

OTKA K 77331 IVM zsűri „III-nitrid félvezetők kontaktusai”
Zárójelentés

Témavezető: Dr. Dobos László

Résztvevők: Dr. Horváth Zsolt József, Dr. Basa Péter, akik 2012.08.31-vel kiléptek az OTKA-pályázatból, mivel más munkahelyen helyezkedtek el.

2009.04.01. – 2014.03.31.

Támogatás: 7,027 millió Ft

Főbb elért eredmények:

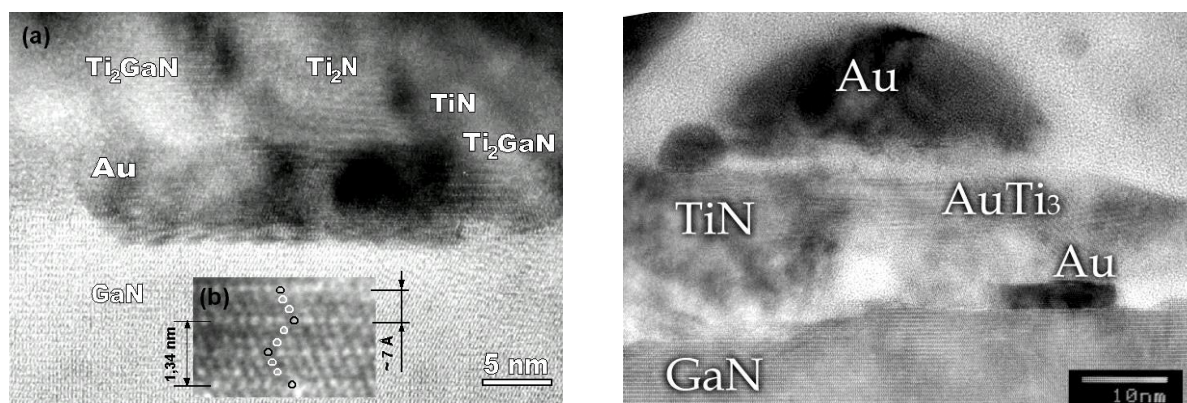
Kontaktusok témakörében:

Az OTKA kutatás egyik fontos célkitűzése, a stabil ohmos és egyenirányító kontaktusok létrehozása mellett, hogy MAX fázisokat hozzon létre a GaN kontaktusaiban, lehetőleg a határfelületen.

1. Au és Ti/Au fémzéseket párologtattunk n-GaN-re és vákuumban hőkezeltük azokat 400, 700 és 900 °C-on 10 percig. Transzmissziós-, és pásztázó elektronmikroszkópiával, röntgendiffrakcióval és elektromos mérésekkel (I-V) vizsgáltuk a kialakult kontaktusok tulajdonságait.

Úgynevezett MAX fázisokat (Ti_2GaN), továbbá Ti_2N , TiN és AuTi_3 fázisokat valamint Au(111) szemcséket észleltünk az n-GaN/Ti/Au kontaktus határfelületében 900 °C-os hőkezelés után nagyfelbontású transzmissziós elektronmikroszkóppal (1. ábra). Megállapítottuk, hogy a kialakult fázisok epitaxiások a GaN-hez.

A MAX fázisok nagy rácsállandójú réteges szerkezetek. MAX fázisokat GaN-ben még nem tárt fel senki sem mostanáig, csak a szakirodalom tesz említést elméleti létezésükről.



1. ábra: Az n-GaN/Ti/Au kontaktus határfelületének nagyfelbontású képei 900 °C-os hőkezelés után. (a) HRTEM felvétel a keletkezett fázisokkal. (b) Az inzert a rétegek sorrendjét mutatja a Ti_2GaN – MAX fázis – szemcsében.

Az inzert mutatja, hogy a Ti-N rétegek Ga rétegekkel (minden harmadik réteg) vannak elválasztva. A Ga rétegek távolsága kb. 7 Å, a Ti_2GaN MAX fázisok rácscsík távolsága kb. 1.34 nm. A terner Ti_2GaN MAX fázis rácscsíkjai párhuzamosak a határfelülettel.

Kísérleti sorozatunkban ilyen Ti_2GaN MAX fázist nem találtunk a 900 °C-on hőkezelt egyrétegű Ti fémzésben. Ez azt mutatja, hogy mind az arany, mind a Ti szerepet játszik az előbb említett intermetallikus fázis kialakulásában.

Ezen kontaktus XTEM plan view képe azt mutatta meg, hogy Au szemcsék nőttek bele a GaN-be, melyeket a hőkezelt Ti/Au fémréteg kémiai marással történt eltávolítása után

lehetett látni XTEM-mel és EDS-el. A sötét szemcsék EDS analízise feltárta az Au tartalmú kristályok és Ti jelenlétét a GaN félvezetőben.

