

(19)



(10) **LT 6219 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(11) Patent numeris: **6219**

(51) Int. Cl. (2015.01): **G01N 21/00**
G01J 3/00

(21) Paraiškos numeris: **2013 128**

(22) Paraiškos padavimo data: **2013 11 15**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2015 05 25**

(45) Patent paskelbimo data: **2015 09 25**

(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: —

(72) Išradėjas:

Irmantas KAŠALYNAS, LT
Rimvydas VENCKEVIČIUS, LT
Ramūnas ADOMAVIČIUS, LT
Gintaras VALUŠIS, LT
Arūnas KROTKUS, LT

(73) Patent savininkas:

Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Fizinių ir technologijos mokslų centras,
Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, LT

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

Lina MEŠKAUSKIENĖ, Advokatės Meškauskienės kontora, Vytauto g. 12, LT-
08118 Vilnius, LT

(54) Pavadinimas:

Terahercinių dažnių juostos vaizdinimo sistema

(57) Referatas:

Pagrindinis THz diapazono spektrų ir vaizdų matavimo būdas šiuo metu remiasi laikine terahercine spektroskopija (angl. Terahertz time-domain-spectroscopy - THz-TDS). Šis plačiai naudojamas THz vaizdinimo būdas turi keletą akivaizdžių problemų, susijusių su būtinumu naudoti keičiamo ilgio optinę vėlinimo liniją, kuri daro sistemą sudėtingesnę ir brangesnę. Taip pat optinės vėlinimo linijos, kiekviename matuojamo vaizdo taške turinčios skenuoti THz impulsą tam tikrame vėlinimo laikų diapazone, paprastai yra mechaniniai prietaisai, tad jos tampa pagrindiniu visos vaizdinimo sistemos spartą ribojančiu elementu. Siūloma vaizdinimo sistema yra sudaryta iš impulsinio, femtosekundiniais lazerio impulsais aktyvuojamo THz impulsų šaltinio ir nekoherentinio THz

spinduliuotės detektoriaus. Sistemos schemoje atsisakius koherentinio THz impulsų detektoriaus, keičiamo ilgio optinė vėlinimo linija bei jos panaudojimui būtini optiniai ir elektriniai ryšiai tampa nebereikalingi. Dėl šios priežasties vaizdinimo procesas tampa spartesnis, o pati sistema – kompaktiškesnė ir paprastesnė naudoti.

TECHNIKOS SRITIS

Šis išradimas priklauso terahercinio elektromagnetinės spinduliuotės dažnių diapazono vaizdų sudarymo sričiai ir gali būti naudojamas kuriant įvairių objektų šio spektrinio diapazono vaizdus, reikalingus jų taikymams pramonėje, saugos sistemose, aplinkosaugoje, medicinoje ir kitur.

TECHNIKOS LYGIS

Pasiūlyme aprašyta terahercinių dažnių juostos vaizdinimo sistema gali būti naudojama įvairių pramonėje, aplinkosaugoje, medicinoje ar saugos sistemose svarbių objektų terahercinio dažnių diapazono vaizdų kūrimui.

Terahercinis (THz) dažnių ruožas yra sritis, esanti tarp submilimetrinių radijo bangų ir tolimosios infraraudonosios spinduliuotės ir turinti šiems spektro diapazonams būdingų savybių. Kaip ir radijo bangos, THz spinduliuotė lengvai praeina pro įvairias medžiagas, tokias kaip popierius, medis, audiniai, keramika, plastikai ir t. t. Šios bangos sklinda laisvąja erdve panašiai, kaip sklinda šviesa; jas galima atspindėti ir fokusuoti taip, kaip tai yra daroma su šviesos spinduliais. Taip pat svarbu, kad THz spinduliuotės bangų ilgiai yra kur kas mažesni nei radijo bangų, todėl jas naudojant gaunama daugeliui vaizdinimo taikymų pakankama erdvinė skyra.

