

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ GAN НА ПОДЛОЖКЕ SIC ДЛЯ НЕМТ

Никифоров Максим Олегович

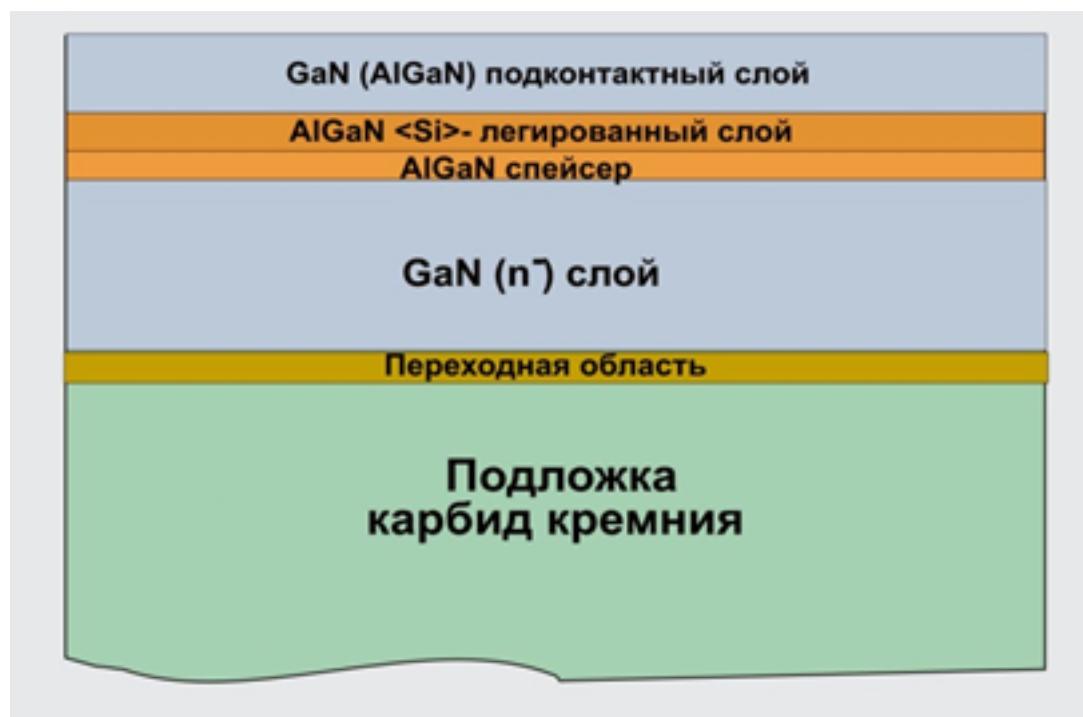
студент Московского Института Электронной Техники, РФ, г. Москва

Прокофьева Виолетта Константиновна

научный руководитель, доц. Московского Института Электронной Техники, РФ, г. Москва

1. ????????????? ? ?????????????? ??????????????????

????????????????? ?? ?????? ??????? ??????? ?????????????????? ???
????????????? ?? ?? ?????? ?????? ?????????????????????? ?????????? ? ??????????????
????????????? ??? ?????????????????????????? ??????????. ? ?????? ??????,
????? ?????????????????? ?????????? ? ??? ?????????? ?????? ?????????????????? ??????
(?????? 1):



????????? 1. ????? ?????????????????? ?? ?????? ?????????? ????????

???????????? ???? ?????? ?????? ??? ?????????????? ?????????????????? ??????????????
????????? ??????????? ?????????? ? ?????????? ?? ??? ?????????????????? ?????? ??????????
?????? (? ????? — ??? ??????????????????). ??? ?????? ?????? ??? ??????????????
????????? (?? GaN ?? AlN) ? ??????? (?? 200 ? ?? 0,5 ???). ?????????????? ???
???????? — ??????? ?????? ??? ?????????????? ?????? ??????????????
????????????????? ?????? ? ?????????? ??????????????.

