(12) **PATENTTIJULKAISU**
PATENTSKRIFT

FI000116010B

(10) **FI 116010 B**

(45) Patentti myönnetty - Patent beviljats **31.08.2005**

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

H01S 5/40, G02B 27/10, B23K 26/06

(21) Patenttihakemus - Patentansökning **20020968**

(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag **22.05.2002**

(24) Alkupäivä - Löpdag **22.05.2002**

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig **05.02.2004**

SUOMI – FINLAND
(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

(73) Haltija - Innehavare

1 •Cavitar Oy, Jyräänkatu 13, 37600 Valkeakoski, SUOMI - FINLAND, (FI)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1 •Alahautala, Taito, Keskisenkatu 6 L 73, 33710 Tampere, SUOMI - FINLAND, (FI)
2 •Lassila,Erkki, Käsityöläiskuja 2, 37500 Lempäälä, SUOMI - FINLAND, (FI)

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

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

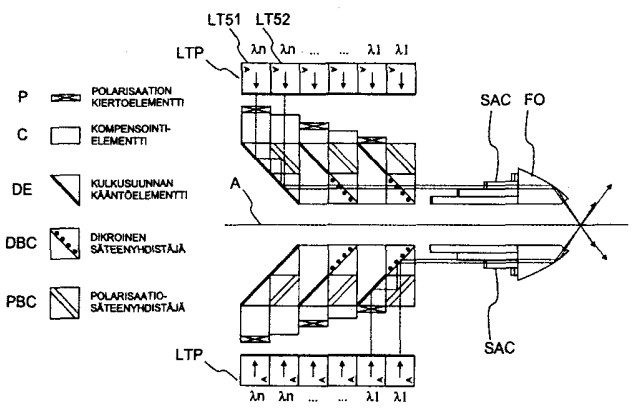
Menetelmä ja laserlaite suuren optisen tehotiheyden tuottamiseksi
Förfarande och laseranordning för att producera en stor optisk effekttäthet

(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

EP 1081819 A, US 6356577 B, US 6377410 B, US 6151342 A

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Keksintö kohdistuu menetelmään ja laserlaitteeseen suuren optisen tehotiheyden tuottamiseksi muodostamalla diodilasereista (E) laserbareja (LB) siten, että yksittäisessä laserbarissa (LB) vierekkäisten diodilaserien (E) slow-akselit (x) sijoittuvat keskenään olennaisesti samaan linjaan ja mainitut diodilaserit (E) emittoivat olennaisesti samaan suuntaan (z), ja mainitun useamman laserbarin (LB) emittoimaa säteilyä kootaan edelleen optisen akselin (A) suuntaiseksi yhdistetyksi ja kirkkaaksi säteeksi. Keksinnön mukaisesti laserbarit (LB) järjestetään sektoreittain optisen akselin (A) suhteen aksiaalisymmetriseen rakenteeseen siten, että eri sektoreista lähtevien säteiden kulkusuuntaa käännetään (DE) mainittujen säteiden yhdistämiseksi. Keksinnön edulliset suoritusmuodot mahdollistavat tehokkaan sektoreittain tapahtuvan laserbarien (LB) säteilyn yhdistämisen paikka-, polarisaatio- ja/tai aallonpituusmultipleksausta käyttäen.



Uppfinningen avser ett förfarande och en laseranordning för att producera en stor optisk effekttäthet genom att bilda laserbar (LB) av diodlasrar (E) så, att i ett enskilt laserbar (LB) slow-axlarna (x) av bredvid varandra belägna diodlasrar (E) placerar sig på väsentligen samma linje och sagda diodlasrar (E) emitterar väsentligen i samma riktning (z), och den från sagda flera laserbar (LB) emitterade strålningen samlas vidare ihop som en kombinerad och lysande stråle i riktningen av en optisk axel (A). Enligt uppfinningen anordnas laserbaren (LB) sektorvis relativt den optiska axeln (A) i en axialsymmetrisk struktur så, att löpriktningen av strålarna från olika sektorer vänds (DE) för att kombinera sagda strålar. Uppfinningens föredragna utföringsformer möjliggör en effektiv kombinering av laserbarens (LB) strålning sektorvis genom att använda orts-, polarisations- och/eller våglängdsmultiplexering.

MENETELMÄ JA LASERLAITE SUUREN OPTISEN TEHOTIHEYDEN TUOTTAMISEKSI

Keksintö kohdistuu patenttivaatimuksen 1 johdanto-osan mukaiseen menetelmään suuren optisen tehotiheyden tuottamiseksi. Keksintö kohdistuu lisäksi em. menetelmän toteuttavaan laserlaitteeseen oheisen patenttivaatimuksen 17 johdanto-osan mukaisesti.

KEKSINNÖN TAUSTAA

Laserlaitteiden avulla tuotettua kirkasta valoa hyödynnetään nykyisin hyvin monenlaisissa prosesseissa. Esimerkkejä tällaisista prosesseista ovat mm. materiaalien merkkaus, pintakäsittely, leikkaus sekä hitsaus. Suurteholaserit soveltuvat mm. metallisten materiaalien käsittelyyn em. tavoilla. Lasereita sovelletaan laajasti myös lääketieteellisiin tarkoituksiin sekä erilaisissa optisissa mittauksissa.

Puolijohteisiin perustuvien diodilaserien kehittyessä ja siten niistä saatavan optisen tehon kasvaessa ja säteenlaadun parantuessa, ovat kompaktien puolijohdelaserien käyttösovellukset laajentuneet voimakkaasti em. sovellusalueille, joissa perinteisesti on sovellettu suurikokoisempia kaasu- ja kidelasereita. Puolijohdelaserlaitteissa suuri optinen kokonaisteho saavutetaan tyypillisesti yhdistämällä useamman yksittäisen laseremitterin lähettämää säteilyä.

Geneerisenä tavoitteena suuren tehotiheyden puolijohdelaserlaitteilla on tuottaa riittävän suuritehoinen ja kirkas valonsäde, joka voidaan fokusoida halutulla tavalla kohteeseen. Valonlähteen kirkkaus määritellään säteilyä emittoivan pinta-alan tiettyyn avaruuskulmaan lähettämänä valotehona. Yksittäisen valonlähteen kirkkautta ei voida kasvattaa passiivisilla optisilla elementeillä.

Puolijohdelaserien tapauksessa yksittäisen puolijohde-emitterin valoteho on varsin rajoittunut, joten riittävän kokonaisvalotehon aikaansaamiseksi tarvitaan suuri määrä yksittäisiä emittereitä. Valotehon kasvattamisessa käytetään yleisesti useista yksittäisistä vierekkäin järjes-

tetyistä emittereistä koostuvia ns. laserbareja, joita laserbareja voidaan edelleen yhdistää useampia päällekkäin ns. lasertorneiksi. Valonlähteen emitterien lukumäärää näin kasvatettaessa kasvaa kuitenkin samalla väistämättä myös valonlähteen koko. Jotta valonlähteen lähettämän säteilyn tehotiheys kasvaisi, tulee valonlähteen eri kohdista lähtevät säteet koota sopivasti yhteen. Tähän säteiden yhdistämiseen viitataan yleisesti termillä multipleksaus. Puolijohdelaserien yhteydessä käytettäviä erilaisia multipleksausmenetelmiä ovat aallonpituus-, polarisaatio- ja paikkamultipleksaus.

Aallonpituusmultipleksauksessa yhdistetään kahden tai useamman (n kpl) eri aallonpituuden säteet yhdeksi säteeksi sopivia aallonpituusriippuvuuden omaavia säteenyhdistäjiä käyttämällä. Tällaisia optiikasta sinänsä hyvin tunnettuja säteenyhdistäjiä ovat mm. dikroiset peilit, joista tunnettuja esimerkkejä ovat mm. ns. kuuma/kylmä -peilit. Säteenyhdistäjiä käytettäessä niiden avulla yhdistetyn säteen halkaisija voidaan järjestää oleellisesti samaksi kuin kunkin yhdistettävän ja eri aallonpituuden omaavan säteen halkaisija. Tällöin yhdistetyn säteen tehotiheys kasvaa häviöttömässä tilanteessa n-kertaiseksi. Koska valon avaruuskulma voidaan säilyttää alkuperäisenä, myös yhdistetyn säteen kirkkaus kasvaa samassa suhteessa tehotiheyden kanssa.

Polarisaatiomultipleksauksessa yhdistetään kaksi saman aallonpituuden omaavaa sädettä yhdeksi säteeksi polarisaatiosäteenyhdistäjän avulla. Tarvittaessa toisen osasäteen polarisaatiotasoa voidaan kiertää esimerkiksi 90° $\lambda/2$ –levyllä. Koska yhdistetyn säteen halkaisija on oleellisesti sama kuin yhdistettävien osasäteiden halkaisijat, voi tehotiheys tässä tapauksessa kasvaa käytännössä lähes kaksinkertaiseksi. Koska valon avaruuskulma ei muutu, myös kirkkaus kasvaa lähes kaksinkertaiseksi.

Paikkamultipleksauksessa eri valonlähteistä lähteneet säteet kootaan yhteen samaan avaruuden osaan. Paikkamultipleksauksen tavoitteena on säilyttää alkuperäisen valonlähteen kirkkaus mahdollisimman hyvin. Tehotiheyttä saadaan kasvatettua, mutta koska valon avaruuskulma

kasvaa samassa suhteessa, ei kirkkautta voida pelkällä paikkamultipleksauksella kasvattaa.

Käytännössä on erittäin vaikeaa suunnitella ja toteuttaa rakenne, jossa voitaisiin yhdistää useiden puolijohdelaserien säteet tehokkaasti ja samanaikaisesti käyttämällä aallonpituus-, polarisaatio- ja paikkamultipleksausta. Tämä johtuu mm. puolijohdelaserien emission astigmaattisuudesta sekä nykyisin yleisesti käytettävien laserbarien leveydestä.

Tyypillisesti nykyisissä leveissä laserbareissa käytettävien yksittäisten emitterien valoa emittoivan pinnan korkeus (jäljempänä y-suunta) on alle 1 μm ja tässä nopeasti divergoivassa suunnassa (fast-akseli, FA) emitteristä lähtevä säde hajaantuu gaussiaanisesti 30–40° kulmassa (FWHM). Yksittäisten emitterien valoa emittoivan pinnan leveys (jäljempänä x-suunta) on tyypillisesti luokkaa 100 μm ja tässä hitaasti divergoivassa suunnassa (slow-akseli, SA) lähtevä säde hajaantuu alle 10° kulmassa (FWHM). Laserbariksi koottujen vierekkäisten emitterien välissä on aina valoa emittoimatonta ei-aktiivista "tyhjää" tilaa. Tyypillisesti luokkaa 10 mm leveästä laserbarista, joka sisältää 20-40 vierekkäistä emitteriä, saadaan 20–50 W jatkuvaa valotehoa. Laserbarin pituuteen suhteutettuna valoteho on tällöin 2–5 W/mm. Pulssitoiminnassa hetkellinen vastaava teho voi olla yli 10 W/mm.

Patentissa US 5,825,551 on esitetty yksinkertainen kahteen tasopeiliin perustuva paikkamultipleksausmenetelmä. Ratkaisussa emitterien slow-akseli ohjataan vinosti kahden lasilevyn väliin, johon yhdistettävät valonsäteet jäävät siten loukkuun ja jossa ne heijastuen etenevät kohti lasilevyjen ulostulopäätyä. Säteet poistuvat lasilevyjen välisestä peiliraosta alkuperäistä kapeampana. Rakenne on yksinkertainen, mutta valotehosta menetetään heijastushäviöinä. Lisäksi esitetyllä menetelmällä on hankala toteuttaa samanaikaisesti eri multipleksausmenetelmiä, joten suurin saavutettava tehotiheys on rajoittunut.

Useissa patenteissa ehdotetaan erityyppisten aaltojohteiden käyttämistä laserbarien (US 4,820,010) tai emitterien (US 6,312,166) säteiden yhdistämiseksi. Aaltojohteisiin perustuvat ratkaisut poistavat emit-

terien ja/tai laserbarien välistä valoa emittoimatonta tyhjää tilaa ja niiden avulla valo on edelleen helppo siirtää valokuituihin. Käytännössä aaltojohteet kuitenkin usein heikentävät merkittävästi valonlähteen kirkkautta. Tämä johtuu siitä, että aaltojohteiden ulostulopäädyssä ei päästä korkeaan täyttöasteeseen (engl. fill factor). Aaltojohteiden on valon kytkentäpäädystään oltava riittävän suuria, jotta kaikki valoteho saadaan talteen, mutta usein osa kytkentäpinnasta on tehotonta ja kokonaiskirkkaus huononee. Lisäksi asentamisen tarkkuus voi olla kriittinen tekijä säteenlaadulle. Polarisaatio- ja aallonpituusmultipleksaus eivät myöskään ole suoraan yhdistettävissä aaltojohteiden käyttöön.

Laserin kirkkauden säilyttäminen slow-akselin suunnassa on ehkä yleisin kirkkaiden diodilaserien säteiden yhdistämiseen liittyvä ongelma, johon on esitetty ratkaisuja useissa patenttijulkaisuissa. Ongelma voidaan ratkaista yksinkertaisesti siten, että emitterit prosessoidaan laserkiekolle (engl. wafer) riittävän kauas toisistaan. Tällöin yksittäisten emitterien eteen voidaan sijoittaa kunkin emitterin kokoon nähden riittävän suuri slow-akselin kollimointioptiikka (US 5,793,783). Tällaiset ratkaisut eivät kuitenkaan ole käytännössä edullisia, sillä laserkiekko tulee huonosti hyödynnettyä, koska suurin osa kiekosta on emitterien välistä tyhjää tilaa.

Lukuisat ratkaisut pyrkivät kaventamaan valokenttää slow-akselin suunnassa optisin menetelmin ja samalla mahdollisesti poistamaan emitterien välistä tyhjää tilaa. Yleisesti voidaan todeta, että slow-akselin kaventaminen tapahtuu valonlähteen kuvan korkeutta kasvattamalla, mistä seuraa väistämättä se, että laserbarien välinen fyysinen etäisyys kasvaa niitä päällekkäin pinoamalla yhdistettäessä. Lisäksi kaventamis- ja pinoamisoptiikoiden vaatima fyysinen tila tekee erilaisten multipleksausmenetelmien yhdistämisen vaikeammaksi. Tunnettujen kaventamisoptiikoiden pääpiirteitä on seuraavassa tarkasteltu lähemmin.

Patentissa US 5,784,203 suoritetaan slow-akselin kaventaminen linssioptiikan ja yhdensuuntaissiirtymän avulla lasilevyistä pinottua tornia hyödyntämällä. Tornin lasilevyjen tasot ovat yhdensuuntaiset, mutta

lasilevyjä on kierretty sopivasti toisiinsa nähden niin, että rakenne muistuttaa viuhkaa. Leveästä laserbarista tuleva valonsäde jaetaan slow-akselin suunnassa osasäteisiin, jotka poikkeutetaan fast-akselin suunnassa, jolloin eri emittereistä lähtenyt valo osuu lasilevytornissa eri kerroksiin. Viuhkamaisesti ladotuissa lasilevyissä tapahtuu yhdensuuntaissiirtymiä, joiden ansiosta eri emittereistä tulevat säteet saadaan slow-akselin suunnassa päällekkäin. Valo etenee lasilevytornissa kokonaisheijastusten avulla, joten levyjen väleissä ja/tai pinnoilla täytyy olla alhaisemman taitekertoimen väliainetta kuin itse levy. Slow-akselin divergoimisesta johtuen eri lasilevyille tarkoitettu valo menee osittain sekaisin ja tämä osuus menetetään. Menetelmässä tarvitaan useita sylinterilinssejä, pallolinssejä ja lasilevyjä, mikä tekee rakenteen kookkaaksi ja eri multipleksausmenetelmien samanaikaisen hyödyntämisen hankalaksi. Kaventaminen ja pinoaminen voidaan tehdä myös kahden lasilevyistä pinotun tornin avulla (US 5,805,784 ja US 5,986,794). Myös tässä ratkaisussa laserbarit jäävät kauaksi toisistaan ja menetelmä soveltuukin parhaiten valotehon kuituunkytkemiseen yksittäisistä laserbareista.

