

Nemcsics, Ákos; Ürmös, Antal: *Molekulasugár-epitaxia a villamosmérnök és mechatronikai mérnökképzésben* In: Prof., Barabás István - OGÉT 2019 Nemzetközi Gépészeti Konferencia Nagyvárad, Románia : Erdélyi Magyar Tudományos Társaság, (2019) pp. 384-387. , 4 p.

## **Molekulasugár-epitaxia a villamosmérnök és mechatronikai mérnökképzésben**

### **Molecular-beam epitaxy in the electrical engineering and the mechatronics education**

**NEMCSICS Ákos, DSc., egy.tan., ÜRMÖS Antal, PhD. óraadó**

Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, 1084 Budapest, Tavaszmező u. 17.

e-mail: [nemcsics.akos@kvk.uni-obuda.hu](mailto:nemcsics.akos@kvk.uni-obuda.hu), [urmos.antal@kvk.uni-obuda.hu](mailto:urmos.antal@kvk.uni-obuda.hu)

*A nano-technológia bevonult a mindennapjainkba a mosószergyártástól kezdve az autóiiparig bezárólag. Ez a technológia nem maradhat ki a korszerű oktatásból sem. Több tantárgyunk tematikájában is megtalálható a nano-világ és technológiája. A szerzők által is oktatott tantárgyak közül az Önszerveződő alacsony-dimenziós rendszerek és a Napelemek tantárgy említendő. Előbbi a mechatronikai, az utóbbi a villamosmérnöki képzésben. A témába vágó technológia alapberendezése a molekulasugár epitaxia. A berendezés ismertetése után, bemutatjuk a készüléken végzett hallgatói fejlesztéseket is. Összefoglaljuk a berendezéshez köthető tudományos eredményeinket és a fejlesztés lehetőségeit.*

*Kulcsszavak: nano-technológia, anyagtudomány, kvantumpont, önszerveződés*

*The nanotechnology has marched into our daily life from detergent production to automotive industry. This technology can not stay away from state-of-art education. The nano-world and its technology can be found in many places in the thematik more of our subjects. Among the subjects, educated by the authors, the Self-organized Low Dimensional Systems and the Solar Cells subjects can be mentioned. The former in the mechatronics education, the latter in the education of electrical engineering. The main instrument, suitable to this topic is the molecular-beam epitaxy equipment. After the introduction of the equipment, the developments are introduced, made by our students. The results and the development possibilities are summarized relate to this instrument.*

*Keywords: nanotechnology, material science, quantum dot, self-organization*

## **1. Bevezetés**

Ma az interdiszciplinaritás korszakát éljük. A technika fejlődése új kihívások elé állítja a munkavállalókat, sok esetben a diszciplínák közötti átjárás igényével. A munkaerőigény új szakmákat hív életre, melyek lehetnek teljesen újak, de sok esetben tradicionális szakmák kombinálásával jönnek létre. Az optoelektronikai, számítástechnikai, híradástechnikai stb. berendezéseink az elektronikán kívül jelentős finommechanikai tartalommal bírnak. Ezek tervezése, üzemeltetése, szervizelése új szakmát igényel. A műszaki felsőoktatásban az igényt kielégítendő, megjelent a gépészmérnöki és villamosmérnöki szakokból létrejövő mechatronikai mérnöki képzés ill. szakma. Ebből a fejlődésből az egyetemünk sem akart kimaradni, így nálunk is bevezetésre került a mechatronikai mérnöki szak, melynek a gazdája a Bánki Donát Gépészmérnöki Kar, de az oktatásban természetesen részt vesz a Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar is. A gépész és villamosmérnöki tárgyak közé bekerült az Önszerveződő alacsony-dimenziós rendszerek című tantárgy is. A tantárgy tematikájáról egy korábbi munkánkban már beszámoltunk [1]. Sajnálatos jelenség napjainkban a fiatalok körében a

Nemcsics, Ákos; Ürmös, Antal: **Molekulasugár-epitaxia a villamosmérnök és mechatronikai mérnökképzésben** In: Prof., Barabás István - OGÉT 2019 Nemzetközi Gépészeti Konferencia Nagyvárad, Románia : Erdélyi Magyar Tudományos Társaság, (2019) pp. 384-387. , 4 p.

