

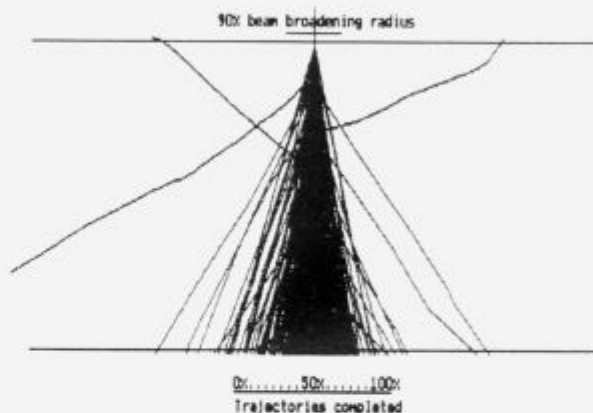
Monte Carlo simulacija v raster elektronski mikroskopiji

Monte Carlo Simulation in Scanning Electron Microscopy

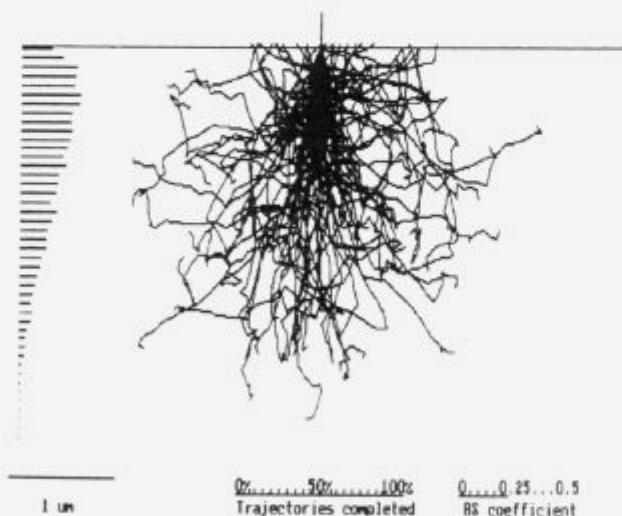
H. Kaker, *Železarna Ravne, Ravne na Koroškem*

Interakcije elektronov z atomi vzorca so zelo kompleksne narave. Preden elektron izgubi svojo energijo ali izstopi iz vzorca, doživi mnoge elastične in neelastične trke. Za obravnavo interakcij vpadnega elektrona se uporablja metoda Monte Carlo¹. Monte Carlo metoda simulira trodimenzionalne trajektorije vpadnega elektrona v vzorcu. Trajektorije elektronov so sestavljene iz ravnih linijskih segmentov, katerih orientacija je določena s sipalnimi koti, ki sledijo iz sipalnih enačb. Metoda uporablja naključna števila pri izbiri sipalnega kota. Naključna števila se v simulaciji izbirajo z računalnikom. Realni curek elektronov je sestavljen iz mnogih elektronov, zato moramo v izračunu simulirati veliko število elektronov.

Monte Carlo simulacija se mnogo uporablja² v raster elektronski mikroskopiji za določitev velikosti primarnega interakcijskega volumna (slika 1 in 2), lateralne in globinske porazdelitve povratno sipanih elektronov (slika 3), sekun-

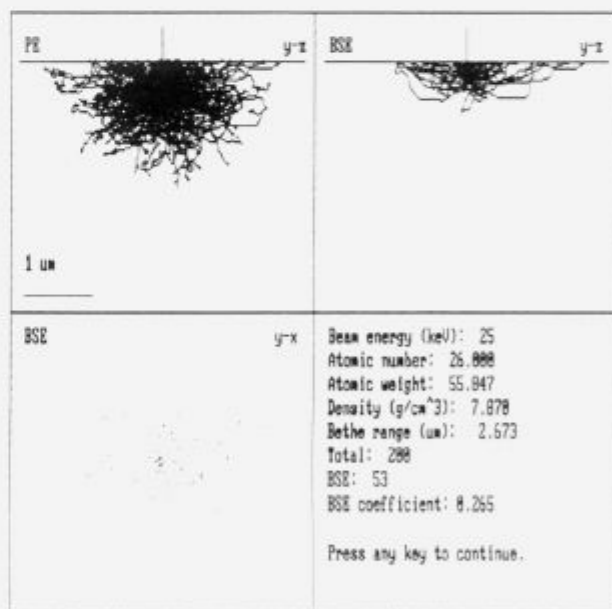


Slika 2. Vzbujevalni volumen za 50 nm film iz Fe pri 35 keV. Simulacija 500 elektronov.



