



*Óbudai Egyetem,
Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola,
Mikroelektronikai és Technológia Intézet*

III-V-alapú kvantumponthoz tartalmazó napelemek néhány technológiai aspektusa

Doktori (Phd.) értekezés

*Szerző: Ürmös Antal
okleveles villamosmérnök*

*Témavezető: Dr. Nemcsics Ákos
egyetemi tanár
az MTA Doktora*

*Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola
Budapest, 2018.*

1. A kutatás előzményei és módszerei

Ismeretes, hogy a nanostruktúrák alkalmazásával újfajta félvezető eszközök készíthetők illetve a hagyományos eszközök teljesítőképessége drasztikusan megnövelhető. Előbbire egy jó példa az ún. kvantumszámítógépek, míg utóbbira a nanostruktúrák napelemek. A hagyományos Si-alapú napelemek kevesebb mint 20%-os hatásfokát a III-V-ös vegyület-félvezetők közül (GaAs és rokon anyagai) növesztett nanostruktúrákkal készült napelemek hatásfoka jelentősen meghaladja. A GaAs-alapú struktúrák előállításának alapvető technológiai lépése az epitaxiás kristálynövesztés. Többféle ilyen eljárás létezik, melyek közül az UHV körülmények között történő molekulásugaras (MBE) technika a monoréteg-szintű szabályozhatóság és az in-situ megfigyelhetőség miatt kiemelkedik [M. A. Herman, 1996] [M. A. Herman, 2004] [H. Mohamed, 2012]. Az értekezésben szimulációkra és számításokra használt saját algoritmusom mellett fuzzy következtető rendszereket [L. A. Zadeh, 1965], Kohonen-féle önszerveződő leképezést [R. Rojas, 1996] [T. Kohonen, 2001] fraktálmatematikai módszereket és a lokalizációs faktort alkalmazom.

Az értekezés egyik előzménye, hogy a kutatócsoportunk által jegyzett publikációs jegyzékben írtunk a MBE berendezésünkről, melyet 2007-ben kezdtünk el fejleszteni [Á. Nemesics, 2009] [Á. Nemesics, 2010]. E kutatási irány célkitűzése a nanostruktúrák előállítására és karakterizálására alkalmas UHV környezet előállítása, struktúrák növesztése és in-situ, ex-situ vizsgálata.

Egy további előzmény, hogy a nagy hatásfokú, közbenső kvantum pont rétegekkel (IBQD - Intermediate Band Quantum Dot) készült napelemekről számos szerző közölt már tanulmányt [A. Luque, 2012] [T. Noda, 2010] [A. Benahmed, 2016] [S. Kremling, 2014].

Harmadik előzmény a csepp epitaxia technológiája. E módszer elgondolását Koguchi és munkatársai dolgozták ki részletesen az 1990-es évek elején [Á. Nemesics, 2011] [N. Koguchi, 1991][N. Koguchi, 1993] [T. Chikyow, 1990] [S. Sanguinetti, 2013], de már 1985 és 1991 közötti időszakban is jelentek meg már cikkek ebben a témában.

Negyedik előzmény az III-V anyagok kontaktusfémezéseinek geometriai tulajdonságainak vizsgálata, fraktálmatematikai módszerekkel [I. Mojzes, 2007] [Schusztar, M., 2003] [B. Varga, 2010] [T. Vicsek, 1992] [T. Vicsek, 1994] [F. Family, 1991] és a lokalizációs faktor módszerével [J. Pipek, 1992] [J. Pipek, 1994].

2. Célkitűzések

A kutatásainkat és ezen értekezés elkészítését az motiválta, hogy a hagyományos szilícium alapú napelemek hatásfoka kevesebb mint 20%, míg a GaAs hordozón növesztett a többszörös kvantumvölgyes (multiple quantum well (MQW)) napelemek hatásfoka 40% felett, míg a GaAs hordozón növesztett kvantum pontokat (intermediate band quantum dot (IBQD)) tartalmazó napelemek hatásfoka 60% feletti, de egyes típusok közelítik a 80%-ot.