THz dažnių ruožo vaizdų taikymai pagrįsti tuo, jog šiame ruože galime aptikti daugelio specifinių cheminių medžiagų, tokių kaip vaistai, vitaminai, žemės ūkyje naudojami chemikalai, sprogstamosios ir narkotinės medžiagos, sugerties linijas. Gausėjant įvairių cheminių, biologinių ir kitų medžiagų sugerties spektrų tyrimams teraherciniame diapazone, THz vaizdinimo taikymų sritis nuolat plečiasi.

Pagrindinis THz diapazono spektrų ir vaizdų matavimo būdas šiuo metu remiasi vadinamąja laikine terahercine spektroskopija (angl. Terahertz time-domain-spectroscopy – THz-TDS). Šiuo metodu besiremiančiose matavimo sistemose THz spinduliuotės impulsai yra generuojami ir registruojami naudojant femtosekundiniais lazerio impulsais aktyvuojamus emitterius ir detektorius, pavyzdžiui, fotolaidžias dipolines antenas, pagamintas iš puslaidininkių su trumpesnėmis nei 1 ps krūvininkų gyvavimo trukmėmis ir aprašytas P. Smith et al., IEEE J. of Quantum Electronics, Vol. 24, No. 2, pp. 255-260 (1988) bei N. Katzenellenbogen et al., Appl. Phys. Lett., Vol. 58, No. 3, pp. 222-224 (1991). THz-TDS sistemos įgalina atlikti spektrinius matavimus kambario temperatūroje nenaudojant kriogeninių detektorių; užtikrina

pakankamai gerą (didesnį nei 60 dB) signalo ir triukšmo santykį plačiame terahercinių dažnių ruože.

THz-TDS įranga yra naudojama vaizdinimo sistemoje, aprašytoje Europos patente EP0727671, publikuotame 2003-09-24. THz diapazono vaizdinimo sistema yra pavaizduota Fig. 1.

Iš esmės, ją sudaro:

- I femtosekundinės trukmės optinius impulsus generuojantis lazeris (1);
- II THz fotolaidus anteninis emiteris (2);
- III THz spinduliuotę fokusuojantys lęšiai arba veidrodžiai (3);
- IV tiriamasis objektas ant dvejomis kryptimis judėti galinčio laikiklio (4);
- V THz fotolaidus anteninis detektorius (5);
- VI keičiamo ilgio optinė vėlinimo linija (6);
- VII pradinis stiprintuvas (7);
- VIII analoginis/skaitmeninis keitiklis su skaitmeniniu signalų procesoriumi (8);
- IX kompiuteris (9).

Paprastai, 50-100 fs trukmės lazerio impulsu apšviestas THz impulsų emiteris (2) generuoja vieną elektromagnetinės spinduliuotės impulsą, kurio spektro maksimumas priklausomai nuo emiterio antenos charakteristikų yra dažnių srityje tarp 0,5 THz ir 1 THz. Kadangi patys THz impulsai yra trumpesni nei 1 ps, jų spektras yra labai platus ir apima diapazoną nuo mažiau nei 200 GHz iki kelių THz. Kadangi elektronika, kuri galėtų užregistruoti ir apdoroti duomenis, susijusius su tokių trumpų elektrinių impulsų forma, neegzistuoja, jų matavimui yra pasitelkiami optiniai impulsų strobavimo metodai. THz-TDS metoduose strobavimą atlieka femtosekundinio lazerio pluošto dalimi apšviečiamas fotolaidus anteninis detektorius, pagamintas iš puslaidininkio, kuriame krūvininkų gyvavimo trukmė yra mažesnė už THz impulsų trukmę. THz detektorius (5) sužadinantys femtosekundiniai lazerio (1) impulsai patenka į jį per keičiamo ilgio optinę vėlinimo liniją (6). Keičiant šios linijos ilgį, THz detektorius trumpam tampa laidus tada, kuomet į jį patenka laisvąja erdve atsklidęs THz impulsas. Tol, kol laisvąja erdve atkeliavęs THz impulsas detektoriaus antenos

