

# Terahercų detekcijos AlGaIn/GaN tranzistoriuose hidrodinaminis modeliavimas

## Hydrodynamic simulation of terahertz detection in AlGaIn/GaN transistors

Juozas Vyšniauskas, Alvydas Lisauskas, Jonas Matukas

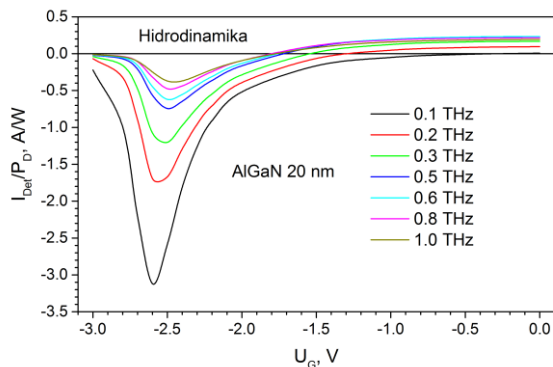
Vilniaus universitetas, Radiofizikos katedra, Saulėtekio al. 3, LT-10222 Vilnius

[juozas.vysniauskas@ff.vu.lt](mailto:juozas.vysniauskas@ff.vu.lt)

Plazminių bangų rezonansų [1] numatymas submikroniniuose lauko tranzistorių kanaluose stimuliuo taikomuosius darbus terahercų (THz) diapazone gerokai virš standartinių ribinių dažnių. Yra nemažai eksperimentinių [2] ir teorinių darbų [3], įrodančių, kad plazmoninis lyginimas gali būti panaudotas efektyviai THz detekcijai. Nežiūrint to, yra daug neatsakytų klausimų, liečiančių prognozių patikimumą, naudojant egzistuojančius hidrodinaminis modelius realių detektorių tyrimuose.

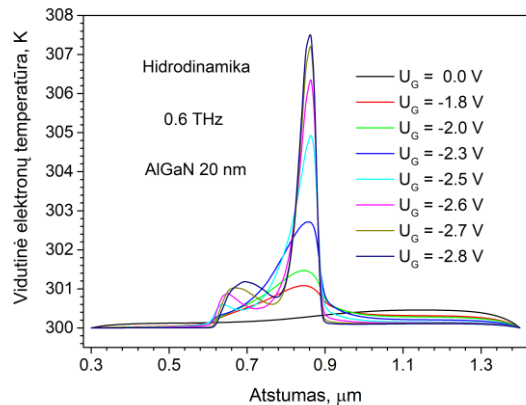
Šiame darbe yra pateikti THz detekcijos didelio elektronų judrio tranzistoriuose (HEMT) skaitmeninio modeliavimo rezultatai. Buvo naudojamas dvimatis hidrodinaminis (HD)  $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}/\text{GaN}$  HEMT modelis, realizuotas Synopsys TCAD Sentaurus programų pakete. Palyginimui buvo naudotas supaprastintas dreifinis-difuzinis (DD) modelis, atmetant energijos balanso lygtį. AlGaIn sluoksnio storis - 20 nm, ištako (S), sklendės (G) ir santako (D) ilgis - 300 nm, S-D atstumas - 300 nm, G-D atstumas - 500 nm. AlGaIn tarp elektrodų padengtas 25 nm  $\text{Si}_3\text{N}_4$  pasyvaciniu sluoksniu.  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{AlGaIn}$  riboje įvestas  $5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  paviršinio tankio donorinis lygmuo (0.4 eV nuo draustinės juostos centro), palaikantis didelį elektronų tankį kanale tarp elektrodų. AlGaIn ir GaN sluoksniai nelegiruoti. S ir G sujungta per pastovios įtampos šaltinį  $U_G$ , tarp D ir S įjungtas 50 mV amplitudės kintamos įtampos (0.1-1.0 THz) šaltinis. Detekcijos rezultatas gaunamas vidurkinant santako srovę, praleidus pereinamuosius procesus dviejų pirmųjų periodų metu. Tranzistoriaus jautris THz spinduliotei buvo skaičiuojamas kaip detektuotos santako srovės santykis su kintamos įtampos šaltinio galia (A/W).

1 pav. pateikti pagrindiniai modeliavimo rezultatai.



1 pav. Tranzistoriaus jautrio priklausomybė nuo sklendės įtampos, esant skirtingiems kintamos įtampos šaltinio virpesių dažniams

Didinant dažnį jautris mažėja. Tai yra siejama su didėjančiais galios nuostoliais kanale tarp elektrodų. Taip pat didėja skirtumas tarp HD ir DD modelių rezultatų. Esant 100 GHz, abu modeliai duoda praktiškai vienodą maksimalų jautrį apie 3.1 A/W prie  $U_G = -2.6$  V. Svarbus rezultatas yra tai, kad HD modelis numato detektuotos srovės ženklą pokytį, viršijus tam tikrą  $U_G$  vertę. Šis efektas, kuris buvo stebėtas eksperimente [4] ir kurį negalima paaiškinti plazmoniniais modeliais, labiau pasireiškia, esant aukštesniems dažniams. 2 pav. parodyta vidutinės elektronų temperatūros priklausomybė kanale nuo  $U_G$ .



2 pav. Vidutinės elektronų temperatūros priklausomybė kanale nuo sklendės įtampos  $U_G$

Nežiūrint to, kad elektronų temperatūra keičiasi nedaug, jos pasiskirstymas išilgai kanalo duoda papildomą difuzinę srovę, kuri prie  $U_G = 0$  yra dominuojanti, lyginant su plazmoniniu detekcijos sandu.

*Reikšminiai žodžiai: HEMT, THz, plazmonai, GaN.*

### Literatūra

- [1] M. Dyakonov, and M. Shur, Detection, mixing, and frequency multiplication of terahertz radiation by two-dimensional electronic fluid, *IEEE Trans. Electron. Dev.*, **43**, 380 (1996).
- [2] M. Bauer, R. Venckevičius, I. Kašalynas, S. Boppel, M. Mundt, L. Minkevičius, A. Lisauskas, G. Valušis, V. Krozer, and H. G. Roskos, Antenna-coupled field-effect transistors for multi-spectral terahertz imaging up to 4.25 THz, *Optics Express*, **22**, 19235 (2014).
- [3] S. Rudin, G. Rupper, A. Gutin, and M. Shur, Theory and measurement of plasmonic terahertz detector response to large signals, *J. Appl. Phys.*, **115**, 64503 (2014).
- [4] A. Lisauskas, M. Bauer, A. Ramer, K. Ikamas, J. Matukas, S. Chevtchenko, W. Heinrich, V. Krozer, and H. G. Roskos, Terahertz rectification by plasmons and hot carriers in gated 2D electron gases, *International Conference on Noise and Fluctuations (ICNF)*, (Xian: IEEE), pp 1–5 (2015).