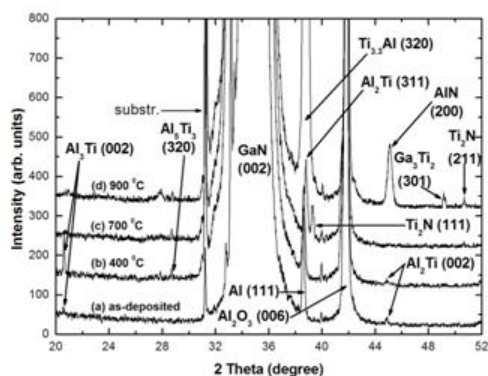
A FESEM vizsgálatok feltárták, hogy amikor ezt a Ti/Au kontaktust 900°C-on hőkezeltük, az Au réteg nagy része eltűnt a felületről, és az Au fém újrakristályosodása ment végbe. A 900°C-on hőkezelt Au és Ti/Au kontaktusok felületei fraktálszerű struktúrákat mutattak.

Az Au és Ti/Au kontaktusok egyenirányítók voltak 700 °C-ig. Amint az megszokott eredmény, a hőkezelés csökkentette a gátmagasságot. A röntgenvizsgálatok feltárták, hogy az alacsony Schottky gát elérése megkívánja az Au áthatolását keresztül a Ti-rétegen és a GaN felületének elérését valamint a N (nitrogén) kidiffúzióját a GaN felületből a fém rétegekbe. A Schottky gátmagasságok hőmérsékletfüggése a GaN felületén lévő fém rétegek felületi morfológia változásának, és a határfelület környékén lévő kristályhibáknak tulajdonítható. A Ti₂GaN (MAX fázis), Ti₂N és TiN fázisok hatására a Ti/Au kontaktus az Au kontaktussal ellentétben nem degradálódott 900 °C-on, és a kontaktus ohmossá vált. Megállapítottuk, hogy a 900 °C-on vákuumban hőkezelt, nem degradálódott, nemlineárisból lineáris karakterisztikájúvá alakult Au/Ti/n-GaN kontaktusok igen ígéretesek. (MC2009, Vol. 3: Materials Science 29-30, 2009 és MTA MFA Yearbook 2009, 112-113)

2. Al és Ti/Al fémezéseket párologtattunk n-GaN-re. A párologtatás 180 °C-os hőmérsékletén a Ti/Al rétegben már vegyületfázisok keletkeztek (2. ábra).

A fémrétegek vastagsága csökkent a hőkezelés hatására a kölcsönös diffúzióknak és ötvözetképződésnek köszönhetően. Elsőnek mutattuk meg XTEM-mel a Ti-réteg folytonosságának megszakadását 900 °C-on az Al/Ti/n-GaN kontaktusban. A röntgendiffrakciós vizsgálatok feltárták, hogy Ti₂N határfelületi fázis képződött a Ti/Al kontaktusban 700 és 900 °C-on, valamint AlN fázis alakult ki ugyanebben a kontaktusban 900°C-on (2. ábra).

Megállapítottuk, hogy a hőkezeletlen Al és Ti/Al kontaktusok egyenirányítók voltak. A 300 és 400°C-os hőkezelések után mindkét kontaktus lineáris áram-feszültség jelleggörbét mutatott. 700 °C-on az Al kontaktus ismét egyenirányító lett, míg a Ti/Al kontaktus majdnem lineáris maradt. Az ohmos jelleg a határfelületi Ti₂N(111) fázis kialakulásának volt köszönhető. Vizsgálataink feltárták, hogy az alacsony Schottky-gátmagasság eléréséhez az szükséges, hogy az Al áthatoljon a Ti rétegen, elérje a GaN felületét, azonfelül nitrogén diffundáljon ki a GaN felületéből, bele a fémrétegekbe. A kontaktusok degradálódtak 900 °C-on (1. tábla).



2. ábra: Az n-GaN/Ti/Au kontaktus XRD spektrumai. a: hőkezelés előtt; b: 400 °C; c: 700 °C; d: 900 °C, 10 perc, vákuum.

Annealing temperature	Contact metal	
	Al	Ti/Al
as-deposited	Rectifying, $\phi_b < 0.35$ eV	Rectifying, $\phi_b = 0.38$ eV
300 °C	Linear*, $\phi_b < 0.35$ eV	Linear*, $\phi_b < 0.35$ eV
400 °C	Linear*, $\phi_b < 0.35$ eV	Linear*, $\phi_b < 0.35$ eV
700 °C	Rectifying, $\phi_b = 0.42$ eV	Near linear*, $\phi_b < 0.35$ eV
900 °C	Degraded	Degraded

*Up to a current density level of 2 A mm⁻².

1. tábla: A szobahőmérsékletű áram-feszültség viselkedés és a Schottky-gátmagasság hőmérséklet függése.

Tanulmányoztuk a laterális Al/n-GaN/Al kontaktusok I-V karakterisztikáit a 80-320 K tartományban. Szobahőmérsékleten ohmos kontaktust kaptunk, míg alacsony hőmérsékleteken a kontaktus egyenirányítóvá vált. Egy új lehetséges mechanizmus felelős az idealitási tényező hőmérsékletfüggéséért.

