

OTKA T048696: Nanoszemcsék és nanorétegek félvezető
szerkezetekben - elektromos és fotoelektromos tulajdonságok
(Futamidő: 2005-2008)

Zárójelentés

2004-ben a munkaterv megfogalmazásakor az alábbi kutatási irányt és feladatokat tűztük ki célul:

Első sorban nanoméretű szemcséket és rétegeket tartalmazó szerkezetek előállítási körülményeit és azok szerkezeti, elektromos, foto- és elektrolumineszcens, valamint memória tulajdonságait terveztük vizsgálni. A vizsgálatokat szilíciumon létrehozott fém vagy félvezető nanoszemcséket tartalmazó általunk előállított vagy nemzetközi együttműködésből kapott szerkezeteken terveztük elvégezni. Szigetelő réteggként első sorban szilícium-dioxid és szilícium-nitrid rétegeket kívántunk alkalmazni. Germánium, szilícium, szilicid, II-VI félvezető és platina szemcsék vizsgálatát terveztük. A létrehozott szerkezetek tulajdonságait optimalizálni kívántuk mind a memóriaszközök, mind az elektrolumineszcencia irányába.

Egyéb, a mikro- és optoelektronikai alkalmazások szempontjából arra érdemesnek tűnő heteroszerkezetek vizsgálatait is el kívántuk végezni. A félvezető heteroszerkezetek terén folytatni kívántuk a SiGe, GaAs és GaSb alapú struktúrák vizsgálatait. A vizsgálatokat a II-VI félvezetők irányába is ki kívántuk terjeszteni.

Továbbá folytatni terveztük a témához tartozó korábban felgyűlt feldolgozatlan kísérleti anyag értékelését és publikációját, valamint a kísérleti eredmények interpretációjához szükséges, ill. az azok által előtérbe kerülő kérdések analízisét és/vagy modellezését.

A fenti feladatok terén kifejtett fő tevékenységek és a fontosabb eredmények a következők:

Si nanokristályok szilícium-nitridben és szilícium-oxid - szilícium-nitrid között

Kísérleteket végeztünk annak érdekében, hogy szilícium-nitrid rétegben szilícium nanokristályokat hozzunk létre (MNS szerkezetek). Több mintasorozatot növesztettünk. A sorozatok egy részében Si többletet tartalmazó (0-10% Si többlet) homogén SiN_x rétegeket növesztettünk 800-830 °C-on alacsonynyomású kémiai gőzfázisú leválasztással (LPCVD), és azokat hőkezeltük a 900-1100 °C-os hőmérséklettartományban 1 ill. 3 órán át formáló gázban. A sorozatok másik részében három rétegű szerkezetet állítottunk elő: két vékony (20-40 nm) szilícium-nitrid réteg közé egy nanokristályos szilícium réteget választottunk le (10-20 nm) szintén LPCVD technikával. A minták egy részét itt is hőkezeltük [1,2].

Vizsgáltuk ezen szerkezetek kristályszerkezeti és optikai tulajdonságait, valamint fémezés után az elektromos és memória tulajdonságaikat keresztmetszeti transzmissziós elektronmikroszkópia (XTEM), spektrális ellipszometria, valamint hőmérsékletfüggő áram-feszültség, kapacitás-feszültség és memóriahiszterézis mérések segítségével.

Az XTEM mérések alapján az egyrétegű szerkezetekben nem találtunk nanokristályokat, de a többrétegű szerkezetekben sikerült Si nanokristályokat létrehozni. Az elektromos és memória tulajdonságok erősen függtek az előállítási körülményektől, a rétegvastagságoktól és a hőkezeléstől.

A szerkezetek optimalizálása végett újabb mintasorozat készítésével és vizsgálatával folytattuk a Si nanokristályokat tartalmazó három rétegű szilícium-nitrid szerkezetek vizsgálatait, melyek során két vékony szilícium-nitrid réteg közé egy nanokristályos szilícium réteget választottunk le LPCVD technikával. A Si nanokristályos réteg leválasztási idejének a hatását vizsgáltuk. A keresztmetszeti transzmissziós elektronmikroszkópia mérések szerint

60 s leválasztási ideig különálló Si nanokristályokat kaptunk, a nanokristályos Si réteg ennél hosszabb idejű leválasztása esetén viszont már összefüggő réteg alakult ki. A memóriatulajdonságok vizsgálatai azt mutatták egyrészt, hogy a beírási-törlési tulajdonságok romlottak a nanokristályos réteg esetén az azt nem tartalmazó referencia mintához képest. Másrészt a retenció nem függött a nanokristályok jelenlététől 60 s leválasztási ideig, hosszabb leválasztás - vagyis összefüggő nanokristályos réteg - esetén viszont a retenció jelentősen romlott [3].

