



SUOMI-FINLAND
(FI)

Patentti- ja rekisterihallitus
Patent- och registerstyrelsen

(B) (11) KUULUTUSJULKAISU
UTLÄGGNINGSSKRIFT

81209

C (48) Patenti- ja rekisterihallitus
Patentti- ja rekisterihallitus 10 00 1000

(51) Kv.1k.5 - Int.cl.5

G 02B 6/16, C 03B 37/075

(21) Patenttihakemus - Patentansökning **821088**
(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag **29.03.82**
(24) Alkuperäisyys - Löpdag **29.03.82**
(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig **01.10.82**
(44) Nähtävöksiannon ja kuul.julkaisun pvm. -
Ansökan utlagd och utl.skriften publicerad **31.05.90**
(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet

30.03.81 US 248947 P
13.04.81 US 253224 P

30.03.81 US 249022 P

(71) Hakija - Sökande

1. Corning Glass Works, Corning, N.Y., USA, (US)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1. Blankenship, Michael Gregg, Morrcrest Drive, R.D. No. 1, Corning, N.Y., USA, (US)
2. Keck, Donald Bruce, Chequers Circle, Big Flats, N.Y., USA, (US)
3. Sarkar, Arnab, 273 Orchard Drive, Big Flats, N.Y., USA, (US)

(74) Asiamies - Ombud: Berggren Oy Ab

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

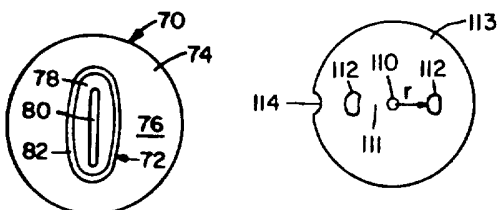
Yksimuotoinen optinen aaltoputkikuitu sekä menetelmä sen valmistamiseksi
Enmots optisk vågrörsfiber och förfarandet för framställning av dess

(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

DE A 2930791 (C 03 B 37/00), GB A 2012983 (G 02 B 5/14), GB A 2022571 (C 03 B 23/04),
GB A 2032910 (C 03 B 37/075), US A 4165223 (C 03 C 25/00)

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Yksimuotoinen optinen aaltoputkikuitu on konstruoitu sellaisella tavalla, että sen sydämessä tulee esiintymään jännityksen aiheuttamaa kahtaistaitteisuutta. Erään sovellutusmuodon (kuvio 6) mukaan kuitu sisältää soikean sisemmän peitekerroksen (78) ympäröimän soikean sydämen (80). Jännitystä aiheuttavaa peitelasia oleva ulompi kerros (74), jolla on pyöreän poikkileikkauksen omaava ulkopinta, ympäröi sisempää peitekerrosta. Jännitystä aiheuttavalla peitelasilla on erilainen lämpölaajenemiskerroin kuin sisemmällä peitelasilla. Eräessä toisessa sovellutusmuodossa (kuvio 11) jännityksen aiheuttama kahtaistaitteisuus aikaansaadaan lisäämällä kuidun peitekerrokseen (111) sydämen (110) vastakkaisille puolille pitkittäin ulottuvat lasialueet (112), joilla on erilainen lämpölaajenemiskerroin kuin muulla peitekerroksella (111). Useita ennen tuntemattomia menetelmiä on seostettu tällaisten kuitujen valmistusta varten.



Optisk vågrörsfiber av en enda form, konstruerad på ett sådant sätt, att dess kärna kommer att vara underkastad dubbelbrytning, förorsakad av spänning. Enligt ett utförande (figur 6) innefattar fibern en oval kärna (80) omringad av ett inre täckskikt (78). Det yttre skiktet (74) av spänning förorsakande täckglas med en yttre yta, som har ett cirkulärt tvärsnitt, omringar det inre täckskiktet. Täckglasets, som förorsakar spänning, har ett TCE-värde som skiljer sig från det inre täckglasets TCE-värde. Enligt ett annat utförande (figur 11) åstadkommes den av spänningen förorsakade dubbelbrytningen genom att på kärnans (110) motstående sidor i täckskiktet (111) tillföra glasområden (112) med längsriktad utsträckning, vilka har en annan värmeutvidgningskoefficient än det övriga täckskiktet (111). Flere tidigare okända förfaranden för framställning av sådana fibrer beskrivs i det följande.

Yksimuotoinen optinen aaltoputkikuitu sekä menetelmä sen valmistamiseksi

Esillä olevan keksinnön kohteena on yksimuotoinen optinen aaltoputkikuitu sekä menetelmä sen valmistamiseksi.

