

Szakmai beszámoló

Bevezetés

A kutatásaink elsődleges céljának megfelelően a külső behatások által indukált szerkezeti átalakulásokat vizsgáltuk olyan új kalkogenid alapú anyagokban illetve nanostruktúrákban, amelyek lehetőséget nyújtanak felületi geometriai domborzatok és optikai reliefek *in situ* kialakítására. A témakör kiválasztását a kalkogenid üvegekben és amorf félvezető rétegekben mára már jól ismert, az optikai elnyelési él hullámhossz-tartományának megfelelő fény által indukált és az optikai paraméterek (optikai elnyelés, törésmutató) jelentős változásával kísért szerkezeti változások indokolták. Ezen változások megfelelhetnek az amorf-kristályos szerkezeti átalakulásnak, minek példája az amorf szelén fény által stimulált kristályosodása, vagy az amorf-amorf átrendeződésnek, amely ugyan nem jár olyan mély szerkezeti átalakulással, de sokkal több variációt tesz lehetővé és ezért kiválóan alkalmazható elméleti modellek felállítására illetve a jelenség gyakorlati alkalmazására, az optikai memóriaelemek, integrált optikai struktúrák, nagy felbontású szervesetlen fotorezisztek fejlesztésére. A legjobban ismert bináris As_2S_3 , AsSe , GeSe_2 és hasonló anyagokban, a belőlük készült homogén rétegekben főként a látható tartományba tartozó lézersugárzás hatása keltett figyelmet és szolgált néhány lehető modell és gyakorlati alkalmazás alapjául. Az energiabevitel módjainak (hőkezelés, fotonok és ionok) összehasonlításából pontosabban határozható meg a bizonyos típusú amorf kalkogenid rétegek stimulált átalakulásainak alapjaiban közös mechanizmusa, amely viszont befolyásolja a nanométer-tartományban modulált amorf kalkogenid multirétegekben végbemenő, interdiffúziós folyamatokkal kísért szerkezeti változásokat és azok alkalmazását is. Beszámolónk első részében a homogén, mikrométeres vastagsággal rendelkező rétegekről szólnunk, második részében pedig a nanométeres periódusokkal modulált multirétegekre térünk ki.

Homogén rétegek stimulált változásai [1, 7, 8, 24, 30]

A funkcionális nanostrukturált anyagok fejlesztését célszerű volt a kiemelten vizsgált fényérzékeny As_2S_3 , AsSe , Se amorf rétegekre, az azokban ismert fotoindukált változásokra alapozva továbbvinni, kibővítve a külső hatások körét a könnyű, alacsony energiájú ion (proton és deuteron) besugárzással, ami a stimulált változások mechanizmusának jobb megértése mellett javíthatta az optikai reliefek paramétereit is. Az ionok energiája többnyire 110-180 keV volt, a nyalábáram sűrűsége 100-200 nA/cm² ($6,25 \cdot 10^{11}$ - $1,25 \cdot 10^{12}$ ion/cm² s), ami lehetővé tette a ~1 μm vastag, termikus párologtatással készült rétegek rész- vagy teljes mélységig terjedő gerjesztését illetve kísérletileg elfogadható időn belüli átalakulását, ami az optikai elnyelés kiválasztott hullámhosszokon (532, 660 nm) való növekedése, azaz „sötétedés” formájában volt mérhető [7].

Megállapítottuk, hogy a H^+ és D^+ -s besugárzások szinte teljesen azonos eredményeket hoztak: mind az As_2S_3 , mind az AsSe mintákban sötétedés, azaz az optikai elnyelési él 0,15-0,20 eV eltolódása tapasztalható a kisebb energiák irányába, az átérésztés relatív változása eléri a 80-90 százalékot, a törésmutató pedig nagyon jelentős mértékben, 0,2-vel (~7%) növekszik. A besugárzás hatására a réteg vastagsága is kismértékben megváltozik. Az AsSe rétegekben a térfogat növekedése 0,8 %, As_2S_3 -ben pedig 0,6 %. Mindezek közel egyenlő expozíció, azaz bevitt energia hatására történnek mind a fotonok, mind az ionok esetében.