Jelentős lépést tettünk a memória tulajdonságok javítása terén MNOS (fém-nitrid-oxid-szilícium) szerkezetek létrehozásával. Legjobb tudomásunk szerint a világon elsőként vizsgáltunk félvezető nanokristályokat tartalmazó MNOS szerkezeteket. Itt a Si nanokristályokat egy, a Si hordozóra növesztett vékony szilícium-oxid rétegre választottuk le, majd szilícium-nitrid réteggel borítottuk. Ezen szerkezetek esetében az optimalizáció során a Si nanokristályos réteg leválasztási idejének hatását és a szilícium-oxid előállítási körülményeinek a hatását vizsgáltuk. Három fajta oxiddal végeztük a kísérleteket: két fajta salétromsavas kezeléssel előállított kémiai oxiddal és termikus oxiddal. A kémiai oxidok vastagsága 2,5 nm és 4,5-5,0 nm, a termikus oxid vastagsága 4,2 nm volt [4].

Annak ellenére, hogy a hasonló leválasztási körülmények között készült MNS szerkezetekben a keresztmetszeti transzmissziós elektronmikroszkópos képek jól látható 5-10 nm-es Si nanokristályokat mutattak, az MNOS szerkezeteken készült keresztmetszeti transzmissziós elektronmikroszkópos képeken nem látszottak Si nanokristályok. A Röntgen fotoelektron spektroszkópiás (XPS) eredmények viszont egyértelműen kimutatták a Si nanokristályok jelenlétét mind a 30 s-os, mind a 60 s-os leválasztási idő esetén [5]. A nanokristályos szerkezetek memóriatulajdonságai is különböztek a referencia mintától, ami áttételesen szintén a nanokristályok jelenlétére mutat. A látszólagos ellentmondás valószínű oka, hogy az oxidrétegen kisebb a növekedési sebesség, és emiatt kisebb nanokristályok alakulnak ki, mint a nitridrétegen. Jelentős különbség van a növesztés dinamikájában is, ami szintén kisebb nanokristályok kialakulásához vezethet az oxidrétegen. Amikor két nitridréteg közé növesztjük a Si nanokristályos réteget, akkor elzárjuk az ammónia áramlását és megnöveljük a diklórszilán áramlási sebességét, majd a növesztési idő elteltével visszaállítjuk a korábbi áramlási értékeket. Ezzel szemben akkor, amikor az oxidrétegre növesztjük a nanokristályokat, csak a diklórszilánt engedjük be a reaktorba, majd a növesztési idő eltelté után csökkentjük az áramlási sebességét és beengedjük az ammóniát is.

A legjobb töltésbeviteli tulajdonságokat a 2,5 nm vastag oxidréteget tartalmazó mintákon kaptuk. A memóriaablak a Si nanokristályokat tartalmazó minták esetében jóval szélesebb volt, mint a referencia minta esetében. A 30 s-mal és 60 s-mal növesztett Si nanokristályokat tartalmazó mintákon kapott eredmények gyakorlatilag egybeesnek. Az ezeken a szerkezeteken kapott eredmények összevethetők az irodalmi eredményekkel. Nevezetesen, ± 9 V-os és ± 10 V-os, 10 ms-os beíró/törlő feszültség esetén 1,2 V-os és 1,7 V-os memóriaablak-szélességet kaptunk, a nanokristályok jelenléte viszont kis mértékben rontotta a retenció tulajdonságokat.

