

(19)



(10) **LT 2014 511 A**

(12) **PARAIŠKOS APRAŠYMAS**

- (21) Paraiškos numeris: **2014 511** (51) Int. Cl. (2016.01): **G01N 21/00  
G01J 3/00**
- (22) Paraiškos padavimo data: **2014-12-05**
- (41) Paraiškos paskelbimo data: **2016-06-27**
- (62) Paraiškos, iš kurios dokumentas išskirtas, numeris: —
- (86) Tarptautinės paraiškos numeris: —
- (86) Tarptautinės paraiškos padavimo data: —
- (85) Nacionalinio PCT lygio procedūros pradžios data: —
- (30) Prioritetas: —
- (71) Pareiškėjas:  
**Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Fizinių ir technologijos mokslų centras,  
Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, LT**
- (72) Išradėjas:  
**Irmantas KAŠALYNAS, LT  
Gintaras VALUŠIS, LT  
Dalius SELIUTA, LT  
Rimvydas VENČKEVIČIUS, LT  
Linas MINKEVIČIUS, LT**
- (74) Patentinis patikėtinis/atstovas:  
**Virgina Adolfiną DRAUGELIENĖ, UAB TARPINĖ, A.P.Kavoliuko g. 24-152, LT-04328 Vilnius, LT**

(54) Pavadinimas:

**Tiriamojo objekto spektroskopinis vaizdinimo būdas ir įrenginys**

(57) Referatas:

Išradimas priklauso vaizdų užrašymo ir atkūrimo sričiai terahercinio elektromagnetinės spinduliuotės dažnių diapazone ir gali būti naudojamas įvairių paslėptų pakuotėse objektų aptikimui bei jų atpažinimui. Tiriamojo objekto atkuriamo vaizdo kontrastui padidinti pasiūlytame būde terahercinio dažnio amplitudė moduluotą spinduliuotę padalija į du koherentinius šviesos pluoštus. Pirmąjį iš pluoštų nukreipia į tiriamą objektą bei su juo atlieka objekto skenavimą, o praėjusią objektą arba nuo jo atsispindėjusią šviesos spinduliuotę surenka į optinį elementą, kuriame pluoštas sumuojamas su minėtu antruoju šviesos pluoštu tam, kad už optinio elemento abu šviesos pluoštai interferuotų. Nekohherentiniu detektoriumi registruoja interferavusio terahercinio pluošto intensyvumą, kuris priklauso nuo praėjusios per tiriamą objektą elektromagnetinės bangos amplitudės ir fazės pokyčių, o pagal minėtus pokyčius vaizduoklyje atkuria tiriamojo objekto vaizdą.

## TIRIAMOJO OBJEKTO SPEKTROSKOPINIS VAIZDINIMO BŪDAS IR ĮRENGINYS

### Technikos sritis

Išradimas priklauso vaizdų užrašymo ir atkūrimo sričiai terahercinio elektromagnetinės spinduliuotės dažnių diapazone ir gali būti naudojamas įvairių paslėptų pakuotėse objektų aptikimui bei jų atpažinimui saugos sistemose bei aplinkosaugoje, audinių struktūriniams pokyčiams medicinoje, medžiagų diagnostikai pramonėje, panaudojant spektroskopinį heterodininį vaizdų užrašymą ir atkūrimą teraherciniame dažnių ruože.

### Technikos lygis

Terahercinis (THz) dažnių ruožas yra elektromagnetinės spinduliuotės sritis, esanti tarp milimetrinių radijo bangų ir infraraudonosios spinduliuotės srities. Terahercinė spinduliuotė lengvai praeina pro įvairias medžiagas, tokias kaip popierius, kartonas ar plastikas, todėl gali "matyti" tokiuose pakuotėse paslėptus įvairius objektus. Jei paslėptos medžiagos šiame dažnių ruože turi sugerties spektrines linijas, jas galima identifikuoti matuojant jų absorbcijos ar pralaidumo spektrus.

Pagrindinis THz dažnių ruože vaizdinimo metodas yra laikine terahercine spektroskopija (angl. *Terahertz time-domain- spectroscopy* – THz-TDS). Šio metodo esmė yra ta, jog THz spinduliuotės impulsai yra generuojami ir detektuojami, naudojant femtosekundinės trukmės lazerio impulsus, kurie atitinkamai sužadina optoelektroninius emiterius ir strobuoja optoelektroninius detektorius [P. Smith et al., *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 24, No. 2, pp. 255-260 (1988)].

Daugeliu praktinių atvejų – nepažeidžiančiame objektų/pakuočių testavime, medicininėje diagnostikoje, distanciniame asmenų tikrinime saugumo sistemose, nėra patogiu matuoti pakuotėse paslėptų objektų spektrus THz ruože dėl pačios pakuotės – drabužių, kartono ar organinių medžiagų, etc – sklaidos ar absorbcijos šiame elektromagnetinės spinduliuotės diapazone. Todėl patogiau yra naudoti spektroskopinio THz vaizdinimo metodiką, kuri leidžia atpažinti paslėptas medžiagas užrašant vaizdus ties charakteringomis medžiagų linijomis, jei tų medžiagų THz spektras yra *a priori* žinomas [I. Kašalynas, R. Venckevičius, D. Seliuta, I. Grigelionis, and G. Valušis, *Journal of Applied Physics* Vol. 110, art. no 114505 (2011),

I. Kašalynas, R. Venckevičius, and G. Valušis, *IEEE Sensors Journal*, Vol. 13, No. 1, p. 50-54 (2013)].

Žinomose terahercinio vaizdinimo sistemose dažniausiai yra registruojamas praėjusio pro tiriamąjį objektą arba atsispindėjusio nuo objekto THz spindulių intensyvumas. Optinio pralaidumo registravimas yra techniškai paprastesnis, atspindys yra matuojamas tada, kai objekto optinis pralaidumas mažas arba yra reikalinga informacija apie objekto paviršiaus ypatumus.