Erilaisia mikropeileihin perustuvia kaventamis- ja pinoamisrakenteita on esitetty useita. Tarkoitukseen voidaan käyttää esim. kahta offset-peiliriviä (US 5,887,096) tai puolijohteista puolijohdetekniikalla valmistettua poikkeutuspeilijärjestelmää (US 5,808,323). Monoliittiseen peilitekniikkaan perustuva kaventamisoptiikka, joka myös poistaa emitterien välisen tyhjän tilan, on esitetty patentissa US 5,592,333. Tässä fast-akseli kollimoidaan tyypilliseen tapaan ensimmäisenä. Kustakin emitteristä tai emitteriryhmästä lähtenyt säde heijastuu sen kohdalla olevasta "V":n muotoisen uran molemmista reunoista, jolloin etenemissuunta muuttuu 90° ja osasäteet pinoutuvat päällekkäin uudella tavalla. Tuloksena on alkuperäisen pitkän valonsäteen pilkkoutuminen ja pilkkoutuneiden osasäteiden asettuminen fast-akselin suunnassa päällekkäin, jolloin nämä säteet voidaan kollimoida yhdellä linssillä. Menetelmän mukaisen laitteen rakenne on kuitenkin "L":n muotoinen, mikä vaatii suuren tilan. Tämän seurauksena useiden laserbarien säteiden yhdistäminen ei ole kovin edullista. Usein myös mikropeilien valmistustekniset ongelmat ovat rajoittavia. Peiliheijastukseen perustuvassa optiikassa, mitä edelli-

setkin edustavat, tapahtuu absorptiosta aiheutuvia tehohäviöitä ja peilejä on mahdollisesti jäähdytettävä.

Slow-akselin kaventaminen ja tiivistäminen voidaan toteuttaa porraspeilejä vastaavalla tavalla myös sopivan muotoisilla lasitangoilla (US 5,877,898). Kunkin lasitangon sisäänmenopinta on kohtisuorassa valon tulosuuntaan nähden ja ulostulopinta 45° kulmassa valon tulosuuntaan nähden. Vinosta ulostulopinnasta aiheutuvan kokonaisheijastuksen ansiosta valon kulkusuunta muuttuu 90°. Kokonaisheijastukseen perustuvissa ratkaisuissa tehohäviöt ovat vähäisiä. Pienet lasitangoista integroidut peilirakenteet ovat kuitenkin vaikeasti valmistettavia, eikä laserbareja saada tässäkään ratkaisussa lähelle toisiaan.

Eräs käytännöllinen ratkaisu slow-akselin kaventamiseksi ja kollimoimiseksi perustuu poikkeutusprismoihin (US 5,808,803). Emitterin tai emitteriryhmän säteet poikkeutetaan fast-akselin suunnassa prismojen avulla, jolloin nämä alkuperäistä laserbaria kapeammat säteet voidaan kollimoida tarkemmin omilla sylinterilinsseillään. Tarvittavien kollimointilinssien lukumäärä riippuu siitä, kuinka moneen osaan alkuperäinen laserbar pilkotaan. Rakenne on yksinkertainen, mutta laserbareja ei saada lähekkäin, sillä poikkeutus on tehtävä fast-akselin suunnassa. Jos haluttaisiin kollimoida laserbarin 20 emitteriä erikseen, tarvittaisiin 20-osainen prismarakenne ja edelleen 20-kerroksinen kollimointilinssitorni. Myös kokonaiskirkkaus alenee tarpeettomasti, sillä eri emittereistä lähteneitä säteitä ei aseteta päällekkäin slow-akselin suunnassa.

Emitterien välistä tyhjää tilaa voidaan poistaa myös ennen säteiden yhdistämistä, kuten on tehty porraspeilirakenteeseen perustuvassa patentissa US 6,240,116.

Yhteenvetona edellä esitetyistä tekniikan tason ratkaisuista voidaan todeta, että niissä pyritään ratkaisemaan emitterien slow-akselin hallintaan liittyvän optiikan ongelmia, jotka aiheutuvat pitkälti nykyisin käytössä olevien leveiden laserbarien ominaisuuksista. Slow-akselin käsittelyn helpottamiseksi esitettyjen ratkaisujen hintana on kuitenkin rakenteiden monimutkaistuminen ja teknisten toteutusten fyysisen koon

kasvaminen, mikä puolestaan vaikeuttaa eri multipleksausmenetelmien samanaikaista käyttöä ja aiheuttaa näin rajoituksia kirkkaudelle ja tehotiheydelle.

KEKSINNÖN LYHYT KUVAUS

Nyt käsillä olevan keksinnön pääasiallisena tarkoituksena on esittää uudenlainen kokonaisvaltainen ratkaisu tilanteeseen, jossa suuri optinen tehotiheys tuotetaan yhdistämällä useiden puolijohdelaserien emittoimaa säteilyä yhteen.

Tässä hakemuksessa esiteltävä menetelmä ja laserlaite perustuu keskeisesti ensinnäkin tekniikan tasoa slow-akselin suunnassa lyhyempien ns. kapeiden laserbarien käyttöön, sekä toiseksi erityisen aksiaalisymmetrisen rakenteen hyödyntämiseen koottaessa eri sektoreihin järjestettyjen laserbarien säteilyä yhteen.

Keksinnön mukaisen laserbarien tavanomaista kapeamman rakenteen ansiosta niiden jäähdytystä voidaan yksinkertaistaa tai tehostaa verrattuna tekniikan tason mukaisiin leveisiin laserbareihin. Laserbarien kapeuden ansiosta vältytään lisäksi tekniikan tason mukaisten ratkaisujen hankalalta ja rajoittavalta valonsäteen kaventamisoptiikalta slow-akselin suunnassa. Tämä puolestaan mahdollistaa erittäin kompaktit aksiaalisymmetriset rakenneratkaisut, jotka sallivat tehokkaan paikka-, aallonpituus- ja polarisaatiomultipleksauksen samanaikaisen hyödyntämisen.

Keksinnön mukaisella ratkaisulla on siten mahdollista kasvattaa eri laserbareista yhteen koottavan säteilyn tehotiheyttä lähemmäs kohti sitä teoreettista maksimia, joka saavutettaisiin ideaalitilanteessa, jossa eri emitterien optinen teho voitaisiin häviöttömästi koota yhteen ja kohdistaa haluttuun pisteeseen. Siten keksinnön mukainen ratkaisu mahdollistaa tekniikan tason ratkaisuja korkeampien tehotiheyksien saavuttamisen sekä paremman yhdistetyn säteen laadun.

Keksinnön mukaisella menetelmällä ja laitteella on lukuisia muitakin edullisia ominaisuuksia, jotka ilmenevät alan ammattimiehelle jäljempänä esitettävästä keksinnön yksityiskohtaisesta kuvauksesta.

Edellä mainittujen tarkoitusten toteuttamiseksi keksinnön mukaiselle menetelmälle on pääasiassa tunnusomaista se, mitä on esitetty oheisen patenttivaatimuksen 1 tunnusmerkkiosassa. Keksinnön mukaiselle laserlaitteelle on taas pääasiassa tunnusomaista se, mitä on esitetty oheisen patenttivaatimuksen 17 tunnusmerkkiosassa.

Keksintöä selostetaan seuraavassa yksityiskohtaisemmin viittaamalla samalla oheisiin piirustuksiin, joissa

kuva 1 esittää kuvissa ja selityksessä keksinnön mukaisen kapean laserbarin yhteydessä käytettävää xyz-koordinaatistoa,

kuva 2a esittää periaatteellisesti x-akselin suunnasta tarkasteltuna kapeaa laserbaria kiinnitettynä jäähdytetylle alustalevylle,

kuva 2b esittää kuvan 2a mukaista kokonaisuutta y-akselin suunnasta tarkasteltuna,

kuva 3 esittää periaatteellisesti z-akselin suunnasta tarkasteltuna kahden päällekkäisen alustalevyn väliin sijoittuvan laserbarin erästä johdinjärjestelyä,

kuva 4a esittää periaatteellisesti x-akselin suunnasta (sivusta) tarkasteltuna keksinnön mukaista kapeista laserbareista muodostettua lasertornia,

kuva 4b esittää kuvan 4a mukaista lasertornia tarkasteltuna y-akselin suunnasta (päältä),

kuva 4c esittää kuvan 4a mukaista lasertornia tarkasteltuna z-akselin suunnasta ja valon kulkusuuntaa vastaan.

kuva 4d esittää kuvan 4a mukaista lasertornia tarkasteltuna z-akselin suunnasta ja valon kulkusuunnan mukaisesti. takaa.

kuva 5 esittää periaatteellisesti erästä keksinnön perussuoritusmuotoa sekä kuvissa jäljempänä käytettyjä piirrosmerkkejä,

kuva 6 esittää periaatteellisesti erästä keksinnön toista suoritusmuotoa,

kuva 7a esittää periaatteellisesti erästä keksinnön kolmatta suoritusmuotoa sivusta,

kuva 7b esittää periaatteellisesti erästä keksinnön kolmatta suoritusmuotoa takaa,

kuva 8a havainnollistaa erästä slow-akselin kollimointioptiikan rakennetta slow-akselin suunnasta tarkasteltuna,

kuva 8b havainnollistaa kuvan 8a rakennetta fast-akselin suunnasta tarkasteltuna,

kuva 8c havainnollistaa kuvan 8a rakennetta z-akselin (optisen akselin) suunnasta tarkasteltuna,

kuvat 9a-9e esittävät periaatteellisesti erityyppisiä fokusointioptiikoita,

kuva 10 esittää periaatteellisesti erästä keksinnön neljättä suoritusmuotoa,

kuva 11 esittää periaatteellisesti erästä keksinnön viidettä suoritusmuotoa,

kuva 12 esittää periaatteellisesti erästä keksinnön kuudetta suoritusmuotoa, ja

kuva 13 esittää periaatteellisesti erästä keksinnön seitsemättä suoritusmuotoa.

KEKSINNÖN YKSITYISKOHTAISEMPI KUVAUS

Määritellään aluksi kuvan 1 mukaisesti rinnakkain järjestetyistä puolijohde-emittereistä E koostuvan kapean laserbarin LB paikkakoordinaatistossa fast-akselin suunta y-suunnaksi ja laserbarin slow-akselin suunta x-suunnaksi. Kaikki laserbarista LB lähtevät valonsäteet etenevät aluksi olennaisesti samaan z-suuntaan. Laserbarissa (LB) vierekkäisten emittereiden (E) slow-akselit (x) sijoittuvat keskenään olennaisesti samaan linjaan ja mainitut diodilaserit (E) emittoivat olennaisesti samaan suuntaan (z).

Keksinnön mukaisella kapealla laserbarilla LB tarkoitetaan rakennetta, jossa emittereitä E on järjestetty laserbariin rinnakkain x-suunnassa oleellisesti kapeammalle alueelle L (lähikentän leveys) kuin tekniikan tason mukaisissa laserbareissa. Tyypillisesti kapeassa laserbarissa LB emittereitä E on rinnakkain vain esimerkiksi 5 kappaletta, kun tekniikan tason mukaisissa laserbareissa niitä on tyypillisesti 20-40 kpl.

Yksittäisestä puolijohde-emitteristä E käytetään jäljempänä paikoitellen myös nimitystä puolijohdelaser tai diodilaser.

Keksinnön mukaisessa aksiaalisymmetrisessä rakenteessa kapeista laserbareista LB muodostetut perusosat, kuten päällekkäin pinotuista laserbareista LB muodostetut lasertornit ja/tai lasertornipinot, sekä mahdollinen optiikka on sijoitettu sektoreittain kehämuodostelmaan, jossa sektoreiden rakenne toistaa itseään säännöllisin tai epäsäännöllisin kulmavälein.

Kapeisiin laserbareihin LB perustuvaa suuren tehotiheyden laserlaitetta tarkastellaan seuraavassa valon etenemisreittiä seuraten järjestyksessä: kapea laserbar – laserbarin asennus alustalevylle – laserbarien

pinoaminen – fast-akselin kollimointi (FAC) – säteiden yhdistäminen – slow-akselin kollimointi (SAC) – fokusointi – lopputulos.

Keksinnön keskeisten periaatteiden osalta selostus liittyy seuraavassa pääosin kuvassa 5 esitettyyn keksinnön perussuoritusmuotoon. Keksinnön eräitä muita mahdollisia suoritusmuotoja tarkastellaan lisäksi erikseen jäljempänä.

1. Kapean laserbarin ominaisuudet ja valmistus

Keksinnön peruslähtökohtana on kuvan 1 mukaisesti yksittäinen kapea laserbar LB, jolla tarkoitetaan laserkiekosta prosessoitua yksittäistä yhden tai useamman laseremitterin E sisältävää komponenttia, jonka slow-akselin suuntainen mainittujen laseremitterien E yhdessä muodostama lähikenttä L on oleellisesti niin kapea, että laserbarin LB lähettämä säde on suoraan kollimoitavissa ja fokusoitavissa käyttötarkoitukseen riittävällä tarkkuudella, eikä tekniikan tason mukaisia erityisiä slow-akselin kavennusoptiikoita siten tarvita.

Laserbarin LB kapeus voidaan saada aikaan joko käyttämällä pienempää kokonaismäärää rinnakkaisia emittereitä E samassa laserbarissa ja/tai järjestämällä emitterit E tiheämpään kuin tekniikan tason laserbareissa.

Sopivimmin kapean laserbarin LB slow-akselin suuntaisen lähikentän leveys L voi olla luokkaa 0,5 mm. Laserbareissa LB emitterit E ovat keskenään sähköisesti rinnankytkettyjä.

Kapean laserbarin LB emitterien E rakenne voi olla tunnetun tekniikan tason mukainen tai myös tätä käyttötarkoitusta varten paremmin optimoitu. Emitterit E voivat siten sijaita vierekkäin nykyistä käytäntöä tiheämmässä, jolloin laserbarin LB kokonaiskirkkaus kasvaa samalta alueelta saatavan suuremman valotehon ansiosta. Emitterien E tavanomaista tiheämpi sijoittelu kapeissa laserbareissa LB tulee mahdolliseksi laserbarien tekniikan tasoa parempien jäähdytysominaisuuksien ansiosta. Tämä johtuu mm. siitä, että kapeissa laserbareissa LB kes-

kimmäisinä sijaitsevilta emittereiltä E voidaan johtaa lämpöä pois osittain myös x-suunnassa. Koska kapeat laserbarit LB sisältävät tyypillisesti lukumääräisesti huomattavasti vähemmän emittereitä kuin leveät laserbarit, on niissä syntyvän lämpötehon kokonaismäärä alhaisempi, mikä sinänsä pienentää jäähdytykseen kohdistuvia vaatimuksia.

Voidaan arvioida, että nykyisin käytössä jo olevilla puolijohteiden prosessointimenetelmillä voidaan valmistaa 0,5 mm levyisiä kapeita laserbareja LB, joista kustakin saadaan luokkaa 10 W jatkuvaa valotehoa. Laserbarin LB pituuteen suhteutettuna tämä vastaa 20 W/mm, mikä on huomattavasti nykyisiä leveitä laserbareja enemmän. Tämä ero johtuu pääasiallisesti siitä, että emitterejä E on voitu sijoittaa tavanomaista tiheämpään kapean laserbarin LB edellä selostettujen parempien jäähdytysominaisuuksien ansiosta.

Kun emittereiden E tiheys kasvaa, voidaan laserien valmistusvaiheessa laserkiekko kasvattaa ja prosessoida siten, että valotehoa saadaan nykyistä enemmän kiekon pinta-alayksikköä kohti. Tämä alentaa osaltaan laserien valmistuskustannuksia.

2. Kapean laserbarin asennus alustalle sekä laserbarin jäähdytys

Kapea laserbar LB asennetaan kuvan 2 mukaisesti alustalevylle M jäähdytyksen tehostamiseksi siten, että laserbarin LB rakenteen laseroivat puolijohdekerrokset ovat mahdollisimman lähellä jäähdytettyä alustalevyä M. Kiinnitysmenetelmänä voidaan käyttää sinänsä tunnetuilla tavoilla esimerkiksi erilaisia hyvän sähkön- ja lämmönjohtokyvyn omaavia liimoja, juotteita, höyrystettäviä juoteaineita ja/tai näiden yhdistelmiä.

Käytännössä sivustaan z-suuntaan emittoivat laserbarit LB kiinnitetään alustalevylle M tyypillisesti p-puoli alaspäin. Alustalevy M on sopivimmin kooltaan kapeaa laserbaria LB sekä pidempi että leveämpi ja alustalevyn M materiaali valitaan siten, että sen lämmönjohtavuus on mahdollisimman hyvä. Laserbarin LB ja alustalevyn M väliin voidaan haluttaessa järjestää tehokkaasti lämpöä siirtävä kerros, ns. “heat

spreader" (ei esitetty kuvissa), joka voi tarvittaessa toimia myös sähköisenä eristeenä (esim. polymorfinen timanttikalvo tai boorinitridi). Alustalevyihin M työstetään tiettyihin kohtiin jäähdytyksen kannalta riittävä määrä kanavia CH, joiden läpi jäähdytysneste tai muu jäähdyttävä väliaine virtaa. Kanavat CH voidaan vaihtoehtoisesti työstää vasta valmiisiin laserbareista LB pinoamalla muodostettuihin lasertorneihin.

Keksinnön mukaisen kapean laserbarin LB lämpeneminen on noin kymmenesosan suuruinen nykyisin käytettyihin leveisiin laserbareihin verrattuna, mikä helpottaa merkittävästi jäähdytykselle asetettavia vaatimuksia.