GaN ??? ?????????????? ??? ?????????????? ? ??? ?????????????????? ???
????????????? ?????? (????????????? ?????????????? ??? (??) ? ???????
????????????? ?????????? ??????), ?????????????? ?? ??? ?????? ?????? ??? ?
????????????? ?????? ??? ??????????
????????????? AlGaN/GaN.????????? ?????????????? ? ?????? ??? ??????????
????????????? ??????????????, ?????????????? ??? ?????????????? ?????? ??????????????
??????????, ? ??????? ??????????????. ?????? GaN ??? ??? ???????,
?????????? ???-????????? ???????, ?????????? ?????? 1—2 ???.

?????? AlGaN ??? ?????? ??????? ? ??????????????
????? GaN ??????????????, ?????????? ?? ?????????? ?? ??????? ??? ??? ?
?????? ??????????????. ????? ?????????????? ?? ?????????? ? ?????????? ?????? ?
?????? ??????? ???????, ??? AlGaN ?????? ?????????? ??????
?? ? ??????? ?????????? ?? ??????? ???????, ?????????????? ??? ??????
?????? ??????? ?????????? ??????? ? ???. ?????? ?????????? ??????????
????? ??????? ?????????? ?????????? ??????? ? ???. ?????? ?????????? ??????????
???????????. ?????????? ??????? ?????????????? ??? ?????? ??? ?I ?
????? ?? ????? 0,25. ? ?? ?? ???, ?????????????????? ?????????? ?????????? ?????????? ???
?? ?????? ?????????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ? ???,
????????? ?????? ?????????? ??? ?? ?????? ?????????? 250—350 ?. ???
????????? ?????? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????? ?????? ??????????
????????? ?????? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ??? ?????? ??????????
????????? — ??? ??? (?????? ?????? 30—50 ?), ?????????? ? ??????-
??????????, ?????????? ??? (?????? ??? ?????? 50—200 ?) —
????????? Si ?? ?????? (1—5) 10^{18} ??⁻³, ?????? ?????? (????????? 50—150 ?),
?????????? ? ???????, ?? ??????????. ??? ???, ??? ??? ?????????? ???
????????? ??? ?????? ??? GaN.

????????????? ??????????? ?????????????????????? ??????????????
????????????? ?????????? ??????? ?????????????????? ?????????????? ??? ? ??????
?????? ?????????????? ??????????????????, ?????????????? ?????????????? ??????????
????????? ?????????????? ??? ? ?? ??????????????.

2. ?????????????? ?????????????????????????? ????????

???? ?????????? ?????????????????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????????????? ??????
????????????? ?????? — Mg, Fe, Zn [1, p. 1804607; 4; 6; 7], ?????? ?????????
????????? ? ?????? ?????????????????? ??????????????. ???, ? ?????? [7] ??????
????????????? ?????????? ????? GaN<Fe> ? ?????? ??????????????????
 $>10^8$?? ??; ?????????????????? ?????????? ?????????????? ?????????????????? ? ??
????????? ?????? ??? ?????????????? ??? ?????????? HEMT, ?????? ??????
????????? ?????? ??????????????. ??? ?? ?????, ?? ?????????? ? ??????????
????????? ?????? ?????????????? ?? ?????? ?????????? ??????, ??????????????
?? ?????????? ?????????????? ?????????? ?????? ?????????? ?????? ? ??????????
????????? ??? ?????? ?? ?????? ??????????, ?????????? ??????
????????????? ?????????? ?????????????? ?????? ?????? ?????????????? ??????
????????? ?????? ?????????????? ? ?????????? ?????????? ??????. ? ?????? ? ??? ??????
????????????? ? ?????????????? ?????? ?????? ?????????????? ??????????
?????????????, ? ?????? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????????? ??????
GaN ?????????? ?????? ?????????????? ?????????????? ?????????????? ?????? ??
????????? [3—5]. ? ?????? [3] ?????? ?????? ?????????? ?????? ??????????????
????????????? ?????? ? ?????? ?????? ?????? ?????????? ??? GaN ??
????????????? ?????? ?????????? ??????????. ???????, ??? ?????????? ??????
????? ? ?????????? ?????? ?????? ?????? ?????????? ? ?????????? ??????????????
????????????? ??????, ?????? ??? ??? ?????????? ?????????????? ?????????????? ??????
????? ????. ? [5] ??????, ??? ?????? ?????????? (?) ??????????????
????? ??? ?????? ?????? ??? ?? 8 ?????? ?????? ??? ?????????? ??? ??????????
????????? ? ?????????? ??????. ?????????? ?????? ? ?????????? 10
 10 ?? ?? ??? ?????? 100 ???; ?????????? ???????, ??? ?????? ??????????????
????????? ????, ?? 500 ??? ?????? ?????? ? ?????????? ? ?? 10^2 — 10^4
?? ?. ?????????? ??? ?????? ?????? ?????? [8], ?????????? ?????????????? ??????????
????????? ?????? ?????????? ?????????? ??? ??? ?????? ?????????? ?????? ??????????
?? ?????????? ?????? ?????????? ??????????, ?????????? ?????? ??????????