Terahercinių bangų fazės pokyčio, atsiradusio dėl tiriamojo objekto, matavimas leidžia padidinti skaidrių objektų vaizdo kontrastą ir suteikia papildomos informacijos apie objekto vidinę sandarą. Taikant laikinės skyros terahercinę vaizdinimo sistemą [D. M. Mittleman, M. Gupta, R. Neelamani, R. G. Baraniuk, J. V. Rudd, and M. Koch, *Appl. Phys. B* 68(6), 1085–1094 (1999)] yra matuojamas praėjusio pro tiriamąjį objektą optinio impulso vėlinimas. Vėlinimas yra tiesiogiai susijęs su terahercinio spindulio fazės pokyčiu, todėl informacija apie fazę gali būti nesunkiai gauta iš impulsinių interferogramų. Tačiau laikinės skyros terahercinės sistemos yra nepraktiškos dėl savo sudėtingos konstrukcijos ir palyginti aukštos kainos.

Fazė taip pat gali būti registruojama naudojant koherentinį nuolatinės veikos terahercinio dažnio šaltinį ir interferometrinę matavimo sistemą: Macho-Zenderio interferometrą [S. Mair, B. Gompf and M Dressel, *Physics In Medicine And Biology*, Vol. 47 (21) 3719–3725 (2002)] arba Maikelsono interferometrą [Yingxin Wang, Ziran Zhao, Zhiqiang Chen, Li Zhang, Kejun Kang, and Jingkang Deng, *Applied Optics* Vol. 50, 6452-6460 (2011)]. Kiekvienam vaizdo elementui yra užrašoma interferograma, keičiant vieno iš spindulių kelio ilgį. Pagal interferogramą yra nustatomas fazės poslinkis kiekvienam vaizdo elementui.

Yra žinomas būdas fazės poslinkiui matuoti – interferometras su moduluoto dažnio terahercinių dažnių bangų šaltiniu [J. Zheng, *Optical Frequency-Modulated Continuous Wave (FMCW) Interferometry*; Springer-Verlag, p. 111-124 (viso 245) (2005)]. Šiuo atveju šaltinio dažnis yra keičiamas tiesiniu dėsnio. Dėl spindulių eigos skirtumo atsiranda signalo vėlinimas, o detektoriaus įėjime gaunami du skirtingo dažnio teraherciniai virpesiai.

Naudojant moduluoto dažnio šaltinį, nereikalingos precizinės vėlinimo linijos (mechaninės veidrodžių poslinkio sistemos). Signalų mušimai, atsiradę detektoriaus išėjime gali būti analizuojami žemo dažnio elektronikos grandinėse. Mušimų signalo fazė nepriklauso nuo aukštadažnio signalo fazės, todėl, moduluojant šaltinio dažnį pjūklų formos signalu, pastarąjį

galima sinchronizuoti su detektoriaus signalu. Tai leidžia matuoti detektoriaus signalo fazės pokytį, kuris yra tiesiogiai susijęs terahercinio spindulio fazės pokyčiu tiriamajame objekte. Tai leidžia nustatyti fazės poslinkį kiekviename vaizdo taške ir gauti tiriamojo objekto fazinį vaizdą.

Fazinio vaizdinimo sistemos suteikia pilną vaizdą apie praėjusią arba atsispindėjusią terahercinę bangą, tačiau yra sudėtingos, brangios ir lėtaeigės, nes fazės registravimas reikalauja interferogramos analizės, kuri trunka ilgiau, nei amplitudės registravimas.

Artimiausias pagal techninę paskirtį yra LT patentinėje paraiškoje Nr.2013-128 Pr.179, autoriai: R. Adomavičius, I. Kašalynas, R. Venckevičius, G. Valušis, A. Krotkus, aprašyta terahercinių dažnių juostos THz-TDS vaizdinimo sistema. Principinę šios sistemos schemą sudaro: femtosekundinis lazeris, kurio spinduliuotė perduodama į anteninį emiterį, kurio išėjimo spinduliuotė kvazioptinės fokusuojančios sistemos pagalba yra fokusuojama tiriamame objekte, o spinduliuotė, praėjusi tiriamą objektą minėtos fokusuojančios sistemos nukreipiama į nekoherentinį THz detektorių. Vaizdinimo sistemoje numatytas valdymo elektronikos blokas ir siauro dažnio filtras. Matuojant objekto pralaidumą, tiriamasis objektas yra tvirtinamas ant plokštumoje slankiojamo laikiklio tarp dviejų fokusuojančių optinių elementų. Tai leidžia iš atskirų taškų sudaryti dvimatį tiriamojo objekto optinio pralaidumo arba atspindžio vaizdą. Signalo/triukšmo santykiui padidinti yra naudojama terahercinio spindulio amplitudės moduliacija ir sinchroninis detektavimas.

