

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

Abstract of PhD Thesis

**Stimulált térfogatváltozások vizsgálata amorf kalkogenid rétegekben
és nanostruktúrákban**

**Investigation of stimulated volume changes in amorphous
chalcogenide layers and nanostructures**

Csarnovics István

Témavezető/Supervisor: Dr. Kökényesi Sándor



Debreceni Egyetem, Fizikai Tudományok Doktori Iskolája

University of Debrecen, PhD School in Physics

Debrecen, 2014.

Készült

a Debreceni Egyetem

Fizikai Tudományok Doktori Iskolájának

Szilárdtestfizika és anyagtudomány programja keretében

Prepared at

University of Debrecen

PhD School in Physics

A disszertáció elkészítését a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0024, TÁMOP 4.2.4. A/2-11-1-2012-0001 (Nemzeti Kiválóság Program), TÁMOP 4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0036 és a TÁMOP-4.2.1./B-09/1/KONV-2010-007 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Bevezetés

Napjaink mikroelektronikájának a nanoelektronika irányába mutató fejlődése egyre nagyobb számban igényel új anyagokat, struktúrákat és ez a folyamat magával vonta e rendszerek előállításához és vizsgálatához szükséges technológiák fejlődését. Az utóbbi évtizedekben az anyagtudományban tevékenykedő kutatók és mérnökök munkája is főleg a nanostruktúrált anyagok és az azokból felépített eszközök kutatására és fejlesztésére irányult. Mivel a méret csökkenésével, a felület/térfogat arányának változásával az anyag tulajdonságai változnak, a nanoszerkezetek tanulmányozása a fizika, azon belül is a szilárdtestfizika fontos részévé vált. A nanoméretű vékonyrétegekkel, többrétegű struktúrákkal és e rendszerek alkalmazásával előállított eszközök mára a mindennapi életünk fontos részévé váltak. Az új eszközök, illetve ezekhez köthető technológiák fejlesztése során - a kristályos anyagok mellett - az amorf anyagok felhasználása is egyre nagyobb teret nyer, elsősorban a kristályos fázisoktól eltérő tulajdonságaiknak köszönhetően.

Az amorf anyagok csoportjába tartozó kalkogenid félvezetők, a periodikus táblázat VI. csoportjába tartozó elemek (szelén, kén vagy tellúr), illetve azok ötvözetei. A XX. század hatvanas éveiben Ovshinsky és csoportja különleges elektromos kapcsolási jelenséget fedezett fel bennük, elindítva ezzel széleskörű vizsgálatukat és alkalmazásukat. A kutatók több olyan specifikus tulajdonságukat is felfedezték, amelyek révén a kalkogenidek fontos funkcionális anyaggá váltak. Ez elsősorban annak köszönhető, hogy külső hatások (például fény, hő, elektronok, ionok) a szerkezeti - és fizikai tulajdonságaikat nagymértékben megváltoztatják. A külső hatásra létrejött változások közül kiemelendők a disszertációm keretében vizsgált fényindukált változások, például a kalkogenid félvezető optikai elnyelési élének, törésmutatójának, térfogatának változása. Fontos megemlíteni, hogy amorf-kristályos és amorf-amorf fázisátalakulások is megfigyelhetők bennük. A kalkogenidekre jellemző az infravörös tartományban való

kiváló áteresztőképesség, a látható és az ultraibolya tartományban való elnyelési képesség, valamint a kémiai összetételtől függő fizikai tulajdonságok tág határok közötti változtathatósága.

Az amorf kalkogenid félvezetőknek több alkalmazási területe is ismert, mint például az információ technológiában, az optoelektronikában és az infravörös elektronikában. Memóriaelemek, optikai elemek és fényszálak, valamint különböző szenzorok gyártásánál hasznosítják őket.

Célkitűzés

Az amorf kalkogenid félvezetők kutatásában kiemelt fontosságú a fényindukált optikai változások vizsgálata, amelyek lehetnek reverzibilisek vagy irreverzibilisek, de akár szerkezeti változásokkal járók is. A sok évtizedes kutatás ellenére a megfigyelt jelenségek okai és mechanizmusa még ma sem teljesen ismert, ezért további vizsgálatok szükségesek azok pontosításához.