Kapeiden laserbarien LB pienten fyysisten dimensioiden ansiosta niiden jäähdytyksen yhteydessä on leveitä laserbareja helpompaa käyttää tehokkaita "heat spreader" -alustoja ilman, että erilaiset lämpölaajenemisesta aiheutuvat ongelmat tulisivat rajoittaviksi. Lisäksi laserbarien LB taipuminen x-suuntaisen akselin suhteen, ns. "smiling", on kapeilla laserbareilla merkittävästi vähäisempää kuin tekniikan tason mukaisilla leveillä laserbareilla. Suurikokoisia lämmönsiirrossa tarvittavia timanttikalvoja ("heat spreader") on lisäksi vaikea valmistaa nykytekniikoilla. Edelleen kapean laserbarin LB jäähdytys on kapealla rakenteella leveää rakennetta tehokkaampaa, koska lämpövuo pääsee levittäytymään alustalla myös x-suunnassa ja jäähdyttävä alustalevy M voi olla tässä suunnassa laserbaria LB huomattavasti leveämpi.

Kuvissa 2a ja 2b periaatteellisesti esitetyn ja kooltaan "makroskooppisiin" kanaviin CH perustuvan jäähdytyksen sijaan on mahdollista käyttää myös tekniikan tasosta sinänsä hyvin tunnettua ns. mikrokanavajäähdytystä. Mikrokanavajäähdytyksessä jäähdyttävä väliaine pyritään tuomaan alustalevyyn M työstetyissä pienissä mikrokanavissa mahdollisimman lähelle itse lämpöä tuottavia laseremittereitä. Kapeiden laserbarien LB käytön etuna on kuitenkin se, että riittävän tehokas jäähdytys on useimmissa tapauksissa mahdollista toteuttaa yksinkertaisemmilla rakenteilla kokonaan ilman kallista ja tunnetusti hankalasti toteutettavaa mikrokanavajäähdytystä.

Eräs jäähdytetyn laserbarin LB rakenne voi olla seuraavanlainen. Alustalevyn M (esim. kuparia) päälle on kiinnitetty ohut eristelevy IL, joka on alustalevyyn M nähden kuvassa 2a esitetyllä tavalla lyhyt laserbarin LB puoleisesta päädystään, jolloin laserbar LB voidaan asentaa suoraan alustalevyn M pintaa vasten. Mainittu kahden päällekkäin pinotun alustalevyn M väliin tuleva eristelevy IL voi olla esimerkiksi boorinitridiä tai jotain muuta korkean lämmönjohtavuuden materiaalia. Laserbar LB kiinnitetään alustalevylle M p-puoli alaspäin. Laserbariin LB on mahdollisesti kiinnitetty valmiiksi kuvassa 3 esitetty virtajohdin W, joka voidaan laserbarin LB alustalevylle M kiinnittämisen jälkeen yhdistää seuraavan kerroksen alustalevyn M pohjaan esimerkiksi sähköäjohtavalla hopeaseosteisella epoksiliimalla. Virtajohdin W voi olla esimerkiksi kuvassa 3 esitetyn mukainen, jossa johtimen W molemmat vapaat päädyt kiinnitetään yläpuolisen alustalevyn M pohjaan. Vaihtoehtoisesti vain johtimen W toinen pääty voidaan kiinnittää yläpuoliseen alustalevyyn M.

Laserbarin LB asennuksessa alustalevylle M voidaan käyttää myös pelkkää juotos- tai liimaustekniikkaa virtajohtimen W sijasta. Asennus voidaan tehdä myös siten, että alustalevylle M kiinnitetyt laserbarit LB hiotaan eristelevyn IL kanssa samalle tasolle. Tämän jälkeen pintaan voidaan kiinnittää esimerkiksi juotepreformi, höyrystää sopiva juotekerros tai annostella sähköä johtava liimakerros. Päällekkäin pinotut lasertornin alustalevyt M voidaan myös lämmittää kerralla, jolloin juotekerros sulaa ja syntyy tarvittava kontakti päällekkäisten alustalevyjen M ja alustalevyllä olevan laserbarin LB välille.

3. Laserbarien pinoaminen lasertorneiksi ja lasertornipinoiksi

Suuremman valotehon aikaansaamiseksi yksittäiset alustalevylle M kiinnitetyt laserbarit LB pinotaan korkeammiksi lasertorneiksi, joissa laserbarit LB ovat keskenään sähköisesti sarjaankytkettyjä. Pinoamisen yhteydessä laserbarien LB emitterien E puoleinen päätypinta voidaan väliaikaisesti suojata, jolloin rakenteeseen mahdollisesti jääneet ilmavälit voidaan täyttää sopivimmin lämpöä johtavalla aineella,

esimerkiksi sopivalla sähköä eristävällä liimalla. Tällöin rakenteen jäähdytys tehostuu.

Kuvissa 4a-4d on periaatteellisesti esitetty eräs mahdollinen kapeista laserbareista LB rakennettu lasertornirakenne LT sekä fast-akselin kollimointioptiikka FAC (ei esitetty kuvissa 4c ja 4d). Kollimointioptiikka FAC voi olla tekniikan tason mukainen linssistö, joka koostuu kuvan 4a mukaisesti kunkin laserbarin LB eteen erikseen järjestetyistä linsseistä.

Kuvissa 4a-4d on esitetty myös mainitusta fast-akselin suhteen kollimoidusta lasertornista LT eri suuntia vastaavat piirrosmerkit, joita käytetään hyväksi myöhemmissä kuvissa.

Pinottaessa laserbareja LB päällekkäin lasertorniksi LT rakenteen valoa emittoivan alueen koko kasvaa fast-akselin suunnassa ja pysyy samana slow-akselin suunnassa. Valmiita lasertorneja LT voidaan edelleen pinota vastaavalla tavalla päällekkäin, jolloin saadaan lasertornipinoja LTP, joissa valoa emittoivan alueen koko kasvaa edelleen fast-akselin suunnassa. Lasertornipinot LTP voivat sisältää eri aallonpituuksien lasertorneja LT, kuten on esitetty myöhemmin esimerkiksi kuvassa 5.

Tornipinot LTP voidaan pinota siten, että lasertornit LT on kohdistettu riittävän tarkasti päällekkäin, jotta lasertornipinon LTP sisältämät lasertornit LT voidaan kytkeä jäähdytyksellisesti sarjaan. Toisin sanoen laserbarien LB sisältämät jäähdytyskanavat CH kohdistuvat toisiinsa päällekkäisissä laserbareissa LB ja jäähdytyskanavat CH kulkevat siten yhtenäisinä koko lasertornin LT ja edelleen lasertornipinon LTP lävitse.

Jäähdytetty alustalevy M voidaan pinnoittaa esimerkiksi vuorottaisella Sn/Au-juotekerrosrakenteella, jolle on tyypillistä se, että pinnoitteen sulamislämpötila nousee, kun rakenne on ensimmäisen kerran sulatettu. Tämä mahdollistaa jäähdytettyjen lasertornien LT pinoamisen yksi jäähdytetty laserbar LB kerrallaan ilman, että edellinen juoteliitos sulaa uuden jäähdytetyn laserbarin LB kiinnijuottamisen yhteydessä. Höyrystämällä valmistettu Sn/Au-juotekerrosrakenne on lisäksi pak-

suudeltaan tarkasti tunnettu, jolloin lasertornien LT dimensiot tunnetaan suurella tarkkuudella.

Yhdestä lasertornista LT, joka sisältää esim. 10 kapeaa jäähdytettyä laserbaria LB, voidaan saada tyypillisesti 100 W jatkuvaa valotehoa. Ulostuleva valo on reunasta emittoivilla kirkkailla diodilasereilla polarisoitunut yleensä xz-tasossa.

4. Fast-akselin kollimointi (FAC)

Kunkin laserbarin LB fast-akseli kollimoidaan tyypilliseen ja tekniikan tasosta sinänsä tunnettuun tapaan fast-akselin kollimointioptiikalla FAC heti, kun säde on tässä suunnassa levinnyt lähes päällekkäisten laserbarien LB välisen etäisyyden suuruiseksi. Kollimointi voidaan toteuttaa esimerkiksi asferisillä sylinterilinsseillä, grin-linsseillä, diffraktiivisella optiikalla tai edellisten yhdistelmillä. Kuvassa 4a on periaatteellisesti esitetty eräs fast-akselin kollimoinnin toteuttava linssistö FAC.

Tilanteessa, jossa lasertorneissa LT yksittäiset laserbarit LB on asemoitu toisiinsa nähden riittävällä tarkkuudella, voidaan fast-akselin kollimointiin käyttää sopivimmin yhtä optista matriisielementtiä, linssistöä FAC, joka asemoidaan yhtenä komponenttina lasertornin LT eteen. Tällöin asennettavien FAC-komponenttien lukumäärä pienenee merkittävästi ja toimenpide on nopea suorittaa. Keksinnön mukaisia kapeita laserbareja LB käytettäessä tällainen FAC-komponentti on myös pienikokoinen, mikä helpottaa asentamisen automatisointia.

Diodilaserien fast-akselin kollimoinnissa yhtenä yleisesti rajoittavana tekijänä on emitterin E ja kollimointioptiikan FAC välisen z-suuntaisen etäisyyden epätarkkuus. Toisin sanoen yksittäisen emitterin E ja kollimointioptiikan FAC sitä vastaavan kohdan välinen etäisyys ei ole riittävällä tarkkuudella oikea säteen kollimoimiseksi kunnolla. Tekniikan tason mukaisten leveiden laserbarien tapauksessa em. asentamisen epätarkkuus kertaantuu tehokkaasti ja esim. leveiden laserbarin reunoilla x-suunnassa kollimointioptiikka FAC voi poiketa haitallisen paljon optimietäisyydestä.

Lisäksi leveiden laserbarien asentamisen yhteydessä esimerkiksi mikroskoopin avulla suoritettava monitorointi on hankalaa, koska riittävää suurennosta käytettäessä leveän laserbarin reunat ovat x-suunnassa liian kaukana toisistaan, jotta molemmista reunoista saataisiin tarkka kuva yhdellä kertaa samaa kuvantavaa laitetta käyttäen. Keksinnön mukaiset kapeat laserbarit LB eivät ole yhtä herkkiä asemoinnin epätarkkuudelle kuin tekniikan tason mukaiset leveämmät laserbarit. Kapean laserbarin LB molempia reunoja voidaan myös monitoroida helposti samalla kertaa suurella tarkkuudella esim. konenäön avulla yhtä kuvantavaa laitetta käyttäen.

5. Säteiden yhdistäminen (multipleksaus) ja kompensointi

Kuvassa 5 on periaatteellisesti esitetty lasertornit LT, ja niistä edelleen päällekkäin pinoamalla muodostetut lasertornipinot LTP asemoituna erääseen keksinnön mukaiseen kehämuodostelmaan sektoreittain siten, että ne kaikki lähettävät valon radiaalisuuntaan kohti pyörähdysakselia A. Pyörähdysakselista A käytetään jäljempänä nimitystä optinen akseli A.

Lasertornipinoja LTP voi olla sovitettu sektoreittain mainitulle kehälle mikä tahansa fyysisesti mahtuva määrä. Keksinnön mukaisesti kustakin lasertornipinosta LTP lähtevien säteiden kulkusuuntaa käännetään sopivien optisten elementtien avulla 90°, jolloin kaikki säteet saadaan etenemään aksiaalisesti samaan suuntaan tietyllä etäisyydellä optisesta akselista A. Nämä samaan suuntaan etenevät säteet fokusoidaan edelleen yhteen pisteeseen suuren optisen tehotiheyden tuottamiseksi.

Seuraavassa tarkastellaan eri lasertorneista LT lähtevien säteiden etenemistä kuvan 5 mukaisessa rakenteessa. Kuvassa 5 esitettäviä periaatteita ja piirrosmerkkejä käytetään hyväksi myöhemmin kuvissa 6-13 esitettävissä keksinnön muissa suoritusmuodoissa.

Tarkastellaan aluksi aallonpituuden λn sädettä, joka lähtee kuvan 5 lasertornista LT51. Mainittu säde, jota kuvassa 5 on skemaattisesti kuvattu pisteviivalla, etenee aluksi radiaalisesti suoraan kohti optista akselia A kulkien polarisaation kiertoelementin P ja optisen kompensointielementin C läpi, kunnes säde poikkeutetaan alkuperäisestä etenemissuunnastaan 90° kulkusuunnan kääntöelementin DE avulla.

Optisten kompensointielementtien C tehtävänä on muokata yksittäisen lasertornipinon LTP sisältämien lasertornien LT yhdistetystä säteestä sellainen, että kyseisen lasertornipinon LTP emittereistä multipleksaamalla muodostetun yhdistetyn säteen slow-akseli voidaan kollimoida myöhemmin selostetulla tavalla slow-akselin kollimointioptiikalla SAC.

Tyypillisesti kompensointielementti C on sopivan taitekertoimen omaavasta optisesta materiaalista valmistettu säteiden matkaeroa kompensoiva optinen taso, väliainepala. Sovittamalla materiaalin taitekerroin sekä komponentin paksuus ja muoto sopivasti kutakin lasertornia LT varten, voidaan kompensoida lasertornien LT erilaista etäisyyttä suhteessa fokusointioptiikkaan FO.

Kompensointielementti C voi toimia myös linssin tavoin, jolloin huomioidaan lasertornien LT eri aallonpituuksien λ1-λn erilainen taittuvuus (dispersio) ja/tai niiden erilaiset lähtödivergenssit. Siten kompensointielementti C voi olla tai se voi sisältää esimerkiksi yhden tai useamman sylinterilinssin.

Kompensointia voidaan toteuttaa myös kokonaan ilman varsinaisia kompensointielementtejä C esimerkiksi siten, että kunkin lasertornin LT etäisyys optisesta akselista A asetellaan sopivaksi lasertornipinoa LTP muodostettaessa.

Kääntöelementin DE jälkeen, joka voi olla esimerkiksi peili tai prisma, lasertornista LT51 lähtenyt säde jatkaa aksiaalisesti matkaansa polarisaatiosäteenyhdistäjään PBC, jossa tapahtuu lasertorneista LT51 ja LT52 lähteneiden säteiden polarisaatiomultipleksaus.

Polarisaatiosäteenyhdistäjien PBC toiminta on periaatteessa vastaavaa kuin polarisaatiosäteenjakajilla, mutta säteenjakajiin nähden käänteistä. Koska polarisaatiosäteenyhdistäjillä PBC yhdistettävien säteiden on sopivimmin oltava toisiinsa nähden kohtisuoraan polarisoituneita, voidaan polarisaation kiertoelementeillä P, kuten esimerkiksi λ/2-levyillä, tarvittaessa kääntää toisen yhdistettävän säteen polarisaatiota 90°. Lasertorneista LT lähtevä valo on aluksi polarisoitunut xz-tasossa.

Lasertornista LT52 lähtevä katkoviivalla kuvattu säde etenee polarisaatiosäteenyhdistäjään PBC ja etenee suuntaansa muuttamatta mainitun komponentin läpi. Lasertornista LT51 tuleva säde puolestaan on edennyt aikaisemmin polarisaation kiertoelementin P läpi, jossa sen polarisaatiotaso on kiertynyt 90°. Tämä polarisaatiotaso kokee polarisaatiosäteenyhdistäjässä PBC 90° muutoksen kulkusuunnassaan. Polarisaatiosäteenyhdistäjän PBC jälkeen säteet jatkavat matkaansa päällekkäisinä.

Tämän jälkeen yhdistynyt säde etenee kohti optista akselia A, kunnes se poikkeutetaan aksiaalisesti eteneväksi kulkusuunnan kääntöelementin DE avulla.

Aallonpituusmultipleksaus toteutetaan sopivien dikroisten peilien sekä tavallisten peilien ja/tai prismojen avulla. Aallonpituusmultipleksauksella saadaan kunkin lasertornipinon LTP eri aallonpituuksia λ1-λn emittoivien lasertornien LT säteet yhdistettyä yhdeksi säteeksi.

Aksiaalisesti etenevän polarisaatiomultipleksatun λn-aallonpituuden säteen matkan varrella kohtaamat dikroiset säteenyhdistäjät DBC on suunniteltu siten, että ko. aallonpituus λn etenee niiden läpi suuntaansa muuttamatta. Kukin dikroinen säteenyhdistäjä DBC on suunniteltu edelleen sellaiseksi, että se poikkeuttaa sitä vastaavalta aksiaalikohdalta radiaalisuunnassa tulevat säteet optisen akselin A suuntaisiksi, mutta päästää kuvassa 5 vasemmalta tulevat, ja siten jo optisen akselin A suuntaiset säteet lävitseen. Näin lasertornipinon LTP eri lasertorneista LT lähtöisin olevat useat eri aallonpituudet λ1-λn saadaan kytkettyä päällekkäin.