Monissa yksimuotoisten (single mode) optisten aaltoputkien sovellutuksissa, esim. gyroskoopeissa, sensoreissa jne. on tärkeää, että etenevä signaali säilyttää saapuvan valon polarisointiominaisuudet ulkopuolisten depolaroivien häiriöiden esiintyessä. Tämä edellyttää aaltoputkelta valontaitekertoimen atsimuuttista epäsymmetriaa.

Pieni parannus yksimuotoisten optisten aaltoputkien polaroinnin säilyttävyydessä saadaan aikaan vääristämällä kuitusydämensymmetria erilailla polaroitujen aaltojen erottamiseksi toisistaan. Kaksi tällaista kuituaaltoputkea on esitetty US-patentissa 4 184 859 sekä julkaisussa: V. Ramaswamy et al., Influence of Noncircular Core on the Polarisation Performance of Single Mode Fibers, Electronics Letters, Vol. 14, n:o 5, sivut 143-144, 1978. Ramaswamy'n julkaisussa on kuitenkin ilmoitettu, että epäpyöreitä sydämiä sisältävillä borosilikaattikuiduilla suoritetut mittaukset osoittavat, etteivät tämä epäpyöreä muoto ja siihen liittyvä jännityksen aiheuttama kahtaistaitteisuus yksinään ole riittäviä säilyttämään polarointia yksimuotoisissa kuiduissa.

Patenttihakemuksessa GB-2 012 983A selostettu keksintö perustuu siihen, että suorakulmaisesti polaroidut aallot erottuvat tehokkaammin toisistaan aaltoputkessa, joka on valmistettu niin, että jännityksen aiheuttamaa kahtaistaitteisuutta on tarkoituksellisesti lisätty. Patentissa on osoitettu, että tällainen ominaisuus saavutetaan aikaansaamalla geometrinen ja materiaallinen epäsymmetria esimuotoon, josta optinen kuitu vedetään. Jännityksen aiheuttama kahtaistaitteisuus

aikaansaadaan ympäröimällä yksimuotoinen aaltoputki ainakin osaksi ulkopuolisella vaipalla, jolla on erilainen lämpölaajenemiskerroin (TCE) kuin aaltoputkella ja jonka paksuus yhteen suuntaan on erilainen kuin tätä suuntaa vastaan kohtisuoraan suuntaan. Esimuodolla voi esimerkiksi olla kolmikerroksinen rakenne, joka käsittää peitekerroksen ympäröimän sisäsydämen, peitekerroksen ollessa vuorostaan ympäröity ulommalla vaippakerroksella, jolla on erilainen TCE kuin peitekerroksella. Ulomman kerroksen vastakkain sijaitsevat osat hiotaan pois ja saatu esimuoto vedetään kuiduksi, jolla on jonkin verran litteä muoto ulomman vaippakerroksen paksuuden ollessa erilainen kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa. Samanlainen tulos voidaan aikaansaada konstruoimalla esimuoto sisäsydänalueesta, peitekerrosalueesta ja kahdesta ulommasta vaippakerroksesta sijoitettuna vastakkain pitkin esimuodon pintaa. Vaikeuksia voi esiintyä tällaisen esimuototyypin valmistuksessa, koska puristusjännitystä syntyy ulommassa kerroksessa. Jos ulompaa kerrosta hiotaan tai jos siihen leikataan uria, syntyneellä jännityksellä on taipumus aiheuttaa esimuodon murtuminen. Olettaen että esimuodosta voidaan vetää kuitu, jännitystä aiheuttava ulompi kerros tulee sijaitsemaan etäällä kuidun sydäimestä, joten jännityksen vaikutus sydämeen on erittäin pieni.

Eräässä patenttihakemuksen GB 2 012 983A sovellutusmuodossa, joka on esitetty sen kuvioissa 10-15, suhteellisen paksu substraattiputki muodostaa optisen kuidun uloimman osan. Jotta kuidulle aikaansaadaan halutut ominaisuudet, substraattiputken joko sisäpinta tai ulkopinta on epäpyöreä. Koska ainakin osan substraatin seinämästä pitää olla suhteellisen paksu, vaikuttaa se haitallisesti kerroksenmuodostamisen tehokkuuteen. Lisäksi, koska substraattiputki muodostaa kuidun uloimman, puristavan kerroksen, kaupallisesti saatavissa olevat putket eivät ehkä ole käyttökelpoisia tässä menetelmässä, paitsi jos ne satunnaisesti omaavat lopullisen kui-

dun uloimmalle kerrokselle halutut laajenemis- ja/tai viskositeettiominaisuudet.

