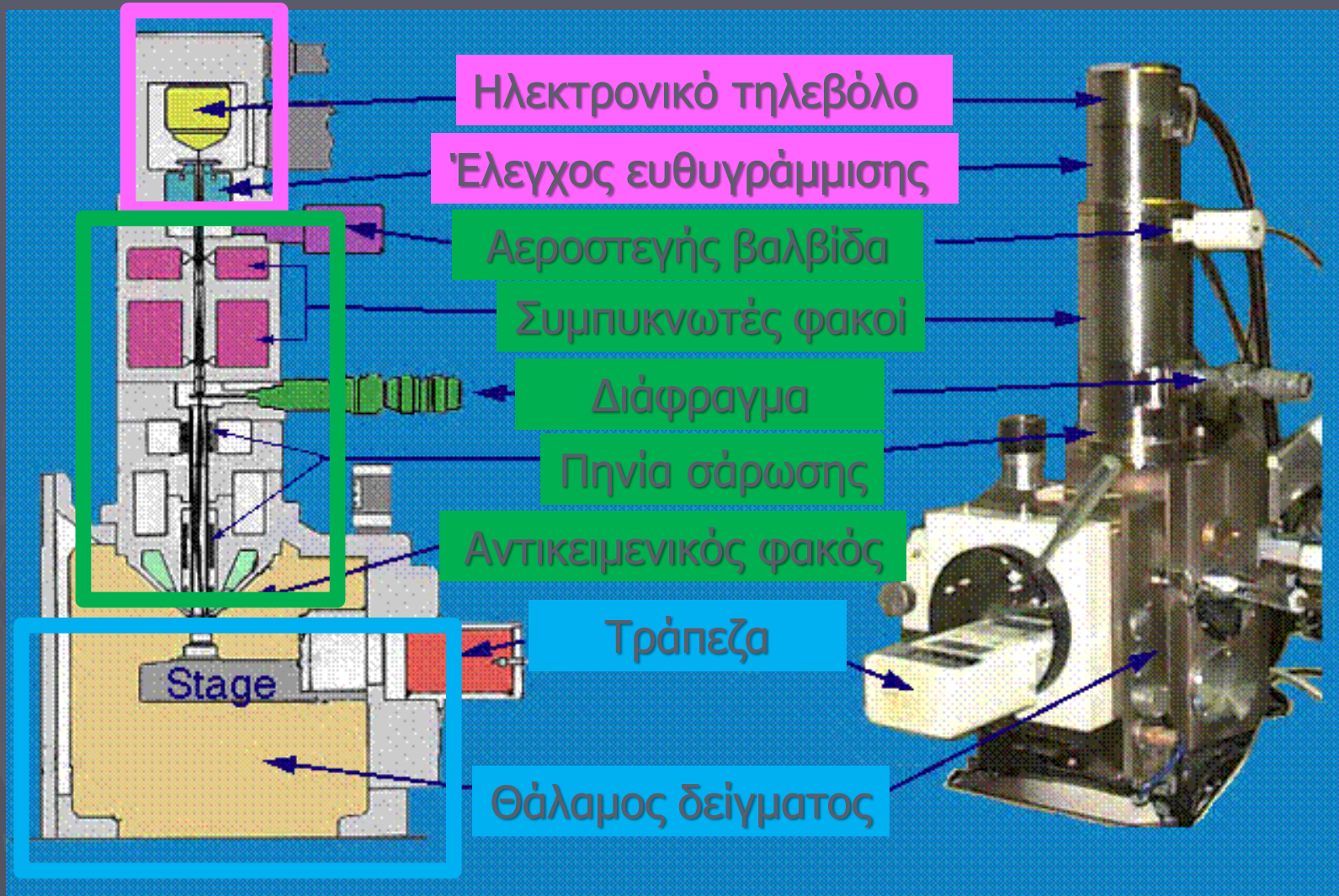
Περιγραφή Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου (SEM)

http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/SEM.html

Κυριότερα μέρη ηλεκτρονικού μικροσκοπίου:

- ❖ Ηλεκτρονικό τηλεβόλο (Electron Gun)
- ❖ Κολώνα (περιέχει τους μαγνητικούς ή ηλεκτροστατικούς φακούς)
- ❖ Θάλαμος δείγματος

Περιγραφή Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου (SEM)





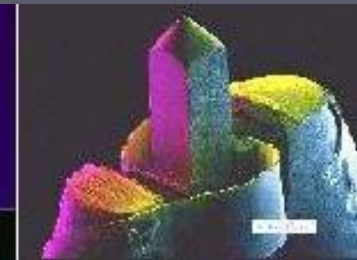
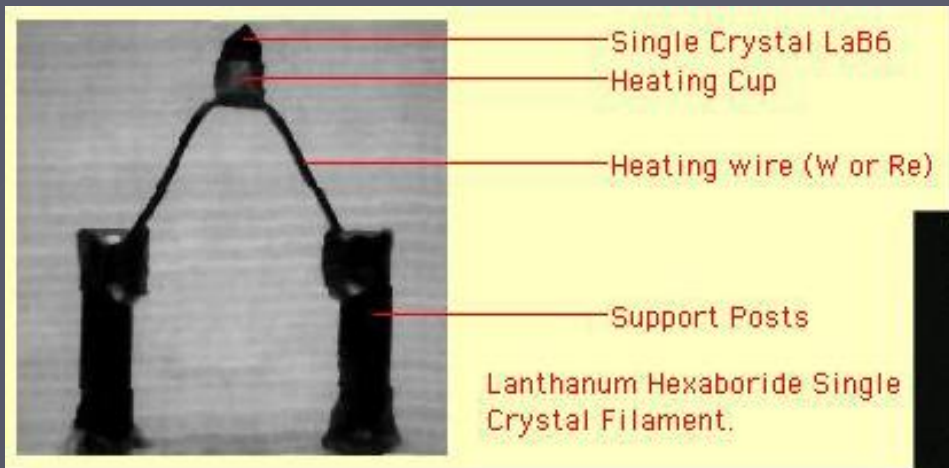
Ηλεκτρονικό τηλεβόλο (Electron Gun)

http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/SEM.html

Το ηλεκτρονικό τηλεβόλο είναι αντίστοιχο με την πηγή του φωτός για το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Είναι ο χώρος που παράγονται, επιταχύνονται και εστιάζονται τα ηλεκτρόνια της ηλεκτρονικής δέσμης.

Πηγές ακτινοβολίας ηλεκτρονίων εντός του Ηλεκτρονικού τηλεβόλου (Electron Gun)



Electron Beam Source



W or LaB₆ Filament
Thermionic or Field Emission Gun

Διαφορές μεταξύ thermionic and field πηγών ακτινοβολίας

Thermionic Emitters:

- Χρησιμοποιούν ηλεκτρικό ρεύμα για τη θέρμανση του νήματος (κυρίως Tungsten (W) και Lanthanum Hexaboride (LaB6)).
- Όταν η θέρμανση φτάσει σε ένα υψηλό σημείο τα ηλεκτρόνια αρχίζουν να διαφεύγουν από το ίδιο το υλικό του νήματος.
- Χαρακτηρίζονται από χαμηλή φωτεινότητα, εξάτμιση του υλικού της καθόδου και θερμική μετατόπιση κατά την λειτουργία του οργάνου.

Field Emitters:

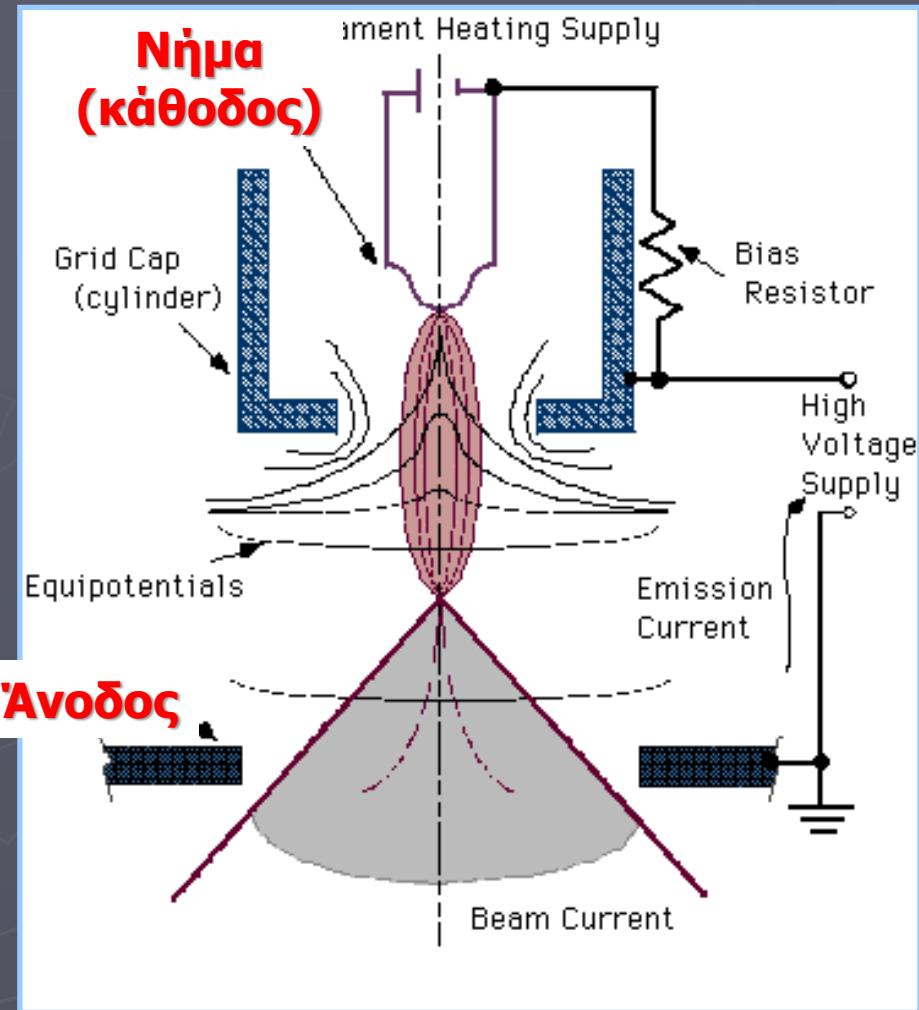
- Αποτελούν έναν τρόπο δημιουργίας ηλεκτρονίων που αποφεύγει τέτοιους είδους προβλήματα.
- Ένα πυροβόλο field emission (FEG, also called a cold cathode field emitter), δεν θερμαίνει το νήμα.
- Η εκπομπή επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση του νήματος σε ένα τεράστια βαθμίδα ηλεκτρικού δυναμικού. Το FEG είναι συνήθως ένα σύρμα βολφραμίου (W) διαμορφωμένο ως μια αιχμηρή ακίδα.