Ezen változások részben reverzibilisek: az első, 430-440 K fokon történő hőkezelés („írás törlése”) és „kivilágosodás” után ~30 % -kal csökkennek a további besugárzás-törlés ciklusokban már reverzibilisnek mondható optikai változások. A térfogat és a törésmutató egyidejű növekedése a kalkogenid üvegek, az azokban végbemenő fotoindukált változások egyik érdekes tulajdonsága, és így az említett optikai változások hasonlósága mellett a fény- és ionindukált változások alapjaiban közös mechanizmusára utal. A törésmutató diszperzióját leíró Wemple-DiDomenico egyoszillátoros modell keretében, amely jól alkalmazható a kovalens kötésekkel rendelkező kalkogenid félvezetőkre is, kimutattuk, hogy esetünkben is a stimulált szerkezeti változások következtében az effektív koordinációs szám növekszik, ami az intramolekuláris (láncolatos szerkezeti elemek közötti) kölcsönhatások, és egyben a gyakorlatban ugyancsak fontos mikrokeménység változását okozza.

Ez utóbbit nanoindentációs technikával vizsgálva sikerült kimutatnunk: a fény hatására, melegítés nélkül megváltozik a belső sűrűlárdási tényező, minek oka bizonyos önszerveződési folyamat lehet a molekuláris szinten heterogén amorf anyagban [29]. Továbbá, a He-Ne lézernyél polarizációjának hatását vizsgálva alacsony (~100 mW/cm²) intenzitású megvilágításoknál különböző összetételű As-Se rétegekben kimutattuk a felületek anizotróp deformációját, rendezett struktúrák megjelenését. Ezen eredmények további kutatások kiindulópontjai lehetnek és újabb alapismeretekhez vezetnek az amorf anyagok stimulált- vagy önszerveződése témakörben, illetve alkalmazást nyerhetnek polarizáció-érzékeny fotonikai elemek fejlesztésében, a fényvel irányított nanomechanikai (millipede-típusú) jeltárolásra alkalmas elemekben.

A fényvel és az ionokkal történő besugárzás okozta hatások hasonlósága volt megfigyelhető a rétegek Raman-spektrumaiban is [1]. Kimutattuk, hogy a hőkezelt mintákban a besugárzás következtében az As-S kötések felszakadásával változik a homopoláris As-As, S-S kötések száma, és egyben növekszik a topológiai rendezetlenség is, melyek arányát nehéz megállapítani. A frissen előállított, hőkezeletlen rétegekben látható irreverzibilis, elsődleges polimerizációhoz hasonló jelenségen túl ezen változások visszafordíthatók az anyag lágyulási hőmérsékletének közelében történő hőkezeléssel.

Az amorf szelén rétegek esetében is kimutattuk az ionok és a fotonok által stimulált szerkezeti változások hasonlóságát, amelyek az As₂S₃ és AsSe rétegektől eltérően leginkább az indukált kristályosodás formájában figyelhetők meg. Az elsődleges, alacsony (100 K) hőmérsékleten erősödő reverzibilis amorf-amorf, fény vagy ion által stimulált szerkezeti átalakulás szobahőmérsékleten irreverzibilis kristályosodásba és ennek megfelelő optikai „sötétedésbe” megy át. Mivel az amorf Se lágyulási hőmérséklete (~305 K) alig haladja meg a szobahőmérsékletet, egy friss mintában a kristályosodás egy-két hónapon belül külső besugárzás nélkül is beindul, ami szükségessé teszi az ilyen rétegek vagy rétegstruktúrák stabilizálását, például, a következőkben leírt nanomultirétegek kialakításával.

