



FI000111192B



SUOMI - FINLAND
(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

(12) PATENTTIJULKAISU
PATENTSKRIFT

(10) FI 111192 B

(45) Patentti myönnetty - Patent beviljats

13.06.2003

(51) Kv.lk.7 - Int.kl.7

G01J 5/60, 5/00, G01N 21/25

(21) Patentihakemus - Patentansökning

20000737

(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag

31.03.2000

(24) Alkupäivä - Löpdag

31.03.2000

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig

01.10.2001

(73) Haltija - Innehavare

1 •Oseir Oy, Korkeakoulunkatu 1, 33720 Tampere, SUOMI - FINLAND, (FI)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1 •Hämäläinen, Esa, Vaajakatu 5 K 208, 33720 Tampere, SUOMI - FINLAND, (FI)

2 •Vattulainen, Juha, Rantaniitynkuja 3, 36200 Kangasala, SUOMI - FINLAND, (FI)

(74) Asiamies - Ombud: Tampereen Patenttitoimisto Oy
Hermiankatu 12 B, 33720 Tampere

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

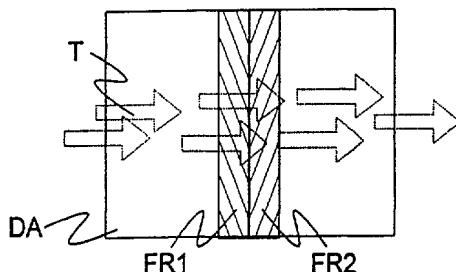
Menetelmä kuvantavaan mittaukseen, kuvantava mittalaite ja mitatun informaation käyttö prosessin valvonnassa
Förfarande för avbildande mätning, avbildande mättningsanordning och användning av informationen vid bevakning av en process

(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

US A 5822070 (G01J 3/51), US A 5822222 (G01J 5/62), US A 4413324 (G01J 5/18)

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Keksinnön kohteena on menetelmä kuvantavan mittauksen suorittamiseksi liikkuvasta tai virtaavasta kohteesta sekä kuvantava mittalaite em. menetelmän toteuttamiseksi. Keksinnön kohteena on lisäksi kuvantavasti mitatun informaation käyttö prosessin valvonnassa ja/tai säädössä. Keksinnön mukaisesti liikkuvasta tai virtaavasta kohteesta (T) saatavaa sähkömagneettista säteilyä fokusoidaan kuvantavan optiikan avulla kuvan muodostamiseksi 2-dimensioisen matriisi-ilmaisimen kuvatasoon ainakin ensimmäisen ja toisen, toisistaan poikkeavalla tavalla sähkömagneettista säteilyä välittävän suodatimen kautta. Mainitut ainakin ensimmäinen ja toinen suodatin muodostavat ilmaisimen kuvatasoon ilmaisimen valoherkän alueen (DA) osittain peittävät ainakin ensimmäisen ja toisen suodatinalueen (FR1, FR2). Kohteen (T) ominaisuuksia määritetään spektroskooppisesti vertailemalla ja/tai kombinoimalla spektrieroteltua informaatiota, joka taltioidaan kohteen jotakin tiettyä osaa vastaavan, ilmaisimen kuvatasolle (DA) ilman säteenjakoa fokusoidun kuvapisteen kulkiessa kohteen (T) liikkeen vaikutuksesta olennaisesti, mainitun ainakin ensimmäisen ja toisen suodatinalueiden (FR1, FR2) kautta. Mainittujen suodatinalueiden (FR1, FR2) ulkopuolelle jäävää ilmaisimen kuvatasoon (DA) alaa käytetään muuhun kuvantavaan ei-spektroskooppiseen mittaamiseen ja/tai kohteen visualisointiin.



Uppfinningen avser ett förfarande för att utföra ett bildformande mätning av ett strömmande föremål samt ett bildformande mätton för att genomföra sagda förfarande. Uppfinningen ytterligare avser användning av på ett bildformande sätt mätt information vid processbevakning och/eller vid reglering. Elektromagnetisk strålning som erhålls enligt uppfinningen från ett rörande eller strålande föremål (T) fokuseras medelst bildformande optik för att bilda en bild på ett bildplan av en 2-dimensionsk matrisdetektor åtminstone genom ett första och ett andra, på ett från varandra avvikande sätt elektromagnetisk strålning förmedlande filter. Sagda åtminstone första och andra filter bildar på detektorns bildplan ett detektorns fotosensibelt område (DA) delvis betäckande, åtminstone ett första och ett andra filterområde (FR1, FR2). Föremålets (T) egenskaper bestämmas spektroskopiskt genom att jämföra och/eller kombinera spektrumskild information, som lagras medan en bildpunkt som motsvarar en bestämd del av föremålet och som är fokuserad på detektorns bildplan (DA) utan stråldelning går under påverkan av föremålets (T) rörelse väsentligen via sagda minst första och andra filterområde (FR1, FR2). Området på detektorns bildplan som blir utanför sagda filterområden (FR1, FR2) används till annat bildformande icke-spektroskopisk mätande och/eller visualisering av föremålet.

MENETELMÄ KUVANTAVAAAN MITTAUKSEEN, KUVANTAVA
MITTALAITE JA MITATUN INFORMAATION KÄYTTÖ PROSESSIN
VALVONNASSA

5 Keksinnön kohteena on patenttivaatimuksen 1 johdanto-osan mukainen
menetelmä kuvantavan mittauksen suorittamiseksi liikkuvasta tai
virtaavasta kohteesta. Keksinnön kohteena on lisäksi patenttivaati-
muksen 13 johdanto-osan mukainen kuvantava mittalaite. Keksinnön
kohteena on edelleen patenttivaatimuksen 21 johdanto-osan mukainen
10 kuvantavasti mitatun informaation käyttö prosessin valvonnassa ja/tai
säädössä.

Monissa teknisissä prosesseissa on niiden tutkimuksen, valvonnan ja
säädön suorittamiseksi edullista pystyä mittaamaan prosessin eri
15 parametrejä mahdollisimman reaaliaikaisesti itse prosessin kulkua tai
tilaa häiritsemättä. Optiset mittaussuunnitelmat, jotka perustuvat kohteen
tilan tai ominaisuuksien määrittämiseen kohteesta saatavan sähkö-
magneettisen säteilyn (jäljempänä lyhyesti säteily) perusteella, tarjoavat
perusluonteensa mukaisesti mahdollisuuden kohdetta häiritsemättömiin
20 mittauksiin. Perinteiset fyysisiin sondeihin perustuvat menetelmät,
kuten esimerkiksi termoelementtimittaukset (lämpötilan mittaus) tai eri-
laiset näytteenottoon perustuvat menetelmät (esim.
pitoisuusmittaukset) häiritsevät mitattavaa kohdetta aina jossain
määrin. Verrattuna perinteisiin fyysisiin sondeihin voidaan optisten
25 menetelmien avulla useissa tapauksissa mittaukset toteuttaa myös
merkittävästi paremmalla aika- ja paikkaerottelukyvillä. Optisia
menetelmiä on edullista käyttää myös sellaisten prosessien
yhteydessä, joissa perinteisten fyysisten sondien käyttö on mahdotonta
tai vaikeaa prosessissa esiintyvien korkeiden lämpötilojen, tms.
30 fyysisille sondeille vahingollisten olosuhteiden vuoksi.

Optiset mittaussuunnitelmat voidaan jaotella keskenään eri luokkiin
useilla eri kriteereillä. Mikäli vertailukriteeriksi otetaan optisilla mittaussuunnitel-
menetelmillä saavutettava hetkellinen paikkaerottelukyky, voidaan
35 menetelmät jaotella tämän kriteerin perusteella keskenään ei-kuvan-
taviin ja kuvantaviin menetelmiin. Näiden välisiä peruseroja selvitetään
lyhyesti seuraavassa.

Kuvantavissa menetelmissä ilmaisimena käytetään sopivaa 2-dimensioista, paikkaherkkää ilmaisinta (jäljempänä lyhyesti matriisi-ilmaisimena), jolloin sopivan etuoptiikan avulla kohteesta saatava sähkömagneettinen säteily kerätään ja fokusoidaan em. ilmaisimen valoherkälle kuvatasolle. Näkyvän valon aallonpituusalueella toimittaessa matriisi-ilmaisimena voi olla esimerkiksi ns. CCD- tai CMOS-kamera. Em. ilmaisimen kuvataso koostuu pienistä erillisistä valoherkistä ilmaisinyksiköistä (jäljempänä pikseleistä), joista kukin pikseli kerää kohteen tietyn osan lähettämää säteilyä etuoptiikan kuvausominaisuuksien mukaisesti. Kun em. pikselien tietyn valotusajan aikana keräämä/havaitsema säteilysignaali muutetaan sähköiseen muotoon siten, että eri pikselien sisältämä informaatio pidetään toisistaan erillään, on kohteen em. tavalla kuvattua alueesta saatu paikkaeroteltua tietoa, joka riippuen käytetyn ilmaisimen rakenteesta ja toimintatavasta, on kerätty koko kuvatulalta alueelta joko tarkalleen tai olennaisesti samanaikaisesti.

Ei-kuvantavissa menetelmissä käytetään säteilyn ilmaisuun tyypillisesti vain yhtä sellaista ilmaisinta, kuten esimerkiksi valodiodia tai valomodulaattorinputkea, jonka valo- tai säteilyherkälle pinnalle osuvan säteilyn aikaansaamaa sähköistä signaalia ei voida jäljittää ilmaisimen pinnan, ja samalla siis tarkemmin ko. ilmaisimen kohteesta keräämän säteilysignaalin paikan funktiona. Tällöin etuoptiikan ominaisuudet valitaan tyypillisesti joko siten, että säteilysignaalia kerätään samanaikaisesti kohteen koko kiinnostavalta alueelta, tai vaihtoehtoisesti siten, että pienempää ilmaisimen kohteessa näkemää mittauspistettä liikutetaan ajallisesti vuoronperään eri osiin kohdetta paikkaerotellun mittaustiedon saamiseksi. Jälkimmäisessä tapauksessa kohteen eri osista saatava informaatio on kuitenkin mitattu olennaisesti eri ajan hetkillä, mikä nopeasti muuttuvien ja paikan suhteen heterogeenisten prosessien kyseessä ollen on merkittävä rajoitus.

Ilmaisinteknologian, ja erityisesti matriisi-ilmaisimien nopea kehitys sekä näkyvän valon alueella (aallonpituusalue n. 300-800 nm), että myös ultraviolettialueella (< 300 nm) ja infrapunassa (> 800 nm) on mahdollistanut kuvantavien mittausmenetelmien käytön voimakkaan lisääntymisen erilaisten teollisuudessa esiintyvien teknisten prosessien tutkimus-, valvonta- ja säätötehtävissä. Yhdessä kuvainformaation tehokkaamman käsittelyn mahdollistavien tietokone- ja kuvankäsittely-

tekniikoiden kehityksen kanssa, em. matriisi-ilmaisimet mahdollistavat nykyisin olennaisesti reaaliaikaisesti toimivien kuvantavien mittausmenetelmien kehittämisen.

5 Kuvantavat optiset mittausmenetelmät voidaan edelleen jaotella keskenään ei-spektroskooppisiin ja spektroskooppisiin menetelmiin. Ei-spektroskooppisissa kuvantavissa menetelmissä, joihin tyypillisesti lukeutuvat useimmat perinteiset konenäkömenetelmät (mitattavana paramet-
10 rina esim. kohteen koko, paikka, asento), kohteesta saatavaa sähkömagneettista säteilyä ei erityisesti jaotella säteilyn aallonpituuden mukaan, vaan säteilyn ilmaisu suoritetaan tyypillisesti ainoastaan yhdellä aallonpituuskaistalla. Tämä aallonpituuskaista voi määräytyä esimerkiksi kohteen valaisussa käytetyn säteilyn mukaisesti, ja/tai
15 mittauksessa käytetyn matriisi-ilmaisimen luontaisen spektrisen toiminta-alueen mukaan. On huomattava, että tässä tekstissä käytettäessä sanaa optinen, ei sillä viitata pelkästään näkyvän valon aallonpituuksiin (n. 300-800 nm), vaan kysymykseen voivat tulla myös näkyviä aallonpituuksia olennaisesti lyhytaaltoisempi (ultravioletialue), tai pidempiaaltoinen (infrapuna-alue) säteily.

20

Spektroskooppisissa, ts. spektrierotteluun perustuvissa kuvantavissa menetelmissä kohteesta saatava säteily sen sijaan jaetaan kahteen tai useampaan toisistaan eroavaan spektrikaistaan, jolloin eri aallonpituus-
25 kaistoilla mitattuja signaaleita/kuvia keskenään vertailemalla ja/tai kombinoimalla voidaan määrittää kohteen kiinnostavia parametrejä, kuten paikallinen lämpötila, tai kiinnostavan, tietyn ainesosan paikallinen pitoisuus. Yleisemmin käytettyjä ja perusteiltaan tunnettuja spektroskooppisia menetelmiä ovat esimerkiksi 2- tai moniväripyrometria kohteen lämpötilan määrittämiseksi kohteen spontaanisti emittoiman
30 sähkömagneettisen säteilyn perusteella. Sopivan ulkoisen herätteen avulla (esim. laservalo tai ns. spektrilamput) voidaan edelleen toteuttaa optiseen absorptioon, tai elastiseen (esim. ns. Mie-sironta hiukkasista/pisaroista) tai epäelastiseen (esim. ns. fluoresenssi- tai Raman-sironta) säteilyn sirontaan perustuvia mittauksia, kuten esimerkiksi
35 pitoisuusmittauksia. Edellä mainittujen spektroskooppisten menetelmien, joihin tässä yhteydessä luetaan mukaan siis myös pyrometria, perusteet ovat yleisesti ja laajasti tunnettuja eikä niitä siten käsitellä tässä varsinaiseen keksintöön kuulumattomina tämän enempää.