A tulajdonságok további javítása végett Si nanokristályokat tartalmazó többrétegű Si/SiO₂/Si₃N₄/nc-Si/Si₃N₄ és Si/SiO₂/Si₃N₄/nc-Si/SiO₂/Si₃N₄ mintasorozatot készítettünk, ahol mind az első, mind a második vékonyoxid réteget salétromsavas növesztéssel állítottuk elő. A minták extrém jó töltésinjekciós tulajdonságokkal rendelkeztek: ± 8 V, ± 10 V, ± 12 V és ± 15 V amplitúdójú, 10 ms szélességű író/törlő impulzusokat használva 7,8 V, 10,3 V, 13,1 V és 16,5 V széles memóriaablakokat kaptunk. A töltéstárolási idők viszont rövidek voltak, így ezek a szerkezetek perspektivikusnak tűnnek olyan alkalmazásokban, ahol kis író/törlő impulzus amplitúdókra van szükség, de nincs szükség több éves információátárolásra (pl. DRAM) [5].

Ge nanokristályok szilícium-dioxidban, szilícium-nitridben és szilícium-oxid - szilícium-nitrid között

Ge nanokristályokat tartalmazó szerkezetek esetében a nanokristályokat vákuumpárolgatással hoztuk létre. Először két CVD oxidréteg közé választottuk le a Ge nanokristályokat. A leválasztási idő hatását vizsgáltuk a szemcseméretre és sűrűségre. AFM, SEM és van der Pauw mérések segítségével hatványfüggvény szerinti összefüggést találtunk a rétegek négyzetes ellenállása és a szemcseméret között [6].

Memóriaeszköz célokra Ge nanokristályokat tartalmazó Si/SiO₂/nc-Ge/Si₃N₄ és Si/SiO₂/nc-Ge/SiO₂ szerkezeteket készítettünk. A Ge nanokristályokat 350 °C-on elektronsugaras párolgatással, a vékonyoxid réteget pedig HNO₃-ban vagy H₂SO₄ és H₂O₂ keverékben történő kémiai növesztéssel állítottuk elő. A felső Si₃N₄ réteget LPCVD-vel, a felső SiO₂ réteget hagyományos CVD-vel készítettük. A Ge nanokristályok leválasztási idejének a hatását vizsgáltuk a szerkezetek memóriatulajdonságaira. Sajnos a CVD oxidrétegek nem voltak kellően jó szigetelők, így a Si/SiO₂/nc-Ge/SiO₂ szerkezetek rossz memória tulajdonsággal rendelkeztek. A Si/SiO₂/nc-Ge/Si₃N₄ szerkezetek memória tulajdonságait memóriaablak és retenció mérésekkel vizsgáltuk. ±10 V, ±15 V, ±20 V és ±25 V amplitúdójú, 100 ms szélességű író/törlő impulzusokat használva 1,3 V, 3,5 V, 7,5 V és 14 V széles memóriaablakokat kaptunk. ±25 V, 100 msec impulzusok alkalmazása után az 1 évre extrapolált memóriaablak szélesség 0,3 V volt. A nanokristályok jelenléte javította a töltésbevitelt, a 60 s-os leválasztás esetén pedig a retenció is jelentősen javult.

Az utolsó Si nanokristályos szerkezetekhez hasonlóan Ge nanokristályokat tartalmazó Si/SiO₂/Si₃N₄/nc-Ge/Si₃N₄ mintasorozatot is készítettünk. A Ge nanokristályokat 350 °C-on elektronsugaras párolgatással, a vékonyoxid réteget pedig HNO₃-ban történő kémiai növesztéssel, a Si₃N₄ rétegeket LPCVD-vel állítottuk elő. Itt is a Ge nanokristályok leválasztási idejének a hatását vizsgáltuk a szerkezetek memóriatulajdonságaira. A minták jó töltésinjekciós tulajdonságokkal rendelkeztek: ±8 V, ±10 V, ±12 V és ±15 V amplitúdójú, 10 ms szélességű író/törlő impulzusokat használva 2,2 V, 3,6 V, 6,0 V és 10,4 V széles memóriaablakokat kaptunk. A retenciós tulajdonságok viszont káprázatosan jók voltak: ±12 V, 10 msec impulzusok alkalmazása után a 10 évre extrapolált memóriaablak szélesség 3,0 V volt.