Összegezve a homogén rétegeken végzett összehasonlító mérések eredményeit, arra a megállapításra jutottunk, hogy a fény és az ionbesugárzás hatása az adott rétegek makroszkopikus vagy mikroszkopikus jellemzőinek változását tekintve hasonló. Mivel esetünkben az ionok az anyag elektronrendszerének a gerjesztése révén adják le energiájukat (a rugalmas ütközések jelentősége elhanyagolható, amire a H⁺ és a D⁺ ionok azonos hatása is utal), a stimulált szerkezeti átalakulásokat azonos kezdeti folyamatok jellemzik azzal a kiegészítéssel, hogy a fotonokkal ellentétben az ionok nem csak a vegyértéksáv tetején levő elektronokat gerjesztik, lényegesen nagyobb energiát közölnek az elektronokkal, lehetőséget biztosítva a nagyobb határfok elérésének, valamint izotróp változásokhoz vezetnek. A fotoindukált változások többféle, általában empirikus modelljei között a korábban Malinovszkij-Zsdánov által javasolt lokális felmelegítés modellje a legalkalmasabb a fotonok és az ionok, illetve más nagyenergiájú sugárzás okozta változások egységes magyarázatára, mivel az gyakorlatilag egy hőcsúcs (thermal spike) modell, amit gyakran alkalmaznak az

ionok és a szilárdtestek kölcsönhatásának a leírására. Ezt a modellt fejlesztettük tovább illetve alkalmaztuk a nanomultirétegekben indukált szerkezeti változások, beleértve a stimulált interdiffúzió jelenség mechanizmusának a feltárásához is [6], amiről részletesebben a következő részben szólnunk.

A homogén As_2S_3 , AsSe , Se rétegeken végzett kísérleteink kimutatták, hogy fény- és különösen proton-nyalábok segítségével egyszerű úton írhatók, alakíthatók ki jó áteresztés- és törésmutató-modulációra alkalmas optikai reliefek. Viszont aránylag kicsinyek a lokális vastagság (térfogat) változások, ezért geometriai relief, megváltozott optikai paraméterekkel rendelkező felületi struktúrák (diffrakciós rács, lencse, hullámvezető) csak utókezeléssel, leginkább szelektív vegyi maratással állíthatók elő, és ezekben nem változtathatók más, például elektromos paraméterek.

Amorf multirétegek stimulált változásai [2-6, 9-29, 31]

Az atomi-molekuláris szinten történő fotoindukált amorf-amorf szerkezeti változásokra alapozott optikai írás a mérhető jel csökkenésén kívül nem mutatott különösebb változásokat a rétegvastagság csökkenésével. A nanométeres skálán modulált, általában ~ 1 μm öszsvastagságú nanomultirétegekben viszont összegződik a mérhető optikai jel, tehát kiválóan vizsgálhatók az említett optikai változások. Ezen kívül a 2-8 nm vastagságú szubrétegekben várható volt a kristályosodási folyamatok változása, amit először az a-Se stabilizálásában figyeltünk meg a $\text{Se}/\text{As}_2\text{S}_3$ nanostruktúrákban és részletesebben vizsgáltuk a $\text{Se}_y\text{Te}_{1-y}/\text{SiO}_x$, $\text{Bi}/\text{As}_2\text{S}_3$ típusú mintákban [16, 18, 28].

Különös effektusokhoz vezetett a fény által stimulált interdiffúzió, amelynek kiváló alkalmazási lehetőségét domborzatok előállítására először ugyancsak a $\text{Se}/\text{As}_2\text{S}_3$ nanostruktúrákban mutattuk ki. A jelen témában végzett kutatásaink a stimulált interdiffúzió jellemzőinek, mechanizmusának mélyebb megismerésére irányultak azzal a gyakorlati céllal, hogy új anyagokat és megfelelő eljárásokat fejlesszünk ki. Ehhez a multirétegek összetétele, paraméterei és a kívánt tulajdonságok (elsősorban optikai paraméterek változtathatósága, kapcsolódása a lokális szerkezet-, térfogat- vagy elektromos vezetés változásához) közötti összefüggéseket vizsgáltuk az egyik legismertebb, a-Se/ As_2S_3 nanomultirétegen, valamint a kívánt paraméterek nagymértékű változását biztosító $\text{As}_{0,2}\text{Se}_{0,8}/\text{As}_{0,2}\text{S}_{0,8}$, $\text{Te}(\text{Bi},\text{Sb})/\text{As}_2\text{S}_3$, $\text{Se}_y\text{Te}_{1-y}/\text{SiO}_x$ struktúrákban.

