

NOI MECANISME DE DEFORMARE PLASTICĂ A CRISTALELOR

Academician **Sveatoslav MOSCALENCO**

Institutul de Fizică Aplicată

Profesorul Iulia Boiarskaia, împreună cu colegii săi de laborator, a elaborat în anii 1960–1990, în premieră științifică absolută, modelul curgerii materialului și a descoperit mecanismul impulsiv de deformare plastică în procesele de microindentare a cristalelor. Cercetările sale s-au constituit, pe timpul vieții, într-o direcție valoroasă a fizicii corpului solid, iar după plecarea sa subită în 1996, acestea s-au dezvoltat și aprofundat, înscriind o pagină inedită în istoria fizicii moderne. Să ne explicăm.

Procesul de microindentare a cristalelor constă din aplicarea indenterului cu piramidă la capăt pe suprafața cristalului și penetrarea acestuia în cristal sub presiunea greutatea cu care este încărcat indenterul. Se ia în considerare orientarea laturilor piramidei față de axele de simetrie cristalografică a cristalului. În procesul de indentare se produce deformarea elastică și plastică a cristalului, expulzarea parțială a materialului de sub indenter, presarea în adâncime și transportarea lui la suprafața cristalului unde se formează o amprentă cu valuri de material în jur. Un element important în acest proces complex constituie apariția defectelor rețelei cristaline: defecte microscopice în nodurile cristalului și între noduri și defecte macroscopice topologice ale rețelei numite dislocații. Dislocațiile joacă un rol primordial în procesele de deformare plastică, deplasându-se pe planurile active de alunecare ale cristalelor și aducând la formarea rozetelor dislocaționale extraordinar de interesante în jurul amprente, care pot fi scoase la iveală prin tratarea chimică a suprafeței cristalelor deformate.

Mi-aduc aminte de aceste detalii deoarece timp de 35 de ani, cât am lucrat împreună la Institutul de Fizică Aplicată al AȘM, în drum de la Institut spre casă, soția mea, profesoara Iulia Boiarskaia, îmi povestea mereu despre fenomenele studiate împreună cu colegii săi din Laboratorul de Proprietăți mecanice ale cristalelor. De obicei, procesele de penetrare, de deformare elastică și plastică, de comprimare și restabilire, de formare a amprente, a valurilor de material și a rozetelor dislocaționale se desfășoară simultan cu încărcarea indenterului cu greutate și cu descărcarea lui, adică totul începe și se termină în



Prof. Iulia BOIARSKAIA alături de soțul său, acad. Sveatoslav MOSCALENCO, anii 1990.

același timp. Pentru a descrie fiecare proces în parte și a-i explica specificul, profesorul Iu. S. Boiarskaia a elaborat modelul curgerii materialului, studiind inițial sub aspect teoretic și calculând tensiunile ce apar în mediul condensat omogen în prezența indenterului, folosind, în acest scop, modelul matematic existent în literatura de specialitate. Ulterior, ea a cercetat proiecțiile tensiunilor respective pe planurile de alunecare și de coeziune ale cristalelor pentru a determina unde apar tensiunile esențiale și care le este direcția pe planurile menționate. Aceste cercetări teoretice au fost posibile datorită cunoștințelor profunde în domeniul mecanicii și hidrodinamicii stării condensate, acumulate la Catedra de Fizică teoretică a Universității de Stat din Chișinău, unde profesorul Iulia Boiarskaia a lucrat în calitate de docent timp de cinci ani (1956–1960), la invitația profesorului Iurie Perlin, șeful catedrei.

În această perioadă, în pofida muncii profesionale încordate legate de pregătirea cursurilor universitare, Iulia Boiarskaia continuă cercetarea proceselor menționate, în domeniul cărora a susținut teza de *candidatus scientiarum* (astăzi doctor) la Institutul de

Cristalografie al Academiei de Științe a URSS, în ziua de 8 martie 1955, cu trei luni înainte de nașterea fiicei noastre Elena. Devotamentul uimitor al profesorului Iu. S. Boiarskaia pentru studierea fenomenelor legate de microduritatea cristalelor, tematică pe care n-a abandonat-o niciodată pe parcursul activității sale științifice, a fost răsplătit decenii mai târziu prin performanțele obținute în acest domeniu. Atât prelegerile, cât și munca de cercetare a profesorului Iulia Boiarskaia denotă un interes viu, entuziasm autentic față de frumusețea fenomenelor studiate, altfel ar fi fost imposibil să faci față tuturor încercărilor și greutăților apărute. Și una dintre aceste performanțe este elaborarea modelului curgerii materialului în procesul de microindentare a cristalelor.