Egyéb MIS szerkezetek

SiC nanokristályokat tartalmazó MOS szerkezeteket állítottunk elő többlépcsés hőkezeléssel és oxidációval. Először egy termikus oxidréteget növesztettünk, majd a mintákat 1000-1100 °C hőmérséklettartományban hőkezeltük CO-ban vagy CO és Ar keverékben. A hőkezelés hatására epitaxiális SiC nanokristályok keletkeznek a Si/SiO₂ határfelületen. Újabb oxidációs lépés hatására a SiO₂ réteg a nanokristályok alá nő, elválasztva őket a szilíciumtól. A minták egy része memóriaeffektust mutatott.

Pt nanokristályokat tartalmazó Si/SiO₂/nc-Pt/Si₃N₄ mintasorozatot növesztettünk. A vékonyoxid réteget HNO₃-ban vagy H₂SO₄ és H₂O₂ keverékben történő kémiai növesztéssel állítottuk elő. A Pt nanokristályokat 300 °C-on elektronsugaras párolgatással, a felső Si₃N₄ réteget LPCVD-vel készítettük. A Pt nanokristályok leválasztási idejének a hatását terveztük vizsgálni, de sajnos a Pt párolgatás hatására a vékonyoxid tönkrement: a kapacitás-feszültség mérések nagyon nagy határfelületi állapot-sűrűséget mutattak, és a minták nem voltak alkalmasak memória célokra.

Nemzetközi együttműködésben vizsgáltunk olyan, az ankarai Middle East Technical University-ből kapott MOS szerkezeteket, melyek Si vagy Ge nanokristályokat tartalmaztak az oxidrétegben. Összefüggést találtunk a Si ill. Ge tartalom és az elektromos és memória tulajdonságok között [7].

Nemzetközi együttműködésben vizsgáltunk olyan, az ankarai Bilkent University-ből kapott MOS szerkezeteket, melyek Ge nanokristályokat tartalmaztak az oxidrétegben. A vizsgálatokat áram-feszültség és kapacitás-feszültség mérésekkel, valamint spektrális ellipszometria segítségével végeztük. Az alacsony hőmérsékletű áram-feszültség karakterisztikákban kapcsolási effektust találtunk.

Nemzetközi együttműködésben vizsgáltunk olyan, a University of Minho-ból (Portugália) kapott MOS szerkezeteket, melyek Ge vagy CdSe nanokristályokat tartalmaztak az oxidrétegben. A CdSe nanokristályokat tartalmazó szerkezetek memória effektust mutattak [8,9].

A Si és Ge nanokristályokat tartalmazó MNS szerkezeteket spektrális ellipszometria mérések segítségével is vizsgáltuk, és összefüggést kaptunk a leválasztási körülmények és a törésmutatót leíró dielektromos függvények között. A nanokristályok méretcsökkenése a dielektromos függvény ellaposodásához vezet, ami a direkt sávátmeneteket leíró oszcillátorok kiszélesedésének növekedésével, és amplitúdójuk csökkenésével van összefüggésben [10,11].

A Si és Ge nanokristályokat tartalmazó MNS és MNOS szerkezeteken photolumineszcencia méréseket is végeztünk, de nem kaptunk értékelhető eredményeket. Ennek a nemsugárzásos rekombinációs centrumok jelenléte a valószínű oka.

Annak jobb megértése végett, hogy a nanokristályos szerkezetek memória tulajdonságaira hogy hat a vékonyoxid, vizsgáltuk a az MNOS szerkezetekhez hasonló módon készített vékonyoxidos MOS szerkezetek elektromos tulajdonságait. Az eredmények kiértékelése és elemzése még folyamatban van [12].

Gyors hőkezeléses eljárással leválasztott ultravékony (3,5-4,5 nm) szilícium-nitrid rétegek esetében vizsgáltuk a leválasztás előtti normál vízgőben és nehézvíz gőzében végzett felületi előkészítés hatását az elektromos tulajdonságokra. Nehézvíz gőzében történt kezelés esetében kisebb szivárgási áramot kaptunk, mint normál vízgőzös kezelés esetén [13].

Heteroszerkezetek

Nanokristályos CdS/InP heteroszerkezeteket állítottunk elő, és vizsgáltuk azok elektromos és fotoelektromos tulajdonságait. Megállapítottuk, hogy a kapott különleges áram-feszültség karakterisztikák az elektrontranszport dominanciának a következményei. Nyitó irányban a termikus-tér emisszió, záró irányban a téremisszió az aktuális árammechanizmus [14].