Behatároltuk a hatékony kölcsönös diffúzió biztosítására alkalmas anyagpárok körét: ezek elsősorban olyanok, amelyek üvegállapotban lehetőleg korlátlanul oldhatók egymásban (például $\text{Se}-\text{Te}$, $\text{As}_2\text{S}_3-\text{As}_2\text{Se}_3$). Eközben lényeges a Vegard szabálytól való eltérés, amely viszont a megfelelő adatok hiányában kevés anyagpárra volt prognosztizálható. Korlátozott oldhatóság esetében új, kristályos fázisok megjelenésével számolhatunk a rétegekben illetve azok határain, ami egyes esetekben nagyobb érzékenységet, paraméterváltozást is biztosíthat. Az utóbbi a második kiválasztási feltételhez fűződik, nevezetesen ahhoz, hogy az optikai tulajdonságok és a sűrűség, elektromos vezetés vagy más detektálni kívánt paraméter minél nagyobb mértékben változzon a keveredés folytán. Mindezen túl olyan anyagok jöhetnek szóba, amelyekből jó minőségű, a kiinduló anyag összetételét megőrző rétegeket lehet készíteni. A kísérleteink alapján kimutattuk, hogy az optimális modulációs hossz, azaz a birétegvastagság 10-15 nanométer alatt volt, ezen belül legalább az egyik réteg vastagsága 1,5-5 nm, ami adott hőmérsékleten biztosítja a stabilitást és a kísérletben elfogadható keveredési időt.

A számítógép-vezérelt ciklikus (két elkülönített forrásból történő) termikus párologtatás technikáját fejlesztettük tovább és alkalmaztuk különböző multirétegek leválasztására speciális üveg vagy Si-lapka hordozókra, melyek mérete 1-5 cm^2 lehetett. A struktúrák minőségét, a diffúziós folyamatok paramétereit kisszögű röntgendiffrakciós

mérésekkel vizsgáltuk. Megállapítottuk, hogy az interdiffúziós folyamatok vizsgálatának jól megfelelő, optikai írásra alkalmas multirétegek minősége (periódus stabilitása, határfelület élessége) tovább javítható impulzusos lézerporlasztási technológia alkalmazásával [26,27], amely egyben lényegesen bővíti a nanomultirétegek előállítására alkalmas, esetenként többkomponenses anyagok körét, biztosítva azok összetételének megőrzését a vékony rétegekben és így szélesebb határértékekkel (érzékenységi tartomány, vastagság- és törésmutató-változás) rendelkező struktúrák előállítását.

Kimutattuk, hogy az egyik legígéretesebb anyagpár az $As_{0,2}Se_{0,8}/As_{0,2}S_{0,8}$, amelyen 6 nm modulációs periódus és 0,7:1 szubrétegvastagság-arány mellett 10%-nál nagyobb térfogatnövekedést lehetett elérni a He-Ne lézer 0,63 μm hullámhosszú fény általi besugárással és egy nagyságrenddel kisebb expozícióval a Se/As_2S_3 struktúrához képest. Az utóbbiak egyes változatain szintén elérhető volt a 10 % fölötti térfogatnövekedés, s így akár 200 nm magasságú felületi reliefeket lehetett *in situ* írni már egy 2 μm öszvastagságú rétegstruktúrán is, ami a külön bevonat nélküli, törésmutató modulációval együtt ható, vagy visszaverő réteggel bevont felületi holografikus rácsok esetében biztosította a maximális diffrakciós hatásfokot. A hasonló Te/As_2S_3 struktúrában nem láttunk térfogatnövekedést, csak az előbbiekhöz képest lényegesen nagyobb áteresztés-modulációt és érzékenységet figyeltünk meg, ami a három nagyságrenddel nagyobb fotoindukált diffúziós együtthatónak ($3,5 \cdot 10^{-20} m^2/s$) és a kialakuló háromkomponenses anyag nagyobb tiltottsáv-változásnak köszönhető. A fentiekben említett, He-Ne lézerrel történő optikai írásra optimalizált anyagokat az Ungvári Nemzeti Egyetemen együttműködve fejlesztettük ki és Ukrajnában közösen szabadalmaztattuk [21], mivel ott nagyobb lehetőséget láttak ezek alkalmazására.