Sellaisessa kuidussa kuin on esitetty hakemuksen GB 2 012 983A kuviossa 12 peitteen uloimman kerroksen 60 on mainittu olevan puristusjännityspeitekerros. On todettu, että jännitys σ symmetrisesti pyöreän yksimuotoisen optisen aaltoputkikuidun sydämessä on yhtä suuri kuin tulo $f \times g$, jossa f on geometrinen tekijöiden funktio ja g on lasiin liittyvien tekijöiden funktio. Funktiota f esittää yhtälö

$$f = \frac{A_{sc}}{A_f} \quad (1)$$

jossa A_{sc} on jännityspeitekerroksen poikkileikkauspinta-ala ja A_f on koko kuidun poikkileikkauspinta-ala. Funktion f arvo voi siis olla välillä $0 < f < 1$. Funktiota g esittää yhtälö

$$g = \frac{E(\Delta\alpha)\Delta T}{2(1-\nu)} \quad (2)$$

jossa E on kuidun tehollinen kimmomoduuli, $\Delta\alpha$ on jännityspeitekerroksen TCE-arvon ja muun kuidun TCE-arvon erotus, ΔT on erotus kuidun käsittämien lasien alimman jähmettymispisteen ja huoneenlämpötilan välillä ja ν on Poissonin vakio. Koska yllämainittu jännityksen σ määrittely pätee myös epäsymmetristen kuitujen kuten hakemuksessa GB 2 012 983A esitettyjen kuitujen suhteen, on tarpeen maksimoida f suurimman sydänjännityksen ja siten suurimman jännityksen aiheuttaman kahtaistaitteisuuden saavuttamiseksi. Suuremmat f -arvot kuin 0,9 olisi saavutettava kahtaistaitteisuuden maksimiarvojen aikaansaamiseksi. Funktion f maksimoinnin tarpeellisuus on todettu hakemuksessa GB 2 012 983A osoitettuna sen yhtälöillä (7) ja (8).

Toinen tekniikassa tunnettu suunnittelukriteeri yksimuotoisia optisia aaltoputkia varten koskee häviöiden minimointia. Yleinen menetelmä yksimuotoisen optisen aaltoputken

esimuotojen muodostamiseksi on esitetty hakemuksen GB 2 012 983A kuviossa 11, jossa näkyy useita substraattiputken sisäpinnalle höyryllä päällystettyjä kerroksia. Substraattiputken puhtaus ei yleensä ole niin suuri kuin höyryllä päällystetyn lasin puhtaus. Sen vuoksi höyryllä muodostettu sydänlasi eristetään substraattiputkesta riittävän paksulla kerroksella höyryllä muodostettua optista peitelasia. Yksimuotoisessa kuidussa, jonka sydämen poikkileikkaus on pyöreä tai likimain pyöreä, optisen peitekerroksen säteen r_s pitäisi olla vähintään viisi kertaa niin suuri kuin sydämen säde r_a . Tämä arvio perustuu niihin tuloksiin, jotka on ilmoitettu julkaisussa: Electronics Letters, Vol. 13, n:o 15, sivut 443-445 (1977). Kuiduissa, joiden sydämillä on soikea poikkileikkaus, ei mainitulla säteiden suhteella ole mielekästä merkitystä. Tällaisessa kuidussa optisen peitekerroksen ulottuvuus määritetään paremmin ilmoitettuna sen paksuutena. Koska yksimuotoisen sydämen koko on yhteydessä läpikulkevaan aallonpituuteen λ , optisen peitekerroksen paksuus voidaan myös määrittää aallonpituuksina. Yllämainittu peitekerroksen säteen suhde sydämen säteeseen merkitsee sitä, että optisen peitekerroksen paksuuden pitäisi olla vähintään noin 20λ . Kun yksimuotoinen aaltoputki konstruoidaan tämän kriteerin mukaan, peitekerroksen paksuuteen liittyvät häviöt rajoittuvat hyväksyttävän pieneen arvoon.

Seuraava hakemuksen GB 2 012 983A analyysi on tehty ottamalla huomioon mm. se erikoissovellutusmuoto, joka on selostettu hakemuksen kuvioden 10-12 yhteydessä. Tämän sovellutusmuodon mukainen kuitu täyttää sen vaatimuksen, että suhde A_{sc}/A_f ylittää arvon 0,9, paitsi kun substraattiputki täytetään kokonaan sisäkerroksilla valmistettaessa esimuotoa, josta kuitu vedetään. Mainittu poikkeus on tietystikin mahdollisuus. Koska substraattiputkea ei voida kokonaan täyttää sisäkerroksia muodostettaessa, sisäkerrosten kokonaispaksuutta rajoittaa substraattiputken sisäläpimitta.

On tunnettua, että kerrosprofiilin omaavan yksimuotoisen kuidun sydämen läpimitta on yleensä välillä 3-10 μm . Kuidun ulkoläpimitta on tyypillisesti noin 125 μm . Jos hakemuksessa GB-2 012 983A esitetty esimuoto valmistetaan tavallisen käytännön mukaan siten, että suhde A_{GC}/A_f ylittää arvon 0,9, optisen peitekerroksen paksuus tulee olemaan pienempi kuin 20λ tavallisilla aallonpituuksilla. Tällöin riittämättömästä optisen peitekerroksen paksuudesta johtuva lisähäviö ei tule olemaan tarpeeksi pieni useita sovellutuksia varten.