Žinomose sistemose matuojant THz spindulio intensyvumą, pro bandinį praėjusios arba nuo jo atsispindėjusios šviesos fazė nėra fiksuojama. Informacijos apie THz spindulio intensyvumą nepakanka, jei tiriamasis objektas yra santykinai skaidrus, o sugertis arba atspindys yra silpni. Tokiu atveju vaizdo kontrastas yra nedidelis, neskaitant tiriamojo objekto kraštų, kuriuose kontrastas padidėja dėl terahercinių bangų difrakcijos.

Išradimo esmė

Išradimu siekiama padidinti vaizdų atkūrimo spartą, padidinti tiriamojo objekto atkurto vaizdo kontrastą bei supaprastinti įrenginio techninį išpildymą.

Pagal pasiūlytą išradimą tiriamojo objekto heterodininis vaizdinimo būdas apima terahercinio dažnio amplitudė moduluotos spinduliuotės nukreipimą į tiriamą objektą, objekto skenavimą spinduliuote, praėjusios pro objektą arba atsispindėjusios nuo jo minėtos spinduliuotės

intensyvumo registravimą. Pagal pasiūlytą išradimą terahercinio dažnio amplitudė moduliuotą spinduliuotę padalija į du šviesos pluoštus, pirmąjį iš pluoštų nukreipia į tiriamą objektą bei su juo atlieka objekto skenavimą, praėjusią objektą arba nuo jo atsispindėjusią šviesos spinduliuotę surenka į optinį elementą, kuriame pluoštas sumuojamas su minėtu antruoju šviesos pluoštu tam, kad už optinio elemento abu šviesos pluoštai interferuotų. Nekoherentiniu detektoriumi registruoja interferavusio terahercinio pluošto intensyvumą, kuris priklauso nuo praėjusios per tiriamą objektą elektromagnetinės bangos amplitudės ir fazės pokyčių, pagal kuriuos ekrane atkuria tiriamo objekto vaizdą.

Pagal konstrukcinį pasiūlyto išradimo išpildymą heterodininiame vaizdinimo įrenginyje, apimančiame šviesos šaltinį, generuojantį terahercinio dažnio moduliutos amplitudės spinduliuotę, įrenginys papildomai turi terahercinio dažnio spinduliuotės interferometrą, apimantį šviesos spinduliuotės daliklį, skirtą minėtą spinduliuotę padalinti į du šviesos pluoštus, kurių pirmojo kelyje patalpinta fokusavimo sistema, skirta pirmąjį šviesos pluoštą fokusuoti tiriamame objekte, o praėjusį ar nuo jo atsispindėjusį pirmąjį šviesos pluoštą surinkti į interferometro kitą šviesos daliklį, į kurį yra nukreiptas terahercinės spinduliuotės antrasis pluoštas, abu minėti šviesos pluoštai daliklyje sudedami, o už daliklio interferavęs spinduliuotės pluoštas fokusavimo priemone yra nukreiptas į terahercinės spinduliuotės bent vieną nekoherentinį detektorių (10), skirtą interferavusio spinduliuotės pluošto intensyvumui, kuris priklauso nuo praėjusios per tiriamą objektą elektromagnetinės bangos amplitudės ir fazės pokyčių, registruoti, o pagal užregistruotus intensyvumo pokyčius ekrane atkuria tiriamo objekto vaizdą. Terahercinės spinduliuotės šaltinio dažnis pasirenkamas atsižvelgiant į tiriamo objekto sugerties spektrą. Terahercinės spinduliuotės šaltinis spinduliuoja vieno dažnio amplitudė moduliuotą spinduliuotę. Nekoherentinis detektorius yra parinktas iš InGaAs asimetrinės formos diodų arba nanometrinių matmenų lauko tranzistorių (Tera-FET) arba mikrobolometrų. Nekoherentinis detektorius gali būti sudarytas iš daugiau nei vieno detektoriaus, kurie gali būti išdėstyti į liniją arba sukomponuoti į dvimatę matricą. Fokusuojanti priemonė gali būti cilindrinis lęšis arba veidrodis, terahercinę spinduliuotę sufokusuojantis į liniją bandinio ir detektoriaus plokštumoje.

Pagal išradimą pasiūlytas vaizdinimo būdas ir įrenginys nuo žinomos tiesioginės detekcijos sistemos skiriasi tuo, kad vaizdai kurti naudojama ir amplitudinė, ir fazinė terahercinės bangos

informacija, be to, sistema pasižymi paprastumu ir didele veikimo sparta, nes joje vaizdui gauti pakanka vieno šaltinio ir nereikalingas atskiras signalų apdorojimas. Šios sistemos privalumas tas, kad praėjusios arba atsispindėjusios bangos tiek amplitudė, tiek ir fazės pokytis didina vaizdo kontrastą. Šis būdas tinka skaidrių ir mažai kontrastingų teraherciniame diapazone objektų vaizdinimui, esant mažam amplitudinio vaizdinimo kontrastui.