Διαφορές μεταξύ thermionic and field πηγών ακτινοβολίας

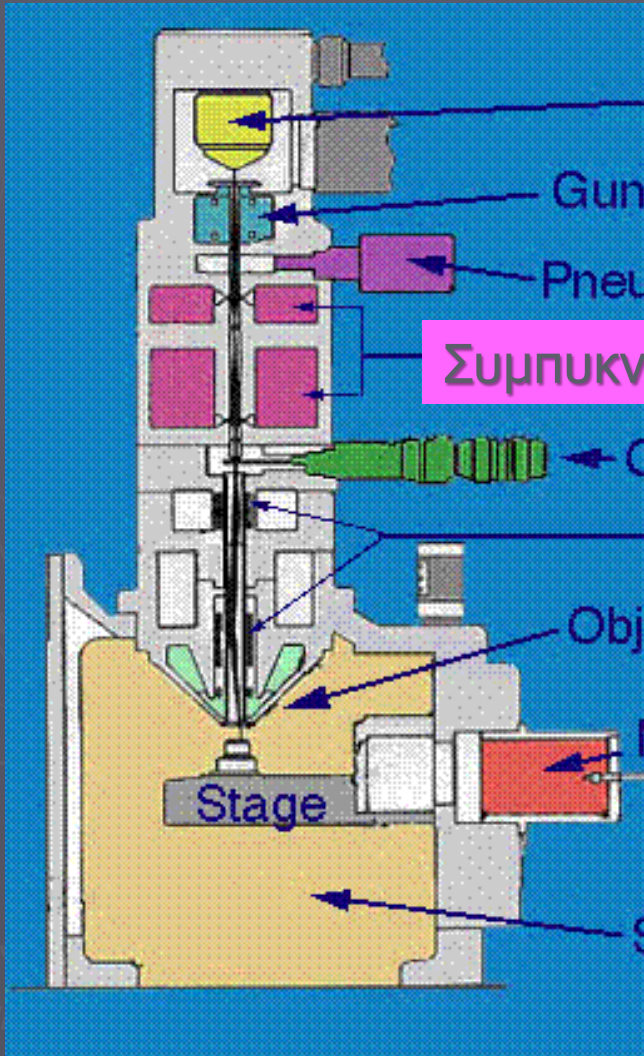
Emission	Thermionic		Field Emission
	W	LaB6	FE
Size (nm)	1×10^5	2×10^4	0.2
Brightness (A/cm ² .steradian)	$10^4 - 10^5$	$10^5 - 10^6$	$10^7 - 10^9$
Energy Spread (eV)	1 - 5	0.5 - 3.0	0.2 - 0.3
Operating Lifetime (hrs)	>20	>100	>300
Vacuum (torr)	$10^{-4} - 10^{-5}$	$10^{-6} - 10^{-7}$	$10^{-9} - 10^{-10}$

Ηλεκτρονικό τηλεβόλο (Electron Gun)

Η ηλεκτρονική δέσμη παράγεται από ένα νήμα βολφραμίου που έχει σχήμα "V" και αποτελεί την κάθοδο (αρνητικό δυναμικό). Στο νήμα εφαρμόζεται ρεύμα μ' αποτέλεσμα αυτό να πυρακτώνεται και να εκπέμπει τη δέσμη ηλεκτρονίων. Η άνοδος (θετικό δυναμικό) έλκει τα ηλεκτρόνια ώστε αυτά να επιταχύνονται.

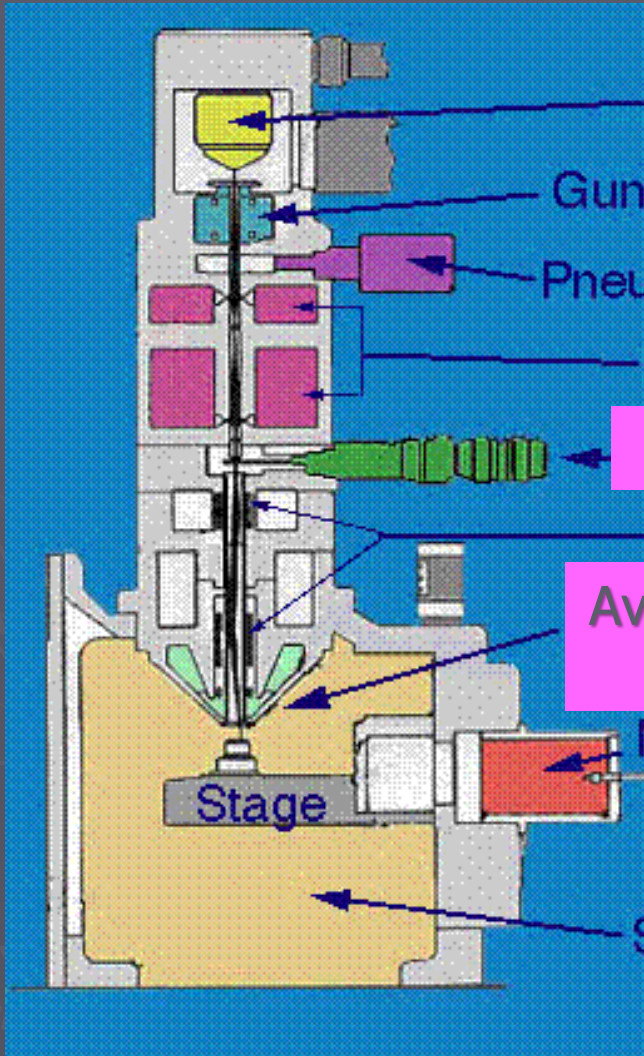


Κολώνα



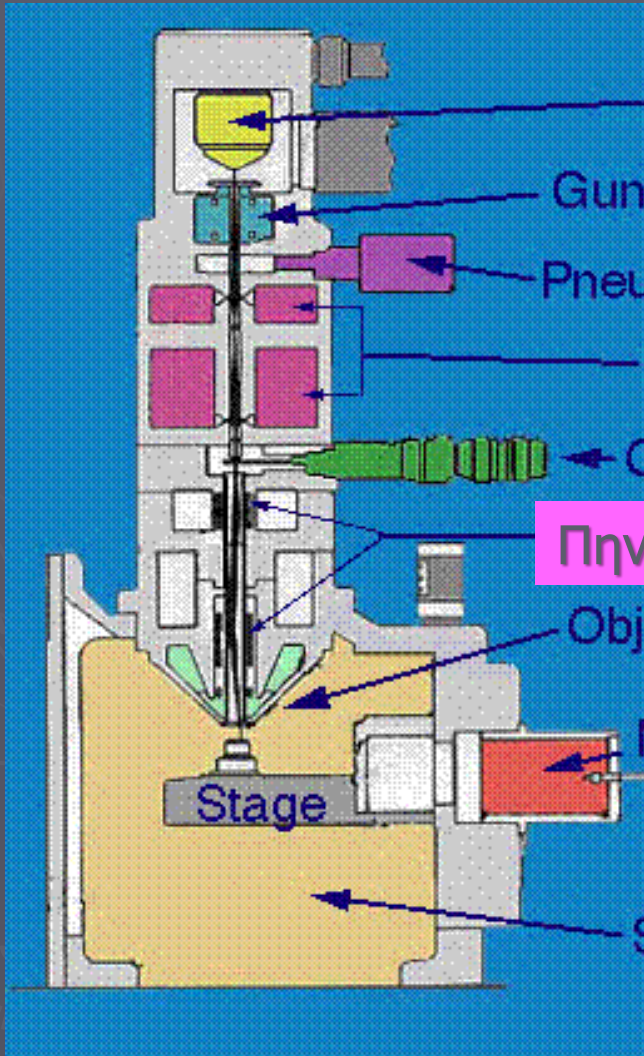
Καθώς η δέσμη διέρχεται από τη στήλη του μικροσκοπίου περνάει από το σύστημα των συμπυκνωτών φακών. Αυτοί οι φακοί μειώνουν τη διάμετρο της δέσμης κι ελέγχουν τη φωτεινότητα της ηλεκτρονικής δέσμης που πέφτει πάνω στο δείγμα.

Κολώνα



Ο αντικειμενικός φακός είναι ο βασικός φακός του μικροσκοπίου που σχηματίζει το είδωλο του δείγματος και συνδυάζεται με το διάφραγμα. Η διάμετρος του διαφράγματος καθορίζει το ποσοστό των ηλεκτρονίων που θα διέλθουν απ' αυτό και θα συνεισφέρουν στο σχηματισμό της εικόνας του δείγματος.

Κολώνα



Τα πηγία σάρωσης δημιουργούν ένα μαγνητικό πεδίο που αναγκάζει τη δέσμη να κινείται μπροσπίσω σαρώνοντας έτσι την επιφάνεια του δείγματος.

Αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων και δείγματος

προσπίπτουσα δέσμη
ηλεκτρονίων

οπισθοσκεδαζόμενα
ηλεκτρόνια
εικόνες SEM

δευτερεύοντα
ηλεκτρόνια
εικόνες SEM

AES

ηλεκτρόνια
Auger

X-rays

EDX,
WDX

καθοδοφωταύγεια
φως

απορρόφηση
ηλεκτρονίων



Αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων και δείγματος - Δευτερεύοντα ηλεκτρόνια (SE)

- Ένα μέρος των ηλεκτρονίων της προσπίπτουσας δέσμης, ως φορτισμένα σωματίδια, αλληλοεπιδρά με τα ηλεκτρόνια των ατόμων του δείγματος και υφίσταται ανελαστική σκέδαση.
- Αυτό σημαίνει ότι τα ηλεκτρόνια της δέσμης χάνουν ένα μέρος της αρχικής τους ενέργειας και ταυτόχρονα διεγείρουν τα άτομα του δείγματος απελευθερώνοντας κάποια ηλεκτρόνια.
- Τα ηλεκτρόνια αυτά αποτελούν τα **δευτερεύοντα ηλεκτρόνια**.
- Χάρη σε αυτά έχουμε το κύριο απεικονιστικό σήμα στο SEM.
Παράγουν καλή χωρική διακριτικότητα και υψηλή τοπογραφική ευαισθησία.

Δευτερεύοντα ηλεκτρόνια (SE)

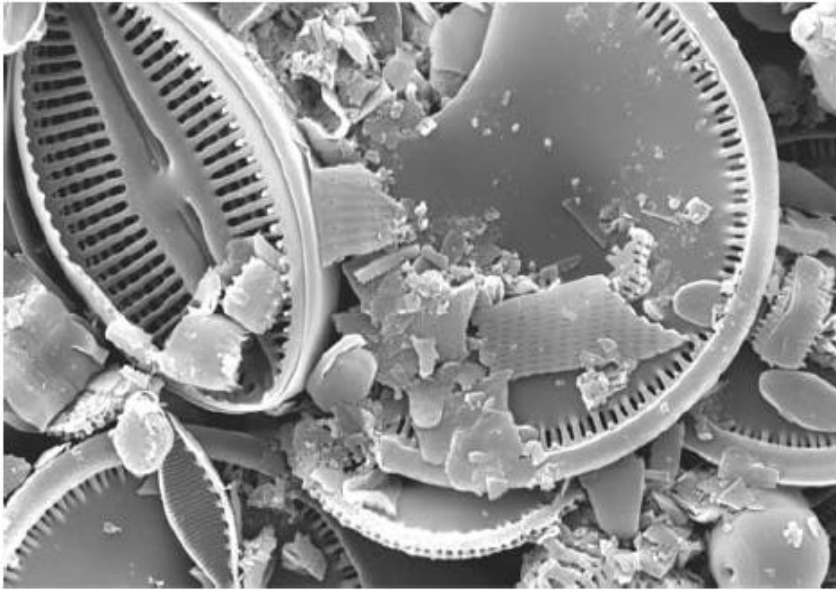
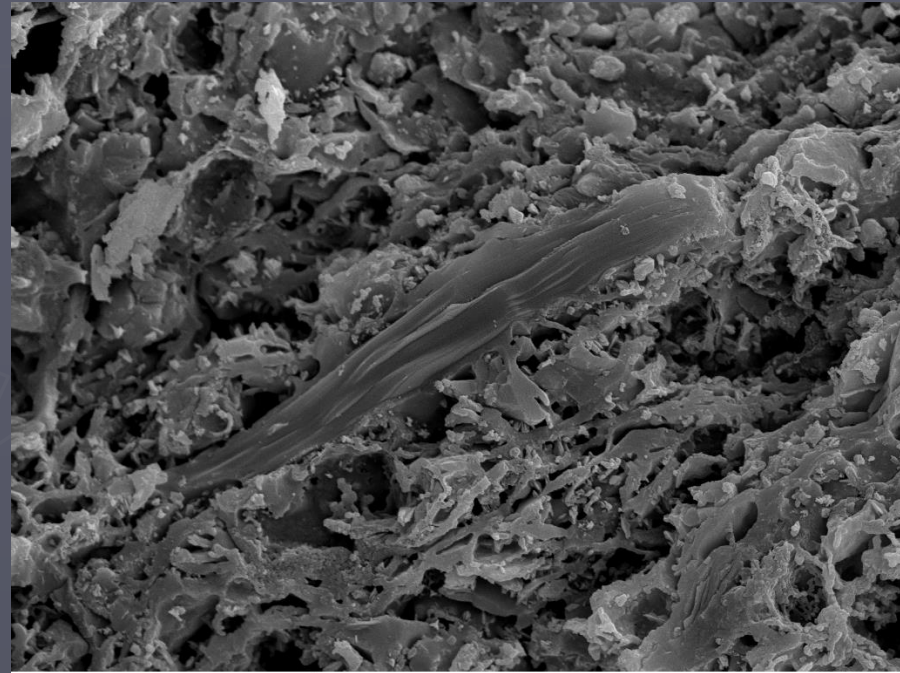


Fig. 4.8. A secondary-electron image of diatoms from modern lake sediment ($60\ \mu\text{m} \times 45\ \mu\text{m}$). (By courtesy of N. Cayzer and R. Thompson.)