Em. spektroskooppisten menetelmien toteuttamiseksi tarvitaan useimmiten vähintään kahdella aallonpituuskaistalla spektrierotellusti mitattua informaatiota kohteen kiinnostavan parametrin määrittämiseksi. Kuvantavissa menetelmissä tämä merkitsee yleensä säteenjakajan/-jakajien ja erilaisten optisten suodattimien avulla toisistaan erotettujen spektrikaistojen ohjaamista joko kukin spektrikaista erikseen omalle matriisi-ilmaisimelleen, tai vaihtoehtoisesti kaikkien spektrikaistojen ohjaamista samalle matriisi-ilmaisimelle siten, että niiden synnyttämät signaalit ovat erotettavissa toisistaan.

Usean erillisen matriisi-ilmaisimen em. tavalla tapahtuvan käytön ongelmana teollisiin olosuhteisiin ja sovelluksiin tarkoitetuissa spektrierottelevissa kuvantavissa mittauksissa on luonnollisestikin ko. mittalaitteiden rakenteen monimutkaisuus ja kalleus. Tästä johtuen teollisia sovelluksia ajatellen kiinnostavampi ratkaisu onkin yhden ja saman matriisi-ilmaisimen käyttö kaikkien mitattavien spektrikaistojen ilmaisuun, ja samalla pyrkimys ko. spektrikaistojen erottamisessa ja ilmaisimen valoherkälle kuvatasolle fokuosinnissa tarvittavien optisten komponenttien määrän vähentämiseen, sekä näiden komponenttien asettelussa tarvittavien säätöjen minimoimiseen, ts. mittalaitteen rakenteen, käyttökuuntoon virittämisen ja käytön yksinkertaistamiseen. Teollisissa olosuhteissa toimittaessa merkittävä tekijä on myös em. tavoilla saavutettava mittalaitteen kooltaan kompakti, sekä ulkoisia olosuhteita hyvin kestävä mekaaninen rakenne.

Seuraavassa on esitetty eräitä tunnettuja, spektroskooppisten mittausmenetelmien kanssa käytettäväksi soveltuvia, kuvantavan spektrierotellun mahdollistavia ratkaisuja.

Patenttijulkaisussa US 4,413,324 on esitetty kolme erilaista tapaa spektrierotellun kuvantavan mittauksen toteuttamiseksi matriisi-ilmaisimia hyväksikäyttäen. Tarkemmin ilmaistuna kysymyksessä on kahden toisistaan eroavan mittausaallonpituuskaistan avulla suoritettava kohteen kuvantava pyrometrinen 2-väriämpötilamittaus. Em. julkaisussa esitettävä ensimmäinen tapa perustuu yhden matriisi-ilmaisimen (kameran) kuvatason eteen asetettujen, kahta eri tyyppiä olevien ja spektrikaistoiltaan toisistaan eroavien optisten suodattimien käyttöön.

Em. suodattimet, joiden kunkin koko edullisesti vastaa tarkasti ilmaisimen yksittäisen pikselin kokoa, muodostavat yhdessä suuremman yhtenäisen mosaiikkirakenteisen suodattimen, joka peittää kokonaan matriisi-ilmaisimen valoherkän kuvatason. Toinen samassa julkaisussa esitetty tapa perustuu spektrikaistojen mittaamiseen ajallisesti eri aikoina käyttäen spektrierottelun aikaansaamiseen yhden matriisi-ilmaisimen edessä pyöritettävää, kahdesta erilaisesta optisesta suodattimesta koostuvaa kiekkoa. Kolmas ko. patenttijulkaisussa esitetty tapa perustuu kohteesta saatavan säteilyn erottamiseen kahdeksi toisistaan eroavaksi spektrikaistaksi, jotka kumpikin ohjataan omille erillisille matriisi-ilmaisimilleen. Kaikille patenttijulkaisussa US 4,413,324 esitetyille tavoille on ominaista kahden erillisen spektrikaistan käyttö, ja ilmaisimen/ilmaisimien koko kuva-alan käyttö ainoastaan yhtä mittaamenetelmää varten.

15 Patenttijulkaisussa US 5,963,311 esitetään toisentyyppinen kuvantavaan 2-väripyrometriaan soveltuva laite, jossa kohteesta saatava säteily jaetaan kahteen osaan, jotka osat johdetaan erilaisten optisten suotimien lävitse edelleen yhdelle matriisi-ilmaisimelle siten, että eri suotimia vastaavat, ja eri aallonpituuskaistoja edustavat kuvat, jotka kumpikin vastaavat samaa kohteesta kuvattua aluetta, muodostuvat matriisi-ilmaisimen kuvapinnalle vierekkäin toisiinsa nähden. Ko. julkaisussa esitettävässä menetelmässä kohteesta saatavasta säteilystä muodostetaan ensin kuva optiikan ns. välifokukseen, josta se edelleen kuvataan varsinaisen ilmaisimen kuvatason. Välifokuksen käytöllä mahdollistetaan kuvatason muodostettavan kahden vierekkäisen kuvan suurennusten säätäminen tarkasti samaksi molemmissa kuvissa, ja edelleen em. kuvien välinen parempi hajavalon hallinta.

30 Patenttijulkaisussa US 5,225,883 esitetään paikoillaan pysyvän tai liikkuvan/virtaavan kohteen kuvantavaan 2-väripyrometriaan soveltuva järjestely. Samoin kuin edellä patenttijulkaisussa US 5,963,311 esitetyssä tavassa, tässäkin tapauksessa kohteesta saatava säteily jaetaan kahteen osaan, jotka osat johdetaan erilaisten optisten suotimien lävitse edelleen yhdelle matriisi-ilmaisimelle siten, että eri suotimia vastaavat, ja eri aallonpituuskaistoja edustavat kuvat, jotka kumpikin vastaavat samaa kohteesta kuvattua aluetta, muodostuvat matriisi-ilmaisimen kuvapinnalle vierekkäin. Verrattuna julkaisussa US

5,963,311 esitettyyn ratkaisuun, julkaisussa US 5,225,883 esitetystä ratkaisusta ei käytetä välifokusta kuvien suurennoksen säätämiseen, vaan toista kuvaa vastaavassa optiikan haarassa käytetään sopivan taitekertoimen omaavaa optista komponenttia kompensoimaan kuvia
5 vastaavien optisten haarojen välistä matkaeroa, ja siten mahdollistamaan ko. kahden kuvan fokusoiminen ilmaisimen kuvatasolle tarkasti toisiaan vastaavalla suurennoksella.

10 Kaikille edellä esitetuille tunnetuille kuvantaville ratkaisuille, jotka mahdollistavat oleellisesti samanaikaisen useammalla spektrikaistalla tapahtuvan spektrierotellun mittaamisen, on ominaista se, että kohteesta saatavan säteilyn jakaminen ja/tai suodattaminen toisistaan eroaviin spektrikaistoihin tapahtuu siten, että se suoritetaan samalla
15 tavoin koko kohteesta kuvatulle alueelle, ja koko matriisi-ilmaisimen/ilmaisimien kuva-ala käytetään siten kokonaisuudessaan samaa spektroskooppista mittausta, esimerkiksi 2-väripyrometriaa varten. Tällöin em. menetelmien puutteena ja merkittävänä rajoituksena teollisesti hyödynnettävissä spektrierotteluun perustuvissa kuvantavissa mittauksissa on se, että niillä voidaan edullisesti suorittaa kerrallaan vain
20 yhdentyypisiä spektroskooppisia mittauksia ilman optisten komponenttien vaihtoa ja säätämistä. Tiettyä spektroskooppista mittausta varten valitut suodattimet eivät myöskään sovellu optimaalisesti kohteen pelkkään visualisointiin, tai muihin ei-spektroskooppisiin mittauksiin.

25 Edelleen edellä esitettyissä tunnetuissa ratkaisuissa ongelmana on se, että niissä joudutaan käyttämään useita optisia komponentteja kohteesta saatavan valon jakamiseen ja/tai suodattamiseen eri spektrikaistoiksi ja fokusoimiseksi matriisi-ilmaisimelle, jotka mainitut komponentit täytyy suhteessa toisiinsa ja/tai matriisi-ilmaisimeen useimmissa tapauksissa säätää ja kohdistaa suurella tarkkuudella. Erityisesti niissä
30 tunnetuissa ratkaisuissa, joissa eri spektrikaistoilla mitatut ja kohteen samaa paikkaa vastaavat kuvat muodostetaan vierekkäin erillisinä (US 5,963,311 ja US 5,225,883) ilmaisimen kuvatasolle, tiettyä kohteen osaa eri aallonpituuskaistoilla vastaavat kuvapisteen matriisi-ilmaisimella sijaitsevat kaukana toisistaan. Tämä vaikeuttaa mainittujen kuvapisteiden luotettavaa keskinäistä tunnistusta, ja asettaa erityisiä
35 vaatimuksia em. optisten komponenttien kohdistamista ja säätämistä

ajatellen, jotta esimerkiksi eri aallonpituuksilla mitattujen kuvien suurenokset saadaan keskenään tarkalleen yhtäsuuriksi. Vastaavasti patenttijulkaisussa US 4,413,324 esitetyn mosaiikkirakenteisen suodattimen edullinen käyttötapa edellyttää, että kukin yksittäinen suodatin on
5 kohdistettu tarkasti vastaamaan yhtä tai useampaa ilmaisimen pikseliä. Tämä on teknisesti vaativaa, ja siten etenkin pienempien valmistussarjojen kyseessä ollessa kallista.

Tässä esitettävän keksinnön kannalta edellä esitetyistä tunnetuista tekniikoista lähimpänä tunnetun tekniikan tasona pidetään patenttijulkaisussa US 5,225,883 esitettyä ratkaisua, jonka yhteydessä ko. julkaisussa tuodaan esiin sen soveltuvuus myös liikkuvan tai virtaavan kohteen mittaamisen. Kyseisessä julkaisussa ei kuitenkaan millään tavoin tuoda esiin mahdollisuutta hyödyntää kohteen liikettä spektrierotellun informaation tallentamiseksi ja edelleen spektroskooppisen mittauksen suorittamiseksi tässä hakemuksessa esitettävän keksinnön tarkoittamalla tavalla.
10
15

Tämän keksinnön tarkoituksena on poistaa edellä kuvattuja tekniikan tason rajoituksia ja ongelmia suorittaessa kuvantavia spektrieroteltuja mittauksia sellaisista prosesseista, jotka sisältävät liikkuvan tai virtaavan kohteen. Tarkoituksena on aikaansaada tekniikan tasoon verrattuna rakenteeltaan yksinkertaisempi, vähemmän komponentein ja säädin toteutettava, ja siten edelleen luotettavampi ja taloudellisempi
20 tapa toteuttaa spektrieroteltuja kuvantavia mittauksia erityisesti teollisissa, mittalaitteen mekaanisen kestävyuden kannalta vaativissa prosessiolosuhteissa. Tavoitteena on edelleen mahdollistaa myös useampien spektroskooppisten ja/tai ei-spektroskooppisten parametrien optimaalinen mittaaminen, ja/tai kohteen pelkkä visualisointi yhtä ja
25 samaa kompaktia mittalaitetta käyttäen, ilman että ko. mittalaitteeseen tarvitsee välillä suorittaa komponenttien, kuten optisten suodattimien tms. vaihdoksia ja/tai muita merkittäviä muutoksia tai mekaanisia säätöjä.
30

Tämän tarkoituksen toteuttamiseksi keksinnön mukaiselle kuvantavalle menetelmälle on pääasiassa tunnusomaista se, mikä on esitetty itsenäisen patenttivaatimuksen 1 tunnusmerkkiosassa.
35

Keksinnön mukaiselle kuvantavalle laitteelle on puolestaan pääasiassa tunnusomaista se, mikä on esitetty itsenäisen patenttivaatimuksen 13 tunnusmerkkiosassa.

- 5 Keksinnön mukaisesti kuvantavasti mitatun informaation käytölle prosessin valvonnassa ja/tai säädössä on edelleen pääasiassa tunnusomaista se, mikä on esitetty itsenäisen patenttivaatimuksen 21 tunnusmerkkiosassa.
- 10 Muissa epäitsenäisissä patenttivaatimuksissa on esitetty eräitä keksinnön edullisia suoritusmuotoja.

Keksinnölle on ominaista se spektrierotteluun perustuvien spektroskooppisten kuvantavien mittausten, ja niissä tarvittavien mittalaitteiden toteuttamista ja ko. mittalaitteiden käyttöä merkittävästi yksinkertaistava ja helpottava uusi keksinnöllinen piirre, että mitattavan kohteen omaa liikettä käytetään hyväksi toisistaan eroavilla aallonpituuskais-
15 toilla mitattavien spektrieroteltujen signaalien tallentamiseksi. Tämä aikaansaadaan taltioimalla signaaleita, jotka syntyvät mitattavan kohteen jotakin tiettyä osaa vastaavan, matriisi-ilmaisimen kuvatasolle ilman säteenjakoa fokusoidun kuvapisteen kulkiessa kohteen liikkeen vaikutuksesta kuvatasolle muodostettujen, toisistaan eroavilla tavoin säteilyä välittävien suodatinalueiden kautta. Toisinsanoen, kohteen jonkin tietyn osan spektroskooppisesti mitattava parametri määritetään
20 kuvantavasti vertailemalla ja/tai kombinoimalla eri suodatinalueilta em. tavalla saatavaa tietoa keskenään. Ilman säteenjakoa tapahtuvassa kuvantamisessa kohteen kuvaa ei kahdenneta tms. ilmaisimen kuvatasolle, vaan kullakin tietyllä ajanhetkellä kohteen yksittäistä pientä osaa vastaa ilmaisimen kuvatasolla vain yksi kuvapiste.

30 Mainitut suodatinalueet saadaan aikaan joko olennaisesti heti ilmaisimen eteen, tai käytetyn etuoptiikan välifokukseen sijoitettujen, rakenteeltaan yksinkertaisten suodattimien avulla. Koska keksinnön mukaisesti mainitut suodatinalueet voivat olla matriisi-ilmaisimen yksittäisten pikseleiden kokoon nähden pinta-alaltaan suuria, kattaen kukin suosiolisesti satoja tai tuhansia yksittäisiä pikseleitä, on niiden kohdistaminen ja säätäminen toisiinsa, sekä ilmaisimeen nähden yksinkertaista, eikä suodatinalueita tarvitse erityisesti kohdistaa vastaamaan tiettyjä ilmai-
35

simen pikseleitä. Em. mainitut ominaisuudet tekevät mahdolliseksi valmistaa keksinnön mukaisia mittalaitteita taloudellisesti kannattavasti myös pieninä, eri käyttötarkoitusta varten optimoituina valmistussarjoina.