Trumpas brėžinių figūrų aprašymas.

Detaliau pasiūlytas išradimas paaiškinamas brėžiniais. Brėžiniai yra pateikiami tik kaip realizavimo pavyzdžiai ir neriboja išradimo apimties.

Fig.1 - pavaizduota vaizdinimo įrenginio, skirto tiriamojo objekto spektroskopiniam vaizdinimui naudojant terahercinio dažnio šviesos spinduliuotę, schema.

Fig.2 - pavaizduotas interferavusio spindulių pluošto intensyvumo, kuris detektuojamas nekoherentiškai, signalo kitimas priklausomai nuo objekto storio.

Fig.3 - pavaizduotas vaizdinimo įrenginio dinaminio diapazono palyginimas atliekant vaizdinimą skirtingais būdais 300 GHz dažnio diapazone.

Fig.4 – pavaizduota tiriamo objekto fotonuotrauka. Ją sudaro polietileno maišelyje supakuotų dviejų 1.25 mm ir 1.45 mm storio PTFE plastiko tabletės, moneta, didžiavaržis silicis ir antras polietileno maišelis, dalinai užpildytas milteliais.

Fig.5 – pavaizduota tiriamų objektų vaizdas, užrašytas taikant tiesioginį detektavimo būdą, naudojant šaltinio spinduliuotę su moduliuota amplitude (AM) ir matuojant signalą dėl amplitudės pokyčio.

Fig.6 - pavaizduota tiriamų objektų vaizdas, užrašytas taikant heterodininį detektavimo būdą, naudojant šaltinio spinduliuotę su moduliutu dažniu (FM) ir matuojant signalą dėl amplitudės pokyčio.

Fig.7 - pavaizduota tiriamų objektų vaizdas, užrašytas taikant heterodininį detektavimo

būdą, naudojant šaltinio spinduliuotę su moduliuotu dažniu (FM) ir interferometrą bei matuojant signalą dėl fazės pokyčio.

Fig.8 – pavaizduotas tiriamų objektų vaizdas, užrašytas pagal pasiūlytą išradimą taikant heterodininį detektavimo būdą, naudojant šaltinio spinduliuotę su moduliuota amplitude (AM) ir interferometrą bei matuojant signalą dėl amplitudės ir fazės pokyčių.

#### Išradimo realizavimo aprašymas

Pagal pasiūlytą išradimą tiriamojo objekto heterodininis vaizdinimo būdas apima šią operacijų seką. Terahercinio dažnio amplitude moduliuotą spinduliuotę padalija į du koherentinius šviesos pluoštus. Pirmąjį iš pluoštų nukreipia į tiriamą objektą bei su juo atlieka objekto skenavimą, o praėjusią objektą arba nuo jo atsispindėjusią šviesos spinduliuotę surenka į optinį elementą, kuriame pluoštas sumuojamas su minėtu antruoju šviesos pluoštu tam, kad už optinio elemento abu šviesos pluoštai interferuotų. Nekoherentiniu detektoriumi registruoja interferavusio terahercinio pluošto intensyvumą, kuris priklauso nuo praėjusios per tiriamą objektą elektromagnetinės bangos amplitudės ir fazės pokyčių, pagal kuriuos ekrane atkuria tiriamo objekto vaizdą.

Fig.1 pavaizduota pagal išradimą pasiūlyta terahercinio (THz) diapazono heterodininis vaizdinimo įrenginys Jį sudaro: terahercinės spinduliuotės šaltinis 1; interferometras 13, sudarytas iš spinduliuotės daliklių (2, 7) optinių veidrodžių (3, 8); fokusuojančio optikos elementų (4, 6, 9) THz spinduliuotei fokusuoti. Tiriamasis objektas 5 pritvirtintas prie turinčio galimybę judėti laikiklio (brėžinyje neparodytas). Įrenginys turi THz spinduliuotės detektorių 10, stiprintuvą 11 ir kompiuterį 12.

Siūlomame įrenginyje terahercinės spinduliuotės šaltinis 1 yra nuolatinės veikos koherentinis terahercinio dažnio šaltinis (lazeris, aukštadažnis generatorius). Interferometras 13 yra Macho-Zenderio interferometras (gali būti naudojami ir Maikelsono arba Fabry-Perot interferometrai). Detektorius 10 arba detektorių linija gali būti bet koks nekoherentinis detektorius, registruojantis terahercinės spinduliuotės intensyvumą. Vienoje padalintos spinduliuotės šakoje talpinamas tiriamasis objektas 5. Detektoriaus plokštumoje yra gaunama dviejų spindulių interferencija,

todėl bangos intensyvumą  $I$  lemia ne tik praėjusios (atsispindėjusios) bangos intensyvumo pokytis, bet ir fazės poslinkis:

$$I = I_1 + I_2(x, y) + 2\sqrt{I_1 I_2(x, y)} \cos(\varphi(x, y)),$$

kur  $I_1$  yra vieno (atraminio) spindulio intensyvumas,  $I_2$  – praėjusio pro bandinį arba atsispindėjusios nuo bandinio bangos intensyvumas,  $\varphi$  – spindulių fazių skirtumas.