mérnöki szakmák iránti fogyatkozó érdeklődés. Ennek ellensúlyozására, ledolgozására a hallgatók motivációját kell erősíteni. A hallgatói érdeklődést és motivációt oktatásban alkalmazott és hivatkozott technológia alapvetően befolyásolja. Tapasztalataink szerint a mérnöki készségek elsajátításában, azok a hallgatók sokkal motiváltabbak, akik a feladatukat egy high-tech berendezéshez kötődően készítik, mint azok, akiknek ez nem adatik meg. A molekulasugár-epitaxia ill. a hozzá tartozó berendezés napjaink csúcstechnológiája a félvezetőiparban és általában az anyagtudományi területen. Kutatócsoportunk a Kieleti Egyetem Kísérleti Fizikai Intézetével való együttműködésnek köszönhetően tett szert egy molekulasugár-epitaxiás berendezésre [2, 3]. Ezáltal az igen nagy értékű (újonnan több száz-millió Forint) berendezés által hazai viszonylatban unikális helyzetbe került nem csak a kutatócsoportunk, de az Egyetemünk is. Hasonló berendezés ezen kívül csak egy található az országban. A berendezést ill. annak fejlesztés-igényét rögtön hasznosítottuk is az oktatásban, a hallgatói és oktatói kreativitás kiaknázásával.

## **2. A berendezéshez kötődő hallgatói és oktatói aktivitás**

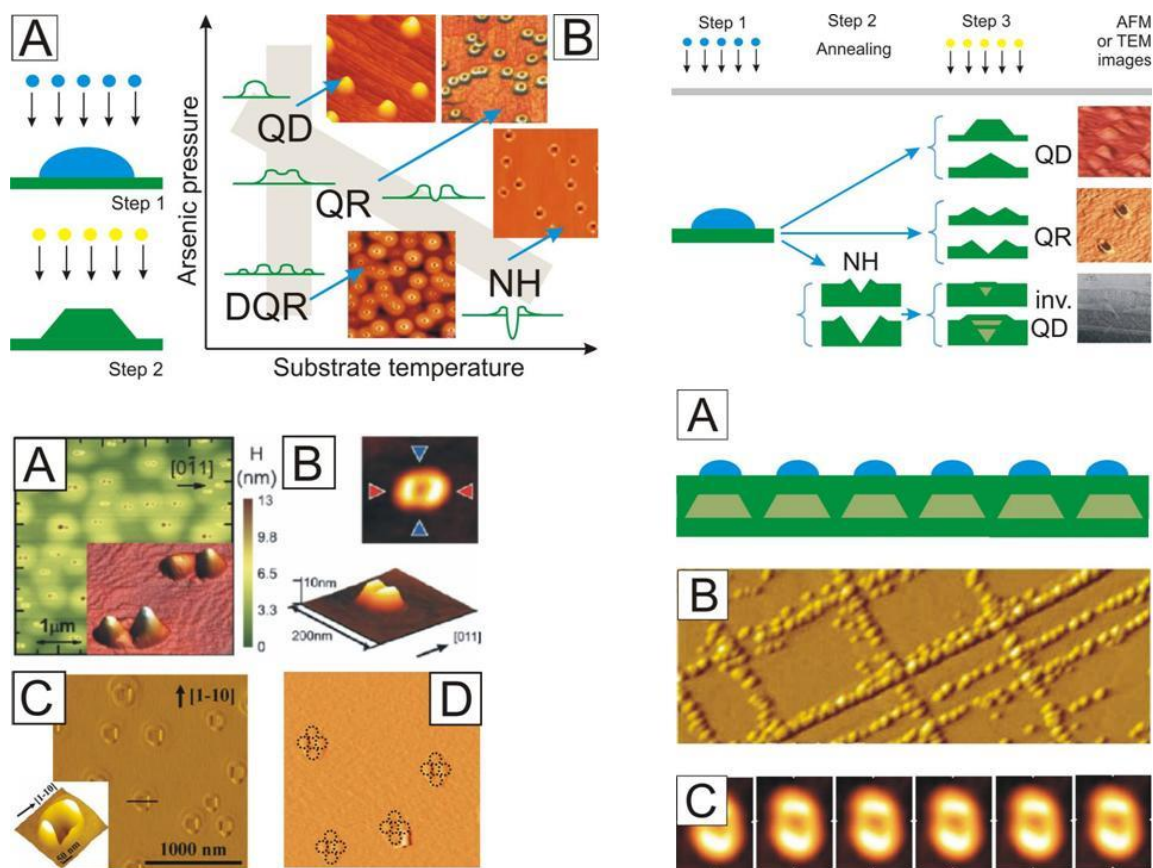
Az első szerző a fent említett kutatóhelyen dolgozva tett szert a berendezést eredményező kapcsolatra. A német kollégák egy új berendezést beszerezve nekünk ajándékozták a korábbi berendezésük fő egységeit. A berendezést jól ismerve neki is láttunk a kollégákkal és a hallgatókkal a fejlesztésnek. A Kandó Kar szakképzési alapjából több millió Forintot kaptunk a hiányzó egységek beszerzéséhez. (A teljesség igénye nélkül néhány ezek közül: quadrupól tömegspektrométer, turbomolekuláris szivattyú, nagyméretű tolózár, lineáris és rotációs vákuumátvezetők, mintabevető ablak, vákuummérők stb.) A berendezés fejlesztésében számos hallgatónk vett részt szakdolgozat, TDK munka formájában, nemcsak az Óbudai Egyetemről, de volt két hallgató a müncheni Műszaki Főiskoláról és egy Erasmusos hallgató Svájcban is [4]. Több tudományos folyóirat cikk, sőt két doktori értekezés is született e munka során [5, 6]. Az egyik legértékesebb eredményünk a in-situ képfeldolgozáson alapuló suroló-szögű elektronsugaras kristály-növekedés vizsgáló, melynek alap programját Csutorás Márton egykori hallgatónk készítette [7]. Ez a munkatársi és hallgatói aktivitás egy igazi sikertörténet. A berendezés nemcsak kiegészült a hiányzó részekkel és profibb vezérlés és kiértékelő készült hozzá, mint amilyent vásárolni lehetne, hanem ezáltal a kutatólabor „legénysége” is alakulóban (volt). A fejlesztések egy részéről egy korábbi munkánkban számoltunk be [8].