Jelen értekezés a GaAs és rokon félvezetők közül készülő nanostruktúrák technológiájával és növekedéskinetikájuk vizsgálatával ill. modellezésével foglalkozik. Első célkitűzésem, hogy megvizsgáljam a nanolyukak feltöltődésének kinetikáját és modellezési lehetőségeit mikroszkópikus formában, a folyékony fémek viszkozitását kihasználva. Második célkitűzésként az önszerveződés útján kialakuló nanoszerkezetek klasztereződésével és osztályozásával valamint ezek tervezésével foglalkozom. A harmadik célkitűzésem a III-V alapú fém/vegyület-félvezető kontaktusok morfológiai tulajdonságainak a vizsgálata volt.

3. Új tudományos eredmények

1. tézis: Új modell, a dinamikai viszkozitás mikroszkópikus értelmezésére

Kidolgoztam egy módszert ill. formulát a dinamikai viszkozitás mikroszkópikus értelmezésére, melyben az atomi vibrációs frekvenciát és a tömbi aktivációs energiát használtam paraméterként. A tézishoz kapcsolódó publikációk: [T1], [T2], [T3].

2. tézis: Effektív modellezési algoritmus a III-V alapú nanolyukak feltöltődésére

Megalkottam egy modellt, melyben a leválasztott réteg térfogata az 1. tézisben említett dinamikai viszkozitásnak megfelelően megoszlik: egy része a nanolyukba, másik része a nanolyukat körülvevő gyűrűre, míg a harmadik része e gyűrű melletti felületre kerül, figyelembe véve a $\{001\}$ és az $\{111\}$ felületek diffúziós különbségeit. Az algoritmussal végzett szimuláció eredménye jól egyezik a [T3]-as cikkben lévő transzmissziós elektronmikroszkópos felvételen látható struktúrával. A tézishoz kapcsolódó publikációk: [T1], [T2], [T3].

3. tézis: III-V alapú nanolyukak feltöltődés-kinetikájának szimulációja

A kinetikus modell segítségével meghatároztam a nanolyukak időbeli feltöltődését a hőmérséklet függvényében, arra az esetre, ha a felületre Ga ill. In atomok érkeznek. A modellben a kristályosítás utáni állapotot vettem figyelembe. A rétegek egymásra épülésénél a nanolyuk melletti gyűrű magassága is növekszik. A modellezéshez bevezettem az ún. egyensúlyi magasság fogalmát. Továbbá megadtam egy matematikai leírást a Ga ill. az In hőmérséklet-viszkozitás és a hőmérséklet-egyensúlyi magasság értékpárjaira. A fentiekkel végzett szimuláció eredménye jól egyezik a [T3]-as cikkben lévő transzmissziós elektronmikroszkópos felvételen látható struktúrával. A tézishoz kapcsolódó publikációk: [T1], [T2], [T3].

4. tézis: Nanostruktúrák osztályozása Kohonen leképezéssel és fuzzy következtető rendszer alkalmazásával

Önszerveződő, ill. lágyszámítási leképezést alkalmaztam a csepp epitaxiás technológia támogatására, ahol kidolgoztam a nanostruktúrák osztályozásának és klaszterezésének lehetséges modelljeit Kohonen-féle önszerveződő hálózatok és fuzzy következtető módszerek alkalmazásával. Az osztályozás igen fontos, mivel ezen nanoszerkezetek alakja, mérete, eloszlása jelentősen befolyásolja a velük készült eszközök a tulajdonságait, működését. Emiatt a növesztés során fontos tudnunk, hogy adott technológiai paraméterek esetén hogyan és milyen tulajdonságú nanostruktúrák alakulhatnak ki.

