



Transmisiozko mikroskopio elektronikoa

Amaia Iza Mendia*

Irudi handiagotuak lortu asmoz elektroioi-sortak erabiltzeko ideia 1932.ean gauzatu zuten Berlinen bi ikerlari-taldek.

Medikuntza eta Biologian ezezik, Materialen ikerketan ere erabili zen elektroioi-mikroskopia bere hastapenetik.

Ordurarte maila teorikoan edo zeharka frogatutako zenbait egitura-akats, zuzenean ikusi egin ziren mikroskopio elektronikoa. Geroztik, mikroskopio elektronikoa egindako ikerketen bolumena publikazio-mailan izugarria izan bada ere, mundu guztian mikroskopio elektronikoa aztertutako materia-bolumena $\approx 1 \text{ mm}^3$ -koa besterik ez da!

Elektroi Mikroskopioaz lor daitezkeen handiagotze-maila izugarrietan dago datu liluragarri horren arrazoia, noski. Estatistikoki esanguratsu izango diren ondorioetara iristeko beharrezkoa izango da, beraz, nahikoa lagin aztertzea; materia-bolumena mikrografia (mikroskopioan ateratako argazki) bakoitzeko oso txikia baita, ($\approx 0,4 \mu\text{m}^3$).

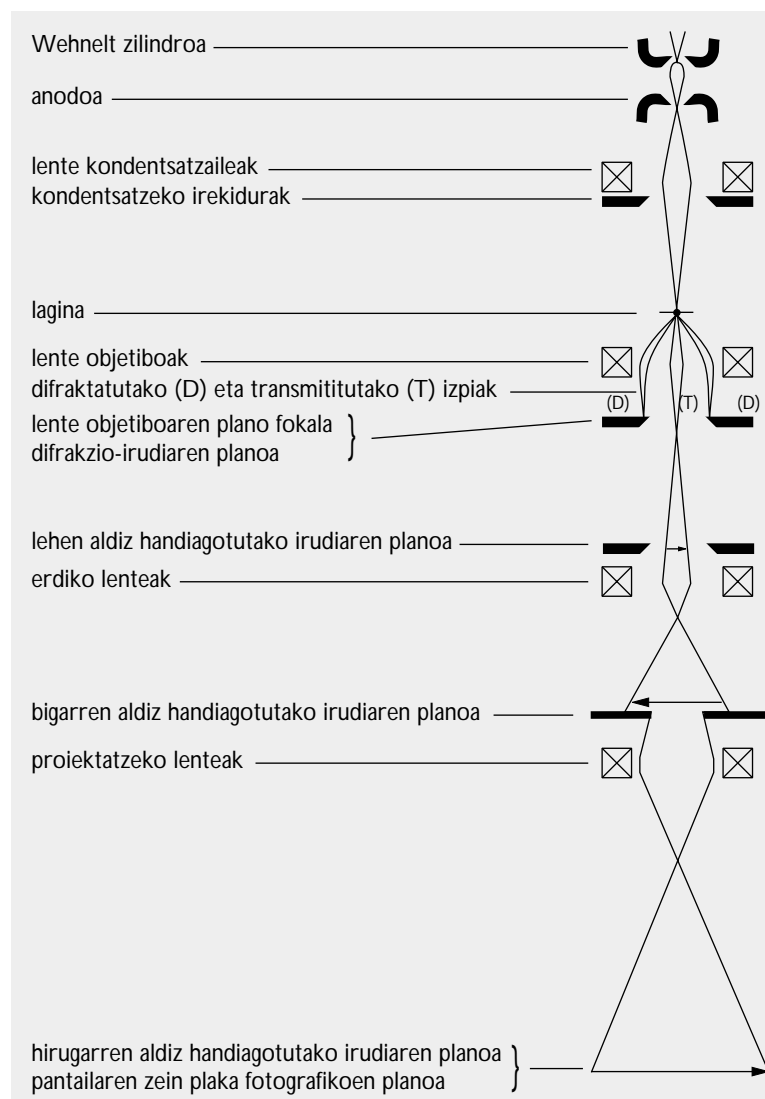
Transmisiozko mikroskopio elektronikoa (T.E.M.ak) mikroegituraren ezaugarri garrantzitsuenak erakutsi ditzake material amorfo zein kristalinoetan. Azken hauetan, elektroien difrakzio-fenomenoa erabiltzen da, ezaugarriaren baten ($1 \mu\text{m}$ diametroa besterik ez denean agian) egitura eta orientazioa antzema-

teko difrakzio-irudi bidez, edo eta difrakzio-prozesu beraz baliatuz, dislokazioen, pilaketa-aka-

tzen edo hauspeakin txikien irudi kontrastatu erreala erdiesteko.