Az amplitúdó-modulált írás optikai paramétereinek (érzékenység és a maximális moduláció spektruma) elektromos vezetés modulációjával kiegészített változásának a növelését $Bi(Sb)/As_2S_3$ nanomultirétegekben értük el [18,20,28]. Megállapítottuk, hogy ezekben a fémréteg optimális vastagsága 1,5-3 nm. Ennél vastagabb fémrétegek esetében csökken a stimulált diffúziós keveredés hatásfoka, amorf fázisok mellett létrejöhetnek kristályos fázisok is (például Bi_2S_3), ami alapjául szolgálhat egy szilárdfázisú szintézis útján előállítható nanokompozit fejlesztésének és egy újabb kutatássorozatnak a témája lehet.

A Se_yTe_{1-y}/SiO_x struktúrákban, amelyekre nem jellemző az interdiffúzió, kimutattuk a fény és a hő által stimulált, méretkorlátozott kristályosodási folyamatok hatását az optikai és elektromos paraméterek változására [16], ami egy másik típusú, amorfizáció-kristályosodás módban működő íráshordozó fejlesztésének az alapját képezi.

A Se/As_2S_3 , $As_{0,2}Se_{0,8}/As_{0,2}S_{0,8}$ multirétegeken vizsgáltuk a protonok és deuteronok hatását és megállapítottuk, hogy a 100-150 J/cm^2 energiaexpozíciónak megfelelő fluenstartományban az optikai kivilágosodás és a térfogatnövekedés telítésbe megy át. A fény és az ionok hatásának mértéke, a változások kinetikája is hasonló. A hőmérsékletfüggés, a diffúzió aszimmetriája számított paramétereinek korrelációja a mért adatokkal ugyancsak arra utal, hogy a fény- és ion-indukált interdiffúzió mechanizmusa azonos a vizsgált multirétegekben és a hőcsúcs modellel írható le [6,7]. Ebbe a modellbe illeszkednek a magas hidrosztatikus nyomás hatásának vizsgálati eredményei: az interdiffúzió hatásfokának csökkenése a nyomás növekedésével, a megállapított aktivációs térfogatok arra utalnak, hogy a fotoindukált interdiffúzió a vakanciaszerű ponthibák keltése és mozgása révén történik, bár az amorf anyagokra alkalmazott elméleti megközelítések még nem teljesen egyértelműek [14]. A Se/As_2S_3 multirétegeken mért alacsony hőmérsékletű lumineszcencia a kvantumstruktúráktól eltérően nem mutatott lényeges spektrális-, csak intenzitás-változásokat a diffúzió és Se réteg vastagságának függvényében [4], ami ugyancsak a hibák szerepére utal a diffúziós keveredésben.

A maszkolással és ionbesugárzás által kialakított felületi reliefek (vonalak, kockák) laterális felbontása jobb, mint a fény esetében és természetesen nincs helye a fény esetében

zavaró diffrakciónak [24]. Tehát a maszkolás – ionbesugárzás technikája is hatásosan alkalmazható felületi geometriai vagy amplitúdó-fázismódulált elemek kialakítására a kifejlesztett amorf multirétegeken. Előzetes méréseink kimutatták a vezető AFM-tűk által közvetített elektromos impulzusok hasonló, diffúziót és térfogatváltozást stimuláló hatását, s így az írható reliefek felbontásának lényeges növelését, de az ilyen típusú nanolitográfia kidolgozása még további eszköz- és anyagfejlesztést igényel és folytatódik a K67685 számú OTKA téma keretében.

Kísérleti szinten kimutattuk, hogy a $\text{Se/As}_2\text{S}_3$, $\text{As}_{0,2}\text{Se}_{0,8}/\text{As}_{0,2}\text{S}_{0,8}$ multirétegeken kialakított szinuszos profilú rácsok, kúpos elemek matricája előmelegített polietilén fóliára nyomással másolhatók, tehát az adott anyagok az imprint technológiában is alkalmazhatók. Maguk a reliefeket hordozó struktúrák intenzív fénytől védett, szobahőmérsékletű körülmények között akár néhány évig is tárolhatók.

