

Tartalomjegyzék

Előszó	1
1. Az alapok	3
1.1. A pásztázó elektronmikroszkópia helye a korszerű tudományban	3
Irodalom	6
1.2. Elektron–anyag kölcsönhatás	7
1.2.1. Rugalmas szórás	12
1.2.2. Rugalmatlan szórás	15
1.2.3. Kölcsönhatási térfogat, átlagos teljes úthossz	19
1.2.4. Monte-Carlo-szimuláció	20
Irodalom	23
1.3. A pásztázó elektronmikroszkóp felépítése	24
1.3.1. A vákuumrendszer	24
1.3.2. Az elektronágyú	26
1.3.2.1. Termikus volfrámkatód	27
1.3.3. Mágneses lencsék	37
1.3.3.1. Termikus volfrámkatód	41
1.3.3.2. A legkisebb nyalábátmérő	46
1.3.4. Pásztázó tekercsek	48
Irodalom	50
1.4. Képpalkotás a pásztázó elektronmikroszkópiában	51
1.4.1. A képpalkotás alapfogalmai	51
1.4.1.1. Képpont	51
1.4.1.2. Mélységélesség	51
1.4.1.3. Kontraszt	53
1.4.1.4. Jel/zaj viszony	54
1.4.1.5. Laterális felbontóképesség	55
1.4.2. Szekunder- és visszaszórtelektron-kép Everhart–Thornley-detektorral	57
1.4.2.1. Everhart–Thornley-detektor	57
1.4.2.2. Szekunder elektronok a képpalkotásban	59
1.4.2.3. Visszaszórt elektronok a képpalkotásban	62
1.4.2.4. A minta megvilágításának fényoptikai analógiája	64
1.4.3. Visszaszórt elektron-kép szilárdtest-detektorokkal	67
1.4.3.1. Félvezető detektorok	67
1.4.3.2. Robinson-detektor	69
1.4.3.3. Autrata-detektor	70
1.4.4. Mintaáramkép	71

1.4.5.	Potenciálkontraszt-üzemmód	72
1.4.5.1.	Kvantitatív feszültségmérés potenciálkontraszt alapján	74
1.4.5.2.	Stroboszkópos vizsgálatok	77
1.4.6.	Képkötés elektronsugár-indukálta árammal (EBIC)	79
1.4.7.	Katódlumineszcens üzemmód	85
1.4.8.	Mágneses anyagok leképezése	87
1.4.8.1.	Az I. típusú mágneses kontraszt	88
1.4.8.2.	A II. típusú mágneses kontraszt	90
1.4.8.3.	A III. típusú mágneses kontraszt	94
1.4.9.	Kristályszerkezet vizsgálata csatornahatás alapján	94
1.4.9.1.	A csatornahatás	94
1.4.9.2.	A csatornadiagram megjelenésének feltételei	99
1.4.9.3.	Határolt területű csatornadiagram	102
1.4.9.4.	A csatornadiagramok információs tartalma	103
1.4.10.	Képtorzítások és egyéb műtermékek	105
1.4.10.1.	Képtorzítások a minta döntése miatt	106
1.4.10.2.	A pásztázás torzítása	107
1.4.10.3.	Moire-effektus	107
1.4.10.4.	Képhiaba elektromos feltöltődés miatt	107
1.4.10.5.	Képhiaba külső mágneses tér miatt	109
1.4.10.6.	Képhiaba mechanikai rezgés miatt	109
1.4.10.7.	Képhiabák a mikroszkóp hibái miatt	110
1.4.10.8.	Sugárkárosodás, mintaszennyeződés	111
	Irodalom	115
1.5.	Minta-előkészítés a pásztázó elektronmikroszkópiában	116
1.5.1.	Vezetőbevonat készítése vákuumpárologtatással	117
1.5.2.	Katódporlasztás	120
1.5.3.	Biológiai minták előkészítése	122
1.5.3.1.	Fixálás	123
1.5.3.2.	Víztelenítés	123
1.5.3.2.1.	Kritikus ponton való szárítás	123
1.5.3.2.2.	Fagyasztva szárítás	124
1.5.3.2.3.	Fagyasztásos helyettesítés	125
1.5.3.3.	Egyéb minta-előkészítési folyamatok	125
	Irodalom	126
1.6.	Elektronsugaras mikroanalízis a pásztázó elektronmikroszkópban	127
1.6.1.	Az elektronsugaras mikroanalízis terminológiája és helye az analitikában	127
1.6.2.	A röntgensugárzás keletkezése és kölcsönhatása az anyaggal	129
1.6.2.1.	A röntgensugárzás keletkezése	129
1.6.2.2.	A röntgensugárzásnak az anyaggal való kölcsönhatása	135
1.6.3.	A hullámhosszdiszperzív röntgenspektrométer (WDS)	137
1.6.3.1.	Analizátorkristály	138
1.6.3.2.	Proporcionális számláló	139
1.6.3.3.	Jelfeldolgozó elektronika	140
1.6.4.	Az energiadiszperzív röntgenspektrométer	142