Niinpä tämän keksinnön tarkoituksena on aikaansaada parannettu yksimuotoinen optinen yksittäispolarointiaaltoputki, jossa esiintyy jännityksen aiheuttamaa kahtaistaitteisuutta. Toisena tarkoituksena on aikaansaada aikaisemmin tuntemattomia menetelmiä polaroinnin säilyttävien yksimuotoisten optisten kuitujen valmistamiseksi. Tämän keksinnön mukainen menetelmä on erikoisen edullinen siinä suhteessa, että se ei käsitä vaiheita, jotka heikentävät kuituesimuotoa.

Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi on keksinnön mukaiselle aaltoputkikuidulle tunnusomaista se, että se sisältää sydämen joka on läpinäkyvää lasia, ja peitelasikerroksen sydämen päällä, jonka sydämen valontaitekerroin on suurempi kuin peitelasien, ensimmäisen parin vastakkain sijaitsevia pitkittäin ulottuvia lasialueita, jotka sijaitsevat mainitussa peitteessä, jotka alueet sijaitsevat erillään sydäimestä, jolloin lasialueiden lämpölaajenemiskerroin on erilainen kuin peitekerros lasilla.

Aaltoputkikuidun lasisydämellä on soikea poikkileikkausmuoto. Sydämen pintaan voidaan sijoittaa ellipsinmuotoinen kerros optista peitelasia, jolla on suurempi taitekerroin kuin sydänlasilla. Tämän kerroksen ympärille sijoitetaan ulompi kerros jännitystä aiheuttavaa peitelasia, jolla on erilainen lämpölaajenemiskerroin kuin ellipsinmuotoisella peitekerroksella. Ulomman peitekerroksen ulkopinnan poikkileikkaus on olennaisesti pyöreä.

Keksinnön mukaisen menetelmän tunnusmerkit selviävät vaaimuksesta 6.

Optinen kuitu voidaan valmistaa muodostamalla putkimainen välituote, joka käsittää sydänlasia olevan sisäkerrokseen, jota ympäröi ensimmäinen peitelasikerros. Välituote puserretaan kokoon litistetyksi esimuototuotteeksi, jossa sydänlasi on muunnettu pitkänomaisen poikkileikkauksen omaavaksi yhtenäiseksi kerrokseksi. Tätä sydänkerrosta ympäröi sisempi peitekerros, jolla on soikea poikkileikkausmuoto. Sisemmän peitekerroksen ulkopinta päällytetään kerroksella rakeista lasia, jota usein nimitetään karstaksi ja jolla on erilainen TCE kuin sisemmän peitekerroksen lasilla. Saatua tuotetta kuumentetaan rakeisen lasin kiinteyttämiseksi ulommaksi peitelasikerrokseksi, jolloin muodostuu kiinteä vetoaunio, joka voidaan vetää optiseksi aaltoputkikuiduksi.

Putkimaisen välituotteen erään valmistusmenetelmän mukaan usein kerroksia muodostetaan kemiallista höyrypäälystystekniikkaa käyttäen sellaisen substraattiputken sisäpintaan, jonka lasi voi olla vähemmän puhdasta kuin sen sisälle päällystetyt lasikerrokset. Sisin kerros muodostaa sydämen ja sitä lähinnä oleva kerros, joka on paksumpi kuin sydänkerros, muodostaa optisen peitekerroksen. Tämä kuidunvalmistusmenetelmä tekee mahdolliseksi sen, että optisen peitekerroksen paksuus tulee olemaan suurempi kuin 20λ toiminta-aallonpituudella. Täten on sydän riittävästi eristetty epäpuhtaasta substraattiputkesta.

Eräessä toisessa sovellutusmuodossa putkimainen välituote valmistetaan käyttäen liekkihapetusmenetelmää. Reaktanttihöyryjä syötetään polttimeen, jonka liekissä ne hapettuvat muodostaen rakeisen lasin kerroksia sylinterimäisen karan pintaan. Ensiksi viety kerros muodostaa lopullisen kuidun sydänkerroksen. Ainakin yksi lisäkerros viedään ensimmäisen kerroksen pintaan sisemmän peitekerroksen muodostamiseksi. Kun kara on poistettu, saatu ontto huokoinen esimuoto voidaan kiinteyttää muodostamaan ontto lasiputki, jota sen

jälkeen kuumennetaan vastakkaisilta puolilta sen saattamiseksi pusertumaan litteäksi. Vaihtoehtoisesti alipaine voidaan aikaansaada karstaesimuodon reikään sen saattamiseksi pusertumaan litteäksi kiinteyttämisen aikana.