20 μm

Αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων και δείγματος – Οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια (BSE)

- Τα ηλεκτρόνια της προσπίπτουσας δέσμης σκεδάζονται ελαστικά και επειδή η ενέργεια της δέσμης είναι μεγάλη, διαφεύγουν από την επιφάνεια του δείγματος.
- Τα ηλεκτρόνια αυτά ονομάζονται **οπισθοσκεδαζόμενα** και υπάρχουν σε πολύ μικρότερο ποσοστό από ότι τα δευτερεύοντα.
- Το ποσοστό των οπισθοσκεδαζόμενων ηλεκτρονίων που εκπέμπονται, εξαρτάται από τον ατομικό αριθμό του κάθε στοιχείου.
- Επομένως, η αλλαγή του ποσοστού των οπισθοσκεδαζόμενων ηλεκτρονίων διαφοροποιεί την εικόνα ανάλογα με τον ατομικό αριθμό των στοιχείων του υλικού.
- Οι βαρύτερες φάσεις φαίνονται φωτεινότερες από τις ελαφρύτερες. Έτσι παίρνουμε πληροφορία για τη σύσταση του δείγματος.

Οπισθοσκεδαζόμενα ηλεκτρόνια (BSE)

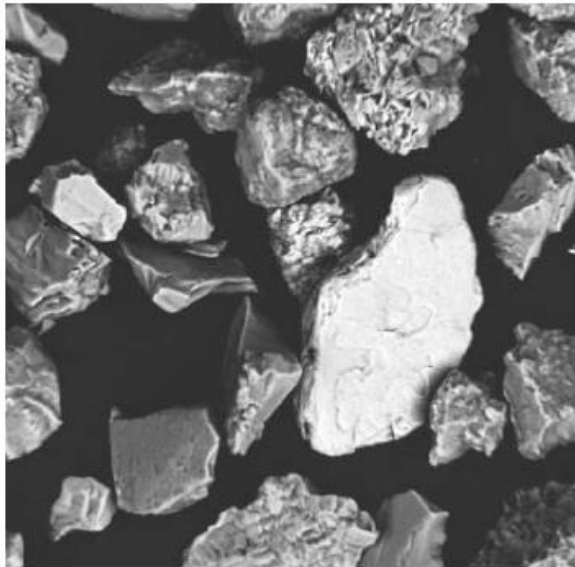
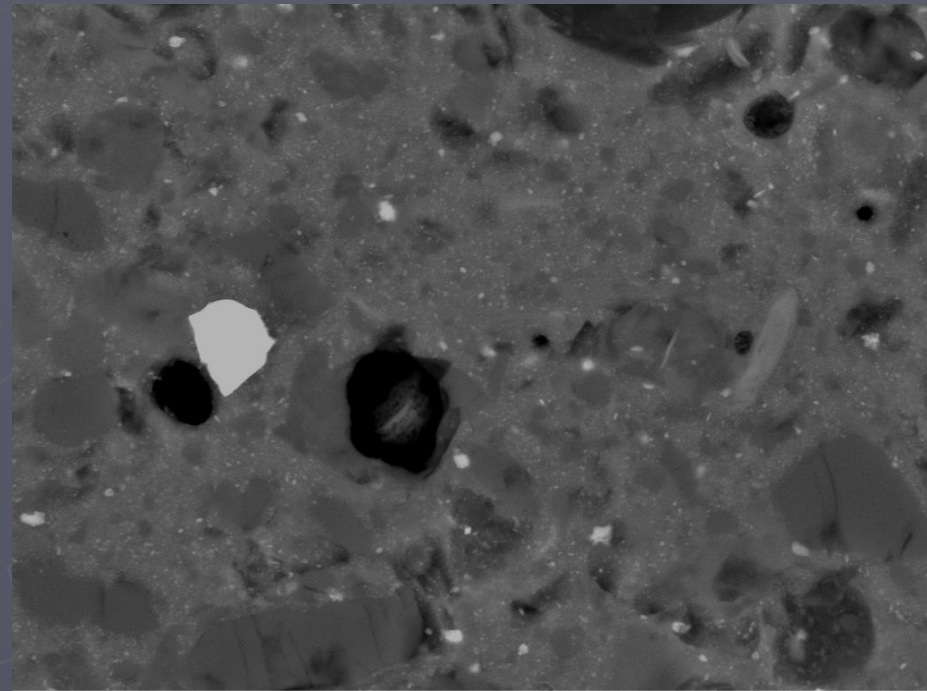
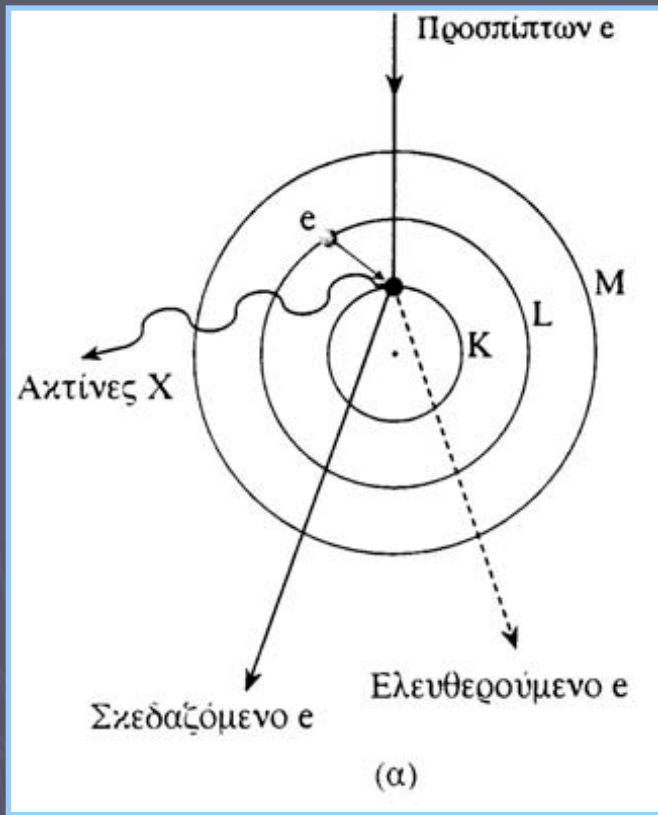


Fig. 4.14. A BSE image of mineral grains, showing combined compositional and topographic contrast (lighter grains – higher atomic number).



30µm

Αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων και δείγματος – Ακτίνες Χ



- Η απορροφούμενη ενέργεια από το δείγμα μετά την πρόσπτωση της δέσμης των ηλεκτρονίων έχει σαν αποτέλεσμα τη διέγερση των ατόμων του δείγματος.
- Αν η ενέργεια των ηλεκτρονίων της προσπίπτουσας δέσμης είναι αρκετά μεγάλη τότε απελευθερώνεται ηλεκτρόνιο από εσωτερική στοιβάδα και το κενό καλύπτεται από ηλεκτρόνιο από υψηλότερη ενεργειακή στοιβάδα.

- Αυτό έχει ως αποτέλεσμα εκπομπή χαρακτηριστικής ακτινοβολίας ακτίνων-Χ.
- Η ενέργεια των εκπεμπόμενων ακτίνων-Χ, ίση με την ενεργειακή διαφορά των δύο στοιβάδων, είναι χαρακτηριστική του στοιχείου από το οποίο εκπέμπονται και δίνει πληροφορίες για τη σύσταση του δείγματος.

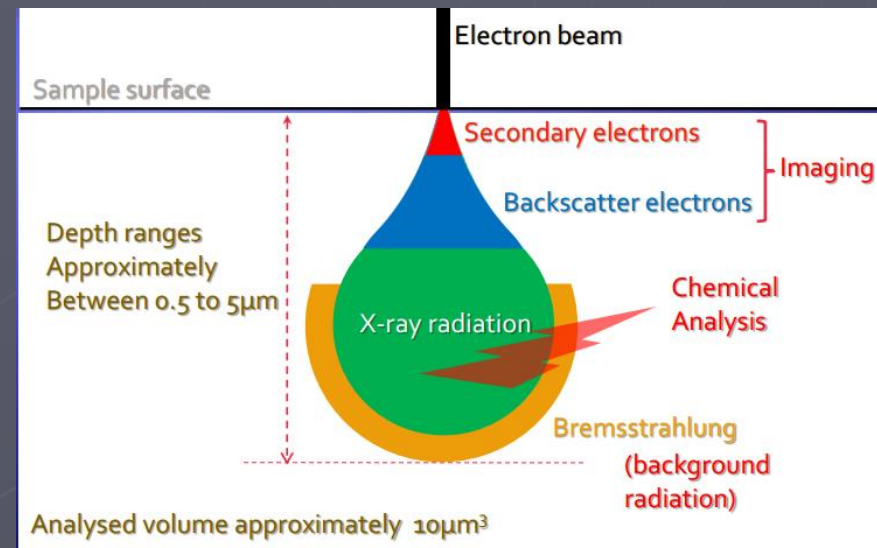
Διεγερμένος όγκος

➤ Όταν μια εστιασμένη δέσμη ηλεκτρονίων κτυπήσει το δείγμα στην επιφάνεια, εισέρχεται στο δείγμα οπότε τα ηλεκτρόνια χάνουν την ενέργειά τους λόγω της αλληλοεπίδρασης με τα ηλεκτρόνια των στοιβάδων των διαφόρων ατόμων του δείγματος.

➤ Με τη διεργασία αυτή γίνεται διάχυση της δέσμης ηλεκτρονίων και σχηματίζεται ένας «διεγερμένος όγκος» στο δείγμα.