????????????? ?????????? ? ?????????? ?????????????? ?????????????? ? ????

?? ?????????????? ??? ??????, ??? ?????????? ?????? ??????????????
????????????????? ?????????? ?????????????? ?????? ?????? ?????? ??
?????? ?? ?????????? ?????????? ?????? ??? ?????? ??????????????
????????? ?????????????? ??? ?????????????? ?????? ??????????

?????? ?????????????? ?????????? ?????? ? ??????????????
???? GaN ?????????? ?????? ?? ?????? ??????. ? ?????????? ??????
????????????? ?????????? ??? ?????? ??????, ?????????????? ??????
?????? ?????????? ?????? ? ?????????????? ?????? ??? GaN, ??????
?????? ? ?????????? ??????. ???, ??? ?????????? ?????? ?? 500 ??
200 ???. ???. ??? ?????? ?????? ?????? ?? ??? ?????? ? ?????????? ~10¹⁴ ??³.

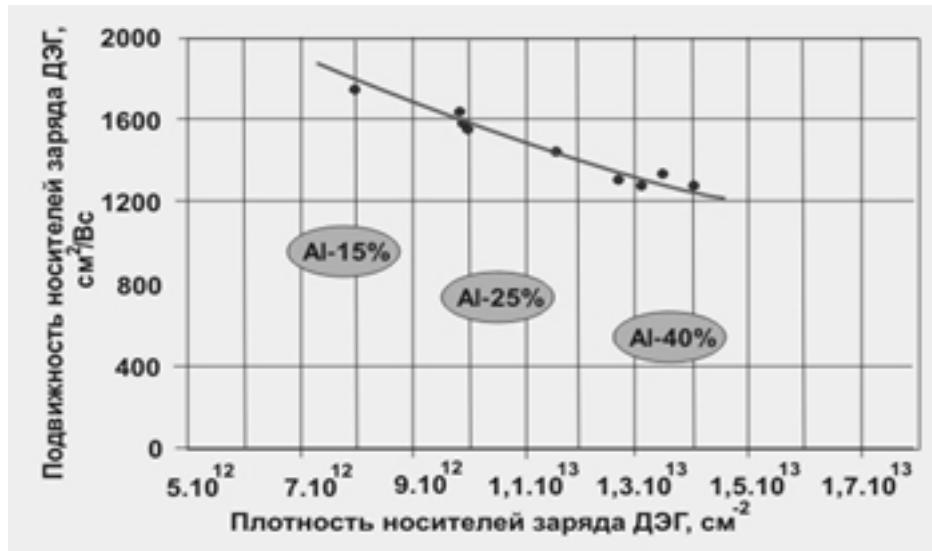
????????????? ??????????????
????? AlGaN ?????????????? GaN/ AlGaN ?????? ??????????
????????????? ?????? ?????? ?????????? ?????????????? ? ????, ?????????????? ??
?????? ? ?????? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ??????????????
????????????? ? ?? ??????????.