A megoldás során alkotó módon alkalmaztam a lágyszámítást anyagtudományi feladatra. Meghatároztam a nanostruktúrák formatényezőjét Kohonen leképezéssel és fuzzy következtető rendszer alkalmazásával. A tézishoz kapcsolódó publikációk: [T4], [T5], [T6].

5. tézis: Fuzzy modell, a nanostruktúra tervezés támogatására

Modellt alkottam a nanostruktúra tervezés támogatására. Előállítottam egy olyan fuzzy modellt, ami segít ezen nanoszerkezetek tervezésében. Valós technológiai adatokkal ellenőrizve (növesztési hőmérséklet 230 °C, Ga részecskeáram 0,76 ML/sec, As háttérnyomás

1,05*10⁻⁴ Torr, hőkezelés ideje 10 min, a hőkezelés hőmérséklete 350 °C) a modell a növesztési hőmérsékletre 6,09 %, a Ga részecskeáramra 7,72 %, az As háttérnyomásra 3,65 %, a hőkezelés idejére és hőmérsékletére 0 %-os eltérést ad. A tézishoz kapcsolódó publikáció: [T5].

6. tézis: III-V anyagrendszer kontaktusfémzéseinek geometriai tulajdonságainak vizsgálata

Megállapítottam, hogy a InP-alapú félvezetőeszközök kontaktálásához használt Au/InP, Pd/InP és Au-Pd/InP kontaktus-rendszerek bizonyos hőmérséklet tartományokban önhasonlóan klasztereződik és nem ad folytonos struktúrát a felületen. Meghatároztam, hogy az Au/InP anyagrendszer a fraktáldimenziója 1,82 és 1,74 között valamint a Pd/InP fraktáldimenziója 1,75 és 1,8 között változik. Az Au-Pd/InP fraktáldimenziója pedig 1,7 és 1,8 között változik. A tézishoz kapcsolódó publikációk: [T7], [T8].

4. Az eredmények hasznosítási lehetősége

Az értekezésben ismertetett kutatási eredmények elősegítik a közbenső sávban lévő III-V hordozón, kvantum pontokkal (IBQD – intermediate band quantum dot) készült nagy hatásfokú napelemek tervezését molekulásugár-epitaxiás berendezésben, csepp epitaxia útján. A értekezésben ismertetett módszer a nanostruktúrák oszályozására is alkalmas, ami segítségével lehet a kutatóknak és a mérnököknek a technológia továbbfejlesztéséhez.

5. Irodalmi hivatkozások listája

[A. Luque, 2012] A. Luque, A. Martí, C. Stanley, "Understanding intermediate-band solar cells," *Nature Photonics*, vol. 6, pp. 146–152, February 2012.

[T. Noda, 2010] T. NODA, T. MANO, M. ELBORG, K. MITSUISHI, K. SAKODA, "Fabrication of a GaAs/AlGaAs Lattice-Matched Quantum Dot Solar Cell," *J. Nonlinear Optic. Phys. Mat.*, vol. 19, no. 4, pp. 681-686, 2010.

[A. Benahmed, 2016] A. Benahmed, A. Aissat, A. Benkouider, J. P. Vilcot, "Modeling and simulation of InAs/GaAs quantum dots for solar cell applications," *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, vol. 127, no. 7, pp. 3531–3534, April 2016.

[S. Kremling, 2014] S. Kremling, C. Schneider, S. Höfling, M. Kamp, A. Forchel, "AlGaInAs Quantum Dots for Intermediate Band Formation in Solar Cell Devices," in *Quantum Dot Solar Cells, Lecture Notes in Nanoscale Science and Technology*, Z. Wang J. Wu, Ed. New York: Springer, New York, 2014, ch. 7, pp. 167-186.

[Á. Nemcsics, 2011] Á. Nemcsics, "Growth of GaAs and related materials based nanostructures by droplet epitaxial method," *Recent Res. Devel. Mat. Sci. Engg.*, vol. 4, 2011.