Erbium- és vas-szilicid nanokristályos rétegeket növesztettünk szilíciumra elektronsugaras párologtatás és hőkezelés segítségével. A nanokristályok mérete, sűrűsége és alakja erősen függött az előállítási körülményektől és a leválasztott fém mennyiségétől. Például vas-szilicid esetében a nanokristályok csak 6 nm vagy afölötti vasrétegvastagság fölött alakultak ki [15].

Nemzetközi együttműködésben a kievi Félvezető Fizikai Intézettel vizsgáltuk GaAs p-n átmenetek elektromos és fotoelektromos tulajdonságait a GaAs felületen létrehozott mikrobarázdáltság paramétereinek függvényében. A sekély p-n átmeneteket a barázdáltság kialakítása után Zn diffúzióval hoztuk létre. Az eredmények azt mutatták, hogy a fotoelektromos konverzió hatásfoka növelhető a mikrobarázdáltság segítségével [16].

Nemzetközi együttműködésben a Ben-Gurion University-vel (Beer-Sheva, Izrael) vizsgáltuk GaAs-re kémiai leválasztással növesztett PbSe nanokristályos rétegekben a szemcseméret eloszlást és az optikai tulajdonságokat a leválasztási paraméterek függvényében. A vizsgálatokból egyértelműen kiértékelhető volt a CdSe tiltott sávjának a kvantumhatároltság által okozott növekedése a szemcseméret csökkenésével [17].

Nemzetközi együttműködésben a Nizhny Novgorod State University-vel SiGe heteroszerkezetek elektromos tulajdonságait vizsgáltuk. Szerkezetvizsgálati módszerekkel

megállapítottuk, hogy a kapott sajátságos elektromos karakterisztikák valószínű oka a SiGe/Si határfelületen nőtt Ge nanokristályok jelenléte [18,19].

Analízis, modellezés

A munkatervnek megfelelően feldolgoztuk és publikáltuk ill. konferenciákon ismertettük a korábban kapott témába vágó kísérleti eredmények egy részét. Így például elemeztük és publikáltuk a korábbi Sb alapú heteroszerkezeteken kapott eredményeket [20]. Az eredmények kiértékeléséhez kidolgoztunk egy módszert a Schottky átmenetek olyan áram-feszültség karakterisztikái hőmérsékletfüggésének kiértékelésére, melyeknél az áramot kis áramértékeknél nem a termikus emisszió dominálja, azaz "többletáramot" (excess current) tartalmaznak [21]. Ezen karakterisztikák esetében a hőmérsékletfüggés kiértékelése hagyományos módszerrel nagy hibát okozhat. A módszer kidolgozását a korábban készített GaInAsSb minták kiértékelése tette szükségessé.

Elemeztük a korábban zafírra növesztett GaN epitaxiás rétegeken kialakított fémkontaktusok hőkezelés során bekövetkező szerkezeti változásai és az elektromos paraméterek közötti kapcsolatot. Arra a következtetésre jutottunk, hogy az áram-feszültség karakterisztika lényeges változása a laterális és interdiffúzióval és az ötvöződéssel kapcsolatos. A különböző fémkontaktusok különböző hőállóságának az az oka, hogy ezek a folyamatok különböző hőmérsékleteken mennek végbe [22,23].

Elemeztük a korábban vizsgált porlasztott amorf Si/Ge multiréteges (1,5/1,5 nm, 100 periódus és 3nm/3nm, 50 periódus) és kevert SiGe szerkezetek I-V karakterisztikáinak alacsonyáramú lineáris szakaszait és a záró irányú karakterisztikákat, és megállapítottuk, hogy mindkét esetben a változó hosszúságú ugrás (variable range hopping) mechanizmus dominálja az áramot. Megállapítottuk, hogy a változó hosszúságú ugrás paraméterei nem függenek a rétegvastagságtól, de szignifikánsan különböznek az amorf Si/Ge multirétegek, a hőkezeletlen SiGe rétegek és a hőkezelt SiGe rétegek esetében. Ez a Fermi-szint körüli állapotsűrűség és a Fermi-szint körüli energiaállapotok térbeli elhelyezkedésének különbözőségére utal [24].