5

Keksinnölle ominaisesti mainitut, spektroskooppiseen mittaukseen tarvittavat suodatinalueet kattavat matriisi-ilmaisimen kuvatason vain osittain, jolloin jäljelle jäävä osa ilmaisimen kuva-alasta on käytettävissä muihin ei-spektroskooppisiin mittauksiin ja/tai kohteen visualisointiin.

10

Teollisen prosessin valvonnassa on usein edullista suorittaa pelkkää kohteen visualisointia, ts. välittää kohteen käsittelemätöntä, tai ainoastaan vähän käsiteltyä reaaliaikaisesta kuvaa prosessia valvovalle/säätävälle operaattorille. Tämä on keksinnön mukaisessa menetelmässä/laitteessa helposti toteutettavissa käyttämällä hyväksi matriisi-ilmaisimen suodattamatonta, tai erityisesti visualisointia varten sopivalla tavalla suodatettua kuva-alaa. Visualisointimahdollisuutta käyttäen myös kohteesta tarkkailtava/mitattava kuva-ala on helposti operaattorin määritettävissä, ts. kuvantava laite on helposti ja tarkasti kohdistettavissa halutulle kohdealueelle.

20

Verrattuna tekniikan tasoon keksinnön mukaisessa ratkaisussa on yksinkertaista ja helppoa tarvittaessa käyttää myös useampaa kuin kahta eri tavoin säteilyä suodattavaa suodatinta. Tämä mahdollistaa vastaavasti myös useampien kuin yhden spektroskooppisen mittausmenetelmän olennaisesti samanaikaisen käytön ilman optisten komponenttien vaihtamista ja/tai säätämistä siten, että käytettävät spektri-kaistat ovat kuitenkin aina kulloistakin tarkoitusta ja spektroskooppista mittausta varten optimaalisesti valitut.

25

30

Keksintöä kuvataan seuraavassa lähemmin viittaamalla oheiseen piirustukseen, jossa

35

kuva 1 esittää sivukuvantona erästä keksinnön mukaista järjestelyä spektrierotellun kuvantavan mittauksen suorittamiseksi liikkuvasta tai virtaavasta kohteesta,

- kuva 2 esittää sivukuvantona vaihtoehtoista keksinnön mukaista järjestelyä spektrierotellun kuvantavan mittauksen suorittamiseksi liikkuvasta tai virtaavasta kohteesta,
- 5 kuva 3 esittää etuoptiikan suunnasta kohtisuoraan matriisi-ilmaisimen kuvatasoa kohti katsottuna em. ilmaisimen kuva-alalle keksinnön mukaisesti muodostettujen suodatinalueiden erästä järjestelyä,
- 10 kuva 4 esittää kuvaa 3 vastaavalla tavalla esitettynä erilaisia vaihtoehtoisia keksinnön mukaisia suodatinalueiden järjestelyjä matriisi-ilmaisimen kuva-alalle,
- 15 kuva 5 esittää keksinnön mukaisen ratkaisun käyttöä termisen ruiskutuspinnoitusprosessin valvonnassa,
- kuva 6 esittää kuvan 5 mukaisessa tilanteessa partikkelisuihkun matriisi-ilmaisimelle synnyttämää kuvaa silloin, kun ilmaisimessa käytetty valotusaika on lyhyt suhteessa pinnoitepartikkelien liikenopeuteen,
- 20
- kuva 7 esittää kuvan 5 mukaisessa tilanteessa partikkelisuihkun matriisi-ilmaisimelle synnyttämää kuvaa silloin, kun ilmaisimessa käytetty valotusaika on pitkä suhteessa pinnoitepartikkelien liikenopeuteen,
- 25
- : kuva 8 esittää miten kohteesta suodatinalueiden avulla määritettävästä parametristä muodostetaan ko. parametrin paikallinen, kohteen liikkeeseen nähden poikkisuuntainen jakauma,
- 30
- : kuva 9 esittää miten kohteesta koko kuva-alalta määritettävästä parametristä muodostetaan ko. parametrin paikallinen, kohteen liikkeeseen nähden poikkisuuntainen jakauma, ja
- 35

kuva 10 esittää miten kohteesta koko kuva-alalta määritettävästä parametrilla muodostetaan ko. parametrin paikallinen, kohteen liikkeeseen nähden samansuuntainen jakauma.

5 Kuvassa 1 on esitetty sivukuvantona keksinnön mukainen järjestely, jossa liikkuvasta tai virtaavasta kohteesta T muodostetaan kuvantavan optiikan L1 avulla kuva suodattimien F1,F2 kautta 2-dimensioisen matriisi-ilmaisimen kuvatasolle D, joka matriisi-ilmaisimella on edelleen sijoitettu kameraan C. Kuvassa 2 esitetään vaihtoehtoinen keksinnön
10 mukainen järjestely, jossa kohteesta T muodostetaan kuvantavan optiikan L2 avulla kohteen kuva optiikoiden L2 ja L3 välifokukseen sijoitetuille suodattimille, joka välifokukseen muodostettu suodattimien F1,F2 kautta kulkeva kuva siirretään edelleen optiikan L3 avulla matriisi-ilmaisimen kuvatasolle D.

15

Kuvissa 1 ja 2 (ja vastaavasti kuvissa 3-4) esitetty liikkuva tai virtaava kohde T voi olla koostumukseltaan oleellisesti homogeeninen kiinteä, oleellisesti homogeeninen nestemäinen tai oleellisesti homogeeninen kaasumainen kohde, kuten esimerkiksi valssauskäsittelyssä oleva
20 kuuma hehkuva metallikappale, tai sulasta metallista muodostuva virtaus tai kaasuliekki. Kohde voi olla koostumukseltaan myös heterogeeninen, kuten esimerkiksi kiinteitä tai nestemäisiä partikkeleita sisältävä kaasuvirtaus, tai vastaavasti kaasukuplia tai kiinteitä partikkeleita sisältävä nestevirtaus. Kohteen lämpötila voi sinänsä olla mikä tahansa
25 lämpötila, joka on tutkittavalle prosessille ominainen.

Kuvissa 1 ja 2 kuvantava optiikka L1,L2,L3 voi koostua kukin yhdestä tai useammasta erillisestä linssistä, tai kukin optiikka L1,L2,L3 voi olla myös useita linsejä sisältävä ns. kameraobjektiivi, joka edelleen voi
30 sisältää välineet kuvan tarkentamiseksi matriisi-ilmaisimelle D, ja tarvittaessa myös välineet ko. optiikan aukon rajoittamiseksi kuvauksen syvyyserävyuden ja valovoiman hallitsemiseksi. Mikäli kuvaa releoidaan matriisi-ilmaisimelle D useamman kuin yhden välifokuksen kautta, voi kuvantavia optiikoita olla tarvittaessa käytössä useampiakin, ja ne
35 voivat sisältyä esim. etuoptiikkana käytettävään endoskooppiin tms. erikoisoptiikkaan. Kuvantava optiikka voi tarvittaessa sisältää myös fokustasojen välittömään läheisyyteen sijoitettuja ns. field-linsejä kuvan laadun parantamiseksi.

- 5 Kuvantavien optiikoiden L1,L2,L3 sekä suodattimien F1,F2 ei välttämättä tarvitse sijaita samalla suoralla optisella akselilla, vaan tarvittaessa komponenttien välillä voidaan käyttää peilejä optisen akselin kääntämiseen, tai optikat L1,L2,L3 voidaan myös itse tarvittaessa toteuttaa käyttäen koveria pallopeilejä, ja edelleen suodattimet F1,F2 (välifokukseen sijoitettuna) voidaan tarvittaessa toteuttaa nekin heijastavina komponentteina.
- 10 Kuva 3 esittää kuvantavan optiikan (L1 kuvassa 1 ja L3 kuvassa 2) suunnasta kohtisuoraan matriisi-ilmaisimen kuvatasoa D kohti katsottuna em. kuvatason valoherkälle alueelle DA suodattimien F1,F2 avulla muodostettuja suodatinalueita FR1 ja FR2 eräässä keksinnön mukaisessa tilanteessa. Kuvassa 3 on katkoviivalla piirrettynä esitetty periaatteellisesti myös liikkuvan tai virtaavan kohteen T kuvautuminen kuvatasolle D kuvan 1 tai 2 mukaisissa tilanteissa.
- 15 Kuva 4 esittää kuvaa 3 vastaavalla tavalla eräitä vaihtoehtoisia tapoja keksinnön mukaisten suodatinalueiden järjestelemiseksi matriisi-ilmaisimen kuva-alalle. Kuvassa 4a on esitetty kahden, ilmaisimen valoherkän alueen DA pinta-alaan nähden pienen, ja toisissaan kiinni olevan suodatinalueen FR1 ja FR2 järjestely. Kuvassa 4b on esitetty toisistaan erilliset suodatinalueet FR1 ja FR2, ja lisäksi kuva-alan toisessa reunassa olevat suodatinalueet FR3 ja FR4, joista suodin FR3 vastaa ominaisuuksiltaan suodatinta FR1, ja suodatin FR4 suodatinta FR2. Edelleen kuvassa 4c on esitetty kahden ei-suorakaiteenmuotoisen, ja toisiinsa verrattuna erikokoisten suodatinalueiden järjestely. Kuvassa 4d on vielä esitetty kolmen, keskenään eri tavoin säteilyä välittävän suodatinalueen FR1,FR2,FR3 järjestely.
- 20
- 25
- 30
- 35 Keksintöä ei ole rajoitettu edellä esitettyihin tapoihin suodatinalueiden järjestämiseksi ilmaisimen kuva-alalle, vaan suodatinalueiden koko, muoto ja määrä voi vaihdella kulloisenkin sovelluksen mukaisesti siten, että kohteen liikkeen vaikutuksesta, kohteen jotakin tiettyä osaa vastaava kuvapiste ilmaisimen kuvatasolla olennaisesti kuitenkin kulkee kyseessä olevassa spektroskooppisessa mittauksessa tarvittavien suodatinalueiden kautta.

Em. suodatinalueiden muodostamiseksi ilmaisimen kuvatasolle D, suodattimet F1,F2 voivat koostua yhtenäisestä, olennaisesti ilmaisimen D toiminta-aallonpituusalueella läpinäkyvästä substraattimateriaalista, jonka etu- ja/tai takapinnalle/-pinnoille on haluttuihin kohtiin valmistettu

5 kohteen säteilyä halutulla tavalla heijastava, absorpoiva tai muutoin vaimentava pinnoite, esimerkiksi ns. dikroidinen monikerrospinnoite. Vaihtoehtoisesti suodattimet F1,F2 voivat olla valmistettu korvaamalla halutut kohdat edellä mainitusta, olennaisesti läpinäkyvästä substraattimateriaalista säteilyä halutulla tavalla absorpoivalla tai muutoin

10 vaimentavalla materiaalilla, esimerkiksi ns. värilasilla. Edelleen suodattimet F1,F2 sisältävä kokonaisuus voi olla muodostettu siten, että se ei sisällä lainkaan varsinaista substraattimateriaalia niissä osissa, joiden kautta kulkevan säteilyn ominaisuuksiin ei haluta vaikuttaa, vaan varsinaisia suodatinalueita FR1,FR2 vastaavat suodatinrakenteet F1,F2,

15 jotka on muodostettu jollakin edellä kuvatulla tavalla, on kiinnitetty erillisinä suoraan ilmaisimen D kuvatason päälle (kuvan 1 tilanne), tai em. suodatinrakenteet F1,F2 on kiinnitetty ja asemoitu toisiinsa nähden sopivan mekaanisen elimen, esim. langoituksen avulla (kuvan 2 tilanne), joka mainittu elin itse on rakenteeltaan mahdollisimman ohut ja sellainen, että se itse häiritsee säteilyn kulkua mahdollisimman vähän.

20 Suodattimet F1,F2 voivat sisältyä/olla rakenteeltaan myös ns. diffraktiivinen komponentti, jonka ilmaisimen valoherkän alueen DA eri kohtia vastaavat alueet on valmistettu halutun muotoisina ja halutulla tavalla kohteen säteilyä välittävänä keksinnön mukaisten suodatinalueiden muodostamiseksi ilmaisimen D kuvatasolle. Suodattimet voivat

25 olla muodostettu myös em. mainittuja erilaisia rakenneratkaisuja yhdistämällä, ja edelleen eri suodatinalueita vastaavat suodattimet voivat sijaita eri paikoissa esimerkiksi siten, että ensimmäinen suodatin F1 on sijoitettu ilmaisimen D eteen (kuvaa 1 vastaavasti) ja toinen suodatin F2 on sijoitettu etuoptiikan välifokukseen (kuvaa 2 vastaavasti). Edelleen ilmaisimen valoherkälle alueelle DA muodostetut suodatinalueet FR1,FR2 voivat olla aikaansaatu sellaisen suodatinelementin avulla, jonka läpäisy/heijastus muuttuu paikan funktiona siten, että em. suodatinelementin tietyssä kohtaa sen läpäisy/heijastus vastaa suodatinta F1,

30 ja jossain toisessa kohtaa suodatinta F2. Mainitunkaltainen paikan suhteen muuttuvan/liukuvan spektrivasteen omaava suodatinelementti voidaan valmistaa edellä mainittuja rakenneratkaisuja käyttämällä, esim. dikroidisten pinnoitteiden avulla.