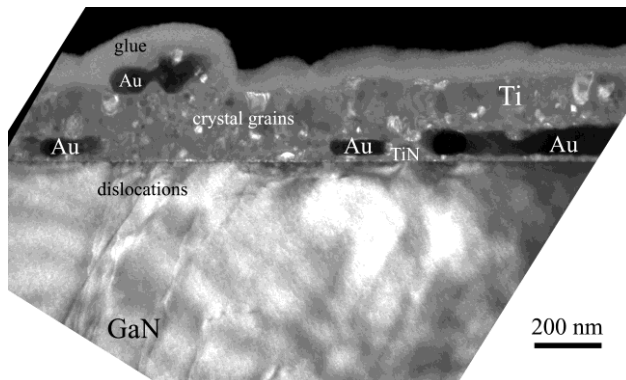
Eredményeinket két folyóiratcikkben (*Vacuum* 84/1 228-230, 2010 és *Applied Surface Science* 256/18 5614-5617, 2010) publikáltuk.

3. Az n-GaN/Ti/Au kontaktusok nitrogénben történt hőkezelése során kialakult fázisok összevetése volt a célunk ugyanezen n-GaN/Ti/Au kontaktusnak vákuumban történt hőkezelése során kialakult fázisaival. Vajon kialakul-e a Ti_2GaN MAX fázis a nitrogénben történt hőkezelés során is?

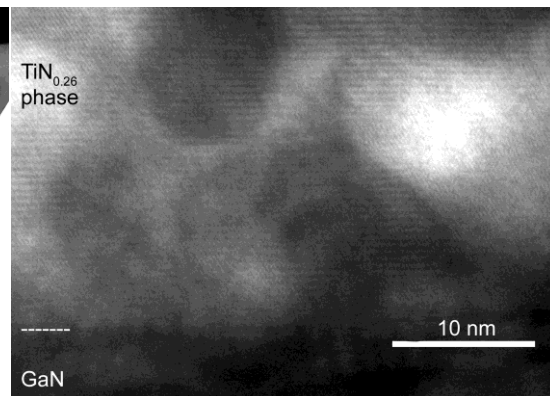
Tehát a nitrogénben hőkezelt n-GaN/Ti/Au kontaktust vizsgáltuk a továbbiakban. Fonal diszlokációkat/threading diszlokációkat találtunk a GaN-ben. Ezek a diszlokációk a GaN/zafir határfelületről erednek a hordozó/III-nitrid rácsillesztetlenség (lattice mismatch) miatt, és a GaN felületénél érnek véget.

Arany diffundált a GaN-hez 400°C-on. Szemcsék nőttek a GaN-en a fémezés alatt, a 700 és 900°C-on nitrogénben történt hőkezelések után. Az Au szemcsék és a GaN között Ti-ban gazdag vékony réteg volt található (3. ábra).

A nitrogénben hőkezelt Ti/Au fémezések esetében $\text{TiN}_{0.26}$ és TiO_2 (rutile) fázisokat azonosítottunk HRTEM-mel (4. ábra) és XRD-vel 700 és 900°C-on. Nitrogénben történő hőkezelések során nem alakultak ki Ti_2GaN (MAX) és GaAu fázisok, továbbá az arany nem diffundált be a GaN-be, míg a vákuumban hőkezelt Ti/Au fémezések esetében mindezek létrejöttek. Ez előrevetíti azt a következtetést, hogy a nitrogén tér nem játszik szerepet a MAX fázis képződésében. Mindamellett a jelen vizsgálatokban az eltérő hőkezelési környezetnek, azaz a nitrogénnek tulajdoníthatóan, az arany nem reagált a GaN-el.



3. ábra: Az n-GaN/Ti/Au kontaktus DF XTEM képe a 700 °C-on 10 percig nitrogénben történt hőkezelés után.



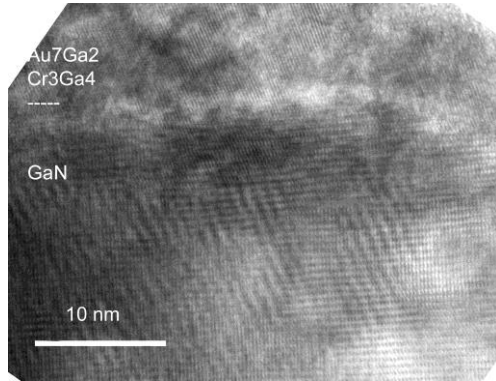
4. ábra: A HRTEM felvétel mutatja az n-GaN/Ti/Au kontaktusban kialakuló fázist a 900 °C-on 10 percig nitrogénben történt hőkezelés után.

Nitrogénben történő hőkezelések során a Ti/Au fémezés felületi durvasága csökkent – FESEM vizsgálatok eredménye –, összehasonlítva a vákuumban hőkezelt Ti/Au fémezések felületi érdességével. (*MTA MFA Yearbook* 2011, 119-120 és *Microelectronic Engineering* 90 118-120, 2012)

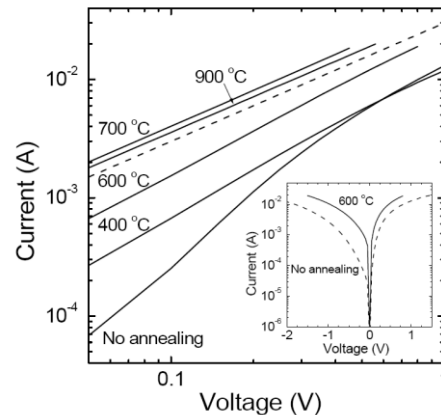
4. Célunk volt, hogy az n-GaN/Cr/Au kontaktusok vákuumban történő hőkezelése során vajon kialakul-e a Cr_2GaN MAX fázis?