[N. Koguchi, 1991] N. Koguchi, S. Takahashi, T. Chikyow, "New MBE growth method for InSb quantum well boxes," *Journal of Crystal Growth*, pp. 688-692, 1991.

[N. Koguchi, 1993] N. Koguchi, K. Ishige, "Growth of GaAs Epitaxial Microcrystals on an S-Terminated GaAs Substrate by Successive Irradiation of Ga and As Molecular Beams," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 32, p. 2052, 1993.

- [T. Chikyow, 1990] T. Chikyow, N. Koguchi, "MBE Growth Method for Pyramid-Shaped GaAs Micro Crystals on ZnSe(001) Surface Using Ga Droplets," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 29/2, p. 2093, 1990.
- [S. Sanguinetti, 2013] S. Sanguinetti, N. Koguchi, "Droplet Epitaxy of Nanostructures," in *Molecular Beam Epitaxy: From Research to Mass Production, 1st Edition*. Waltham, MA, USA: Elsevier Science, 2013, pp. 95-111.
- [D. Xie, 2006] D. Xie, M.P. Wang, W.H. Qia, L.F. Cao, "Thermal stability of indium nanocrystals: A theoretical study," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 96, no. 2-3, pp. 418-421, 2006.
- [R. Rojas, 1996] R. Rojas, "Kohonen Networks," in *Neural Networks, A Systematic Introduction*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1996, pp. 391-412.
- [T. Kohonen, 2001] T. Kohonen, *Self-Organizing Maps*, 3rd ed.: Springer, 2001.
- [L. A. Zadeh, 1965] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, 1965.
- [M. A. Herman, 2004] M. A. Herman, W. Richter, H. Sitter, *Epitaxy (Physical Principles and Technical Implementation)*. Berlin, Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 2004.
- [M. A. Herman, 1996] M. A. Herman, H. Sitter, *Molecular Beam Epitaxy, Fundamentals and Current Status* 2nd. ed. Berlin: Springer, 1996.
- [H. Mohamed, 2012] H. Mohamed, Ed., *Molecular Beam Epitaxy: From Research to Mass Production.*: Elsevier Science, 2012.
- [Á. Nemcsics, 2009] Á. Nemcsics, I. Réti, M. Serényi, G. V. Tényi, R. Hodován, J. Gábor, G. I. Taar, J. Pántos, J. Bozsik, S. Molnár, M. Jankóné Rózsa, "Report of the Installation of MBE Equipment," *Elektronikai Technológia, Mikrotechnika (In Hungarian)*, vol. 1, pp. 33-35, 2009.
- [Á. Nemcsics, 2010] Á. Nemcsics, I. Réti, G. Tényi V., P. Kucsera, L. Tóth, P. Harmat, A. Mieville, M. Csutorás, B. Kupás-Deák, T. Sándor, J. Bozsik, "Technical Conditions for the Formation of Molecular-Beam-Epitaxial Nanostructures," *Gép (In Hungarian)*, vol. 8, pp. 29-32, 2010.
- [T. Vicsek, 1992] T. Vicsek, *Fractal Growth Phenomena*, 2nd ed. Singapore, New Jersey: World Scientific, 1992.
- [T. Vicsek, 1994] T. Vicsek, *Fractals in Natural Sciences*, 1st ed., M. Shlesinger, M. Matsushita T. Vicsek, Ed. Singapore, New Jersey: World Scientific, 1994.
- [F. Family, 1991] F. Family, T. Vicsek, *Dynamics of Fractal Surfaces*, F. Family and T. Vicsek, Ed. Singapore, New Jersey: World Scientific, 1991.
- [J. Pipek, 1994] J. Pipek, I. Varga, "Mathematical characterization and shape analysis of localized, fractal, and complex distributions in extended systems," *International Journal of Quantum Chemistry*, vol. 51, no. 6, pp. 539-553, 1994.