A doktori dolgozatomban bemutatott kutatómunka alapját az amorf kalkogenid félvezetőkben álló rétegek képezték. Megvizsgáltam a fény – és elektronnyaláb indukált térfogati és optikai változásokat az általam előállított kalkogenid nanoszerkezetekben. Ezeket a vizsgálatokat olyan körülmények között is elvégeztem, amikor a fenti hatásokat a mintában létrejövő plazmontér is erősítette. Ennek megfelelően a következő célok motiválták az elvégzett kutatásaimat:

1)A vizsgálandó vékonyrétegekhez szükséges amorf kalkogenid anyagok kiválasztása, majd a minták és struktúrák előállítása.

2)A rétegek térfogatának és optikai paramétereinek fénnnyel történő megvilágítása során fellépő változásának vizsgálata, illetve a lezajló folyamatok részleteinek tisztázása.

3)A rétegek elektronnyalábbal történő besugárzása során fellépő változások vizsgálata, illetve azok mechanizmusának tisztázása.

4)A megfigyelt fényindukált változások arany nanoszerkezetek plazmontere általi módosítása.

5)A stimulált térfogatváltozáshoz köthető kísérleti eredmények megértéséhez elméleti modellek meghatározása, amelyekkel érthetőbbé válhat a folyamatok mechanizmusa.

Eredmények:

A. Kutatómunkám első részében az amorf kalkogenid rétegekben fény hatására végbemenő térfogati változásokat tanulmányoztam. A kísérleti eredmények alapján kiválasztottam az optimális összetételű anyagokat. Kutatócsoporttal együtt megfogalmaztuk a rétegekben tapasztalt óriási térfogatváltozásokat magyarázó, eddig egyedülálló elméleti modellt, melyet további kísérletekkel támasztottam alá. Az amorf kalkogenidekben megfigyelt fényindukált térfogatváltozással kapcsolatos eredmények alapján a következő tézispontok fogalmazhatóak meg:

A/1. A kalkogenidek térfogatának fényindukált, időbeli változásainak kutatására egy egyedülálló, kombinált optikai és *in situ* atomerő-mikroszkópos módszert alkalmaztunk. Az elvégzett kísérleteink eredményei alapján kimutattam, hogy a térfogatváltozások szempontjából optimálisnak tekinthető $\text{As}_{20}\text{Se}_{80}$ összetételű kalkogenid rétegekben fény hatására végbemenő időbeli változásban két szakasz különíthető el egymástól. Az első egy gyors, de kismértékű lokális tágulással járó folyamat, mely elektron-lyuk párok gerjesztésével, kötések felszakadásával és átrendeződésével, a szerkezet és szabad térfogat átalakulásával magyarázható. A folyamat hosszabb ideig tartó második szakasza során óriási méretű lokális

vastagságváltozás tapasztalható, amely a laterális anyagtranszporttal áll összefüggésben.

A/2. Kísérletileg megmutattam, hogy a hidrosztatikus nyomás kihatással van az $\text{As}_{20}\text{Se}_{80}$ összetételű kalkogenid rétegekben tapasztalt laterális anyagtranszport mértékére. A megvilágítás során alkalmazott hidrosztatikai nyomás gátolja a térfogat növekedéssel járó hibák keletkezését, csökkenti a szabad térfogatot és a lokális tágulás mértékét. Mivel a fényindukált térfogatváltozás mechanizmusának második része összefüggésben áll az elsővel, ezért a hidrosztatikus nyomás hatására csökken a laterális anyagtranszport mértéke.

A/3. Megállapítottam, hogy az előállított alumínium-szilikát/ $\text{As}_{20}\text{Se}_{80}$ nanomultiréteg struktúrákban található, valamint a kalkogenid vékonyrétegre felvitt rideg réteg gátolja a fényindukált folyamatokat, illetve csökkenti az optikai paraméterek változását. Rideg határfelületek, rétegek alkalmazásával csökkenthetők a kalkogenid rétegben a megvilágítás által kiváltott hatások, ami azzal magyarázható, hogy a merev réteg gátolja a szabad térfogat kialakulását és így korlátozza a laterális anyagtranszportot.

