



(12) **PATENTTIJULKAISU**
PATENTSKRIFT

(10) **FI 120471 B**

(45) Patenti myönnetty - Patent beviljats

30.10.2009

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

G02B 6/28 (2006.01)

(21) Patentihakemus - Patentansökning

20050215

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag

23.02.2005

(24) Alkupäivä - Löpdag

23.02.2005

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig

08.11.2006

SUOMI – FINLAND
(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

(73) Haltija - Innehavare

1 • Liekki Oy, Sorronrinne 9, 08500 Lohja AS, SUOMI - FINLAND, (FI)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1 • Tammela, Simo, Visamäki 3 E 30, 02130 Espoo, SUOMI - FINLAND, (FI)

2 • Ylä-Jarkko, Kalle, Killinkitie 2 as. 2, 13500 Hämeenlinna, SUOMI - FINLAND, (FI)

(74) Asiamies - Ombud

Berggren Oy Ab, Antinkatu 3 C, 00100 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

Optisen kuidun käsittelymenetelmä

Förfarande för behandling av optiska fiber

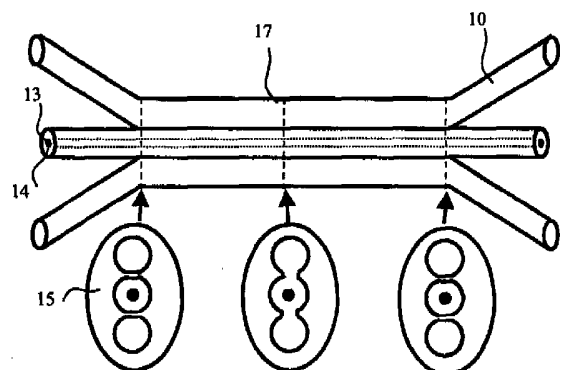
(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

EP 1054276 A1, US 4673243 A, US 4720160 A, WO 89/09942 A1

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Keksintö koskee prosessia optisen kuituliitoksen valmistelemiseksi, jossa optinen kuitu tai sen vetämätön esiaste saatetaan kosketuksiin pitkittäiselementin kanssa ja kiinnitetään siihen uraruodeliitoksella ennen lopullisen optisen kuituliitoksen vetämistä. Pitkittäiselementti voi olla toinen optinen kuitu tai sen esiaste tai poistettavissa ja/tai työstettävissä oleva siltaelementti.

Uppfinningen avser en process för att framställa en optisk fiberfog, varvid den optiska fibern eller dess odragna förstadium sätts i kontakt med ett långsträckt element och fästs vid detta med ett spontförband före dragningen av den slutliga optiska fiberfogen. Det långsträckta elementet kan vara en annan optisk fiber eller dess förstadium eller ett bryggelement som kan avlägsnas och/eller bearbetas.



Optisen kuidun käsittelymenetelmä – Förfarande för behandling av optisk fiber

Keksinnön ala

- 5 Esillä oleva keksintö liittyy optisen kuituliitoksen valmisteluprosessiin ja optisen kuitukimpun valmisteluun mainittua optisen kuituliitoksen valmisteluprosessia käyttäen. Optisia välineitä käsittävät kimput ovat käyttökelpoisia kuitulasereissa ja -vahvistimissa, erityisesti kytkettäessä valoa monimuotopumppulähteistä yhteen tai useampaan kaksoisvaippakuituun, jossa on aktiivinen elementti kuituytimessä.
- 10 Kaksoisvaippakuitulaserien lähtötehot ovat viime aikoina kasvaneet valtavasti. Viimeaikaisissa kokeiluissa on saatu satoja watteja oleellisesti yksimuotolaitteilta, mikä merkitsee, että kuitulaserit ovat vakavia kilpailijoita esimerkiksi lamppu- ja diodipumpatuille (Nd:Glass) Nd:YAG-laitteille materiaalinkäsittelyssä. Jatkuva-
- 15 aaltotoiminnan lisäksi kuitulasereilla on toteutettu pulssitettu toiminta ja pulssivahvistus aina femtosekuntialueen pulsseilla ja reilusti yli 100 kW:n huipputehoilla.

- Kaksoisvaippakuituihin perustuvilla kuitulasereilla on monia etuja puolijohdelasereihin nähden. Kaksoisvaippakuitulaserien merkittävin etu on lämpökuorman helpompi hallinta laitteessa. Tällaisilla kuiduilla pinnan suhde aktiiviseen tilavuuteen on suuri, mikä varmistaa erinomaisen lämmönhaihtumisen. Lisäksi säteen muoto-
- 20 ominaisuudet riippuvat suuresti aktiivisen ytimen ja ympäröivien materiaalien koosta ja taitekerroinprofiilista ja ovat siten riippumattomia pumpputehosta ja lämpökuormasta. Bulkkikiteitä vahvistusväliaineinaan käyttävien puolijohdelaserien sen sijaan tiedetään olevan herkkiä termisen linssiytymisen kaltaisille ilmiöille, mikä on otettava huomioon laserkaviteettia suunniteltaessa. Tässä suhteessa kuidut tarjoavat
- 25 merkittävän vakaan vahvistuselementin. Lisäksi kuitulaserin muut edut, kuten kompaktius, suuri integrointiaste, helppokäyttöisyys, kestävyys ja luotettavuus ovat syitä siihen, että suurtehokuitulasereita ja kuituvahvistimia otetaan nopeaan tahtiin käyttöön monissa kaupallisissa ja sotilaallisissa sovelluksissa, esimerkiksi mikrotyöstämisessä, lämpötulostuksessa, hitsauksessa, merkitsemisessä, lääketieteellisissä
- 30 sovelluksissa ja kaukokartoituksessa.

Perinteisissä aktiivisissa kaksoisvaippakuiduissa on harvinaisilla maametalleilla seostettu yksimuoto- tai monimuotoydin, kvartsilasista valmistettu sisempi vaippa, jonka halkaisija on useita satoja mikrometrejä, sekä toinen pienen taitekertoimen omaava ulompi vaippa, joka koostuu pienen taitekertoimen omaavasta polymeeristä

kuten silikonihartsista. Sisemmän ja ulomman vaipan välinen numeerinen aukko (NA) on välillä 0,35–0,47 pinnoitemateriaalin taitekertoimesta riippuen. Sisemmän vaipan avulla kytketään pumppusäteilyä pienivalovoimaisilta monimuotopumppulähteiltä, kuten suurtehodiilaserereilta, diodilasertangoilta ja -matriiseilta, absorboitavaksi aktiiviseen ytimeen. Tyypillisesti pumppukentän ja seostetun ytimen välinen päällekkäisyys on pientä, mikä edellyttää pitkiä laitepituuksia, jotta suurin osa pumppusäteilystä saadaan absorboitua. Pumppauksen absorptiota ydinmateriaaliin voidaan parantaa suunnittelemalla kuiturakenne siten, että yksimuotoydin ei ole ympyrämäisen vaipan keskellä, tai rikkomalla sisemmän vaipan ympyrämäisen symmetria.

Yleinen kaksoisvaippakuitulaitteisiin liittyvä ongelma on, miten kytkää riittävä määrä vähävalovoimaisia lähteitä sisempään vaippaan tehokkaasti ja ilman, että kuitulaserin kustannukset merkittävästi nousevat. Pumppukytkenäongelmaa korostaa vaatimus signaalivalon samanaikaisesta kytkennästä aktiiviseen ytimeen ja siitä ulos. Mahdollisuus pumpata valoa erikseen kaksoisvaippakuiturakenteeseen vaikuttamatta signaalin kytkentään mahdollistaa kaksisuuntaisesti pumpattavien vaippapumpattujen kuitulaserien ja -vahvistimien käytön. Kaksisuuntaisesti pumpattavien kuitulaserien ja -vahvistimien lähtötehon skaalaus on helpompaa, kun useita pumpauspisteitä voidaan lisätä kuidun varrelle. Lisäksi kaksisuuntaisesti pumpattavien rakenteiden lämmönhallinta on helpompaa. Tarkka ja vakaa signaalin kytkentä kaksoisvaippakuituihin ja -kuiduista on tullut yhä tärkeämmäksi, kun suurteho-CW-lasereissa ja lyhytpulssikuituvahvistimissa on otettu käyttöön LMA- (large mode area) tai monimuotokuituja. LMA-kuituja tarvitaan voittamaan kuidun epälineaarisuuksista johtuvat lähtötehon (lyhytpulssisovelluksilla huipputehon) rajoitukset. Näillä kuiduilla on oleellista saavuttaa perusmuodon virittyminen lähellä yksimuototoimintaa (ks. esimerkiksi US 5 818 630).

On kehitetty kuiturakenteita, jotka mahdollistavat pumppuvalon kytkennän signaalikuituun. Useimmat näistä rakenteista on optimoitu toimimaan pienemmillä teho-
 30 tasoilla ja niillä on yksimuotoydin. Lähtötehojen nostamiseksi kW-tasolle on signaalikuidun ytimen kokoa kasvatettava. Ytimen koon kasvattamista tarvitaan, jotta voidaan voittaa kuituytimen lämpörajoitukset ja kasvattaa kynnystä epälineaarisuuksille, kuten stimuloidulle Raman-sironnalle, stimuloidulle Brillouin-sironnalle ja itseisvaihmodulaatiolle. Suurtehokuitulaserissa, jossa käytetään diffraktiorajoi-
 35 tusekoittumisen ehkäisemiseksi signaaliytimessä. Myös jatkospisteiden määrä on

minimoitava, koska ne ovat muotosekoittumisen mahdollisia syntypisteitä ja kasvatavat kuidun taustahäviöitä (heikentäen siten kuitulaserin hyötysuhdetta).

Fotonikuidut

Viime aikoina on markkinoille tullut "fotonikuituja", jotka tunnetaan myös "fotonikidekuituina" (PCF-kuituina) (ks. US 6 778 562). Nämä kuidut eivät tavanomaisten kuitujen lailla täysin muodostu umpinaisesta läpinäkyvästä materiaalista kuten epäpuhtaasta piistä. Poikkileikkauksena tarkasteltaessa fotonikuidussa näkyy useita ilmareikiä jotakin kaasua tai jopa tyhjiötä varten. Näiden reikien ainoa tunnettu tarkoitus on aikaansaada kuidussa suuria taitekerroinvaihteluja, jotka kuidun epäpuhtausaineiden aiheuttamien vaihtelujen lailla ohjaavat valoa kuidussa (ks. US 6 778 562, FR 2 822 242, CA 2 362 992, WO00/49435, US 2004/071 423, US 2004/005 2484 ja CA 2 368 778).

Reiät näissä fotonikuiduissa ovat kuidun akselin suuntaisia ja kulkevat kuidussa pitkittäissuuntaisesti. Käytännössä reiät voidaan muodostaa valmistamalla aihio koamalla piilierioitä tai kapillaariputkia vedetyssä kuidussa tarvittavan reikäkuvion mukaisesti. Lopulta, kun aihio venytetään, saadaan kuitu, jossa reiät vastaavat kapillaariputkien muodostamaa kuviota. Mainitussa julkaisussa US 6 778 562 esitetään fotonikuitujen kimputus ja venytys yhdessä perinteisten optisten kuitujen kanssa, jolloin saadaan kimppurakenne, jossa on optisten kuitujen ympäröimiä fotonikuituja. Venytys tavallisesti sulkee fotonikuitujen aukot.

Optiset liitoselimet

Eräs tavallinen menetelmä valon kytkemiseksi kuituun on käyttää bulkkioptiikkaa valon kytkemiseksi suoraan pienivalovoimaisesta lähteestä (tai lähteistä) tai monimuotokuidu(i)sta kaksoisvaippakuituun. Jotta kaksoisvaippakuidun molemmat päät olisivat vapaat signaalin kytkentään, valo voidaan kytkeä kuituun bulkkiprisman avulla (ks. US 4 815 079) tai käyttämällä V-uraa, joka muodostetaan kuidun sivuun (ks. US 5 854 865 tai L. Goldberg & J. Koplow: High power side-pumped Er/Yb doped fiber amplifier, Technical Digest of the Optical Fiber Communication Conference (OFC), 2, 19-21, 1999/) kuvan 1 (a) mukaisesti. Näiden menetelmien vaikeutena on eri komponenttien sovittaminen ja kohdistaminen yhteen riittävän hyvin hyväksyttävien kytkentähyötysuhteiden aikaansaamiseksi. Bulkkikomponenttien käyttö voidaan välttää viistohiomalla monimuotokuidun pää ja kiinnittämällä kuitu kaksoisvaippakuidun kylkeen esimerkiksi juottamalla, UV-kovettamalla tai epoksioimalla (US 6 370 297) kuvan 1 (b) mukaisesti. Erilaiset pinnat ja komponentit vaati-

vat kuitenkin kiillottamista, heijastusta ehkäisevää pinnoitusta ja hyvän kohdistuksen ylläpitämistä, jotka entisestään mutkistavat valmistusta ja lisäävät näiden järjestelmien kustannuksia.