Dydžiai  $I_2$  ir  $\varphi$  priklauso nuo tiriamojo objekto optinių savybių ir objekto padėties ( $x$  ir  $y$  koordinatų) spindulio atžvilgiu. Tai leidžia sudaryti dvimatį tiriamojo objekto vaizdą.

Antrasis formulės narys atitinka intensyvumo kitimą detektoriaus įėjime, gali būti matuojamas tiesioginio detektavimo būdu, atliekant amplitudinį vaizdinimą. Trečiasis formulės narys atspindi bangų interferenciją. Tinkamai parinkus pradinį fazių skirtumą, šis narys gali padidinti interferuojančio pluoštelio intensyvumą detektoriaus įėjime ir tokiu būdu padidinti vaizdo kontrastą. Šis metodas gerai tinka skaidrių ir mažai kontrastingų objektų vaizdinimui teraherciniame diapazone, ypač kai amplitudinio vaizdinimo kontrastas yra mažas.

Pasiūlytas išradimas buvo išbandytas praktiškai. THz šaltiniu buvo pasirinktas dažnio daugintuvų grandinė su mikrobangų sintezatoriumi, generuojanti 300 GHz dažnio spinduliuotę. Naudojamas šaltinis turi galimybę būti moduluojamas tiek dažniu, tiek amplitude. Dėl mažų nuostolių šaltinio spinduliuotei valdyti buvo naudojami metalu dengti optiniai komponentai, paraboliniai fokusuojantys bei plokštieji veidrodžiai. Iš šaltinio 1 sklindanti spinduliuotė dalikliu 2 yra dalinamas į du koherentinius spindulių pluoštus, sklindančius skirtingose šakose. Vienoje iš šakų sklindantis pirmasis spindulių pluoštas fokusavimo priemone 4 fokusuojamas į tiriamą objektą 5. Praėjusi pro tiriamą objektą 5 pirmojo pluošto spinduliuotė fokusavimo priemone 6 sukolimuojama į lygiagrečių spindulių pluoštą, kuris patenka į spindulių daliklį 7, kuriame susikerta su kitoje šakoje sklindančiu ir veidrodžiais 3 ir 8 nukreiptu į spindulių daliklį 7 antruoju spindulių pluoštu. Daliklyje 7 pirmasis spindulių pluoštas praėjęs tiriamą objektą 5 interferuoja su tiesiogiai į daliklį 7 atėjusiu antruoju spindulių pluoštu. Interferavęs spindulių pluoštelis fokusavimo priemone 9 fokusuojamas į THz detektorius 10. Detektoriaus 10 signalas matuojamas sinchroniniu stiprintuvu 11 turinčiu galimybę fiksuoti ir amplitudės, ir fazės pokytį. Atliekant vaizdinimą, kompiuterizuota pozicionavimo sistema išstato tiriamą objekto sritį



atžvilgiu terahercinio pluoštelio (rastrinis skenavimas), išmatuojamas praėjusio arba atsispindėjusio pluoštelio intensyvumas, iš išmatuoto signalo pasiskirstymo nuo koordinatės atkuriamas dvimatis objekto vaizdas.

Heterodininės detekcijos tinkamas THz vaizdinimui buvo pagrįstas, išmatavus detektoriaus signalo priklausomybę nuo popieriaus storio. Rezultatai pateikti Fig. 2. Pastebėta, kad signalas osciliuoja didėjant popieriaus storiui. Osciliacijų periodas atitinka tokį storį, dėl kurio fazė užvėlinama per  $2\pi$ . Vadinasi signalą nulemia ne tik objekto pralaidumas, bet ir jo optinis storis. Pateiktame grafike signalo amplitudė tarp pirmo piko ir pirmo minimumo skiriasi apie 50 kartų, kai tuo tarpu popieriaus storis didėja 1 mm. Tai reiškia, kad šis efektas gali stipriai padidinti kontrastą mažiems storio pokyčiams, atliekant terahercinį vaizdinimą.

Naujo vaizdinimo įrenginio optinė schema ir naudojama techninė bazė leidžia tomis pačiomis sąlygomis atlikti įvairius vaizdinimo būdus ir rezultatus palyginti su tais, kurie gaunami naudojant įprastinį tiesioginio detektavimo būdą bei heterodininį su dažnine moduliacijos (FM) schema būdą. Fig. 3 pateiktas heterodininės detekcijos matuojamo signalo slopimas nuo kartono storio, kur palyginta tiesioginės detekcijos ir heterodininės detekcijos su FM moduliacija rezultatai. Kaip matyti storiems objektams peršviesti labiausiai tinkama heterodininė detekcija su dažnine moduliacija, kadangi signalas slopsta lėčiausiai didėjant storiui.

Heterodininio vaizdinimo būdo ir įrenginio tinkamumo pagrindimui buvo atliktas THz vaizdinimas skirtingais būdais. Eksperimentui buvo pasirinktas tiriamasis objektas sudarytas iš polietileno maišelyje supakuotų dviejų 1.25 mm ir 1.45 mm storio PTFE plastiko tablečių, kurios naudojamos kaip sprogmenų simulatoriai dėl panašių į tikrus sprogmenis spektrinių savybių THz bangų ruože, moneta, didžiavaržis silicis ir antrasis polietileno maišelis, dalinai užpildytas milteliais, kurių efektyviai sklaido bangas. Visi išvardinti objektai buvo patalpinti į uždara pašto voką ir išdėlioti tvarka, kuri parodyta Fig. 4.