Számítógépes modellezés segítségével vizsgáltuk a Si nanokristályos MNS szerkezetek töltésbeviteli és töltéstárolási tulajdonságait, és az oxid- és nitridréteg vezetési paramétereinek változtatásával jó egyezést sikerült kapni a vizsgált kísérleti és elméleti karakterisztikák között [25].

Rendezvények, publikációk, előadások, disszertációk

A témához kapcsolódva 2005-ben saját kezdeményezésre megrendeztük a First International Workshop on Semiconductor Nanocrystals, SEMINANO2005 rendezvényt. A rendezvény tematikája kiterjedt a félvezető nanokristályok minden lehetséges aspektusára beleértve a felmerülő fizikai és kémiai problémákat, előállítást, passziválást, tulajdonságokat, vizsgálati módszereket, és nem utolsósorban az alkalmazást. A meghívott előadókat a terület legjobb szakértői közül válsztottuk. A rendezvényen a 22 meghívott előadóval együtt 26 országból 117 előzetesen regisztrált résztvevő és 26 látogató jelent meg. A rendezvényen elhangzottakból egy kétkötetes kiadványt adtunk ki, melyet állandó jelleggel feltettünk a rendezvény honlapjára [26]. A workshopot 2006-ban Törökországban Antalyában és 2007-ben Németországban Bad Honnefben a mi aktív részvételünkkel ismét megrendezték.

A kapcsolódó eredményekből 2005-től 26 folyóiratcikket publikáltunk, konferenciaközlönyben 20 db többoldalas publikáció jelent meg (nem absztrakt!), kb. 50 poszttert mutattunk be, és 21 szóbeli, valamint 7 meghívott előadást tartottunk különböző nemzetközi és hazai rendezvényeken. Felkérésre egy könyvfejezet is készült [27]. Egy Ph.D. értekezés kifejezetten a témából [28], egy MTA doktori értekezés [29] pedig részben a témához kapcsolódó eredményekből született. Ezen publikációknak csak egy része jelenik

meg a publikációs jegyzékben az átfedések elkerülése végett. Eddig 10 olyan független hivatkozásról tudunk, amelyeket a fenti publikációkra kaptunk.

A fentieket összefoglalva megállapítható, hogy a kitűzött feladatok jelentős részét végrehajtottuk, és értékes eredményeket értünk el. Kiemelendő, hogy legjobb tudomásunk szerint a világon elsőként vizsgáltunk félvezető nanokristályokat tartalmazó MNOS szerkezeteket. Megmutattuk, hogy a félvezető nanokristályok bevitelével ezen szerkezeteknek mind a töltésbeviteli, mind a töltéstárolási tulajdonságai javíthatóak.

A heteroszerkezetek terén kevesebbet végeztünk a tervezettnél, a II-VI heteroszerkezetek vizsgálataira már nem jutott időnk. Ennek az az oka, hogy a nanokristályos MNOS szerkezetek terén elért jó eredmények ennek a területnek az intenzívebb kutatása irányába ösztönöztek a heteroszerkezetek kutatása helyett. A nanokristályos fotolumineszcens kísérletek negatív eredménye pedig egyszerűen kizárta az elektrolumineszkáló eszköz irányú kísérleteket.

Hivatkozások:

- [1] Zs. J. Horváth, P. Basa, P. Petrik, Cs. Dücső, T. Jászi, L. Dobos, L. Tóth, T. Lohner, B. Pécz, M. Fried, Si nanocrystals in sandwiched SiN_x layers, *Semiconductor Nanocrystals; Proc. First Int. Workshop on Semiconductor Nanocrystals SEMINANO2005*, Sept. 10-12, 2005, Budapest, Hungary Vol.2, pp. 417-420.
- [2] P. Szöllősi, P. Basa, Cs. Dücső, B. Máté, M. Ádám, T. Lohner, P. Petrik, B. Pécz, L. Tóth, L. Dobos, L. Dózsa, Zs. J. Horváth, Electrical and optical properties of Si-rich SiN_x layers: Effect of annealing, *Current Appl. Phys.*, **6**, (2) 179-181, 2006.
- [3] P. Basa, Zs. J. Horváth, T. Jászi, A. E. Pap, L. Dobos, B. Pécz, L. Tóth, P. Szöllősi, Electrical and memory properties of silicon nitride structures with embedded Si nanocrystals, *Phys. E*, **38**, 71–75, 2007.
- [4] Zs. J. Horváth, P. Basa, T. Jászi, A. E. Pap, L. Dobos, B. Pécz, L. Tóth, P. Szöllősi, K. Nagy, Electrical and memory properties of Si₃N₄ MIS structures with embedded Si nanocrystals, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, **8**, 812–817, 2008.
- [5] Zs. J. Horváth, P. Basa, T. Jászi, A. E. Pap, A. I. Kovalev, D. L. Wainstein, L. Dózsa, MNOS memory structures with embedded silicon nanocrystals, *Proc. 16th Int. Symp. “Nanostructures: Physics and Technology”*, July 15–19, 2008, Vladivostok, Russia, pp. 126-127.
- [6] P. Basa, Gy. Molnár, L. Dobos, B. Pécz, L. Tóth, A. L. Tóth, A. A. Koós, L. Dózsa, Á. Nemcsics, Zs. J. Horváth, Formation of Ge nanocrystals in SiO₂ by electron beam evaporation, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, **8**, 818–822, 2008.
- [7] P. Basa, A. S. Alagoz, T. Lohner, M. Kulakci, R. Turan, K. Nagy, Zs. J. Horváth, Electrical and ellipsometry study of sputtered SiO₂ structures with embedded Ge nanocrystals, *Appl. Surf. Sci.*, **254**, 3626-3629, 2008.
- [8] S. Levichev, P. Basa, Zs. J. Horváth, A. Chahboun, A. G. Rolo, N. P. Barradas, E. Alves, M. J. M. Gomes, Memory effect on CdSe nanocrystals embedded in SiO₂ matrix, *Solid State Commun.*, **148**, 105–108, 2008.
- [9] S. Levichev, A. Chahboun, P. Basa, A. G. Rolo, N. P. Barradas, E. Alves, Zs. J. Horvath, O. Conde, M. J. M. Gomes, Charging effects in CdSe nanocrystals embedded in SiO₂ matrix produced by rf magnetron sputtering, *Microel. Eng.*, **85**, 2374-2377, 2008.
- [10] P. Basa, P. Petrik, M. Fried, L. Dobos, B. Pécz, L. Tóth, Si nanocrystals in silicon nitride: an ellipsometric study using parametric semiconductor models, *Phys. E*, **38**, 76–79, 2007.