Nämä molemmat menetelmät tekevät mahdolliseksi hyvin paksun jännitystä aiheuttavan peitekerroksen muodostamisen, niin että suhteen A_{sc}/A_f arvo tulee olemaan suurempi kuin 0,9.

Vielä eräessä muussa keksinnön sovellutusmuodossa yksimuotoinen optinen yksittäispolarointiaaltoputkikuitu käsittää läpinäkyvää lasia olevan sydämen sekä sydämen pinnalla sijaitsevan peitelasikerroksen, sydänlasin taitekertoimen ollessa suurempi kuin peitekerroslasin taitekerroin. Peitekerros käsittää kaksi vastakkain sijoitettua pitkittäin ulottuvaa aluetta, jotka on muodostettu lasista, jolla on suurempi tai pienempi TCE kuin peitekerroslasilla. Kuitu voi lisäksi käsittää toisen parin vastakkain sijaitsevia alueita, jotka on sijoitettu suorakulmaisesti edellisten vastakkaisten alueiden suhteen. Edellisellä kahdella alueella on suurempi TCE kuin peitekerroslasin ja toisella alueparilla on pienempi TCE kuin peitekerroslasilla.

Viimeksimainitun sovellutusmuodon mukainen kuitu voidaan valmistaa seuraavalla menetelmällä. Ensimmäinen rakeista lasia oleva päällyste muodostetaan pyörivän karan pintaan. Toinen päällyste rakeisesta lasista, jolla on pienempi taitekeroin kuin ensimmäisellä päällysteellä, muodostetaan ensimmäisen päällysteen päälle. Ensimmäinen ja toinen pitkittäin ulottuva alue rakeisesta lasista, jolla on erilainen TCE kuin mainitulla toisella päällysteellä, muodostetaan vastakkain sijaitseviin toisen päällysteen kohtiin. Tämä voidaan suorittaa pysäyttämällä karan kiertoliike, siirtämällä päällystysvälinettä pituussuuntaan pitkin karaa, kääntämällä karaa 180° verran ja siirtämällä jälleen päällystysvälinettä pitkin karaa. Vaihtoehtoisesti mainitut

pitkittäin ulottuvat alueet voidaan muodostaa muuttamalla päällystysvälineeseen syötettyjen reaktanttimateriaalien koostumusta karan kiertoliikkeen aikana, niin että haluttujen rakeisten lasien kerros muodostuu karan kullakin kierroksella. Sen jälkeen muodostetaan rakeisen peitelasin päällyste saadun runko-osan ulkopinnalle. Peitelasilla on sama TCE kuin mainitulla toisella lasipäällysteellä ja sillä on sama tai pienempi taitekerroin kuin toisella lasipäällysteellä. Kara poistetaan ja saadusta huokoisesta esimuodosta valmistetaan optinen aaltoputkikuitu.

Vaihtoehtoinen menetelmä keksinnön mukaisen kuidun valmistamiseksi käsittää vaiheen, jossa lasiputken sisään asetetaan keskeisesti ensimmäinen lasisauva, jossa on peitelasikerroksen ympäröimä aksiaalisesti sijaitseva sydänalue. Putken sisään sijoitetaan vastakkain keskisauvan suhteen ensimmäinen pari lasisauvoja, joiden lasilla on erilainen TCE kuin peitelasilla. Peitelasia olevia sauvoja sijoitetaan ainakin joihinkin tyhjiin tiloihin keskisauvan, ensimmäisen sauvaparin ja putken sisäseinämän välillä. Saatu yhdistelmä voidaan vetää kuiduksi. Kahtaistaitteisuuden lisäys voidaan saavuttaa asettamalla putken sisään keskisauvan vastakkaisille puolille sijoitettuna kohtisuoraan ensimmäisen lasisauvaparin suhteen toinen pari lasisauvoja, joilla on erilaiset fysikaaliset ominaisuudet kuin ensimmäisellä lasisauvaparilla.

Keksinnön mukainen kuitu voidaan valmistaa myös menetelmällä, joka käsittää sellaisen kaasun johtamisen ensimmäisen putken läpi, joka kuumennettuna muodostaa lasiosasia, sekä kumentimen siirtämisen pitkin ensimmäisen putken ulkopintaa, jolloin ainakin osa kaasusta muuttuu rakeiseksi materiaaliksi ja ainakin osa rakeisesta materiaalista kerrostuu ensimmäisen putken sisäpintaan. Tämän keksinnön mukainen parannus käsittää kahden putken siirtämisen ensimmäisen putken sisällä pitäen tämän putkiparin päät tietyllä etäi-

syydellä kuumentimesta ylävirran suuntaan, näiden kahden putken sijaitessa symmetrisesti ensimmäisen putken keskustan vastakkaisilla puolilla. Kaasua johdetaan ensimmäisen putken ja putkiparin välitse. Putkiparin kautta johdetaan toista kaasua, joka reagoi kuumassa vyöhykkeessä muodostaen oksidia, joka yhtyen rakeiseen materiaaliin muodostaa lasikerroksen, jolla on erilainen lämpölaajenemiskerroin kuin pelkän ensimmäisen kaasun tuottamalla lasiosasilla. Putkipari voidaan ainakin osaksi vetää taaksepäin ensimmäisestä putkesta silloin, kun kaasua ei johdeta putkiparin kautta.