A/4. Kísérletileg kimutattam, hogy az $\text{As}_{20}\text{Se}_{80}$ összetételű kalkogenid rétegben a fény által indukált térfogatváltozás és a laterális anyagtranszport iránya függ a megvilágítás intenzitásától. Az alacsony intenzitások helyén anyagfelhalmozódást tapasztaltam, míg magasabb fényintenzitásoknál völgyet (anyag-elfolyást) tapasztaltam. A kísérleti eredmények jól korreláltak az elméleti modellel, amely a kalkogenidekkel kapcsolatos szakirodalomban először magyarázta meg a fényindukált térfogatváltozások intenzitásfüggését.

B. A kutatómunkám második részében az elektronnyalábbal történő besugárzás során végbemenő folyamatokat vizsgáltam. A vizsgálatokhoz $\text{As}_{20}\text{Se}_{80}$ összetételű kalkogenid réteget állítottam elő. A létrehozott mintákon az elektronnyalábbal indukált laterális anyagtranszport jelenségét vizsgáltam meg. Az $\text{As}_{20}\text{Se}_{80}$ kalkogenid rétegek elektronnyalábbal történő besugárzását követően AFM-mel vizsgáltam meg a kialakuló felületi struktúrákat, valamint a mintákon létrehozott holografikus rács magasságának a besugárzás hatására történő változását. A kísérleti eredmények jól korreláltak az elméleti modellszámításokkal. Az amorf kalkogenidekben megfigyelt elektronnyaláb által indukált térfogatváltozással kapcsolatos eredmények alapján a következő tézispont fogalmazható meg:

B/1. Kísérletileg bebizonyítottam, hogy a kiválasztott kalkogenid struktúrákban nemcsak fénnnyel, hanem elektronnyalábbal is okozhatunk reverzibilis változásokat. A megvilágításhoz hasonlóan az elektronnyalábbal is gerjeszthetőek elektron-lyuk párok, valamint a laterális anyagtranszport eredményeképp óriási méretű térfogatváltozások érhetők el. A kísérleti eredmények és a modellszámítások azt mutatták, hogy ebben az esetben nagyobb hangsúlyt kapnak a fellépő elektromos terek és potenciál gradiensek.

C. Kutatómunkám harmadik részében a fény által gerjesztett plazmontér kalkogenidekben megfigyelt fényindukált változásokra gyakorolt hatását vizsgáltam. Plazmonikai struktúrákat állítottam elő (arany nanorészecskéket és arany rétegen található nanolyuk hálózattal rendelkező mintákat), amelyekre termikus úton amorf kalkogenid réteget választottam le. Az így előállított mintákon megvilágítás hatására vizsgáltam az optikai paraméterek mellett a felületi, valamint térfogati változásokat és összehasonlítottam a tiszta

kalkogenid rétegben tapasztaltakkal. Az amorf kalkogenidekben megfigyeltem, hogy a fény által gerjesztett változásokat az arany nanostruktúrák körül kialakult plazmontér felerősíti. A plazmontér jelenlétében megfigyelt jelenségekkel kapcsolatban a következő tézispont fogalmazható meg:

C/1. A fény által gerjesztett plazmontér kihat az amorf kalkogenidekben megfigyelt fényindukált változásokra. A kísérleti eredmények alapján megállapítottam, hogy az arany nanostruktúrák plazmontere erősíti a kalkogenidekben megfigyelt fényindukált változásokat. Ez nemcsak az optikai változások sebességére, illetve azok mértékére van hatással, hanem a laterális anyagtranszport jelenségére is. A plazmontér hatása a fényindukált változások első szakaszára jelentős, vagyis a plazmontér elsősorban az elektron-lyuk párok gerjesztését, a kötések felszakadását és átrendeződését befolyásolja. A plazmontér nemcsak a fényindukált optikai változásokat erősíti fel, hanem hatással van a laterális anyagtranszport mértékére is, vagyis a plazmontér a felületi változások növelésére is használható.

