



**Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași**  
**Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației din**  
**Iași**  
**Specializare master: Rețele de comunicații**

**REFERAT REȚELE DE SENZORI**  
**Micrografele de scanare electronică (SEM)**

Profesor coordonator,  
Șef Lucrări Dr.Ing. Daniela Derevlean

Student,  
Fecioru Cristian-Ștefan

Iași – 2025

## Cuprins

Introducere.....	3
Descriere.....	4
Caracteristici.....	5
Componentele și sistemul de lucru al SEM.....	6
Componentele principale al unui SEM.....	6
Sistemul de lucru al unui SEM.....	8
Aplicații ale unui SEM.....	9
Concluzii .....	10
Bibliografie.....	11

# Micrografele de scanare electronică (SEM)

## Introducere

Micrograful de scanare electronică (SEM) este unul dintre cele mai versatile instrumente disponibile pentru examinarea și analiza morfologiei microstructurii și caracterizărilor compoziției chimice. Este necesar să se cunoască principiile de bază a opticii luminii pentru a înțelege fundamentele microscopiei electronice. Ochiul liber poate discrimina obiecte cu unghi vizual de aproximativ  $1/60^\circ$ , corespunzător unei rezoluții de  $\sim 0,1\text{mm}$  (la distanța optimă de vizualizare de  $25\text{cm}$ ).

Microscopia optică are limita de rezoluție de  $\sim 2000 \text{ \AA}$  prin mărirea unghiului vizual, prin lentila optică. Microscopia ușoară a fost și continuă să fie de mare importanță pentru cercetarea științifică. De la descoperirea că electronii poate fi deviat de câmpul magnetic în numeroase experimente din anii 1890, microscopia electronică a fost dezvoltată prin înlocuirea sursei de lumină cu energie înaltă, fascicul de electroni. În această secțiune, vom trece, pentru o fracțiune de secundă, peste elementele de bază teoretice ale microscopiei electronice de scanare, inclusiv limitarea rezoluției, interacțiunile fascicului de electroni cu speciamele și generarea de semnal.

Revenind la topicul nostru inițial, microscopia electronică de scanare (SEM – Scanning Electron Microscopy) reprezintă o tehnică esențială în domeniul cercetării științifice, fiind utilizată pentru analiza detaliată a suprafețelor materialelor la nivel micro și nanometric. Prin utilizarea unui fascicul de electroni, această tehnică oferă imagini cu o rezoluție și o adâncime de câmp superioare microscopiei optice, evidențiind detalii structurale și compoziționale imposibil de observat altfel.

Micrografiile obținute prin SEM sunt extrem de valoroase pentru o gamă largă de domenii, de la știința materialelor și inginerie, până la biologie, medicină și arheologie. Acestea permit caracterizarea topografiei, morfologiei și compoziției chimice a probelor, contribuind la înțelegerea proprietăților și comportamentului acestora.

În acest referat, ne propunem să prezentăm principiile de funcționare ale microscopiei electronice de scanare, avantajele și limitările acesteia, precum și diverse aplicații ale micrografiilor SEM în domenii de interes științific și industrial. Scopul acestui demers este de

a evidenția importanța și versatilitatea acestei tehnici în exploatarea și analiza lumii microscopice.

## Descriere

În SEM, un fascicul de electroni cu tensiuni de accelerație de până la 30kV este focalizat pe specimen. Interacțiunile dintre fasciculul de electroni și specimen emit semnale de la specimen, iar detectorii le colectează. Semnalele înregistrate sunt combinate pentru a forma o imagine.

Când o probă este radiată cu un fascicul de electroni, “împrăștierea elastică” rezultă din nucleul atomic sau din electronii învelișului exterior cu energie similară. Electronii incidenti care sunt împrăștiați elastic la un unghi mai mare de 90 de grade se numesc electroni retroîmprăștiați (BSE). Semnalele ESB furnizează atât informații compoziționale, cât și topografice ale eșantionului. Când electronii incidenti, electronii și atomii specimenului interacționează, are loc “împrăștierea inelastică”. În timpul interacțiunilor inelastice, electronii accelerați transferă energie considerabilă atomilor specimenului, provocând excitarea electronilor eșantionului și conducând la generarea de electroni secundari (SE) definiți cu energii mai mici de 50eV. SE sunt cele mai utilizate semnale în SEM, deoarece electronii emiși au energie scăzută; pot scăpa doar într-o regiune la câțiva nanometri de eșantion, oferind informații topografice precise cu o rezoluție bună.