Elektroiak dira transmisiozko elektroioi-mikroskopioan, eskaneerrezkoan bezalaxe, irudia sortzeko elementuak.

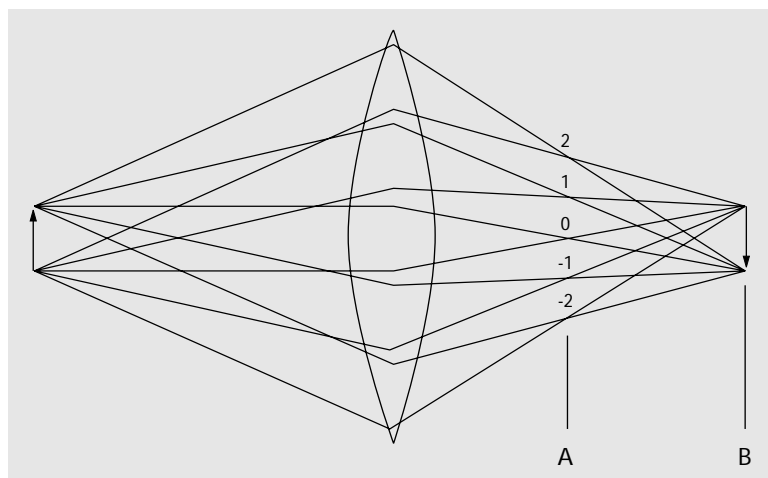
Hutsunean dagoen zutabearen goialdean sortzen da elektroioi-sorta, W ala LaB_6 -ko harizpia berotutakoan. 75-120 kV bitarteko (nahiz goragokoa) potentzial-diferentzia azeleratzen da elektroioi-sorta zutabearen beheara, eta lente kondentsatzaile elektromagnetikoz kondentsatzen da, 3-5 μm -ko diametro txikiraino, ondoren lagin-ezargailuan jarrita dagoen laginaren ebakidura batetik pasaratzen delarik



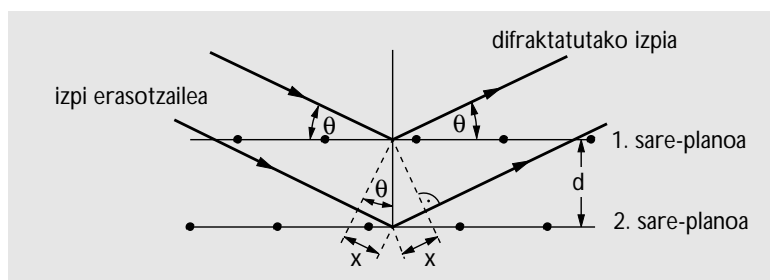
1. irudia. Transmisiozko mikroskopio elektronikoaaren diseinua. Elektroioi-sortaren ibilbidea zutabearen zehar.

(ikus 1. irudiaren goialdea). Arakaturako lagin horrek oso mehea izan beharko du elektroiek zeharka dezaten.

Objektua kristalinoa bada, norabidea aldatu gabe, lagina zeharkatzen duen izpi primario edo transmitituz gain bada "Bragg-en dirakzioz" Bragg-en angelu eta norabide jakin batzuetan koherenteki dispersatzen den zenbait elektro. Elektroien difrakzioak, besteak beste, sare kristalinoaren periodizitate edo ordenamenduan du kausa, eta ondorioz elektro difraktatu horien azterketak, materialaren egiturari buruzko informazio ezin balioitsuagoa emango du.