Introduction

The technical development of our era led the microelectronic devices into the direction of higher degree miniaturization. The application of nanoelectronics requires new materials, structures and – of course – new manufacturing methods forcing development of new analytical equipments/methods too. Therefore in the last few decades appeared an increasing demand for research and innovation of nanostructured materials and devices. The material properties change with decreasing size – especially with decreasing surface/volume ratio – the investigation of this field become an important part of the physics. This is particularly true for the solid state physics. Beyond of this scope, the nanolayers, nanomultilayers and nanostructured devices become unenviable part of the everyday's life. The crystalline solids are the well-known basic materials of the fabrication of nanosized devices and the development of new technologies, while the amorphous materials, mainly because of their unique properties, reach step-by-step increasing importance in this field.

Amorphous chalcogenide materials are composites or alloys of VI-group elements (selenium, sulphur or tellurium) and other electropositive elements. The scientific history of these materials started in the 60's of XXth century, when Ovshinsky and his colleagues discovered the - so called - switching effect in them causing detailed analysis and widespread application. Furthermore, some really unique properties have been observed, which make them important as functional materials, such as: high transmission efficiency at infrared wavelength region, excellent light absorption in the ultraviolet and visible spectrum and last but not least their physical properties can be varied by the composition of the material. Otherwise, their structure and some properties can be changed due to external influences, as light, heat, electric field, ions. These transformations are accompanied by the change of their fundamental absorption edge, refractive index

and volume. Amorphous-crystalline and amorphous-amorphous transformations can be investigated in them.

Research so far has resulted the application of the amorphous chalcogenide semiconductors in information technology, optoelectronics and infrared electronics. They play an important role in production of memory devices, optical elements, optical fibers and different sensors.

Aim of the research

One of the important points in the research of amorphous chalcogenide semiconductors is the investigation of the photo-induced changes, which can include reversible or irreversible process and also the modification of the structural parameters. The driving force and the concrete mechanism of the observed effects is still not clear, it needs more experiments and theoretical analysis devoted to the better understanding of the underlying processes.

My research activities based on both experimental and theoretical analysis of amorphous chalcogenide semiconductor layers. The photo, electron-beam induced or plasmon field stimulated volume and optical changes have been investigated in single layer and in nanolayered structures. According to this, in my research period the following aims can be determined:

- 1) To create thin films and layered structures on the base of the selected amorphous chalcogenide semiconductors.
- 2) To investigate the photo-induced changes of volume and optical parameter in the chalcogenide layers, and to explore the details of the mechanism of these effects.
- 3) To investigate the electron-beam induced structural changes and to make clear the mechanism of these effects.

4) To establish the influence of plasmon field of gold nanoparticles on the investigated photo-induced changes.

5) To construct on the bases of the experimental results a theoretical model, this makes possible to describe the details of the mechanism of the stimulated volume changes in amorphous chalcogenides.

Results:

A. The first part of my research work deals with photo-induced volume changes in amorphous chalcogenides. The optimal composition of the material – which showed the most significant effect - was selected and thin layers or nanolayered samples were created. In these structures a giant photo-induced volume change was detected and an unique theoretical model were elaborated, which was also confirmed by the experimental results. The results of my research on the phenomena of photo-induced volume changes in amorphous chalcogenides can be summarized in the following points:

A/1. The kinetic of photo-induced volume changes in amorphous chalcogenide layer was investigated by a unique technique, of *in situ* atomic force microscope depth profiling. The resulting data were compared to the parallel measured values of diffraction efficiency of the holographic gratings. It was shown that in the ideal composition $As_{20}Se_{80}$ the time dependence of the surface deformation has at least two components. The first is a fast process causing rather small volume change, which can be connected to the photo-induced volume expansion. This part can be explained by the electron-hole pair formation, bond breaking and rearrangement, free volume change and structural transformations within amorphous phase. The second part is a much longer process with a giant volume change, which can be connected with photo-induced lateral mass transport.