????????? ?????????? ?????????? ?????? ?? ?????????????? ??????????????
????? ?????????? AI ? ??? AlGaN (????? 2). ?????????? ??????????
????????? ?????? ?????? ?????????? ?????????? ?????????????? ??????????????
????????? ? ?????????? ?????? ?? ???????????. ?????????? ??????????????
????? ?????????? ? ?????? ??? ?? ??????, ?????????? ???
????????? AI ????? 35—40 % ?????????? ?????? ?????????? ??????????
?????????????. ??? ?????? ?????????? ?????? (????? 40 %) ?????? ??????
????? ?????????? ?????????? ?????? ?? ?????? ??????????????.

????? ?????????? ?????? ?????????? ?????????????? ??? ?????????????? ??????????
????? 40 % ?????????????? ? ???, ??? ? ????? AlGaN ? ????? ??????????
AI ?????? ?????? ?????????? ?????????? ? ?????????? ?????????????? ??????
????????????????? ?????????? [2, p. 2701].

??? ?????????? ? ?????? [2, p. 2701], ?????????? ?????? ??????????????

????????????? ??????? ???? ??????????? ????????????
 ??? AlGaN ??????????? ??????? ?? ??????????? AlN/ GaN ?? ??????
 ??????????? Al ? 40 %; ??????? ??????? ?????????????? ??????????? ??? ???
 ??? ????? 200 ??.