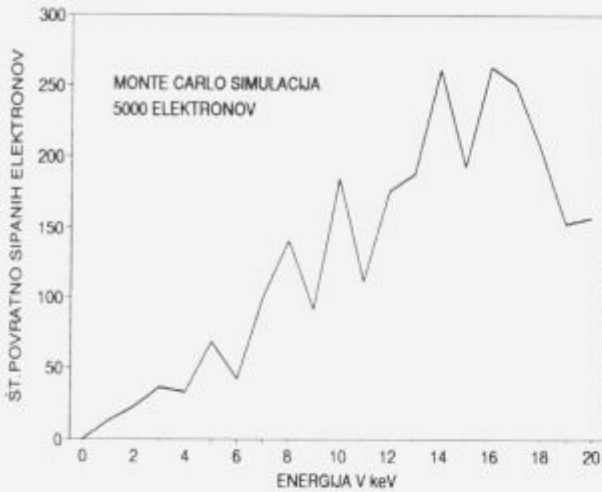
Slika 1. Vzbujevalni volumen za Fe pri 25 keV. Simulacija 100 elektronov.

darnih elektronov, rentgenskega sevanja, kotne in energijske porazdelitve različnih signalov (slika 4), porazdelitve rentgenskega sevanja z globino ($\phi(\rho z)$ krivulje), izračun koeficienta transmisije, povratno sipanih elektronov (slika 5) in sekundarnih elektronov, izdelavo kalibracijskih krivulj za film-substrat (slika 6), simulacijo katodne luminiscence³, karakterizacijo polprevodnikov (EBIC)⁴, simulacijo študija segregacij v materialih⁵, študij magnetnih domen v REM²

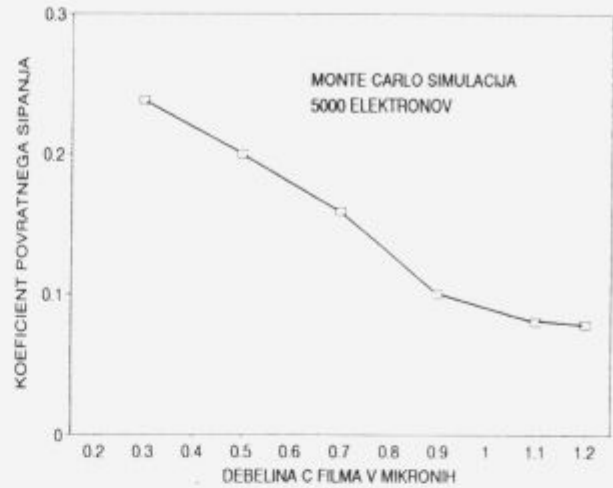


Slika 3. Vzbujevalna volumna za Fe primarne in povratno sipane elektrone pri 20 keV.

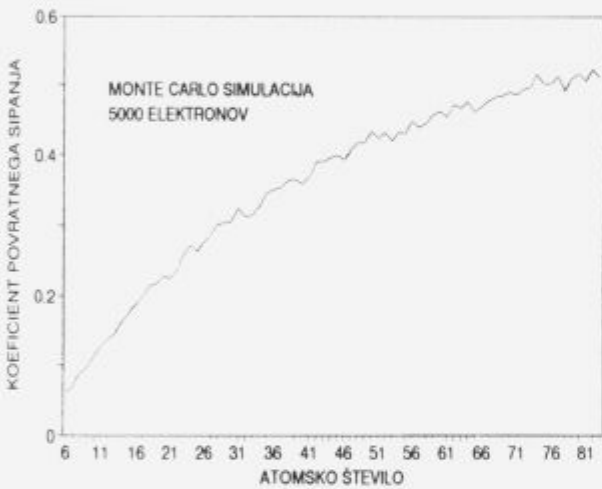
in izračun ZAF faktorjev v rentgenski mikroanalizi. Simulacija vzbujevalnega volumna se uporablja za kvalitativno oceno velikosti vzbujevalnih različnih faz v matricah, tankih filmih in oceno lateralne ločljivosti analize. Rezultati kotne in energijske porazdelitve signalov se uporabljajo v kvanti-



Slika 4. Energijska porazdelitev za Fe povratno sipane elektrone pri 20 keV.



Slika 6. Odvisnost koeficienta povratnega sipanja za filme C na Ag substratu pri 15 keV.



Slika 5. Odvisnost koeficienta povratnega sipanja od atomskega števila vzorca pri 20 keV.

1 Literatura

- ¹ David C. Joy, An Introduction to Monte Carlo Simulations, EUREM 88, York, Anglija, 1988, s. 23–32
- ² NBS SP 460, Use of Monte Carlo Calculations in Electron Probe Microanalysis and Scanning Electron Microscopy, 1976, s. 1–44, 151–164
- ³ Z. Czyzewski, D.C. Joy, Monte Carlo Simulations of CL and ERIC Contrast for Isolated Dislocations, Scanning, vol. 12, 1990, s. 5–12
- ⁴ David C. Joy, The Interpretation of EBIC Images Using Monte Carlo Simulations, Journal of Microscopy, vol. 143, 1986, s. 233–248
- ⁵ J.R. Michael in sod., A Microcomputer-Based Monte Carlo Simulation and Application to Grain Boundary Segregation Studies in the Analytical Electron Microscope, Scanning Electron Microscopy, 1984, s. 1697.

tativnih izračunih površinskih profilov signalov in izračunu signalov detektorjev. Osnova za mikroanalizo s povratno sipanimi elektroni in meritev debeline tankih filmov so krivulje atomsko število-koeficient povratnega sipanja in debelina filma-koeficient povratnega sipanja.

Razlogi za raširjenost metode so: 1. možnost istočasnega izračuna velikega števila veličin, 2. razširjenost osebnih računalnikov (PC) in 3. možnost simulacije tirov elektronov za različne geometrije vzorcev, kot so film-substrat, majhni delci v matricah itd.