1.6.4.1. A detektálás mechanizmusa	142
1.6.4.2. A Si(Li)-detektor	143
1.6.4.3. Az energiadiszperzív röntgenspektrométer elektronikája	147
1.6.4.4. Az energiadiszperzív és hullámhosszdiszperzív technika összehasonlítása	152
1.6.5. Az elektronsugaras mikroanalízis gyakorlata	153
1.6.5.1. Minta-előkészítés	153
1.6.5.2. Minőségi analízis	154
1.6.5.2.1. Optimális mérési feltételek beállítása	154
1.6.5.2.2. A röntgenintenzitások mérése	156
1.6.5.2.3. Vonalmenti analízis és térképezés	157
Irodalom	158
2. Csúcstechnika	159
2.7. Az ipar és orvostudomány mint a fejlődés hajtóereje	159
Irodalom	162
2.8. A téremissziós pásztázó elektronmikroszkópok felépítése	163
2.8.1. Az első generációk	163
2.8.2. Három modern optikai oszlop	164
2.8.3. A leképező elektronok szerepének részletesebb megvilágítása	168
2.8.4. Detektorok és energiaszűrés	171
Irodalom	176
2.9. Kisfeszültségű és kis energiás pásztázó elektronmikroszkópia	178
2.9.1. SEM és FESEM alacsony gyorsítófeszültségen	178
2.9.2. Az alacsony feszültségű SEM fizikai vonatkozásai	180
2.9.2.1. Az elektronágyú szerepe	180
2.9.2.2. Gerjesztési térfogat	180
2.9.2.3. A rugalmasan szórt elektronok közepes szabad úthossza	182
2.9.2.4. Szekunderelektron-hozam és visszaszórási koefficiens	183
2.9.2.5. Lencsehibák alacsony gyorsítófeszültségen	186
2.9.2.6. Nyalábfékezés (kis energiás pásztázó elektronmikroszkópia)	187
2.9.2.7. A minta elektromos feltöltődése	189
2.9.3. Sugárkárosodás, mintaszennyeződés alacsony gyorsítófeszültségen	190
2.9.4. Alkalmazások	193
Irodalom	193
2.10. Transzmissziós üzemmód a téremissziós pásztázó elektronmikroszkópban	195
2.10.1. Világos és sötét látóterű leképezés	195
2.10.2. A transzmissziós üzemmód	197
2.10.3. Transzmissziós mintatartó a FESEM-hez	198
2.10.4. Biológiai alkalmazás	199
Irodalom	200
2.11. Környezeti elektronmikroszkópia	201
2.11.1. Az ESEM vákuumrendszere	202
2.11.2. Gáz alapú detektorok	203