Au diffundált a GaN-hez 400 °C-nál. A TEM vizsgálatok azt mutatták, hogy 700 és 900 °C-nál nagyobb Cr szemcsék nőttek bele a GaN-be a fém/GaN határfelületnél. A Cr/Au

fémzés esetén Cr_3Ga_4 és Au_7Ga_2 fázisokat azonosítottunk a határfelületnél 700 és 900 °C-os, vákuumban történő hőkezelések után HRTEM-mel (5. ábra). A hőkezeletlen és 600 °C-ig hőkezelt n-GaN/Cr/Au kontaktusok egyenirányítók voltak. 700 és 900 °C-os hőkezelések után a kontaktusok ohmossá váltak (6. ábra). A röntgen vizsgálatok a Cr_2GaN (MAX) fázis jelenlétét nem zárták ki.



5. ábra: Az n-GaN/Cr/Au kontaktus HRTEM képe a 900 °C-on 10 percig vákuumban történt hőkezelés után kialakult fázisokkal.

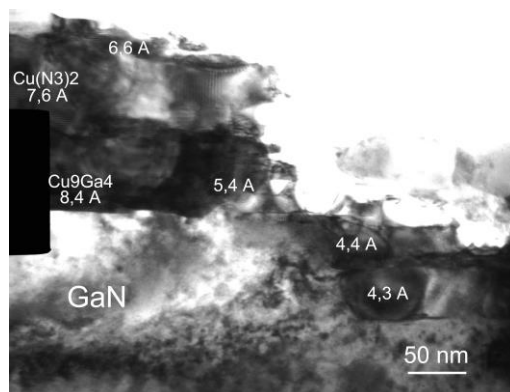


6. ábra: Az n-GaN/Cr/Au kontaktus I-V karakterisztikái.

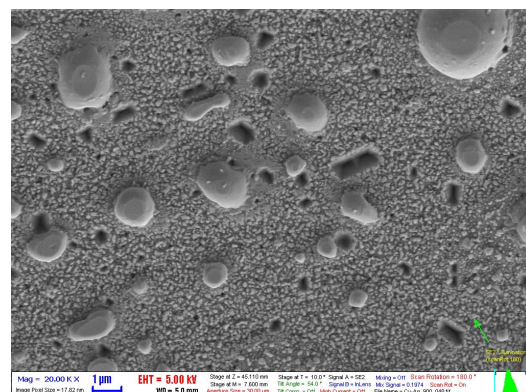
A szerkezetvizsgálatok feltárták a GaN-en kialakított CrAu kontaktusrétegek termikus stabilitását. A 700 és 900 °C-on kialakult új fázisok az ohmos viselkedés kialakulásához és a soros ellenállás növekedéséhez vezettek. (MTA MFA Yearbook 2011, 119-120 és Vacuum 86 769-772 2012)

5. Az n-GaN/Cu/Ag kontaktusok vizsgálata során XTEM-mel és HRTEM-mel is találtunk nagy rácsparaméterű – $\text{Cu}(\text{N}_3)_2$ és Cu_9Ga_4 – fázisokat a fém/GaN határfelületnél 900 °C-on (7. ábra). Ismeretlen, nagy rác-sík távolságú szemcséket, fázisokat is találtunk a 900 °C-on hőkezelt n-GaN/Cu/Ag (4.3 Å, 5.4 Å, 6.6 Å, 9.7 Å, 10.2 Å, 10.8 Å, 11.2 Å) kontaktusokban, melyeket nem sikerült azonosítanunk.

Az n-GaN/Cu/Ag kontaktus hőkezelése során 700 °C felett Cu gumók, dudorok jelentek meg a hőkezelt kontaktus felületén (8. ábra), és az Ag teljesen eltűnt a felületről, amit a FESEM-EDS is alátámasztott. Az Ag 400 °C-on kezdett bediffundálni a Cu rétegbe. 700 °C-on a két fémréteg teljes keveredése volt megfigyelhető XTEM-mel. Az XRD-vizsgálatok kimutatták, hogy Ag_3Ga , AgN_3 és Cu_3Ga fázisok képződtek 900 °C-on,



7. ábra: Az n-GaN/Cu/Ag kontaktus XTEM képe a 900 °C-on 10 percig vákuumban történt hőkezelés után.