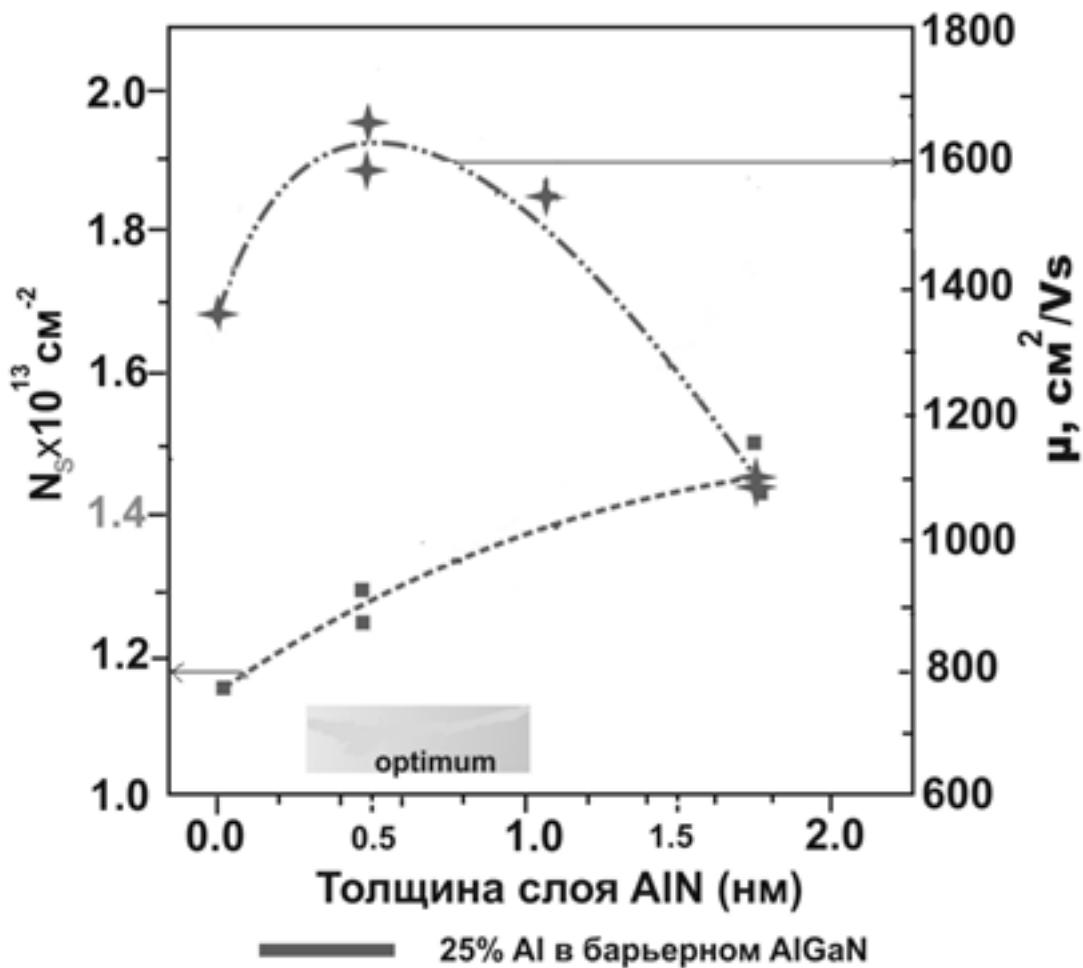


?????? 2. ??????????? ??????????? ??????????? ??????????????? ??
 ??????????? Al ? ??? $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$

????????????? ??????? ???? AlGaN ????? ?????? ?????? ?????????? ?????????? ???
 ?????????????? HEMT. ??? ??????? ? ?????? [8, p. 2668], ???????????,
 ?????????? ?? ??? ??????????????GaN/ $\text{Al}_{0.32}\text{G}_{0.68}\text{N}$, ???????????????
 ?????? ??????? ??????????, ?????????????? ? ??????????? ? ?????????? ???
 ?????????? ??? (????????? ?????????? ?????????? ?????????? ? ?????????? 13.8—26 ??).
 ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ? ?????????? ? ?????????? ? ??????????
 ?????????? ??? 13.8 ??, ?????????? ?????????? ?????????? 26 ??.

????????????? ?????????? ?????????? ?????????? ?????????????? ?????????????? ?????????? ?
 ??? ?????????? ??? ?????????? ?????? — ???
 ?????????? AlN ?????? 1—2 ??, ?????????????? ???
 ?????? GaN ? AlGaN. ?????? ?????? ??? ?????? ?????? ?????????? ?????????? ???
 ?????????? ??? GaN ? AlGaN ?? ??? ?????? ?????? ??????????????
 ?????????????? ??? AIN. ?????????? ?????? ??? ??????????????
 ?????????????? ?????????? ?????? ??? ? ??? AlGaN, ?. ?.

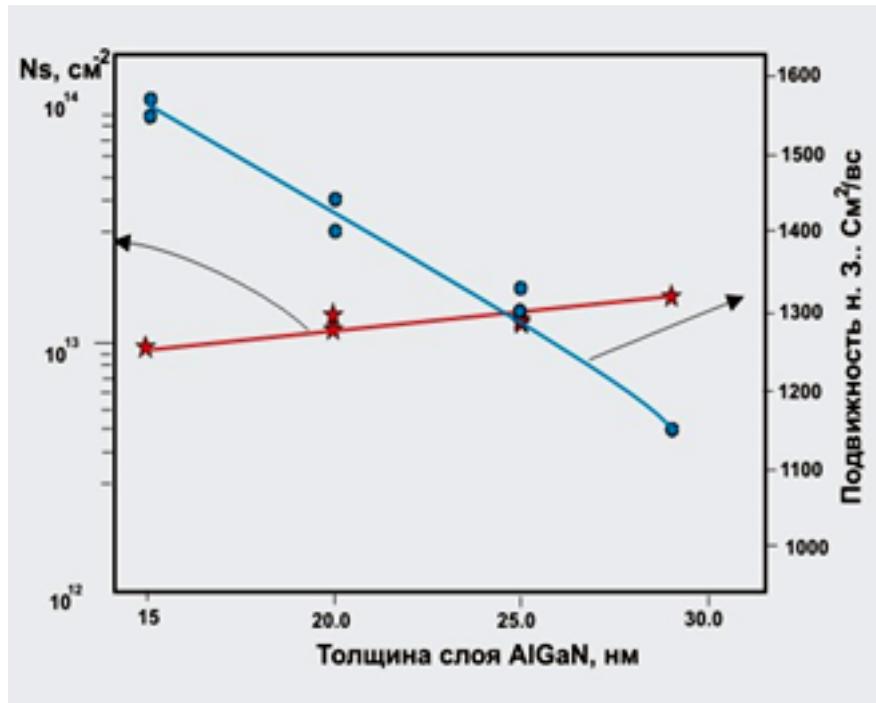
????????????? ?????????????? ?????????????? ?????? ??? . ?????????????? ?????? ??????????
????????????? ?????????????? ?????????????? ?????? ?????????????? ?????????????????? ???.