2.11.3. Optikai mikroszkóppal kombinált atmoszferikus SEM	207
Irodalom	208
2.12. Pásztázó krio-elektronmikroszkópia	209
Irodalom	214
2.13. Visszaszórtelektron-diffrakció	216
2.13.1. Sztereografikus vetület	220
2.13.2. Euler-háromszögek	223
2.13.3. Gnomonikus vetület	224
2.13.4. Az EBSD-kép kiértékelése	225
2.13.5. Az EBSD-képek információs tartalmának megjelenítése	229
2.13.6. Követelmények a minta felületével szemben	230
2.13.7. CCD-kamera	231
2.13.8. Előreszórtelektron-detektorok	235
2.13.9. Kikuchi-transzmissziós diagram	236
2.13.10. Az EBSD összehasonlítása más módszerekkel	239
2.13.11. Alkalmazások	240
Irodalom	240
2.14. Röntgenanalitika a pásztázó elektronmikroszkópban	242
2.14.1. Szilícium-drift-röntgendetektorok	243
2.14.1.1. Szilícium-drift-röntgendetektorok felépítése	243
2.14.1.2. Az SDD és Si(Li) összehasonlítása	245
2.14.1.3. Energiafelbontás (felbontóképesség)	246
2.14.1.4. Az energiafelbontás stabilitása	248
2.14.1.5. Impulzusátvitel	249
2.14.1.6. Analízis-szoftver	250
2.14.2. Szupravezetésen alapuló röntgendetektorok	250
2.14.2.1. Mikrokaloriméter detektor (Transition Edge Sensor)	250
2.14.2.2. Szupravezető alagútdetektorok	253
2.14.2.3. Energiafelbontás	255
2.14.2.4. Az alacsony hőmérséklet előállítás	257
2.14.2.5. Alkalmazások	257
2.14.3. Hullámhosszdiszperzív (WDS) spektrometria	259
2.14.3.1. Hullámhosszdiszperzív analízis diffrakciós rács segítségével	261
2.14.3.2. Zónalemezés hullámhosszdiszperzív röntgenspektrométer	264
2.14.4. Mikro-röntgenfluoreszcens analízis (μ XRF)	267
2.14.4.1. Kapilláris optika	268
2.14.4.2. μ XRF polikapilláris fókuszállással	270
Irodalom	273
2.15. Ionsugaras pásztázó elektronmikroszkópok	276
2.15.1. Kétsugaras pásztázó elektronmikroszkóp (elektron- és ionsugárral, FIB-SEM)	277
2.15.2. Galliumion-sugaras oszlop	278
2.15.3. A galliumionok kölcsönhatása az anyaggal	280
2.15.4. A FIB-SEM működése	282
2.15.5. Alkalmazások	284
2.15.5.1. Biológiai minták tomográfiája	285

2.15.5.1.1. Ultramikrotommal ellátott FESEM	286
2.15.5.1.2. Minta-előkészítés FIB-SEM-mel TEM-tomográfiához	287
2.15.6. Pásztázó héliumion-mikroszkóp (HIM)	288
2.15.6.2. A héliumion-mikroszkóp felépítése	289
2.15.6.2. Szekunderelektron-kép a héliumion-mikroszkópban	291
2.15.6.3. Leképezés visszaszórt héliumionokkal és héliumatomokkal	293
Irodalom	294
2.16. Függelék	297
2.16.1. Kristálytani és diffrakciós ismeretek	297
2.16.1.1. A diffrakcióval nyerhető információk	297
2.16.1.2. Kristálytani alapfogalmak	298
2.16.2. A diffrakció kinematikus elmélete	303
2.16.2.1. Egyetlen atom szórása	304
2.16.2.2. Az elemi cella szórása	306
2.16.2.3. A kristály szórása	308
2.16.3. Hough-transzformáció	310
2.16.4. Mennyiségi analízis elektronsugaras mikroanalízissel	313
2.16.4.1. Rendszámkorrekció	315
2.16.4.2. Abszorpciókorrekció	317
2.16.4.3. Fluoreszcenciakorrekció	318
2.16.4.4. Etalon nélküli analízis	319
2.16.4.5. A röntgensugárzás mélységi eloszlási függvényén alapuló mennyiségi analízis	320
2.16.4.5.1. A $\Phi(\rho z)$ meghatározása paraméteres formában	323
Irodalom	329
Néhány rövidítés angol és magyar jelentése	330