3. irudia. Irudi erreala eta difrakzio-irudiaren arteko erlazioa. Objektutik irtendako izpi difraktatuak, A planoan fokalizatzen dira lentetik pasa ondoren eta puntuzko difrakzio-irudia sortzen dute. Ondoren elkarren konbinazioz irudi erreala osatzen dute B planoan.



2. irudia. Bragg-en ekuazioaren adierazpen grafikoa.

2. irudiak, edozein egitura kristalinoaren atomo-ordenamendua erakusten du, planoen arteko espaziotzuna "d" delarik. Izpi primarioak (λ uhin-luzeradunak) plano horietan θ angeluaz erasotzen du eta izpi sekundarioa edo difraktatua 2θ angeluaz irteten da. Difrakzioa gerta dadin, beraz, beharrezkoa da honako lege hau betetzea, zeina "Bragg-en ekuazio" izendatzen baita:

$$n\lambda = 2 d \sin\theta$$

Irudirik ematen ez duen difrakzio-teknikaz (puntuzko irudia ematen duen horretaz) lortutako informazioaren eta irudi erreala ematen dituenaren arteko diferentzia eta erlazioa honela uler daiteke:

3. irudian ikus daitekeenez, difrakzioz sakabanatutako elektro-sorta bakoitzak puntu bat sor-

tzen du lentearen plano fokalean; A planoan, hain zuzen. Puntu guztiek osatzen duten irudiari difrakzio-irudi deitzen zaio.

Izpien ibilbide optikoa segitzen bada, difraktatutako elektro-sorta desberdinen izpi-konbinazioz B planoan irudia sortzen dela ikus daiteke.

Difrakzio iruditik zein irudi errealetik datorren informazio- edukinak berdina behar du izan (A eta B planoen artean, geroxeago aipatuko denez, informazio-murrizketa eragingo duen irekiduririk ipintzen ez bada behintzat), baina desberdin banatutakoa.

Difrakzio-irudiak, lagin osoaren batezbesteko informazioa biltzen du. Irudi errealean aldez, puntuz puntukako informazio horren banaketa berreskuratzen da.

Praktikan, difrakzio-irudien teknika kristalaren egitura zehazteko erabiltzen da, eta irudi-teknika

berriz, mikroegituraren ezaugarrien banaketa xeheki ezagutzeko.

4. irudian irudi erreala erakusten da, dagokion difrakzio-irudiarekin. Irudia difraktatu ez den elektro-sortaz, hau da transmititutako

CEITeko Philips CM12 transmisiozko mikroskopio elektronikoan lanean.



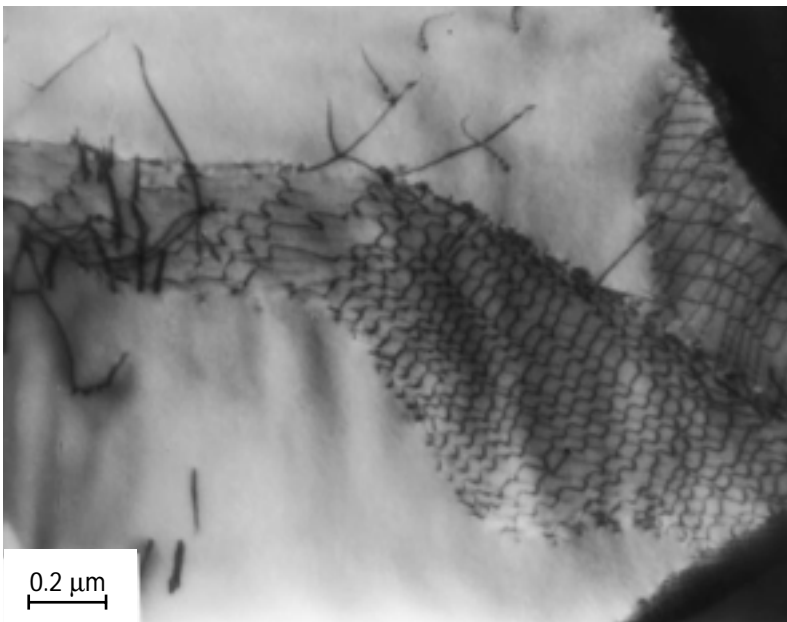
izpiaz, sortzen denean, Eremu Argiko irudia lortuko dugu:

Laginaren izpi erasotzailearekiko orientazioaren arabera, Bragg-en angeluek mugatutako zuzenbide definituetan, gehiago ala gutxiago difraktatuko diren elektroioi-sortak, lente objetiboaren plano fokalean (difrakzio-irudia sortzen den horretan) ezarritako diafragma edo irekidura-objetoaz (zeinak difraktatutako angeluak baino angelu txikiagoa osatzen duen) ezaba daitezke, zutabetik bera transmititutako izpia bakarrik pasaraziz (ikus 1. irudia). Horrela, irudi kontrastatuagoa lortu ahal izango da.

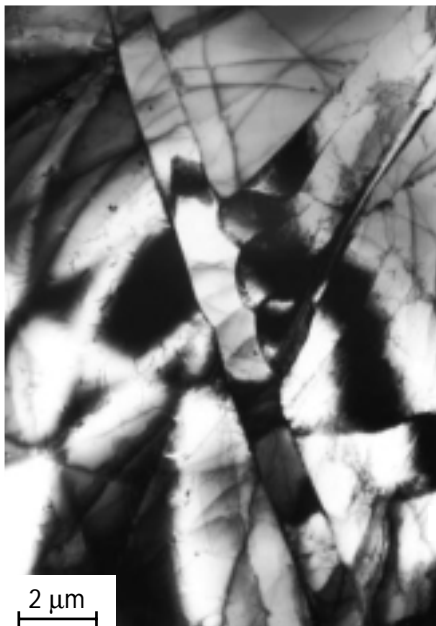
Irekidura-objetoetik pasatzen den elektroioi-sortaz, lente objektiboak laginaren lehen irudi handiagotua sortzen du. Plano horretan bertan kokatzen da erdiko irekidura ere.

Erdiko lenteak eta proiektatzeko lenteek lehen irudi hori bi aldiz gehiago handiagotzen dute. Argizko optikan gertatzen den bezala, guztizko handiagotzea, lente desberdinek eragiten dituzten handiagotzeen biderkaduraz gertatzen da. Hiru alditan handiagotutako azken irudia, pantaila fluoreszentean ikus ahal izango da, eta nahi izanez gero, plaka

CEIT



CEIT

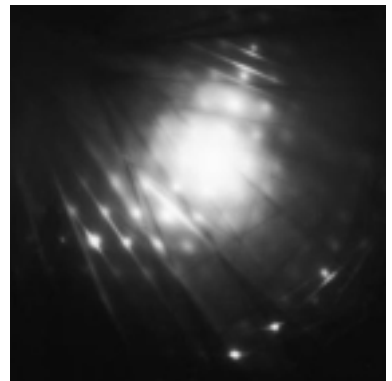


fotografikoetan inprimatu ere bai.

Handiagotze-esparru zabala, erdiko lente horien eszitazio-neurri desberdinez lortzen da.

Pantaila horretan, elektroioiak franko desbideratu duen lagin-zonaldea beltz ikusiko da, izpi horiek irekidura objetoak pasatzen utzi ez dituelako eta, beraz, izpi erasotzailetik intentsitate handia kendu delako. Difrakzio-irudiak ez duten zonek aldiz, kontraste argia emango dute.