Kapeista laserbareista LB pinotut lasertornit LT ja lasertornipinot LTP sekä keksinnön mukainen aksiaalisymmetrinen rakenne mahdollistavat edellä esitetyn mukaisesti erittäin tehokkaan paikkamultipleksauksen. Paikkamultipleksauksella saadaan kunkin eri sektorissa sijaitsevan lasertornipinon LTP aallonpituus- ja polarisaatiomultipleksauksella yhdistetyt säteet koottua samaan avaruuden osaan. Jos kuvan 5 mukaisessa rakenteessa on m sektoria eli m kpl lasertornipinoja LTP (m = 2, 3, ...) aksiaalisymmetrisessä muodostelmassa katsottuna optisen akselin A suuntaisesti, voidaan fokuspisteen tehotiheyttä kasvattaa häviöttömässä tapauksessa m-kertaiseksi.

Keksinnön mukaisen aksiaalisymmetrisen rakenteen ansiosta laitteen ulkokehällä on runsaasti tilaa laserbarien LB jäähdytyksen järjestämiselle.

6. Slow-akselin kollimointi (SAC)

Keksinnön mukaisessa ratkaisussa laserbarien LB kapeus yksinkertaistaa slow-akselin kollimointia oleellisesti, sillä monimutkaisilta ja tilaa vieviltä tekniikan tason mukaisilta kaventamis- ja pinoamisoptiikoilta vältytään kokonaan. Keksinnön mukaisesti slow-akseli kollimoidaan sopivimmin eri lasertorneista LT ja lasertornipinoista LTP lähtöisin olevien säteiden yhdistämisen jälkeen, kun mainitut optisen akselin A suuntaiset ja akselia ympäröivien kehien tangenttien suunnassa hitaasti divergoivat säteet ovat kasvaneet poikkipinta-alaltaan sopivan suuriksi. Säteiden suuri poikkipinta-ala mahdollistaa suurikokoisten kollimointikomponenttien käytön, mikä parantaa kolimoinnin tarkkuutta, kuten optiikasta on sinänsä hyvin tunnettua.

Slow-akselin kollimointi voidaan keksinnön mukaisesti toteuttaa kuvassa 5 esitetyllä slow-akselin kollimointioptiikalla SAC. Mainittu kollimointioptiikka SAC on sopivimmin porrasmainen linssipino, jonka linssipinon halkileikkaus optisen akselin A suunnalta nähtynä muistuttaa vastaavan ympyräsektorin aluetta. Slow-akselin kollimointioptiikan

SAC erästä linssipinoon perustuvaa rakennetta on esitetty yksityiskohtaisemmin kuvissa 8a-8c.

Lasertorneista LT lähteneet ja fast-akselinsa suhteen välittömästi tämän jälkeen fast-akselin kollimointioptiikalla FAC kollimoidut säteet osuvat kuvien 8a-8c mukaisen slow-akselin kollimointioptiikan SAC (linssipinon) eri tasoille L1-LN. Kollimointioptiikan SAC kunkin yksittäisen tason L1-LN etäisyys lasertornien LT sisältämistä lasereista määräytyy sen perusteella, että slow-akselin suunnassa divergoiva säde ehtii kasvaa olennaisesti kohdalleen osuvan linssin (tason L1-LN) levyiseksi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että valo kollimoidaan aina mahdollisimman suurella linssillä ja kollimoinnin laatu saadaan siten optiikan perusperiaatteiden mukaisesti säilytettyä mahdollisimman korkeana.

7. Fokusointi

Aallonpituus-, polarisaatio- ja paikkamultipleksauksella yhteen koottu sekä fast- ja slow-akselien suhteen kollimoitu valokenttä voidaan nyt fokusoida edelleen sopivaa peili- tai linssioptiikkaa fokusointioptiikkana FO käyttäen.

Käytettäessä fokusointioptiikkana FO kuvassa 5 esitetyn mukaisesti aksiaalisymmetristä paraboloidista peiliä vältytään värivirheiltä (akromaattisuus), jolloin eri aallonpituudet fokusoituvat samalla tavalla ja pienen pyöreän fokuspisteen tuottaminen on mahdollista. Paraboloidisen peilioptiikan avulla voidaan niin haluttaessa tuottaa hyvin suuria fokusoidun säteen numeerisen aukon arvoja, jolloin saavutetaan suuria tehotiheyksiä ja lyhyelle matkalle rajoittuvia säteen syvyysvaikutuksia.

Käytettäessä fokusointioptiikkana FO linssioptiikkaa, kuten esimerkiksi kuvissa 10 ja 11 esitetyissä suoritusmuodoissa, fokuspisteestä tulee useita aallonpituuksia fokusoitaessa värivirheiden vuoksi pitkulaisempi optisen akselin A suunnassa. Tämä voi olla toivottava piirre joissakin tilanteissa. Optimaalinen fokusointioptiikka voidaankin valita sovelluskohteesta riippuen.

Eräitä valotehon fokusointiin soveltuvia fokusointioptiikoita FO on esitelty kuvissa 9a-9e. Kuvissa 9a ja 9b on esitetty linssioptiikkaan perustuvia optiikoita ja kuvissa 9c-9e vastaavasti peilioptiikkaan perustuvia ratkaisuja. Laitteen käyttötarkoituksesta riippuen optinen akseli A voidaan puhkaista fokusoivan elementin FO keskeltä (kuvat 9b ja 9d). Paraboloidiseen fokusointipeiliin voidaan työstää polttopistekeskeisesti pallopinta, jonka läpi fokusoituva aaltorintama kulkee pallopinnan normaalin suuntaisesti ja siten vääristymättömänä (kuvat 9c-9e). Pallopinnan lähellä pyörähdysakselia oleva osa, jonka läpi ei kulje säteitä, voidaan puhkaista tai valmistaa tasopinnaksi (kuvat 9d ja 9e). Tasopinta voidaan aikaansaada esimerkiksi sopivan optisen tiheyden täyteaineella, joka voidaan lisätä komponenttiin FO esimerkiksi liimauksella tai valamalla. Paraboloidin polttoväli voidaan valita sovellukseen parhaiten sopivaksi.

8. Tulos

Keksinnön mukaisten kapeiden laserbarien LB ja aksiaalisymmetrisen sektoroidun rakenteen avulla on mahdollista toteuttaa erittäin kompakteja teknisiä ratkaisuja, joissa erilaisia multipleksausmenetelmiä voidaan hyödyntää tehokkaasti ja samanaikaisesti. Tehokkaan aallonpituus- ja polarisaatiomultipleksauksen käyttämisellä on mahdollista aikaansaada säde, jonka kirkkaus on yksittäisen diodilaserin alkuperäistä kirkkautta korkeampi. Menetelmän ansiosta voidaan saavuttaa tehotiheyksiä, jotka riittävät erilaisten materiaalien prosessointiin.

Aksiaalisymmetrisen rakenteen vuoksi keksinnön mukaisen laserlaitteen fokuspiste on pyöreä, mikä on edullista esimerkiksi laserlaitteen käytön automatisoinnin kannalta. Lisäksi rakenne mahdollistaa optisen akselin A läheisyyteen jäävän vapaan tilan käyttämisen esimerkiksi visualisointiin, erilaisten aineiden syöttöön, imuun tai puhallukseen. Kompaktin rakenteen ansiosta säteitä ei tarvitse kuljettaa pitkiä matkoja, jolloin vähäiset laserlaitteen komponenttien keskinäisen asemoinnin epätarkkuudet eivät heikennä säteenlaatua yhtä paljoa kuin

kooltaan suuremmissa rakenteissa. Kapea laserbar LB on rakenteena myös jäähdytyksen kannalta edullinen.

Kapeat lasertornit LT mahdollistavat tietyn sähkötehon syöttämisen laserlaitteelle korkeammalla jännitteellä ja alhaisemmalla kokonaisvirralla nykyisin käytettyihin leveisiin lasertorneihin verrattuna. Tämä on erityisen tärkeä piirre erilaisissa pulssisovelluksissa, joissa virtapulssien ja vastaavasti myös valopulssien nousu- ja laskuajat ovat kriittisiä. Esimerkiksi lääketieteen sovelluksissa optinen energia voidaan annostella kohteeseen tarkemmin. Hyvien aallonpituusmultipleksausominaisuuksiensa ansiosta keksinnön mukaista laitetta voidaan käyttää esimerkiksi siten, että eri aallonpituudet $\lambda 1$-λn ovat optimoituja eri prosessien suorittamista varten. Eräs tällainen sovellus voisi olla kudoksen leikkaaminen yhdellä aallonpituudella ja veren koaguloiminen toisella aallonpituudella. Kolmas aallonpituus voisi olla kohteen valaisemista varten, jolloin kohteen visualisointi tapahtuisi eri aallonpituudella kuin kohteen prosessointi. Tällöin on helppo suodattaa prosessoinnissa käytettävät aallonpituudet pois ja kohteen morfologia saadaan selkeästi näkyville.

KEKSINNÖN ERÄITÄ EDULLISIA SUORITUSMUOTOJA

Keksinnön mukaiseen kapeaan laserbariin LB ja aksiaalisymmetriseen sektoroituun rakenteeseen perustuvalla ratkaisulla on useita teknisiä toteutustapoja. Seuraavassa on esitetty keksinnön eräitä edullisia suoritusmuotoja. Aluksi tarkastellaan eräitä rakenteissa yleisesti varioitavia asioita. Tämän jälkeen tarkastellaan vielä muutamia erityisiä suoritusmuotoja.

Yleisen suoritusmuodon variaatioita

Diodilaserien valmistuksen yhteydessä puolijohdemateriaalia oleva laserkiekko on mahdollista valmistaa tavallista ohuemmaksi, jolloin saadaan vastaavasti normaalia ohuempia laserbareja LB. Tämä tehostaajäähdytystä, sillä lämpöenergia siirtyy tällöin tehokkaammin

laserbarin LB ohuen puolijohdekerroksen lävitse jäähdytettyyn alustalevyyn M.

Laserbarien LB alustalevyjen M kanavointi CH voidaan tehdä useilla eri tavoilla. Alustalevyissä M voi olla suuri määrä pieniä reikiä ja useista alustalevyistä M muodostetun pinon päällä ja alla voi olla elementit, jotka kokoavat kanavat CH mainitun pinon päädyissä yhteen ulkoisten jäähdytysputkien kiinnittämistä varten. Jos jäähdytyskanavat tehdään tarkasti samalle kohdalle jokaiseen lasertornipinon LTP lasertorniin LT, voidaan kanavat CH yhdistää liittämällä lasertornit LT tiiviisti kiinni toisiinsa. Alustalevyihin M muodostettavat jäähdytyskanavat CH voivat olla myös uria. Myös tekniikan tasosta tunnettujen mikrokanavien käyttö laserbarien LB jäähdytyksessä on mahdollista.
Lasertorni LT voidaan toteuttaa useammilla eri tavoilla. Lasertorni LT voidaan koostaa esimerkiksi porrasmaiseksi siten, että päällekkäisten laserbarien LB valoa emittoivat etuseinämät sijaitsevat useammassa eri tasossa. Tällaista porrasmaista lasertornirakennetta voidaan hyödyntää kompensoinnissa, koska eri laserbarit LB ovat eri etäisyyksillä toisiinsa ja sädettä käsitteleviin optisiin komponentteihin (esimerkiksi DE, DBC, PBC, SAC, FO) sekä optiseen akseliin A nähden .

Aallonpituusmultipleksauksessa käytettävät dikroiset säteenyhdistäjät DBC, kuten esimerkiksi dikroiset peilit voivat olla muodoltaan erilaisia. Kuvan 6 mukaisessa rakenteessa on käytetty halkileikkaukseltaan vinoneliön muotoisia dikroisia säteenyhdistäjiä DBC verrattuna kuvassa 5 käytettyihin neliön muotoisiin elementteihin. Neliömäiset dikroiset säteenyhdistäjät DBC voidaan muodostaa esimerkiksi liittämällä kaksi halkileikkaukseltaan sivusta katsottua kolmion muotoista 90° prismaa toisiinsa siten, että esim. toinen yhteenliitettävä pinta on dikroinen peili (pinnoite). Myös polarisaatiomultipleksaus voidaan toteuttaa erilaisten polarisaatiosäteenyhdistäjien PBC avulla, joiden rakenne ja käyttö on optiikan alan ammattimiehelle sinänsä selvää.

Slow-akseli voidaan kollimoida edellä kuvatulla tavalla eri lasertorneista LT saatavien säteiden yhdistämisen ja niiden optisen akselin A suuntaiseksi kääntämisen jälkeen. Vaihtoehtoisesti slow-akselin kollimointi

SAC voidaan suorittaa heti fast-akselille suoritetun kollimoinnin FAC jälkeen.

Kuvassa 10 on esitetty rakenne, jossa lasertorneille LT suoritetaan kullekin slow-akselin kollimointi erillisellä slow-akselin kollimointioptiikalla SAC (linssipinolla) ennen säteiden suunnan kääntämistä. Tässä tapauksessa slow-akselin kollimointioptiikoita SAC tarvitaan enemmän, mutta toisaalta säteiden kompensointi voidaan tehdä tarkemmin.

Heti fast-akselin jälkeen suoritettava lasertornin LT tai lasertornipinon LTP slow-akselin kollimointi voidaan toteuttaa yhdestä tai useammasta linssistä ja portaasta muodostuvalla linssipinolla. Mikäli portaita L1-LN (ks. kuvat 8a-8c) on vain yksi, on kyseessä tavallinen sylinterilinssi ja kollimointi on tasalaatuista jokaiselle lasertornin LT laserbarille. Jos portaita L1-LN on useampia, lasertornin LT eri osista lähteneet osasäteet kulkevat erisuuret matkat ennen kollimointia. Divergoinnista johtuen ennen kollimointia pitemmän matkan kulkeneet osasäteet osuvat kollimointioptiikkaan SAC kooltaan suurempina kuin ennen kollimointia lyhyemmän matkan kulkeneet osasäteet. Tällä periaatteella voidaan yhdistetyn säteen kokoa kasvattaa optiselta akselilta A poispäin mentäessä ja hyödyntää aksiaalisymmetrisen rakenteen säteen myötä kasvava käytettävissä oleva pinta-ala mahdollisimman tehokkaasti. Tällöin myös kollimoinnin laatu paranee vastaavasti. Porrasrakenne voidaan jättää slow-akselin kollimointioptiikasta SAC pois, jos osasäteiden matkaerot luodaan jollakin toisella tavalla, kuten esimerkiksi aikaisemmin mainitulla rakenteeltaan porrasmaisella lasertornilla LT, tai jos säteiden laatu on muutoin riittävä.

Kehitys diodilaserien valmistustekniikassa saattaa tulevaisuudessa johtaa pienempään slow-akselin divergenssiin (esim. ns. tapered-laserit), jolloin säteenlaatua voidaan edelleen parantaa. Vaihtoehtoisesti voidaan yksinkertaistaa slow-akselin kollimointioptiikkaa SAC, jolloin laitteen koko pienenee ja rakenne yksinkertaistuu. Laitteen kokoa voidaan haluttaessa pienentää myös sopivalla slow-akselin kollimointioptiikan SAC eteen sijoitetulla slow-akselia hajottavalla linssillä, jolloin

slow-akselin kollimointioptiikka SAC voidaan sijoittaa lähemmäs lasereita.

Slow-akselin kollimointioptiikka SAC voi myös kokonaan puuttua, mikäli käyttötarkoitus sallii huonolaatuisemman säteen. Myös fast-akselin kollimointioptiikan FAC vaatimuksia voidaan tällöin vähentää.

Mikäli maksimiteho ja/tai vaadittava tehotiheys eivät ole kriittisiä tekijöitä, voidaan keksinnön mukaisen laitteen rakennetta yksinkertaistaa jättämällä polarisaatio- ja/tai aallonpituusmultipleksaus pois. Yksinkertaisimmillaan laite voi siten sisältää useita samaa aallonpituutta (aallonpituuskaistaa) emittoivia lasertorneja LT kehämuodostelmassa.

Kuvan 6 mukainen suoritusmuoto

Kuvassa 6 on esitetty keksinnön eräs suoritusmuoto, jossa hyödynnetään samanaikaisesti kaikkia aikaisemmin mainittuja multipleksausmenetelmiä. Kussakin sektorissa lasertorneista LT valmistetut lasertornipinot LTP61 ja LTP62 on asemoitu kahteen toisiaan vastaan kohtisuoraan suuntaan ja mainitut lasertornipinot voivat olla keskenään identtisiä. Lasertornipinot LTP61 ja LTP62 voivat olla jäähdytyksellisesti sarjaankytkettyjä ja niissä voidaan käyttää sopivia optisia elementtejä kompensointiin. Toisen lasertornipinon LTP61 polarisaatiotasoja käännetään 90°, minkä jälkeen säteet voidaan yhdistää polarisaatiosäteenyhdistäjän PBC avulla. Slow-akseli voidaan kollimoida yhdellä porrasmaisella linssipinolla SAC säteiden yhdistämisen jälkeen. Vaihtoehtoisesti kullakin lasertornilla tai lasertornipinolla voi olla oma slow-akselin kollimointioptiikka SAC.