SEM conține un tun de electroni care accelerează electronii cu 0,1–30 keV. Lentilele și deschiderile electromagnetice sunt folosite pentru a focaliza electronii pe fascicul și pentru a-i demagnifica la dimensiunea sursei de electroni (~50 μm pentru un filament de wolfram ) înainte ca fasciculul de electroni să lovească proba la dimensiunea necesară (1-100 nm). Analiza este efectuată într-un mediu de vid înalt pentru a evita împrăștierea electronilor.

SEM este un instrument extrem de versatil pentru caracterizarea structurală a materialelor biobazate. Aceste materiale sunt, în general, compuse din lanțuri lungi de unități repetate de elemente cu număr atomic scăzut, cum ar fi carbonul, hidrogenul, azotul și oxigenul. Aceste elemente mai ușoare au interacțiuni mai rare cu electronii accelerați, care produc un contrast slab; prin urmare, acoperirea sau colorarea regulată a polimerilor este

necesară pentru a studia proba. Majoritatea probelor de polimer sunt adesea acoperite prin pulverizare cu metale precum aurul pentru a obține imagini optime cu SEM.

## Caracteristici

Ideea conceperii unui SEM a apărut în secolul al XIII-lea, când a fost construită o primă microscopie electronică pe baza lucrărilor efectuate de doi oameni de știință în fizică, Ruska și Knoll în 1933. Instrumentul se numește microscop cu electroni transmiși (TEM) prezentat în Fig.1, cu electronii care trec doar prin specimene subțiri și o mărire peste cea a binecunoscutului microscop optic (Fig.2).



Fig.1 Primul microscop cu electroni



Fig. 2 Microscop optic

Ulterior, în 1938, Von Ardenne a adăugat o bobină de scanare la (TEM) construirea microscopului electronic cu transmisie de scanare (STEM) folosind o tensiune de 23kV la mărirea de 8000x și o rezoluție de 50-100nm.

Dezvoltarea SEM a continuat cu producerea de echipamente comerciale mai moderne. În perioada 1991-1993, Danilatos a efectuat un studiu privind efectele mediului asupra speciilor examinate. Ca rezultat, a fost dezvoltat un nou instrument care examinează suprafața oricărui specimen umed sau uscat. Cea mai recentă evoluție a SEM este procesul de generare digitală a imaginilor. Urmând afișarea imaginilor pe ecranul computerului.

## Componentele și sistemul de lucru al SEM

### Componentele principale al unui SEM

Micrograful de scanare electronică (SEM) este alcătuit din următoarele componente:

- a. O sursă pentru a genera electroni de înaltă energie, se numește tun de electroni, ca în Fig. 3.
- b. O coloană în jos pentru a călători electronii prin două sau mai multe lentile electromagnetice, ca în Fig. 4.
- c. Sistemul de deviere este format din bobine de scanare.
- d. Detector de electroni pentru electroni retroîmprăștiați și secundari, ca în Fig. 5.
- e. O cameră pentru probă, ca în Fig. 6.
- f. Sistemul informatic constă dintr-un ecran de vizualizare pentru afișarea imaginilor scanate și tastatură pentru a controla fasciculul de electroni, ca în Fig. 7.

