

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

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

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

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

??? ?????????? ?????????????????? ?????? ?????????? ?????? ?????????????? ??????
????????????????? ?????????????????? ?????? ??????????, ?????????????? ??????????
????????????????? ?????? — Mg, Fe, Zn [1, p. 1804607; 4; 6; 7], ?????????? ??????????
????????????? ? ?????????? ?????????????????? ??????????????. ???, ? ?????? [7] ??????????
????????????????? ?????????????? ?????? GaN<Fe> ? ?????????? ??????????????????
>10⁸ ?? ??; ?????????????????????? ?????????????? ?????????????? ?????????????????? ? ??????
????????????? ?????? ??? ?????????????????? ?????? ?????????????? HEMT, ?????????? ??????????
????????????? ?????????? ??????????????????????. ??? ?? ??????, ?? ?????????? ? ?????????????
????????????????? ?????????? ?????????????????? ?? ?????????? ?????????? ??????, ??????????????????,
??? ?????????????? ?????????????????? ?????????? ?????? ?????????? ?????? ? ??????????????
????????????????? ?????? ?????? ?? ?????????? ??????????????, ?????????????? ??????????
????????????????? ?????????? ?????????????????? ?????????? ?????? ?????????????????? ?????????
????????? ?????????? ?????????????????? ? ?????????????? ??????????. ? ?????? ? ?????? ??????
????????????????? ? ?????????????????? ?????? ?????? ?????????????????? ??????????????
?????????????????, ? ?????????? ?????????????? ?????????????????? ?????????????? ?????????????????? ??????
GaN ?????????????? ?????????? ?????????????????? ?????????????????? ?????????? ??
????????????? [3—5]. ? ?????? [3] ?????????????? ?????????? ?????????? ?????????????????????
????????????????? ?????? ? ?????????? ?????? ?????????????? ?????? GaN ??
????????????????????? ?????????? ??????????????. ??????????, ??? ?????????????????? ??????
????????? ? ?????????????? ?????????? ?????? ?????????? ? ?????????????? ??????????????????
????????????????????? ??????, ?????? ??? ?????? ?????????????????? ?????????????????? ??????
????????? ??????. ? [5] ??????????, ??? ?????????? ?????????????????? (?) ??????????????????
????? ?????? ?????????? ?????? ??? ?? 8 ?????????? ?????????? ??? ??????????
????????? ? ?????????????????? ??????. ?????????????????? ?????????? ? ?????????????? 10
10¹⁰ ?? ?? ??? ?????????? 100 ?????; ?????????????? ??????????, ??? ?????????? ??????????????
????????????????? ??????, ?? 500 ?????? ?????????????? ? ?????????????? ? ?? 10²—10⁴
?? ???. ?????????????? ?????? ?????? ?????? [8], ?????????????? ?????????????????? ??????????
????????????????? ?????????? ?????????????????? ?????????? ?? ?????? ?????????????? ?????????? ??????????,
?? ?????????????????? ?????????? ?????????????????, ?????????????? ?????????? ?????????????? ?

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

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

????????? ?????????????????? ??????????? ??????? ? ??????????????????
????? GaN ?????????????? ?????????? ?? ?????????? ??????. ? ?????????? ??????
????????????????? ??????????????, ??? ?????????? ??????????, ?????????????????? ?????????
????????? ?????????????? ??????? ? ?????????????????????? ?????????? ?????? GaN, ??????????
?????????? ? ?????????????????? ??????. ???, ??? ?????????????? ?????????? ?? 500 ??
200 ??,??,??, ????. ?????????? ?????????????? ??????? ?? ??? ?????????? ? ?????????????? ~10
14 ??^{-3} .