- [11] P. Basa, P. Petrik, M. Fried, A. Dâna, A. Aydinli, S. Foss, T. G. Finstad, Spectroscopic ellipsometric study of Ge nanocrystals embedded in SiO₂ using parametric models, *Phys. Stat. Sol. (C)* **5**, 1332–1336, 2008.
- [12] Zs. J. Horváth, A. E. Pap, K. T. Eppich, P. Basa, L. Dobos B. Pécz, L. Tóth: Electrical behaviour of MIS structures with ultrathin chemical oxide, 11th Int. Conf. Formation of Semicond. Interfaces, August 19-24, 2007, Manaus, Brazil, Program and Abstracts, p.184., 2007
- [13] Zs. J. Horváth, A. E. Pap, B. Pécz, P. Petrik, P. Basa, T. Szabó, Á. Németh: Electrical behaviour of light and heavy water vapour treated Al/SiO_xNy/Si structures prepared by rapid thermal processing, 6th Solid State Surfaces and Interfaces, November 24-27, 2008, Smolenice, Slovakia, Extended Abstract Book pp.72-73., 2008
- [14] V. Rakovics, Zs. J. Horváth, Z. E. Horváth, I. Bársony, C. Frigeri, T. Besagni, Investigation of CdS/InP heterojunction prepared by chemical bath deposition, *Phys. Stat. Sol. (C)*, **4**, 1490–1493, 2007.
- [15] G. Molnár, L. Dózsa, G. Pető, Cs. S. Daróczi, Zs. J. Horváth, Z. Vértesy, A. A. Koós, Z. E. Horváth, O. Geszti, Thickness dependent formation of self-assembled silicide nanostructures on Si(001), *Semiconductor Nanocrystals; Proc. First Int. Workshop on Semiconductor Nanocrystals SEMINANO2005*, Sept. 10-12, 2005, Budapest, Hungary, Vol.1, pp. 15-18.
- [16] O. Yu. Borkovskaya, N. L. Dmitruk, Zs. J. Horváth, I. B. Mamontova, A. V. Sukach, Diffused p-n GaAs junctions with nano/microrelief active interface, *Phys. Stat. Sol. (C)* **4**, No. 4, 1523–1526, 2007.
- [17] M. Shandalov, J. P. Makai, J. Balazs, Zs. J. Horvath, N. Gutman, A. Sa'ar, Y. Golan, Optical properties of size quantized PbSe films chemically deposited on GaAs, *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, **41**, 75-80, 2008.
- [18] L. K. Orlov, N. L. Ivina, A.V. Potapov, T. N. Smyslova, L. M. Vinogradsky, Z. J. Horvath, Kinetics of hydride disintegration in a 2D Si channel formation by the Si–GeH₄ MBE and demonstration of a Si/SiGe interface blurring in electrical characteristics of heterostructures, *Microel. J.*, **36**, 518-521, 2005.
- [19] L. K. Orlov, Z. J. Horvath, M. L. Orlov, A. T. Lonchakov, N. L. Ivina, L. Dobos, Anomalous electrical properties of Si/Si_{1-x}Ge_x heterostructures with an electron transport channel in Si layers, *Physics of the Solid State*, **50**, (2), 330–340, 2008.
- [20] Zs. J. Horváth, V. Rakovics, B. Pődör, Electrical behaviour of Au/InGaAsSb and Au/GaSb junctions, *Proc. 7th Int. Conf. Advanced Semiconductor Devices and Microsystems, ASDAM 2008*, October 12-16, 2008, Smolenice, Slovakia, pp. 119-122.
- [21] Zs. J. Horváth, Evaluation of Schottky junction parameters from current-voltage characteristics exhibiting large excess currents, *Appl. Surf. Sci.*, **255**, 743-745, 2008.
- [22] L. Dobos, B. Pécz, L. Tóth, Zs. J. Horváth, Z. E. Horváth, A. Tóth, E. Horváth, B. Beaumont, Z. Bougrioua: Metal contacts to n-GaN, *Appl. Surf. Sci.*, **253**, 655-661, 2006.
- [23] L. Dobos, B. Pécz, L. Tóth, Zs.J. Horváth, Z.E. Horváth, B. Beaumont, Z. Bougrioua: Structural and electrical properties of Au and Ti/Au contacts to n-type GaN, *Vacuum*, **82**, 794-798, 2008.
- [24] Zs. J. Horváth, K. Järrendahl, B. Pődör, Zs. Czigány: Hopping conduction in sputtered amorphous Si/Ge multilayers and mixed SiGe layers, 1st Int. Conf. Thin Films and Porous Materials, May 19-22, 2008, Algiers, Algeria, Abstracts p. 71., 2008.
- [25] Zs. J. Horváth, V. Hardy, Simulation of memory behaviour of non-volatile structures, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, **8**, 834–840, 2008.

- [26] B. Pődör, Zs. J. Horváth, P. Basa (Editors): Semiconductor Nanocrystals; Proceedings of the First International Workshop on Semiconductor Nanocrystals, SEMINANO2005, September 10-12, 2005, Budapest, Vol.1 and Vol.2; <http://www.mfa.kfki.hu/conferences/seminano2005/>
- [27] Zs. J. Horváth, P. Basa, Chapter 5: Nanocrystal memory structures, in: Nanocrystals and Quantum Dots of Group IV Semiconductors, (Eds. T. V. Torchinskaya, Yu. V. Vorobiev), American Scientific Publishers, in press.
- [28] P. Basa, Semiconductor nanocrystals in dielectrics for memory purposes, PhD Thesis, Budapest University of Technology and Economics, 2008; www.mfa.kfki.hu/~basa.
- [29] Horváth Zs. J., Félvezető eszköz szerkezetek - új jelenségek, új közelítések, MTA doktori értekezés, Budapest, 2008.