A/2. I showed the effect of hydrostatic pressure on photo-induced volume changes in $\text{As}_{20}\text{Se}_{80}$ thin films in the pressure range of 0–0.5 GPa. The results show that the applied pressure suppressed the rate of the surface relief formation. Therefore it decreases the concentration of electron-hole pairs and defects, the rate of the free volume and the resulting local expansion. As the second part of the photo-induced volume change connected with the first one, the hydrostatic pressure should result the decrease of the lateral mass transport.

A/3. I showed that the hard cover layer on the surface of the uniform film or alumino-silicate sub-layers in the nanomultilayer structure influences the photodarkening and restricts volume changes in $\text{As}_{20}\text{Se}_{80}$ film or in the related nanomultilayer compared with the same effect in a single chalcogenide layer. The main result is, that volume changes may be avoided in nanomultilayer structure containing hard dielectric nanolayers or in single chalcogenide film covered by hard dielectric layer. The investigated effects are connected with limiting the free volume formation at the initial stage of the transformation process, which in turn limits the atomic movement and so the volume changes.

A/4. I showed experimentally that the rate of the photo-induced volume changes and the sign of the lateral mass transport in amorphous chalcogenide layer $\text{As}_{20}\text{Se}_{80}$ depends on the light intensity. At low intensities, I have obtained formation of hillocks, while at higher values formation of dips. The experimental results were in a good agreement with the theoretical model, so the light intensity dependence of the photo-induced volume change was shown.

B. The second part of my research work deals with electron-beam induced structural transformations. The electron-beam induced lateral

mass transport was investigated in the single $\text{As}_{20}\text{Se}_{80}$ chalcogenide layer. After electron-beam irradiation by a given flux, the profiles of the irradiated areas were analyzed by atomic force microscope. The experimental results were in a good agreement with the results based on our analytical calculations. The outcomes of my research on electron-beam induced volume changes in amorphous chalcogenides can be summarized in the following thesis point:

B/1. I showed that not only the photon, but the electron-beam irradiation stimulates reversible volume changes in amorphous chalcogenides. I detected a giant volume change in $\text{As}_{20}\text{Se}_{80}$ layer due to electron-beam irradiation, which can be connected with electron-hole pair generation, bond breaking with rearrangement and lateral mass transport. The lateral mass transport in this case is caused by capillary forces, internal steady state electric field and gradient of electrical potentials.

C. The third part of my research work deals with photo-induced plasmon field stimulated photo-induced changes. Plasmonic elements (gold nanoparticles and gold film with nanohole array) were created. The plasmonic elements were covered by amorphous chalcogenide layer, which was thermally evaporated in vacuum. The photo-induced optical and volume changes were investigated in the pure chalcogenide layers and in the structures, which consisted of plasmonic elements. The results of my research on plasmon field stimulated photo-induced changes in amorphous chalcogenides can be summarized in the following thesis point:

C/1. I showed, that plasmon field of gold nanostructures stimulates the well-known photo-induced changes in chalcogenides. The increase of the efficiency of structural transformations, such as photo-darkening or bleaching or even

the volume change has been detected. The enhancement relates to the first basic stage of the photo-induced transformations *i.e.* generation of electron-hole pairs and the subsequent changes in defects and atomic displacements. Besides the enhancement of changes of optical parameters the plasmon fields enhance mass transport processes in illuminated chalcogenides/gold nanocomposite, which can be applied for more efficient surface modification in such structures. So the localized plasmon field of gold nanostructures enhances the structural transformation processes in amorphous chalcogenide semiconductors.

Az értekezés témakörében megjelent közlemények/Publications related to the PhD thesis:

1. **S. Charnovych**, S. Kokenyesi, Gy. Glodán, A. Csik, *Enhancement of photoinduced transformations in amorphous chalcogenide film via surface plasmon resonances*, Thin Solid Films, **519**, 4309 (2011). IF: 1.89.

2. **S. Charnovych**, P. Nemec, V. Nazabal, A. Csik, M. Allix, G. Matzen, S. Kokenyesi *Limiting of photo induced changes in amorphous chalcogenide/alumino-silicate nanomultilayers*, Materials Chemistry and Physics, **130**, 1022 (2011). IF: 2.234.