- 5 WO96/20519, US 5 999 673, "A coupling arrangement between a multi-mode light source and an optical fiber through an intermediate optical fiber length" on samantapainen pumppausjärjestely kuin US 6 370 297, mutta tässä pumppuvalo tuodaan pumppuvaippaan välikuidulla, joka fuusioidaan ja taperoidaan signaalikuituun kuvan 2 mukaisesti. Tämä vähentää lämpöaurion mahdollisuutta, mutta ei ratkaise valmistusvaikeuksia.
- 10 Toinen tapa on käyttää erillisiä komponentteja, kuten fuusioituja kuitukimppuja (US 4 291 940, US 5 864 644, US 6 397 636, US 6 434 302 ja US 6 778 562) tai fuusioituja kuitukavennuksia (US 599 673), jotka liitetään kaksoisvaippakuituihin kuvan 3 mukaisesti. Näillä ratkaisuilla vältetään bulkkioptiikkakomponenttien käyttö pumppukytkenässä, eivätkä ne myöskään edellytä mitään heijasteenestopinnoitteita kytKentäpinnoilla, koska ne ovat täysin fuusioituja ratkaisuja. Näissä ratkaisuissa tyypillisesti kimputetaan useita monimuotokuituja, jotka kuumennetaan ja venytetään niin, että ne muodostavat fuusioidun kuitukimppun, jonka läpimitta on pienempi kuin kuitukimppun kokonaisläpimitta ennen kuumennusta ja venytystä. Vaikautena hyvän siirtokyvyn saavuttamisessa monimuotovalolle kuitukimppussa on
- 20 kuidun muodonmuutosten pitäminen vähäisinä kimpun kuumennus- ja venytysprosessissa samalla, kun kuidut fuusioidaan yhteen kimpuksi, joka vastaa kaksoisvaippakuidun läpimittaa. Tämä tulisi tehdä fuusioimalla kuidut yhteen siten, että fuusioituneiden kuitujen väliin ei jää minkäänlaisia aukkoja tai epäjatkuvuuskohtia. Eräs tavallinen keino tämän saavuttamiseksi on kohdistaa jännitysvoimaa kimpun kierrettyyn tai vedettyyn osaan, minkä jälkeen kimppu kuumennetaan ja venytetään niin, että kuidut sulautuvat yhteen (US 4 291 940, US 5 864 644 ja US 6 434 302). Näitä menetelmiä käyttäen on kuitenkin vaikea valmistaa fuusioituja suurtehokimppuja, jotka sietävät yli satojen wattien lähtötehoja, koska jo muutaman mikrometrin vaihtelut fuusioitavien ympyrämäisten kuitujen halkaisijassa aiheuttavat aukon syntymisen kuitujen väliin. Näitä menetelmiä on parannettu käyttämällä esiasemateriaalia (US 6 397 636) tai valmistamalla erityinen fotonikuitu (US 6 778 562) kuitujen välisten aukkojen ilmaantumisen minimoimiseksi. Kumpikin näistä menetelmistä voi pienentää fuusioitujen kuitujen välisten aukkojen tai epäjatkuvuuksien syntymisen riskiä, mutta jäljelle jää silti ongelma, että signaalikuidun ytimen koon vaihteluja on valvottava erittäin huolellisesti kimpun sulatus- ja erityisesti venytysvaiheessa. Nämä ytimen koon vaihtelut aiheuttavat häviöitä signaaliin ja voivat
- 35

myös synnyttää korkeamman asteen moodeja, huonontaa siten kuitulaserin tai -vahvistimen säteen laatua.

Eräs toinen täyskuitukytkentärakenne on esitetty julkaisussa US 6 434 295, jossa käsitellään kuitukimppurakennetta, jossa useita monimuotopumppuja on kytketty
 5 yhteen monimuotoiseen pumppukuituun. Tämä pumppukuitu puolestaan on sijoitettu kahden kaksoisvaippakuidun väliin niin, että muodostuu fuusioitu kytkentäosa, jossa kaikilla kuiduilla on yhteinen sisempi vaippa ja kaksi kolmasosaa pumppuvalosta kytkeytyy kaksoisvaippakuituun. Kytkeytynyt pumppuvalo kulkee eteenpäin kuitusilmukkaan, jonka pituus tyypillisesti vastaa 10 dB pumppuabsorptiota. Jään-
 10 nöpumppuvalo etenee pumppukuidussa toiseen kytkentämoduuliin, jossa jälleen absorboituu kaksi kolmasosaa pumpputehosta. Tämän keksinnön lähestymistapa on samantapainen kuin fuusoidun kuitukimppun käyttö siinä mielessä, että pumppuvalo kytketään kaksoisvaippakuituun käyttäen erillisiä kytkentämoduuleja. Vahvistinkuidut on järjestetty pumppukuidun ympärille, ja kuumennus- ja kuidunvetoparametrit fuusoidun liitoksen muodostamiseksi valitaan siten, että varmistetaan hyvä
 15 sulaminen kuidun sisemmän vaipan ja kvartsilasikuidun välillä. Valitettavasti kytkentäelimien valmistus tapahtuu yhä erikseen ja on erittäin herkkää kaikille mahdollisille fuusiointiprosessin häiriöille, jotka voivat synnyttää korkeamman asteen moodeja ja aiheuttaa ylimääräisiä signaali- ja pumppuhäviöitä. Siksi tällaisten kytkentäelimien käyttö LMA-kuituihin perustuvissa suurtehokuitulasereissa tai -vah-
 20 vistimissa aiheuttaa lisävaikeuksia, kun säteen laatu on pidettävä lähellä yksimuotokäyttäytymistä.

Keksinnön yhteenveto

Edellä esitettyjen tekniikan tason mukaisten optisten laitteiden, kuten kuitulaserien,
 25 -kytkentäelimien ja -vahvistimien valmistus edellyttää kavennus- ja venytystoimennepiteitä, jotka aiheuttavat vaihteluja kuitujen poikkileikkaukseen, erityisesti yksi- ja kaksoisvaippakuitujen ytimen poikkileikkauksiin. Tämä johtaa laitteiden tuottaman säteen laadun heikentymiseen. Lisäksi laitteet edellyttävät useita valmistusvaiheita, mikä tekee niiden valmistamisesta työlästä ja kallista. Laitteita on myös vaikea kyt-
 30 keä toisiinsa ja laseriodien kaltaisiin valolähteisiin, etenkin jos käytetään useita diodeja (kuidun varrelle on sijoitettu useita pumppauspisteitä).

Tämän keksinnön tavoitteena on toteuttaa täyskuituinen fuusiointimenetelmä monimuotopumppuvalon kytkemiseksi kuituun. Tällainen järjestely saavutetaan ilman kavennus- ja venytysprosesseja, jotka aiheuttaisivat ytimen koon vaihteluja ja siten
 35 heikentäisivät kuitulaserien ja -vahvistimien säteen laatua.

Keksinnön eräänä toisena tavoitteena on integroida pumppuvalon syöttötoiminnallisuus kaksoisvaippakuituun kuidun valmistusprosessissa ytimen koon vaihtelun minimoimiseksi ja erillisten pumppuliittimien valmistustarpeen välttämiseksi.

5 Lisäksi tämän keksinnön tavoitteena on mahdollistaa kuituvahvistusväliaineen pumppaus useilla erillisillä kuitukytketyillä laserdiodeilla hajautetussa pumppausarkkitehtuurissa (useita pumppauspisteitä kuidun varrella).

Edellä mainitut ongelmat on nyt ratkaistu optisia kuituja sisältävällä kimpulla, jolle on oleellisesti tunnusomaista, että optisista kuiduista ainakin kaksi on kiinnitetty toisiinsa pituussuuntaisesti ainakin yhden pitkittäiselementin avulla. Tämä pitkittäiselementti voi olla optinen kuitu tai sen vetämätön esiaoste tai siltauselementti, joka on työstettävissä ja/tai poistettavissa mainittujen kahden kuidun irrottamiseksi toisistaan. Kuidut liitetään yhteen prosessissa, jossa optinen kuitu tai sen vetämätön esiaoste saatetaan kosketuksiin pitkittäiselementin kanssa ja kiinnitetään siihen uraruodeliitoksella ennen lopullisen kuituliitoksen vetämistä. Muodostuvalla uuden-
15 tyypisellä mikrorakennekuidulla on monia etuja.

Optisella kuitukimpulla tarkoitetaan tässä mitä tahansa kuitukimppua, joka kykenee vastaanottamaan optista signaalia, vahvistamaan sitä ja/tai muuntamaan sitä ja/tai lähettämään sitä eteenpäin. Optisella kuidulla eli valokuidulla tarkoitetaan sekä normaalia kuitua, joka välittää optista signaalia, että sen esiaostetta tai puolivalmistetta. Näin ollen perinteisesti tarkoitettujen kuitukimppujen lisäksi myös lasitankojen ja -putkien kimput voidaan keksinnön mukaisesti varustaa työstettävällä ja/tai poistettavalla siltauselementillä ja valinnaisesti se voidaan niistä ainakin osittain poistaa sen jälkeen, kun ne on venytetty perinteisesti tarkoitetuksi kuitukimpuksi. Ilmaisulla "kiinnitetty toisiinsa pituussuuntaisesti" tarkoitetaan, että optiset kuidut
25 kiinnitetään toisiinsa koko pituudeltaan tai vain osalta niiden koko pituutta.

Ilmaus "työstettävissä ja/tai poistettavissa" tarkoittaa ensinnäkin, että siltauselementin materiaali on työstettävissä ja/tai poistettavissa jotakin työstömenetelmää käyttäen. Toiseksi, ilmaus tarkoittaa, että siltauselementti on siten rakennettu, järjestetty ja/tai sellaista materiaalia, että se on työstettävissä ja/tai poistettavissa. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi, että ympäröivien kuitujen väliin on muodostettu rakoja, joiden kautta siltauselementtejä voidaan työstää ulkoisesti. Se voi myös tarkoittaa, että siltauselementissä on reikä, jonka kautta sitä voidaan työstää sisäisesti. Luonnollisesti kyseeseen voi myös tulla mainittujen sisäisen ja ulkoisen saavutettavuuden yhdistelmä. Esimerkkejä siltauselementeistä on esitetty keksinnön yksityiskohtaisessa
30 kuvauksessa, joka seuraa alempana. Työstämisellä tarkoitetaan mitä tahansa toimin-
35

taa, joka on kohdistettu ja aiheuttaa muutoksia siltauselementtiin tai siltauselementin ja optiset kuidut yhdistävään materiaaliin. Käytännössä se voi tarkoittaa työstämistä fyysisin välinein, kuten laserilla, tai mekaanisin välinein, kuten kovametallista valmistetulla terällä. Se voi myös tarkoittaa työstämistä kemiallisin välinein, kuten syövyttämistä, uuttamista tai liuottamista.

Poistamalla yksi tai useampia osuuksia poistettavasta pitkittäisestä siltauselementistä kyseisten osuuksien optiset kuidut vapautuvat toisistaan ja niitä voidaan käyttää optiseen kytkentään, joka voi tapahtua kuitukimpun päässä ja/tai keskellä. Siten keksintö mahdollistaa kuitulaserin pumppauksen yhdestä pisteestä yli 1 kW:n tehoilla, sekä tämän pumpputehon jakamisen useisiin pisteisiin ja sen jakamisen kuitulaserin koko pituudelle ilman mitään lisäsignaaliitoksia matkan varrella. Kuidut on rakenteessa kiinnitetty toisiinsa siltauselementillä niin, että ne muodostavat yhtenäisen täysin fuusoidun kuiturakenteen.

Esillä olevassa keksinnössä sekä optinen kuitu että sen kytkentävälineet valmistetaan yhdessä erittäin yksinkertaisella ja taloudellisella tavalla. Tämä esimerkiksi aktiivisen kuidun ja sen pumppuliitoksen integroitu valmistus on noin 20 % halvempaa kuin valmistus erillisinä. Lisäksi voidaan välttää ei-toivottuja vaihteluja sellaisen tuotteen mekaanisissa ja optisissa ominaisuuksissa.

Keksinnön yksityiskohtainen kuvaus

Optiset kuitukimput valmistetaan erityistä prosessia käyttäen optisen kuituliitoksen valmistamiseksi. Prosessissa optinen kuitu tai sen vetämätön esiaste saatetaan kosketuksiin pitkittäiselementin kanssa ja kiinnitetään siihen niin, että ensimmäinen mainituista optisesta kuidusta tai sen esiasteesta ja mainitusta pitkittäiselementistä on varustettu ruoteella ja toinen mainituista optisesta kuidusta tai sen esiasteesta ja mainitusta pitkittäiselementistä on varustettu uralla, ruode sovitetaan uraan, optinen kuitu tai sen esiaste ja pitkittäiselementti kiinnitetään toisiinsa ja, optisen kuidun esiasteen tapauksessa, kiinnitetyt optinen kuitu ja optisen kuidun esiaste vedetään, jolloin muodostuu mainittu optinen kuituliitos. Pitkittäiselementti voi olla optinen kuitu tai sen vetämätön esiaste tai siltauselementti, joka on työstettävissä ja/tai poistettavissa mainittujen kahden kuidun irrottamiseksi toisistaan.

Mainitut pitkittäiselementit voivat olla varustettuja useilla rinnakkaisilla vuorottelevilla ruoteilla ja urilla, jotka mainittujen pitkittäiselementtien ruoteet ja urat kiinnittyvät toisiinsa. Edullisimmin rinnakkaiset vuorottelevat ruoteet ja urat muodostavat

kaksi sahamaista kuviota, jotka kiinnittyvät toisiinsa. Optinen kuitu tai sen esiaste ja pitkittäiselementti kiinnitetään toisiinsa fuusioimalla eli yhteensulattamalla.