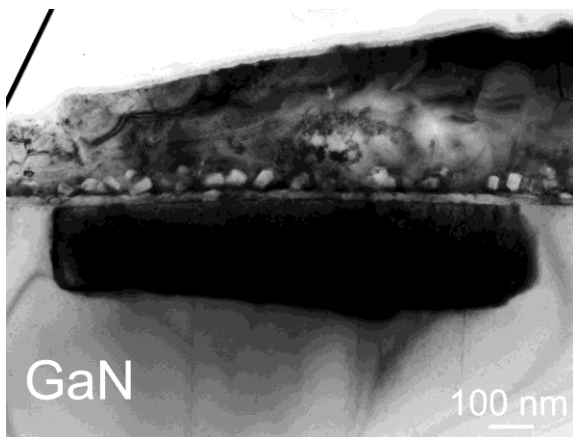


8. ábra: A 900 °C-on hőkezelt n-GaN/Cu/Ag kontaktus FESEM képe feltárta a felületi durvaságokat.

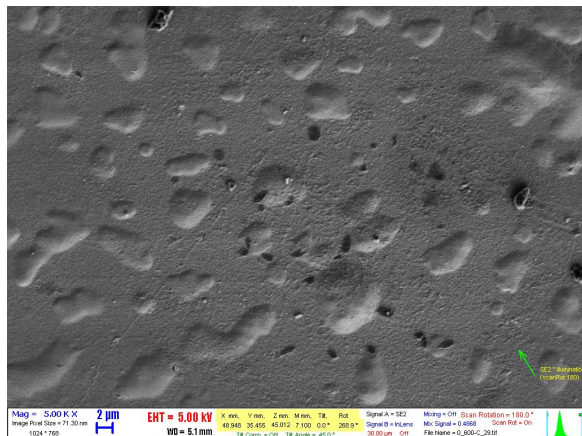
A kontaktus végig Schottky-tulajdonságokat mutatott 900 °C-ig. Az eredmények azt igazolják, hogy a Cu/Ag kontaktus ígéretes jelölt mint egyenirányító fémzés a nagyteljesítményű eszközök számára. (NN12 Abstract Book 226 2012 és beküldve *Microelectronic Engineering* 2014)

6. A 600 °C-os hőkezelés után Cr-ban gazdag nagyobb benövések alakultak ki a p-GaN/Cr/Au kontaktus határfelületénél a GaN-ben (9. ábra). Az EDS-analízis megmutatta, hogy a benövésben kétszer annyi Cr volt található, mint Au. XRD-vizsgálatokkal megállapítottuk, hogy a p-GaN/Cr/Au kontaktusnál az első intermetallikus fázisok (CrN fázis) csak a 600 °C-os hőkezelés után alakultak ki. 900 °C-on hőkezelve a kontaktust, Au₇Ga₂ fázis keletkezett.

A hőmérséklet emelésével a minta felülete 600 °C-nál kezdett felhólyagosodni, buborékosodni (10. ábra).



9. ábra: A p-GaN/Cr/Au kontaktus XTEM képe a 600 °C-on 10 percig vákuumban történt hőkezelés után.



10. ábra: A 600 °C-on hőkezelt p-GaN/Cr/Au kontaktus FESEM képe.

A hőkezeletlen kontaktusok áram-feszültség (I-V) karakterisztikái erősen nemlineárisak, de közel szimmetrikusak voltak nyitó és záró irányban. 700 °C-ig a kontaktus egyenirányító tulajdonságai megmaradtak. A 900 °C-os hőkezelés során a p-GaN/Cr/Au kontaktus degradálódott.

A korábban vizsgált hőkezeletlen és 600 °C-ig hőkezelt n-GaN/Cr/Au kontaktusok egyenirányítók voltak. A 700 és 900 °C-os hőkezelések után pedig lineárisává váltak. Érdekes, hogy az n-GaN/Cr/Au kontaktusnál a CrN fázis kialakulását nem észleltük a hőkezelések folyamán. (IVC-19 Abstract Book 514-515 2013 és beküldve *Microelectronic Engineering* 2014)

7. Az n-GaN/Ti/Cr/Al kontaktus hőkezelése során 700 °C-on és afölött Cr jelent meg az epitaxiális GaN legfelső részében. A párologtatott fémrétegek összekeveredtek, és a Ti fémréteg folytonossága megszakadt ennél a hőkezelési szakasznál. Az Al fémréteg gyakorlatilag eltűnt a felületről a 700 °C-os hőkezelés után. Korábbi munkánkban a Ti fémréteg folytonossága szintén megszűnt, mikor Ti/Al kontaktusokat hőkezeltünk n-GaN-en 700 °C felett. Érdekes, hogy legkorábbi kísérleteink során, amikor csak Ti fémréteg volt az n-GaN tetején, a Ti-réteg folytonossága nem szűnt meg a 900 °C-os hőkezelés után. A Ti/Cr/Al kontaktus XTEM, HRTEM és FESEM vizsgálatai megmutatták, hogy gömb alakú Cr szemcsék keletkeztek a 900 °C-on hőkezelt kontaktus felszínén 900 °C-on.

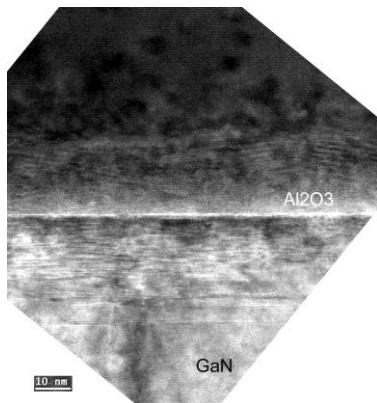
A fém/GaN határfelületben az n-GaN-en epitaxiálisan nőtt nagy rács-sík távolságú (kb. 4.1/4.4 Å) kristályos Al₂O₃ fázisokat találtunk a HRTEM-mel a 900 °C-os hőkezelés után (11. ábra).