Befejezésül meg kell említenünk, hogy a Debreceni Egyetemen folytatott anyagtudományi kutatások ezen irányban történő kiterjesztése új lehetőségeket teremtett mind a kutatásban, mind a villamosmérnökök, fizikusok és informatikusok képzésében, mely területeken az optoelektronikai, illetve az információs technológiákat, nanotechnológiát szolgáló anyagtudományi ismeretek elméleti és gyakorlati oktatása fontos szerepet játszik. Két diplomamunka, egy megvédett és egy folyamatban levő PhD kutatás is a pályázat témájához kötődik. A pályázati támogatás is hozzájárult egy komplex, fotonikai vizsgálatokra alkalmas laboratórium továbbfejlesztéséhez, lézer- és mérés technikával való felszereléséhez. A pályázat, annak aktuális témája elősegítette a nemzetközi és szűkebb regionális tudományos kutatási kapcsolatok erősítését is. A kutatások nemzetközi (Ungvári Nemzeti Egyetem, Ukrajna és Indian Institute of Science, Bangalore, India) együttműködésben folytak és más külföldi, illetve hazai intézetek kutatóival is végeztünk közös kísérleteket (University of Pardubice, BMGE, SzFKI, ATOMKI).

2006-ban kérelmünkre a szerződést még egy évre meghosszabbították, s így lehetővé vált néhány újabb struktúra összehasonlító vizsgálata, a kifejlesztett anyagok teljesebb rendszerezése a lehető alkalmazások illetve további fejlesztések szempontjából.

A közlemények jegyzékében felsorolt 31 publikáció közül a folyóiratcikkek száma 18, melyek összegzett impakt-faktora 22,87. A témában folytatott kutatások eredményeit 23 előadásban ismertettük különböző szemináriumokon és nemzetközi konferenciákon.

A Szakmai beszámolóban szereplő hivatkozások számozása megfelel a közlemények jegyzékének.

Debrecen, 2008. február 27.

OTKA T046758 ZÁRÓJELENTÉSHEZ

Konferenciaelőadások

1. Ivan I., Beke D., Csik A., Kökényesi S., Szabó I., Shpiyak M.
Structural transformations and optical properties of nanolayered metal/chalcogenide films.
16th International Vacuum Congress, 12th International Conference on Solid Surfaces, 8th Int. Conference on Nanometer Science and Technology, Venice, Italy, June 28-July 2, 2004.
2. Ivan I., Szabo I., Kokenyesi S.,
DIMAT 2004, Sixth International Conference on Diffusion in Materials, Kraków, Poland, July 18-23, 2004
3. Kokenyesi S., Beke D.L., Szabo I.A., Ivan I., Malyovanik M. Optical recording in amorphous chalcogenide nano-multilayers.
4th International Workshop on Innovative Mass Storage Technologies. Sept.28-29,2004 Aachen, Germany, p.H19.
4. K.Sangunni, S.Kokenyesi, K.Adarsh, I.Ivan, M.Shipljak
Luminescence in Amorphous Chalcogenide Multilayers
Glass and Optical Materials Division Fall 2004 Meeting, Incorporating the XIVth International Symposium on Non-Oxide and Novel Optical Glasses. Nov.7-12,2004, Cape Canaveral, USA (p.78).
5. S.Kokenyesi, M.Malyovanik, S.H.Messaddeq, Y.Messaddeq, I.Ivan, S.Ribeiro
Optical recording in Se(Te)/As₂S₃ Multilayers
Glass and Optical Materials Division Fall 2004 Meeting, Incorporating the XIVth International Symposium on Non-Oxide and Novel Optical Glasses. Nov.7-12,2004, Cape Canaveral, USA (p.78)
6. Malyovanik M., Shpiyak M., Kikineshi A., Csik A., Sangunni K. Photodiffusion processes in chalcogenide glassy semiconductor multilayered nanostructures .
10th International conference on physics and technology of thin films, Ivano-Frankivsk, 2005.05.16-21.Proceedings, P.1, p.82.
7. Ivan I., Beke D.L., Kokenyesi S., Szabo I.A., Csik A. Light and ion induced interdiffusion in amorphous chalcogenide multilayers.
Second Int. Workshop on Amorphous and Nanostructured Chalcogenides, Sinaia, Romania, June 20-24,2005, p.22.
8. Kokenyesi S., Malyovanik M., Cheresnya V., Shpiyak M., Csik A. Stimulated structural transformations in Se_{0.6}Te_{0.4}/SiO_x nano-layered composite.
ICANS21, Lisbon Portugal, 4-9 September 2005, Book of Abstracts, p.336.
9. Ivan I., Erdelyi G., Kokenyesi S., Beke D.L. Effect of pressure on photoinduced interdiffusion in amorphous chalcogenide multilayers.
ICANS21, Lisbon Portugal, 4-9 September 2005, Book of Abstracts, p.335.
10. M.L.Trunov, P. Nagy, S. Kokenyesi Nanomechanical characterization of relaxation processes in amorphous chalcogenide films.
ICANS21, Lisbon Portugal, 4-9 September 2005, Book of Abstracts, p.338.
11. S.Kökényesi
Investigations in materials science for micro-and nanotechnologies
2nd MINAEAST –NET Workshop , National Centre of Scientific Research „Demokritos”, Athene, Greece, 15-16 July, 2005.