5 Täten, siltauselementtiä poistettaessa (syövyttämällä, sulattamalla, leikkaamalla jne.), optisten kuitujen irrottaminen lisäkytkentöjä varten on helppoa. On edullista, mikäli kuidut kiinnitetään välimatkan päähän toisistaan siten, että siltauselementti on saavutettavissa mainittua työstämistä varten. Näin on erikoisesti silloin, kun siltauselementin työstäminen kuitujen irrottamiseksi tapahtuu ulkoapäin (vastakohtana sisäpuoliselle työstämiselle esimerkiksi syövyttämällä siltauselementissä olevan rei-

10 Keksinnön erään suoritusmuodon mukaan siltauselementti koostuu materiaalista, jolla on oleellisesti sama taitekerroin kuin kuitujen ulkokerroksella. Edullisimmin siltauselementti on tehty samasta materiaalista kuin kuitujen ulkokerros. Tällöin siltauselementti ei pelkästään toimi kiinnitysvälineenä kuitujen välillä, vaan on myös optisesti aktiivinen ja auttaa valon ohjaamisessa. Yleensä se auttaa valon levittämi-

15 sessä lisäten siten esimerkiksi pumppuvalon muotosekoittumista ja pumppuvalon absorptiota aktiiviseen kuituun. Tyypillisesti siltauselementin materiaali on valoa kuljettavaa materiaalia kuten kvartsilasia tai materiaalia, joka on helpommin työstettävissä ja/tai poistettavissa kuin optisten kuitujen materiaali. Edullisimmin materiaali on jollakin aineella, kuten fosforilla, seostettua kvartsilasia, jolloin siltauselementin kvartsilasin epäpuhtaus tekee siitä työstettävää/poistettavaa. Jotta valo pääsi esteettä etenemään siltauselementissä, tämä on edullisesti kiinnitetty ainakin yhteen kuidusta fuusioimalla. Tällöin mikään rajakerros ei estä pumppusäteilyä le-

20 viämistä siltauselementin läpi ja absorboitumasta laseriin.

Siltauselementti on keksinnön mukaisesti siten rakennettu ja kiinnitetty, että se on

25 työstettävissä ja/tai poistettavissa teknisesti hyväksyttävällä tavalla. Se voidaan kiinnittää kuituihin normaaliin tapaan fuusioimalla. Kuitujen ja siltauselementin kiinnittämiseksi määrättyllä tavalla, joka mahdollistaa siltauselementin työstämisen, on edullista käyttää kiinnittämisessä koiras-naaras-liitosta. Edullisimmin liittäminen tapahtuu kiinnittämällä toisiinsa joukko kyseisissä siltauselementissä ja kuiduissa olevia vuorottelevia ruoteita ja uria, so. koiras- ja naaraspontteja. Ruoteet ja urat voidaan tehdä esimerkiksi sahaamalla. Koiras-naaras-liitoksen jälkeen siltauselementti ja kuidut voidaan edullisesti fuusioda eli sulattaa yhteen optisesti yhtenäisen liitoksen aikaansaamiseksi.

30

Keksinnön eräessä suoritusmuodossa siltauselementti on erillinen elementti, johon

35 mainitut kimpun vähintään kaksi kuitua kiinnitetään. Edullisimmin se on kaviteetin

tai reiän sisältävä pitkittäiselementti, jota voidaan työstää sisäisesti mainitun kapillaarin kautta. Tällaisella elementillä on kaksi etua. Ensinnäkin, sen poistamattoman osan kaviteetti tai reikä voidaan täyttää funktionaalisella aineella, joka muuttaa kimpun ominaisuuksia, erityisesti optisia ominaisuuksia. Yksi tällainen aine on optista kuormitusta aiheuttava materiaali. Toiseksi, elementin poistamiseksi vähintään osittain voidaan kaviteettiin tai reikään imeä tai puristaa syövyttävää ainetta, joka syövyttää osuuden pois ja vapauttaa kuidut. Viimemainittua tarkoitusta varten ohuet seinämät ovat edulliset. Siksi kaviteetin tai reiän sisältävän siltauselementin seinämällä on pienempi poikkileikkauspinta-ala kuin kuiduilla. Edullisimmin siltauselementti on yksireikäinen kapillaari. Kapillaari eroaa tekniikan tason mukaisista monikapillaarifotonikuiduista, joiden kapillaarit ovat useimmiten suljettuja ja sisähalkaisijat erisuuruiset johtuen käytetyistä kuidunvetomenetelmistä ja/tai niin ohuet, että funktionaalisten aineiden käyttö on teknisesti mahdotonta. Edullisimmin reiän halkaisija on 20–200 µm.

15 Keksinnön erään toisen suoritusmuodon mukaisesti pitkittäinen siltauselementti on ulkonema, joka työntyy esiin ja kulkee yhden kuidun sivulla ja kiinnittyy toiseen kuituista. Kun tällainen ulkonema kiinnitetään toiseen kuituun fuusioimalla, se yhdistää kuidut. Ulkonema voidaan sitten poistaa esimerkiksi sahaamalla tai laserhittsaamalla, ks. alla, jolloin kuidut vapautuvat toisistaan. Edullisimmin ulkonema
20 kiinnittää kuidun, jonka kyljessä se kulkee, toiseen kuituun mainitulla koirasnaaras-liitoksella. Edullisimmin kiinnittäminen tapahtuu koiras-naaras-liitoksella, jota seuraa fuusio eli yhteensulattaminen.

Keksinnön erään suoritusmuodon mukaisesti siltauselementti on uhrauskerros, joka tyypillisesti ympäröi optista kuitua. Tämä vaippamateriaali on edullisimmin kvartsilasia, joka on seostettu materiaalilla, kuten fosforilla, joka kasvattaa märkäsyövytysnopeutta. Optiset kuidut liitetään yhteen tämän uhrauslasikerroksen avulla. Kuidut on kiinnitetty mainittuun siltauselementtiin siten, että ympäröivien kuitujen väliin on pinnoitemateriaaliin muodostettu rakoja, joiden kautta siltauselementtejä
30 voidaan työstää ulkoisesti. Uhrauskerros voidaan sitten poistaa märkä- tai kuivasyövytyksen avulla, jolloin kuidut vapautuvat toisistaan. Edullisimmin uhrauskerros kiinnittää kuidun, jonka kyljessä se kulkee, toiseen kuituun mainitulla koirasnaaras-liitoksella. Edullisimmin kiinnittäminen tapahtuu koiras-naaras-liitoksella, jota seuraa fuusio eli yhteensulattaminen.

Keksinnön mukaisesti siltauselementtien määrä voi vaihdella. Vaikka tässä on painotettu rakenteita, joihin kuuluu vain yksi useita optisia kuituja yhdessä pitävä siltauselementti, ks. alla, keksinnön suojapiiri kattaa myös kimput, joissa on useampi

kuin yksi siltauselementti. Ks. esimerkiksi kuva 7, joka esittää kahden siltauselementin käyttöä.

On edullista, jos suurin osa kimpun pituudesta käsittää mainitusta valoa kuljettavasta materiaalista koostuvia kuituja ja siltauselementtiä ympäröivän ulomman vaipan.
5 Vaippa edullisimmin koostuu materiaalista, jolla on pienempi taitekerroin kuin valoa kuljettavalla materiaalilla.

Keksinnön eräessä vaihtoehdossa kuidut ja siltauselementti on järjestetty geometriaan, joka mahdollistaa taivuttamisen vain rajattuun määrään geometrian määrittämiä suuntia. Edullisimmin kimpun kuidut on järjestetty geometriaan, jolla on merkittävästi suurempi leveys yhdessä suunnassa kuin muissa suunnissa, jolloin se mahdollistaa taivuttamisen vain mainitun yhden suunnan akselin ympäri.
10

Keksinnön mukaisen kimpun optiset kuidut voivat olla minkä tyyppisiä tahansa ja niitä voi olla mikä määrä tahansa, aiotusta sovelluksesta riippuen. Edullisimmin optiset kuidut valitaan yksivaippakuiduista, joiden ytimellä on suurempi taitekerroin kuin mainitulla valoa kuljettavalla materiaalilla ja joilla on mainittua valoa kuljettavaa materiaalia oleva vaippa, ja monimuotokuiduista, jotka koostuvat oleellisesti mainitusta valoa kuljettavasta materiaalista. Tyypillisesti yksivaippakuidut ovat signaalikuituja tai niiden esiasteita ja monimuotokuidut ovat pumppukuituja tai niiden esiasteita. Esiasteella tarkoitetaan tässä, että ne voivat olla vetämättömiä tankoja ja/tai pitkittäiselementtejä, jotka vasta sitten, kun ne päällystetään edellä mainitulla ulommalla vaipalla ja/tai vedetään, muodostavat toimivia signaali- tai pumppukuiturakenteita. Signaalikuiduilla voi kuitenkin olla myös useita vaippakerroksia, jos niin halutaan, esimerkiksi kuidun ominaisuuksien parantamiseksi. Signaalikuiduilla on myös ydin (13), jossa signaalivalo etenee. Kuidun 12 ydin 13 voi olla seostettu aktiivisilla atomeilla, kuten erbiümilla (Er), neodyymillä (Nd) tai ytterbiumilla (Yb), tuliumilla (Th) tai muiden harvinaisten maametallien atomeilla vahvistuksen aikaansaamiseksi laserissa tai vahvistimessa mainittujen atomien optisen virittämisen tai pumppauksen avulla. Tyypillisesti pumppukuiduilla ei ole vaippakerroksia. Pumppukuiduissakin vaippakerrosten käyttö kuiturakenteen ominaisuuksien parantamiseksi on kuitenkin edullista joissain tapauksissa.
15
20
25
30

Keksinnön mukaisen laitteen kimpulla on tyypillisesti rakenne, jossa yksi yksivaippakuiduista ja yksi monimuotokuiduista on vierekkäisesti kiinnitetty toisiinsa siltauselementin avulla. Erään pääsuoritusmuodon mukaisesti yksivaippakuitu, siltauselementti ja monimuotokuitu on mainitussa järjestyksessä järjestetty rinnakkaisesti kohdistettuun muodostelmaan ja niitä ympäröi ulompi vaippa. Silloin elementeillä
35

- voi olla eri poikkileikkauspinta-alat, esimerkiksi monimuotokuidulla voi olla suurempi poikkileikkauspinta-ala kuin yksivaippakuidulla ja siltauselementillä, jolloin muodostuu nk. avaimenreikäprofiili. Eräs toinen rakenne saadaan, jos yksi yksivaippakuiduista on rinnakkain kohdistettu, ulospäin suuntautuvassa järjestyksessä,
- 5 kahden siltauselementin ja kahden monimuotokuidun kanssa ja niitä ympäröi ulompi vaippa (ks. esimerkkejä alla). Yksi siltauselementti voidaan kiinnittää kolmeen monimuotokuiduista ja yhteen yksivaippakuiduista ja ympäröidä ulommalla vaipalla. Tämä rakenne voidaan järjestää siten, että sillä on neliapilan muotoinen poikkileikkaus.
- 10 Eräs merkittävä etu keksinnön mukaista siltauselementtiä käytettäessä on, että se on helposti poistettavissa optisten kuitujen irrottamiseksi toisistaan. Näin keksinnön mukaisella kimpulla voi olla osuus, joka koostuu mainituista vähintään kahdesta toisistaan irrotetusta optisesta kuidusta. Irrottaminen suoritetaan ainakin osittain työstämällä ja/tai poistamalla vastaavanpituinen osuus siltauselementistä kuitujen
- 15 välissä. Tyypillisesti mainittu siltauselementin osuus on poistettu käyttäen menetelmää, joka on jokin seuraavista: märkäsyövytys, kuivasyövytys, CO₂-, UV- ja ultranopea lasermikrotyöstö sekä ionijyrsintä tai jokin mainittujen menetelmien yhdistelmä.
- Mikäli kimpun raakamateriaalissa on kuituja ja siltauselementtiä ympäröivä ulompi
- 20 vaippa, se poistetaan ennen siltauselementin poistoa, esimerkiksi leikkaamalla ja/tai sulattamalla.
- Keksinnön eräessä suoritusmuodossa kimppu on irrallisista optisista kuiduista koostuva päätyosa. Tyypillisesti, sen jälkeen kun optiset kuidut on irrotettu toisistaan kimpun päätyosassa, kuidut päällystetään (uudelleen) yksittäin oleellisesti samalla
- 25 materiaalilla kuin mainitun ulomman vaipan materiaali. Mikäli vähintään yksi kimppuosuus on kaventuva, kaventuva kimppuosuus muodosti kaventuvan päätyosan. Mikäli kimpun toinen pää on kaventuva, kimppu voi muodostaa tyypillisen liitännälaitteen. Keksinnön eräessä toisessa suoritusmuodossa kuitukimppu koostuu kimppuosuudesta, jossa vähintään kaksi optista kuitua on irrotettu toisistaan. Tällai-
- 30 sessa kimpun välisuudessa vähintään yksi kuiduista edullisimmin katkaistaan optisen yhteyden muodostamiseksi. Mainittu kimppuosuus voi olla kimpun toinen päätyosa. Jos kimpun toinen pää koostuu optisista kuiduista, jotka myös on irrotettu toisistaan, kimppu voi muodostaa tyypillisen kuituvahvistinlaitteen.
- Tämä keksintö koskee prosessia optisen kuituliitoksen valmistelemiseksi niin, että
- 35 syntyy optinen rakenne. Lisäksi keksintö koskee prosessia optisia kuituja sisältävän

kimpun valmistelemiseksi. Keksinnön mukaisesti kimppu valmistellaan kiinnittämällä vähintään kaksi sen optista kuiduista toisiinsa pitkittäissuuntaisesti vähintään yhden pitkittäiselementin avulla. Tämä pitkittäiselementti voi olla optinen kuitu tai sen vetämätön esiaste tai siltauselementti, joka on työstettävissä ja/tai poistettavissa mainittujen kahden kuidun irrottamiseksi toisistaan. Tämän prosessin yksityiskohdat on esitetty edellä kimppuun liittyen ja alla patenttivaatimuksissa 1–48.

