

Kompaktiški Si ir SiGe KMOP elektroniniai šaltiniai taikymams 250-400 GHz dažnių srityje

Compact Si and SiGe CMOS all-electronic sources for applications in 250-400 GHz range

Kęstutis Ikamas^{1,3}, Dmytro B. But², Albert Cesiul¹, Cezary Kołaciński², Wojciech Knap², Alvydas Lisauskas^{1,2}

¹Taikomosios elektrodinamikos ir telekomunikacijų institutas, Vilniaus Universitetas, LT-10257, Vilnius, Lietuva

²Center for Terahertz Research and Applications, Institute of High Pressure Physics PAS, 01-142 Warsaw, Poland

³Generolo Jono Žemaičio Lietuvos karo akademija, Šilo 5A, 10322, Vilnius, Lietuva

kestutis.ikamas@ff.vu.lt

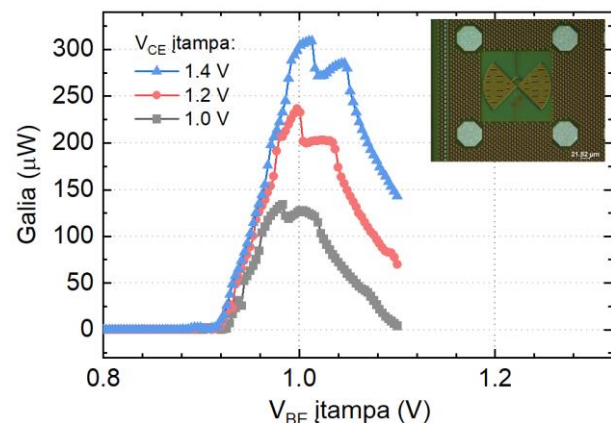
Kietojo kūno elektronika jau daugiau nei 70 metų išlieka viena sparčiausiai vystomų technologijų pasaulyje. Pastaruosius du dešimtmečius daug dėmesio skiriama naujai sričiai - terahercų dažnių juostos (0,1-10 THz) elektronikai. Siekiama pritaikyti gerai išvystytą, masinei gamybai tinkančią Si CMOS (liet. komplementari metalo, oksido ir puslaidininkio) technologiją naujų šaltinių ir detektorių, kertinių THz spektroskopijos, naujos kartos bevielės telekomunikacijos ir kitų, virš 100 GHz dirbančių sistemų, kūrimui. Fundamentinių osciliatorių srityje didžiausių laimėjimų pasiekta SiGe BiCMOS technologinė platformoje - sukurti 240 GHz dažnio ir 8,5 dBm galios šaltiniai [1]. Aukštesnių už 300 GHz virpesių taip vadinamuose harmoniniuose osciliatoriuose gavimui naudojami netiesiniai reiškiniai. 2008 metais pademonstruotas 410 GHz ir -47 dBm įtaisas, pagamintas naudojant 45 nm Si CMOS technologiją [2]. Aukščiausias, 1,4 THz dažnis pasiektas su į dauginimo grandinę apjungtais 65 nm CMOS varaktoriais [3], o didžiausia galia – 0,8 dBm ties 312 GHz, išgauta 65 nm CMOS pusės kvadratūros osciliatoriaus architektūroje [5]. Šiose tezėse pateikiami lietuvių ir lenkų mokslininkų pasiekimai rekordinės galios THz ruožo osciliatorių kūrimo srityje.

Harmoniniai osciliatoriai pagaminti naudojant standartinį komercinį 65 nm Si CMOS gamybos procesą, suteiktą Taivanie kompanijos TSMC. Osciliatorių modeliavimo teorija teigia, kad šaltinio generuojamo fundamentinio sinusoidinio signalo dažnis visuomet mažesnis už taip vadinamą maksimalių virpesių dažnį f_{max} . Tranzistorių modeliavimo su TSMC suteiktais modeliais rezultatai rodo, kad pasirinktoje technologijoje maksimalus f_{max} siekia 165 GHz. Dėl to aukštesnio dažnio šaltinių kūrimui pasirinkta diferencinio Colpitts osciliatoriaus architektūra, optimizuota trečios harmonikos virpesiams. Grandinė sudaryta iš dviejų 60 nm ilgio ir 28 μm pločio lauko tranzistorių, aukštadažnių pasyvių LC (indukcinių ir talpinių) elementų ir tranzistoriaus užtūros ir kanalo maitinimo nuolatine srove dalies. Pasyvūs elementai parinkti taip, kad kuo labiau slopintų fundamentinius 84 GHz virpesius ir kuo efektyviau spinduliuotų į laisvą erdvę trečiąją 252 GHz harmoniką.

Iš viso pagaminti trys harmoninio osciliatoriaus variantai [5]. Kiekvieno charakteristikos išmatuotos su taškas-taškas stendu, sudarytu iš dviejų neašinių parabolinių veidrodžių ir dviejų detektorių – vieno plačiajuosčio (komercinis Golėjaus narvelis) ir atrankinio, optimizuoto 250 GHz dažniui (savos gamybos tranzistorinis įtaisas). Didžiausia šaltinių galia ties 252

GHz siekė 78 μW (-11,1 dBm), o bendroji galia, įskaitanti visų harmonikų spinduliuotę – 139 μW (-8,6 dBm). Virpesių dažnis gali būti parinktas 252-265 GHz intervale keičiant tranzistorių užtūros ir kanalo įtampas.

Siekdami pagaminti dar aukštesnės galios ir dažnio imtuvus pasirinkome kitą, vokiečių kompanijos IHP siūlomą 130 nm SiGe CMOS įvairialytės sandūros dvipolių tranzistorių gamybos technologiją, pasižyminčią 400 GHz f_{max} dažniu. Šioje platformoje sukonstravome fundamentinį 300 GHz dažnio šaltinį. Įtaiso architektūra ta pati – diferencinis Colpitts osciliatorius, tačiau pasyvūs elementai optimizuoti pirmosios harmonikos išspinduliuoimui į laisvą erdvę. Pirminių matavimų duomenimis, pagamintų įtaisų galia siekia 300 μW (-5,2 dBm, žr. 1 pav.). Tai gerokai mažiau nei tikėjomės. Grandinės modeliavimo rezultatai rodo, kad iš grandinės galima tikėtis arti 1 mW galios. Šiuo metu ruošama gamybai pagerintos 130 nm SiGe CMOS terahercų šaltinio versijos.



1 pav. 130 nm SiGe CMOS fundamentinio osciliatoriaus galia. Išmatuota su atrankiuoju 300 GHz tranzistoriniu detektoriumi. Nuotraukoje – pagamintas šaltinio lustas.

Reikšminiai žodžiai: terahercai, harmoninis osciliatorius, fundamentinis osciliatorius, CMOS.

Literatūra

- [1] P. Rodríguez-Vázquez et al., in *Proc. of IEEE Radio Wireless Symp.*, Anaheim, CA, USA, pp. 146–149 (2018).
- [2] E. Seok, et al., in *Proc. of ISSCC 2008*, pp. 472–629 (2008).
- [3] Z. Ahmad and K. O. Kenneth, in *Proc. Symp. VLSI Circuits*, Kyoto, Japan, pp. C310–C311 (2015).
- [4] L. Wu et al., *IEEE J. Solid-State Circuits*, 52 (11), 2920 (2017).
- [5] K. Ikamas et al., *Sensors*, vol. 21 (17), 5795 (2021).