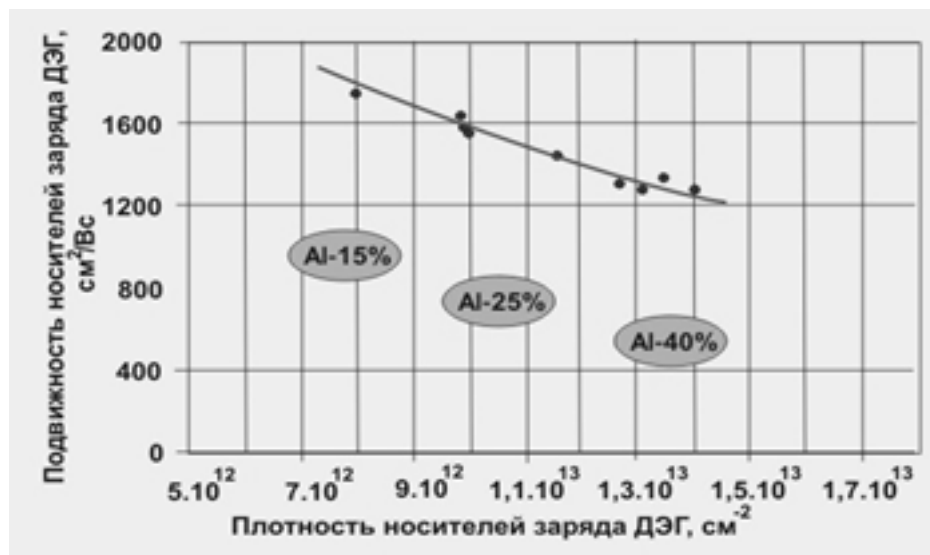
????????????????? ??????????????????
?????? AlGaIn ?????????????????? GaIn/ AlGaIn ?????????? ??????????????
????????????????? ?????????? ?????????????? ?????????????????????? ? ??????, ?????????????????? ??
????????????? ? ?????? ??????? ?????????????? ?????????????? ?????????? ??????????????????
????????????????? ? ?? ??????????????.

?????????? ?????????????? ?????????????? ??????? ?? ?????????????????? ?????????????????? ?
????????? ?????????????? Al ? ?????? AlGaIn (????????? 2). ?????????????? ???????????
????????????? ?????????? ?????????????? ?????????????????? ??????????????????????????
????????????????? ? ?????????????? ??????? ?? ??????????????????. ?????????????????? ??????????????
?????? ?????????????????? ? ?????????? ?????? ?? ?????????, ?????????????? ???
????????????????????? Al ?????? 35—40 % ?????????????????? ?????????? ?????????????? ??????????
?????????????????????. ??? ?????????? ?????????????????? ?????????? (?????? 40 %) ?????? ??????
?????? ?????????????? ?????????????? ?????? ? ?????? ?? ?????????????????????.

????????? ?????????????????? ??????????? ?????????????????????? ??? ?????????????????? ??????????
?????? 40 % ?????????????????????? ? ???, ??? ? ?????? AlGaIn ? ?????? ?????????????????
Al ?????? ?????? ?????????????????? ?????????????? ? ?????????????????? ?????????????????? ???????
????????????????????????????? ?????????????????? [2, p. 2701].

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

????????? AI ? 40 %; ???????? ???????? ?????????????? ?????????? ??? ?????
 ????? ????? 200 ??.



?????? 2. ??????????? ?????????? ?????????????? ??
 ??????????? Al ? ?????? Al_xGa_{1-x}N

??????????? ?????? ???? AlGaN ?????? ?????? ?????????? ?????????? ???
 ???????????????????? HEMT. ??? ?????????? ? ??????? [8, p. 2668], ??????????????,
 ?????????????????? ?? ?????? ??????????????????GaN/ Al_{0.32}G_{0.68}N, ??????????????????
 ??????? ?????????? ??????????????, ???????????????? ? ?????????????? ? ?????????? ????
 ?????????????? ??? (????????? ?????????????? ?????????????? ? ?????????????? 13.8—26 ??).
 ?????????????? ?????????? ?????????????? ?????????????? ? ?????????????????? ? ??????????
 ?????????????? ?????? 13.8 ??, ?????????????? ?????????????????????? ?????????? 26 ??.

[illegible]

В таблице 3 приведены значения концентрации носителей и подвижности для различных толщин слоя AlN. Видно, что оптимальная толщина слоя AlN составляет 0,5–0,7 нм, при которой достигается максимальная концентрация носителей и подвижность.