Keksinnön tärkeimmät edut ovat seuraavat:

- Toteuttaa mekaanisesti luotettavan ja vakaan kytkennän laseraaltoputkesta pumppuaaltoputkeen päätypumppausjärjestelyihin verrattuna
- 10 - Kuitupituus voidaan määritellä vetämisen jälkeen
- Pumppukuidun geometria ja aktiivisen kuidun geometria voidaan valita toisistaan riippumattomasti
- Saavutetaan kuitugeometriat, jotka mahdollistavat valmiin kuidun taivuttamisen vain rajattuun määrään suuntia
- 15 - Erinomainen ja taloudellisesti tehokas optinen kytkentä pumppuaaltoputkesta signaaliaaltoputkeen
- Parantunut M^2 -arvo ja sädeparametrituote
- Tehokas energian siirto pumppuvalosta seostettuun ytimeen pumppuvaiipan ei-ympyrämäisen geometrian ansiosta, joka pakottaa valonsäteet kohtaamaan ytimen
- 20 - Vähemmän toimintavaiheita laserlaitteita valmistettaessa
- Vapaus käyttää useita pumppausjärjestelyjä

Keksintöä selostetaan seuraavassa yksityiskohtaisemmin eräiden esimerkkien ja seuraavien piirustusten avulla:

- 25 Kuva 1 (Tekniikan taso) (a) esittää V-ura-sivupumppausta, (b) esittää viistohiontasivukytkeä.
- Kuva 2 (Tekniikan taso) esittää kytkentäjärjestelyä monimuotovalonlähteen ja optisen kuidun välillä käyttäen optista välikuitua.
- 30 Kuva 3 (Tekniikan taso) esittää fuusioitua monimuotoliitosta, jossa on signaalkuitu fuusoidun kimpun keskellä. Liitos on lisäksi haaroitettu aktiiviseen kaksoisvaippakuituun.
- Kuva 4 esittää kahden siltauselementin yhteen liittämistä keksinnön mukaisesti.

- Kuva 4a) esittää aihioita ennen yhteen liittämistä käytettäessä kapillaariputkia ja b) kokolasisia liitoksia siltauselementteinä.
- Kuva 5 esittää keksinnön mukaisen kimpun apilanmuotoista suoritusmuotoa.
- Kuva 6 esittää keksinnön mukaisen kimpun avaimenreiänmuotoista suoritusmuotoa.
- 5 Kuva 7 esittää keksinnön mukaisen kimpun kaksoisavaimenreiänmuotoista suoritusmuotoa.
- Kuva 8 esittää kimpun lineaarisesti kohdistettua ja kompaktia suoritusmuotoa.
- Kuva 9 esittää kimpun erästä toista kompaktia suoritusmuotoa.
- 10 Kuva 10 esittää keksinnön mukaisen kimpun apilanmuotoista suoritusmuotoa, jossa siltauselementti on optisen kuidun uhrattava vaippakerros.
- Kuva 11 esittää keksinnön mukaista kuitulaser- tai kuituvahvistinkimppua.
- Kuva 12 esittää erästä toista keksinnön mukaista kuitulaser- tai kuituvahvistinkimppua.
- 15 Kuva 13 esittää keksinnön mukaista pumppuliitintä.
- Kuva 14 esittää erästä toista keksinnön mukaista lineaarisesti kohdistettua kuitulaseria tai -vahvistinta.

Tämä keksintö mahdollistaa kuitulaserin pumppauksen yhdestä pisteestä yli kW:n tehoilla, sekä pumpputehon jakamisen useisiin pisteisiin ja sen jakamisen kuitulaserin koko pituudelle ilman mitään lisäsignaaliliitoksia matkan varrella. Rakenteessa signaalikuitu (tai kuidut) ja pumppukuitu (tai kuidut) fuusioidaan eli sulatetaan yhteen siltauselementin (tyypillisesti kapillaariputken) avulla yhtenäisen täysin fuusioituneen sisävaipparakenteen muodostamiseksi, jossa pumppuvalo etenee vapaasti signaali- ja pumppukuidun välillä ja välittää pumppuvalon aktiiviseen ydinelementtiin. Kuidut voidaan irrottaa toisistaan poistamalla kapillaariputki niiden välistä esimerkiksi syövyttämällä tai lasermikrotyöstämällä (CO₂-, excimer- tai ultranopeat laserit) tai ionijyrsimällä. Kaikki kuidut ovat sitten käsiteltävissä tavanomaisilla fuusioitustekniikoilla monimuotokuitujen tai fuusioitujen monimuotokuitukimppujen liittämiseksi pumppukuituihin. Myös signaalikuitu, jolla on seostettu ydin, voidaan liittää tulo- ja lähtösignaalikuituun. Irrotusprosessissa ei tapahdu seostetun

20

25

30

ytimen halkaisijan muodonmuutosta, joten tulo- ja lähtösignaalikuidun välinen liitos voidaan sovittaa hyvin ilman ei-toivottujen korkeamman asteen moodien syntymistä.

Siltauselementeillä on rakenteessa kolme tehtävää. Ensinnäkin fuusioida aktiiviset kuituelementit ja pumppukuitu (tai kuidut) yhtenäisen täysin fuusioidun sisävaipparakenteen muodostamiseksi, jossa rakenteessa pumppuvalo etenee vapaasti signaali- ja pumppukuidun välillä ja välittää pumppuvalon aktiiviseen ydinelementtiin kuvien 5, 6 ja 7 mukaisesti. Toiseksi, siltauselementti toimii erotuselimenä pumppuvalon injektioimiseksi, koska se voidaan irrottaa paikallisesti esimerkiksi syövyttämällä tai laserleikkauksella niin, että kuitu komposiittikuidun päästä jää vapaaksi signaali- ja pumppukuitujen liittämistä varten. Kolmanneksi, se antaa lisätoiminnallisuutta kaksoisvaippalaitteelle. Esimerkiksi tapauksessa, jossa kapillaariputki toimii siltauselementtinä, kapillaariputken keskellä oleva ilmareikä parantaa pumppuvalon muotosekoittumista rakenteessa ja siten parantaa pumppuvalon absorptiota aktiiviseen kuituun. Lisäksi rakenteessa oleva ilmareikä voidaan täyttää jollakin sopivalla materiaalilla esimerkiksi kuidun kahtaistaitteisuuden lisäämiseksi.

Kunkin elementin määrä rakenteessa voi vaihdella riippuen sovellusten erilaisista tarpeista. Rakenne voi koostua yhdestä tai useammasta pumppukuidusta samoin kuin useista signaalikuiduista. Ilman aktiivista ydinelementtiä fuusioitu kimppu toimii puhtaasti pumppuliitoksena. Myös aktiiviset ja pumppauselementit toisiinsa fuusioivien kapillaariputkien määrä voi vaihdella. Kuitujen fuusiointi voidaan toteuttaa myös ilman kapillaariputkien käyttöä kuvien 8, 9 ja 10 mukaisesti. Kuvien 8 ja 9 tapauksissa on kuitenkin toteutettava erilliset irrotuspisteet (kohtisuorat urat kuidun pinnassa kuidun varrella) ennen mikrorakennekuidun vetämistä. Irrottaminen voidaan tehdä myös halkaisemalla mikrorakennekuitu fuusioidun liitoksen kohdalta esimerkiksi CO₂- tai excimer-laserilla, ionijyrsinnällä tai kuten kuvan 10 tapauksessa, märkä- tai kuivasyövyttämällä.

Mikrorakennekuitu

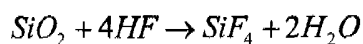
Mikrorakennekuitu, jota käytetään kaksoisvaippakuitulaitteiden valmistuksessa, koostuu kolmesta elementistä: aktiivisen ydinelementin (tai -elementit) 13 sisältävästä signaalikuidu(i)sta 14, ilmareiän 12 sisältävästä kapillaariputkesta 11 ja yhdestä tai useammasta pumppuelementistä 10 kuvan 5 mukaisesti. Nämä elementit fuusioidaan eli sulatetaan yhteen rakenteeksi, jossa signaalikuitu (tai kuidut) ja pumppukuitu (tai kuidut) yhdessä muodostavat yhtenäisen täysin fuusioidun sisä-

vaipparakenteen, jossa pumppuvalo etenee vapaasti signaali- ja pumppukuidun välillä ja välittää pumppuvalon aktiiviseen ydinelementtiin.

Kapillaariputki siltauselementtinä

- 5 Kapillaarin taustalla oleva ajatus on, että kapillaariosa **11** voidaan syövyttää pois kuitujen päistä syöttämällä ilmareikään **12** esimerkiksi fluorivetyhappoa (HF, huoneenlämmössä) tai rikkiheksafluoridia (SF₆, korotetussa lämpötilassa, 800 °C).

Syövytysprosessi HF:ää käytettäessä on seuraava:



- 10 Käytettäessä 45 %:sta HF-liuosta ja olettaen, että 70 % fluorivetyhaposta kuluu, kapillaarin halkaisija kasvaa noin 6 %. Fluorivetyhappo on vaihdettava 12 kertaa kapillaarissa, mikäli ulkohalkaisija on kaksi kertaa sisähalkaisija. Suurempi reiän halkaisija vähentää tarvittavien HF-vaihtojen määrää kapillaarissa. Kapillaarin syövytys voidaan tehdä ennen pinnoitteen poistamista ja kaikki lasi pumpun ja ydinelementtien väliltä voidaan poistaa.

- 15 Syövytys irrottaa aktiiviytimen **13** sisältävän signaalikuidun **14** pumppukuidu(i)sta **10** kuvan 11 mukaisesti. Syövytyksen jälkeen vapaat kuidunpäät **13**, **14** voidaan liittää kuitukytettyihin pumppudiodeihin ja lähtö- (ja tulo)signaalikuituun (tai kuituihin) käyttäen tavanomaisia liitostekniikoita. Liittämisen jälkeen näkyviin jääneet kuidunosat päällystetään uudelleen käyttäen samaa polymeeriä kuin mitä kuidun
20 päällystyksen oli käytetty.

- Vaihtoehtoinen menetelmä kuituelementtien osittaiseksi erottamiseksi rakenteesta on käyttää lasermikrotyöstömenetelmiä joko vedetylle kuidulle tai aihiolle ennen kuidun vetämistä. Jälkimmäisessä tapauksessa muodostetaan reikiä säännöllisin välein suoraan aihion kapillaariosaan. Reikien välimatka riippuu aihion mitoista ja halutusta absorptiopituudesta valmiissa kuidussa. Esimerkiksi 10 cm pitkälle aihiolle,
25 jolla on kuvan 5 mukainen kuitugeometria ja ytimen loppukoko 30 μm, reikien välimatka aihiossa on 1–2 mm. Reiän leveys riippuu liitostarkoituksiin tarvittavasta kuidun pituudesta. Tyypillisesti tämä pituus valmiissa kuidussa on 50 cm, joka vastaa noin 200 μm pituisia reikiä aihiossa. Kun nämä reiät on tehty aihioon, kuitu vedetään ja päällystetään. Kaksoisvaippalaitteet voidaan sitten tehdä yksinkertaisesti
30 halkaisemalla kaksoisvaippakuitu erotuspisteiden välistä, poistamalla päällyste ja liittämällä signaali- ja pumppukuidut komposiittikuitupäädästä signaali- ja pumppukuituihin.

Erotuselementtinä toimimisen lisäksi kapillaariputket tai aksiaalisesti kulkevat ilmareiät rakenteessa voivat myös antaa lisätoiminnallisuutta kaksoisvaippakuiduille. Lasisilta, joka ympäröi ilmareikää ja fuusioi kaikki elementit yhteen, varmistaa pumppuvalon tehokkaan muotosekoittumisen esitetystä rakenteesta (vrt. kuvien 5 ja 6 ei-ympyrämäinen symmetria). Tämä vähentää kierteisten moodien määrää kaksoisvaippakuidussa ja siten lisää pumppuvalon absorboitumista seostettuun ytimeen. Eräs lisäetu ilmarei'istä ja geometrian joustavuudesta mikrorakennekuiduissa on, että järjestämällä ilmareiät seostetun ytimen läheisyyteen tai täyttämällä ilmareiät kuormitusta aiheuttavalla materiaalilla kuidun kahtaistaitteisuutta voidaan kasvattaa.

5 Tätä polarisaatiota ylläpitävää ilmiötä voidaan vahvistaa järjestämällä kaikki elementit lineaariseen rakenteeseen, mikä pakottaa kuidun taipumaan vain kahdessa suunnassa kuvan 7 mukaisesti. Ilmareiät voidaan myös täyttää aineilla, jotka lisäävät kuidun epälineaarisuutta (esimerkiksi nk. "poled fiber" -kuitu, Raman-enhanced -kuitu).