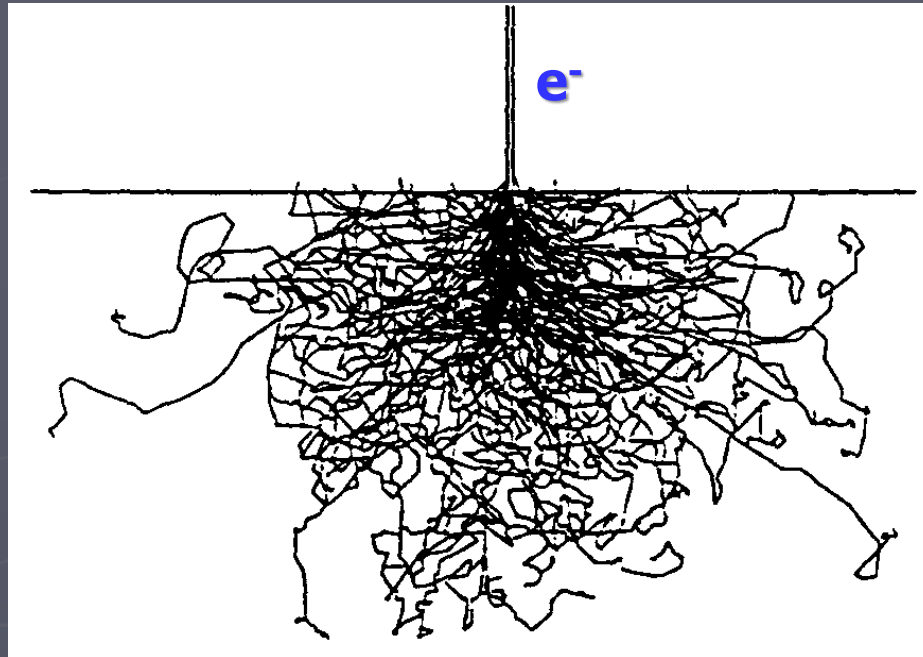
➤ Το μέγεθός του αυξάνεται με την αύξηση του δυναμικού επιτάχυνσης στο πυροβόλο ηλεκτρονίων και με την ελάττωση του μέσου ατομικού αριθμού του δείγματος.

➤ Για ένα πυριτικό ορυκτό διεγερμένο στα 15 kV → αχλαδοειδές σχήμα διαμέτρου 2 μm και βάθους 3 μm.



http://www.eliasch.metal.ntua.gr/DPMS/SEM-EBSD_Chatzitheodoridis.pdf

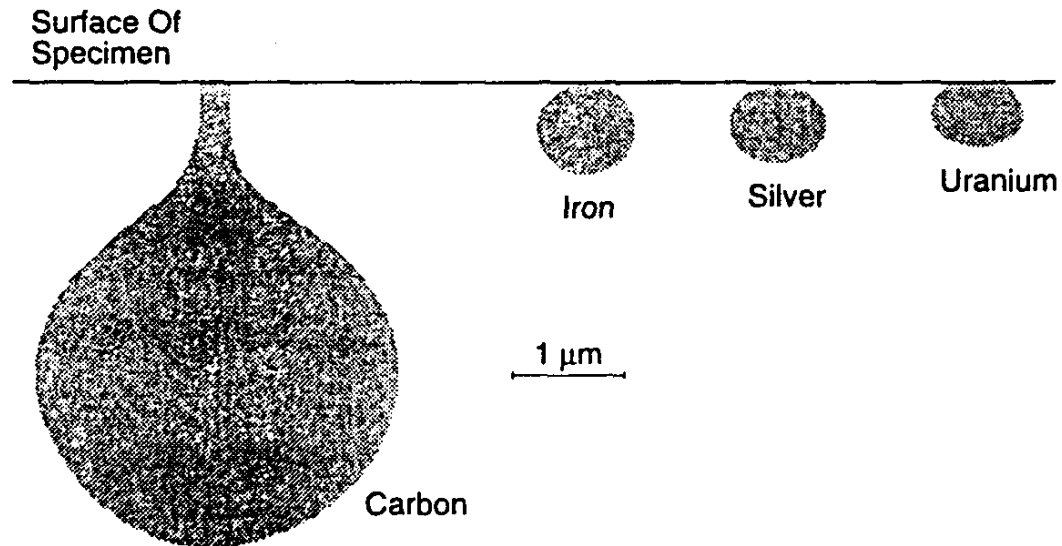
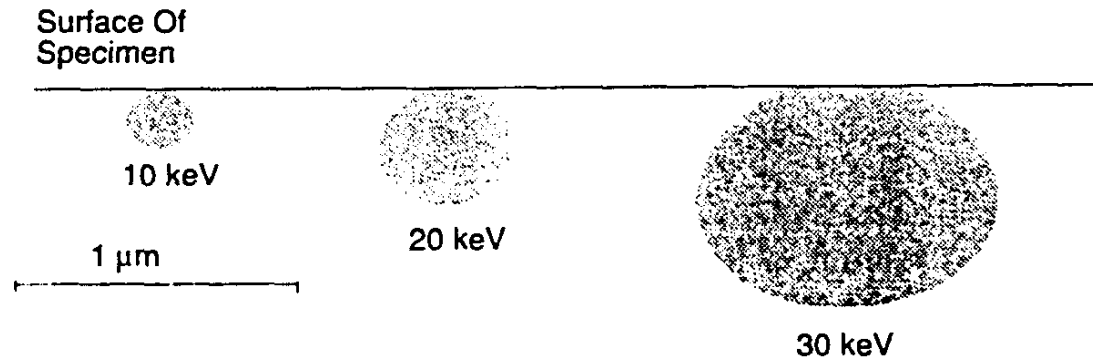
Διεγερμένος όγκος

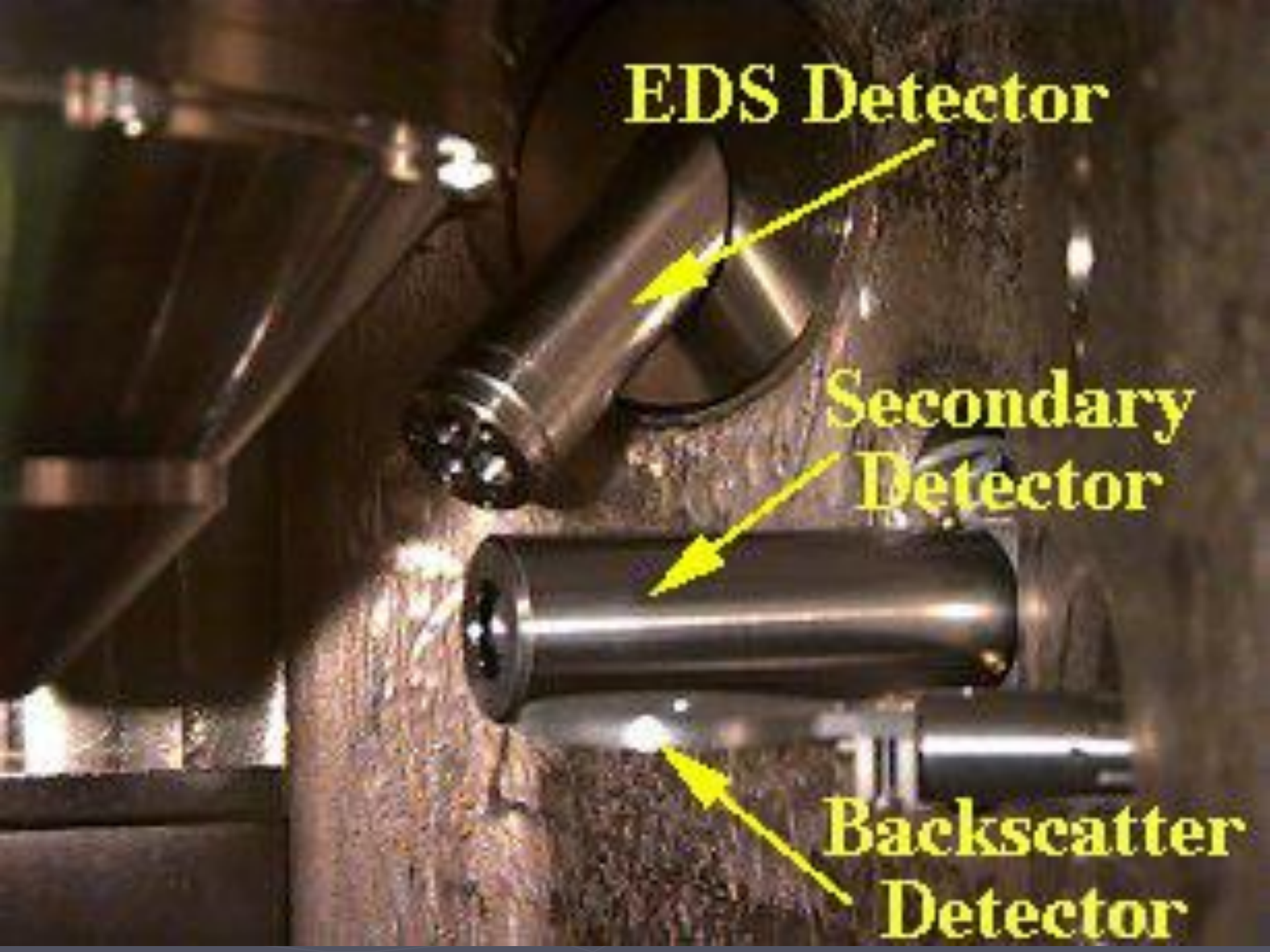


Προσομοιώσεις Monte Carlo 100 διαδρομών ηλεκτρονίων

Τα ηλεκτρόνια που εισχωρούν στο δείγμα δεν ακολουθούν μια ευθεία γραμμή, αλλά μια zig-zag διαδρομή

Διεγερμένος όγκος



A photograph of a scanning electron microscope (SEM) detector assembly. The image shows three cylindrical detectors mounted on a metal base. The top detector is labeled 'EDS Detector', the middle one 'Secondary Detector', and the bottom one 'Backscatter Detector'. Yellow arrows point from the text labels to the corresponding detectors. The background is a dark, textured metal surface.

EDS Detector

**Secondary
Detector**

**Backscatter
Detector**

Scanning Electron Microscope - SEM

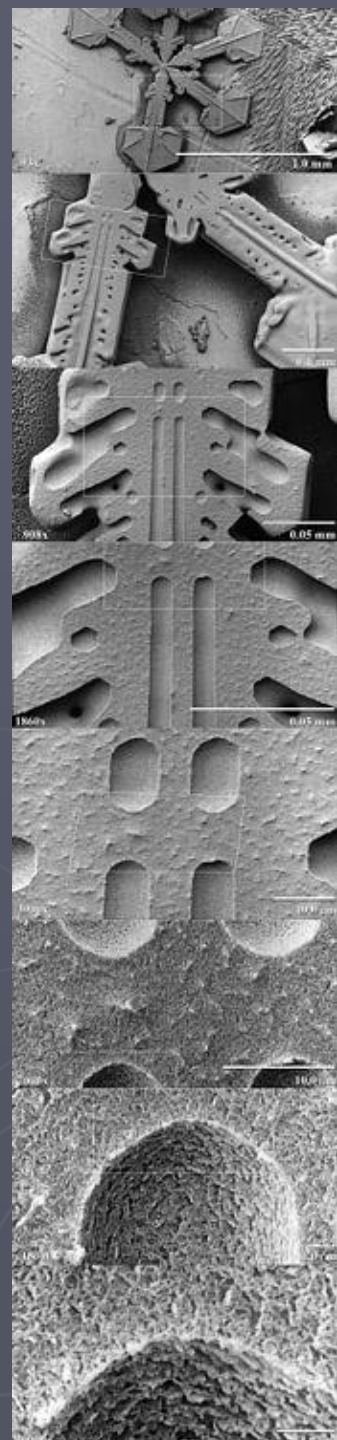
Η στήλη του μικροσκοπίου πρέπει πάντα να βρίσκεται σε συνθήκες κενού.

Στην αντίθετη περίπτωση:

- Αντίδραση των μορίων του αέρα με το νήμα
-> γρήγορη φθορά.
- Αντίδραση των μορίων του αέρα με τα ηλεκτρόνια της δέσμης
-> αποσταθεροποίηση της δέσμης.
- Σύγκρουση των μορίων του αέρα με τα ηλεκτρόνια της δέσμης
-> η δέσμη δεν φτάνει στο δείγμα.
- Αντίδραση των μορίων του αέρα με το δείγμα
-> δημιουργία ενώσεων στην επιφάνεια του δείγματος, κακή ποιότητα εικόνας.