Modelul se bazează pe existența în cristale a planurilor active de alunecare, care pot fi împărțite în două categorii. Una constă din planuri divergente ce formează piramide tetraedrale cu vârfurile la suprafața cristalului și cu baza în interiorul lui. Aceste planuri sunt responsabile pentru deplasarea materialului în adâncimea cristalului, în direcția penetrării indenterului. A doua grupă constă din planuri de alunecare activă ce formează piramide tetraedrale convergente cu vârful în adâncimea cristalului și cu baza la suprafața lui. Pe aceste planuri se transportă materialul la suprafața cristalului, se formează valurile de material în jurul amprentei și al rozetelor dislocaționale. În cristalele transparente procesele respective pot fi urmărite vizual.

Ingeniozitatea experimentatorilor a permis depistarea proceselor similare și în alte cazuri. Pe lângă mecanismul sincronizat și continuu de penetrare, deformare și formare a amprentei, când toate etapele se desfășoară lent și fără întreruperi, a fost descoperit mecanismul de deformare plastică în care continuitatea dată se întrerupe din cauza formării impulsurilor de deformare. Această deformare impulsivă a fost observată în cristalele transparente de tip MgO la temperatura de cameră și în cristalele ionice de tip $NaCl$ și LiF la temperatura nitrogenului lichid. S-a stabilit că conglomeratul de dislocații acumulate într-un spațiu restrâns se formează lângă indenterul penetrat în repaus și, după un timp oarecare, aidoma unei erupții de vulcan, dă naștere la un impuls de deformare și de deplasare a dislocațiilor. Acest impuls de deformare este proiectat în aceeași direcție ca și deformarea însăși în timpul penetrării, cu toate că indenterul se găsea în stare de repaus. Deformarea impulsivă are loc în prelungirea deformației spre interiorul cristalului și nu în direcție inversă. Deformarea inversă se produce atunci când indenterul este descărcat. Impulsul de dislocații se formează din contul energiei potențiale

acumulate în conglomerat, iar deplasarea dislocațiilor are loc în alte condiții decât în cazul deformării continue și mobilitatea lor a fost numită de profesorul Iu. S. Boiarskaia pseudomobilitate. Fenomenul însuși a obținut denumirea de *deformare plastică impulsivă prelungită*. În timpul deformării impulsive se formează noi fășii dislocaționale, noi mâneci ale rozetelor dislocaționale.

Această nouă concepție în fizica deplasărilor și deformațiilor mecanice în procesele de microindentare m-a impresionat prin asemănarea sa cu unele fenomene din optica cristalelor și fizica excitonilor și biexcitonilor de înaltă densitate în semiconductori, pe care le studiez. În loc de indenter, care deformează cristalul în mod mecanic, în optică excitarea semiconductorului se face cu ajutorul luminii laserului. În loc de dislocații avem de a face cu excitoni. În loc de conglomerate de dislocații în procesul de indentare, în semiconductorii excitați avem excitoni de înaltă densitate care se leagă în biexcitoni sau formează complecși multiexcitonici, care apar cu o oarecare întârziere. În loc de amprente, valuri de material și rozete dislocaționale în optică se studiază luminiscenta semiconductorilor.

Asemănător cu procesul impulsiv care apare cu întârziere la indentare, în optica cristalelor a fost observată luminiscenta biexcitonilor care apare cu întârziere de picosecunde față de luminiscenta excitonilor. În procesele electronice cu participarea electronilor și excitonilor intervalele în timp se măsoară cu picosecunde. În procesele de microindentare cu participarea defectelor macroscopice ale rețelei cristaline (echivalente cu colective de excitoni) aceste procese de întârziere și de formare a impulsurilor dislocaționale se măsoară cu secunde probabil. Însă asemănarea e uimitoare și e meritul profesorului Iu. S. Boiarskaia și a colaboratorilor săi că au descoperit acest nou fenomen în procesul de microindentare a cristalelor.

Datorită performanțelor obținute în fizica proceselor de deformare a cristalelor, Laboratorul de Proprietăți mecanice ale cristalelor al IFA AȘM a devenit un centru bine cunoscut în țară și peste hotarele ei în domeniul respectiv. Însăși fizica proceselor de microindentare s-a transformat datorită legităților descoperite dintr-o ramură inițial puțin dezvoltată într-un compartiment al fizicii moderne.

P.S. Acest articol este scris pentru a comemora cea de-a 90-a aniversare a mult regretatei Iulia Stanislav Boiarskaia, doctor habilitat în științe fizico-matematice, profesor universitar, în amintirea activității sale științifice prodigioase și a contribuției esențiale aduse la dezvoltarea fizicii.