fotojautriame sluoksnyje kuria elektrinį lauką ir sluoksnio užpildančioje puslaidininkinėje medžiagoje yra femtosekundinio lazerio sužadintų elektronų, detektoriaus grandinėje teka fotosrovė. Matuojant vidutinės per THz detektorių tekančios fotosrovės priklausomybę nuo optinių impulsų vėlinimo trukmės palyginti lėta (1 – 50 kHz) tačiau jautria elektronine įranga, galima nustatyti elektrinio lauko kitimo pobūdį daug didesnio dažnio THz impulse. Tokio impulso spektras nustatomas atliekant sparčiąją Furjė transformaciją (angl. Fast Fourier Transform – FFT). Fig. 2 pavaizduota THz detektoriumi išmatuoto impulso forma, o Fig. 3 – jo Furjė spektras.

Vaizdų gavimui THz spinduliuotės impulsai terahercinės optikos – lęšių ir/arba veidrodžių – pagalba yra sufokusuojami tiriamojo objekto paviršiuje. Spinduliuotės sąveika su objektu matuojama THz pralaidumo arba atspindžio režimuose – registruojama jos sugertis arba lūžio rodiklis. Objekto vaizdai pageidaujamuose THz diapazono dažniuose yra gaunami paeiliui išmatavus praėjusius (arba atspindėjusius) THz impulsus įvairiuose objekto paviršiaus taškuose, kiekvieną išmatuotą impulso elektrinio lauko priklausomybės nuo laiko formą apdorojus sparčios Furjė transformacijos algoritmu ir išskyrus iš gautųjų spektrų pageidaujamą dažnį atitinkančio norimo parametro (sugerties koeficiento, optinio tankio, lūžio rodiklio ar kito) vertes.

Šis plačiai naudojamas THz vaizdinimo būdas turi keletą akivaizdžių problemų. Viena jų yra susijusi su būtinumu naudoti keičiamo ilgio optinę vėlinimo liniją (6). Viena vertus, šios linijos panaudojimas reikalauja daugelio papildomų optinių ir elektrinių jungčių tarp įvairių sistemos elementų, kurios daro sistemą gerokai kompleksiškesne, sudėtingesne ir ją ženkliai pabrangina. Kita vertus, kiekviename matuojamo vaizdo taške ši optinė vėlinimo linija turi skenuoti THz impulsą tam tikrame vėlinimo laikų diapazone, kurio dydis apsprendžia gaunamojo vaizdo spektrinę skyrą. Kadangi optinės linijos paprastai yra mechaniniai prietaisai, o reikalingas vėlinimo laikų diapazonas yra nuo 10 ps iki 100 ps, jų veikimo dažnis, kuris neviršija kelių dešimčių hercų, tampa svarbiausiu visos vaizdinimo sistemos spartą ribojančiu faktoriumi.

IŠRADIMO ESMĖ

Šiuo išradimu siekiama išspręsti aukščiau paminėtas problemas ir sukurti terahercinę vaizdinimo sistemą, kurios charakteristikos būtų geresnės nei tradicinių tokio tipo sistemų, naudojančių plataus spektro THz spinduliuotės impulsų šaltinius ir

koherentinius, optinėse linijose vėlintais femtosekundinių lazerių impulsais aktyvuojamus THz detektorius. Siūloma vaizdinimo sistema yra sudaryta iš impulsinio, femtosekundiniais lazerio impulsais aktyvuojamo THz impulsų šaltinio ir nekoherentinio THz spinduliuotės detektoriaus. Sistemos schemoje atsisakius koherentinio THz impulsų detektoriaus, keičiamo ilgio optinė vėlinimo linija bei jos panaudojimui būtini optiniai ir elektriniai ryšiai tampa nebereikalingi. Dėl šios priežasties vaizdinimo procesas tampa spartesnis, o pati sistema – kompaktiškesnė ir paprastesnė naudoti.