Tiriamo objekto vaizdas buvo užrašytas išmatavus per objektą praėjusios spinduliuotės intensyvumo pokyčius tiesioginėje detektavimo schemeje, tyrimų rezultatai parodyti Fig. 5; heterodininėje schemeje, kai šaltinis spinduliuoja FM spinduliuotę ir matuojame interferencinio signalo amplitudės pokytį – rezultatai Fig. 6; heterodininėje schemeje, kai šaltinis spinduliuoja FM spinduliuotę ir matuojame interferencinio signalo vėlinimą radianais – rezultatai Fig. 7;

heterodininėje schemoje, kai šaltinis spinduliuoja AM spinduliuotę ir matuojame interferencinio signalo intensyvumą – rezultatai Fig. 8.

Išmatuoti vaizdai skiriasi pagal jų suteikiamą informaciją apie tiriamą objektą. Visuose vaizduose galima nesunkiai išskirti kairėje pusėje esančius objektus: PTFE tabletes, monetą ir Si plokštelę. Tačiau PE maišelis, esantis dešinėje vaizdo pusėje, matomas skirtingai. Kadangi miltelių kiekis nėra didelis ir PE yra mažai absorbuojanti THz spinduliuotę medžiaga, todėl tokio objekto vaizdinimas nėra optimalus tiesioginės detekcijos bei amplitudės matavimo FM schemoje metodais. Tai ypač svarbu saugumo sistemoms siekiant aptikti mažus kiekius draudžiamų narkotinių ir kt. draudžiamų preparatų. Tokiems objektams pastebėti galėtų būti panaudojami fazės pokyčiams jautrūs metodai, tokie kaip vėlinimo matavimas interferencinėje FM schemoje arba mūsų siūlomas amplitudės matavimas interferencinėje AM schemoje. Abiem būdais užrašytuose vaizduose PE maišelis ir jo turinys yra gerai matomas. Fazės vėlinimo metodas turi keletą trūkumų. Visų pirma, objektas nepraleidžiantis spinduliuotės, šiuo atveju moneta, yra nematomas. Antra, dėl fazės signalo periodiško pasikartojimo, objektai, kurių sukiamas vėlinimas bus artimas kartotiniam  $2\pi$  skaičiui, bus neatskiriami tarpusavyje. Ir trečia, tiksliam fazės vėlinimo matavimui reikia labai greito duomenų surinkimo ir duomenų analizės, dėl ko realiame laike veikiančios sistemos yra sudėtingos ir brangios. Visų šių trūkumų neturi siūlomas interferencinis AM vaizdinimo metodas. Siūlomu atveju matuojamą interferencijos signalą įtakoja tiek amplitudės, tiek ir fazės pokyčiai. Taigi, rezultate Fig. 8, moneta yra ryškiai atvaizduota dėl amplitudės slopinimo, o PE maišelis ir jo turinys – dėl signalo vėlinimo. Problemos kylančios dėl fazės periodiškumo čia ne tokios aktualios, nes, pavyzdžiui, objektai vėlinantys signalą kartotiniu  $2\pi$  dydžiu bus atskiriami pagal skirtingą THz spinduliuotės amplitudės slopinimą. Galų gale siūlomas būdas reikalauja AM spinduliuotės šaltinio, dėl ko įrenginys tampa paprastesnė, pigesnė, nesudėtingai įgyvendinama, pritaikant įprastus technologinius sprendimus.

## IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Tiriamojo objekto spektroskopinis vaizdinimo būdas, apimantis

- terahercinio dažnio amplitudė moduluotos spinduliuotės nukreipimą į tiriamą objektą (5),
- objekto (5) skenavimą spinduliuote,
- praėjusios pro objektą (5) arba atsispindėjusios nuo jo minėtos spinduliuotės intensyvumo registravimą,
- tiriamo objekto vaizdo atkūrimą pagal minėtos praėjusios per objektą spinduliuotės intensyvumo kitimą, besiskiriantis tuo, kad
- minėtą terahercinio dažnio amplitudė moduluotą spinduliuotę padalija į du šviesos pluoštus,
- pirmąjį iš pluoštų nukreipia į tiriamą objektą (5) bei su juo atlieka objekto (5) skenavimą,
- praėjusią objektą (5) arba nuo jo atsispindėjusią šviesos spinduliuotę surenka į optinį elementą, kuriame pluoštas sumuojamas su minėtu antruoju šviesos pluoštu tam, kad už optinio elemento abu šviesos pluoštai interferuotų,
- nekoherentiniu detektoriumi registruoja interferavusio terahercinio pluošto intensyvumą, kuris priklauso nuo praėjusios per tiriamą objektą (5) elektromagnetinės bangos amplitudės ir fazės pokyčių, pagal kuriuos vaizduoklyje atkuria tiriamo objekto vaizdą.