Scanning Electron Microscope (SEM) – Διαδικασία απόκτησης εικόνας

- Αντί για τη χρήση μιας συνολικής εικόνας πεδίου, ακολουθείται μια στρατηγική μέτρησης σημείο προς σημείο.
- Μια υψηλής ενέργειας δέσμη ηλεκτρονίων χρησιμοποιείται για να ενεργοποιήσει το δείγμα και τα εκπεμπόμενα σήματα συλλέγονται και αναλύονται έτσι ώστε να **συνθέτεται** μία εικόνα.
- Τα εκπεμπόμενα σήματα φέρουν **τοπογραφική, συστασιακή, και κρυσταλλογραφική** πληροφορία για την επιφάνεια του δείγματος.



Διαφορετικοί τύποι SEM

- ▶ **Conventional (high vacuum):** ο πιο συνηθισμένος τύπος. Χρειάζεται στεγνό, αγωγίμο δείγμα (=> επιγραφίτωση) το οποίο να μπορεί να αντέξει σε συνθήκες υψηλού κενού. Λειτουργεί σε SE και BSE.
- ▶ **Low Vacuum (LVSEM):** λειτουργεί σε συνθήκες χαμηλού κενού. Το δείγμα δεν χρειάζεται να είναι αγωγίμο. Είναι χρήσιμο για μελέτη πολυμερών, βιολογικών δειγμάτων, δειγμάτων που δεν πρέπει να αλλοιωθούν κτλ. Λειτουργεί σε BSE.

Διαφορετικοί τύποι SEM

- ▶ **Cryo-SEM:** διαθέτει εξοπλισμό χάρις τον οποίο μπορεί να παρατηρηθεί δείγμα σε παγωμένη κατάσταση. Είναι χρήσιμο για την μελέτη ενυδατωμένων δειγμάτων, βιολογικών δειγμάτων, biofilms, τροφών, αφρών, λιπών, εναιωρημάτων, φαρμακευτικών προϊόντων και νανοσωματιδίων. Λειτουργεί σε SE και BSE.
- ▶ **Environmental (ESEM):** χρησιμεύει για την μελέτη δειγμάτων σε φυσικές συνθήκες (όχι ξήρανση). Η συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης (και υγρασίας) στον θάλαμο του δείγματος προσαρμόζονται. Μας επιτρέπει να παρατηρήσουμε φυσικές και βιολογικές διαδικασίες π.χ. τήξη και πήξη.

Ηλεκτρονικός μικροαναλυτής (Electron Microprobe Analyzer, EMPA)

- ▶ **Electron probe micro-analyzer (EPMA)** ή **electron microprobe** ή **probe**: είναι μια αναλυτική συσκευή που μας επιτρέπει να εκτελέσουμε in situ χημική ανάλυση σε μια μικρή επιφάνεια στερεού σώματος (μη καταστροφική μέθοδος).
- ▶ Ουσιαστικά είναι ένα SEM με κατάλληλο εξοπλισμό ώστε να εκτελούνται και σημειακές χημικές αναλύσεις.
- ▶ Οι χημικές αναλύσεις του EMPA είναι στοιχειακές και ακριβείας (βλ. WDS).
- ▶ Το σημείο ανάλυσης είναι μικρού εμβαδού (spot size - 1-2 microns).

Ανιχνευτές χημικής ανάλυσης: WDS vs EDS

- ▶ Είναι ανιχνευτές (Wavelength-Dispersive X-Ray Spectroscopy- WDS και Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy- EDS) που χρησιμοποιούνται για χημική στοιχειακή ανάλυση.
- ▶ Η ακτίνα ηλεκτρονίων αλληλοεπιδρά με τα άτομα του δείγματος παράγοντας ακτίνες X.
- ▶ Από αυτή την διαδικασία παράγονται φάσματα, όπου κάθε ένα είναι χαρακτηριστικό για κάθε στοιχείο.
- ▶ Οι ακτίνες X που εκπέμπονται από το δείγμα δίνουν πληροφορίες για τη χημική σύσταση του δείγματος. Επομένως μπορεί να γίνει στοιχειομετρική ανάλυση του δείγματος που ονομάζεται **μικροανάλυση**.

Ανιχνευτές χημικής ανάλυσης: WDS vs EDS

► **Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS):**

ανιχνευτές διασποράς ενέργειας που επιτρέπουν την ανίχνευση και μέτρηση πολλών χαρακτηριστικών ακτινοβολιών ταυτόχρονα- αναλύει όλο το εκπεμπόμενο φάσμα σε μια σάρωση και χρησιμοποιείται διάγραμμα έντασης-ενέργειας γίνεται ανάλυση ενεργειακής διασποράς.



http://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/eds.html

► **Wavelength-Dispersive X-Ray Spectroscopy (WDS):**

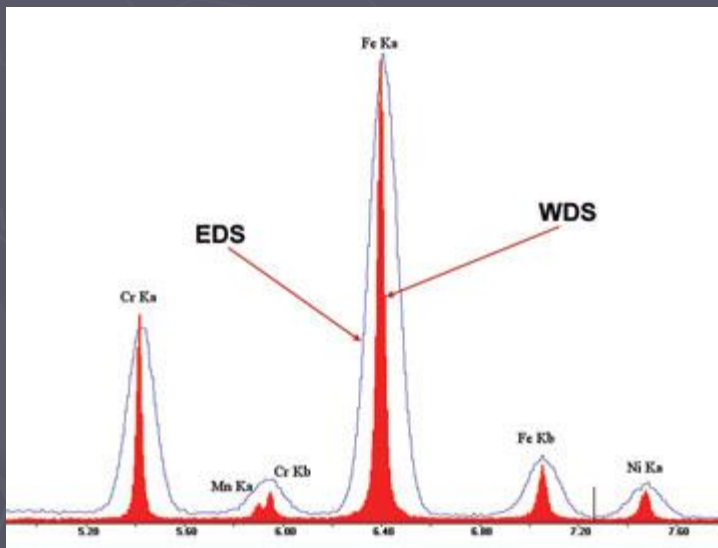
περίπτωση χρησιμοποιούνται ένα ή περισσότερα φασματομέτρα Bragg με κρυστάλλους ανόργανους ή συνθετικούς που ανιχνεύουν τις χαρακτηριστικές ακτινοβολίες X και μετρούν την έντασή τους με τη μέθοδο φθορισμού ακτίνων X- αναλύει το φάσμα ενός μόνο στοιχείου σε κάθε σάρωση και χρησιμοποιείται διάγραμμα έντασης-μήκους κύματος γίνεται ανάλυση της διασποράς του μήκους κύματος των ακτίνων X . Πολλά στοιχεία μπορούν να αναλυθούν ταυτόχρονα μόνο αν υπάρχουν πολλοί ανιχνευτές.



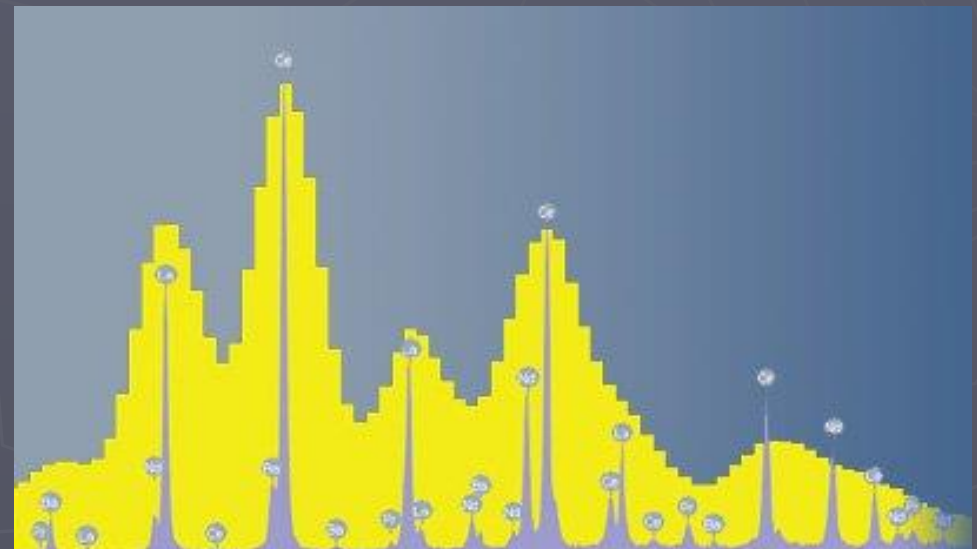
<http://www.directindustry.com/prod/oxford-instruments-nanoanalysis/product-37682-1416761.html>

Ανιχνευτές χημικής ανάλυσης: WDS vs EDS

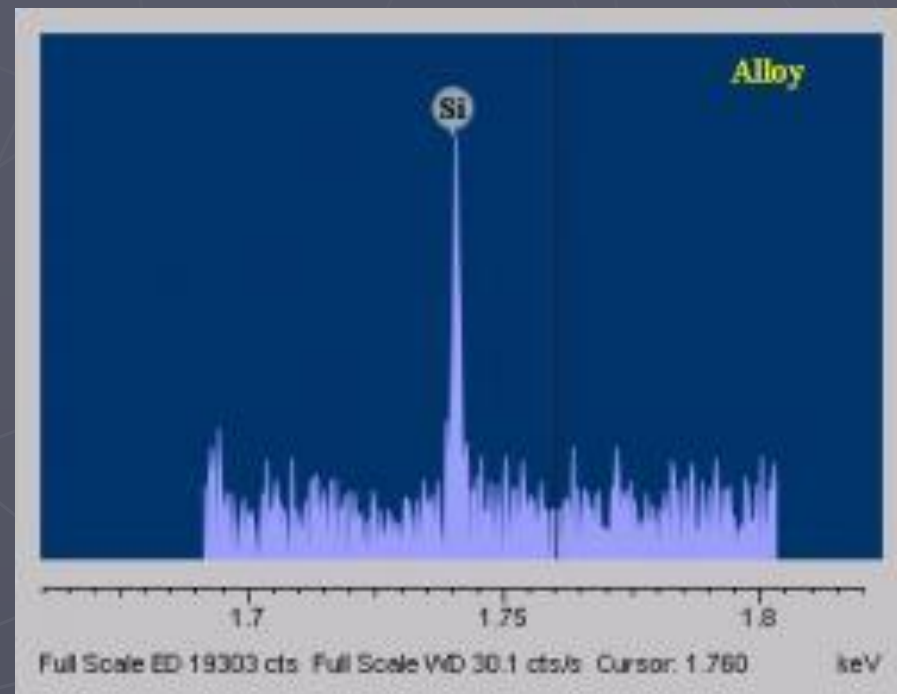
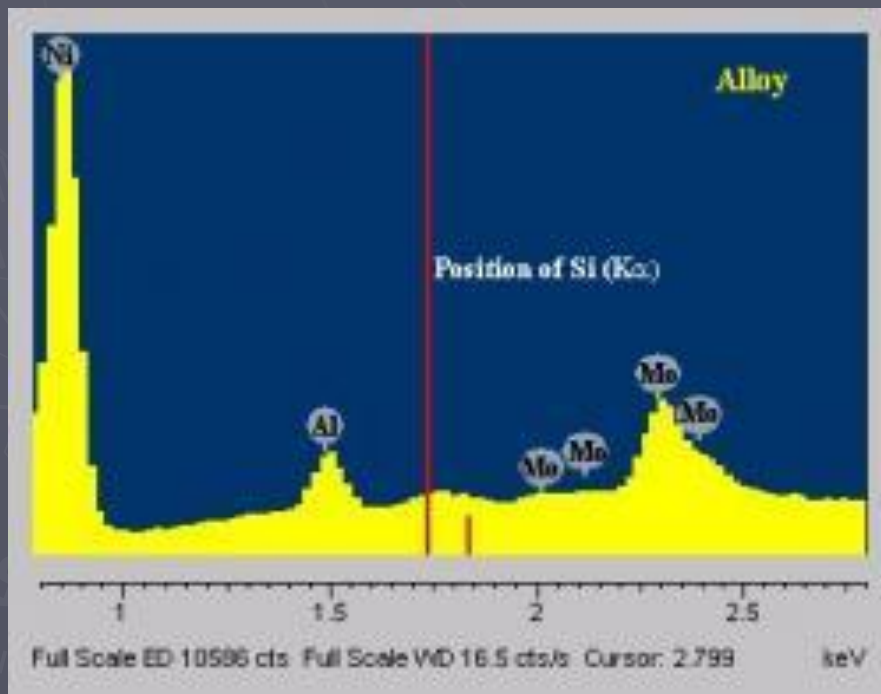
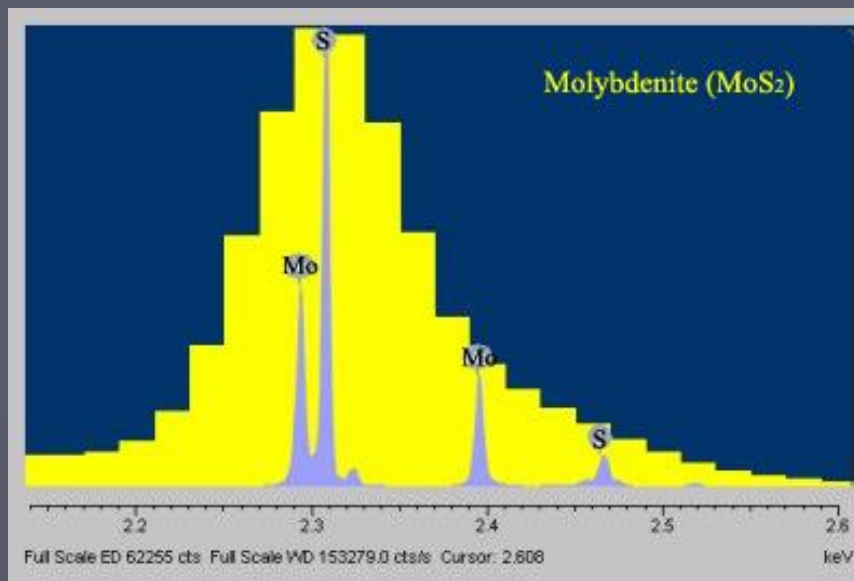
- ▶ Οι **EDS** είναι ταχύτεροι, φτηνότεροι και εκτελούν ημι-ποσοτική ανάλυση, ενώ οι **WDS** είναι πιο αργοί, πιο ακριβής στις μετρήσεις και πιο ακριβοί σε κόστος.