35

2-dimensioiden matriisi-ilmaisimien D, jotka on sijoitettu kameraan C voi olla esimerkiksi ns. CCD-ilmaisimien, jotka piipohjaisena ilmaisimena toimii aallonpituusalueella 200-1100 nm ja voi sisältää itsessään ns. sähköisen suljintoiminnon pikseleiden valotusajan säätämiseksi. Tämänkaltaisissa CCD-ilmaisimissa pikselimäärä voi esimerkiksi olla kooltaan 2/3-tuuman ilmaisimessa 1280 pikseliä vaakasuunnassa ja 1024 pikseliä pystysuunnassa, jolloin yksittäisten pikselien koko on esimerkiksi 6.7 mikrometriä kertaa 6.7 mikrometriä. Sovelluksesta riippuen ilmaisimien voi kuitenkin olla muunkintyyppinen matriisi-ilmaisimien, jossa ilmaisimen valonherkän kuva-alan koko ja pikselien määrä voi vaihdella, ja ilmaisimen suljinaika voi olla säädettävissä myös ulkoista, erillistä mekaanista tai sähkö/magneto-optista suljinta käyttäen. Aallonpituusalueella 900-1700 nm toimittaessa ilmaisimien voi olla esimerkiksi InGaAs-puolijohteesta valmistettu 1-tuuman 320 pikseliä x 240 pikseliä kokoinen matriisi-ilmaisimien. Ilmaisimien voi olla myös ns. CMOS-ilmaisimien. Edelleen matriisi-ilmaisimen kaikki pikselit voivat omata keskenään samanlaisen spektrisen aallonpituusvasteen, tai eri pikseleillä voi olla keskenään erilainen spektrinen aallonpituusvaste. Ts. ilmaisimien voi olla myös esimerkiksi värikamera. Ilmaisimen eri pikseleiden valotusajat voivat olla sähköisen sisäisen suljintoiminnon avulla säädettävissä eri pikseleiden välillä eri tavoin. Samoin kamerassa ilmaisimen eri pikseleistä luettavan sähköisen signaalin vahvistus voi olla eri pikseleiden välillä eri tavoin säädettävissä, ja myös useampien vierekkäisten pikselien signaalit voivat olla lukemista ennen yhdistettävissä ns. binning-toimintoa käyttäen.

Kamera C, johon matriisi-ilmaisimien D on sijoitettu, huolehtii ilmaisimen keräämän optisen signaalin muuttamisesta sähköiseen muotoon sekä ilmaisimen sähköisten toimintojen ohjaamisesta. Em. ohjauskomennot voivat tulla sähköisessä muodossa suoraan tietokoneelta tai manuaalisesti kamerassa käyttäjän asettelemien kytkinten kautta. Kamera C voi olla tyypiltään ns. digitaalikamera, jossa ilmaisimen taltioima kuva muutetaan jo itse kamerassa digitaaliseen, binäärikoodin avulla ilmaisittavaan muotoon, joka binäärinen tieto välitetään edelleen varsinaiseen mittaustietokoneeseen myöhempää kuvankäsittelyä ja laskentaa varten. Vaihtoehtoisesti kamera C voi olla myös ns. analoginen videokamera, josta ilmaisimen taltioima kuva välitetään ensin analogisena videosignaalinä tietokoneelle, jossa sopivan, esim. ns. kuvankaap-

pauskortin avulla analoginen signaali muutetaan digitaaliseen muotoon. On myös mahdollista, että kamera C voi sisältää oman mikroprosessorin tai vastaavan piirin/piirejä kuvankäsittelyn suorittamiseksi kokonaan tai osittain jo kamerassa ennen informaation välittämistä eteenpäin.

Seuraavassa keksintöä kuvataan edelleen yksityiskohtaisemmin, käyttäen nyt apuna esimerkinomaisesti sen soveltamista termisen ruiskutuspinnoitusprosessin valvontaan.

Kuva 5 esittää termisen ruiskutuspinnoitusprosessin periaatetta. Ruiskutuslaitteesta G virtaavaan kuumaan kaasuseokseen P, joka voi olla esimerkiksi sähköisen valokaaren avulla aikaansaatua ns. plasma- liekki, tai reaktiivisen kaasuseoksen palaessa syntyvä kaasuliekki, syötetään pinnoitemateriaalia jauheena syöttöportista I. Liekissä P pinnoitepartikkelit sulavat ja kiihtyvät tiettyyn liikenopeuteen ennen iskeytymistään pinnoitettavaan kohteeseen S. Iskeytyessään pinnoitettavaan kohteeseen sulat tai osittain sulat pinnoitepartikkelit litistyvät ja jäähtyvät ohuiksi lamelleiksi. Em. lamellien kerrostuminen kohteen S pinnalle muodostaa halutun pinnoitteen. Tunnettujen ja teollisesti laajasti käytettyjä termisiä ruiskutuspinnoitusprosesseja ovat esim. plasmaruiskutus, HVOF-ruiskutus, detonaatoruiskutus ja liekkiruiskutus. Näiden ruiskutusmenetelmien avulla voidaan valmistaa esimerkiksi metallisia, keraamisia tai muovisia pinnoitteita hyvin erilaisia tarkoituksia varten.

Termisessä ruiskutuksessa pinnoitepartikkelien lentoaikaiset ominaisuudet juuri ennen niiden iskeytymistä pinnoitettavaan kohteeseen ovat keskeisiä syntyvän pinnoitteen ominaisuuksien ja laadun kannalta. Tärkeimpiä pinnoitepartikkelien parametrejä tässä suhteessa ovat partikkelien lämpötila, nopeus, määrä ja koko, sekä näiden parametrien paikallinen jakauma liekissä.

Keksinnön mukaisella menetelmällä on samaa mittalaitetta käyttäen mahdollista mitata kuvantavasti spektroskooppisesti sekä ei-spektroskooppisesti, sekä samalla myös visualisoida pinnoitepartikkeleita/partikkelisuihkua lentoaikaisesti ennen partikkelien/partikkelisuihkun iskeytymistä pinnoitettavaan kohteeseen S. Kuvaan 5 on merkitty

katkoviivalla eräs tällaiseen prosessin tarkkailuun soveltuva kuvausalue ROI. Tässä esimerkissä jäljempänä esitettävän mukaisesti spektroskooppisesti mitattava parametri on pinnoitepartikkelien pyrometrinen 2-väriämpötila, ja ei-spektroskooppisesti määritettäviä parametrejä mm.

5 pinnoitepartikkelien nopeus ja hetkellinen lukumäärä. Kvantavan menetelmän ansiosta voidaan em. parametreistä saada paikkaeroteltua tietoa, ts. paikallisia jakaumia kuvausalueelta ROI.

Kuvassa 6 on esitetty kuumien pinnoitepartikkelien matriisi-ilmaisimelle

10 synnyttämä kuva tilanteessa, jossa ilmaisimessa käytetty valotusaika on lyhyt suhteessa pinnoitepartikkelien liikenopeuteen. Tällöin yksittäiset pinnoitepartikkelit kuvautuvat itse emittoimansa termisen säteilyn avulla ilmaisimen valoherkälle alueelle DA yksittäisinä viiruna, joiden viirujen pituus riippuu käytetystä valotusajasta ja partikkelien nopeudesta.

15 Kuvassa 6 yhden pinnoitepartikkelin synnyttämää tällaista viirua on merkitty T1:llä. Kun ilmaisimen kuva-alalle on järjestetty kuvan 6 mukaisesti suodatinalueet FR1 ja FR2, saadaan ko. suodatinalueiden välisen rajan valotusaikana ylittävien yksittäisten partikkelien säteilemisvoimakkuudesta spektrisesti eroteltua informaatiota kyseisiä suodatinalueita vastaavilla kahdella aallonpituuskaistalla siten, että aikaero

20 em. kahdella aallonpituuskaistalla mitattujen yksittäisten partikkelien säteilemisvoimakkuuksien välillä on pienempi kuin kuvauksessa käytetty valotusaika. Valittaessa em. kaksi aallonpituuskaistaa sopivasti, voidaan niiden avulla mitattuja säteilemisvoimakkuuksia käyttää

25 yksittäisten pinnoitepartikkelien 2-väripyrometriseen lämpötilan määrittämiseen sillä oletuksella, että partikkelien lämpötila ei olennaisesti muutu kuvauksessa käytettävän valotusajan puitteissa. Tyypillisesti esimerkiksi plasmaruiskutuksessa pinnoitepartikkelien nopeudet ovat useita satoja metrejä sekunnissa, jolloin kuvan 6 mukainen tilanne

30 saavutetaan käytännössä käyttämällä mikrosekuntien luokkaa olevia valotusaikoja. Kuvassa 6 esitettyjen viirujen (esim. T1) eri aallonpituuksilla mitattujen, toisiaan lähellä olevien osien tunnistaminen on kuvankäsittelytekniikoiden avulla helppoa verrattuna tekniikan tason menetelmiin, joissa kohteen samaa aluetta, esimerkiksi partikkelia

35 vastaavat eri aallonpituuksilla mitatut kuvat ovat suhteellisen kaukana toisistaan ilmaisimen valoherkällä alueella DA (esim. US 5,963,311 ja US 5,225,883).

Kuvassa 7 on vastaavasti esitetty kuumien pinnoitepartikkelien matriisi-
ilmaisimelle synnyttämä kuva tilanteessa, jossa ilmaisimessa käytetty
valotusaika on pitkä suhteessa pinnoitepartikkelien liikenopeuteen.
Tällöin suodatinalueilta FR1 ja FR2 saadaan mittaustuloksena partikke-
lisuihkun TX liikkeen vaikutuksesta paikan suhteen sekä ajallisesti
5 summutuneita/integroituja säteilemisvoimakkuuden mittausrvoja,
joiden avulla voidaan edelleen laskea 2-väripyrometrinen lämpötila, ja
sen paikallinen jakauma poikittain partikkelisuihkuun nähden. Pitkää
valotusaikaa käyttämällä ei luonnollisestikaan voida kuitenkaan saada
10 selville yksittäisten pinnoitepartikkelien lämpötiloja.

Kuvassa 7 periaatteellisesti esitetyn mukaisesti pitkää valotusaikaa
suhteessa kohteen liikenopeuteen joudutaan käyttämään signaalirajoit-
teisissa tilanteissa, esimerkiksi silloin kun suodatinalueita vastaavat
15 spektrikaistat joudutaan käytettävän spektroskooppisen menetelmän
vuoksi, tai kohteen säteilyominaisuuksien vuoksi valitsemaan spektri-
sesti hyvin kapeiksi, ts. vähän säteilyä läpäiseviksi. Tilanne on tämän-
kaltainen esimerkiksi silloin, kun halutaan mitata vain tiettyjen kapeiden
spektriviivojen säteilyä, tai halutaan välttää tiettyjen, lähellä mittausaal-
20 lonpituuksia olevien ja mittausta mahdollisesti häiritsevien spektrivi-
vojen päätyminen mukaan mittaustulokseen. Em. tilanteessa lyhyttä
valotusaikaa käytettäessä, ja pyrittäessä erottamaan esim. yksittäiset
partikkelit, vastaaviin pikselihin integroituva signaali ei ylitä lainkaan
havaintorajaa, tai jää signaali/kohinasuhteeltaan liian heikoksi. Mikäli
25 menetelmä perustuu kohteen oman spontaaniin emission hyväksi-
käyttöön, niin esimerkiksi liian matalalämpöisiä kohteita ei voida havaita
lyhyitä valotusaikoja käyttäen.

Esillä olevan keksinnön merkittävänä etuna on se, että edellä kuvatun
30 kaltaisissa signaalirajoitteisissa tilanteissa, esimerkiksi pyrometrinen 2-
värilämpötilamittaus voidaan toteuttaa integroidusti ja keskiarvottaen
käyttäen pitkää valotusaikaa ja ko. pyrometrin mittausta varten opti-
maalisesti valittuja spektrikaistoja/suodatinalueita. Samalla laitteella
voidaan nyt suorittaa myös muita mittauksia tai visualisointia käyttä-
35 mällä tarvittaessa erilaista valotusaikaa ja ilmaisimen muuta suodatta-
matonta kuva-alaa, ja/tai ko. muita mittauksia tai visualisointia varten
erityisesti optimoituja muita spektrikaistoja/suodatinalueita.

Keksinnön antamaa mahdollisuutta useiden erilaisten mittausten tai visualisoinnin suorittamiseen optimoidusti havainnollistetaan seuraavassa edelleen käyttäen esimerkkinä termistä ruiskutuspinnoitusprosessia.

5

Edellä esitetyn mukaisesti kuvissa 6 ja 7 spektrikais-
tojen/suodatinalueiden FR1 ja FR2 ominaisuudet on valittu soveltuviksi
2-väripyrometriseen lämpötilamittauksen, ja mittaus voidaan suorittaa
kohteen ominaisuuksista (esim. lämpötila ja/tai partikkelitiheys) riippuen
10 joka yksittäisille pinnoitepartikkeleille (kuva 6), tai integroidusti ja keski-
arvottaen partikkelisuihkulle (kuva 7). Olennaista on se, että kuvan 6
mukaisesta tilanteesta voidaan siirtyä kuvan 7 mukaiseen tilanteeseen
helposti ja nopeasti matriisi-ilmaisimen valotusaikaa muuttamalla.

15

Kuvan 6 tilanteessa voidaan määrittää yksittäisten partikkelien nopeus
sinänsä tunnetun, ns. lentoaikaperiaatteen mukaisesti, kun tunnetaan
kuvauksessa käytettävä valotusaika sekä kuvausoptiikan suurennos.
Partikkelien nopeusmittaus voidaan periaatteessa toteuttaa missä
tahansa kohtaa kuva-alaa DA, koska nopeusmittaus ei riipu yksittäisten
20 partikkelien synnyttämien kuvien kirkkaudesta, vaan ainoastaan ko.
partikkelien kuvaan piirtämien viirujen pituudesta. Partikkelien nopeus-
mittaus voidaan toteuttaa myös kaksois- tai monivalotusta käyttä-
mällä, ja tunnistamalla kuvankäsittelyn avulla kutakin yksittäistä partik-
kelia vastaavien kuvien paikat, ja mainittujen kuvien väliset etäisyydet
25 eri valotuksilla otetuista kuvista. Mikäli nopeusmittauksessa käytettä-
vällä valotusajalla yksittäisten partikkelien kuvat/viirut ovat signaalirajoit-
teisia, on em. kuvien/viirujen tunnistaminen keksinnölle ominaisesti
edullista suorittaa matriisi-ilmaisimen spektrisesti suodattamattomalla
kuva-alalla, joka siis omaa suurimman mahdollisimman herkkyuden
30 mahdollisimman laajan, ts. suodattimin rajoittamattoman spektrikais-
tansa ansiosta.