Myös tässä ratkaisussa rakennetta voidaan yksinkertaistaa käyttötarkoituksen sallimalla tavalla. Polarisaatiomultipleksaus (elementit P ja PBC) voidaan esimerkiksi jättää pois tai vaihtoehtoisesti tilalle voidaan kytkeä uusia aallonpituuksia, jolloin polarisaatiosäteenyhdistäjän PBC paikalle tulee dikroinen säteenyhdistäjä DBC, eli tarkoitukseen sopiva dikroinen peili. Sektoreita voi luonnollisesti olla kaksi tai useampia.

Kuvien 7a ja 7b mukainen suoritusmuoto

Kuvissa 7a ja 7b on esitetty suoritusmuoto, jossa rakenteen kussakin sektorissa polarisaatiosäteenyhdistäjän PBC sivuilla olevat saman aallonpituuden lasertornit LT71 ja LT72 muodostavat keskenään oleellisesti 90° kulman. Lisäksi kuvissa esitellään uudenlainen tapa suorittaa aallonpituusmultipleksaus. Kuvasta 7a on selvyyden vuoksi jätetty polarisaatiosäteenyhdistäjät PBC ja polarisaation kiertoelementit P pois, jolloin lasertornien LT piirrosmerkit saadaan paremmin näkyviin. Samaa menettelyä on sovellettu jäljempänä myös kuvassa 10.

Polarisaatiosäteenyhdistäjässä PBC eri sivuilta tulevat lasertornien LT71 ja LT72 säteet yhdistyvät mainitussa komponentissa, kun toisesta lasertornista LT71 tulevan säteen polarisaatiotasoa kierretään ensin polarisaation kiertoelementillä P 90° ($\lambda/2$-levy). Polarisaatiosäteenyhdistäjän PBC jälkeen yhdistynyt valonsäde etenee kompensointielementtiin C ja edelleen peilielementtiin 71, joka sisältää kulkusuunnan kääntöelementin DE sekä dikroiset säteenyhdistäjät DBC. Peilielementti 71 muodostaa optisen akselin A kanssa sopivimmin 45° kulman.

Kääntöelementiltä DE säde jatkaa matkaansa aksiaalisesti kohti dikroista säteenyhdistäjää DBC, jossa sen kulkusuunta muuttuu kohti optista akselia A. Säde tulee ulos peilielementin 71 oikeasta sivusta heijasteltuaan dikroisissa säteenyhdistäjissä DBC ja kulkusuunnan kääntöelementissä DE. Peilielementin 71 dikroiset säteenyhdistäjät DBC toimivat siten, että ne päästävät radiaalisesti etenevät säteet lävitseen ja heijastavat aksiaalisesti etenevät säteet. Yhdistetyt eri aallonpituuksien säteet poistuvat peilielementin 71 oikeasta sivusta ja jatkavat matkaansa kohti mahdollista slow-akselin kollimointioptiikkaa SAC ja fokusointia FO.

Peilielementin 71 dikroiset pinnat voidaan tehdä esimerkiksi useilla höyrystyskerroilla eri alueille tai vaihtoehtoisesti elementti voidaan valmistaa yhdistämällä erillisiä elementtejä (katkoviivat elementissä 71).

Polarisaatiosäteenyhdistäjän PBC jälkeinen kompensointielementti C voi olla kuvan 7a mukaisesti kolmion muotoinen. Vaihtoehtoisesti kompensointielementin C muoto voidaan optimoida kullekin lasertornille LT erikseen. Kompensointia voidaan suorittaa myös lasertornien LT asemointia muuttamalla.

Tässäkin ratkaisussa aallonpituuksia voi olla yksi tai useampia ja lisäksi polarisaatiomultipleksaus voidaan jättää suorituskyvyn kustannuksella pois rakenteen yksinkertaistamiseksi. Polarisaation kiertoelementiltä P voidaan välttyä esim. käyttämällä polarisaatiosäteenyhdistäjänä ns. Thompsonin prismaa.

Muita mahdollisia rakenteita

Kuvassa 10 on esitetty eräs vaihtoehtoinen tapa lasertornien LT aallonpituusmultipleksaukselle. Polarisaatiomultipleksaus tehdään kuvien 7a ja 7b mukaisella järjestelyllä, mutta aallonpituusmultipleksaus on toteutettu muodoltaan erilaisilla dikroisilla säteenyhdistäjillä DBC.

Slow-akselin kollimointioptiikat SAC on sijoitettu heti lasertornipinojen LTP jälkeen, mikä mahdollistaa parhaan kompensoinnin. Mainittuna slow-akselin kollimointielementtinä SAC voidaan käyttää yhtä sylinterilinssiä tai kuvien 8a-8c mukaista sektorimaista sylinterilinssipinoa. Rakenteen pienentämiseksi lasertornien LT ja sylinterilinssipinojen väliin voidaan sijoittaa slow-akselia divergoiva linssi. Myös tässä rakenteessa slow-akselin kollimointioptiikka SAC voidaan yhdistää ja tuoda fokusointioptiikan FO eteen.

Kuvassa 11 on esitetty rakenne, jossa yhdistetään neljä eri aallonpituutta kompaktilla rakenteella ilman polarisaatiomultipleksausta. Vaihtoehtoisesti, jos $\lambda 1 = \lambda 2$ ja $\lambda 3 = \lambda 4$, voidaan $\lambda 1$ ja $\lambda 2$ sekä $\lambda 3$ ja $\lambda 4$ yhdistää keskenään polarisaation kiertoelementtien P ja polarisaatiosäteenyhdistäjien PBC avulla. Polarisaatiomultipleksauksella yhdistetyt säteet voidaan edelleen yhdistää dikroisella säteenyhdistäjällä DBC. Slow-akselin kollimointiin SAC käytetään kahta kuvien 8a-8c mukaista

kollimointielementtiä tai yksittäisiä sylinterilinssejä. Vaihtoehtoisesti slow-akselin kollimointi SAC voidaan toteuttaa heti lasertornin LT ja säteen kulkusuunnassa ensimmäisen dikroisen elementin DBC välissä.

Kuvassa 12 on esitetty aallonpituusmultipleksauksen toteutusvaihtoehto, jossa yhdistetään radiaalisesti päällekkäin kootun lasertornipinon LTP säteet. Suunnikkaan muotoinen osa 121 voi olla vastaava kuin peilielementti 71 kuvassa 7a. Vaihtoehtoisesti dikroiset peilipinnat voivat olla kolmionmuotoisissa optisissa elementeissä, jolloin suunnikkaan muotoinen osa 121 voi olla tavallinen kokonaisheijastava aaltojohde. Toteutusvaihtoehtoon voidaan muiden ratkaisujen tavoin lisätä sopivat optiset elementit kompensointia varten.

Kuva 13 esittää kompaktin rakenteen neljän aallonpituuden multipleksaukselle. Vaihtoehtoisesti, jos $\lambda 1 = \lambda 2$ ja $\lambda 3 = \lambda 4$, voidaan $\lambda 1$ ja $\lambda 2$ sekä $\lambda 3$ ja $\lambda 4$ yhdistää keskenään polarisaation kiertoelementtien P ja polarisaatiosäteenyhdistäjien PBC avulla. Polarisaatiomultipleksauksella yhdistetyt säteet voidaan edelleen yhdistää dikroisella säteenyhdistäjällä DBC.

Keksinnön edellä esitettyjen suoritusmuotojen yhteydessä esitettyjä toimintatapoja ja järjestelmän rakenteita eri tavoin yhdistelemällä voidaan aikaansaada erilaisia keksinnön suoritusmuotoja, jotka ovat keksinnön hengen mukaisia. Tämän vuoksi edellä esitettyjä esimerkkejä ei tule tulkita keksintöä rajoittavasti, vaan keksinnön suoritusmuodot voivat vapaasti vaihdella jäljempänä patenttivaatimuksissa esitettyjen keksinnöllisten piirteiden puitteissa.

On esimerkiksi selvää, että tietyn sektorin lasertornipinoon LTP eri aallonpituuksia $\lambda 1$-λn emittoivat lasertornit LT voidaan sijoittaa kompensoinnin kannalta optimaaliseen järjestykseen. Esimerkiksi slow-akselin suunnassa hitaammin divergoivan aallonpituuden laserit voidaan sijoittaa kauemmas fokusointioptiikasta FO kuin nopeammin divergoivan aallonpituuden laserit. Lasertornien sijoittelulla lasertornipinossa LTP voidaan kompensoida myös eri aallonpituuksien erilaisia dispersio-ominaisuuksia.

Patenttivaatimukset :

1. Menetelmä suuren optisen tehotiheyden tuottamiseksi, jossa menetelmässä diodilasereista (E) muodostetaan useita laserbareja (LB) siten, että yksittäisessä laserbarissa (LB) vierekkäisten diodilaserien (E) slow-akselit (x) sijoittuvat keskenään olennaisesti samaan linjaan ja mainitut diodilaserit (E) emittoivat olennaisesti samaan suuntaan (z), ja mainitun useamman laserbarin (LB) emittoimaa säteilyä kootaan yhteen olennaisesti optisen akselin (A) suuntaisesti eteneviksi säteiksi, **tunnettu** siitä, että laserbareja (LB) järjestetään optisen akselin (A) ympärille kehämuodostelmaan kahteen tai useampaan sektoriin siten, että ainakin yhdessä sektorissa useampia laserbareja (LB) on koottu keskenään fyysisesti päällekkäin ainakin yhdeksi lasertorniksi (LT), ja että eri sektoreista lähteviä säteitä yhdistetään keskenään paikkamultipleksaamalla.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että yksittäisessä sektorissa laserbarit (LB) sijoitetaan siten, että niiden slow-akselit (x) muodostavat olennaisesti suoran kulman optiseen akseliin (A) ja optisen akselin (A) normaaliin nähden.

3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että yksittäisessä sektorissa lasertorneja (LT) kootaan keskenään päällekkäin yhdeksi tai useammaksi lasertornipinoksi (LTP).

4. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että yksittäisessä sektorissa käytetään useamman eri aallonpituuden ($\lambda 1$-λn) diodilasereita (E).

5. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että laserbarit (LB) muodostetaan slow-akselin suunnassa (x) kapeiksi siten, että säteily voidaan mainitun slow-akselin suunnassa ohjata kohteeseen ilman slow-akselin suuntaista säteen kaventamista, pinoamista tai vastaavaa.

6. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että yksittäisessä sektorissa laserbarien (LB) säteilyä yhdistetään lisäksi polarisaatiomultipleksauksella (P, PBC).

7. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että yksittäisessä sektorissa laserbarien (LB) säteilyä yhdistetään lisäksi aallonpituusmultipleksauksella (DBC).

8. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että laserbarien (LB) säteilyä kollimoidaan (FAC) fast-akselin suunnassa (y) ennen säteiden yhdistämistä paikka-, polarisaatio- tai aallonpituusmultipleksauksella.

9. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että yksittäisessä sektorissa optisen akselin (A) suhteen eri kohdilta lähteneiden säteiden ominaisuuksia kompensoidaan (C) matkaeron, divergenssin tai aallonpituuden vaikutusten osalta.

10. Patenttivaatimuksen 9 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että mainittu kompensointi (C) suoritetaan ennen säteiden yhdistämistä optisen akselin (A) suuntaiseksi yhdistetyksi säteeksi.

11. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että optisen akselin (A) suuntaista yhdistettyä sädettä fokusoidaan (FO) aksiaalisymmetrisellä linssi-, peili- tai diffraktiivisella optiikalla.

12. Patenttivaatimuksen 11 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että fokusointi (FO) suoritetaan käyttäen aksiaalisymmetristä paraboloidista peilioptiikkaa.

13. Patenttivaatimuksen 11 tai 12 mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että säteilyä kollimoidaan (SAC) slow-akselin suunnassa (x) ennen yhdistetyn säteen fokusointia (FO)

14. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että aksiaalisymmetrisen rakenteen keskelle jäävää optista akselia (A) ympäröivää vapaata aluetta käytetään kohteen optiseen tai vastaavaan monitorointiin.

15. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, **tunnettu** siitä, että aksiaalisymmetrisen rakenteen keskelle jäävän optista akselia (A) ympäröivän vapaan alueen kautta lisätään kohteen prosessoinnissa tarvittavaa tai poistetaan kohteen prosessoinnissa esiintyvää ainetta.

16. Laserlaite, joka laserlaite käsittää useita diodilasereista (E) muodostettuja laserbareja (LB), joissa yksittäisissä laserbareissa (LB) vierekkäisten diodilaserien (E) slow-akselit (x) on järjestetty keskenään olennaisesti samaan linjaan ja mainitut diodilaserit (E) on järjestetty emittoimaan olennaisesti samaan suuntaan (z), ja joka laserlaite käsittää välineet mainitun useamman laserbarin (LB) emittoiman säteilyn kokoamiseksi yhteen olennaisesti laserlaitteen optisen akselin (A) suuntaisesti eteneviksi säteiksi, **tunnettu** siitä, että laserbarit (LB) on järjestetty optisen akselin (A) ympärille kehämuodostelmaan kahteen tai useampaan sektoriin siten, että ainakin yhdessä sektorissa useampia laserbareja (LB) on koottu keskenään fyysisesti päällekkäin yhdeksi tai useammaksi lasertorniksi (LT), ja että laserlaite käsittää lisäksi ainakin välineet (DE) eri sektoreista lähtevien säteiden yhdistämiseksi paikkamultipleksausta käyttäen.

17. Patenttivaatimuksen 16 mukainen laserlaite, **tunnettu** siitä, että yksittäisessä sektorissa laserbarit (LB) on järjestetty siten, että niiden slow-akselit (x) muodostavat olennaisesti suoran kulman optiseen akseliin (A) ja optisen akselin (A) normaaliin nähden.

18. Patenttivaatimuksen 16 mukainen laserlaite, **tunnettu** siitä, että yksittäisessä sektorissa lasertorneja (LT) on koottu keskenään päällekkäin yhdeksi tai useammaksi lasertornipinoksi (LTP).

19. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 16-18 mukainen laserlaite, **tunnettu** siitä, että yksittäinen sektori sisältää useamman eri aallonpituuden (λ1-λn) diodilasereita (E).

20. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 16-19 mukainen laserlaite, **tunnettu** siitä, että laserbarit (LB) on muodostettu slow-akselin suunnassa (x) kapeiksi siten, että säteily voidaan mainitun slow-akselin suunnassa ohjata kohteeseen ilman slow-akselin suuntaista säteen kaventamista, pinoamista tai vastaavaa.

21. Patenttivaatimuksen 20 mukainen laserlaite, **tunnettu** siitä, että mainittu kapea laserbar (LB) käsittää alle 10 kappaletta vierekkäisiä diodilasereita (E), sopivimmin noin 5 kappaletta vierekkäisiä diodilasereita (E).

22. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 16-21 mukainen laserlaite, **tunnettu** siitä, että yksittäisen sektori käsittää lisäksi välineet (P,PBC) mainitun sektorin laserbarien (LB) säteilyn yhdistämiseksi polarisaatiomultipleksauksella.

23. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 16-22 mukainen laserlaite, **tunnettu** siitä, että yksittäinen sektori käsittää lisäksi välineet (DBC) laserbarien (LB) säteilyn yhdistämiseksi aallonpituusmultipleksauksella.

24. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 16-23 mukainen laserlaite, **tunnettu** siitä, että laserbarien (LB) säteily on järjestetty kollimoiduksi fast-akselin suunnassa (y) ennen säteiden yhdistämistä paikka-, polarisaatio- tai aallonpituusmultipleksauksella.

25. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 16-24 mukainen laserlaite, **tunnettu** siitä, että yksittäinen sektori käsittää lisäksi välineet (C) optisen akselin (A) suhteen eri kohdilta lähteneiden säteiden ominaisuuksien kompensoimiseksi matkaeron, divergenssin tai aallonpituuden vaikutusten osalta.

26. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 16-25 mukainen laserlaite, **tunnettu** siitä, että yksittäisessä sektorissa yksittäisten laserbarien (LB) tai lasertornien (LT) etäisyys optisesta akselista (A) on sovitettu kompensoimaan optisen akselin suunnassa eri kohdilta lähteneiden säteiden ominaisuuksia matkaeron, divergenssin tai aallonpituuden vaikutusten osalta.

27. Patenttivaatimuksen 25 tai 26 mukainen laserlaite, **tunnettu** siitä, että mainittu kompensointi (C) on järjestetty suoritettavaksi ennen säteiden yhdistämistä optisen akselin (A) suuntaiseksi yhdistetyksi säteeksi.