Az n-GaN/Ti/Cr/Al kontaktusok HRTEM vizsgálata azt is megmutatta, hogy nagyobb fekete szemcsék alakultak ki a fém/n-GaN határfelületnél a 900 °C-os hőkezelés után (12.

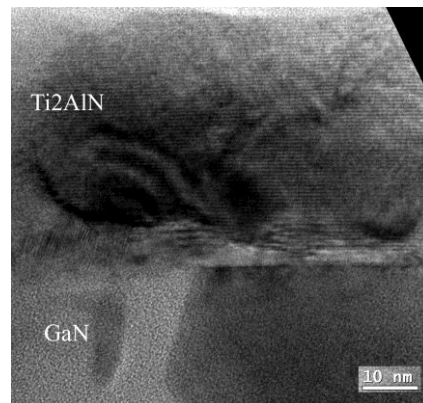
ábra). Látszik, hogy nagy rácstávolságú Ti_2AlN MAX fázisok (kb. 6.8 Å rácstávolság) keletkeztek a fém/n-GaN határfelület környékén (12. ábra). Egy 211-fázisban, mint amilyen a Ti_2AlN , az alumínium atomokat (az A-elem) az M_2X képlet szerinti titán-nitrid (Ti_2N) réteg választja el.

Továbbá Cr_3GaN inverz perovskite fázist és CrN fázist is azonosítottunk még 900 °C-on XRD-vel. Érdekes, hogy a TiN kialakulását nem tapasztaltuk. Az Al csökkenti a Ti és GaN közötti reakciót.

A hőkezelt fém/GaN határfelület alatt, a GaN-ben nagy rác-sík távolságú (8.4/8.7 Å) ismeretlen fázisokat, szemcséket is találtunk 900 °C-on, melyeket nem sikerült azonosítanunk. Ezek az ismeretlen fázisok Ga-ot, Al-ot és Cr-ot tartalmaztak az EDS-vizsgálatok alapján.



11. ábra: A 900 °C-on hőkezelt n-GaN/Ti/Cr/Al kontaktus HRTEM képe.



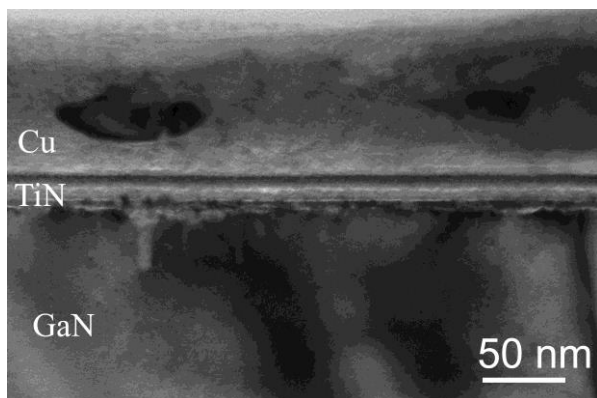
12. ábra: A 900 °C-on hőkezelt TiCrAl fémezés tipikus fényképe.

A Ti/Cr/Al kontaktus egyenirányító volt 600 °C-ig. A Cr bediffundálása az epi GaN-be vezetett az ohmos viselkedés kialakulásához 700 °C-on. A 900 °C-os hőkezelés az n-GaN/Ti/Cr/Al minta degradációjához vezetett. A degradáció valószínűleg a Ti fémréteg felbomlásának volt tulajdonítható 700 °C felett. Vagyis a TiCrAl fémezést ohmos kontaktusként lehet alkalmazni GaN-en 700 °C-ig, ami messze az igazi magas hőmérsékleti alkalmazások feletti hőmérséklet. (*Vacuum 100 46-49 2014*)

8. Vizsgáltuk az n-GaN/Ti/Cu/Al kontaktus szerkezeti és morfológiai tulajdonságait.

Az XTEM-es vizsgálatokkal megállapítottuk, hogy a hőkezeletlen kontaktus fémrétegeiben apró polikristályos szemcsék találhatók DF üzemmódban. A 700 °C-os hőkezelés hatására a Ti bediffundált a GaN legfelső rétegébe (13. ábra). Ún. „V”-pitek alakultak ki 700 °C-on a növesztett GaN-ben. Továbbá sok kristályhibát, diszlokációt is megfigyeltünk a GaN-ben. Benövések, betüremkedések is megfigyelhetők voltak a GaN-ben 700 °C-on. A Cu fémezésben nagy kristályos szemcsék keletkeztek.

A felületmorfológiai vizsgálatok (FESEM) arra világítottak rá, hogy 700 °C-ig a kontaktus felülete majdnem sima, csak kristálydiszlokációk érték el a növesztett epitaxiális GaN felületét. Ellenben 900 °C-on a kontaktus felületén rengeteg kis szemcsé és számos gumó képződött. A kis szemcsék főleg Al-ot, míg a nagy gumók főleg Cu-t tartalmaztak, melyeket a FESEM-EDS segítségével mutattunk ki (14. ábra). Az XTEM vizsgálatok megerősítették ezeket az eredményeket.