35

Vastaavalla tavalla kuin edellä partikkelien nopeusmittaus, ja myös
sinänsä tunnetulla tavalla, voidaan kuvan 6 tilanteessa luonnollisesti
määrittää myös kuvassa havaittujen partikkelien määrää peräkkäin
otetuissa kuvissa, ja edelleen eri osissa kuva-alaa. Mikäli partikkelien
havaitseminen on signaalirajoitteista, voidaan tämäkin keksinnölle omi-
naisesti ja edullisesti suorittaa matriisi-ilmaisimen spektrisesti suodat-

tamattomalla kuva-alalla, tai käyttämällä kuvan 7 mukaisesti vaihtoehtoisesti pitkää valotusaikaa, jolloin partikkelien määrä eri osissa kuva-alaa, ja erityisesti liikesuuntaan nähden poikkisuuntainen jakauma saadaan selville suhteellisena kuvan paikallisen kirkkauden perusteella, ja ottamalla tarvittaessa huomioon 2-väripyrometrisesti aiemmin mitattu, liikesuuntaan nähden poikkisuuntainen lämpötilajakauma (kuva 7).

Tunnettaessa pinnoitepartikkelin 2-väripyrometrinen lämpötila, joka voidaan määrittää pyrometrian tunnettujen perusteiden mukaisesti ilman tietoa ko. partikkelin koosta, on sinänsä tunnetun tekniikan mukaisesti mahdollista saada edelleen tietoa partikkelin koosta käyttäen apuna ko. partikkelin jollakin tunnetulla ja tarkoitukseen sopivalla aallonpituuskaistalla emittoimaa säteilemisvoimakkuutta. Ts. tietyssä lämpötilassa olevan hiukkasen emittoima säteily riippuu hiukkasen koosta, ja mikäli lämpötila tunnetaan 2-väripyrometrisen mittauksen perusteella, voidaan koko laskennallisesti määrittää hiukkasen säteilemisvoimakkuuden perusteella. Tämä mittaus voidaan keksinnön mukaisesti suorittaa helposti lisäämällä kuvan 6 mukaisessa tilanteessa tarvittaessa mukaan vielä kolmas, tähän tarkoitukseen erikseen optimoitu suodatinalue.

Kuvan 5 mukaista termistä ruiskutuspinnoitusprosessia kuvannettaessa eräänä merkittävänä käytännön ongelmana on kuva-alan sisällä esiintyvät suuret kirkkausvaihtelut, jotka asettavat suuria vaatimuksia käytettävän matriisi-ilmaisimen dynaamiikalle, ts. kyvylle mitata/havaita eri suuruusluokkaa olevia säteilemisvoimakkuuksia. Mikäli kuvassa 5 esitetyn kuva-alan ROI vasen reuna sijoitetaan liian lähelle ruiskutuslaitetta G, liekin P kirkkaus voi häiritä varsinaisten pinnoitepartikkelien havaitsemista aiheuttamalla kuva-alan ROI vasenta reunaa matriisi-ilmaisimen kuvatasolla vastaavien pikseleiden ylivalottumisen. Keksinnön mukaisesti tämä voidaan välttää lisäämällä tarvittaessa ko. kohtaan kuva-alaa erillinen suodinalue, joka sopivalla tavalla vaimentaa ko. kuva-alalle kohteesta tulevaa säteilyä, ja siten vähentää ilmaisimen dynamiikalle asetettavia vaatimuksia. Kuvannettaessa jotakin toisen-tyyppistä prosessia, esimerkiksi reaktiivista virtausta, voi tarve säteilyn vaimentamiselle esiintyä myös kohteen liikkeen suunnassa kuva-alassa eri kohdassa kuin edellä, kohteen lämpötilan, tutkittavan pitoisuuden

tms. kasvaessa tai muuttuessa muulla tavoin prosessissa tapahtuvien reaktioiden seurauksena.

5 Kuten edellä on jo aikaisemmin mainittu, termisissä ruiskutuspinnoitus-
 prosesseissa myös pinnoitepartikkelien parametrien paikallinen
 jakauma liekissä on prosessin valvonnan ja säädön kannalta tärkeää.
 Esimerkiksi kuvan 5 esittämässä tilanteessa syötettäessä pinnoitepar-
 tikkeleita jauheena ns. kantokaasun mukana portista I, niin mikäli
 mainitun kantokaasun virtausnopeus säädetään liian pieneksi, niin
 10 tällöin pinnoitepartikkelit eivät tunkeudu tarkoitetulla tavalla liekin P
 kuumiin sisäosiin. Vastaavasti liian suurta kantokaasun virtausnopeutta
 käytettäessä pinnoitepartikkelit työntyvät suoraan liekin lävitse.
 Molemmissa tapauksissa kohteeseen S osuvien pinnoitepartikkelien
 parametrit, kuten esimerkiksi lämpötila ja nopeus poikkeavat
 15 optimaalisista arvoista.

Kuvissa 8-10 on esimerkkien avulla havainnollistettu keksinnön mukai-
 sen kuvantavan menetelmän mahdollistamia eräitä tapoja pinnoitepar-
 tikkeleiden eräiden parametrien paikallisten jakaumien määrittämiseen
 20 termisessä ruiskutuspinnoitusprosessissa. On luonnollisesti selvää, että
 patenttivaatimuksissa esitettyjen keksinnöllisten piirteiden puitteissa
 kulloinkin mitattavien parametrien paikallisia jakaumia voidaan vastaa-
 valla tavalla määrittää myös muun tyyppisistä prosesseista.

25 Kuvassa 8 on esitetty periaatteellisesti pinnoitepartikkelien 2-väri-
 lämpötilan paikallisen, partikkelien liikkeeseen nähden poikkisuuntaisen
 jakauman DT määrittäminen. Kuvaan 8 viivoituksella merkityt, ja partik-
 kelien lämpötilamäärityksessä käytettävät kaksi suodatinaluetta on
 jaettu edelleen pienempiin havaintoalueisiin R1-RN, joiden kunkin
 30 sisällä määritetyt yksittäisten partikkelien lämpötilat lasketaan kunkin
 havaintoalueen R1-RN sisällä joko hetkellisiksi tai ajan suhteen kumu-
 latiivisiksi keskiarvoiksi, joiden avulla muodostetaan edelleen jakauma
 DT. Hetkellinen jakauma voidaan siis muodostaa mittalaitteella otetun
 yhden kuvan perusteella, tai kumulatiivinen jakauma tarpeen useam-
 35 man peräkkäin otetun kuvan perusteella.

Kuvassa 9 on esitetty periaatteellisesti matriisi-ilmaisimen koko kuva-
 alan käyttö partikkelien liikkeeseen nähden jonkin poikkisuuntaisen

jakauman DV, esimerkiksi partikkelien lukumäärä- tai nopeusjakauman määrittämisessä. Kuvassa 10 on esitetty edelleen vastaavasti partikkelien liikkeen suuntaisen jakauman, esimerkiksi lukumäärä- tai nopeusjakauman määrittäminen.

5

Kuvissa 8-10 jakaumien muodostamisessa käytettävien havaintoaluiden R1-RN koko ja määrä voi vaihdella tarpeen mukaan, ja käsittää pelkästään ilmaisimelle muodostettuja suodatinalueita, tai myös suodatinalueiden ulkopuolella olevaa kuva-alaa riippuen kulloinkin kyseessä olevasta parametrystä. Kohteesta/kohteista kuvantavasti määritetystä parametrystä/parametreista voidaan em. jakaumien lisäksi luonnollisesti määrittää tarvittaessa myös muita tilastollisia tunnuslukuja.

15 Termisen ruiskutuspinnoitusprosessin tilaa ja ruiskutuslaitteiston toimintaa voidaan valvoa seuraamalla edellä kuvatuilla tavoilla muodostettujen, pinnoitepartikkelien ja siten prosessin tilaa kuvaavien keskeisten mittausparametrien paikallisia jakaumia, ja/tai muita tilastollisia tunnuslukuja, sekä näissä jakaumissa tai tunnusluvuissa tapahtuvia muutoksia. Pinnoitusprosessia voidaan mainittuja mittaustuloksia käyttäen edelleen säätää tarvittaessa joko manuaalisesti tai automaattisesti siten, että optimaalisiksi määritetyt toimintaolosuhteet saavutetaan. Keksinnön mukaisen menetelmän mahdollistama kohteen visualisointi, ts. kohteesta operaattorille välitettävä reaaliaikainen kuva helpottaa myös sinällään prosessin valvontaa ja säätämistä. Visualisointi helpottaa ja nopeuttaa erityisesti esimerkiksi ruiskutuslaitteen G kulu-

20 viden osien (suuttimet tms.), ja/tai pinnoitemateriaalin ja/tai pinnoitemateriaalierän vaihdon yhteydessä prosessissa tarvittavia alkutarkistuksia ja -säätöjä. Visualisoinnin avulla kuvantava mittalaite on myös helppoa

30

On luonnollisesti selvää, että keksinnön käyttö ei rajoitu ainoastaan edellä esimerkkinä esitetyn termisen ruiskutuspinnoitusprosessin tutkimukseen, valvontaan ja säätöön, vaan sitä voidaan patenttivaatimuksissa esitettyjen keksinnöllisten piirteiden puitteissa soveltaa myös muissa prosesseissa, jotka sisältävät liikkuvan/liikkuvia tai virtaavan/virtaavia kohteen/kohteita.

35

- Edelleenkin keksinnön käyttö ei rajoitu spektroskooppisista menetelmistä pelkästään pyrometrian käyttöön, vaan myös muita spektrierottelua vaativia kuvantavia mittausten menetelmiä voidaan edullisesti toteuttaa keksinnön avulla. Spektrierottelun lisäksi ilmaisimen kuva-alalle muodostettavilla eri suodatinalueilla voi olla keskenään myös mitattavan säteilyn polarisaatiosta eri tavoin riippuvia ominaisuuksia. Myöskään tutkittavan kohteen valaisumenetelmä ei ole keksinnön kannalta oleellinen, vaan tutkittava kohde/kohteet voivat emittoida itse säteilyä ja/tai myös sirottaa toisista lähteistä saatavaa säteilyä.
- On luonnollisesti selvää, että niissä tilanteissa, joissa kohde/kohteet havaitaan sen/niiden sirottaman säteilyn perusteella, voidaan kohteen/kohteiden liike kuvassa pysäyttää käyttämällä kohteiden valaisuun joko olennaisesti jatkuvatoimista valolähdettä ja samalla ilmaisimessa riittävän lyhyttä suljinaikaa. Vaihtoehtoisesti käyttämällä valaisuun lyhyttä valopulssia/-pulsseja, ts. stroboskooppista valaisua, voidaan ilmaisimessa käyttää kohteen/kohteiden liikenopeuteen nähden sinällään pitkää suljinaikaa. Näillä molemmilla tavoilla päädytään kohteen liikkeen suhteen kohteen havaitsemisen kannalta samaan efektiiviseen valotusaikaan, joka seikka on ilmaistu myös patenttivaatimuksessa käyttämällä pelkän valotusaika termin sijaan termiä efektiivinen valotusaika.
- Kuvannettaessa sellaista kohdetta, joka sisältää kuva-alalla DA pienempiä yksittäisinä erottuvia kohteita, voidaan mainittujen kohteiden havaitsemiseen niiden spontaanisti emittoiman säteilyn avulla käyttää luonnollisesti yhden valotuksen sijaan myös kahta tai useampaa peräkkäistä valotusta. Esim. kuvan 6 tilanteessa yhdellä tietyn mittaisella valotuksella viirumaisina (esim. T1 kuvassa 6) ilmaisimen kuva-alalle DA piirtyvät kohteet kuvautuisivat tällöin kukin kahtena tai useampana peräkkäisenä pisteenä. Yhden tuollaisen mainitun kohteen synnyttämiä eri suodatinalueille osuneita pisteitä voidaan käyttää keksinnön mukaisesti em. viirun sijaan spektroskooppisten mittausten toteuttamisessa.
- Käytettäessä kolmesta tai useammasta yksittäisestä (lyhyestä) peräkkäisestä efektiivisestä valotuksesta (valaisupulssin ja/tai ilmaisimen suljinajan määrittämä) muodostettuja valotussekvenssejä, ja säätämällä mainitun sekvenssin sisällä yksi tai useampia valotusten välejä muihin

väleihin nähden erisuuriksi, on mahdollista päätellä kohteen/kohteiden liikkeen/virtauksen suunta. Neljästä tai useammasta yksittäisestä peräkkäisestä efektiivisestä valotuksesta muodostettuja valotussekvenssejä käyttäen voidaan määritellä myös kohteen/kohteiden liikkeen/virtauksen liikenopeuden muutosnopeus, ts. kiihtyvyyys tai hidastuvuus.

Keksinnön mukaisesti toteutettavia prosessin eri parametrien kuvantavia mittauksia on mahdollista toteuttaa olennaisesti reaaliaikaisina tällä hetkellä jo kaupallisesti saatavilla olevia matriisi-ilmaisin/kamera- ja tietokonelaitteistoja hyväksikäyttäen. Käsittelemällä esimerkiksi nopeudella 25 kuvaa/sekunnissa otettuja kuvia jatkuvana käsittelyprosessina tehokkaan tietokoneen ja kuvankäsittelyalgoritmien avulla, voidaan näin määritettyjä parametrejä käyttää tutkittavan prosessin reaaliaikaisessa valvonnassa ja säädössä. Sellaisissa prosesseissa, kuten esimerkiksi tiettyjen rakenteen sisäpuolisten kohteiden terminen ruiskutuspinnoitus, joiden mittaaminen varsinaisen prosessin toiminnon aikana on vaikeaa tai mahdotonta, voidaan kuvantavalla mittauksella varmistaa nopeasti prosessilaitteen, esimerkiksi juuri ruiskutuspinnoituslaitteen toiminta välittömästi ennen ja jälkeen varsinaisen prosessi-toiminnon. Mikäli tällöin mitattujen parametrien avulla havaitaan esimerkiksi em. ruiskutuslaitteen toiminnassa tapahtunut muutos, voidaan prosessin varsinainen toiminta tarvittaessa keskeyttää ruiskutuslaitteen säätöjä ja/tai korjauksia varten.