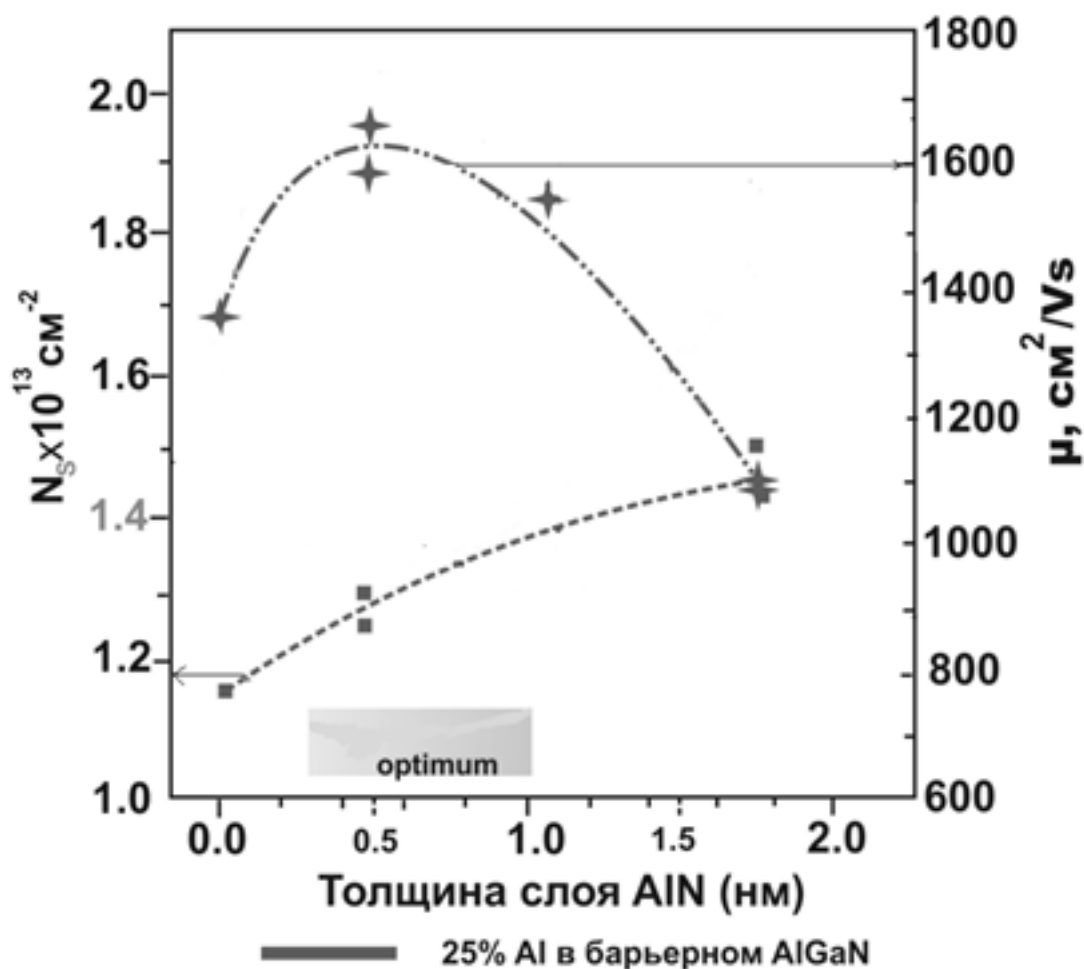
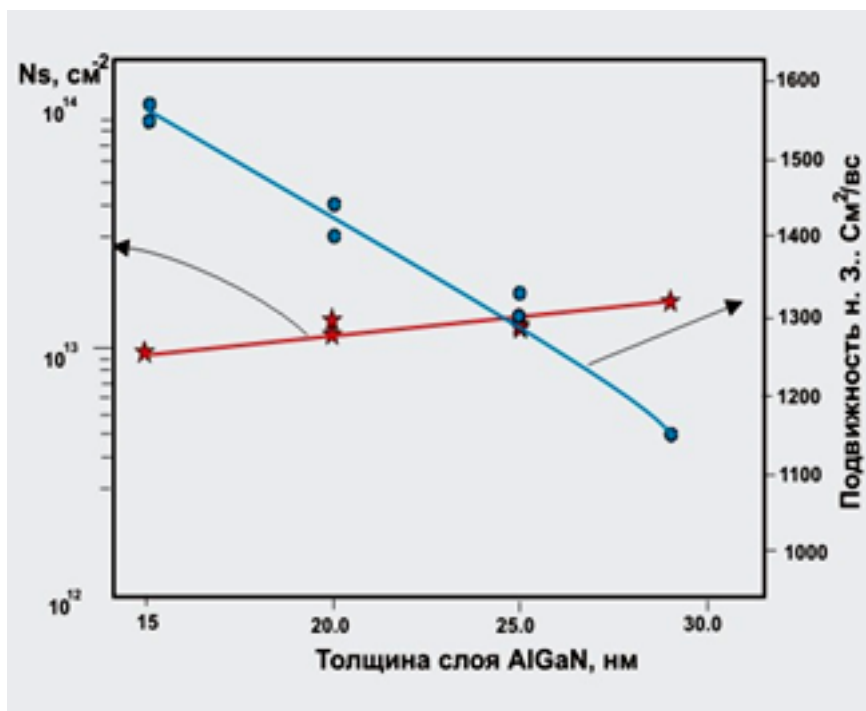