## **3. A berendezés és a technológia megjelenése az oktatásban**

A molekulasugár-epitaxia ill. a berendezés megjelenik az oktatásunkban is. Ma már szinte minden félvezető eszköz tartalmaz valamilyen alacsony-dimenziós nano-struktúrát a LED-ektől kezdve a napelemekig. (Egy ilyen BME – OE hallgatói, oktatói közös napelemes szatelit projektről be is számoltunk már korábban [9].) Az oktatásból nem maradhat ki ez a modern technológia, ráadásul, ha az már a mindennapi életünkben is jelenvaló valóság. Esetünkben ez különösen igaz ha már a hallgatóink is és az oktatóink is testközelből ismerik a molekulasugár-epitaxiás berendezést. A napelemes tananyag része a nagy hatásfokú eszközök, ahol szólnunk kell erről a technológiáról [10]. A nano-világ önszerveződő struktúráinak előállításában alap technológia a molekulasugár epitaxia. Az elmélet szemléltetéséhez, az alkalmazások megértéséhez elengedhetetlen ennek a technológiának az ismerete [11]. De ne felejtjük el, egy egyetem, nemcsak oktatási, de kutatási intézmény is. Színvonalas kutatás nélkül nincsen színvonalas oktatás sem. A téma természetesen a doktori képzésben is szerepel. Az említett berendezés infrastruktúrális háttérül is szolgál(hatott volna) a doktori iskolánknak. Ezzel tovább is léptünk a kutatási szférába.

#### 4. A molekulasugár-epitaxia és a logikai áramkörök

A molekulasugár-epitaxiás kutatásainkat japán, olasz, német és brit kollégákkal közösen végezzük. Nemrég záródott projektünkben terahertzes sugárzás generálására alkalmas nanostruktúra komplex kialakítása, vizsgálata volt a téma. A kutatásnak több kapcsolódó folyamánya keletkezett. A horizontális és vertikális pozicionálás lehetővé teszi áramkörök önszerveződő módon való kialakítását. A számítástechnikai miniaturizálásban jelentkező limit, ill. a kvantumszámítógépeknél jelentkező hardver-igény a kvantumpontokfelé fordíthatja a figyelmet. Ezek a struktúrák molekulasugár epitaxia egy új válfajával az ún csepp-epitaxiával állíthatók elő [12-14]. Ezekről a struktúrákról részletesen beszámoltunk [15-17]. Az alábbiakban egy ilyen elrendezést láthatunk.



1. ábra. Molekulasugár-epitaxiával előállítható nano-struktúrák szemléltetése.

#### 5. Hivatkozásjegyzék

- [1] Nemcsics Ákos, Ürmös Antal: Önszerveződő alacsony-dimenziós rendszerek tantárgy az Óbudai Egyetem mechatronikai oktatásában; OGÉT, Déva (2016) pp. 335-338.
- [2] S. K.: Terahertzes sugárzás generálása nanostruktúrák segítségével; Innotéka Magazin, p. 14, január-február 2016.