[J. Pipek, 1992] J. Pipek, I. Varga, "Universal classification scheme for the spatial-localization properties of one-particle states in finite d-dimensional systems," Phys. Rev. A, vol. 46, p. 3148, 1992.

[I. Mojzes, 2007] I. Mojzes, Cs. Dominkovics, G. Harsányi, Sz. Nagy, J. Pipek, L. Dobos, "Heat treatment parameters effecting the fractal dimensions of AuGe metallization on GaAs" Applied Physics Letters, vol. 91. (2007), pp. 073107

[Schusztter, M., 2003] Schusztter, M., Bodnár, Z., Dobos, L. and Mojzes, I. (2003), A novel evaluation method to determine the fractal dimension of SEM images: a study of Au/Pd/GaAs contacts during heat treatment. phys. stat. sol. (c), 0: 1051–1054. doi:10.1002/pssc.200306326

[B. Varga, 2010] B. Varga, L. M. Molnár, Sz. Nagy, I. Mojzes, Fractal properties of AlGeNi layers on GaAs surfaces, Vacuum, vol. 84 (2010) pp. 251–253

6. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

[T1] Ákos Nemcsics, Bálint Pődör, Lajos Tóth, János Balázs, László Dobos, János Makai, Márton Csutorás, Antal Ürmös: „Investigation of MBE grown inverted GaAs quantum dots” MICROELECTRONICS RELIABILITY 59: pp. 60-63. (2016) Impakt Faktor: 1.371 (2016)

[T2] A. Ürmös, Z. Farkas, Á. Nemcsics: „Modeling of III-V-based Nanohole Filling”, ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 17:(2) pp. 91-111. (2017) (ISSN: 1785-8860) Impakt Faktor: 0.745 (2016)

[T3] A. Ürmös, Z. Farkas, Á. Nemcsics: „Contribution to the understanding of III-V based nanohole filling” AMERICAN JOURNAL OF CONDENSED MATTER PHYSICS 7:(2) pp. 50-56. (2017)

[T4] A. Ürmös, Z. Farkas, M. Farkas, T. Sándor, L. T. Kóczy, Á. Nemcsics: “Application of Self-Organizing Mapping for Technological Support of Droplet Epitaxy” ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 14: (4) pp. 207-224. (2017) (ISSN: 1785-8860) Impakt Faktor: 0.745 (2016)

[T5] Antal Ürmös, Zoltán Farkas, Tamás Sándor, Ákos Nemcsics: Soft-computing based classification and design of quantum dot nanostructures on GaAs substrate
In: Szakál Anikó (szerk.) IEEE 15th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics: SISY 2017. Konferencia helye, ideje: Szabadka, Szerbia, 2017.09.14-2017.09.16. New York: IEEE, 2017. pp. 123-127. (ISBN:978-1-5386-3855-2)

[T6] A. Ürmös, M. Farkas, L. T. Kóczy and Á. Nemcsics, "Quantum structure classification by Kohonen Self-Organizing Map and by Fuzzy C-Means algorithm," 2013 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE2013), Budapest, 2013, pp. 313-318.

[T7] Varga Bernadett, Ürmös Antal, Nagy Szilvia, Mojzes Imre, „Fractal properties of gold, palladium and gold-palladium thin films on InP” VACUUM 84:(1) pp. 247-250. (2009) Impakt Faktor: 0.975 (2009)

[T8] A. Ürmös, Z. Farkas, L. Dobos, Sz. Nagy, Á. Nemcsics, "Some contacting problems of the GaAs-based solar cell" ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA (ISSN: 1785-8860) (megjelenés alatt) Impakt Faktor: 0.745 (2016)