13. ábra: Az n-GaN/Ti/Cu/Al kontaktus XTEM képe a 700 °C-on 10 percig vákuumban történt hőkezelés után.



14. ábra: A 900 °C-on hőkezelt n-GaN/Ti/Cu/Al kontaktus FESEM képe.

A röntgenvizsgálatok (XRD) feltárták, hogy 700 °C-on új fázisok – TiN, Cu_9Ga_4 – alakultak ki, melyek a Ti, Cu és Al fémrétegek keveredését bizonyították. A 900 °C-os hőkezelés további új fázisok – AlN és Ti_3AlN – valamint Ti_2AlN ún. MAX fázis keletkezését eredményezte. *(beküldve Microelectronic Reliability 2014)*

9. Vizsgáltuk a p-GaN/Ni/Ti/Al és p-GaN/Ni/Ti/Cr/Au kontaktusok tulajdonságait is.

Az XTEM analízis alapján a hőkezeletlen p-GaN/Ni/Ti/Al kontaktusban sok apró kristályos szemcse volt látható a Ni és Ti fémzésben, az Al-rétegben ellenben nagy kristályos szemcsék alakultak ki. A hőkezelés hatására nőtt a szemcsék mérete. Kristályos fekete szemcsék nőttek bele a GaN-be 700 °C-on. Óriási polikristályos szemcsék keletkeztek a fémrétegben 900 °C-on. Vékony, néhány nm vastag AlN réteg alakult ki a GaN-en.

Az XRD-vizsgálatok azt mutatták, hogy a Ni/Ti/Al fémzésnél a Ni átkristályosodott és texturált lett [(100)-ból (002)] a 400 °C-os hőkezelés hatására. 700 °C-on új fázisok – AlN, Ti_3O , $\text{Ti}_3\text{Al}_2\text{N}_2$ – alakultak ki. A 900 °C-os hőkezelés további új fázis – Ti_2AlN ún. MAX fázis – keletkezését eredményezte.

A Ni/Ti/Cr/Au fémzésnél az XRD vizsgálatok alapján a fémrétegek még nem léptek reakcióba egymással a 400 °C-os hőkezelés hatására, de a fémrétegek csúcsai nagyobbak lettek a hőkezeletlen kontaktusnál kapott csúcsokhoz képest. 700 °C-on az Au erős csúcsa valamint a Cr-csúcs volt megfigyelhető. A 900 °C-os hőkezelés hatására a fémcsúcsok nagysága csökkent. AuGa, GaTi_2 és Ti_2N fázisok kialakulását észleltük ennél a hőkezelési lépésnél. *(Az eredmények jó publikációt ígérnek)*

10. Tanulmányoztuk az n-GaN/Ti/Cr/Cu/Ag és n-GaN/Ti/Au/Cr/Cu/Ag kontaktusok tulajdonságait is.

Az n-GaN/Ti/Cr/Cu/Ag kontaktus hőkezelése során Cr és Cu diffundált a GaN-be a 900 °C-os hőkezelés alatt, amit az XTEM EDS-e támasztott alá. Nagy üregek alakultak ki a GaN-ben. Az ezüst gyakorlatilag eltűnt a fémzés felszínéről.

Az n-GaN/Ti/Au/Cr/Cu/Ag kontaktus hőkezelése folyamán Ti és Au diffundált be a GaN legfelső részébe 900 °C-on, amit az XTEM EDS-e mutatott meg. Ún. „V”-pitek voltak láthatók a GaN-ben, a fém-félvezető határfelületnél a 900 °C-os hőkezelés után. Az Ag cseppekbe állt össze. Nagy kristályos szemcsék alakultak ki az Au fémzésben. Vékony, néhány nm vastag TiN réteg alakult ki a GaN-en az XTEM vizsgálatok alapján. *(Az első eredmények jó publikációt ígérnek)*

Egyéb félvezetők témakörben:

1. Az AlGa_N rétegek fontos szerepet töltenek be a HEMT tranzisztorokban. Igen fontos egyrészt a polaritásuk kontrolállása, másrészt a hibasűrűség csökkentése. Molekulasugaras epitaxiával (MBE) olyan rétegszerkezeteket növesztettünk, melyben egyrészt a III/V aránnyal kontrolláltuk a polaritást, másrészt AlGa_N/Ga_N szuperrácsok közbeiktatásával próbáltuk a diszlokáció sűrűséget a felület közelében csökkenteni. Vizsgálataink szerint a szuperrácsok valóban képesek effektíven szűrni, csökkenteni a diszlokációkat és 10⁹/cm² sűrűség érhető el zafírra való növesztés során. (*Russian conference on Nitride semiconductors GaN InN and AlN 238-239 2010, Journal of Crystal Growth 338 30-24 2012 és Phys. Status Solidi C 10/3 311-314 2013*)