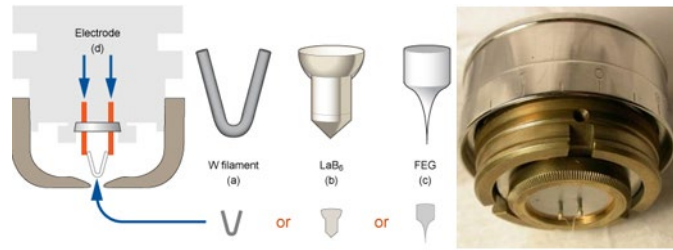


Fig. 3 Tun cu electroni

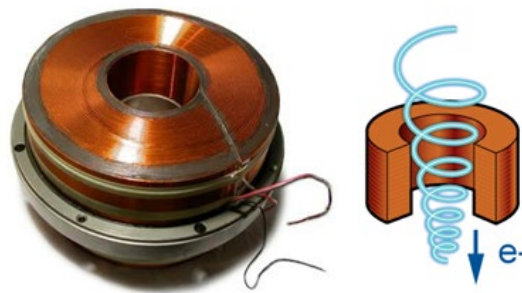


Fig. 4 Lentile electromagnetice

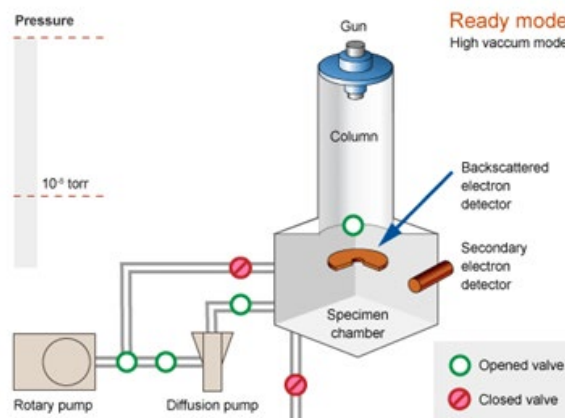


Fig. 5 Detectoare de electroni în sistemul SEM

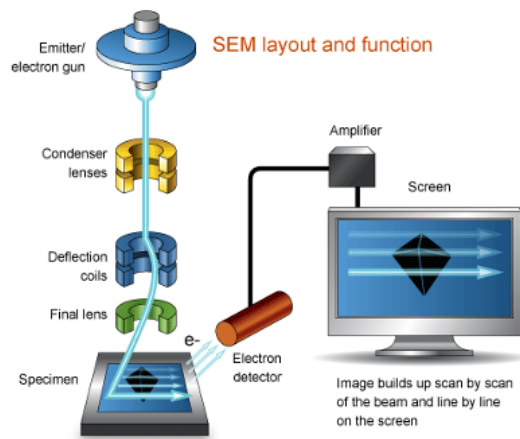


Fig. 6 Toate componentele SEM

## Sistemul de lucru al unui SEM

SEM este un instrument prin care pot fi văzute lumi invizibile ale microspațiului și nanospatiului. Detaliile și complexitatea care sunt inaccesibile prin microscopia luminoasă pot fi dezvăluite prin SEM. Fig. 7 conferă o mai bună explicație vizuală, dar vom detalia fiecare process in parte:

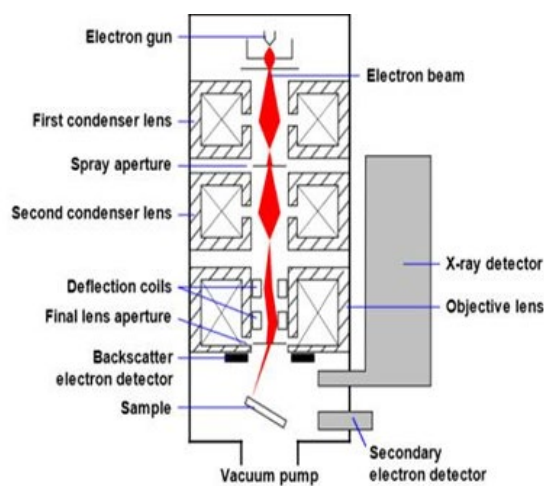


Fig. 7 Schema microscopului electronic cu scanare

- a) Analiza se va face prin aplicarea unui fascicul de electroni (avand energie mare) in intervalul intre (100-30.000 electron volti).



- b) Dimensiunea spotului produs de pistol este prea mare pentru a genera o imagine clară, prin urmare, SEM echipat cu lentile pentru a comprima spotul și a direcționa electronul focalizat asupra specimenului.
- c) Imaginea specimenului este formată punct cu punct în funcție de mișcarea bobinelor de scanare, care fac ca fasciculul de electroni să se deplaseze în locații discrete sub formă de linii drepte până când pe suprafața specimenului este produs un raster dreptunghiular.
- d) Detectorul de electroni este de a detecta electronii (semnalele) emise din proba scanată.
- e) Semnalele sunt apoi afișate pe ecranul de vizualizare, iar operatorul va controla luminozitatea și intensitatea până când se obține o imagine clară rezonabilă.
- f) Modul de tensiune electronică (emis de pistol) are influență asupra detaliilor furnizate.
- g) Imaginea parțial tridimensională obținută din SEM depinde de vizualizarea topografiei probei în termeni de (formă, dimensiune și textura suprafeței).

## Aplicații ale unui SEM

Încapsularea unui microb cu diferiți biopolimeri, cum ar fi pistolul arab (GA), guma guar (GG) și gelatina porcină (PG) ca materiale de perete a fost studiată folosind SEM. Studiul morfologic a evidențiat structuri definite de microparticule cu dimensiuni între 15 și 20 μm, fără structuri de colaps sau fisuri după aplicarea uscării prin pulverizare (Fig. 8).