Oheisissa piirustuksissa

kuvio 1 on poikkileikkaus välituotteesta, jota käytetään sen esimuodon muodostamiseen, josta keksinnön mukainen kuitu valmistetaan,

kuvio 2 esittää laitetta kuvion 1 mukaisen välituotteen kokoonpusertamiseksi,

kuviot 3 ja 4 ovat kaaviomaisia kuvia sellaisen yhdistelmä-esimuodon muodostamiseksi, jossa on ulompi karstapäällyste,

kuvio 5 on poikkileikkaus vetoauniosta, joka on muodostettu kiinteyttämällä kuvion 4 mukainen yhdistelmäesimuoto,

kuvio 6 on poikkileikkaus yksimuotoisesta yksittäispolaarointikuidusta, joka on vedetty kuvion 5 mukaisesta vetoauniosta,

kuvio 7 esittää liekkihydrolyysimenetelmää sydänosan ja sisemmän peiteosan käsittävän esimuodon muodostamiseksi,

kuvio 8 esittää kuvion 7 mukaista karstaesimuotoa karan poistamisen jälkeen,

kuvio 9 esittää kiinteytettyä esimuotoa,

kuvio 10 on kaaviomainen kuva kiinteytysuunista, jota voidaan käyttää kuvion 8 mukaisen esimuodon kiinteyttämiseen,

kuvio 11 on poikkileikkaus tämän keksinnön mukaan konstruoidusta optisesta aaltoputkikuidusta,

kuviot 12 ja 13 ovat poikkileikkauksia muista keksinnön mukaisista sovellutusmuodoista,

kuvio 14 esittää laitetta erään keksinnön mukaisen sovellutusmuodon muodostamiseksi,
kuvio 15 on poikkileikkaus kuvion 14 mukaisella laitteella muodostetusta valmiista karstaesimuodosta,
kuvio 16 on poikkileikkaus kuvion 15 mukaisesta esimuodosta vedetystä kuidusta,
kuvio 17 on poikkileikkaus muunnetun karstaesimuodon osasta,
kuvio 18 on poikkileikkaus sauvoja putkessa käsittävästä vetoauniosta,
kuvio 19 kuvaa vaihtoehtoista laitetta, jota voidaan käyttää keksinnön mukaisen kuidun valmistukseen,
kuvio 20 on poikkileikkaus kuvion 19 mukaisella laitteella muodostetusta esimuodosta,
kuvio 21 on poikkileikkaus kuidusta, joka voidaan valmistaa kuvion 17 tai kuvion 20 mukaisesta esimuodosta.

Kuviot 1-10 koskevat sovellutusmuotoa, jossa yksimuotoinen kuitu käsittää soikean sydämen, jota ympäröi sisempi soikea peitekerros sekä ulompi puristuspeitelasikerros, jolla on pyöreä ulkopinta. Kuviossa 1 on esitetty välituote 10, joka on muodostettu tunnetulla kemiallisella höyrypäälystysmenetelmällä, jonka avulla yksi tai useampi lasikerros muodostetaan sellaisen substraattiputken sisäpinnalle, joka myöhemmin muodostaa ainakin osan peitemateriaalista. Reaktanttihöyry yhdessä hapettavan väliaineen kanssa virtaa onton sylinterimäisen substraattiputken 12 läpi. Substraatti ja sen sisältämä höyrystetty seos kuumennetaan kuumentimella, joka kulkee substraatin suhteen pitkittäiseen suuntaan, jolloin aikaansaadaan pitkin substraattiputkea 12 siirtyvä kuuma vyöhyke. Rakeisen materiaalin suspensio, joka muodostuu kuumassa vyöhykkeessä, kulkee myötävirtaan ainakin osan siitä jäädessä putken 12 sisäpintaan, jossa se sulaa muodostaen jatkuvan lasikerroksen. Sellaiset prosessin parametrit kuin lämpötila, virtausnopeudet, reaktantit ja sen tapaiset on selostettu US-patentissa 4 217 027 sekä julkai-

suissa: J.B. MacChesney et al., Proceedings of the IEEE, 1280 (1974) ja W.G. French et al., Applied Optics, 15 (1976). Viitataan myös julkaisuun: Vapor Deposition, C.F. Powell et al., John Wiley & Sons, Inc. (1966).