2. Tiriamojo objekto spektroskopinis vaizdinimo įrenginys, apimantis šviesos šaltinį (1), generuojantį terahercinio dažnio moduluotos amplitudės spinduliuotę, kurios kelyje yra fokusavimo sistema, skirta terahercinę spinduliuotę sufokusuoti tiriamo objekto (5) viename taške su galimybe sufokusuotos spinduliuotės pagalba atlikti objekto skenavimą, keičiant objekte fokusuojamo taško vietą, optinę fokusavimo priemonę, skirtą terahercinę spinduliuotę surinkti į nekoherentinį detektorių (10), kuris registruoja per tiriamą objektą (5) praėjusios arba atsispindėjusios spinduliuotės intensyvumą, pagal kurio kitimą vaizduoklyje yra atkuriamas tiriamo objekto vaizdas, besiskiriantis tuo, kad įrenginys papildomai turi terahercinio dažnio spinduliuotės interferometrą (13), apimantį šviesos spinduliuotės daliklį (2), skirtą minėtą spinduliuotę padalinti į du šviesos pluoštus, kurių pirmojo kelyje patalpinta fokusavimo sistema (4, 6), skirta pirmąjį šviesos pluoštą fokusuoti tiriamame objekte (5), o praėjusį ar nuo jo

atsispindėjusį pirmąjį šviesos pluoštą surinkti į interferometro kitą šviesos daliklį (7), į kurį yra nukreiptas terahercinės spinduliuotės antrasis pluoštas, abu minėti šviesos pluoštai daliklyje (7) sudedami, o už daliklio interferavęs spindulių pluoštas fokusavimo priemone (9) yra nukreiptas į terahercinės spinduliuotės bent vieną nekoherentinį detektorių (10), skirtą interferavusio spindulių pluošto intensyvumui, kuris priklauso nuo praėjusios per tiriamą objektą (5) elektromagnetinės bangos amplitudės ir fazės pokyčių, registruoti ir perduoti į vaizduoklį, kuris pagal užregistruotus intensyvumo pokyčius ekrane atkuria tiriamo objekto vaizdą.

3. Įrenginys pagal 2 punktą, besiskiriantis tuo, kad terahercinės spinduliuotės šaltinio (1) dažnis pasirenkamas atsižvelgiant į tiriamo objekto (5) sugerties spektrą.

4. Įrenginys pagal bet kurį iš 2 - 3 punktų, besiskiriantis tuo, kad terahercinės spinduliuotės šaltinis (1) spinduliuoja vieno dažnio amplitude moduliuotą spinduliuotę.

5. Įrenginys pagal bet kurį iš 2-4 punktų, besiskiriantis tuo, kad nekoherentinis detektorius (10) yra parinktas iš InGaAs asimetrinės formos diodų arba nanometrinių matmenų lauko tranzistorių (Tera-FET) arba mikrobolometrų.

6. Įrenginys pagal pagal bet kurį 2-5 punktą, besiskiriantis tuo, kad detektorius (10) gali būti sudarytas iš daugiau nei vieno detektoriaus, kurie gali būti išdėstyti į liniją arba sukomponuoti į dvimatę matricą.

7. Įrenginys pagal pagal bet kurį iš 2-6 punktų, besiskiriantis tuo, kad fokusavimo priemonė (4, 9) gali būti cilindrinis lęšis arba veidrodis, terahercinę spinduliuotę sufokusuojantis į liniją bandinio (5) ir detektoriaus (10) plokštumoje.