?????? 3. ?????????????? ?????????????? ?????????????? ??????? ? ?? ?????????????? ?
??? ?? ??????? ??? AIIN

?????????????, ??? ?????? ??? AIIN 0,5—0,7 ?? ??????????????
????????????? ?????????????? ?????????????? ?????????????? ?????? (?? 1700 ??²/?. ?)
(?????? 3). ? ??? ?????? ?????????????? ?????? ? ?????????????? ??????? ??????????
?????? ??? ? ??????????.

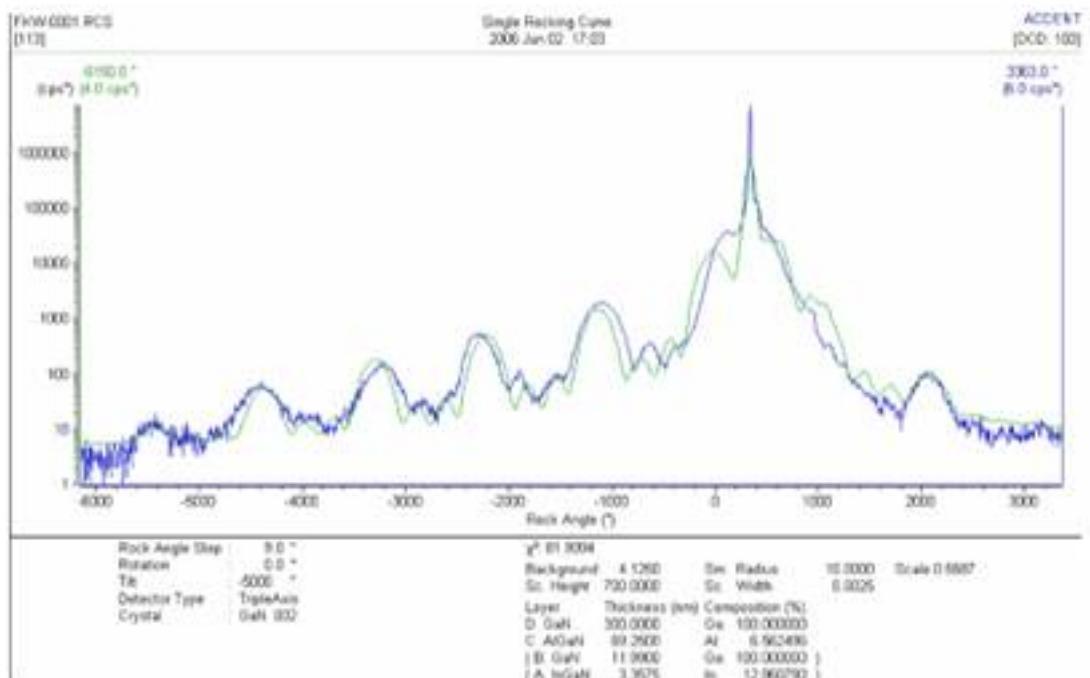
????????????? ?????????????? ?????????????? ?????????????? ??? ?????? ?????? ? ?? ??????
????????? ??? AIIN — ?????? 4. ? ?????????????? ??????? ???
????????????? ?????????????? ?????????????? ???????, ?? ?????????????? ?? ??????????.