On tietenkin myös selvää, että aikaansaamalla sopivalla ulkoisella tavalla mitattavan kohteen ja keksinnön mukaisen mittalaitteen välinen keskinäinen liike, voidaan myös sellaisten kohteiden, jotka eivät luonnostaan sisällä liikkuvaa tai virtaavaa kohdetta, mittauksia suorittaa keksinnön mukaisesti. Tälläisiä menetelmiä voivat olla esimerkiksi itse kuvantavan mittalaitteen liikuttaminen tai pyörittäminen, tai vastaavasti esimerkiksi kuvan välittäminen kohteesta pyörivän tai värähtelevän heijastavan optiikan kautta

Tietyissä tilanteissa on myös mahdollista, että tietyn spektroskooppisen mittauksen suorittamiseksi riittää ainoastaan yhdenkin ilmaisimen kuva-alalle lisätyn suodatinalueen käyttö. Tällöin ilmaisimen ns. suodattamaton kuva-alaa ja sen spektrivastetta käytetään yhtenä laajana mitta-

usaallonpituuskaistana, ja suodatinalueella on käytävissä toinen tarkemmin rajoitettu, mutta spektrisesti edellisen sisälle jäävä kapeampi mittausaallonpituuskaista. Tämä ratkaisu on kuitenkin keksinnön mukaiseen ratkaisuun nähden vähemmän edullinen johtuen ilmeisistä ja rajallisista mahdollisuuksista ko. spektrikaistojen valinnassa.

Patenttivaatimukset :

1. Menetelmä kuvantavan, spektrierotteluun perustuvan spektroskooppisen mittauksen suorittamiseksi liikkuvasta tai virtaavasta kohteesta (T), jossa mainitusta kohteesta saatavaa sähkömagneettista säteilyä fokusoidaan kuvantavan optiikan (L1;L2,L3) avulla kuvan muodostamiseksi 2-dimensioisen matriisi-ilmaisimen kuvatasoon (D) ainakin ensimmäisen ja toisen, toisistaan poikkeavalla tavalla sähkömagneettista säteilyä välittävän suodattimen (F1,F2) kautta, **tunnettu** siitä, että
- 5 — mainituilla ainakin ensimmäisellä ja toisella suodattimella (F1,F2) muodostetaan ilmaisimen kuvatasoon (D) ilmaisimen valoherkän alueen (DA) yhdessä osittain ja vain osittain peittävät ainakin ensimmäinen ja toinen suodatinalue (FR1,FR2), jolloin
- kohteen (T) ominaisuuksia määritetään spektroskooppisesti vertailemalla ja/tai kombinoimalla olennaisesti peräkkäisiltä ajanhetkiltä peräisin olevaa spektrieroteltua informaatiota, joka taltioidaan kohteen jotakin tiettyä osaa vastaavan, ilmaisimen kuvatasolle (D;DA) ilman säteenjakoa fokusoidun kuvapisteen kulkiessa kohteen (T) liikkeen vaikutuksesta olennaisesti mainitun ainakin
- 15 — ensimmäisen ja toisen suodatinalueen (FR1,FR2) kautta, ja että
- mainittujen ainakin ensimmäinen ja toinen suodatinalueen (FR1,FR2) ulkopuolelle jäävää ilmaisimen kuvatason (D;DA) alaa käytetään lisäksi ainakin yhteen muuhun kuvantavaan ei-spektroskooppiseen mittaukseen ja/tai kohteen visualisointiin.
- 25
2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että mainitut ainakin ensimmäinen ja toinen suodatin (F1,F2) sijoitetaan lähelle ilmaisimen kuvatasoa (D), kohteesta (T) saatavan sähkömagneettisen säteilyn tulosuunnassa kuvatason (D) eteen keskenään olennaisesti samaan, ja kuvatason (D) kanssa olennaisesti samansuuntaiseen tasoon rinnakkain.
- 30
3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että mainitut ainakin ensimmäinen ja toinen suodatin (F1,F2) sijoitetaan keskenään olennaisesti samaan tasoon rinnakkain, ja kohteesta (T) saatavan sähkömagneettisen säteilyn fokusoimisessa käytettävän optiikan (L2, L3) välifokukseen.
- 35

4. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että mainitut ainakin ensimmäinen ja toinen suodatinalue (FR1,FR2) sijoitetaan ilmaisimen kuvatasolla (D;DA) keskenään vierekkäin, ei-päällekkäin ja sivusuunnassa toisiaan koskettaen, tai vierekkäin ei-päällekkäin, mutta toisistaan erilleen.

5. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että mainitut ainakin ensimmäinen ja toinen suodatinalue (FR1,FR2) kukin kattaa ilmaisimen (D) yksittäisiin pikseleihin nähden makroskooppisen alueen.

6. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että myös mainittuja ainakin ensimmäistä ja toista suodatinaluetta (FR1,FR2) käytetään kohteen kuvantavaan ei-spektroskooppiseen mittaukseen ja/tai kohteen visualisointiin.

7. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että kuvannettavan kohteen (T) havaitsemiseen käytetty efektiivinen valotusaika valitaan lyhyeksi suhteessa mainitun kohteen liikenoiteen, jolloin mittaustuloksena saadaan mainitun kohteen paikallista ja hetkellistä tilaa kuvaavia mittauservoja.

8. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 1-6 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että kuvannettavan kohteen (T) havaitsemiseen käytetty efektiivinen valotusaika valitaan pitkäksi suhteessa mainitun kohteen liikenoiteen, jolloin mittaustuloksena saadaan mainitun kohteen paikan suhteen sekä ajallisesti summautuneita/integroituneita mittauservoja.

9. Patenttivaatimuksen 7 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että mainittu efektiivinen valotusaika valitaan siten, että kohteen (T) koostuessa taastaansa vasten erottuvista, säteilyä emittoivista ja/tai sirottavista yksittäisistä kohteista, mainittujen yksittäisten kohteiden kuvatasolle (D;DA) synnyttämät kuvat/kuvaviirut erottuvat mainitulla kuvatasolla toisistaan olennaisesti erillisinä.

10. Patenttivaatimuksen 9 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että mittauksessa käytettävää spektroskooppista ja/tai ei-spektroskooppista

menetelmää sovelletaan kullekin yksittäiselle, erillisenä havaitulle kohteelle erikseen.

- 5 11. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että kuvannettavasta kohteesta (T) spektroskooppisesti määritettävä parametri on mainitun kohteen, tai kohteen sisällä yksittäisinä erottuvien pienempien kohteiden pyrometrinen lämpötila.
- 10 12. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että kohteesta kuvantavasti määritetystä parametristä/parametreista määritetään edelleen mainitun parametrin/parametrien hetkellisiä tai kumulatiivisia paikallisia jakaumia ja/tai tilastollisesti määritettäviä tunnuslukuja.
- 15 13. Kvantava mittalaite liikkuvan tai virtaavan kohteen (T) spektrierotteluun perustuvaan spektroskooppiseen mittaamiseen, joka mittalaite käsittää ainakin kuvantavan 2-dimensioisen matriisi-ilmaisimen (D) sekä kuvantavan optiikan (L1;L2,L3) kohteesta (T) saatavan sähkömagneettisen säteilyn fokuoimiseksi mainitun ilmaisimen kuvatasoon (D) mittalaitteeseen kuuluvien ainakin ensimmäisen ja toisen suodattimen (F1,F2) kautta, **tunnettu** siitä, että
- 20 — mainitut ainakin ensimmäinen ja toinen suodatin (F1,F2) on järjestetty muodostamaan ilmaisimen kuvatasoon (D) ilmaisimen valoherkän alueen (DA) yhdessä osittain ja vain osittain peittävät ainakin ensimmäinen ja toinen suodatinalue (FR1, FR2), ja että
- 25 — mittalaite käsittää välineet olennaisesti peräkkäisiltä ajanhetkiltä peräisin olevan spektrierotellun informaation taltioimiseksi kohteen (T) jotakin tiettyä osaa vastaavan, ilmaisimen kuvatasolle (D;DA) ilman säteenjakoa fokusoidun kuvapisteen kulkiessa kohteen (T)
- 30 liikkeen vaikutuksesta olennaisesti, mainitun ainakin ensimmäisen ja toisen suodatinalueen (FR1,FR2) kautta, ja että
- mittalaite käsittää lisäksi välineet mainittujen ainakin ensimmäinen ja toisen suodatinalueen (FR1,FR2) ulkopuolelle jäävän ilmaisimen kuvatason (D;DA) alan käyttämiseksi ainakin yhteen muuhun kuvantavaan ei-spektroskooppiseen mittaukseen ja/tai
- 35 kohteen visualisointiin.

14. Patenttivaatimuksen 13 mukainen kuvantava mittalaite, **tunnettu** siitä, että mainitut ainakin ensimmäinen ja toinen suodatin (F1,F2) on järjestetty lähelle ilmaisimen kuvatasoa (D), kohteesta (T) saatavan sähkömagneettisen säteilyn tulosuunnassa kuvatason (D) eteen
5 keskenään olennaisesti samaan, ja kuvatason (D) kanssa olennaisesti samansuuntaiseen tasoon rinnakkain.

15. Patenttivaatimuksen 13 mukainen kuvantava mittalaite, **tunnettu** siitä, että mainitut ainakin ensimmäinen ja toinen suodatin (F1,F2) on
10 järjestetty keskenään olennaisesti samaan tasoon rinnakkain, ja kohteesta (T) saatavan sähkömagneettisen säteilyn fokuoimisessa käytettävän optiikan (L2, L3) välifokukseen.

16. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 13-15 mukainen kuvantava mittalaite, **tunnettu** siitä, että mainitut ainakin ensimmäinen ja toinen suodatinalue (FR1,FR2) on järjestetty sijaitseviksi ilmaisimen kuvatasolla (D;DA) keskenään vierekkäin, ei-päällekkäin ja sivusuunnassa toisiaan koskettaen, tai vierekkäin ei-päällekkäin, mutta toisistaan erillään.
20

17. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 13-16 mukainen kuvantava mittalaite, **tunnettu** siitä, että mainitut ainakin ensimmäinen ja toinen suodatinalue (FR1,FR2) on järjestetty kukin kattamaan ilmaisimen (D) yksittäisiin pikseleihin nähden makroskooppinen alue.
25

18. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 13-17 mukainen kuvantava mittalaite, **tunnettu** siitä, että mainitut ainakin ensimmäinen ja toinen suodatin (F1,F2) ovat suodattimia, jotka on valmistettu pinnoittamalla ilmaisimen (D) toiminta-aallonpituusalueella olennaisesti läpinäkyvän tasomaisen substraattimateriaalin etu- ja/tai takapinnoille
30 säteilyä heijastava, absorpoiva/vaimentava yksi- tai monikerroksinen pinnoite/pinnoitteita.

19. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 13-17 mukainen kuvantava mittalaite, **tunnettu** siitä, että mainitut ainakin ensimmäinen ja toinen suodatin (F1,F2) ovat värilasisuodattimia.
35

20. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 13-19 mukainen kuvantava mittalaite, **tunnettu** siitä, että matriisi-ilmaisimien (D,C) on CCD-matriisikamera, GaAs-matriisikamera tai CMOS-kamera.

5 21. Luonteeltaan liikkuvasta tai virtaavasta kohteesta (T) 2-dimensioiselle matriisi-ilmaisimelle (D) kuvantavan optiikan (L1;L2,L3) ja ainakin ensimmäisen ja toisen, toisistaan poikkeavalla tavalla sähkömagneettista säteilyä välittävän suodattimen (F1,F2) kautta saadun spektriero-

10 tellusti ja kuvantavasti mitatun informaation käyttö prosessin valvonnassa ja/tai säädössä, **tunnettu** siitä, että kohteen (T), ja/tai mainitussa kohteessa sen sisällä yksittäisinä erottuvien pienempien kohteiden ominaisuuksia määritetään kuvantavasti ja spektroskooppisesti vertailemalla ja/tai kombinoimalla keskenään olennaisesti peräkkäisiltä ajanhetkiltä peräisin olevia signaaleita, jotka taltioidaan

15 kohteen/kohteiden (T) jotakin tiettyä osaa vastaavan, ilmaisimen kuvatasolle (D) ilman säteenjakoa fokusoidun kuvapisteen kulkiessa mainitun kohteen/kohteiden liikkeen vaikutuksesta olennaisesti ilmaisimen kuvatasolle (D) suodattimien (F1,F2) avulla muodostettujen ainakin ensimmäisen ja toisen, mainitun kuvatasoalueen (DA)

20 yhdessä osittain ja vain osittain peittävien suodatinalueiden (FR1,FR2) kautta, ja että mainittujen ainakin ensimmäisen ja toisen suodatinalueiden (FR1,FR2) ulkopuolelle jäävää kuvatasoalueen (DA) alaa käytetään ainakin yhteen muuhun kuvantavaan ei-spektroskooppiseen mittaukseen ja/tai kohteen visualisointiin.

25

22. Patenttivaatimuksen 21 mukainen käyttö, **tunnettu** siitä, että myös mainittuja ainakin ensimmäistä ja toista suodatinaluetta (FR1,FR2) käytetään kohteen kuvantavaan ei-spektroskooppiseen mittaukseen ja/tai kohteen visualisointiin.

30

23. Edellä esitettyjen patenttivaatimusten 21 tai 22 mukainen käyttö, **tunnettu** siitä, että kuvantamisessa käytettävä efektiivinen valotusaika säädetään suhteessa kohteen (T) liikenopeuteen lyhyeksi siten, että mittauksessa tallennetaan mainitun kohteen hetkellisiä ja paikallisia

35 mittausarvoja ja/tai erotetaan kohteessa yksittäisinä kuva-ala (ROI) sisällä esiintyviä pienempiä kohteita toisistaan erillisinä.