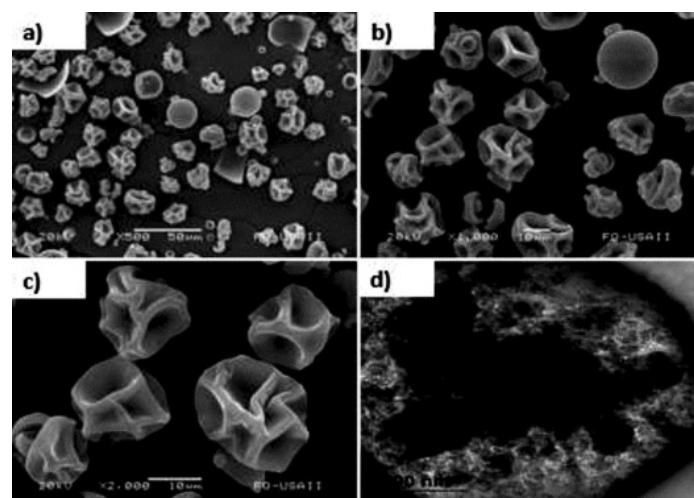


Fig. 8 Morfologia pulberii (microcapsule)

Forma unei particule se schimbă cu diferiți biopolimeri în timpul procesului de încapsulare (Fig. 9).

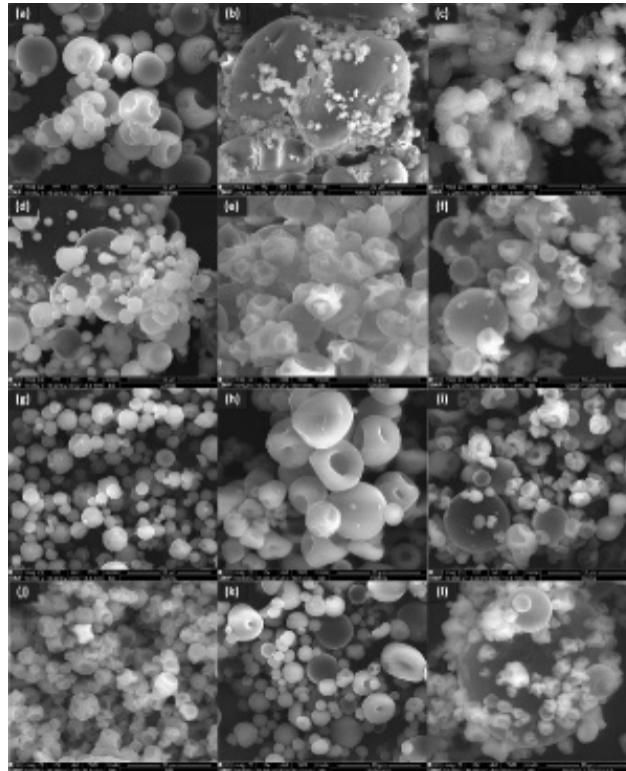


Fig. 9 Imagini SEM ale microparticulelor cu: (A) alginat de sodiu; (B) amidon; (C) amidon modificat; (D) caragenan; (E) gelatină; (F) gellan; (G) inulină; (H) pectină; (I) gumă arabică; (J) maltodextrină; (K) chitosan modificat; și (L) xantan.

## Concluzii

Microscopia electronică de scanare și micrografiile obținute prin această tehnică reprezintă un instrument indispensabil în cercetarea științifică modernă. Capacitatea SEM de a oferi imagini detaliate, cu o rezoluție nanometrică și o adâncime de câmp impresionantă, a revoluționat modul în care înțelegem structurile și proprietățile materialelor, organismelor și suprafețelor.

Prin combinația sa de analiză topografică, morfologică și chimică, SEM se remarcă prin aplicabilitatea sa vastă în diverse domenii, precum știința materialelor, inginerie, biologie și

arheologie. De asemenea, tehnologia avansată permite cercetătorilor să studieze fenomene complexe și să contribuie la dezvoltarea unor soluții inovatoare în știință și industrie.

Cu toate că există limitări legate de costuri și pregătirea probelor, beneficiile aduse de această tehnică depășesc cu mult aceste obstacole. În concluzie, micrografiile de scanare electronică oferă o perspectivă profundă asupra lumii microscopice și rămân un pilon esențial al progresului științific și tehnologic.

## Bibliografie

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://fluidas.ro/hervex/proceedings2018/77-85.pdf (Articol științific – Google Scholar)

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-0-387-39620-0\_1.pdf (Articol științific – Google Scholar)

<https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/scanning-electron-microscopy>