15 Umpilasiset siltauselementit

Mikrorakennekuitu voi myös olla yhteenliitetty umpilasisten siltauselementtien avulla. Tässä tapauksessa valmistetaan erityinen liitosrakenne käyttäen tavanomaisia lasinhiertomenetelmiä kuvan 4b mukaisesti. Tämä lasiliitos voidaan osittain erottaa rakenteesta käyttäen lasermikrotyöstömenetelmiä, ionijyrsintää tai laseravusteisia märkäsyövytysmenetelmiä joko vedetylle kuidulle tai aihiolle ennen kuidun vetämistä. Jälkimmäisessä tapauksessa muodostetaan reikiä säännöllisin välein suoraan aihion tankojen väliseen lasiliitokseen. Reikien välimatka riippuu aihion mitoista ja halutusta absorptiopituudesta valmiissa kuidussa. Esimerkiksi 10 cm pitkälle aihiolle, jolla on kuvien 8 ja 9 mukainen kuitugeometria ja ytimen loppukoko

20 30 μm , reikien välimatka aihiossa on 1–2 mm. Reiän leveys riippuu liitostarkoitukseen tarvittavasta kuidun pituudesta. Tyypillisesti tämä pituus valmiissa kuidussa on 50 cm, joka vastaa noin 200 μm pituista reikää aihiossa. Kun nämä reiät on tehty aihioon, kuitu vedetään ja päällystetään. Kaksoisvaippalaitteet voidaan sitten tehdä yksinkertaisesti halkaisemalla kaksoisvaippakuitu erotuspisteiden välistä, poistamalla päällyste ja liittämällä signaali- ja pumppukuidut komposiittikuitupäästä signaali- ja pumppukuituihin.

Uhrattava vaippakerros siltauselementtinä

Mikrorakennekuitu voi olla liitetty yhteen myös optisen kuidun uhrattavalla vaippakerroksella, joka toimii siltauselementtinä kimpussa kuvan 10 mukaisesti. Tässä tapauksessa rakenteiden liittäminen tapahtuu kuvan 4 c) mukaisella menetelmällä.

35

Optista kuitua **14** ympäröi uhrattava vaippakerros **19**, joka toimii siltauselementtinä. Edullisimmin tämä vaippamateriaali on kvartsilasia, jota on seostettu märkäsyövytysnopeutta lisäävällä materiaalilla, kuten fosforilla. Liitososaan on sahattu uria näiden pyöreiden kohteiden pinnoille niiden koko pituudelta. Edullisimmin siltauselementin urat eivät ulotu uhrattavan vaippakerroksen yli. Pumppuelementit **10** on kiinnitetty siltauselementtiin siten, että ympäröivien kuitujen väliin on pinnoitemateriaaliin muodostettu rakoja, joiden kautta siltauselementtinä toimivaa uhrauskerrosta voidaan työstää ulkoisesti. Irrottaminen voidaan suorittaa työstämällä ja/tai poistamalla ainakin osittain vastaavanpituinen osuus kuitujen välisenä siltauselementtinä toimivan optisen kuidun uhrauskerroksesta. Tyypillisesti mainittu siltauselementin osuus on poistettu joko märkäsyövytys- tai kuivasyövytysmenetelmällä.

Miten kuitu valmistetaan

Kaikki aihioelementit tehdään ensin käyttäen tavallisia menetelmiä, ja ne ovat muodoiltaan symmetrisiä (pyöreitä, suorakulmaisia, kuusikulmaisia, kahdeksankulmaisia) putkia tai tankoja. Tankojen ja putkien tyypillinen muoto on pyöreä. Liitososaan on sahattu uria näiden pyöreiden kohteiden pinnoille niiden koko pituudelta. Syntyvä poikkileikkaus on esitetty kuvassa 4. Sen jälkeen mainitut elementit asennetaan yhteen siten, että aihion 1 "hampaat" asettuvat aihion 2 uriin. Kapillaariputkia (4a), umpilasisia liitoksia (4b) ja optisia kuituja voidaan käyttää siltauselementteinä. Sen jälkeen aihiot fuusioidaan eli sulatetaan yhteen (liekillä tai uunissa) ja mikrorakennekuitu vedetään.

Esimerkkejä

Esimerkki 1

Keksinnön eräessä suoritusmuodossa muodostetaan Avaimenreikä-kuiturakenne (apilakuitu), kuva 5. Kuiturakenteeseen kuuluu Pumppukuitu **10**, kapillaariputki **11**, jonka keskellä on ilmareikä **12**, signaalikuitu **14**, jolla on aktiivinen ydin **13**, pienitaitekertoiminen polymeeripinnoite **15**.

Esimerkki 2

Toisessa esimerkissä muodostetaan tyyppin 2 Avaimenreikä-rakenne, kuva 6. Kuiturakenteeseen kuuluu Pumppukuitu **10**, kapillaariputki **11**, jonka keskellä on ilmareikä **12**, signaalikuitu **14**, jolla on aktiivinen ydin **13**, pienitaitekertoiminen polymeeripinnoite **15**.

Esimerkki 3, kuitu jolla on pakotettu taivutussuunta

Esillä olevan keksinnön mukainen yhdistelmäkuitu mahdollistaa monia erilaisia kokoonpanoja mitä tulee sen kunkin elementin kokoon, muotoon, määrään ja sijaintiin. Joitakin näistä kokoonpanoista voidaan käyttää parantamaan tällaisista kuiduista rakennettujen kuitulaserien tai -vahvistimien ominaisuuksia. On esimerkiksi ilmeistä, että kuvan 7 mukainen kuitugeometria tekee kuidun taivuttamisesta yhteen suuntaan hyvin vaikeaa ja kohtisuoraan vastakkaiseen suuntaan hyvin helppoa. Tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää tilanteissa, joissa kuidun taivutussuunta on tärkeä aktiivisen kuidun muoto-ominaisuuksien hallitsemiseksi. Näin aktiivisen kuidun geometria ja suunta suhteessa muihin elementteihin voidaan kiinnittää jo aihion valmistusvaiheessa, ja avaruudelliset suhteet pysyvät muuttumattomina kuidun vetoprosessissa ja sen jälkeen. Tämä esillä olevan keksinnön mukaisen kuidun ominaisuus on äärimmäisen tärkeä erityisesti monimuotoisen aktiivisen LMA-kuidun geometria- ja taitekerroinprofiilitapauksissa, missä muotoresonansseja tai muoto-
 5 taivoitoja ytimeistä voidaan hallita kuidun sopivan suuruisella ja sopivan suuntaisella taivutuksella. Avaimenreikä-kuiturakennetta 3, johon kuuluu pumppukuitu 10, kapillaariputki 11, jonka keskellä on ilmareikä 12, signaalikuitu 14, jolla on aktiivinen ydin 13, pienitaitekertoiminen polymeeripinnoite 15, on esitetty kuvassa 7.

Esimerkki 4

20 Keksinnön eräässä toisessa suoritusmuodossa muodostetaan yhtenäinen avainkuiturakenne 1. Kuiturakenteeseen, joka on esitetty kuvassa 8, kuuluu pumppukuituja 10, signaalikuitu 14, jolla on aktiivinen ydin 13, pienitaitekertoiminen polymeeripinnoite 15.

Esimerkki 5

25 Keksinnön tämä suoritusmuoto pitää sisällään yhtenäisen avainrakenteen 2. Kuiturakenteeseen, joka on esitetty kuvassa 9, kuuluu pumppukuituja 10, signaalikuitu 14, jolla on aktiivinen ydin 13, pienitaitekertoiminen polymeeripinnoite 15.

Esimerkki 6

30 Keksinnön tämä suoritusmuoto pitää sisällään apilakuiturakenteen, jossa käytetään optista kuitua ympäröivää uhrattavaa vaippakerrosta siltauselementtinä. Kuiturakenteeseen, joka on esitetty kuvassa 10, kuuluu pumppukuituja 10, optinen kuitu 14, jolla on aktiivinen ydin 13, pienitaitekertoiminen polymeeripinnoite 15 ja siltauselementtinä 19 toimiva optista kuitua 14 ympäröivä uhrattava vaippakerros.

Esimerkki 7

Keksinnön tämä suoritusmuoto kuvaa Avaimenreikä-kuiturakennetta kuitulaser/kuituvahvistinkokoonpanossa sen jälkeen, kun kapillaariputki **11** on poistettu rakenteesta ja signaalikuitu **14**, jolla on aktiivinen ydin **13**, ja pumppukuidut **10** ovat
 5 käytettävissä liittämistä varten. Kuidut fuusioidaan yhteen matkalta **16**. Kyseistä kuiturakennetta on esitetty kuvassa **11**.

Esimerkki 8

Keksinnön tämä suoritusmuoto kuvaa avainkuiturakennetta **1** kuitulaser/kuituvahvistinkokoonpanossa sen jälkeen, kun päällyste on poistettu pumppukuitujen **10** ja
 10 aktiivisen ytimen **13** sisältävän signaalikuidun **14** ympäriltä kohdassa, jossa kuidut erotetaan toisistaan. Erottamisen jälkeen signaalikuitu **14** ja pumppukuidut **10** ovat käytettävissä liittämistä varten. Kuidut fuusioidaan yhteen matkalta **17**. Kyseistä kuiturakennetta on esitetty kuvassa **12**.

Esimerkki 9

Vielä eräässä toisessa keksinnön suoritusmuodossa Avaimenreikä-kuiturakenne **1**
 15 muodostaa pumppuliitoskokoonpanon sen jälkeen, kun kapillaariputki **11** on poistettu ja fuusioitu kuitukimppu on kuumennettu ja venytetty. Irralliset pumppukuidut **10** ja fuusioidun kimpun kavennettu lähtöpää ovat käytettävissä liittämistä varten kuitukytkettyihin pumppudiodeihin ja kaksoisvaippakuituun. Kuidut fuusioidaan
 20 yhteen matkalta **16**. Kyseistä kuiturakennetta on esitetty kuvassa **13**.

Esimerkki 10

Avaimenreikä-kuiturakenne **1** voidaan muodostaa kuitulaser/kuituvahvistinkokoonpanoon sen jälkeen, kun kapillaariputki **11** on poistettu rakenteesta ja signaalikuitu
 25 **14**, jolla on aktiivinen ydin **13**, ja pumppukuidut **10** ovat käytettävissä liittämistä varten. Kuidut fuusioidaan yhteen matkalta **16**. Kyseistä kuiturakennetta on esitetty kuvassa **14**.

Patenttivaatimukset

1. Prosessi optisen kuituliitoksen tekemiseksi, missä optinen kuitu tai sen vetämätön esiaste saatetaan kosketuksiin pitkittäiselementin kanssa ja kiinnitetään siihen, **tunnettu** siitä, että ensimmäinen objekti, joka on jompikumpi mainituista optisesta kuidusta tai sen esiasteesta ja mainitusta pitkittäiselementistä, on varustettu ruoteella ja toinen objekti, joka on toinen mainituista optisesta kuidusta tai sen esiasteesta ja mainitusta pitkittäiselementistä, on varustettu uralla, ruode sovitetaan uraan, optinen kuitu tai sen esiaste ja pitkittäiselementti kiinnitetään toisiinsa ja, optisen kuidun esiasteen tapauksessa, kiinnitetyt optisen kuidun esiaste ja pitkittäiselementti vedetään, jolloin muodostuu mainittu optinen kuituliitos.
5
2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että mainittu ensimmäinen objekti on varustettu useilla rinnakkaisilla vuorottelevilla ruoteilla ja urilla, ja mainittu toinen objekti on varustettu useilla rinnakkaisilla vuorottelevilla urilla ja ruoteilla, jolloin ensimmäisen objektin ruoteet ja urat kiinnittyvät toisen objektin vastaaviin uriin ja ruoteisiin.
15
3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että rinnakkaiset vuorottelevat ruoteet ja urat muodostavat kaksi sahamaista kuviota, jotka kiinnittyvät toisiinsa.
4. Jonkin patenttivaatimuksen 1–3 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että optinen kuitu tai sen esiaste ja pitkittäiselementti kiinnitetään toisiinsa fuusioimalla eli yhteensulattamalla.
20
5. Jonkin patenttivaatimuksen 1–4 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että mainittu pitkittäiselementti on toinen optinen kuitu tai sen esiaste.
6. Jonkin edeltävän patenttivaatimuksen mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että mainittu pitkittäiselementti on pitkittäinen siltauselementti (11), joka kiinnitetään mainittuun optiseen kuituun (10) ja vähintään yhteen muuhun optiseen kuituun (14) optisen kuitukimpun muodostamiseksi.
25
7. Patenttivaatimuksen 6 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että siltauselementti (11) on työstettävissä ja/tai poistettavissa mainittujen vähintään kahden kuidun (10, 14) irrottamiseksi toisistaan.
30
8. Patenttivaatimuksen 7 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että kuidut (10, 14) on kiinnitetty toisiinsa yksinomaan siltauselementin (11) avulla.