3. **S. Charnovych**, G. Erdélyi, S. Kokenyesi, A. Csik, *Effect of pressure on photo-induced expansion of As_{0.2}Se_{0.8} layer*, Journal of Non-Crystalline Solids, **357**, 2349 (2011). IF: 1.537.

4. **S. Charnovych**, *Enhancement of photo induced changes due to plasmon field in amorphous chalcogenide thin film structures*, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, **13**, 412 (2011). IF: 0.412.

5. M. Trunov, P. Lytvyn, V. Takats, **I. Charnovych**, S. Kokenyesi, *Direct surface relief formation in As_{0.2}Se_{0.8} layers*, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, **11**, 1959 (2009). IF: 0.433.

6. Yu. Kaganovskii, D.L. Beke, **S. Charnovych**, S. Kokenyesi, M.L. Trunov, *Inversion of the direction of photo-induced mass transport in*

As₂₀Se₈₀ films: Experiment and theory, Journal of Applied Physics, **110**, 063502 (2011). IF: 2.168.

7. **S. Charnovych**, N. Dmitruk, I. Voynarovych, N. Yurkovich, S. Kokenyesi, *Plasmon-Assisted Transformations in Metal-Amorphous Chalcogenide Light-Sensitive Nanostructures*, Plasmonics, **7**, 341 (2012). IF: 3.544.

8. Cs. Cserhati, **S. Charnovych**, P. M. Lytvyn, M. L. Trunov, D. L. Beke, Yu. Kaganovskii, S. Kokenyesi, *E-beam induced mass transport in amorphous As₂₀Se₈₀ films*, Material Letters, **85**, 113 (2012). IF: 2.307.

9. **S. Charnovych**, I.A. Szabó, A.L. Tóth, J. Volk, M.L. Trunov, S. Kökényesi, *Plasmon assisted photoinduced surface changes in amorphous chalcogenide layer*, Journal of Non-Crystalline Solids, **377**, 200 (2013). IF: 1.597.

10. **S. Charnovych**, N. Dmitruk, N. Yurkovich, M. Shplyak, S. Kokenyesi, *Photo-induced changes in a-As₂S₃/gold nanoparticle composite layer structures*, Thin Solid Films, **548**, 418 (2013). IF: 1.604.

11. **S. Charnovych**, S. Kokenyesi, *Effect of plasmons on photo-induced changes in amorphous chalcogenide films*, Acta Physica Debrecina, **XLIV**, 11 (2010). IF: 0.000.

12. **S. Charnovych**, Gy. Glodan, *Effect of the nanoparticle size on the plasmon enhanced photo-induced changes in amorphous chalcogenide-gold nanoparticle system*, Acta Physica Debrecina, **XLV**, 7 (2011). IF: 0.000.

Konferencia közlemények/Conference proceedings:

1. **S. Charnovych**, S. Kokenyesi, *Plasmon enhanced optical recording in As-Se layers*, Physica Status Solidi C, **8**, 2854 (2011).
2. M. Trunov, V. Takats, **I. Csarnovics**, C. Cserhati, A. Csik, S. Kokenyesi, *Laser and e-beam generated micro-nanostructures on the surface of amorphous chalcogenide layers*, TMS Annual Meeting, **2**, 641 (2010).
3. M. Trunov, P. Lytvyn, P.M. Nagy, Cs. Cserhádi, **I. Charnovych**, S. Kokenyesi, *Direct surface relief formation in As-S(Se) layers*, Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering, **7598**, 75981H (2010).