24. Edellä esitettyjen patenttivaatimusten 21 tai 22 mukainen käyttö, **tunnettu** siitä, että kuvantamisessa käytettävä efektiivinen valotusaika säädetään suhteessa kohteen (T) liikenopeuteen pitkäksi siten, että tallennetaan kohteen paikan ja ajan suhteen summautuneita/integroituneita mittausrvoja.

25. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 21-24 mukainen käyttö, **tunnettu** siitä, että spektrierotellun kuvantavan informaation avulla määritetään spektroskooppisesti kohteen/kohteiden pyrometrinen lämpötila.

26. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 21-25 mukainen käyttö, **tunnettu** siitä, että määritetään kohteen/kohteiden liikenopeutta kuvantavasti lentoaika-periaatteen mukaisesti käyttäen joko yksittäistä lyhyttä efektiivistä valotusaikaa, tai useampia peräkkäisiä lyhyitä efektiivisiä valotusaikoja.

27. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 21-26 mukainen käyttö, **tunnettu** siitä, että määritetään lyhyttä efektiivistä valotusaikaa käyttäen kuvantavasti kuvassa havaittujen yksittäisten kohteiden lukumäärää.

28. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 21-27 mukainen käyttö, **tunnettu** siitä, että kohteesta/kohteista kuvantavasti määritetystä parametrinä/parametreistä määritetään edelleen mainitun parametrin/parametrien hetkellisiä tai kumulatiivisia paikallisia jakaumia ja/tai tilastollisesti määritettäviä tunnuslukuja.

29. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 21-28 mukainen käyttö, **tunnettu** siitä, että prosessi on terminen ruiskutuspinnoitusprosessi.

Patentkrav:

1. Förfarande för att utföra en bildformande, på spektral sortering base-
rad spektroskopisk mätning av ett rörande eller strömmande föremål
5 (T), varvid elektromagnetisk strålning som erhålls från sagda föremål
fokuseras medelst bildformande optik (L1; L2, L3) för att bilda en bild
på ett bildplan (D) av en 2-dimensionell matrisdetektor genom åtmin-
stone ett första och ett andra, på ett från varandra avvikande sätt elek-
tromagnetisk strålning förmedlande filter (F1, F2), **kännetecknat** av
10 att
- med sagda åtminstone första och andra filter (F1, F2) bildas på
detektorns bildplan (D) åtminstone ett första och ett andra filter-
område (FR1, FR2) som täcker detektorns fotosensibla område
(DA) tillsammans delvis och enbart delvis, varvid
 - 15 — föremålets (T) egenskaper bestäms spektroskopiskt genom att
jämföra och/eller kombinera spektralt sorterad information från
väsentligen efter varandra följande tidpunkter, vilken information
lagras medan en bildpunkt som motsvarar en bestämd del av
föremålet och som är fokuserad på detektorns bildplan (D; DA)
20 utan stråldelning går under påverkan av föremålets (T) rörelse
väsentligen via sagda åtminstone första och andra filterområden
(FR1, FR2), och att
 - området på detektorns bildplan (D; DA) som blir utanför sagda åt-
minstone första och andra filterområden (FR1, FR2) används
25 ytterligare till åtminstone en annan bildformande icke-spektrosko-
pisk mätning och/eller visualisering av föremålet.
2. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att sagda åtmin-
stone första och andra filter (F1, F2) placeras nära detektorns bildplan
30 (D), i infallsriktningen av elektromagnetisk strålning från föremålet (T)
framför bildplanet (D) i väsentligen samma plan med varandra, och
bredvid varandra i ett plan som är väsentligen parallellt med bildplanet
(D).
- 35 3. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att sagda åtmin-
stone första och andra filter (F1, F2) placeras bredvid varandra i
väsentligen samma plan, och i mellanfokusen av optik (L2, L3) som

används för fokusering av elektromagnetisk strålning från föremålet (T).

- 5 4. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att sagda åtminstone första och andra filterområden (FR1, FR2) placeras på detektorns bildplan (D; DA) bredvid varandra, inte ovanpå varandra, och sida vid sida, eller bredvid varandra, inte ovanpå varandra men skilt från varandra.
- 10 5. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att sagda åtminstone första och andra filterområden (FR1, FR2) var täcker ett makroskopiskt område relativt detektorns (D) enskilda bildpunkter.
- 15 6. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att även sagda åtminstone första och andra filterområden (FR1, FR2) används för bildformande icke-spektroskopisk mätning av föremålet och/eller för visualisering av föremålet.
- 20 7. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att den effektiva exponeringstiden som använts för att upptäcka föremålet (T) som skall bildformas, väljs kort relativt rörelse-hastigheten av sagda föremål, varvid som mätningsresultat erhålls mätvärden som beskriver det lokala och momentana tillståndet av
25 sagda föremål.
- 30 8. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven 1–6, **kännetecknat** av att den effektiva exponeringstiden som använts för att upptäcka föremålet (T) som skall bildformas, väljs lång relativt rörelse-hastigheten av sagda föremål, varvid som mätningsresultat erhålls relativt sagda föremåls position samt tidsmässigt summerade/integrerade mätvärden.
- 35 9. Förfarande enligt patentkrav 7, **kännetecknat** av att sagda effektiva exponeringstid väljs så, att när föremålet (T) består av mot sin bakgrund framträdande, strålning emitterande och/eller spridande enskilda föremål, skiljer sig bilder/bildstreck som formats av sagda

enskilda föremål på bildplanet (D; DA) väsentligen skilda från varandra på sagda bildplan.

- 5 10. Förfarande enligt patentkrav 9, **kännetecknat** av att det spektroskopiska och/eller icke-spektroskopiska förfarandet som används vid mätningen tillämpas separat för varje enskilda föremål som upptäckts separat.
- 10 11. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att parametern som skall bestämmas spektroskopiskt för föremålet (T) som skall bildformas, är den pyrometriska temperaturen av sagda föremål eller mindre föremål som skiljer sig separat inom föremålet.
- 15 12. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att från parametern/parametrarna som bestämts av föremålet på ett bildformande sätt bestämts vidare momentana eller kumulativa lokala fördelningar och/eller statistiskt bestämbara nyckeltal av sagda parameter/parametrar.
- 20 13. Avbildande mätanordning för att utföra en på spektral sortering baserad spektroskopisk mätning av ett rörande eller strömmande föremål (T), vilken mätanordning omfattar åtminstone en bildformande 2-dimensionell matrisdetektor (D) samt en bildformande optik (L1; L2, 25 L3) för att fokusera elektromagnetisk strålning från föremålet (T) på ett bildplan (D) av sagda detektor genom åtminstone ett första och ett andra filter (F1, F2) som hör till mätanordningen, **kännetecknad** av att — sagda åtminstone första och andra filter (F1, F2) är anordnade att bilda på detektorns bildplan (D) åtminstone ett första och ett andra filterområde (FR1, FR2) som täcker detektorns fotosensibla område (DA) tillsammans delvis och enbart delvis, och att 30 — mätanordningen omfattar medel för att lagra spektralt sorterad information från väsentligen efter varandra följande tidpunkter medan en bildpunkt som motsvarar en bestämd del av föremålet (T) och som är fokuserad på detektorns bildplan (D; DA) utan stråldelning går under påverkan av föremålets (T) rörelse 35

- väsentligen via sagda åtminstone första och andra filterområden (FR1, FR2), och att
- mätanordningen omfattar vidare medel för att använda området på detektorns bildplan (D; DA) som blir utanför sagda åtminstone första och andra filterområden (FR1, FR2) till åtminstone en annan bildformande icke-spektroskopisk mätning och/eller visualisering av föremålet.
14. Bildformande mätanordning enligt patentkrav 13, **kännetecknad** av att sagda åtminstone första och andra filter (F1, F2) är anordnade att placeras nära detektorns bildplan (D), i infallsriktningen av elektromagnetisk strålning från föremålet (T) framför bildplanet (D) i väsentligen samma plan med varandra, och bredvid varandra i ett plan som är väsentligen parallellt med bildplanet (D).
15. Bildformande mätanordning enligt patentkrav 13, **kännetecknad** av att sagda åtminstone första och andra filter (F1, F2) är anordnade att placeras bredvid varandra i väsentligen samma plan, och i mellanfokusen av optik (L2, L3) som används för fokusering av elektromagnetisk strålning från föremålet (T).
16. Bildformande mätanordning enligt något av de föregående patentkraven 13–15, **kännetecknad** av att sagda åtminstone första och andra filterområden (FR1, FR2) är anordnade att placeras på detektorns bildplan (D; DA) bredvid varandra, inte ovanpå varandra, och sida vid sida, eller bredvid varandra, inte ovanpå varandra men skilt från varandra.
17. Bildformande mätanordning enligt något av de föregående patentkraven 13–16, **kännetecknad** av att sagda åtminstone första och andra filterområden (FR1, FR2) är var anordnade att täcka ett makroskopiskt område relativt detektorns (D) enskilda bildpunkter.
18. Bildformande mätanordning enligt något av de föregående patentkraven 13–17, **kännetecknad** av att sagda åtminstone första och andra filter (F1, F2) är filter, vilka är tillverkade genom att belägga ett på detektorns (D) verksamhetsväglängdsområde väsentligen genom-

skinligt plant substratmaterial på dess främre och/eller bakre yta med en ljusreflekterande, absorberande/dämpande ytbeläggning/ytbeläggningar med ett eller flera skikt.

- 5 19. Bildformande mätanordning enligt något av de föregående patentkraven 13–17, **kännetecknad** av att sagda åtminstone första och andra filter (F1, F2) är färgglasfilter.
- 10 20. Bildformande mätanordning enligt något av de föregående patentkraven 13–19, **kännetecknad** av att matrisdetektorn (D, C) är en CCD-matriskamera, en GaAs-matriskamera eller en CMOS-kamera.
- 15 21. Användning av på ett spektralt skilt och bildformande sätt mätt information, som erhållits av ett rörande eller strömmande föremål (T) på en 2-dimensionell matrisdetektor (D) genom en bildformande optik (L1; L2, L3) och åtminstone ett första och ett andra filter (F1, F2) som förmedlar elektromagnetisk strålning på ett från varandra avvikande sätt, vid bevakning och/eller kontroll av en process, **kännetecknad** av att egenskaper av föremålet (T) och/eller inom sagda föremål särskilt framträdande mindre föremål bestäms på ett bildformande och spektroskopiskt sätt genom att jämföra och/eller kombinera med varandra signaler från väsentligen efter varandra följande tidpunkter, vilka signaler lagras medan en bildpunkt som motsvarar en bestämd del av föremålet/föremålen (T) och som är fokuserad på detektorns bildplan (D) utan stråldelning går under påverkan av föremålets/föremålens rörelse väsentligen via åtminstone första och andra filterområden (FR1, FR2) vilka är bildade väsentligen på detektorns bildplan (D) med hjälp av filter (F1, F2) och vilka täcker det fotosensible området (DA) av sagda bildplan tillsammans delvis och enbart delvis, och att området på detektorns bildplan (DA) som blir utanför sagda åtminstone första och andra filterområden (FR1, FR2) används ytterligare till åtminstone en annan bildformande icke-spektroskopisk mätning och/eller visualisering av föremålet.
- 20
- 25
- 30
- 35 22. Användning enligt patentkrav 21, **kännetecknad** av att även sagda åtminstone första och andra filterområden (FR1, FR2) används

för bildformande icke-spektroskopisk mätning av föremålet och/eller för visualisering av föremålet.

- 5 23. Användning enligt föregående patentkrav 21 eller 22, **kännetecknad** av att den vid bildformningen använda effektiva exponeringstiden justeras kort relativt föremålets (T) rörelsehastighet så, att vid mätningen lagras momentana och lokala mätvärden av sagda föremål och/eller skiljs i föremålet särskilda på bildområdet (ROI) förekommande mindre föremål separat från varandra.
- 10
24. Användning enligt föregående patentkrav 21 eller 22, **kännetecknad** av att den vid bildformningen använda effektiva exponeringstiden justeras lång relativt föremålets (T) rörelsehastighet genom att lagra relativt föremålets position och tiden summerade/integrerade mätvärden.
- 15
25. Användning enligt något av de föregående patentkraven 21–24, **kännetecknad** av att med hjälp av den spektralt skilda bildformande informationen bestäms spektroskopiskt föremålets/föremålens pyrometriska temperatur.
- 20
26. Användning enligt något av de föregående patentkraven 21–25, **kännetecknad** av att föremålets/föremålens rörelsehastighet bestäms på ett beskrivande sätt enligt flygtidprincipen genom att använda antingen en enskild kort effektiv exponeringstid eller flera efter varandra följande korta effektiva exponeringstider.
- 25
27. Användning enligt något av de föregående patentkraven 21–26, **kännetecknad** av att genom att använda en kort effektiv exponeringstid bestäms på ett beskrivande sätt antalet enskilda föremål som upptäckts i bilden.
- 30
28. Användning enligt något av de föregående patentkraven 21–27, **kännetecknad** av att från parametern/parametrarna som bestämts av föremålet/föremålen på ett bildformande sätt bestämts vidare momentana eller kumulativa lokala fördelningar och/eller statistiskt bestämbara nyckeltal av sagda parameter/parametrar.
- 35

29. Användning enligt något av de föregående patentkraven 21–28, **kännetecknad** av att processen är en termisk sprutbeläggningsprocess.

