

Elektronų dreifo greitis legiruotame ZnO

Electron drift velocity in doped ZnO

L. Ardaravičius, O. Kiprijanovič, M. Ramonas, E. Šermukšnis, J. Liberis, A. Matulionis
Fizinių ir technologijos mokslų centras, Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius
linas.ardaravicius@ftmc.lt

Plataus draustinio tarpo puslaidininkiai yra perspektyvūs daugelyje didelės galios elektronikos sričių. Tradicinių deimanto, silicio karbido ir nitridų lauko efekto tranzistorių (*FET*) panaudojimą aiškiai riboja aukšta savikaina. Alternatyvą siūlo oksidai, tarp jų ir cinko oksidas (ZnO). Tikėtina, kad ateityje ZnO epitaksinių darinių kokybė bus aukštesnė, ir ZnO prietaisai bus plačiai naudojami centimetrinių bei milimetrinių bangų elektronikoje [1].

Šiame darbe tirti epitaksiniai ZnO sluoksniai, užauginti molekulinio pluoštelio plazminės epitaksijos būdu ant safyro padėklų *a*-plokštumos. Galui legiruoto ZnO epitaksinių sluoksnių plotis $w = 250\text{--}300\ \mu\text{m}$, storis $d = 170\text{--}380\ \text{nm}$. Elektronų judris ir trimatis tankis legiruotame kanale (1 lentelė) buvo įvertinti iš Holo matavimų. Koplanariniai Ti/Au (25 nm/50 nm) elektrodai buvo padaryti naudojant fotolitografiją. Kontaktinė varža buvo įvertinta pamatavus bandinio varžos priklausomybę nuo kanalo ilgio.

1 lentelė. Legiruotų ZnO kanalų savybės kambario temperatūroje.

Kanalo storis d (nm)	Elektronų tankis n (cm^{-3})	Elektronų judris μ (cm^2/Vs)
340	$1,4 \times 10^{17}$	106
220	$2,0 \times 10^{17}$	85
350	$5,5 \times 10^{17}$	73
300	$4,9 \times 10^{18}$	23
200	1×10^{19}	57
200	$1,1 \times 10^{19}$	66
170	$1,7 \times 10^{19}$	27
240	$1,1 \times 10^{20}$	48
380	$5,7 \times 10^{20}$	40

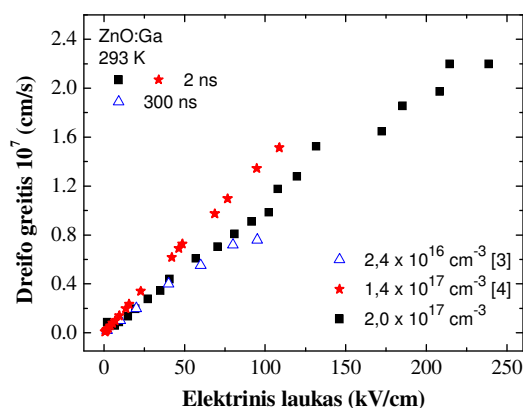
Nanosekundinių elektrinių impulsų tyrimų stendas, sukurtas nitridų protakoms tirti [2], buvo pritaikytas donorais legiruotų ZnO epitaksinių sluoksnių tyrimui. Voltamperinės charakteristikos buvo išmatuotos plačiame elektrinių laukų ruože (iki 240 kV/cm), naudojant 2 ns trukmės elektrinius impulsus. Elektronų dreifo greitis v_{dr} (1 pav.) buvo įvertintas gana plačiame elektronų tankio intervale: nuo $1,4 \times 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ iki $5,7 \times 10^{20}\ \text{cm}^{-3}$ manant, kad elektronų tankis n matavimo metu nekinta: $v_{dr} = I/(enwd)$, kur I yra per bandinį tekanti srovė ir e yra elektrono krūvis.

Šiame darbe didžiausias greitis $v_{drmax} = 2,2 \times 10^7\ \text{cm/s}$ pasiektas ZnO sudarant 210–240 kV/cm elektrinio lauko stiprį. Šis greitis beveik trigubai viršija publikuotą didžiausią eksperimentinę vertę, pasiektą nominaliai nelegiruotame ZnO ($7,6 \times 10^6\ \text{cm/s}$ ties 95 kV/cm [3]) naudojant sąlyginai ilgesnius elektrinius impulsus

(300ns). Eksperimentiškai įvertinta v_{drmax} vertė legiruotame ZnO yra palyginama su v_{drmax} InGaN/GaN protakose [2].

Mažuose elektronų tankiuose išmatuotos didelės dreifo greičio vertės ZnO yra sietinos su maža savaiminio pakaitimo (Džaulio šilumos) įtaka, stiprėjančia didėjant elektronų tankiui. Kita vertus, tankiui didėjant stiprėja priemaišinė sklaida.

Monte Karlo skaičiavimai rodo, kad priemaišinė sklaida būna stipriausia silpnuose elektriniuose laukuose ir silpnėja elektronams kaistant, tačiau išlieka svarbi visame elektrinių laukų ruože. Palyginti siaurame elektronų tankio ruože ($1\text{--}1,1 \times 10^{19}\ \text{cm}^{-3}$) yra stebimas didesnis dreifo greitis [4], kuris yra siejamas su santykinai dideliu judriu tirtuose dariniuose (1 lentelė).



1 pav. Elektronų dreifo greičio priklausomybė nuo elektrinio lauko stiprio ZnO kambario temperatūroje esant skirtingiems elektronų tankiams: $2,4 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-3}$ ([3], trikampiai), $1,4 \times 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ ([4], žvaigždės), $2,0 \times 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ (kvadratai). Elektrinio impulso trukmė 300 ns [3], 2 ns ([4], šis darbas).

Reikšminiai žodžiai: elektrinio lauko stipris, nanosekundiniai elektriniai impulsai, elektronų dreifo greitis, elektronų tankis, Monte Karlo skaičiavimai

Literatūra

- [1] H. Morkoç, U. Özgür, *Zinc Oxide: Fundamentals, Materials and Device Technology* (Wiley-VCH, Weinheim, 2009).
- [2] L. Ardaravičius, O. Kiprijanovič, J. Liberis, A. Matulionis, R. A. Ferreyra, V. Avrutin, Ü. Özgür, and H. Morkoç, *Semicond. Sci. Technol.*, **30**(10), 105016 (2015).
- [3] S. Sasa, T. Maitani, Y. Furuya, T. Amano, K. Koike, M. Yano, and M. Inoue, *Phys. Status Solidi A* **208**, 449 (2011).
- [4] L. Ardaravičius, O. Kiprijanovič, J. Liberis, E. Šermukšnis, A. Matulionis, M. Toporkov, V. Avrutin, U. Özgür, and H. Morkoç, *Mater. Res. Express*, **4**, 066301 (2017).