7. Egyéb, témához kapcsolódó publikációim

[9] Kucsera P., Sándor T., Tényi V. G., Csutorás M., Bátori G., Kupás-Deák B., Réti I., Ürmös A., Nemcsics Á.: Nanostructure Growth Supported by In Situ RHEED Evaluation, MATERIALS SCIENCE FORUM 885: pp. 234-238. (2017)

[10] Antal Ürmös, Zoltán Farkas, Márk Farkas, Tamás Sándor, László T Kóczy, Ákos Nemcsics: Fuzzy and Kohonen SOM based classification of different 0D nanostructures, In: Szakál A (szerk.) SAMI 2017: IEEE 15th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics. 510 p. Konferencia helye, ideje: Herlany, Szlovákia, 2017.01.26-2017.01.28. Budapest: IEEE, 2017. pp. 365-369. (ISBN:978-1-5090-5654-5)

[11] Ürmös Antal, Farkas Zoltán, Sándor Tamás, Nemcsics Ákos: Algoritmus GaAs-alapú nano-szerkezetek tervezéséhez, In: Csibi Vencel-József (szerk.) OGÉT 2017: XXV. Nemzetközi Gépészeti Konferencia: 25th International Conference on Mechanical Engineering. 500 p. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2017.04.27-2017.04.30. Kolozsvár: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), pp. 440-443.

[12] Kucsera P., Tényi G., Sándor T., Ürmös A., Nemcsics Á.: A molekulásugár-epitaxiás berendezéssel kapcsolatos mechatronikai fejlesztések In: Dr Csibi Vencel-József (szerk.) OGÉT 2016: XXIV. Nemzetközi Gépészeti Találkozó = 24th International Conference on Mechanical Engineering. 516 p. Konferencia helye, ideje: Déva, Románia, 2016.04.21-2016.04.24. Kolozsvár: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), pp. 283-286.

[13] Ürmös Antal, Farkas Zoltán, Nemcsics Ákos: A GaAs- alapú nanolyukak feltöltődésének modellezése, In: s n (szerk.) XXXII. Kandó konferencia: Kandó a tudomány hajóján. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2016.11.17 Budapest: Óbudai Egyetem, 2016. pp. 1-19. (ISBN:978-963-7158-07-0)

[14] Ürmös Antal, Farkas Zoltán, Farkas Márk, Sándor Tamás, Kóczy T László, Nemcsics Ákos Önszerveződő leképezés alkalmazása csepp epitaxia technológiai támogatására, In: s n (szerk.) XXXII. Kandó konferencia: Kandó a tudomány hajóján. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2016.11.17 Budapest: Óbudai Egyetem, 2016. pp. 1-19. (ISBN:978-963-7158-07-0)

[15] Ürmös Antal, Farkas Zoltán, Nemcsics Ákos: Molekulásugár-epitaxiás kristálynövekedés modellezése Kinetic Monte-Carlo módszerrel, In: Temesvári Zsolt (szerk.) XXXI. Kandó konferencia 2015: "Kandó a tudomány hajóján". Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2015.11.19 Budapest: Óbudai Egyetem, KVK Villamosenergetikai Intézet, 2015. pp. 1-19. (ISBN:978-963-7153-06-3)

[16] Réti István, Ürmös Antal, Nádás József, Rakovics Vilmos: Nanostruktúrák LED-ek **ELEKTROTECHNIKA 107**:(11) pp. 19-23. (2014)

[17] István Réti, Antal Ürmös, MBE Technology in the Colourful LED and Solar Cell Production, In: Ürmös Antal, Mihalik Gáspár (szerk.) Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2012.06.12-2012.06.14. Budapest: Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, 2012. (1.)