9. Patenttivaatimuksen 8 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että kuidut (10, 14) on kiinnitetty toisiinsa sellaiselle etäisyydelle, joka paljastaa siltauselementin (11) työstämiselle.
10. Jonkin patenttivaatimuksen 6–9 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että siltauselementti (11) koostuu materiaalista, jolla on oleellisesti sama taitekerroin kuin kuitujen (10, 14) ulkokerroksella.
11. Patenttivaatimuksen 10 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että siltauselementin (11) materiaali on samaa materiaalia kuin kuitujen (10, 14) ulkokerros ja se on valoa kuljettavaa materiaalia kuten kvartsilasia.
- 10 12. Patenttivaatimuksen 10 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että siltauselementin materiaali on helpommin työstettävää ja/tai poistettavaa kuin optisten kuitujen (10, 14) materiaali ja edullisesti se on kvartsilasia, jota on seostettu epäpuhtauksilla sen saamiseksi työstettäväksi/poistettavaksi.
- 15 13. Jonkin patenttivaatimuksen 6–12 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että vähintään yksi kuiduista (10, 14) kiinnitetään siltauselementtiin (11) fuusioimalla eli yhteensulattamalla.
14. Jonkin patenttivaatimuksen 6–13 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että siltauselementti on erillinen elementti (11), johon mainitut vähintään kaksi kuitua (10, 14) kiinnitetään.
- 20 15. Patenttivaatimuksen 14 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että siltauselementti on kaviteetin tai reiän (12) sisältävä pitkittäiselementti (11).
16. Patenttivaatimuksen 15 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että pitkittäiselementti on kapillaari (11), ja sitä voidaan työstää sisäisesti mainitun kapillaarin kautta.
- 25 17. Patenttivaatimuksen 15 tai 16 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että kaviteetin tai reiän (12) sisältävän pitkittäiselementin (11) seinämällä on pienempi poikkeusleikkauspinta-ala kuin kuiduilla.
18. Patenttivaatimuksen 15, 16 tai 17 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että kaviteetti tai reikä (12) on täytetty funktionaalisella aineella, kuten optista kuormitusta aiheuttavalla materiaalilla.
- 30

19. Jonkin patenttivaatimuksen 6–13 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että siltauselementti on uloke, joka työntyy esiin yhdestä mainituista vähintään kahdesta kuidusta (10) ja kiinnitetään toiseen mainituista vähintään kahdesta kuidusta (14).
20. Jonkin patenttivaatimuksen 6-13 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että siltauselementti on vaippakerros yhden optisen kuidun (14) ympärillä.
21. Patenttivaatimuksen 20 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että optisen kuidun vaippa on uhrattava vaippakerros (19), joka on työstettävissä ja/tai poistettavissa kuitujen irrottamiseksi toisistaan.
22. Patenttivaatimusten 20 tai 21 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että kuidut on kiinnitetty toisiinsa yksinomaan optisen kuidun (14) uhrattavan kerroksen (19) avulla.
23. Patenttivaatimusten 20, 21 tai 22 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että uhrattava kerros (19) on materiaalia, jolla on oleellisesti sama taitekerroin kuin kuitujen ulkokerroksella, ja se on valoa kuljettavaa materiaalia kuten seostettua kvartsilasia.
24. Patenttivaatimusten 20, 21, 22 tai 23 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että optinen kuitu on joko yksivaippakuitu (14), jonka ytimellä (13) on suurempi taitekerroin kuin mainitulla valoa kuljettavalla materiaalilla ja jonka vaippa on mainittua valoa kuljettavaa materiaalia, tai monimuotokuitu (10), joka koostuu oleellisesti mainitusta valoa kuljettavasta materiaalista.
25. Jonkin patenttivaatimuksen 11–24 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että se käsittää kuituja (10, 14) ja siltauselementtiä (11) ympäröivän ulomman vaipan (15), joka koostuu materiaalista, jolla on pienempi taitekerroin kuin mainitulla valoa kuljettavalla materiaalilla.
26. Jonkin patenttivaatimuksen 6–25 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että kuidut ja siltauselementti on järjestetty geometriaan, joka mahdollistaa taivuttamisen vain rajattuun määrään geometrian määrittämiä suuntia.
27. Jonkin patenttivaatimuksen 11–26 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että kuidut valitaan seuraavasta joukosta: yksivaippakuidut (14), joiden ytimellä (13) on suurempi taitekerroin kuin mainitulla valoa kuljettavalla materiaalilla ja joiden vaippa on mainittua valoa kuljettavaa materiaalia; monimuotokuidut (10), jotka koostuvat oleellisesti mainitusta valoa kuljettavasta materiaalista.

28. Patenttivaatimuksen 27 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että yksivaippakuidut (14) ovat signaalikuituja tai niiden esiasteita ja monimuotokuidut (10) ovat pumppukuituja tai niiden esiasteita.
29. Patenttivaatimuksen 27 tai 28 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että vähintään
5 yksi yksivaippakuiduista (14) ja/tai vähintään yksi monimuotokuiduista (10) on vierekäisesti kiinnitetty toisiinsa siltauselementin (11) avulla.
30. Patenttivaatimuksen 29 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että yksivaippakuitu
10 (14), siltauselementti (11) ja monimuotokuitu (10) on mainitussa järjestyksessä järjestetty rinnakkain kohdistettuun muodostelmaan ja niitä ympäröi ulompi vaippa (15).
31. Patenttivaatimuksen 30 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että yksivaippakuidulla (14), siltauselementillä (11) ja monimuotokuidulla (10) on eri poikkileikkauspinta-alat.
32. Patenttivaatimuksen 31 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että monimuotokuidulla (10) on suurempi poikkileikkauspinta-ala kuin yksivaippakuidulla (14) ja siltauselementillä (11).
15
33. Patenttivaatimuksen 29 tai 30 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että yksi yksivaippakuiduista (14) kohdistetaan rinnakkain, ulospäin suuntautuvassa järjestyksessä, kahden siltauselementin (11) ja kahden monimuotokuidun (10) kanssa ja ympäröidään ulommalla vaipalla (15).
20
34. Patenttivaatimuksen 29 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että yksi siltauselementti (11) kiinnitetään kolmeen monimuotokuiduista (10) ja yhteen yksivaippakuiduista (14) ja ympäröidään ulommalla vaipalla (15).
35. Patenttivaatimuksen 34 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että kolme monimuotokuitua (10) ja yksi yksivaippakuitu (14) järjestetään siltauselementin (11) ympärille järjestelyksi, jolla on neliapilan muotoinen poikkileikkaus.
25
36. Jonkin patenttivaatimuksen 6–35 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että osa kimpusta koostuu mainitusta vähintään yhdestä optisesta kuidusta (10, 14), joka on irrotettu siltauselementistä.
- 30 37. Patenttivaatimuksen 36 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että irrottaminen on suoritettu vähintään osittain työstämällä ja/tai poistamalla vastaavanpituinen osuus kuitujen (10, 14) välisestä siltauselementistä (11).

38. Patenttivaatimuksen 37 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että siltauselementin (11) osuus on poistettu käyttäen menetelmää, joka on jokin seuraavista: märkäsyövytys, kuivasyövytys, UV- ja ultranopea lasermikrotyöstö sekä ionijyrsintä tai jokin mainittujen menetelmien yhdistelmä.
- 5 39. Patenttivaatimuksen 36, 37 tai 38 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että kimpπουisuus on irrallisten kuitujen päätyosuus.
40. Patenttivaatimuksen 39 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että päätyosuuden irralliset kuidut päällystetään yksittäin materiaalilla, joka on oleellisesti samaa kuin mainitun ulomman vaipan (15) materiaali.
- 10 41. Jonkin patenttivaatimuksen 36–40 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että vähintään yksi muu kimpun osuus on kapeneva.
42. Patenttivaatimuksen 41 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että kapeneva kimpπουisuus on kapeneva päätyosuus (17).
43. Jonkin patenttivaatimuksen 36–42 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että eräs toinen kimpun osuus koostuu mainituista vähintään kahdesta optisesta kuidusta (10, 14), jotka on irrotettu toisistaan.
- 15 44. Patenttivaatimuksen 43 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että mainittu kimpun osuus on välisuus ja vähintään yksi optisista kuiduista on katkaistu optisen yhteyden muodostamiseksi.
- 20 45. Patenttivaatimuksen 43 mukainen prosessi, **tunnettu** siitä, että mainittu eräs toinen kimpun osuus on kimpun toinen päätyosuus.
46. Optinen kuiturakenne, **tunnettu** siitä, että se on valmisteltu jonkin edeltävän patenttivaatimuksen mukaista prosessia käyttäen.
47. Patenttivaatimuksen 46 mukainen optinen rakenne, **tunnettu** siitä, että se on
25 optinen kuituliitos.
48. Patenttivaatimuksen 46 mukainen optinen rakenne, **tunnettu** siitä, että se on optinen kuitukimppu.

Patentkrav

1. Process för att framställa en optisk fiberfog, varvid den optiska fibern eller dess
odragna förstadium sätts i kontakt med ett långsträckt element och fästs vid detta,
5 **kännetecknad** av att det första objektet, som är någotdera av nämnda optiska fibrer
eller dess förstadium och nämnda långsträckta element, är försett med en spont och
det andra objektet, som är någotdera av nämnda optiska fibrer eller dess förstadium
och nämnda långsträckta element, är försett med en räffla, sponten inpassas i
10 räfflan, den optiska fibern eller dess förstadium och det långsträckta elementet fästs
vid varandra och, i fall av den optiska fiberns förstadium, den fasta optiska fiberns
förstadium och det långsträckta elementet dras, varvid nämnda optiska fiberfog
bildas.
2. Process enligt patentkrav 1, **kännetecknad** av att nämnda första objekt är försett
15 med flera parallella och alternerande sponter och räfflor, och nämnda andra objekt
är försett med flera parallella och alternerande räfflor och sponter, varvid det första
objektets sponter och räfflor griper in i det andra objektets motsvarande räfflor och
sponter.
- 20 3. Process enligt patentkrav 2, **kännetecknad** av att de parallella och alternerande
sponterna och räfflorna bildar två sågliknande mönster, som griper in i varandra.
4. Process enligt något av patentkraven 1-3, **kännetecknad** av att den optiska fibern
eller dess förstadium och de långsträckta elementen sammanfogas genom fusion
25 dvs. sammansmältning.
5. Process enligt något av patentkraven 1-4, **kännetecknad** av att nämnda
långsträckta element är den ena optiska fibern eller dess förstadium.
- 30 6. Process enligt något av föregående patentkrav, **kännetecknad** av att nämnda
långsträckta element är ett långsträckt bryggelement (11), som fästs vid nämnda
optiska fiber (10) och vid åtminstone en annan optisk fiber (14) för att bilda ett
optiskt fiberknippe.
- 35 7. Process enligt patentkrav 6, **kännetecknad** av att bryggelementet (11) kan
bearbetas och/eller avlägsnas för att lösgöra nämnda åtminstone två fibrer (10, 14)
från varandra.