2. MBE-vel növesztett nanostruktúrákat vizsgáltunk. Új felismerést tettünk a dropletepitaxiás QD-ok kialakulását illetően, mely a nano-gyűrűk növekedésének a megértéséhez is közelebb visz. A dropletepitaxiás QD-ok facettájával és a RHEED shevon képével kapcsolatosan tettünk új felismerést. MBE-vel növesztett GaAs-alapú inverz nanopontokat vizsgáltunk XTEM-mel. Az (111) felületen AlAs-et észleltünk. Ennek és a pontos méreteknek az ismeretében a növekedési kinetikát magyaráztuk meg. Az eredményekről három folyóiratcikkben számoltunk be. (*Superlattices and Microstructures 48/4 351-357 2010, Journal of Crystal Growth 335/1 58 61 2011 és Microelectronics Reliability 51/5 927-930 2011*)

3. Megmutattuk, hogy amikor a SiC-ot SiH₄ és C₃H₈ forrásokból növesztjük, akkor egy kis mennyiségű methyltrichlorosilane (MTS) hozzáadása jelentősen megnöveli a 3C-SiC növekedési sebességét, miközben a növesztett réteg minősége nem romlik. (*Materials Science Forum 740-742 291-294 2013*)

4. Feldolgoztunk és értelmeztünk néhány kísérleti eredményt a Schottky átmenetek és a nanokristályos MNS és MNOS szerkezetek terén. (*Az eredményeket 2011-ben két konferencia poszteren ismertettük*)

A munka során 22 közlemény született, melyek adatait mellékletben feltöltöttük. Ebben a jelentésben csak az egyes eredményekhez tartozó legfontosabb cikkek adatait tüntettük fel.

2014-04-29

Dr. Dobos László

Az alábbi, 2014 februárjában megjelent cikket januárban 334-szer töltötték le (lsd. lentebb).

S e cikk alapján kértek fel egy könyv publikálására (lsd. lentebbi e-mail).

Your article *Annealed Ti/Cr/Al contacts on n-GaN*

Dear Dr. Dobos,

We are pleased to present to you as a corresponding author, an overview of the performance of your article in *Vacuum*. With Article Usage Alerts, a free service, you are able to measure the impact of your article via its usage on ScienceDirect.

Your article has been downloaded or viewed 334 times since publication (measured through 31 December).

For more details, please check here for your [Article Usage dashboard](#). For best results use Google Chrome or Firefox.



[View Dashboard](#)

This information is generated especially for you, however if you would like to share your results and/or article with peers, feel free to send it through via email or the social media buttons in the dashboard. If you have any questions about this service, please consult our [Support site](#). You receive this email as a service, however if you would like to stop receiving alerts, please use the unsubscribe option below.

You will receive quarterly Article Usage Alerts in the first year after publication of your article. If you would like to check your article more often: the information on the dashboard will be updated monthly, and will remain accessible via the links in this email.

Thank you for your interest.

Best wishes,

Elsevier

Data Protection Notice:

This *News for Authors* e-mail has been sent to dobos.laszlo@ttk.mta.hu from Elsevier Science & Technology Journals, Elsevier Limited, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, registered in England with registered number 1982084. To ensure delivery to your inbox (not bulk or junk folders), please click [here](#) to add our address to your safe senders list.

You are receiving this email as a customer of Elsevier, registrant on an Elsevier Science & Technology website, valued contributor to an Elsevier product or having otherwise indicated an interest in receiving relevant information from Elsevier Science & Technology products and services, and in the belief it is of interest to you. If you no longer wish to receive communications of this type from us, you can visit this page to [unsubscribe](#). For all enquiries, problems or suggestions regarding this service, please contact: stijnlsemarketing@elsevier.com.

Copyright © 2014 [Elsevier](#) Limited. All rights reserved. | [Elsevier Website Privacy Policy](#)

□Publication offer for "Annealed Ti/Cr/Al contacts on n-GaN"
Elena Chercunova [e.chercunova@lap-publishing-house.com]
Címzett: L. Dobos

Dear L. Dobos,

I am writing on behalf of an international publishing house, LAP Lambert Academic Publishing.

In the course of a research on the Hungarian Academy of Sciences, I came across a reference to your research paper on "Annealed Ti/Cr/Al contacts on n-GaN".

As the topic of your research is of current interest to us, we would like to inquire if you have a complete scientific work such as a dissertation, a thesis or a monograph which you would like to publish in the form of a book.

We are an international publisher whose aim is to make academic research available to a wider audience and we would be especially interested in publishing your thesis in the form of a printed book.

Your reply including an e-mail address to which I can send an e-mail with further information in an attachment will be greatly appreciated.

I am looking forward to hearing from you.

Kind regards

Elena Chercunova
Acquisition Editor

LAP LAMBERT Academic Publishing is a trademark of:
OmniScriptum GmbH & Co. KG

e.chercunova (at) lap-publishing-house . com/ www. lap-publishing-house.
com

Handelsregister Amtsgericht Saarbrücken HRA 10356 Identification Number
(Verkehrsnummer): 13955 Partner with unlimited liability: VDM Management
GmbH Handelsregister Amtsgericht Saarbrücken HRB 18918 Managing directors:
Thorsten Ohm (CEO)