TRUMPAS BRĖŽINIŲ FIGŪRŲ APRAŠYMAS

Norint palengvinti išradimo esmės supratimą ir jo potencialių taikymų praktikoje įvertinimą, pateikiami šie aiškinamieji brėžiniai. Brėžiniai yra pateikiami tik kaip pavyzdžiai ir jokių būdu neriboja išradimo apimtį. Storomis linijomis brėžiniuose yra parodyti optiniai ryšiai tarp atskirų sistemos komponentų, plonomis ištisinėmis linijomis – elektriniai ryšiai, o punktyrinėmis linijomis – terahercinės spinduliuotės pluošto sklaidymo kryptys.

Terahercinių dažnių juostos vaizdinimo sistema

Koherentiniu detektoriumi išmatuoto laisvąja erdve sklindančio THz impulso elektrinio lauko kinetika

THz impulso spektras, gautas atlikus elektrinio lauko kinetikos, pavaizduotos Fig. 2, FFT transformaciją

Terahercinių dažnių juostos vaizdinimo sistemos, naudojančios plataus spektro emiterį, dažnių filtrą ir nekoherentinį detektorių, schema

Bandymuose naudoto rezonansinio terahercinių dažnių filtro, optimizuoto 0.69 THz dažniui, SEM (rastrinio elektroninio mikroskopo) nuotrauka

Tyrimo objekto – polietileninės dėžutės (dangtelis nuimtas) su joje įdėtomis keturiomis įvairių medžiagų tabletėmis ir metaline veržle, nuotrauka

Objekto vaizdas, gautas naudojant terahercinių dažnių juostos vaizdinimo sistemą, sudarytą iš plataus spektro emiterio, rezonansinio dažnių filtro ir nekoherentinio plačiajuosčio detektoriaus, esant 0,69 THz dažnio spinduliuotei

TINKAMIAUSI ĮGYVENDINIMO VARIANTAI

Tinkamiausiame išradimo įgyvendinimo variante, kurio principinė schema yra pateikta Fig. 4, siauro spektro pločio impulsinis THz spinduliuotės pluoštelis yra gaunamas femtosekundinio lazerio (1) impulsais žadinant THz impulsų anteninį emiterį (2) ir po to iškerpant to emiterio generuojamo signalo spektro siaurą dalį filtru (8). Filtras (8) gali būti pagamintas iš, pavyzdžiui, optiškai plonos metalinės plėvelės (B. Voisiat et al., Appl. Phys. A, Vol. 104, No. 3, pp. 953-958 (2011)). Per THz spinduliuotę fokusuojančią kvazioptinę sistemą (3) bei tiriamąjį objektą (4) praėjęs signalas yra registruojamas nekoherentiniu THz detektoriumi (5) ir apdorojamas valdymo elektronikos bloke (7). THz detektorius gali būti plačiajuostis, nekoherentinis – sistemoje, pavyzdžiui, galima naudoti Golėjaus (ang. Golay) celes, piroelektrinius detektorius, Šotkio (ang. Schottky) diodus, mikrobolometrus ir t. t. Objekto skenavimui pasirinktas siauras dažnių ruožas atskiriamas filtru (8); objekto vaizdas sudaromas skenuojant THz pluoštelį dvejomis koordinatėmis.