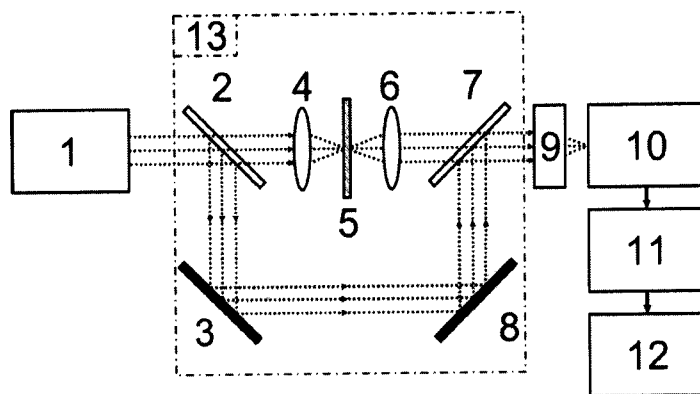


Fig. 1

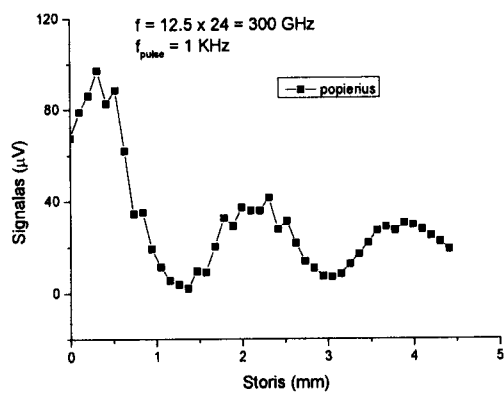


Fig. 2

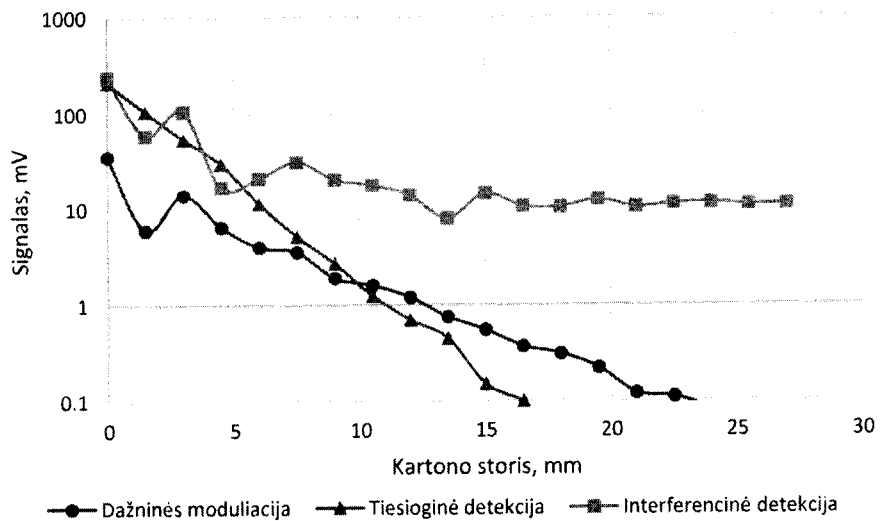


Fig. 3

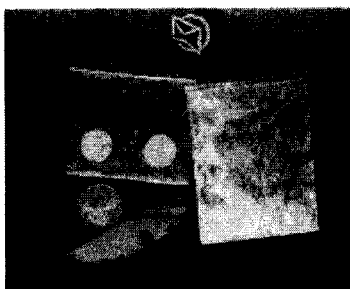


Fig. 4

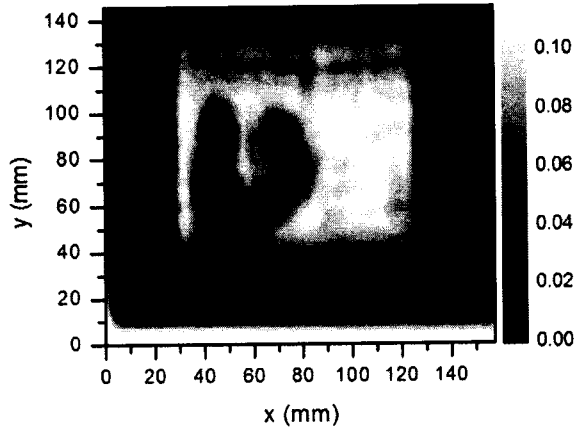


Fig.5

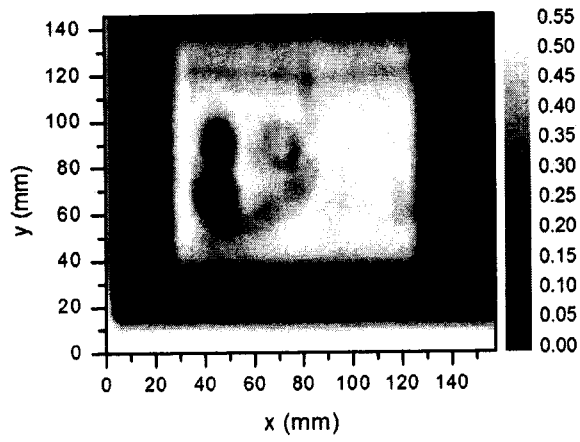


Fig. 6

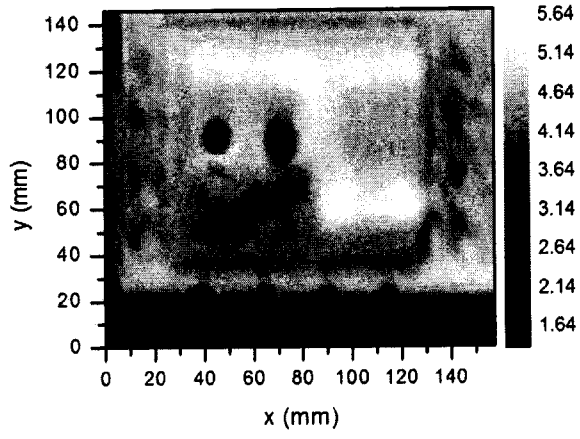


Fig. 7

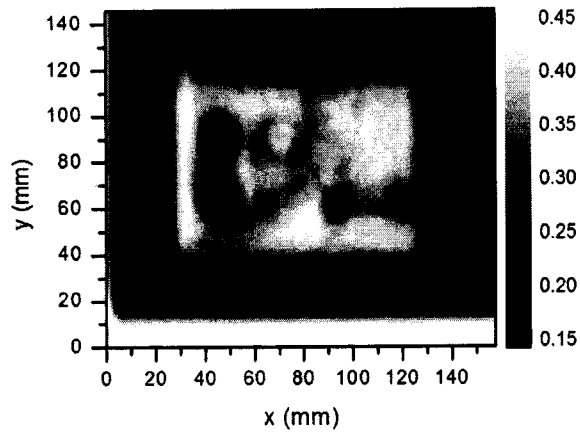


Fig. 8