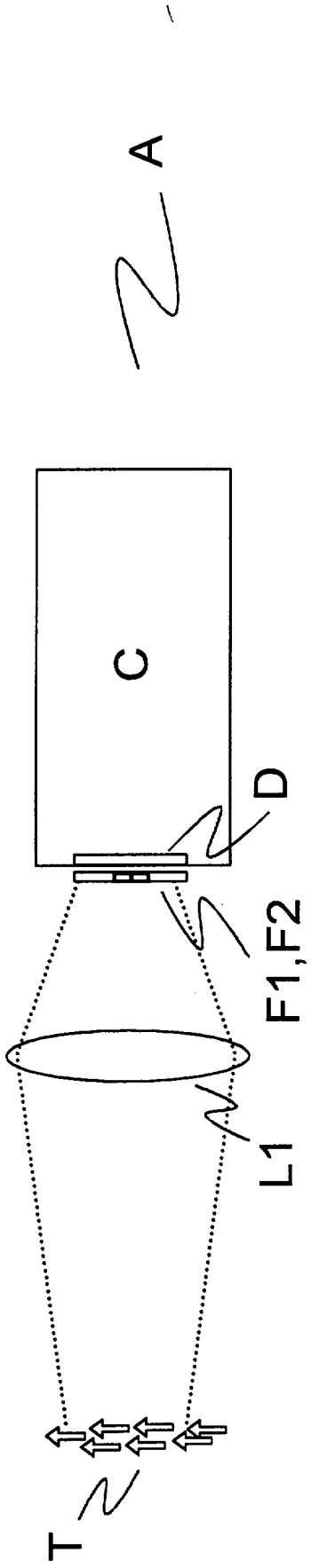


Fig. 1

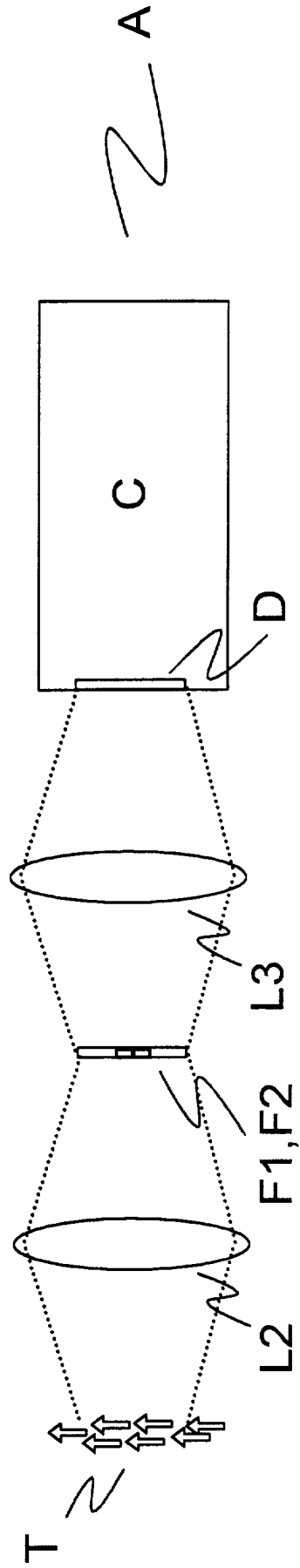


Fig. 2

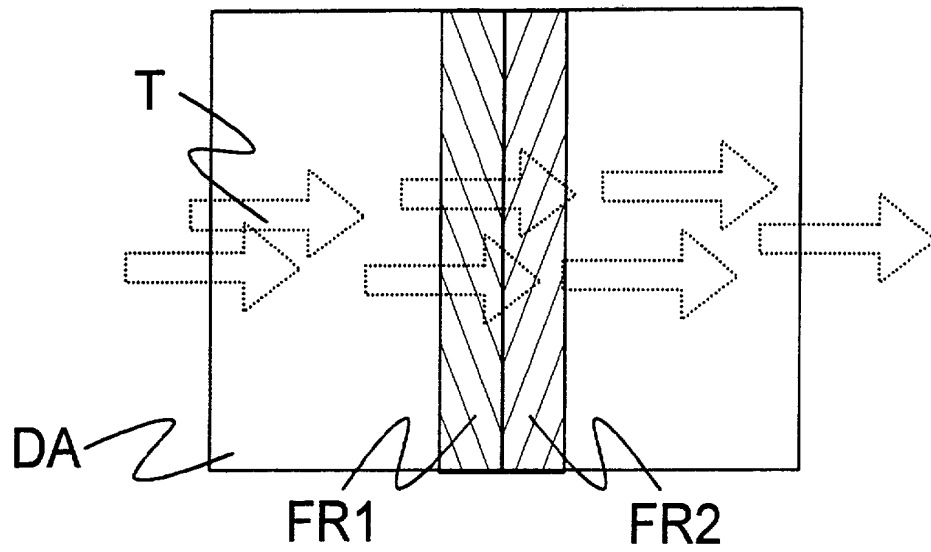


Fig. 3

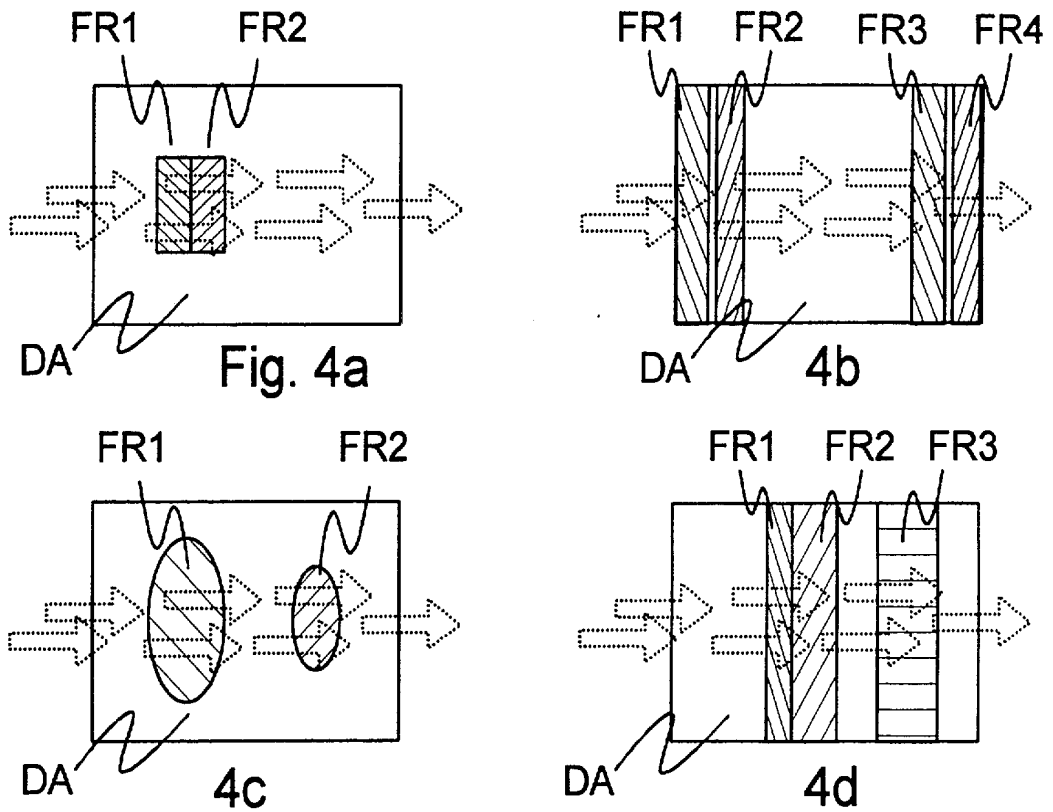


Fig. 4

Fig. 5

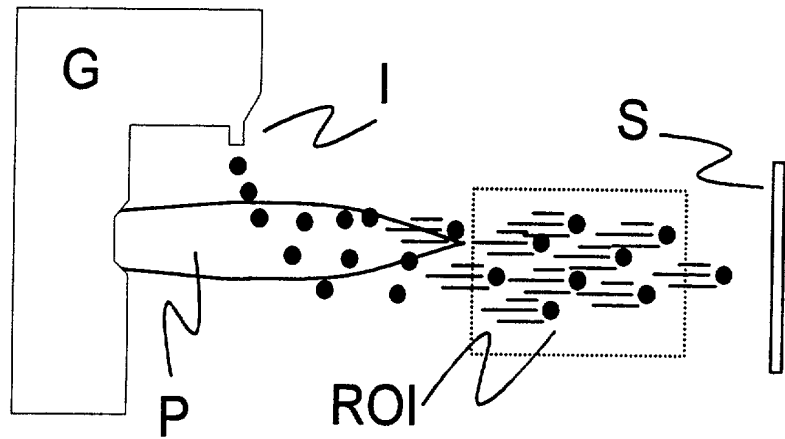


Fig. 6

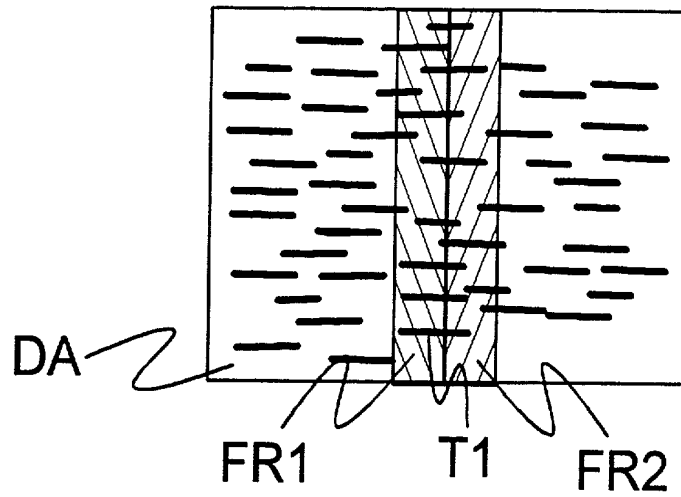


Fig. 7

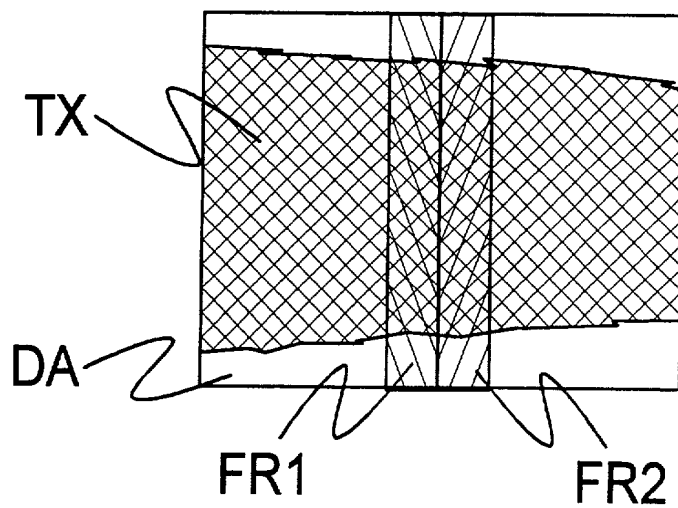


Fig. 8

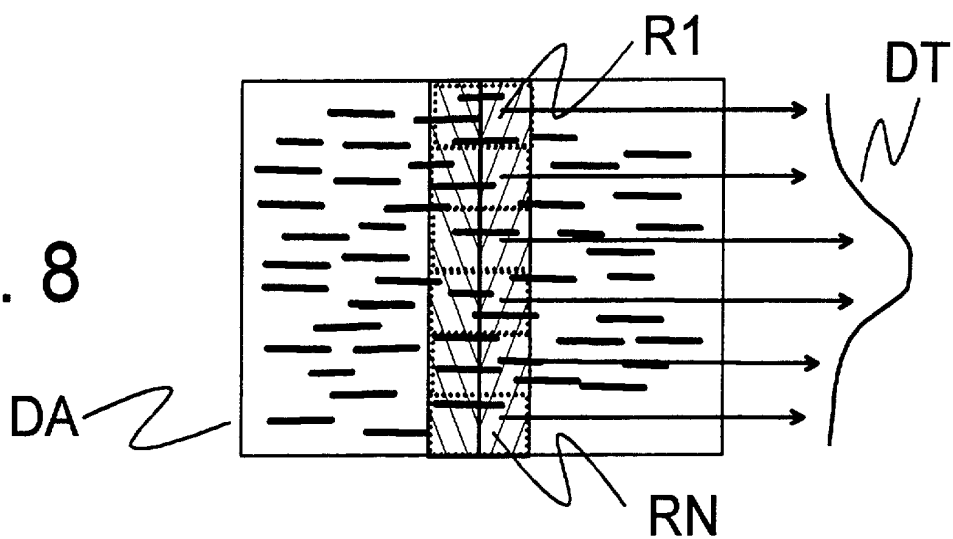


Fig. 9

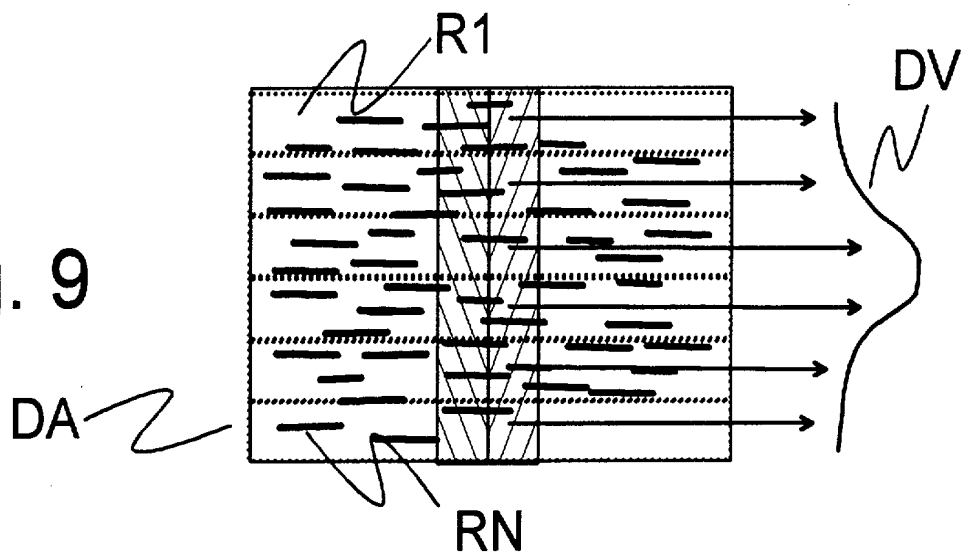


Fig. 10