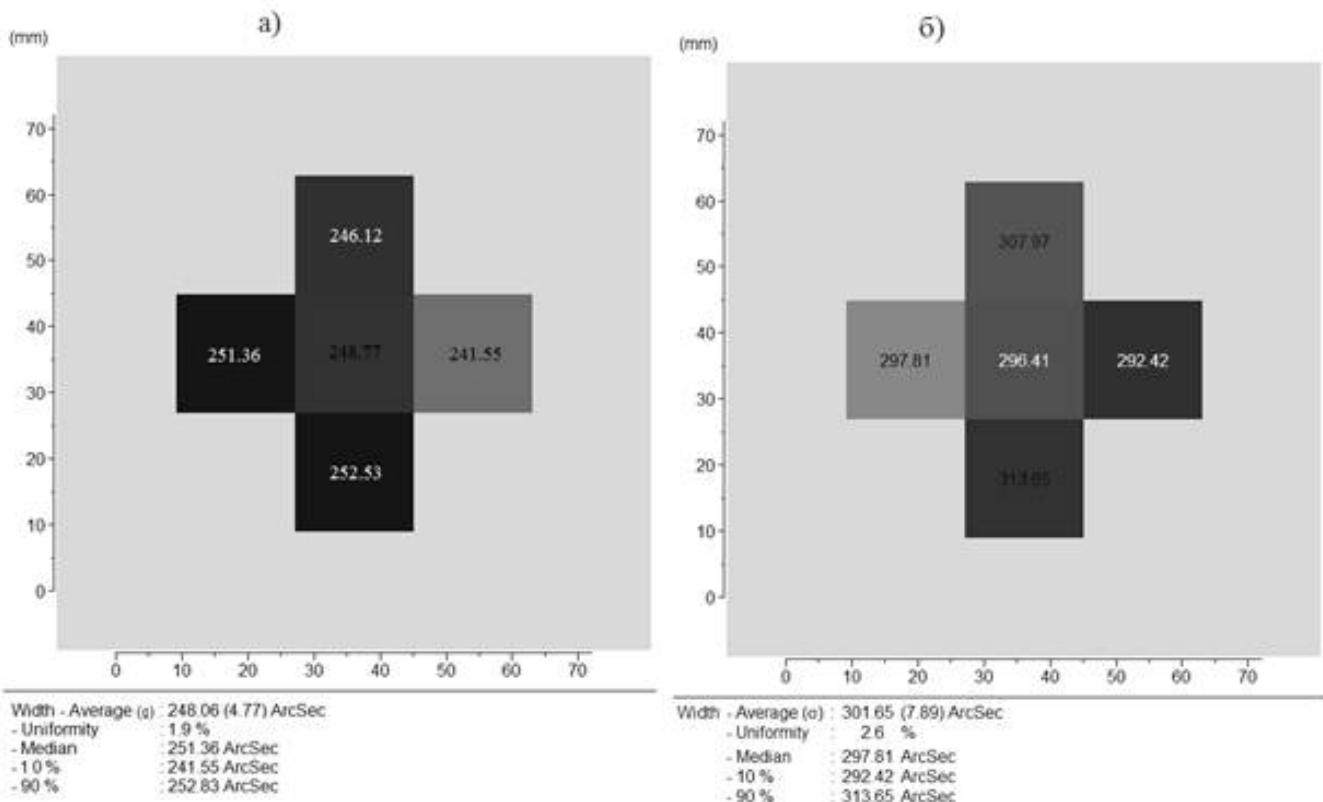
?????? 4. ?????????????? ?????????????? ?????????????? ?????????????????? ??? ?
????????????????????? AlGaN/GaN ?? ??????? ?????????????? ??? AlGaN

? ??? ???? ?????????????? ?????????? ?????????????? ??????????????????????
??????? GaN ? SiC ?????????????????? ?? ?????????? ?????????? ?????????? ??????????????
?????? ?????????????? ?????????????????? ? ?????????? ? ??????????, ?????????????? ??
????????? ?????????? (?? ?????????? ?????????? 240—255 ???/??? ? 290—315 ???/???)
????????????????? (????????? 6)). ?????? ?????????????????? ?????????????? ?????? ??????????
????????????????? ?????????????????? ?????????????????????? ?????????????? ??
????????? SiC.

????????????? AI ? ??? AlGaN ? ?????????????? ?????????????? ??????????????
????? ?????????????? ?? ?????? ?????????????? ??????????; ??? ?????????????? ??????
????????? ?? ??????? 5.