Fig. 5. yra pavaizduota bandymuose naudoto filtro sandara. Fig. 6 bei Fig. 7 yra parodyti tirtasis objektas ir jo vaizdas, gautas sistema, kurioje THz emiteriu (2) buvo Ti:safyro lazerio generuojamais 150 fs trukmės impulsais aktyvuojama iš žematemperatūrio GaAs pagaminta fotolaidi antena, o THz detektoriumi (5) buvo mikrobolometras su THz dažniui skirtomis antenomis. Fig. 6 yra pateikta polietileninės dėžutės (dangtelis nuimtas) (9), su joje įdėtomis keturiomis įvairių medžiagų tabletėmis (10-13) ir metaline veržle (14), nuotrauka. Vienos iš tablečių (10) sudėtyje buvo laktozės monohidrato, kitos trys tabletės buvo pagamintos iš medžiagų, kurių THz spektrai primena įvairių sprogstamųjų medžiagų charakteringus sugerties spektrus ir yra naudojamos kaip minėtųjų sprogstamųjų medžiagų simulatoriai, skirti paieškos sistemų testiniams bandymams: vyno rūgštis (10 % politetrafluoroeteno (PTFE) matricoje) (11), 3 – vyno rūgštis + sacharozė (5 % + 5 % PTFE matricoje) (12), 4 – politetrafluoroetenas PTFE (100 %) – atraminė medžiaga (teflonas) (13).

Fig. 7 yra parodyti šių objektų vaizdinimo 0,69 THz dažnio spinduliuote rezultatai. Šio vaizdo sudarymui prireikė 5 minučių – vaizdinimo trukmė buvo ribojama postūmio stalelio judėjimo greičio x-y plokštumoje ir sinchroninio stiprintuvo darbo spartos. Atraminiam signalui gauti naudota iš PTFE pagaminta tabletė (13), kuri minėto dažnio spinduliuotei yra skaidri ir aiškiai atskiriama nuo tablečių (11) ir (12) su vyno rūgštimi, turinčių sugerties liniją ties 1,05 THz, bei tabletės (10), kurioje

esantis laktozės monohidratas turi sugerties liniją ties 0,54 THz dažniu.

Paprasta siūlomojo įrenginio optinė sistema, kurioje nėra būtinybės lazerio impulsus tam tikrose sistemos atkarpose perduoti laisvąja erdve, labai tinka skaidulinėms jos realizacijoms. Toks vaizdinimo sistemos variantas ypač tinka tada, kai vaizdai yra registruojami ne THz pluoštelio pralaidumo per tiriamąjį objektą, o atspindžio nuo juo režime. Šiuo atveju lazerio pluošteliu aktyvuojamą THz emiterį ir tokio aktyvavimo nereikalaujantį THz detektorių galima sumontuoti viename korpuse taip sukuriant portatyvų terahercinį zondą. Siūloma THz vaizdinimo sistema gerai tinka ir tuomet, kai objekto vaizdai yra sudaromi per didesnę nuotolį nuo vaizdinamojo objekto, pavyzdžiui, tikrinant keleivių bagažą oro uostuose. Tokiu atveju vaizdinimui galima pasirinkti atmosferos skaidrumo ruožus atitinkančius dažnius, kuriuose nėra vandens garų sugerties linijų, ir taip padidinti matavimų signalo ir triukšmo santykį.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Terahercinių dažnių ruožo vaizdinimo sistema skirta objektų terahercinių dažnių juostos vaizdinimui ir turinti terahercinių impulsų emiterį, kvazioptinę sistemą impulsų fokusavimui viename objekto taške, galimybę keisti skenuojamą tašką ir terahercinių dažnių ruožo impulsus registruojantį detektorių, b e s i s k i r i a n t i t u o, kad sistema papildomai turi rezonansinį siauro spektrinio pločio filtrą (8) ir nekoherentinį detektorių (5).

2. Sistema pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i t u o, kad rezonansinis siauro spektro pločio filtras (8) yra pagamintas iš optiškai plonos metalinės plėvelės su periodinėmis kryžiaus formos išpjovomis arba suformuotas metamedžiagų pagrindu.

3 Sistema pagal vieną iš 1-2 punktų, b e s i s k i r i a n t i t u o, kad nekoherentiniu detektoriumi (5) yra vienas iš Šotkio diodo, mikrobolometro, Golėjaus celės ir piroelektrinio detektoriaus.