Putken 12 sisäpinta päällystetään joskus ensin ohuella estokerroksella 14, joka on puhdasta silikaa tai oksidin kuten B_2O_3 sisältävää silikaa. Putki 12 on tavallisesti tehty silikasta tai runsaasti silikaa sisältävästä lasista, jonka puhtaus on pienempi kuin siihen muodostettujen höyrypäällysteiden puhtaus. Estokerros ehkäisee hydroksyyli-ionien tai muiden valoa absorboivien epäpuhtauksien siirtymisen optiseen peitekerrokseen 16. Substraattiputken epäpuhtauksien aiheuttaman valonsiirtohäviön vähentämiseksi hyväksyttävän pieneksi kerroksen 16 paksuus tehdään riittävän suureksi, niin että optisen peitekerroksen paksuus saadussa kuidussa tulee olemaan suurempi kuin 20λ . Koska estokerros 14 on vapaavalintainen, sitä ei ole esitetty kuvioissa 3-6. Optinen peitekerros on suhteellisen paksu kerros lasia, jolla on suhteellisen pieni valontaitekerroin. Tavanmukaisesti se koostuu pelkästä silikasta tai silikasta, johon on lisätty pieni määrä muuta oksidia käsittelylämpötilojen alentamiseksi. Pienen P_2O_5 -määrän lisäys silikapeitekerrokseen on esitetty julkaisussa: S. Sentsui et al., Low Loss Monomode Fibers with P_2O_5 - SiO_2 Cladding in the Wavelength Region 1,2-1,6 μm , 5th European Conference on Optical Communication, Amsterdam, September 1979. Oksidin P_2O_5 käyttö yhdessä joko oksidin B_2O_3 tai aineen F kanssa silikapeitekerroksessa on esitetty julkaisussa: B.J. Ainslie et al., Preparation of Long Length of Ultra Low-Loss Single-Mode Fiber, Electronics Letters, July 5, 1979, Vol. 15, n:o 14, sivut 411-413. Tällaisten lisäaineiden käyttö on aikaansaanut höyrypäällystyslämpötilan noin $1500^\circ C$, joka on likimain $200^\circ C$ alempi kuin lämpötila, joka tarvitaan pelkkää silikaa käsittävällä peitekerroksella päällystämiseen. Kun optinen peitekerros 16 on valmis, sen sisäpinta pääl-

lystetään suhteellisen ohuella kerroksella 18 sydänmateriaalia. Sydänkerros 18 koostuu tavallisesti erittäin puhtaasta lasista, jonka taitekerroin on suurempi kuin peitekerroksen 16 taitekerroin. Kerros 18 on tavallisesti muodostettu silikasta, johon on lisätty pienen häviön aiheuttavaa oksidia taitekertoimen suurentamiseksi. Yksimuotoisten optisten aaltoputkikuitujen sydänten valmistuksessa on käytetty monia lisäaineita, joista oksidia GeO_2 pidetään parhaimpana. Yksimuotoisten aaltoputkien, joiden häviöt ovat pienemmät kuin 1 dB/km infrapuna-alueella, on valmistettu oksidia GeO_2 sisältävästä piidioksidista, kuten on ilmoitettu edellä mainituissa julkaisuissa: Sentsui et al. ja Ainslie et al. Saatu välituote 10 sisältää reiän 20.

Aallonpituusalueella 1,1-1,8 μm tapahtuvaa toimintaa varten edullinen välituote voidaan konstruoida siten kuin on selostettu US-patenttihakemuksessa S.N. 157 518. Tässä hakemuksessa on esitetty oksidia P_2O_5 sisältävän piidioksidipeitekerroksen muodostaminen silikoboraattia olevan substraattiputken sisäpintaan, minkä jälkeen muodostetaan ohut kerros pelkkää piidioksidia, jotta estetään oksidin P_2O_5 diffundoituminen oksidia GeO_2 sisältävään piidioksidisydämeen, joka on muodostettu päällystämällä pelkkää piidioksidia olevan kerroksen sisäpinta.

Tämän keksinnön tarkoituksia varten edellytetään ainoastaan, että välituote 10 käsittää sydänlasia olevan sisäkerroksen, jota ympäröi kerros pienemmän taitekertoimen omaavaa optista peitelasia. Sydän 18 voitaisiin muodostaa suoraan putken 12 sisäpintaan, jos esimerkiksi putki 12 olisi valmistettu erittäin puhtaasta lasista. Tässä käytetty termi "sisempi peitekerros" tarkoittaa putkea 12 ja jokaista muuta lasikerrosta tai muita lasikerroksia, joka ympäröi tai jotka ympäröivät sydänkerrosta 18 välituotteessa 10.