Таблица 3. Значения концентрации носителей и подвижности для различных толщин слоя AlN

В таблице 3 приведены значения концентрации носителей и подвижности для различных толщин слоя AlN. Видно, что оптимальная толщина слоя AlN составляет 0,5–0,7 нм, при которой достигается максимальная концентрация носителей и подвижность.

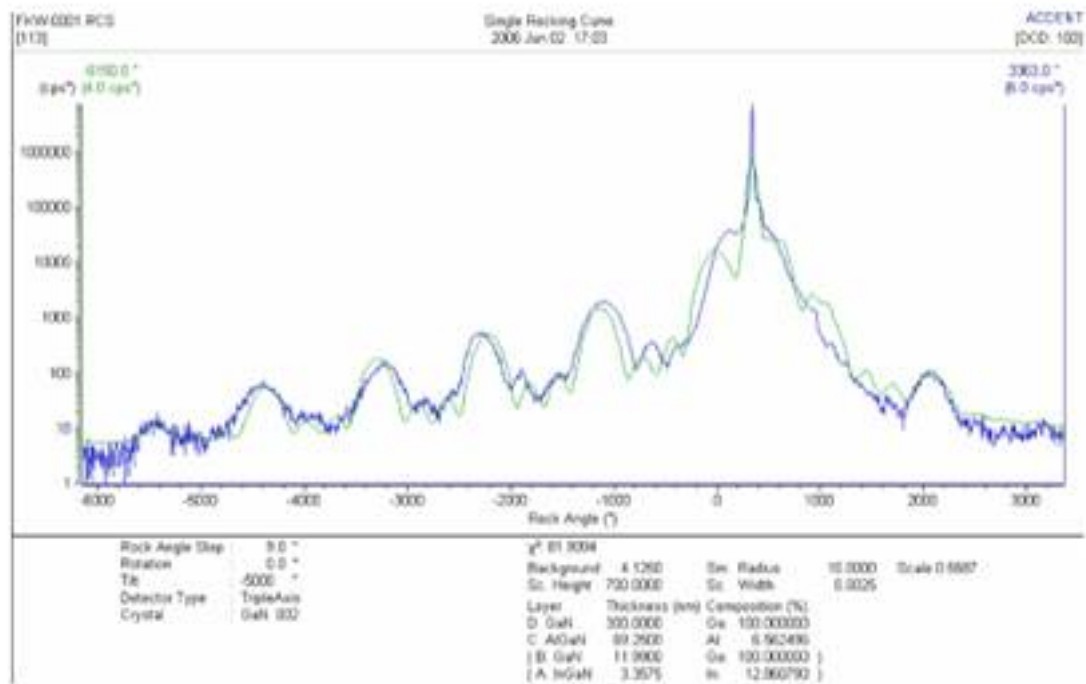
В таблице 4 приведены значения концентрации носителей и подвижности для различных толщин слоя AlGaIn. Видно, что оптимальная толщина слоя AlGaIn составляет 0,5–0,7 нм, при которой достигается максимальная концентрация носителей и подвижность.