4. Sistema pagal vieną iš 1-3 punktų, b e s i s k i r i a n t i t u o, kad detektoriaus veika yra optimizuota siaurame dažnių ruože.

5. Sistema pagal vieną iš 1-3 punktų, b e s i s k i r i a n t i t u o, kad emiteris ir detektorius yra sumontuoti viename korpuse, o objekto vaizdai sudaromi registruojant pro objektą praėjusią ir/arba nuo objekto atspindėtą spinduliuotę.

6. Sistema pagal 1 ir vieną iš 3-4 punktų, b e s i s k i r i a n t i t u o, kad sistema sudaryta iš dviejų arba daugiau detektorių.

7. Sistema pagal 1 ir vieną iš 3-4 punktų, b e s i s k i r i a n t i t u o, kad detektorius turi skirtingiems dažniams pritaikytas antenas.

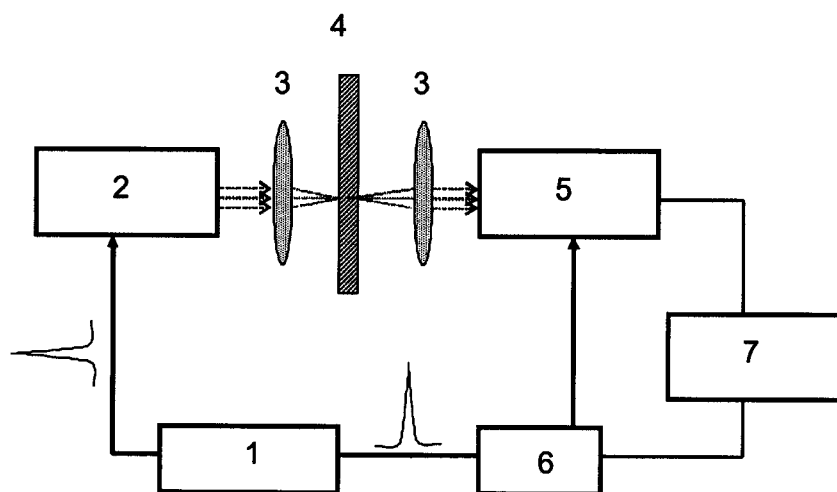


Fig.1

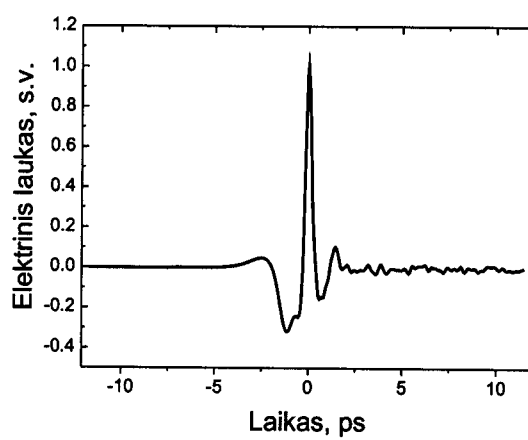


Fig.2

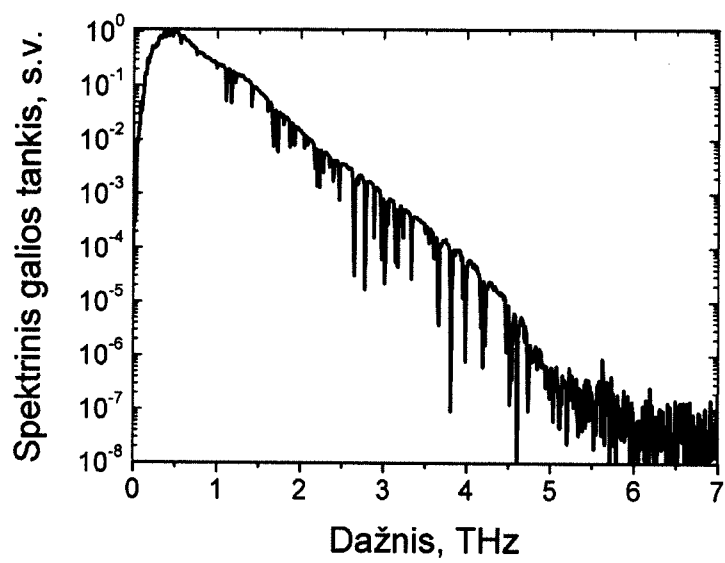


Fig.3

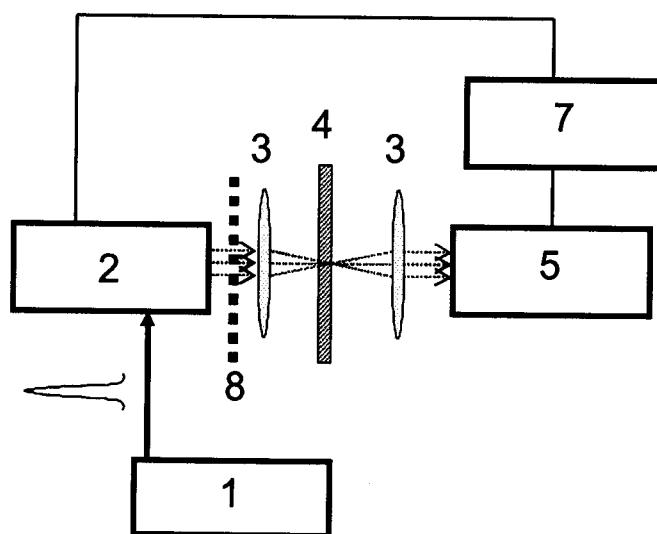


Fig.4

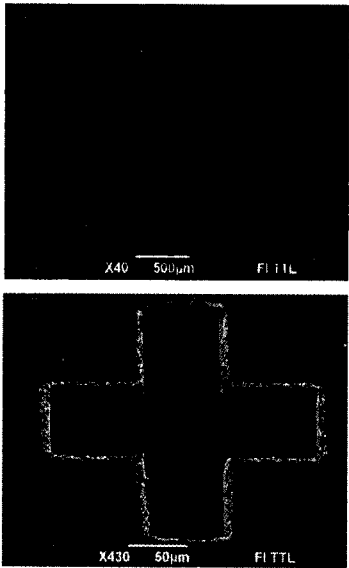


Fig.5

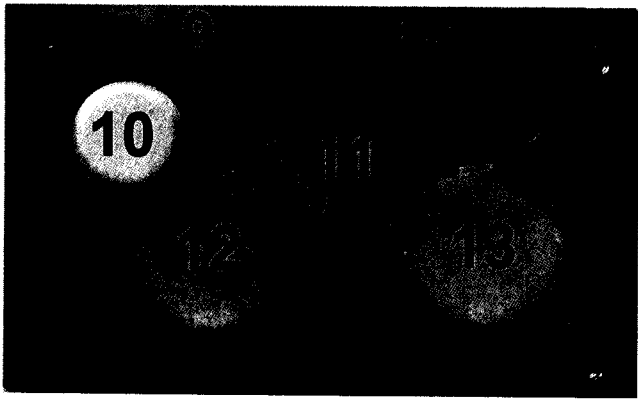


Fig.6

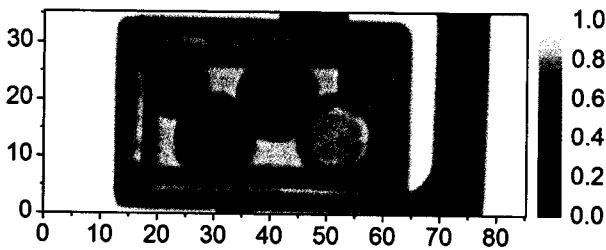


Fig.7