28. Jonkin edellä esitetyn patenttivaatimuksen 16-27 mukainen laserlaite, **tunnettu** siitä, että laite käsittää lisäksi linssi- tai peilioptiikkaan perustuvat välineet (FO) optisen akselin (A) suuntaisen yhdistetyn säteen fokusoimiseksi aksiaalisymmetrisesti.

29. Patenttivaatimuksen 28 mukainen laserlaite, **tunnettu** siitä, että mainitut fokusointivälineet (FO) perustuvat aksiaalisymmetriseen paraboloidiseen peilioptiikkaan.

30. Patenttivaatimuksen 28 tai 29 mukainen laserlaite, **tunnettu** siitä, että välineet (SAC) säteilyn kollimoimiseksi slow-akselin suunnassa (x) on järjestetty säteen kulkusuunnassa ennen mainittuja fokusointivälineitä (FO).

31. Patenttivaatimuksen 30 mukainen laserlaite, **tunnettu** siitä, että mainitut välineet (SAC) säteen kollimoimiseksi slow-akselin suunnassa käsittävät sektorimaisen sylinterilinssipinon.

Patentkrav:

1. Förfarande för att producera en stor optisk effekttäthet, i vilket förfarande flera laserbarer (LB) bildas av diodlasrar (E) så, att i ett enskilt laserbar (LB) slow-axlarna (x) av bredvid varandra belägna diodlasrar (E) placerar sig på väsentligen samma linje med varandra och sagda diodlasrar (E) emitterar väsentligen i samma riktning (z), och den från sagda flera laserbarer (LB) emitterade strålningen samlas ihop som strålar vilka färdas väsentligen i riktningen av en optisk axel (A), **kännetecknat** av att laserbarer (LB) anordnas kring den optiska axeln (A) i en kretsformation i två eller flera sektorer så, att i minst en sektor flera laserbaren (LB) är samlade fysiskt ovanpå varandra som minst ett lasertorn (LT), och att strålar som avgår från olika sektorer kombineras med varandra genom spatialmultiplexering.

2. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** att i en enskild sektor laserbarerna (LB) placeras så, att dess slow-axlar (x) bildar en väsentligen rät vinkel med den optiska axeln (A) och den optiska axelns (A) normal.

3. Förfarande enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att i en enskild sektor lasertorn (LT) samlas ovanpå varandra som en eller flera lasertornstackar (LTP).

4. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att i en enskild sektor används diodlasrarna (E) med flera olika våglängder ($\lambda 1$-λn).

5. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att laserbarerna (LB) bildas som smala i riktningen av slow-axeln (x) så, att strålningen kan i riktningen av sagda slow-axel styrs till ett föremål utan avsmalning av strålar, stackning av strålar eller liknande i riktning av slow-axeln.

6. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att i en enskild sektor laserbarernas (LB) strålning kombineras ytterligare genom polarisationsmultiplexering (P, PBC).

7. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att i en enskild sektor laserbarernas (LB) strålning kombineras ytterligare genom våglängdsmultiplexering (DBC).

8. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att laserbarernas (LB) strålning kollimeras (FAC) i riktning av en fast-axel (y) före kombinering av strålarna genom spatial-, polarisations- eller våglängdsmultiplexering.

9. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att i en enskild sektor egenskaper av strålar som har avgått från olika ställen relativt den optiska axeln (A) kompenseras (C) för effekter av väglängdsdifferens, divergens eller våglängd.

10. Förfarande enligt patentkrav 9, **kännetecknat** av att sagda kompensering (C) utförs före kombinering av strålarna till en kombinerad stråle i riktning av den optiska axeln (A).

11. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att den kombinerade strålen i riktningen av den optiska axeln (A) fokuseras (FO) med en axialsymmetrisk lins-, reflektor- eller diffraktiv optik.

12. Förfarande enligt patentkrav 11, **kännetecknat** av att fokusering (FO) utförs genom att använda en axialsymmetrisk paraboloidisk reflektoroptik.

13. Förfarande enligt patentkrav 11 eller 12, **kännetecknat** av att strålningen kollimeras (SAC) i riktning av slow-axeln (x) före fokusering (FO) av den kombinerade strålen.

14. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att det fria området som omger den optiska axeln (A) som förblir i mitten av den axialsymmetriska konstruktionen används för den optiska eller liknande kontrolleringen av ett föremål.

15. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, **kännetecknat** av att genom det fria området som omger den optiska axeln (A) som blir i mitten av den axialsymmetriska konstruktion adderas material som behövs i behandling eller avlägsnas material som förekommer i behandling av föremålet.

16. Laserapparat, vilken laserapparat omfattar flera av diodlasrar (E) bildade laserbarer (LB), i vilka enskilda laserbar (LB) slow-axlar (x) av bredvid varandra belägna diodlasrar (E) är anordnade på väsentligen samma linje med varandra och sagda diodlasrar (E) är anordnade att emittera väsentligen i samma riktning (z), och vilken laserapparat omfattar medel för att samla ihop den från sagda flera laserbarer (LB) emitterade strålningen som strålar vilka färdas väsentligen i riktningen av en optisk axel (A), **kännetecknad** av att laserbarer (LB) är anordnade kring den optiska axeln (A) i en kretsformation i två eller flera sektorer så, att i minst en sektor flera laserbarer (LB) är samlade fysiskt ovanpå varandra som ett eller flera lasertorn (LT), och att laserapparaten omfattar ytterligare åtminstone medel (DE) för att kombinera strålar som avgår från olika sektorer med varandra genom spatialmultiplexering.

17. Laserapparat enligt patentkrav 16, **kännetecknad** av att i en enskild sektor laserbarerna (LB) är placerade så, att dess slow-axlar (x) bildar en väsentligen rät vinkel med den optiska axeln (A) och den optiska axelns (A) normal.

18. Laserapparat enligt patentkrav 16, **kännetecknad** av att i en enskild sektor lasertorn (LT) är samlade ovanpå varandra som en eller flera lasertornstackar (LTP).

19. Laserapparat enligt något av de föregående patentkraven 16-18, **kännetecknad** av att en enskild sektor omfattar diodlasrar (E) med flera olika våglängder ($\lambda 1$-λn).

20. Laserapparat enligt något av de föregående patentkraven 16-19, **kännetecknad** av att laserbarerna (LB) är bildade som smala i riktningen av slow-axeln (x) så, att strålningen kan, i riktningen av

sagda slow-axel, styrs till ett föremål utan avsmalning av strålar, stackning av strålar eller liknande i riktning av slow-axeln.

21. Laserapparat enligt patentkrav 20, **kännetecknad** av att sagda smala laserbar (LB) omfattar knappt 10 styck av bredvidliggande diodlasrar (E), företrädesvis cirka 5 styck bredvidliggande diodlasrar (E).

22. Laserapparat enligt något av de föregående patentkraven 16-21, **kännetecknad** av att en enskild sektor omfattar ytterligare medel (P, PBC) för att kombinera strålningen av sagda sektors laserbarer (LB) genom polarisationsmultiplexering.

23. Laserapparat enligt något av de föregående patentkraven 16-22, **kännetecknad** av att en enskild sektor omfattar ytterligare medel (DBC) för att kombinera strålningen av laserbarer (LB) genom våglängdsmultiplexering.

24. Laserapparat enligt något av de föregående patentkraven 16-23, **kännetecknad** av att laserbarernas (LB) strålning är anordnad att kollimeras i riktning av fast-axeln (y) före kombinering av strålarna genom spatial-, polarisations- eller vågländsmultiplexering.

25. Laserapparat enligt något av de föregående patentkraven 16-24, **kännetecknad** av att en enskild sektor omfattar ytterligare medel (C) för att kompensera egenskaper av strålar som har avgått från olika ställen relativt den optiska axeln (A) för effekter av väglängdsdifferens, divergens eller våglängd.

26. Laserapparat enligt något av de föregående patentkraven 16-25, **kännetecknad** av att i en enskild sektor avståndet av enskilda laserbar (LB) eller lasertorn (LT) från den optiska axeln (A) är anordnad att kompensera egenskaper av strålar som har avgått från olika ställen relativt den optiska axeln för effekter av väglängdsdifferens, divergens eller våglängd.

27. Laserapparat enligt patentkrav 25 eller 26, **kännetecknad** av att sagda kompensering (C) är anordnad att utföras före kombinering av strålar som en kombinerad stråle i riktning av den optiska axeln (A).

28. Laserapparat enligt något av de föregående patentkraven 16-27, **kännetecknad** av att apparaten omfattar ytterligare i lins- eller reflektoroptik baserade medel (FO) för att fokusera en kombinerad stråle i riktning av den optiska axeln (A) på ett axialsymmetrisk sätt.

29. Laserapparat enligt patentkrav 28, **kännetecknad** av att sagda fokuseringsmedel (FO) baserar sig i axialsymmetrisk paraboloidisk reflektoroptik.

30. Laserapparat enligt patentkrav 28 eller 29, **kännetecknad** av att medel (SAC) för att kollimera strålningen i riktningen av slow-axel (x) är anordnad i strålens färdriktning före sagda fokuseringsmedel (FO).

31. Laserapparat enligt patentkrav 30, **kännetecknad** av att sagda medel (SAC) för att kollimera strålen i riktningen av slow-axel omfattar en sektorlik cylinderlinsstack.