<http://www.edax.com/Products/Integrated/Trident-Integrated-EDS-EBSD-and-WDS-System.aspx>



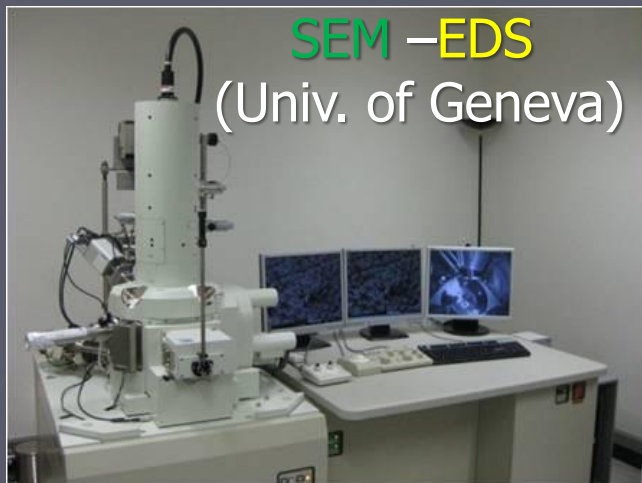
<https://www.oxford-instruments.com/products/microanalysis/wavelength-dispersive-systems-wds/wave-software>



Ανιχνευτές χημικής ανάλυσης:

WDS vs EDS

Operating Characteristic	WDS (crystal diffraction)	EDS (silicon, energy dispersive)
Detectable Elements	Variable, <30% Detects $Z \geq 4$	~100% for 2-16 keV Detects $Z \geq 10$ (Be Window); detects $Z \geq 4$ (windowless or thin window)
Resolution	Crystal-dependent (5 eV)	Energy-dependent (130 eV at 5.9 keV)
Maximum count rate (counts/s)	50,000 on an X-ray line	Resolution-dependent, < 4000 over full spectrum for best resolution
Minimum useful probe size (nm)	~200	~5
Typical data-collection time	Tens of minutes	Minutes
Spectral artifacts	Rare	Major ones include escape peaks, pulse pileup, electron-beam scattering, peak overlap, and window absorption effects



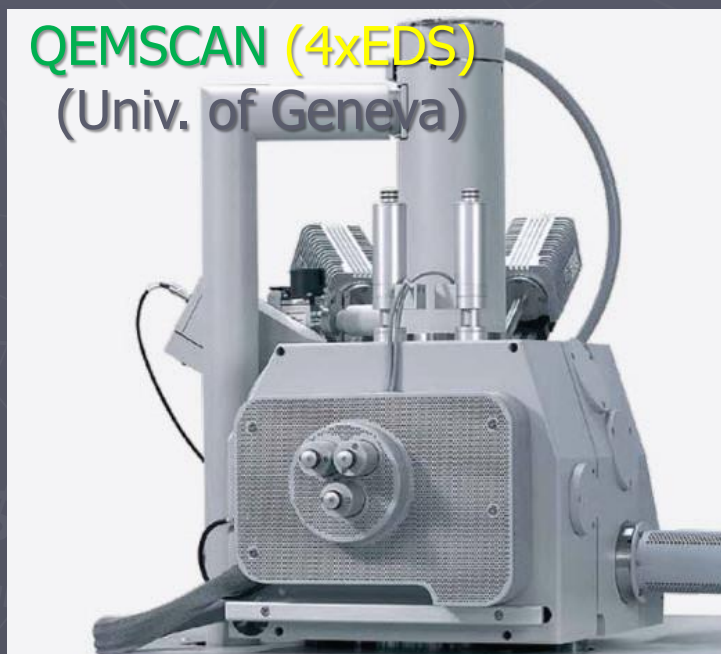
SEM –EDS
(Univ. of Geneva)

<http://cms.unige.ch/sciences/terre/en/facilities/listFacilities.php#&panel1-16>



SEM –EDS and –WDS
(Univ. of Patras)

<http://www.electronmicroscopylab.upatras.gr/index.php/el/2015-12-29-12-04-05/2016-02-07-10-06-51>



QEMSCAN (4xEDS)
(Univ. of Geneva)

<http://cms.unige.ch/sciences/terre/en/facilities/listFacilities.php#&panel1-26>



EMPA (4xWDS)
(Univ. of Lausanne)

<http://www.unil.ch/iste/home/menuinst/laboratoires/microsonde-electronique.html>

Ανιχνευτές χημικής ανάλυσης (WDS και EDS)

Πλεονεκτήματα:

- Επιλογή από πριν των καταλληλότερων σημείων για ανάλυση
- Δεν χρειάζεται διαχωρισμός ποσότητας καθαρού ορυκτού
- Μεγάλος αριθμός αναλύσεων σε μικρό χρονικό διάστημα
- Στα ίδια δείγματα μπορούν να γίνουν άλλες μετρήσεις ή παρατηρήσεις

Ανιχνευτές χημικής ανάλυσης (WDS και EDS)

Μειονεκτήματα:

- Δεν ανιχνεύονται στοιχεία ατομικό αριθμό <5 (B, H, Li, Be)
- Επειδή δεν μπορεί να ανιχνευθεί το H, δεν μπορούν να μετρηθούν H₂O σε ένυδρα ορυκτά.
- Αδυναμία διαχωρισμού Fe²⁺ και Fe³⁺.
- Εφόσον γίνει επανθράκωση, δεν ανιχνεύεται ο C.
- Μεγάλο κόστος αγοράς και συντήρησης των οργάνων.

Αποτελέσματα από ανιχνευτές χημικής ανάλυσης (WDS και EDS) – Χημική ανάλυση και φάσμα

Spectrum processing :
No peaks omitted

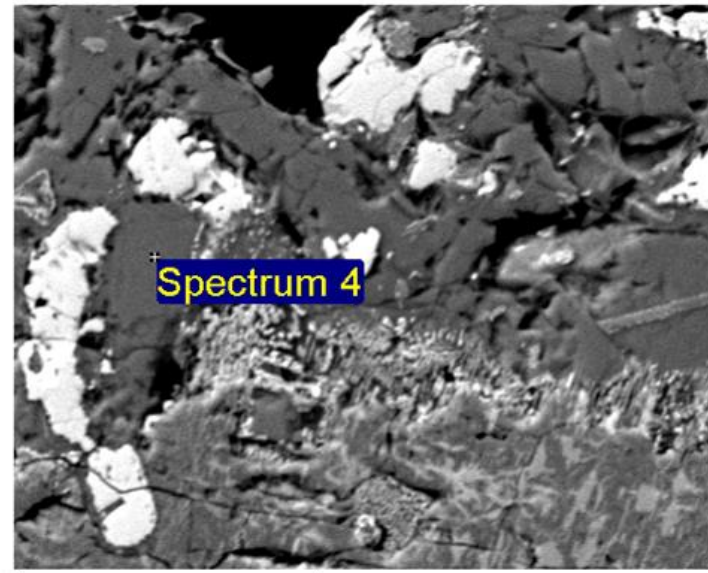
Processing option : Oxygen by stoichiometry
Number of ions calculation based on 23.00 anions per formula

Number of iterations = 3

Standard :

Na K Jadeite-Cls 17-Apr-2015 09:39 AM
Al K CORUNDUM 16-Oct-2012 10:50 AM
Si K ALBITE 25-Feb-2015 08:50 AM
Ca K WOLLASTON 9-Jul-2015 09:13 AM

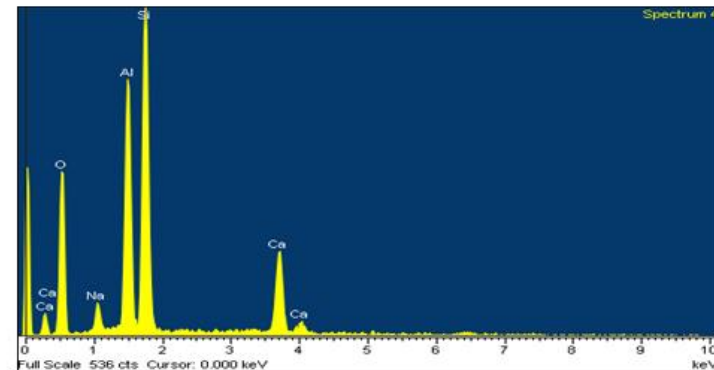
Element	App	Intensity	Weight %	Weight %	Atomic %	Compound %	Formula	Number of ions
	Conc.	Conn.		Sigma				
Na K	2.54	0.8886	2.86	0.23	2.70	3.85	Na ₂ O	1.02
Al K	13.85	0.8860	15.63	0.32	12.58	29.53	Al ₂ O ₃	4.77
Si K	20.39	0.9544	21.36	0.37	16.52	45.70	SiO ₂	6.26
Ca K	13.28	0.9649	13.76	0.45	7.46	19.26	CaO	2.83
O			44.73	0.59	60.73			23.00
Totals			98.34				Cation sum	14.87



60µm

Electron Image 1

Comment:



Inca

http://webmineral.com

Chemistry

Home | Crystal | jmol | jPOWD | Chem | X Ray | Dana | Strunz | Properties | A to Z | Images | Share | AddThis | News | Help | About

Minerals by Chemical Composition

Mineral Search form:
1. To display the listing of minerals sorted by percent element select the desired element from the periodic chart. Minerals sorted by mineral name can be found linked to the element sort.
2. To Search Webmineral's chemical composition table use Composition Search Form.