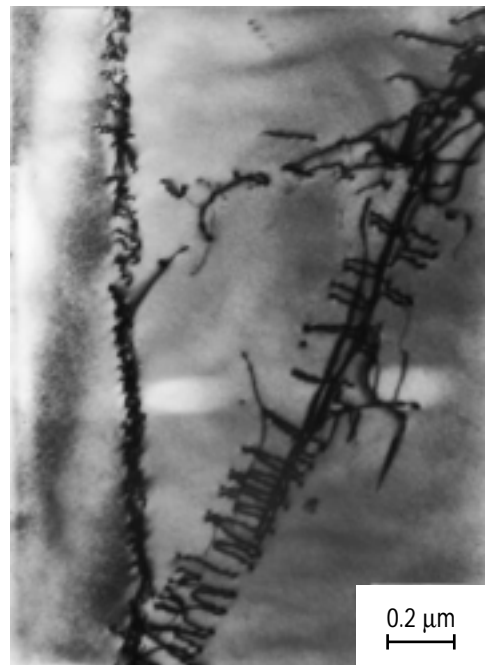
CEIT



4. irudia. Ezker aldean bi faseren arteko muga dago; duplex altzairu herdoilgaitz batena. Eremu argiko teknika lorturiko irudia da. Goiko aldean berriz, ezkerreko argazkiko zonalde batean difrakzio-teknika sorturiko puntuzko irudia ikusten da..

Irudian lortutako kontraste-mota honi, "difrakzio-kontraste" edo "orientazio-kontraste" esaten zaio eta, beraz, mikroegiturako elementuek zein akatsek eragiten duten elektroioien desbideraketa

CEIT

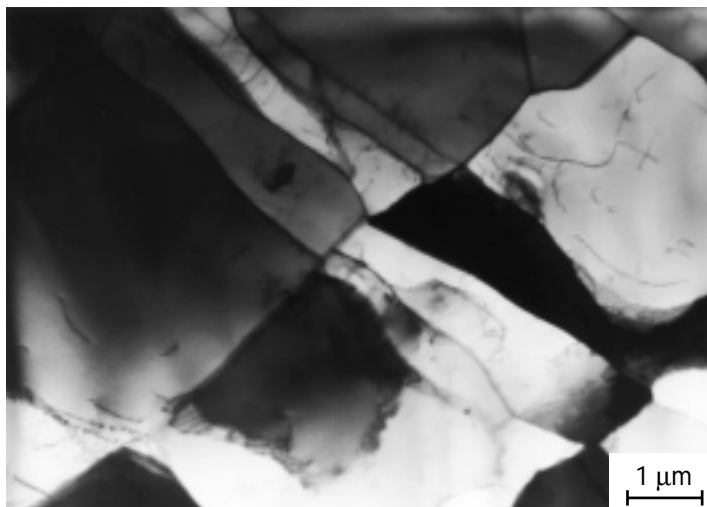


5. irudia. Dislokazioen sareaketa angelu baxuko ale-mugen sorkuntzan (ezkerreko irudia) eta dislokazio-pilaketa norabide jakinetan (goiko irudia).



CEIT

CEIT

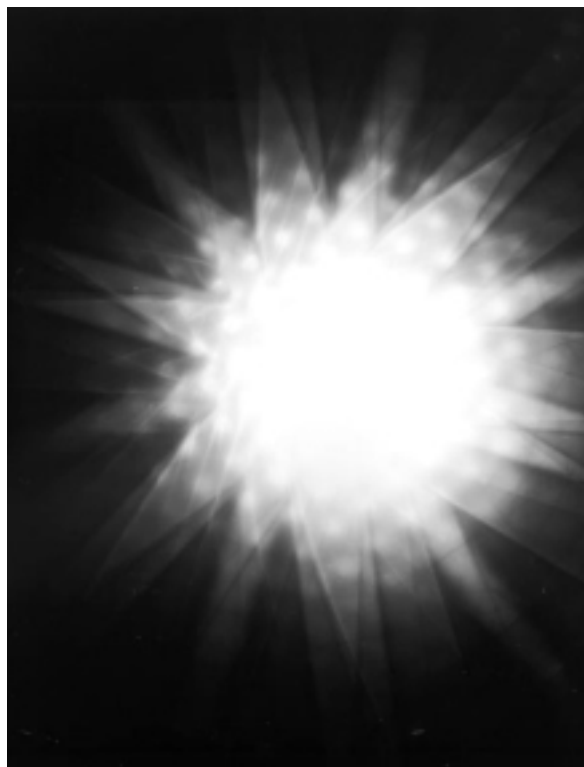


edo difrakzio desberdinez sortzen da.

Dislokazioek adibidez (zeintzuk mikroegituraren akatsak diren), atomoen ordenamendu ez-lineala (akastuna) dutenez, elektroiak asko aldaratzen dituzte beren eraso-norabidetik eta, beraz, lerro ilun bezala ikusiko ditugu mikroskopioaren pantailan (ikus 5. irudia).