Nemcsics, Ákos; Ürmös, Antal: **Molekulasugár-epitaxia a villamosmérnök és mechatronikai mérnökképzésben** In: Prof., Barabás István - OGÉT 2019 Nemzetközi Gépészeti Konferencia Nagyvárad, Románia : Erdélyi Magyar Tudományos Társaság, (2019) pp. 384-387. , 4 p.

- [3] S. K: Önszerveződő nano struktúrák molekulasugár-epitaxiával; Innotéka Magazin, pp. 14-15, július 2016.
- [4] A teljesség igénye nélkül néhány név a legkiválóbbak közül: Bozsik Judit (MAI, szakdolgozat, tudományos cikkek), Csutorás Márton (MAI, szakdolgozat, TDK dolgozat, tudományos cikkek), Amandou Mieville (svájci hallgató, szakdolgozat), Janine Unger (németországi hallgató, szakdolgozat) Stefan Gruber (németországi hallgató, szakdolgozat) Hodován Róbert (MTI szakdolgozat), Sándor Máté (MTI szakdolgozat), Bátor Gergő (MAI szakdolgozat), Molnár Sándor (MTI), Taar István, Gergely (MTI).
- [5] Réti István: Nagy hatásfokú félvezető alapú napelemek; Szent István Egyetem, Gödöllő, doktori ért. 2015.
- [6] Ürmös Antal: III-V-alapú kvantumponthoz tartozó napelemek néhány technológiai aspektusa; Óbudai Egyetem, Anyagtud. és Technol. Doktori Isk., Budapest, doktori ért. 2018.
- [7] Kucsera P., Sándor T., Tényi V. G., Csutorás M., Bátor G., Kupás-Deák B., Réti I., Ürmös A., Nemcsics Á.: Nanostructure Growth Supported by In Situ RHEED Evaluation, Materials Science Forum, vol. 885, pp. 234-238, 2017.
- [8] Kucsera Péter, Tényi Gusztáv, Sándor Tamás, Ürmös Antal, Nemcsics Ákos: A molekulasugár-epitaxiás berendezéssel kapcsolatos mechatronikai fejlesztések. OGÉT, Déva (2016) pp. 283-286.
- [9] Hödl E. V., Herman T., Géczy G., Kristóf T., Kálmán T., Józsa V., Petróczy B., Dudás L., Csarnai T., Nemcsics Á., Gschwindt A.: Hallgatók által készített nagy hatásfokú napelemmel működő műhold; OGÉT, Marosvásárhely 2018.
- [10] Nemcsics Ákos: A napelem működése, fajtái és alkalmazása; (2. jav. kiadás), BMF KVK 1188, Budapest 2005
- [11] Nemcsics Ákos, Ürmös Antal: Önszerveződő alacsony-dimenziós rendszerek tantárgy elméleti és gyakorlati anyaga előkészületben
- [12] G.L. Snider, A.O. Orlov, I. Amlani, X. Zuo, G.H. Bernstein, C.S. Lent, J.L. Merz and W. Porod, "Quantum Cellular Automata," Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films, vol. 17, pp. 1394-1398, 1999.
- [13] G.L. Snider, A.O. Orlov, I. Amlani, X. Zuo, G.H. Bernstein, C.S. Lent, J.L. Merz and W. Porod, "Quantum-dot cellular automata: Review and recent experiments (invited)," Journal of Applied Physics, vol. 85, pp. 4283-4285, 1999.
- [14] N. Koguchi, S. Takahashi, T. Chikyow, "New MBE growth method for InSb quantum well boxes," Journal of Crystal Growth, pp. 688-692, 1991.
- [15] Á. Nemcsics: Quantum Dots Prepared by Droplet Epitaxial Method; Chapter 5 in; Quantum Dots - Theory and Applications; InTech (2015) pp. 119-149.
- [15] Á. Nemcsics, A. Ürmös, L. Tóth.: Droplet Epitaxy and its Possibilities in Nanoelectronics; in IEEE, vol. International Symposium on Next-Generation Electronics (ISNE 2018), Taipei, Taiwan, 2018, pp. 122-124.
- [16] Ákos Nemcsics: Droplet Epitaxy as a Tool for the QD-Based Circuit Realization; Chapter 3 in; Nonmagnetic and Magnetic Quantum Dots; InTech (2015) pp. 43-5