Előadások/Talks:

1. **Csarnovics István**, Kökényesi Sándor, *Holográfiai adattároló anyagok* – Holográfia hajnala és horizontja, Budapest, 2011.
2. **Csarnovics István**, Szabó István, Kökényesi Sándor, *Fotoindukált változások vizsgálata amorf félvezető kalkogenid – arany nanorészecskéket tartalmazó rendszerekben*, Eötvös Lóránd Fizikai Tudományos Társulat Anyagtudományi és diffrakciós szakcsoportjának őszi iskolája, Visegrád, 2011.
3. **S. Charnovych**, M. Trunov, Cs. Cserhati, S. Kokenyesi, *Optical recording in amorphous chalcogenides – gold nanoparticles layered structure*, 5th International Conference Amorphous and Nanostructured Chalcogenides-Fundamentals and Applications. Bucuresti-Magurele, Romania, 2011.
4. **Csarnovics István**, Szabó István, *Morfológiai átalakulások atomi erőmikroszkópos vizsgálata optikai adatrögzítő anyagokban*, VII. Magyar SPM találkozó, Szeged, 2011.
5. **Csarnovics István**, Kökényesi Sándor, *Amorf fényérzékeny rétegstruktúrák fotonikai alkalmazásokra*, Irányváltások a mikroelektronikában, Budapest, 2011.

6. **S. Charnovych**, I. A. Szabo, A. Toth, J. Volk, M. Trunov, S. Kokenyesi, *Plasmon assisted changes in chalcogenide glass – gold nanostructures*, 17th International symposium on non oxide and new optical glasses, St Malo, France, 2012.

7. **Csarnovics István**, *Amorf fényérzékeny rétegstruktúrák fotonikai alkalmazásokra*, Eötvös Lóránd Fizikai Tudományos Társulat Anyagtudományi és diffrakciós szakcsoportjának őszi iskolája, Mátrafüred, 2012.

8. **Csarnovics István**, *Fényindukált változások amorf kalkogénid rétegstruktúrákban*, Fizikus Doktoranduszok Konferenciája, Balatonfenyves, 2012.

Poszterek/Posters:

1. **S. Charnovych**, A. Toth, J. Volk, S. Kökényesi, *Plasmon-assisted micro-nanostructuring in amorphous chalcogenide film*, EuroNanoforum 2011, Budapest, Hungary, 2011.

2. **S. Charnovych**, S. Kokenyesi, *Plasmon Enhanced Optical Recording in As-Se Layers*, 4th International Conference on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications, Budapest, Hungary, 2010.

3. **S. Charnovych**, M. Trunov, Cs. Cserháti, S. Kökényesi, *Optical recording in amorphous chalcogenide-gold nanoparticles layered structure*, 5th International Conference on Amorphous and Nanostructured Chalcogenides, Bucharest-Magurele, Romania, 2011.

4. M. Trunov, P. Lytvyn, V. Takats, **I. Charnovich**, S. Kokenyesi, *Direct surface relief formation in As_{0.2}Se_{0.8} layers*, 4th International Conference on Amorphous and Nanostructured Chalcogenides, Romania, Constanta, 2009.

5. **S. Charnovych**, G. Erdelyi, S. Kokenyesi, A. Csik, *Effect of pressure on photoinduced changes in As_{0.2}Se_{0.8} layer*, 17th International symposium on non oxide and new optical glasses, Ningbo, China, 2010.

6. M. Trunov, V. Takats, **I. Csarnovics**, C. Cserhati, A. Csik, S. Kokenyesi, *Laser and e-beam generated micro-nanostructures on the surface of amorphous chalcogenide layers*, TMS Annual Meeting, San Francisco, USA, 2010.

7. M. Trunov, P. Lytvyn, P.M. Nagy, Cs. Cserh ti, **I. Charnovych**, S. Kokenyesi, *Direct surface relief formation in As-S(Se) layers*, Optical Components and Materials VII, San Francisco, USA, 2010.

8. M. Trunov, Cs. Cserhaty, P. Lytvyn, **I. Charnovich**, Yu. Kaganovskii, S.Kokenyesi, *Direct e-beam Formation of Giant Surface Relief in Amorphous As-Se Layers*, 4th International Conference on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications, Nara, Japan, 2012.

9. N. Dmitruk, V. Romanyuk, **S. Charnovych**, S. Kokenyesi, *Near-field plasmonic effects in As₂S₃-gold nanoparticle composite*, International meeting on Clusters and nanostructured materials Uzhgorod, Ukraine, 2012.