Page sizes for the most common elements are as follows:
oxygen (O, 1.130 kb), hydrogen (H, 852 kb), silicon (Si, 442 kb), calcium (Ca, 422kb), iron (Fe, 420 kb), aluminum (Al, 350 kb), sulfur (S, 305 kb), sodium (Na, 304 kb), and magnesium (Mg, 267 kb).

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period																		
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	* Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	** Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds								
			* 57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb		
			** 89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No		

Mineral Element Composition Search - To Reset - Click Here

Element 1	Element 2	Element 3	Tolerance %	Submit
Wt % Element 1	Wt % Element 2	Wt % Element 3	<input type="text"/>	

General Pyrite Information

- Chemical Formula:
- Composition:

FeS₂
Molecular Weight = 119.98 gm

Iron	46.55 %	Fe
Sulfur	53.45 %	S

100.00 %

- Empirical Formula:

Fe²⁺S₂

An introduction to the

ROCK-FORMING MINERALS

DEER,
HOWIE &
ZUSSMAN

3rd Edition

Copyrighted Material

Deer, Howie and Zussman

ROCK-FORMING MINERALS

Volume 5A

Non-Silicates

Oxides, Hydroxides and Sulphides

by J. F. W. Bowles, R. A. Howie, D. J. Vaughan and J. Zussman

Second edition



Published by The Geological Society

Copyrighted Material

Deer, Howie and Zussman

ROCK-FORMING MINERALS

Volume 2B

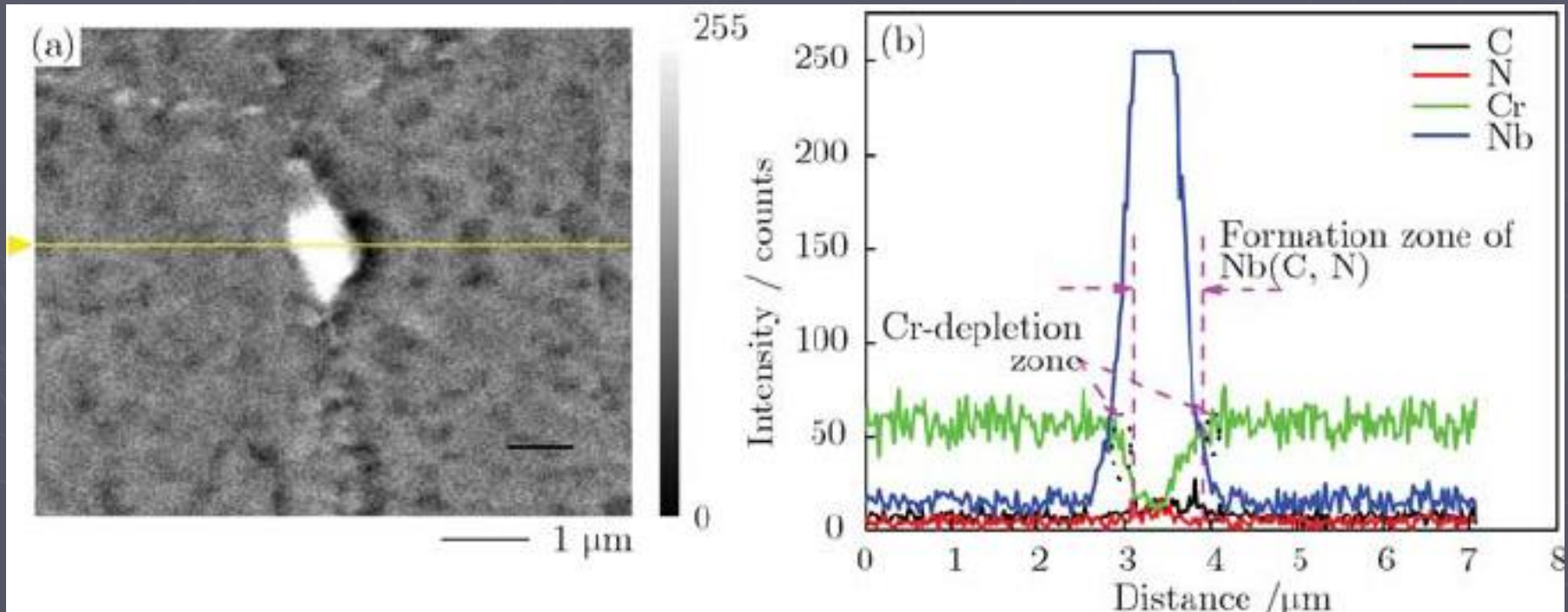
Double-Chain Silicates

Second edition



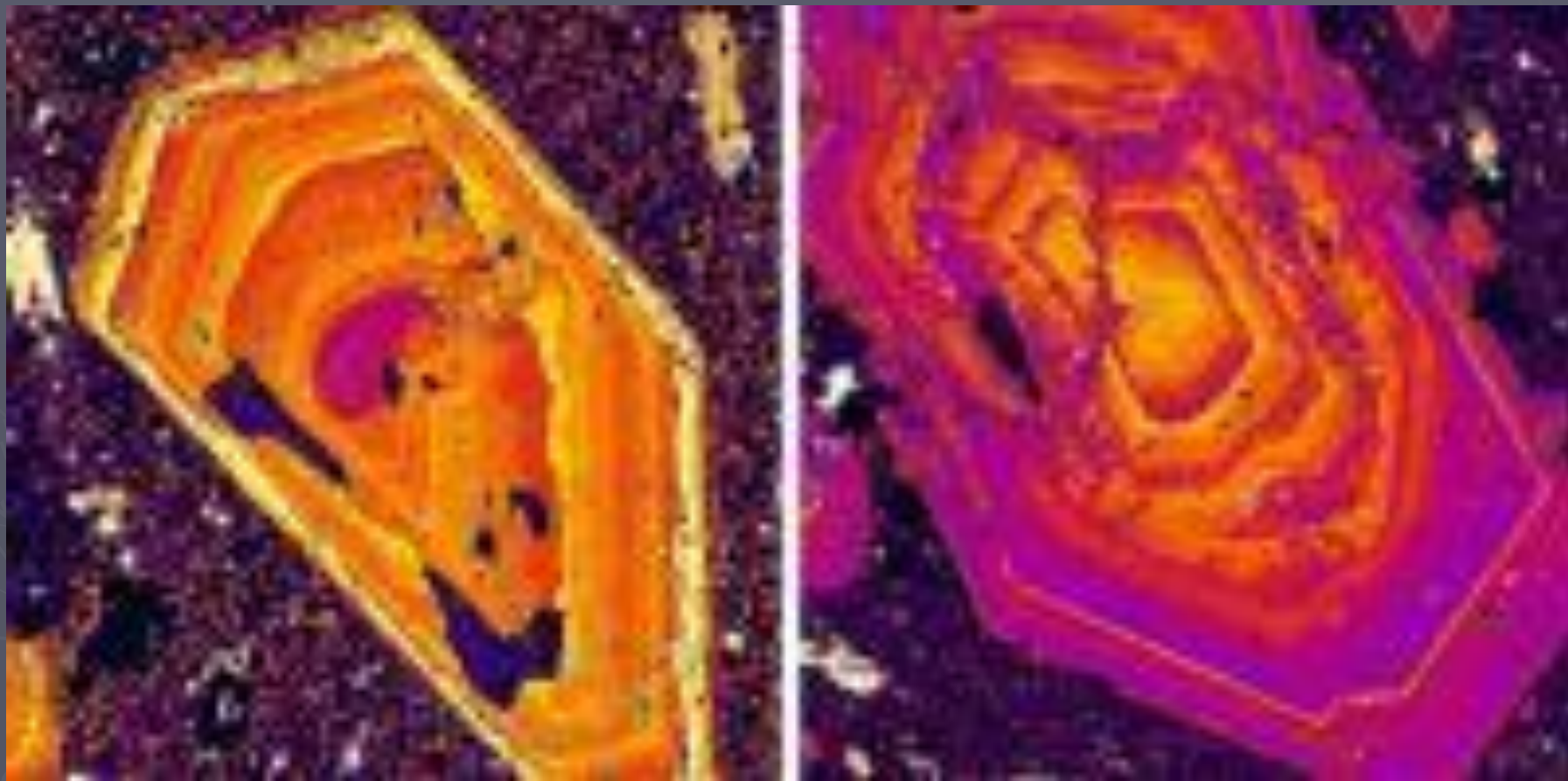
Published by The Geological Society

Αποτελέσματα από ανιχνευτές χημικής ανάλυσης (WDS και EDS) – Line profile



https://www.researchgate.net/publication/260724200_Corrosion_behavior_of_ferritic_stainless_steel_with_15wt_chromium_for_the_automobile_exhaust_system

Αποτελέσματα από ανιχνευτές χημικής ανάλυσης (WDS και EDS) – Mapping



Element maps showing Ca and Na zonation in plagioclase

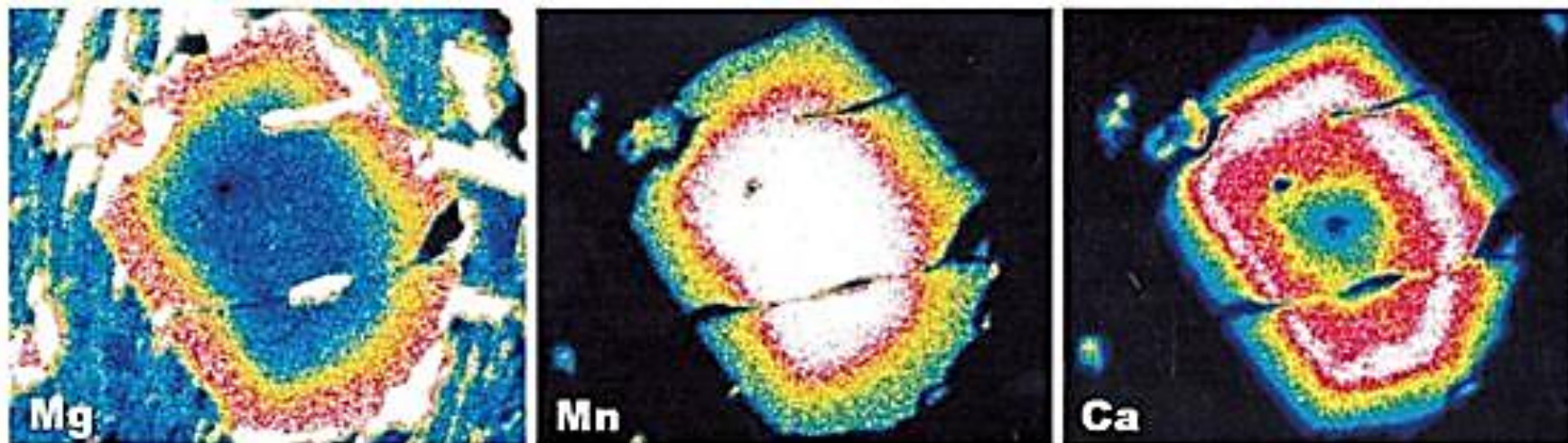


Figure 2. X-ray maps of Mg, Mn, and Ca showing compositional zoning of the smallest garnet porphyroblast in sample PCM-44, which is a pelitic schist from the garnet zone characterized by a mineral assemblage of muscovite + quartz + plagioclase + garnet + biotite, with minor K-feldspar, tourmaline, apatite, zircon, epidote, calcite and Fe-Ti oxides.