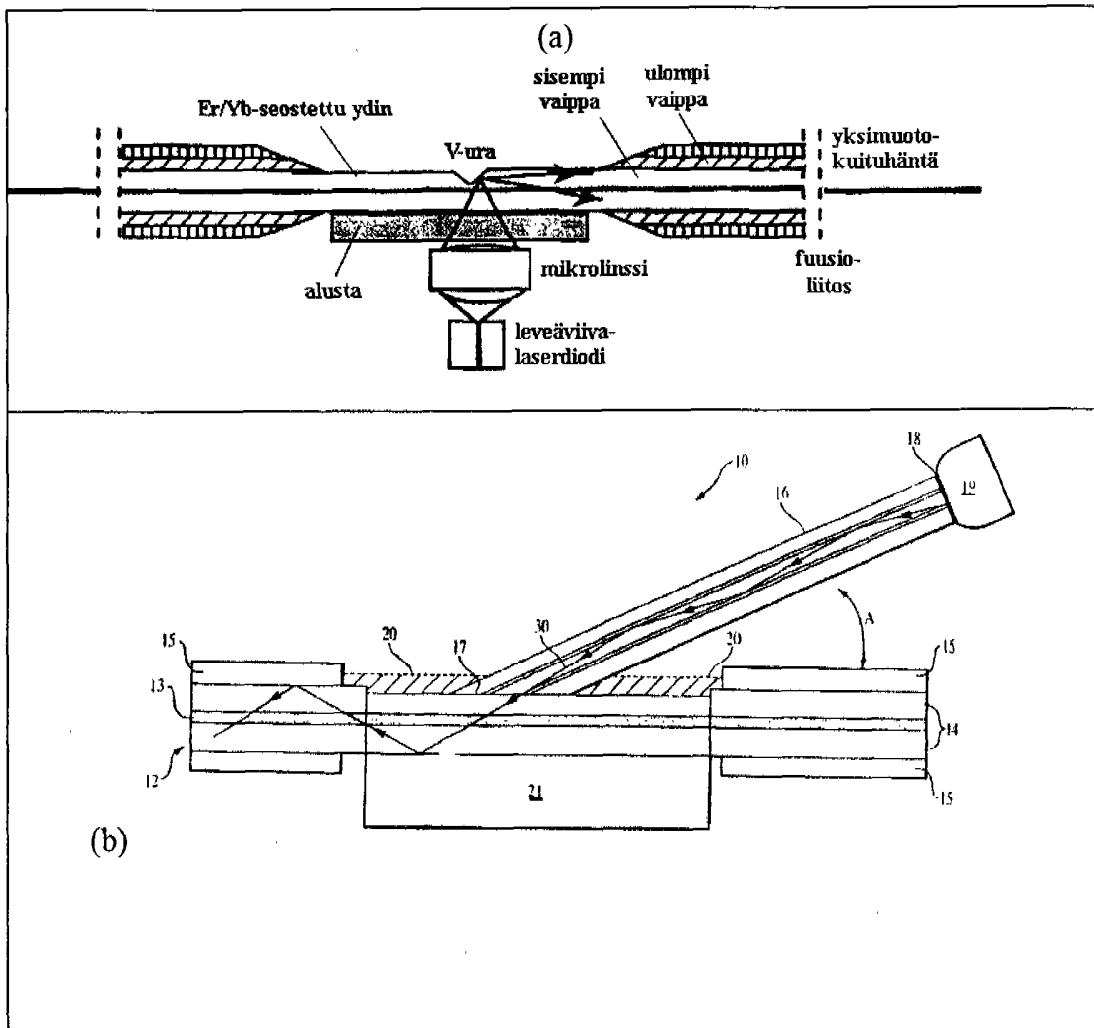
8. Process enligt patentkrav 7, **kännetecknad** av att fibrerna (10, 14) är sammanfogade enbart med hjälp av ett bryggelement (11).
9. Process enligt patentkrav 8, **kännetecknad** av att fibrerna (10, 14) är sammanfogade på ett sådant avstånd, som blottar bryggelementet (11) för bearbetning.
10. Process enligt något av patentkraven 6-9, **kännetecknad** av att bryggelementet (11) består av ett material med väsentligt samma brytningskoefficient som fibrernas (10, 14) yttre skikt.
11. Process enligt patentkrav 10, **kännetecknad** av att bryggelementet (11) består av samma material som fibrernas (10, 14) yttre skikt och det är ett ljustransporterande material, såsom kvartsglas.
12. Process enligt patentkrav 10, **kännetecknad** av att bryggelementets (11) material lättare kan bearbetas och/eller avlägsnas än de optiska fibrernas (10, 14) material och det är företrädesvis kvartsglas, som dopats med orenheter för att göra det möjligt att bearbeta/avlägsna.
13. Process enligt något av patentkraven 6-12, **kännetecknad** av att åtminstone en av fibrerna (10, 14) fästs vid bryggelementet (11) genom fusion dvs. sammansmältning.
14. Process enligt något av patentkraven 6-13, **kännetecknad** av att bryggelementet är ett separat element (11), vid vilket nämnda åtminstone två fibrer (10, 14) fästs.
15. Process enligt patentkrav 14, **kännetecknad** av att bryggelementet är ett långsträckt element (11) som innehåller en kavitet eller ett hål (12).
16. Process enligt patentkrav 15, **kännetecknad** av att det långsträckta elementet är en kapillär (11), och det kan bearbetas internt via nämnda kapillär.
17. Process enligt patentkrav 15 eller 16, **kännetecknad** av att väggen hos det långsträckta element (11) som innefattar en kavitet eller ett hål (12) har en mindre tvärsnittsytta än fibrerna.

18. Process enligt patentkrav 15, 16 eller 17, **kännetecknad** av att kaviteten eller hålet (12) är fyllt med ett funktionellt medel, såsom ett material som åstadkommer optisk belastning.
- 5 19. Process enligt något av patentkraven 6-13, **kännetecknad** av att bryggelementet är ett utsprång, som skjuter fram från den ena av nämnda åtminstone två fibrer (10) och fästs vid den ena av nämnda åtminstone två fibrer (14).
- 10 20. Process enligt något av patentkraven 6-13, **kännetecknad** av att bryggelementet är ett höljesskikt runt en optisk fiber (14).
21. Process enligt patentkrav 20, **kännetecknad** av att den optiska fiberns hölje är ett offerhöljesskikt (19), vilket kan bearbetas och/eller avlägsnas för att lösgöra fibrer från varandra.
- 15 22. Process enligt patentkrav 20 eller 21, **kännetecknad** av att fibrerna är sammanfogade enbart med hjälp av den optiska fiberns (14) offerskikt (19).
- 20 23. Process enligt patentkraven 20, 21 eller 23, **kännetecknad** av att offerskiktet (19) består av material med väsentligt samma brytningskoefficient som fibrernas yttre skikt, och det är ett material som transporterar ljus, såsom dopat kvartsglas.
24. Process enligt patentkraven 20, 21, 22 eller 23, **kännetecknad** av att den optiska fibern är antingen en monomodfiber (14), vars kärna (13) har en större brytningskoefficient än nämnda ljustransporterande material och vars hölje består av nämnda ljustransporterande material, eller en multimodfiber (10), som består väsentligt av nämnda ljustransporterande material.
- 25 25. Process enligt något av patentkraven 11-24, **kännetecknad** av att den innefattar fibrer (10, 14) och ett yttre hölje (15) som omger bryggelementet (11) och består av ett material med en lägre brytningskoefficient än nämnda ljustransporterande material.
- 30 26. Process enligt något av patentkraven 6-25, **kännetecknad** av att fibrerna och bryggelementet är anordnade enligt en geometri som möjliggör brytning endast i ett begränsat antal riktningar som definieras av geometrin.
- 35

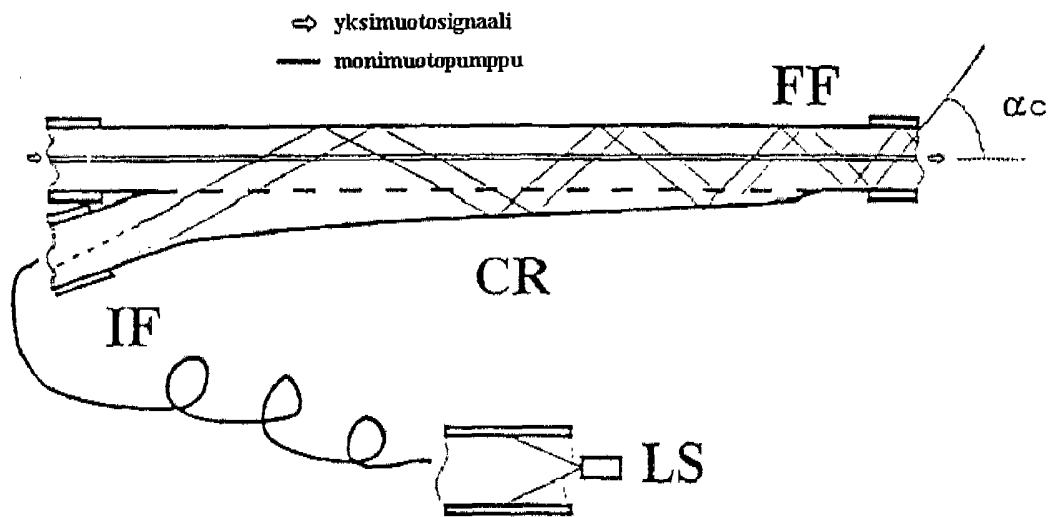
27. Process enligt något av patentkraven 11-26, **kännetecknad** av att fibrerna väljs ur följande grupp: monomodfibrer (14) vilkas kärna (13) har en högre brytningskoefficient än nämnda ljustransporterande material och vilkas hölje består av nämnda ljustransporterande material; multimodfibrer (10), vilka består väsentligt av nämnda ljustransporterande material.
28. Process enligt patentkrav 27, **kännetecknad** av att monomodfibrerna (14) är signalfibrer eller deras förstadier och multimodfibrerna (10) är pumpfibrer eller deras förstadier.
29. Process enligt patentkrav 27 eller 28, **kännetecknad** av att åtminstone en av monomodfibrerna (14) och/eller åtminstone en av multimodfibrerna (10) är angränsande sammanfogade med ett bryggelement (11).
30. Process enligt patentkrav 29, **kännetecknad** av att monomodfibern (14), bryggelementet (11) och multimodfibern (10) är anordnade parallellt i nämnda ordning i en inriktad formation och de omges av ett yttre hölje (15).
31. Process enligt patentkrav 30, **kännetecknad** av att monomodfibern (14), bryggelementet (11) och multimodfibern (10) har olika tvärsnittsytor.
32. Process enligt patentkrav 31, **kännetecknad** av att multimodfibern (10) har en större tvärsnittsytta än monomodfibern (14) och bryggelementet (11).
33. Process enligt patentkrav 29 eller 30, **kännetecknad** av att en av monomodfibrerna (14) inriktas parallellt i en utåt riktad ordning tillsammans med två bryggelement (11) och två multimodfibrer (10) och omges med ett yttre hölje (15).
34. Process enligt patentkrav 29, **kännetecknad** av att ett av bryggelementen (11) fästs vid tre av multimodfibrerna (10) och en av monomodfibrerna (14) och omges med ett yttre hölje (15).
35. Process enligt patentkrav 34, **kännetecknad** av att tre multimodfibrer (10) och en monomodfiber (14) anordnas omkring bryggelementet (11) i en formation vars tvärsnittsytta har formen av en fyrväppling.

36. Process enligt något av patentkraven 6-35, **kännetecknad** av att en del av knippet består av nämnda åtminstone ena optiska fiber (10, 14) som lösgjorts från bryggelementet.
- 5 37. Process enligt patentkrav 36, **kännetecknad** av att lösgörningen utförts åtminstone delvis genom bearbetning och/eller genom att avlägsna en del med motsvarande längd från bryggelementet (11) mellan fibrerna (10, 14).
38. Process enligt patentkrav 37, **kännetecknad** av att bryggelementets (11) andel har avlägsnats genom att använda ett förfarande som är ett av följande: våtetsning, torretsning, UV- och ultrasnabb lasermikrobearbetning, samt jonfräsning, eller en kombination av något av nämnda förfaranden.
- 10 39. Process enligt patentkrav 36, 37 eller 38, **kännetecknad** av att knippespartiet är ändpartiet av de lösa fibrerna.
- 15 40. Process enligt patentkrav 39, **kännetecknad** av att ändpartiets lösa fibrer beläggs enskilt med ett material som är väsentligt det samma som nämnda yttre höljes (15) material.
- 20 41. Process enligt något av patentkraven 36-40, **kännetecknad** av att åtminstone en annan del av knippet är avsmalnande.
42. Process enligt patentkrav 41, **kännetecknad** av att det avsmalnande knippespartiet är ett avsmalnande ändparti (17).
- 25 43. Process enligt något av patentkraven 36-42, **kännetecknad** av att en andra del av knippet består av nämnda åtminstone två optiska fibrer (10, 14) som är lösgjorda från varandra.
- 30 44. Process enligt patentkrav 43, **kännetecknad** av att nämnda knippesparti är ett mellanparti och åtminstone en av de optiska fibrerna har brutits för att bilda en optisk förbindelse.
- 35 45. Process enligt patentkrav 43, **kännetecknad** av att nämnda ena andra knippesparti är knippets andra ändparti.

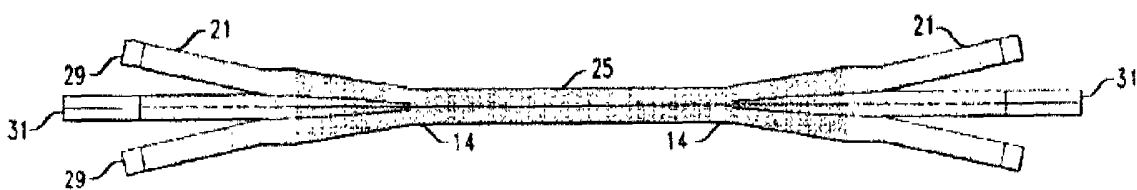
46. Optisk fiberstruktur, **kännetecknad** av att den är framställd genom att använda en process enligt något av föregående patentkrav.
47. Optisk fiberstruktur enligt patentkrav 46, **kännetecknad** av att den är en optisk fiberfog.
- 5
48. Optisk fiberstruktur enligt patentkrav 46, **kännetecknad** av att den är ett optiskt fiberknippe.