Esan bezala, elektroiek lagina zeharka dezaten beharrezkoa da zonalde jakin hori oso mehea

6. irudia. Azpiale-egitura altzairu austenitikoan. Azpialeak deformazio-norabidean luzatzen dira. Alboan, horietako azpiale batean lorturiko difrakzio-irudia.




izatea; elektroiekiko gardena izatea, hain zuzen. Lodiera ideala, 100 Å eta mikraren artekoa da. Beraz, 3 mm-ko diametroa duten lagin-diskatxoak ("foil"ak) prestatzen dira eta lehen prestaketa-

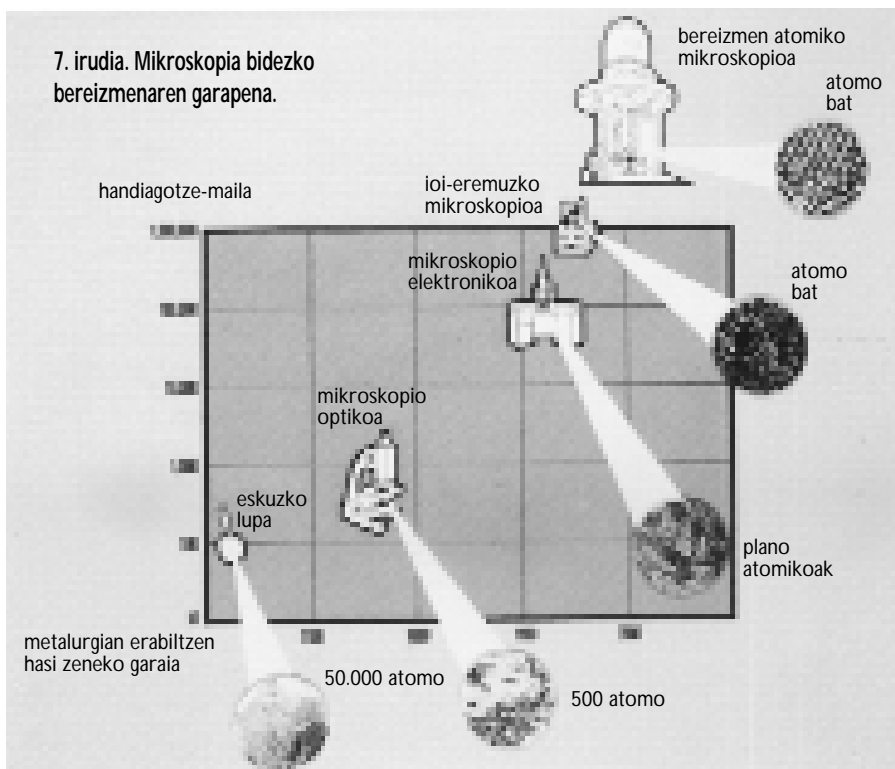
-urratsean $\approx 100 \mu\text{m}$ -raino mehetzen, ondoren leunketa elektrolitikoaz zein ioi-sortaren eraso $\approx 1 \mu\text{m}$ -ko lodiera lortzen delarik. Emaitza honakoa da: zulatutako diskatxoa, zeinak zuloaren inguruan oso meheak diren zenbait zonalde dituen. Horiexek izango dira aztergai mikroskopioaz.

T.E.M.ren ekarpenik handiena solidoek dituzten akats kristalografikoak nabarmentzea izaten da. Ondorioz, akats hauen propietateak eta jokabidea zehatz-mehatz aztertu ahal izan dira eta behaketa hauen ondorioak oso baliagarriak izan dira materialen zientzian.

6. irudian Aisi 304 motako altzairu herdoilgaitzari T.E.M. ez atera-tako beste argazki bat erakusten da, bere difrakzio-irudiarekin.

Eta 7. irudian berriz, aipatutako hiru teknika desberdinez lortzen diren handiagotze- eta bereizmen-konparaketa erakusten da 

7. irudia. Mikroskopia bidezko bereizmenaren garapena.



* CEITeko Material Saileko Doktoregia.