24-05-02 02:48:3

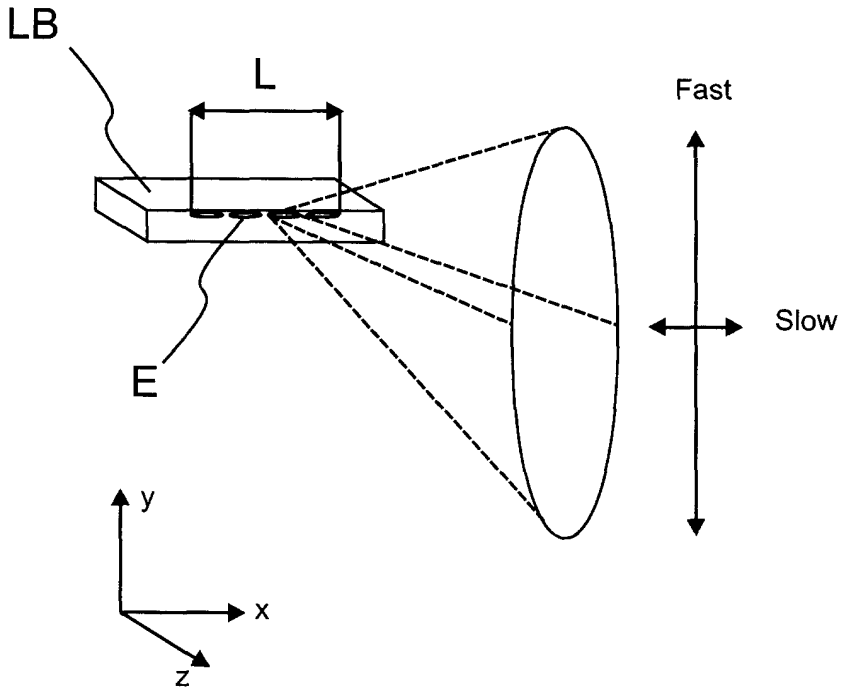


Fig. 1

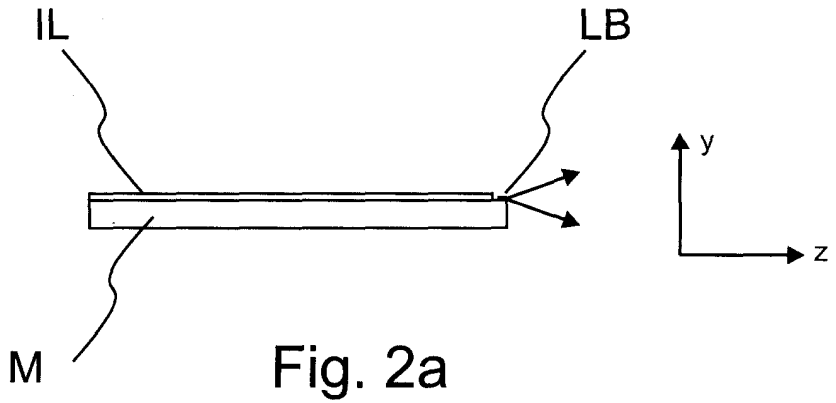


Fig. 2a

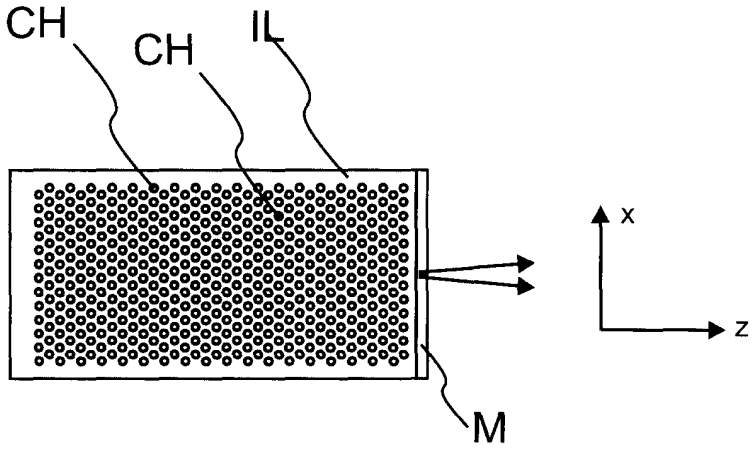


Fig. 2b

116010

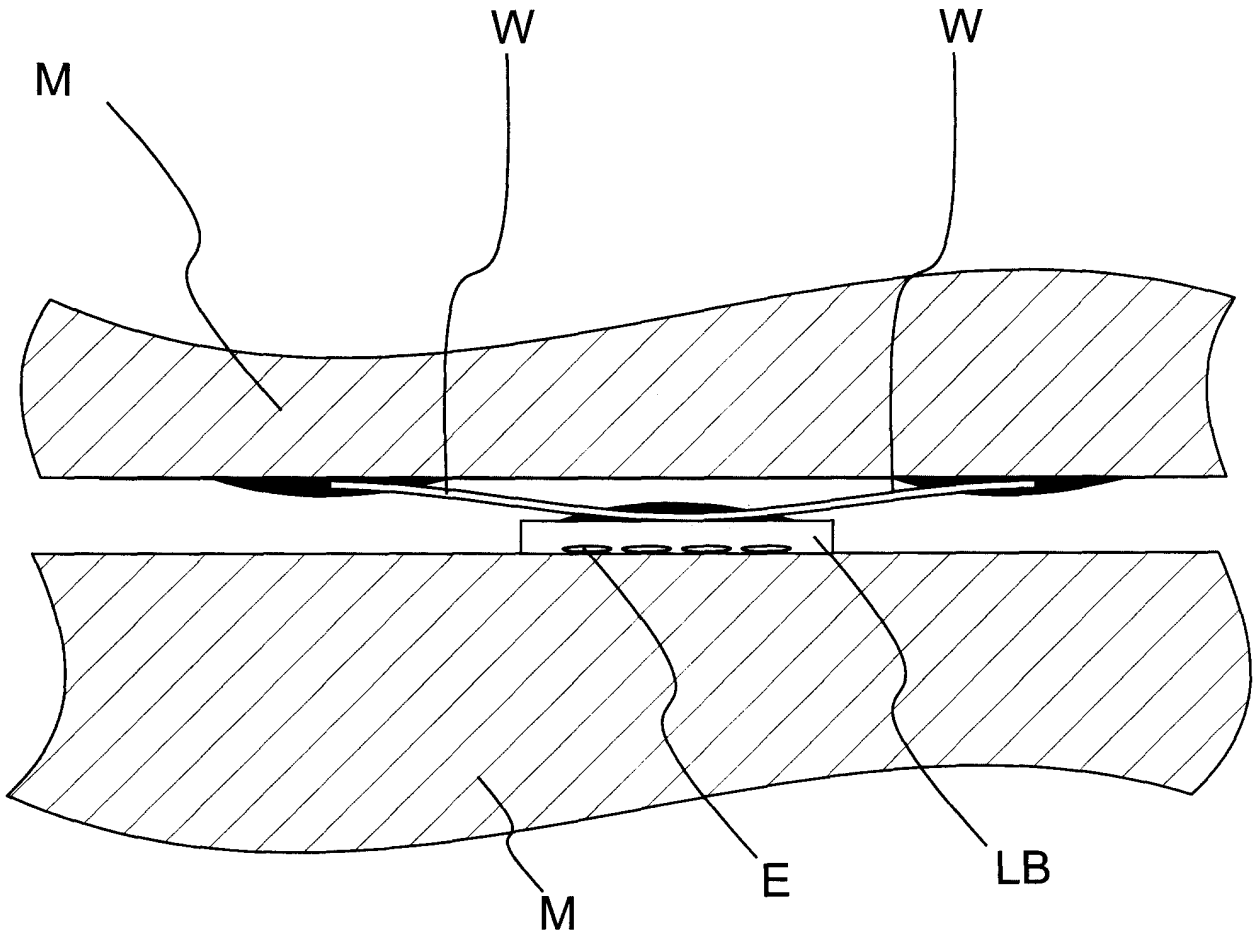


Fig. 3

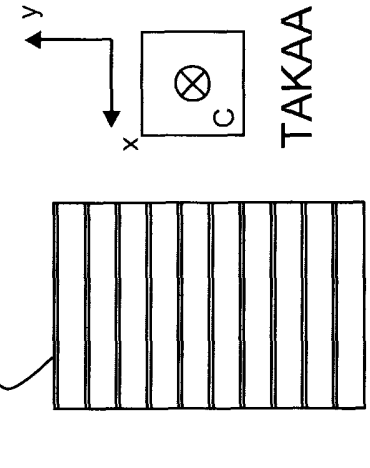


Fig. 4d

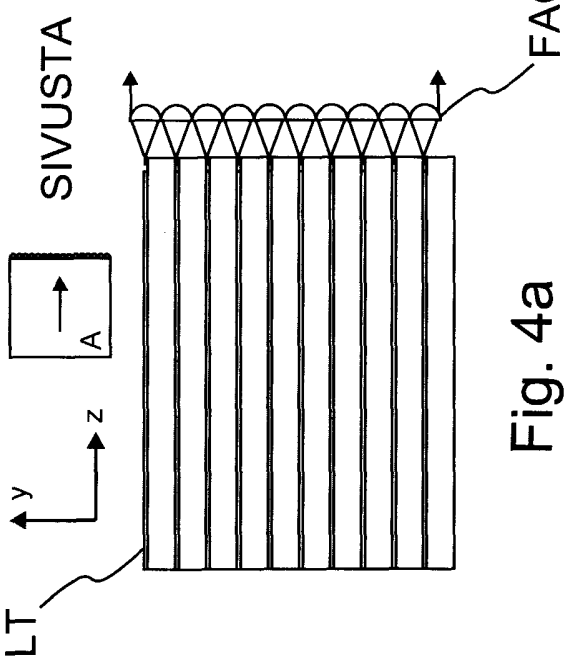


Fig. 4a

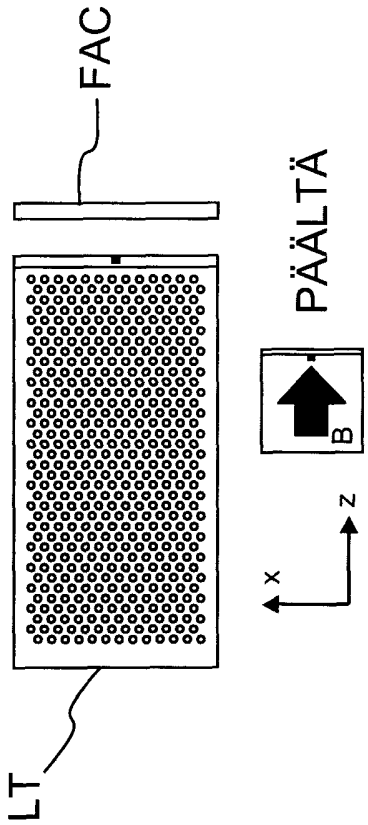


Fig. 4b

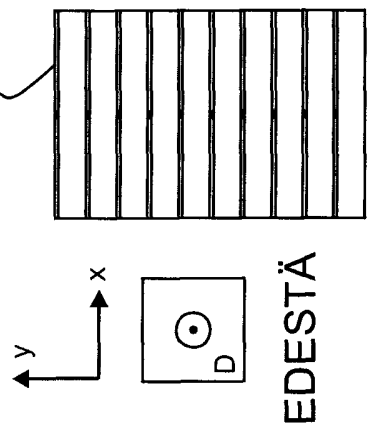


Fig. 4c

21-05-02 02:36:3

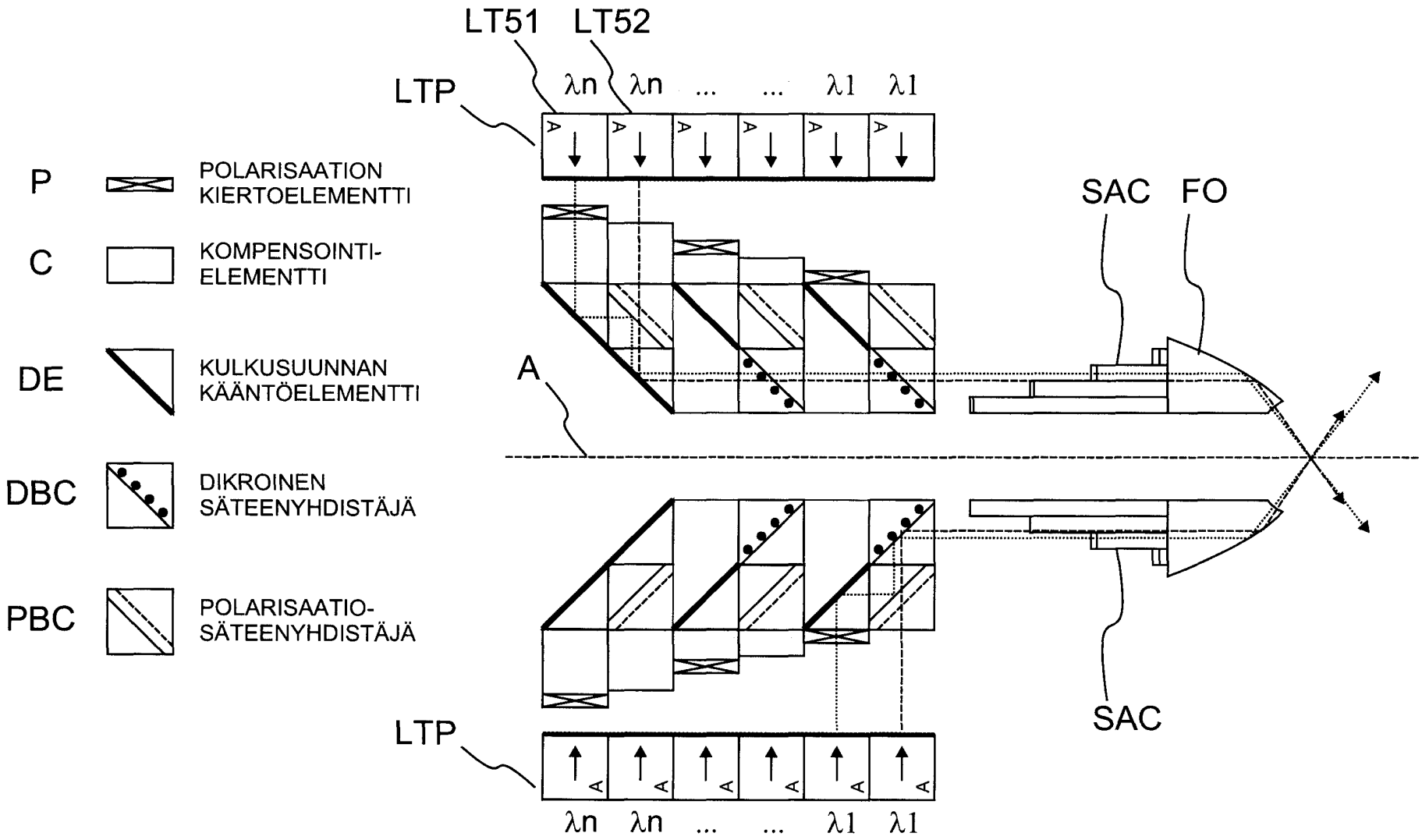


Fig. 5

116010

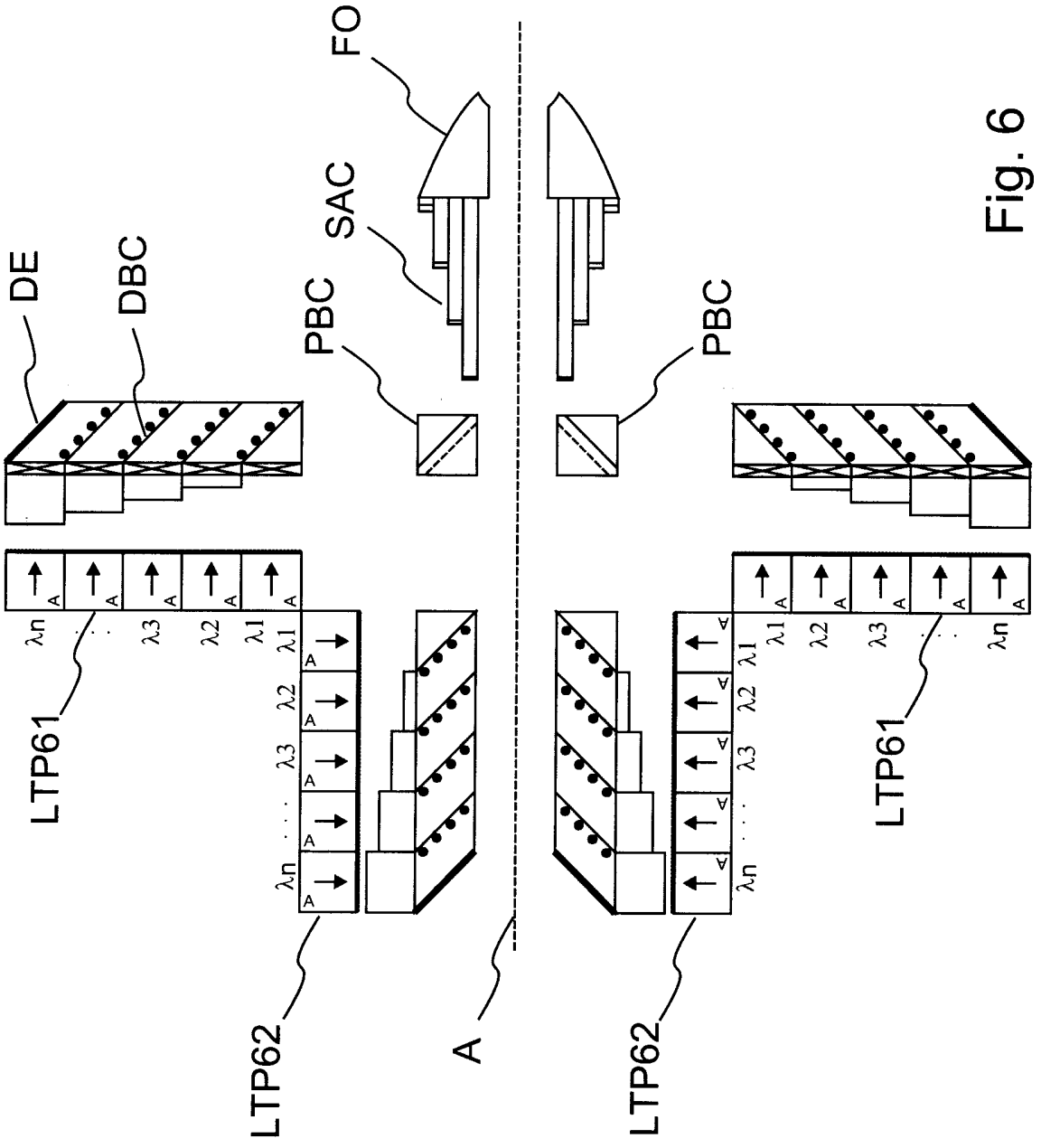


Fig. 6

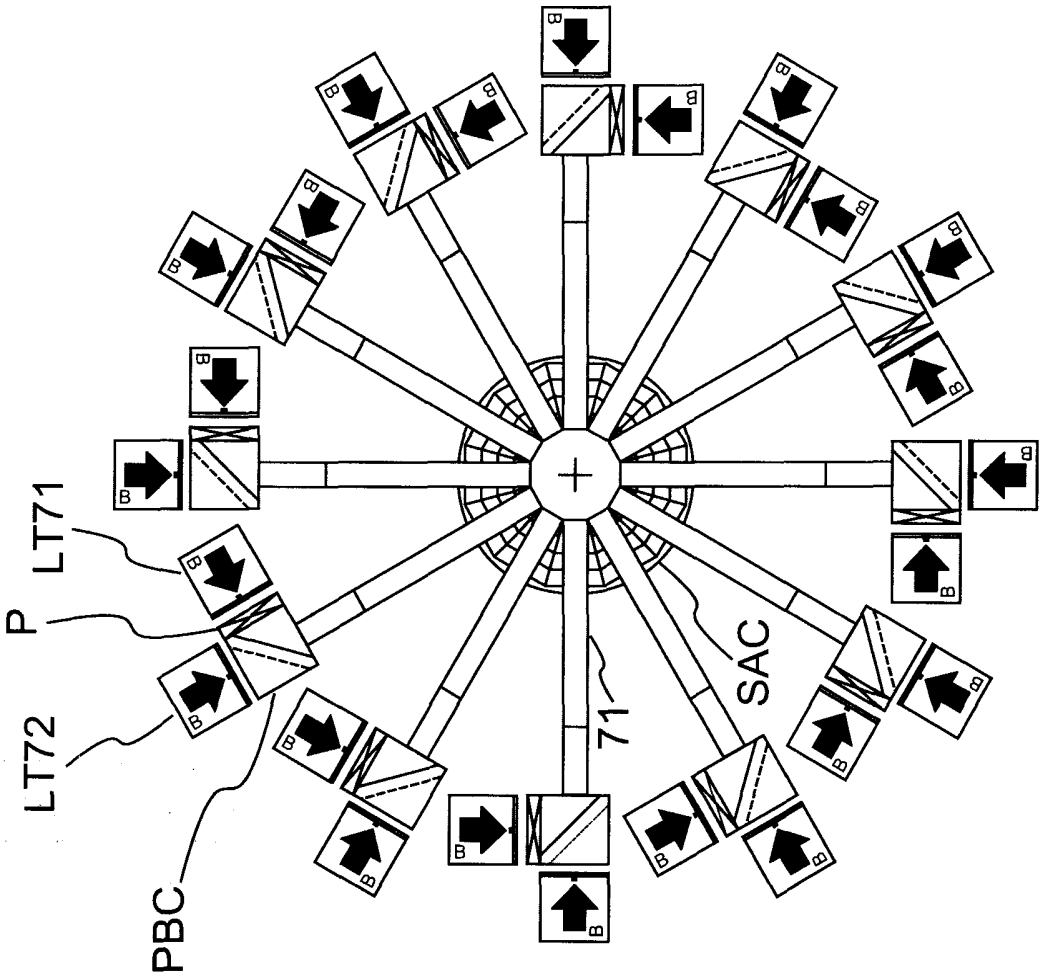


Fig. 7b

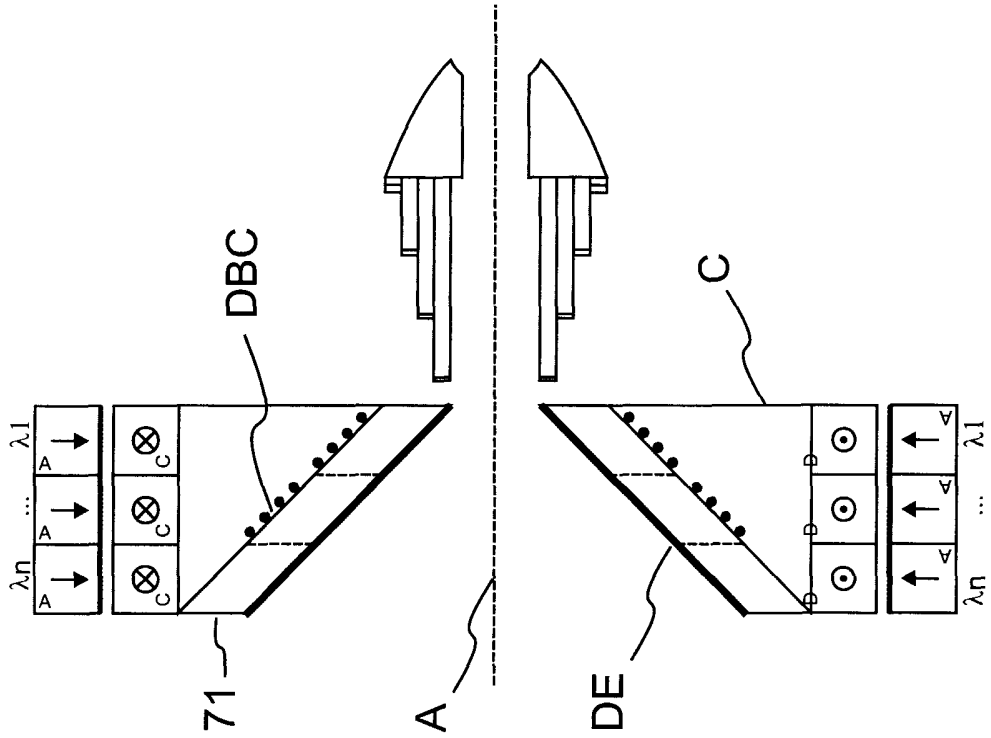


Fig. 7a

24-05-02 02:04:x