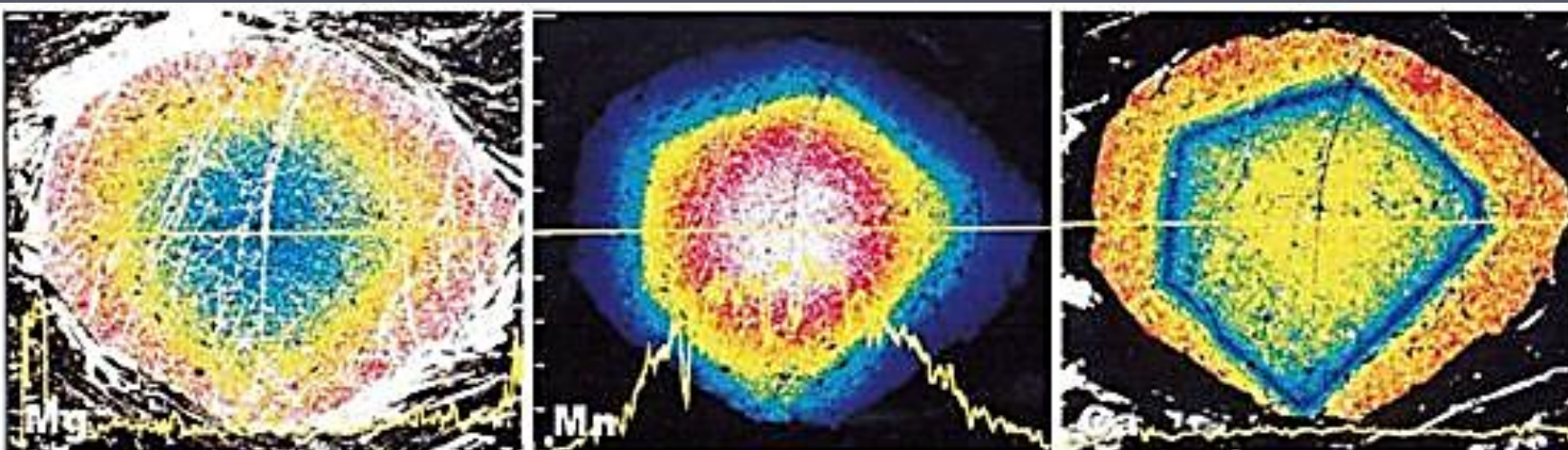


Figure 3. X-ray maps of Mg, Mn, and Ca showing compositional zoning of the garnet porphyroblast in sample PCM-361, which is a pelitic schist from the garnet-staurolite zone characterized by the peak metamorphic assemblage of quartz + plagioclase + muscovite + biotite + garnet + staurolite, with minor phases such as ilmenite, apatite, monazite, xenotime, zircon and rutile. Numerous inclusions of ilmenite define different patterns of distribution. Garnet diameter = 3.25 mm. Warm colors correspond to higher concentrations.

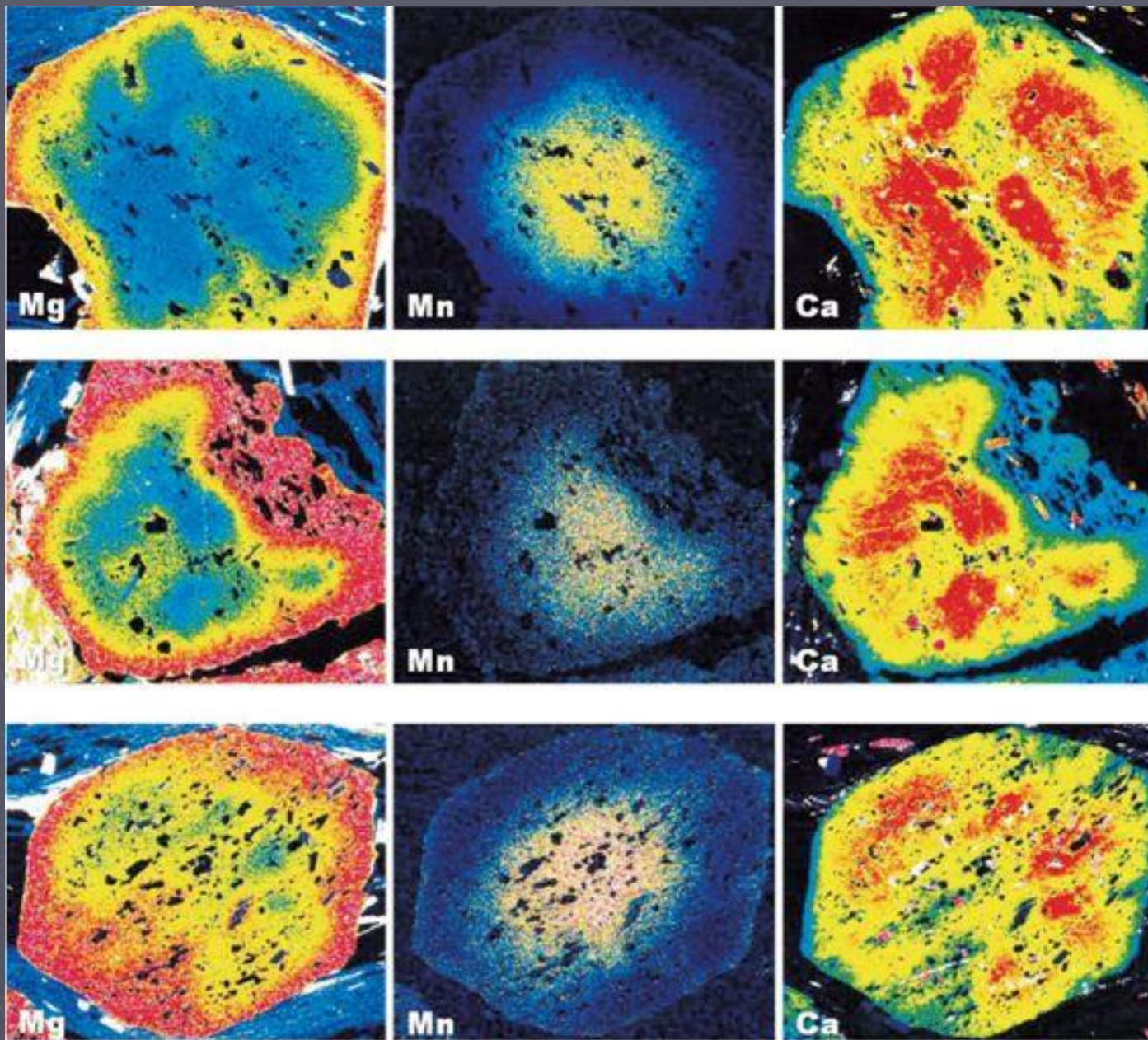


Figure 7. X-ray maps of Mg, Mn, and Ca showing compositional zoning of amoeba-like zoned garnet in sample PCM-618, which is a pelitic schist from the garnet-staurolite zone. Garnet shows patch and amoeba-like shapes of the Ca zoning. Garnet diameter = 2.50 mm. Warm colors correspond to higher concentrations.

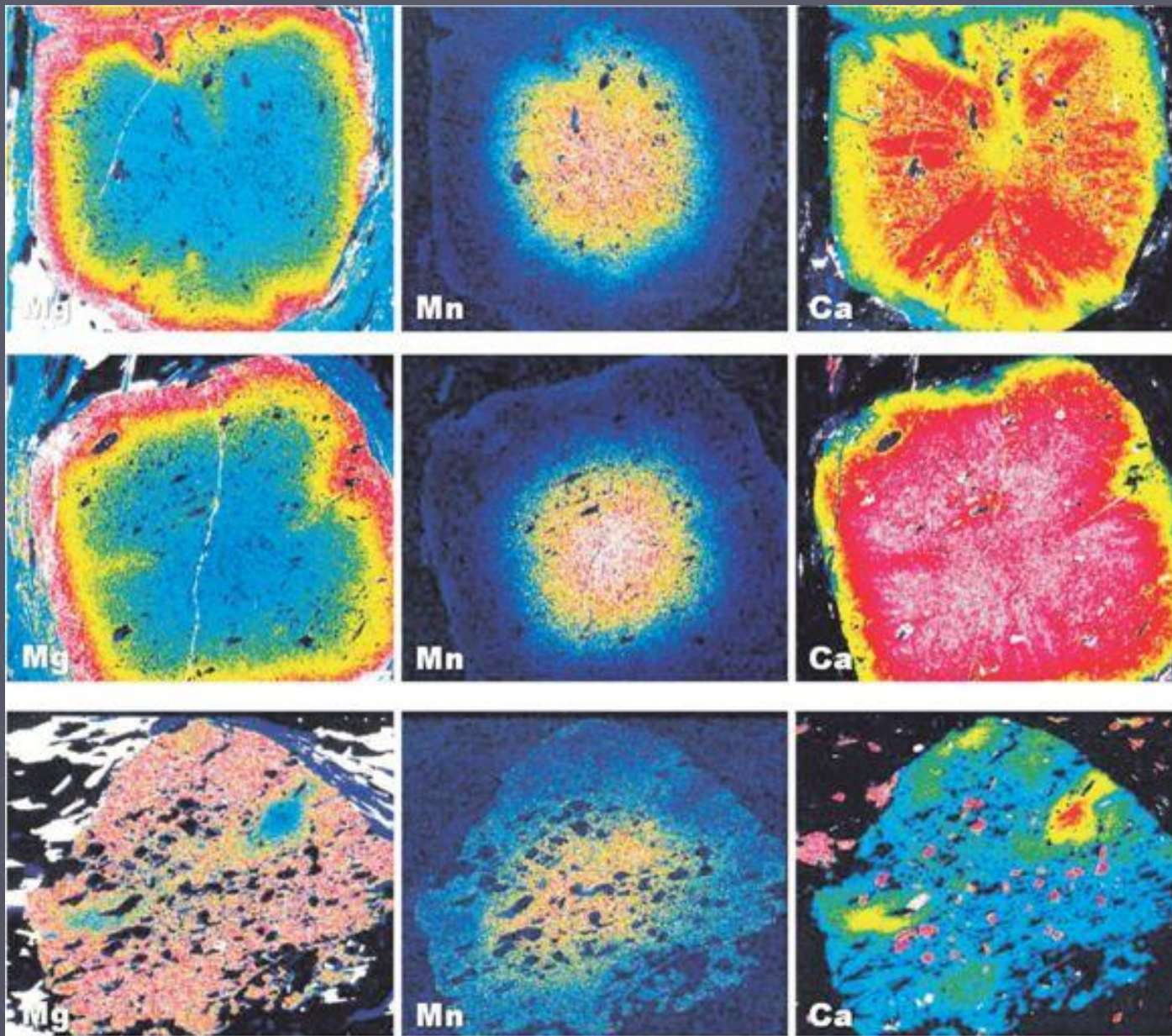


Figure 8. X-ray maps of Mg, Mn, and Ca showing compositional zoning of sector-zoned garnet in sample PCM-618, which is a pelitic schist from the garnet-staurolite zone. Garnet diameter = 2.25 mm. Warm colors correspond to higher concentrations.

Χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης και μικροαναλυτή - Προετοιμασία δειγμάτων για ανάλυση

- Τα δείγματα πρέπει να είναι στιλπνές ή λεπτές-στιλπνές τομές πάνω στις οποίες σημειώνονται τα σημεία προς ανάλυση (συνήθως με ανεξίτηλο μαρκαδόρο)
- Τα δείγματα που αναλύονται πρέπει να είναι αγώγιμα. Γι' αυτό γίνεται στην επιφάνειά τους εξάχνωση ενός αγώγιμου υλικού από μια διάταξη βολταϊκού τόξου. Ως αγώγιμο υλικό χρησιμοποιείται ο άνθρακας γιατί συνήθως δεν χρειάζεται στην ανάλυση και επιπλέον είναι φθηνός (**επανθράκωση**). Το πάχος του άνθρακα δεν πρέπει να ξεπερνά τα 200 Å.
- Για τη μικροανάλυση απαιτείται και μία σειρά προτύπων (standards).