[18] Tényi V. G., Szokolczi H., Ürmös A., Nemcsics Á.: Napelemek időszakos vizsgálata: Termelési-terhelési jellemzői megállapításának egyes kérdései In: Temesvári Zs. (szerk.) 28. Kandó Konferencia. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2012.11.08 Budapest: Óbudai Egyetem, 2012. p. &. (ISBN:978-615-5018-41-1)

[19] Nemcsics Á., Réti I., Harmat P., Tóth L., Csutorás M., Bátori G., Plósz B., Dobos L., Ürmös A., Pődör B., Gruber S., Pruzsina F., Kucsera P., Tényi V. G., Sándor T., Balázs J., Makai J., Kupás-Deák B., Nagy L.: Activity in the joint MBE laboratory: investigations of the droplet-epitaxially grown nano-structures and equipment developments In: Menyhárd M, Daróczi Cs. S. (szerk.) MFA Yearbook 2011. Budapest: MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet (MFA), 2011. pp. 80-81.

[20] Ákos Nemcsics, Gusztáv V. Tényi, Antal Ürmös, Tamás Sándor, Márton Csutorás, Szokolci Hunor: About the Solar Cell Materials Laboratory at Obuda University and about the student's contribution in its work, In: Prof Vitezslav Benda (szerk.) IWTPV' 16 Proceedings: 8th INTERNATIONAL WORKSHOP ON TEACHING IN PHOTOVOLTAICS. Konferencia helye, ideje: Prague, Csehország, 2016.04.07-2016.04.08. Prague: Czech Technical University in Prague, 2016. p. &. 4 p. (ISBN:978-80-01-05935-7)

[21] Ürmös A., Nemcsics Á.: Correction of the Concentration Profile of the Epitaxially Grown GaAs Thin Film Layers, Measured by Electrolytic Capacitance-Voltage Method In: Anikó Szakál (szerk.). Proceedings of The 13th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics: CINTI 2012. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2012.11.20-2012.11.22. Budapest: IEEE Hungary Section, 2012. pp.137-140. (ISBN:978-1-4673-5204-8)

[22] Ürmös Antal, Renan Baiocchi, Felipe Jubert, Nemcsics Ákos: Elektrokémiai napelem átmenetének modellezése In: Temesvári Zsolt (szerk.) XXXI. Kandó konferencia 2015: "Kandó a tudomány hajóján". Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2015.11.19 Budapest: Óbudai Egyetem, KVK Villamosenergetikai Intézet, 2015. Paper 000011209. (ISBN:978-963-7153-06-3)

[23] Nemcsics Ákos, Ürmös Antal: Önszerveződő alacsony-dimenziós rendszerek tantárgy az Óbudai Egyetem mechatronikai oktatásában. In: Dr Csibi Vencel-József (szerk.), OGÉT 2016: XXIV. Nemzetközi Gépészeti Találkozó = 24th International Conference on Mechanical Engineering. 516 p., Konferencia helye, ideje: Déva, Románia, 2016.04.21-2016.04.24. Kolozsvár: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), pp. 335-338.

[24] Ákos Nemcsics, A. Ürmös: Subject of "Low-dimensional Selfassembling System" in the mechatronical education at the Obuda University, In: László Gogolák, Igor Fürstner (szerk.) Proceedings of the 3rd international conference and workshop Mechatronics in Practice and Education - MECHEDU 2015. Konferencia helye, ideje: Szabadka, Szerbia, 2015.05.14-2015.05.16. Szabadka: Subotica Technical College of Applied Sciences, 2015. pp. 92-95. (ISBN:978-86-918815-0-4)

[25] Antal Ürmös, Ákos Nemcsics: DOPING CONCENTRATION PROFILE CORRECTION OF THE EPITAXIAL THIN FILM LAYERS, MEASURED BY ELECTROLYTIC METHOD, In: Facultatea de Inginerie Hunedoara, Simpozion Stiintific Studentesc: HD-45-STUD. Konferencia helye, ideje: Hunedoara, Románia, 2015.05.22-2015.05.23. Hunedoara: Universitatea Politehnica din Timisoara, Facultatea de Inginerie Hunedoara, 2015. pp. 1-5. (ISBN:978-973-0-18929-2)