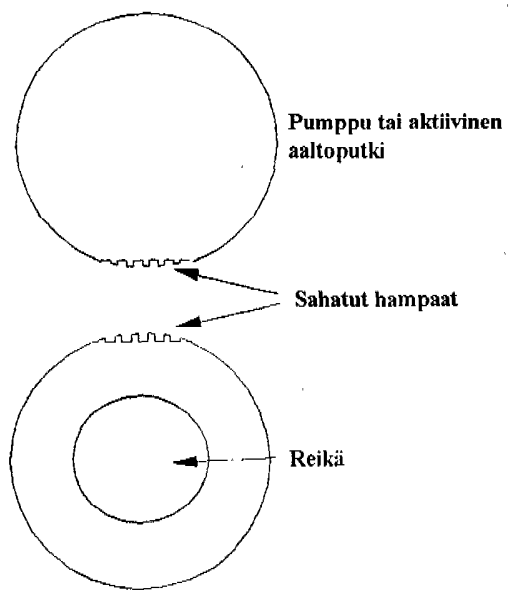
Kuvio 1 (a) ja (b), tekniikan taso



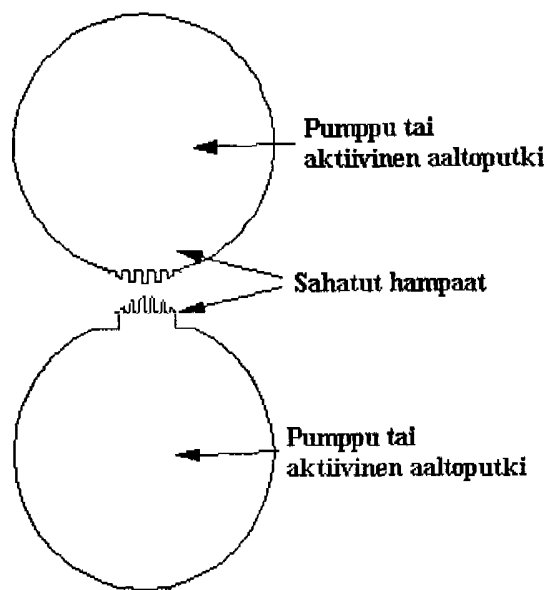
Kuvio 2, tekniikan taso



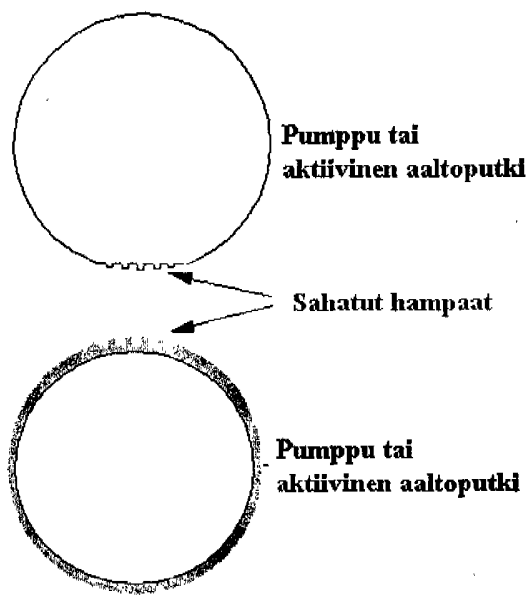
Kuvio 3, tekniikan taso



(a)

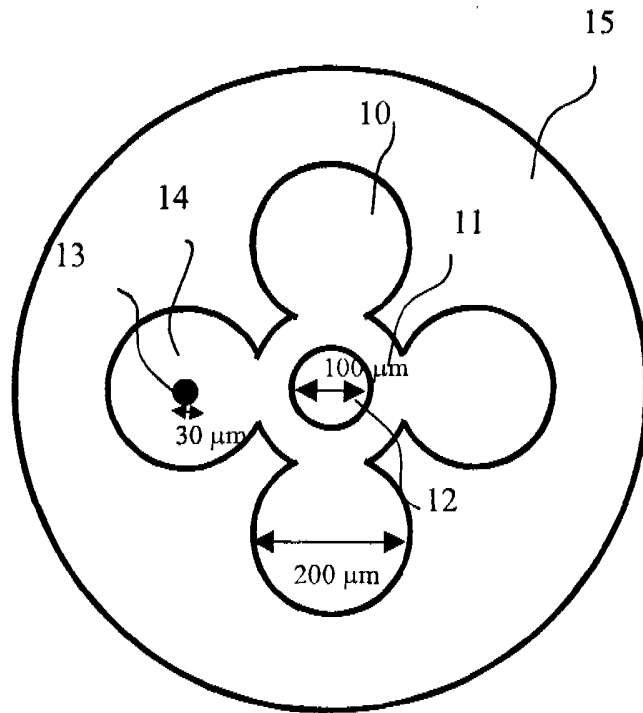


(b)

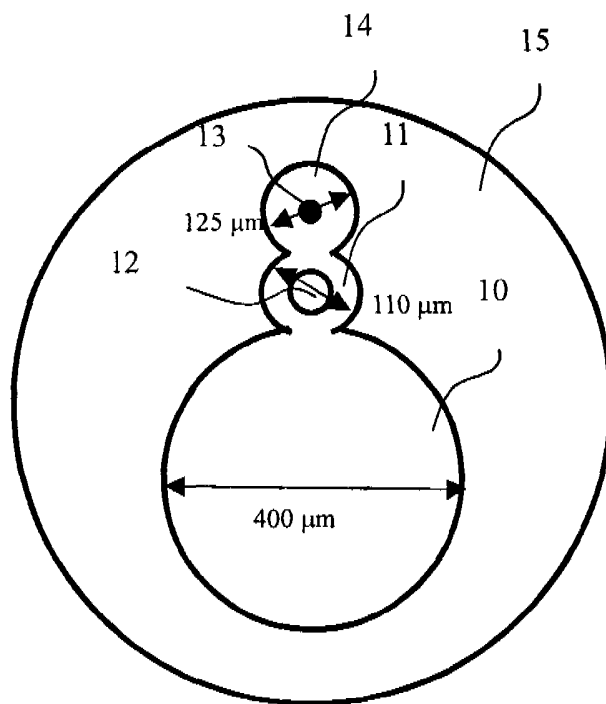


(c)

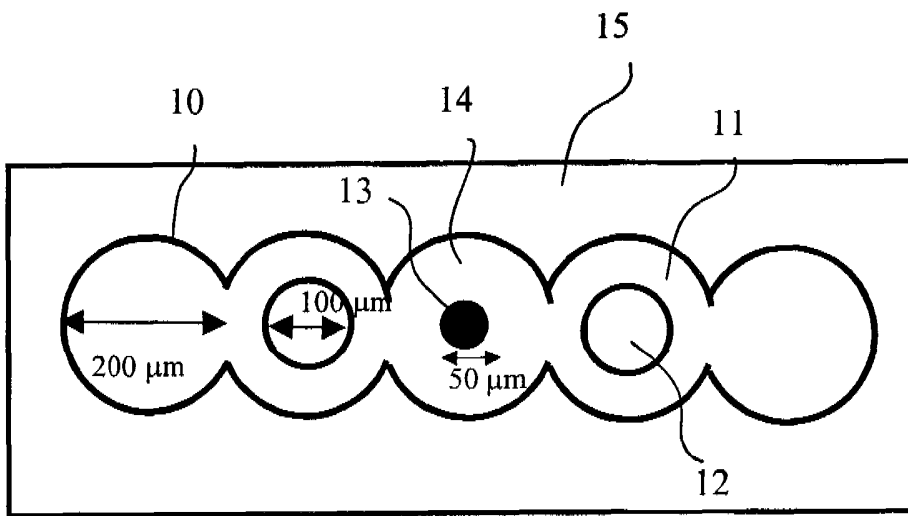
Kuvio 4 (a), (b), (c)



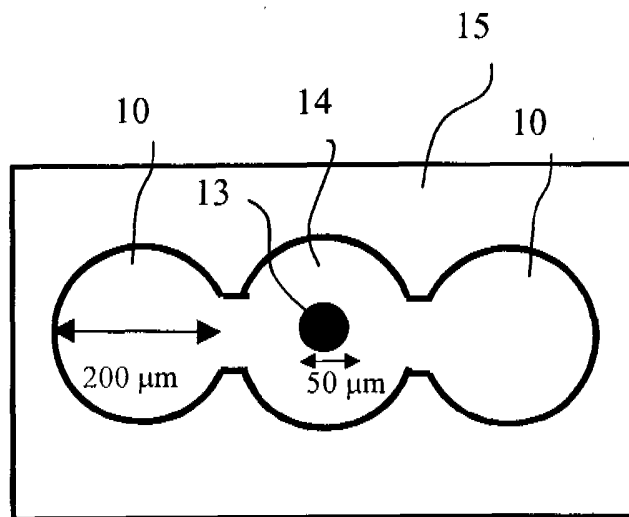
Kuvio 5



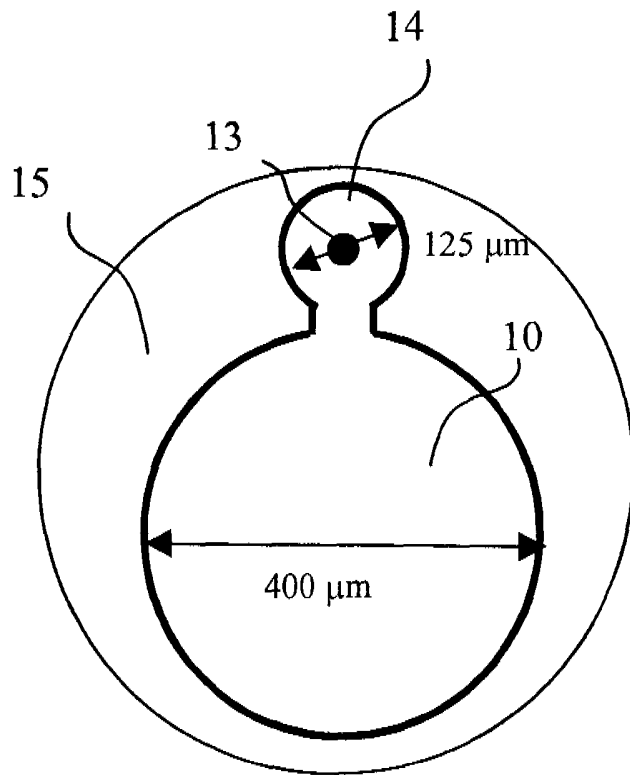
Kuvio 6



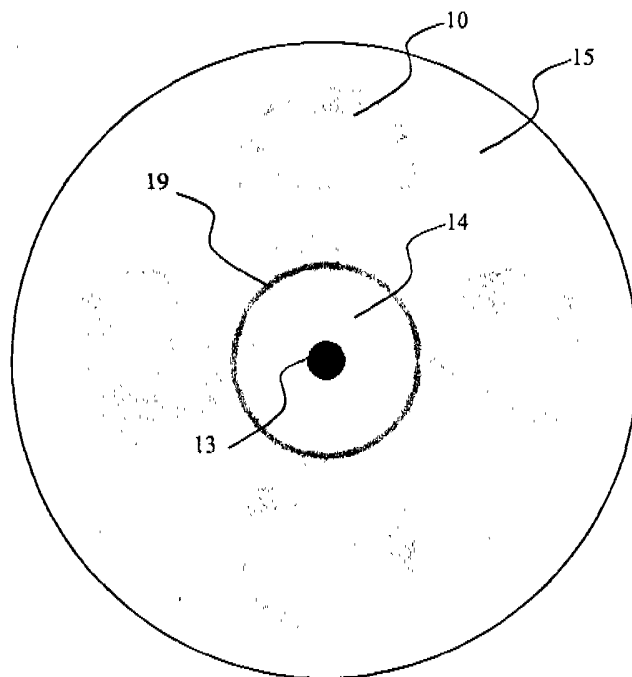
Kuvio 7



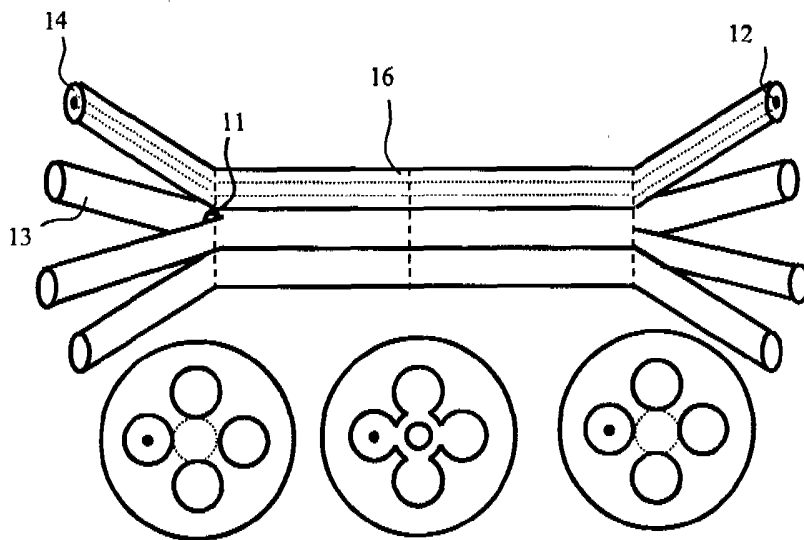
Kuvio 8



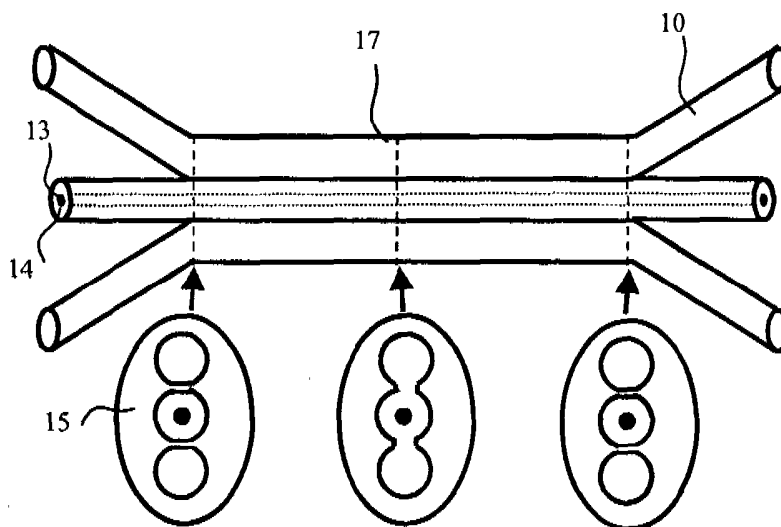
Kuvio 9



Kuvio 10



Kuvio 11



Kuvio 12