????????? 5. ?????? ?????????????????? ?????????? ?????????? AlGaN/GaN



?????? 6. ?????????????? ?????????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?
?? ?????? ?) SiC ?) ??????

?????.

1. ?????? 3 ?????? ?????? ?????? ?????????? ?????????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?
?????????. ?????? ?????? ?????? ?????? ??????, ?????? ?????? ?????? ?????? ?? ?????? ?
Eg ?? 3.4 ?? (GaN) ?? 6.22 ?? (AlN), ? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ??????; ??
????? ?? ?????? ?????? ?? ?????? ?????? ?????? ?????? ??????; ??
????? ?????? ?????? ?????? ?????? n_s ? 2D????? ??? ? GaAs,
????? ?????? ?????? ?????? v_s.

2. ?????? ?????? ?????? (Si, Al₂O₃, SiC) ?????? ?????? ?????? ?
????????? ? ?????? ???-????????? ?????? ?????? ?????? ?????? ??????
????????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? ?????? (?????
????? ??? ? ?????? ??????), ?????? ?????? ?????? ?????? ??????, ??????
????????? 3,5 % ?????? 17 % ? ?????? ??? 14 % ? ??????, ? ?????? ?? ???

????????????? ???? ???? ???? ???? ?????????????? ???? ???? ???? ????
(?? SiC ??? ???? 18 % ???? 50 % ? Si ? 35 % ? ???).

3. 3.????????? ???? AIN ?????????????? ?????????????? ?????????????? ????
???, ?? ???? ?????? ?????????? ?????????? ?????????? ?? ???? ?????????? ????? GaN
? AlGaN ? ?????????? ? ?????????? ?????????? ? ?????????? ? ?????????? ??????????
??????.

4. ?????????? ???? ?????? ?????? ??? AlGaN ?? ??????????????????
????????? ??????????????????. ?????????? ?????????? ?????????????? ???? ????,
? ?????????? ?????? ??? AlGaN ?????????????? ?????????????? ??????????
??????, ?? ?????????? ?? ??????????.

5. ?????????? ???? ?????? ?????????? Al ? ??? Al_nGa_{n-1}N. ??????????
????????? Al ?????????? ?????????? ?????????? ?????????? ???? ???? ??
????????? ?? ??????????, ?? ?????? ?????????? ?????????? ??????????
????????????????? ?????????? ? ?????????? ?????? ?? ??????????????. ??
????????? Al ???? 40 % ?????????? ?????? ?????????? ??????????
?????????????. ?? ?????????? Al ~25 % ?? ??????????????????
????????????? ?????????? ?????? N_S=10¹³ ??⁻² ? ??????????????
μ=1600 ??²/??, ?? ?????? ?????? ?????? ?????????? ??? HEMT.

????? ??????:

1. Akasaka T. et. al. // Appl. Phys. Lett. — 2004. — vol. 85. — ?. 1804607.
2. Ho I., Stringfellow G.B. — Solid phase immiscibility in GaInN // Appl. Phys. Lett. — 1996. — vol. 69. — ?. 2701.
3. Krömer M. C. J. C. M. // Gallium nitride-based high-power heterosstructure field-effect transistors: design, technology and characterization. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven. — 2006. — ISBN-13:978-90-386-1893-7.
4. Lundin V. et. al. // 15-th International Conference on Metal Organic Vapor Phase Epitaxy:Nitride (LED). — 2010.
5. Pankove J.I. and Moustakas T.D. — Gallium Nitride (GaN) I // San Diego, Academic Press. — 1998.
6. Xai Y. et. al. // MagEX conference.-Buffalo University. — 2008.
7. Yang C-C. // Final Report.-Graduate Institute of Electro-Optical Engineering National Taiwan University. — 2006.
8. Zhang J. et. al. — Enhanced luminescence in InGaN multiple quantum wells

with quaternary AlInGaN barriers // Appl. Phys. Lett. — 2000. — vol. 77. — ?. 2668.