12. Beke D.L., Kokenyesi S., Sangunni S.R., Shilyak M. Amorphous semiconductor nanomultilayers: research and development.
Int.Meeting „Clusters and Nanostructured Materials (CNM'2006) Uzhgorod, Ukraine, Oct.9-12,2006 , MATERIALS, pp.16-17.
13. Kokenyesi S., Ivan I., Csik A., Szabo I., Beke D. Stimulated interdiffusion and optical recording in amorphous chalcogenide nanomultilayers
SPIE Optics and Photonics, Int.Conf., 13-17 August 2006, San Diego, USA, tech.program.p.165.
14. Kokenyesi S., Takats V., Vojnarovich I., Cheresnya V., Shilyak M. Photo-stimulated changes in metal-amorphous chalcogenide layered nanocomposites
SPIE Optics and Photonics, Int.Conf., 13-17 August 2006, San Diego, USA, tech.program.p.164.
15. Trunov M.L., Dub S.N., Nagy P.M., Kokenyesi S. Thin Film Photoplasticity Investigations with Combined Nanoindentation and AFM
7th Int.Conference Solid State Chemistry 2006, Pardubice, Czech Republic, September 24-29,2006, Book of Abstracts, pp.105-106.
16. Takats V., Némec P., Csik A., Kokenyesi S. Induced interdiffusion in Se/As₂S₃ nanomultilayers obtained by pulsed laser deposition and thermal evaporation .
7th Int.Conference Solid State Chemistry 2006, Pardubice, Czech Republic, September 24-29,2006, Book of Abstracts, p.178.
18. Vojnarovich I., Pinzenik V., Makauz I., Shilyak M., Kikineshi A., Daroczi L. Nanocomposites in Bi -As-S system
ISNOG2006, Bangalore, India, April, 2006.
19. Shilyak M., Kokenyesi S., Beke D., Sangunni K.
Amorphous Chalcogenide Nanomultilayers for Photonics.
XI Int. Conference on Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems, Ivano-Frankivsk, Ukraine, May 7-12, 2007, Abstr. book p.74.
20. Takats V., Vojnarovits I., Shilyak M., Daroczi L., Sangunni K.S., Kokenyesi S. Stimulated structural transformations in Sb(Bi)/As-S heterostructures.
3d Int.Conf. on Amorphous and Nanostructured Chalcogenides, Brasov, Romania, July 2-6, 2007, p.8.
21. Trunov M.L., Takats V.A., Dub S.N., Szabo I.A., Kokenyesi S. The compositional trends in the nanohardness and surface morphology of As-Se films under heat and light treatment.
3d Int.Conf. on Amorphous and Nanostructured Chalcogenides, Brasov, Romania, July 2-6, 2007, p.19.
22. Kokenyesi S., Beke D., Sangunni K., Takats V., Csik A., Daroczi L. Photoinduced transformations in amorphous chalcogenide nano-multilayers.
Int. Conference on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications, ICOOPMA'2007, London, UK, 30 July-3 August, 2007, 1p.
23. Némec P., Takats V., Csik A., Kokenyesi S.: GeSe/GeS nanomultilayers prepared by pulsed laser deposition. **3rd International Conference on Optoelectronics and Spectroscopy of Nano-structured Thin Films and Materials, October 15-19, 2007, Beijing, China, Abstract Book, p. 53.**