

## REZUMAT

### la Proiectul 15.817.02.06A ”Deformarea la nanoindentare pentru caracterizarea mecanică și inducerea unor structuri locale noi pentru materiale vitroase, polimerice și cristaline”

directorul proiectului – Șikimaka Olga, dr, conf.

În proiectul dat au fost cercetate proprietățile mecanice și particularitățile de deformare a unui șir de materiale avansate pentru aplicații în optoelectronică (sticle alumino- și borofosfatice dopate cu pamînturi rare; structuri film/substrat: ITO/SiO<sub>2</sub>, Cu/LiF, Cu/MgO, Cu/Si; compuși semiconductori CdGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub> și CdGa<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>) și biomedicină (compuși polimerici și compozite de hidroxiapatită-biosticlă). Acest studiu este bazat pe utilizarea unei metode moderne, universale și multifuncționale de deformare a materialelor la micro- și nano-scară – micro- și nanoindentarea, care permite, pe de o parte, testarea unui șir larg de parametri mecanici (duritate, modul de elasticitate, rezistență la fisurare ș.a.) și, pe de altă parte, cercetarea fundamentală a proceselor fizice ce au loc în diverse materiale în micro- și nano-volum la acțiunea mecanică localizată. Un aspect important al cercetărilor constituie elucidarea mecanismelor principale de deformare la indentare și impactul lor asupra proprietăților mecanice în dependență de variația condițiilor de deformare.

A fost stabilit ca procesul de deformare plastică la indentare a sticlelor aluminofosfatice (Li<sub>2</sub>O–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–BaO–La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) și borofosfatice (B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>–Li<sub>2</sub>O–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–ZnO) se dezvoltă din contul a două mecanisme principale: (i) densificarea structurii vitroase (poliamorfism) și (ii) alunecarea plastică specifică. Cercetările efectuate pentru diferite sarcini și viteze de încărcare au demonstrat că procesul de densificare se intensifică cu ~10-20% la micșorarea vitezei de încărcare de 10 ori. Acest efect a fost atribuit activării procesului de curgere plastică, ce contribuie la stimularea procesului de densificare. Micșorarea sarcinii de la 500 la 20 mN duce la o contribuție mai mare a densificării: 23% la 42%, respectiv. Acest rezultat a fost explicat din punct de vedere al volumului de activare, care este mai mare pentru curgerea plastică, din care cauză ea nu poate să se dezvolte în volume deformate mici, când sarcina este mică. De aceea în acest caz crește contribuția densificării în procesul integral de deformare plastică. Efectul de scară (descreșterea durității cu majorarea sarcinii) stabilită la indentarea sticlei aluminofosfatice a fost explicat din punct de vedere al echilibrului energetic la implicarea și dezvoltarea fisurării.

A fost stabilit, că fluajul materialului (deformarea continua la menținerea sub sarcină) este influențat de viteza de încărcare. Viteza de încărcare mai mare contribuie la o deformare mai intensivă la fluaj, ce se datorează creșterii tensiunilor interne, ca rezultat al vitezei înalte și relaxării lor sporite în timpul menținerii sub sarcină. A fost demonstrat, că procesul de fluaj în sticla borofosfatică are loc din contul mecanismului de densificare și mai puțin din contul alunecării plastice.

A fost demonstrat, că majorarea procentului de dopanți în sticlele borofosfatice codopate cu Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> și Tb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> duce la descreșterea valorilor durității ( $H$ ) și a modului Young ( $E$ ), care a

fost explicată prin ruperea adăugătoare a legăturilor în rețeaua vitroasă indusă de ioni  $Dy^{+3}$  și  $Tb^{+3}$ , ce contribuie la o facilitare a deformației plastice a materialului. Cu creșterea gradului de deformare, relaxarea tensiunilor din material doar prin intermediul deformării plastice nu este suficientă, ce duce la dezvoltarea deformației fragile. A fost depistat, că rezistența la fisurare este mai puțin sensibilă la modificarea procentuală a compoziției sticlei comparativ cu rezistența la deformația plastică și elastică.

Pentru toate sistemele complexe de tip film/substrat a fost constatat, că parametrii mecanici sunt sensibili precum la factori interni (microstructura, grosimea filmului), așa și la cei externi (valorile sarcinii aplicate). A fost stabilit, că influența substratului asupra valorilor durității se pronunță la o adâncime relativă mai mică ( $\beta = h/t \approx 0,3$ ) pentru structurile “soft-on-soft” (Cu/LiF) comparativ cu structurile “soft-on-hard” (Cu/MgO, Cu/Si) ( $\beta \approx 0,5; 1,5$ ), ( $h$  – adâncimea amprentei,  $t$  – grosimea filmului). Cu majorarea sarcinii structurile dislocaționale în substrat devin mai extinse, ce indică la o contribuție mai mare a substratului în procesul de deformare. La fel, pentru sarcini mai mari se majorează și densitatea dislocațiilor în rozete, ce rezultă într-o rezistență mai mare a structurii.

La alungirea peliculelor de ITO/SiO<sub>2</sub> ( $\epsilon = \Delta l/l$ ) cu 5%, 10% și 15%, rezistența straturilor crește liniar cu 13, 15 și 17 % respectiv. La o alungire mai mare liniaritatea cât și reversibilitatea efectului piezorezistiv dispăre datorită deteriorării mecanice ale peliculelor.

A fost analizat efectul de scară la nano-microindentarea CdGa<sub>2</sub>(S,Se)<sub>4</sub> din punct de vedere al energiei de formare a amprentei, fisurare și relaxare. A fost demonstrat că cu creșterea sarcinii energia consumată per unitate de volum a amprentei se micșorează, ce denotă descreșterea durității.

Au fost obținute materiale termoplast polimerice pe baza de polipropilen dopate cu cauciuc natural (NR) și artificial - stiren butadien (SBR), în diferite proporții. Pentru a stabili uzura mecanică în dependență de viteza de deformare s-a utilizat metoda tribologică ball-on-flat. Au fost elaborate metode de reciclare cu pastrarea proprietăților mecanice. S-a demonstrat, ca adăugarea dicumilperoxidului la reciclarea dublă sau triplă a termoelastomerilor cu matrice de polipropilen îmbunătățește substanțial proprietățile lor mecanice.

S-a demonstrat, că după sinterizarea compozitului la temperaturi  $T_{sint} = (1100-1250)^{\circ}C$  HA se descompune total în tricalciufosfat (TCP) pentru HA-BG cu 10% de BG și parțial pentru HA-BG cu 5% de BG. Modificând procentul de biosticlă și  $T_{sint}$  se poate atinge o solubilitate necesară a compozitului în mediul fiziologic. Valorile durității satisfac cerințelor pentru biomateriale cu scopul utilizării în ingineria tisulară osoasă, iar rezistența la fisurare are valori scăzute. Este necesară optimizarea compoziției și structurii pentru a ridica rezistența la fisurare a compozitului.