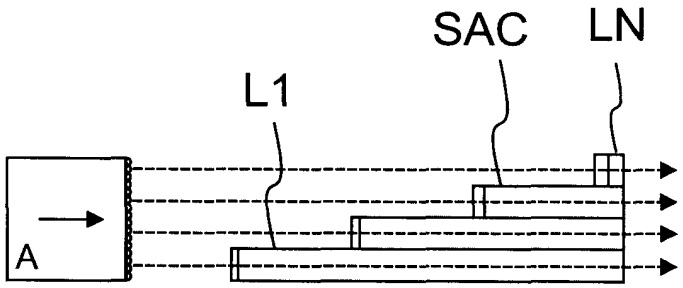


Fig. 8a

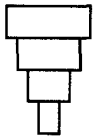


Fig. 8c

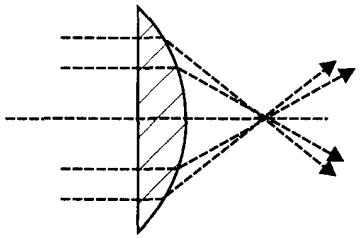


Fig. 9a

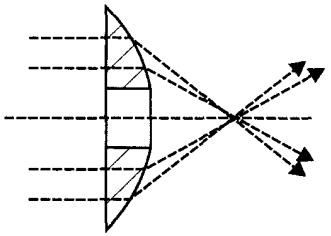


Fig. 9b

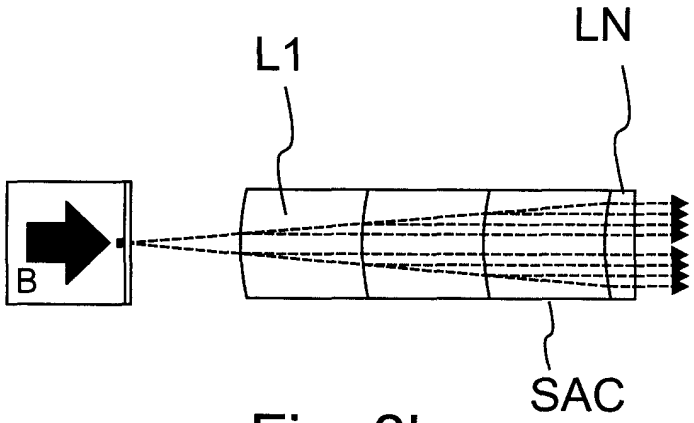


Fig. 8b

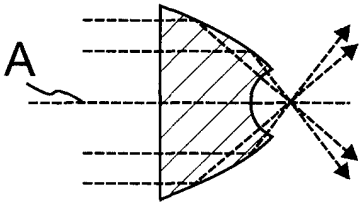


Fig. 9c

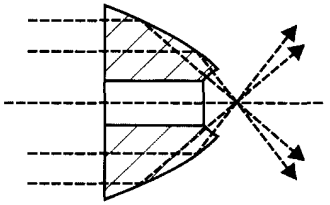


Fig. 9d

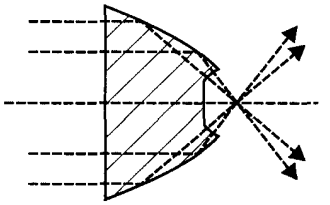


Fig. 9e

116010

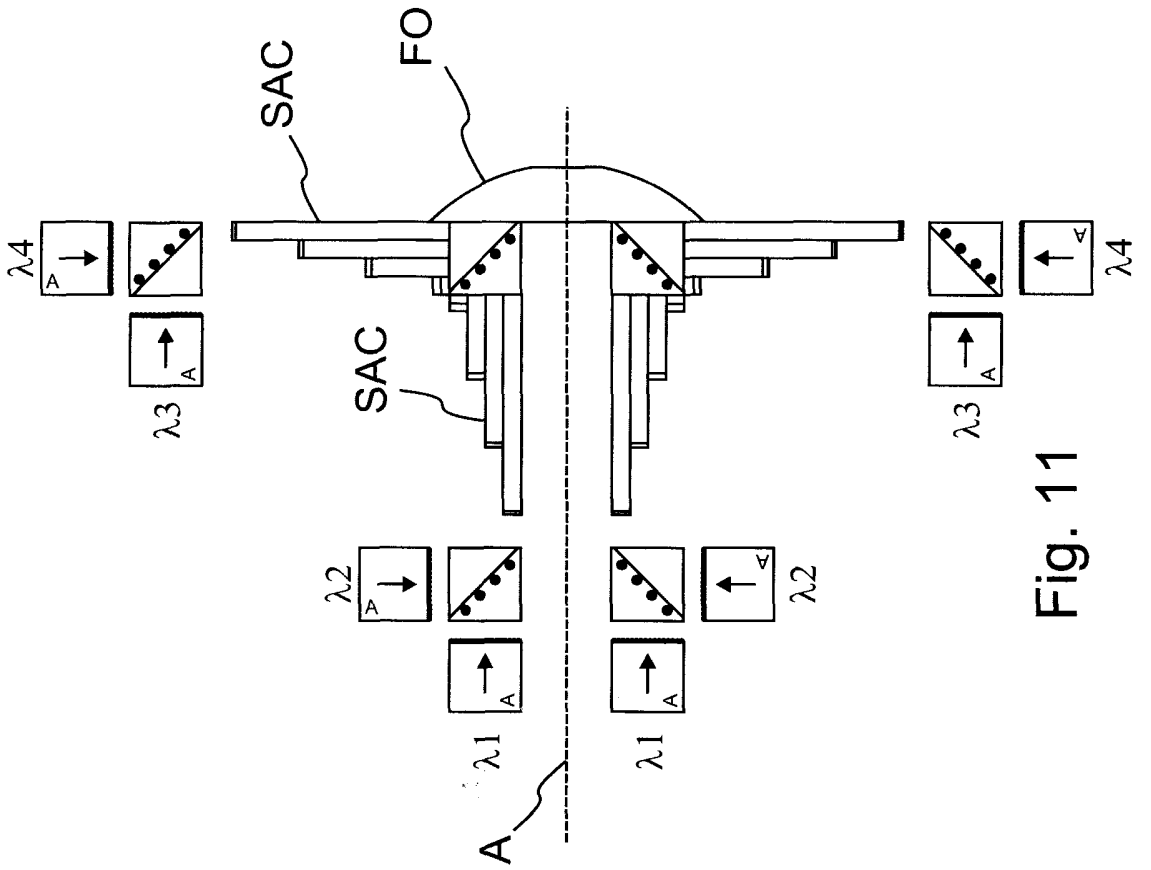

SAC
FO
SAC
λ4
λ3
λ2
λ1
A
λ1
λ2
λ3
λ4

Fig. 11

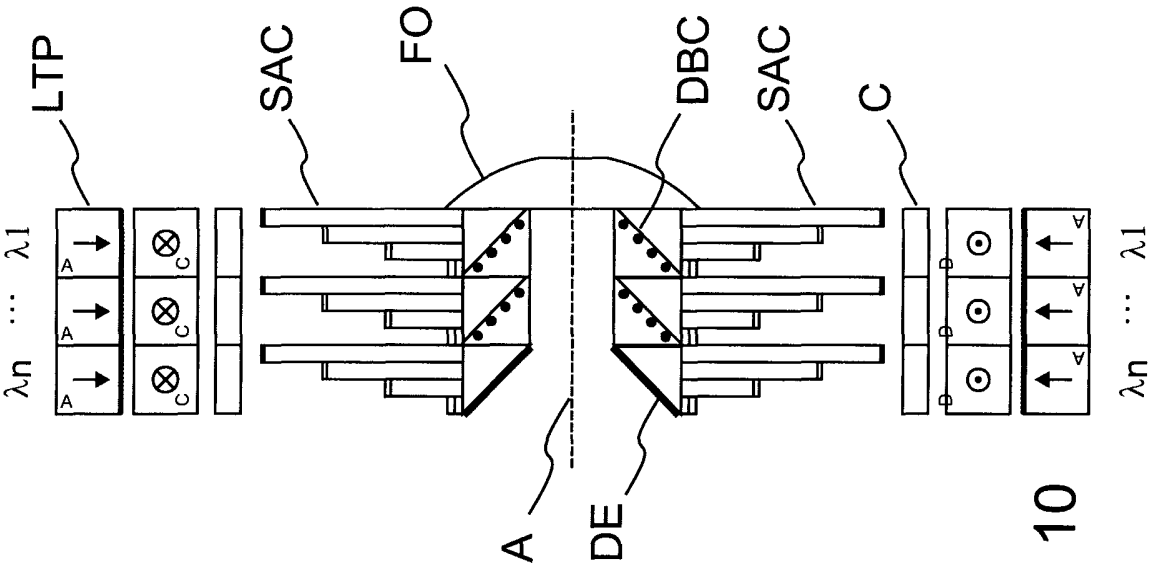

LTP
SAC
FO
DBC
SAC
C
λn ... λ1
A
DE
λn ... λ1

Fig. 10

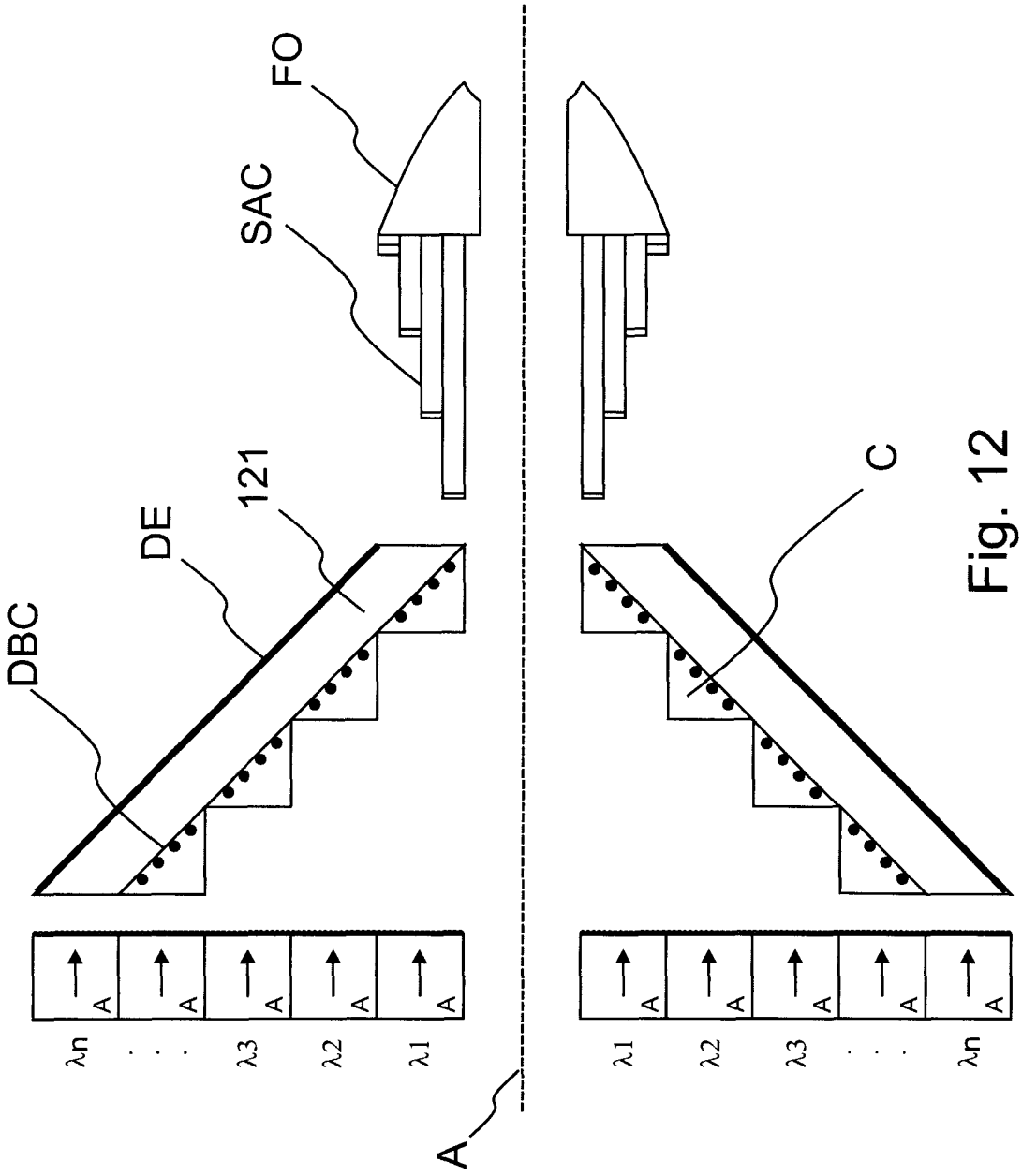


Fig. 12

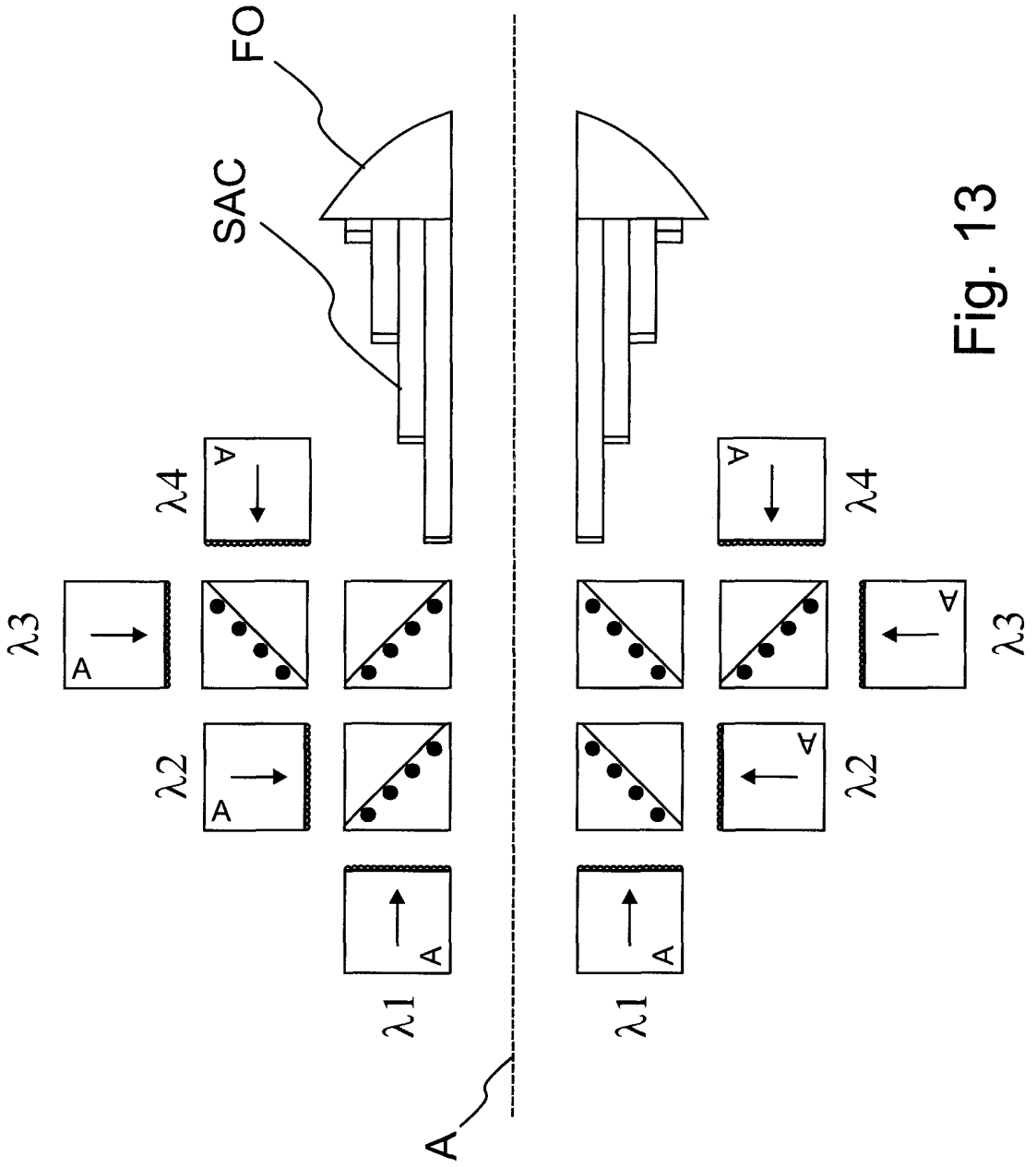


Fig. 13