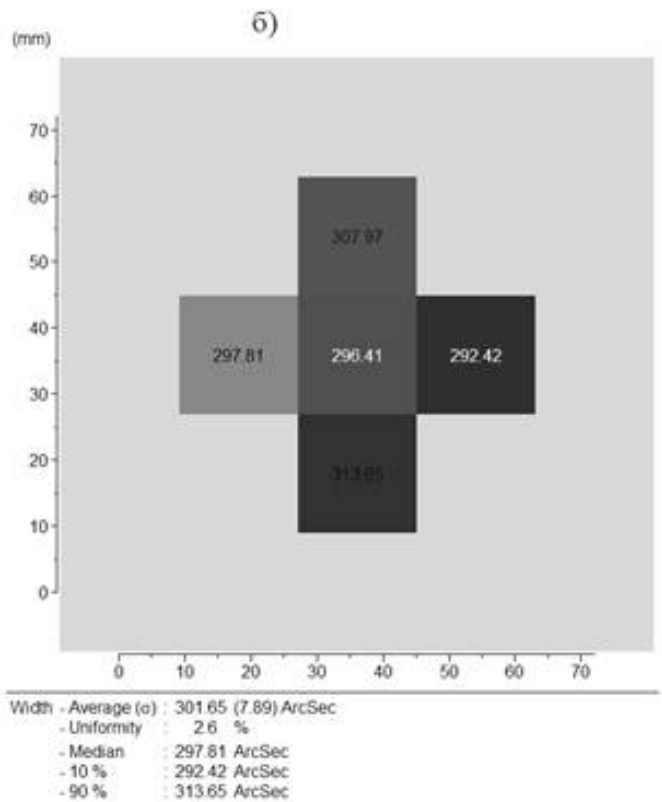
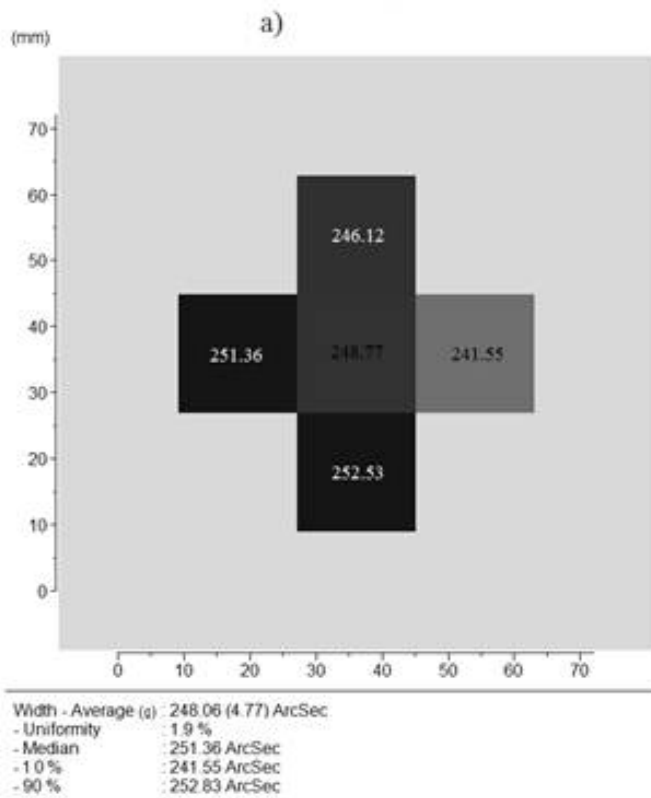
??????? 4. ????????????? ????????????? ????????????? ????????????? ????? ?
 ?????????????????????AlGaIn/GaN ?? ????????? ????????????????? AlGaIn

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

?????????????? Al ? ???? AlGaIn ? ????????????????? ????????????????? ??????????????
 ?????? ??????????????????? ?? ????????? ????????????????????? ?????????????; ??? ????????????????? ?????????
 ????????????? ?? ?????????? 5.



??????? 5. ?????? ?????????????? ?????????? ?????????? AlGaIn/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 % ? ?????????, ? ?????? ?? ??????

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