Tämän menetelmän etuna on, että kaupallisesti saatavissa

olevia lasiputkia voidaan käyttää substraattiputkena 12. Peitekerroksen 16 poikkileikkauspinta voidaan tehdä paljon suuremmaksi, esim. kaksi kertaa niin suureksi kuin substraattiputken 12 poikkileikkauspinta, niin että päällystekerroksen 16 eikä putken 12 fysikaaliset ominaisuudet tulevat ensi sijassa määräämään sellaiset sisemmän peitekerroksen ominaisuudet kuin lämpölaajenemiskertoimen. Tällöin substraattiputken poikkileikkauspinta on niin pieni lopullisen kuidun poikkileikkauspintaan verrattuna, että substraattiputken fysikaaliset ominaisuudet jäävät olennaisesti merkityksettömiksi.

Välituote 10 voidaan pusertaa kokoon kuviossa 2 esitetyllä tavalla. Polttimista 22 ja 24 lähtevät liekit 26 ja 28 on suunnattu välituotteen 10 vastakkaisille puolille. Tämän prosessin aikana välituote 10 voi olla kiinnitetty lasisorviin (ei esitetty kuvioissa) samoin kuin se oli kerrosten 14 ja 16 muodostuksen aikana. Kuviossa 2 esitetyn puserusprosessin ajaksi sorvin kiertoliike pysäytetään, niin että ainoastaan tuotteen 10 vastakkaiset puolet tulevat kuumennetuiksi. Puserusvaihe suoritetaan parhaiten säädetyn sisäisen paineen vallitessa, kuten on selostettu US-patentissa 4 154 491. Tämän vaiheen aikana kuumentimien pitää ulottua aksiaalisesti riittävän leveälle välituotteen 10 alueelle, jotta sen kokoonpusertuminen on mahdollista. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää yhtä kuumenninta siihen tapaan kuin on selostettu US-patentissa 4 184 859, jolloin ensin puserretaan kokoon yksi puoli ja sen jälkeen toinen puoli.

Välituotteen 10 täydellisen kokoonpuristuksen tuloksena saadaan esimuotoesituote 30, jossa sydänkerroksen 16 vastakkaiset puolet ovat yhtyneet muodostaen poikkileikkaukseltaan pitkänomaisen sydänosan 32. Hyvin suuria sydämen muotosuhdearvoja voidaan näin saavuttaa. Sydäntä ympäröi sisempi peiteosa 34 ja substraattiosa 36, jotka kumpikin ovat muodoltaan soikeita.

Esimuotoesituote 30 varustetaan sen jälkeen peiteosalla, jonka ulkopinta on poikkileikkaukseltaan olennaisesti pyöreä. Esimuotoesituotteen 30 pinta käsitellään tavanmukaisesti ennen ulommalla peitteellä päällystämistä. Esimuotoesituotteen 30 pinta pidetään puhtaana välituotteen 10 kokonpusertumisen aikaansaaneen liekkikiillotusvaiheen jälkeen työntämällä esimuotoesituote 30 puhtaaseen suljettuun pussiin kuten polyeteenipussiin. Jos esimuotoesituotetta 30 käsitellään tai sen annetaan likaantua, tarvitaan tyypillisesti useita puhdistusvaiheita. Se pestään deionisoidussa vedessä ja sen jälkeen isopropyylialkoholikylvyssä. Sitteen sitä syövytetään fluorivedyllä muutamien mikrometrienasikerroksen poistamiseksi, mikä vastaa noin 1 % tuotteen painosta. Sen jälkeen esimuotoesituotetta 30 huuhdellaan deionisoidulla vedellä, siitä poistetaan rasva isopropyylialkoholilla ja se asetetaan puhtaaseen polyeteenipussiin. Esimuotoesituote 30 päällystetään halutun lasiseoksen karstalla käyttäen tavanmukaista liekkihydrolyysimenetelmää, joka on samanlainen kuin on selostettu US-patenteissa 3 737 292 ja 4 165 223. Kuvioissa 3 ja 4 on esitetty laite, jota nykyisin tavallisesti käytetään pienen häviön aiheuttavien optisten aaltoputkikuitujen valmistuksessa. Lasikarstaa sisältävä liekki 38 lähtee liekkihydrolyysipolttimesta 40, johon syötetään polttoainetta, reaktanttikaasua sekä happea tai ilmaa. Sellaisia polttimia kuin on esitetty US-patenteissa 3 565 345; 3 565 346; 3 609 829 ja 3 698 936 voidaan käyttää. Nestemäiset aineosat, joita tarvitaan lasikarstan muodostamiseen, voidaan syöttää polttimeen käyttäen mitä tahansa useista aikaisemmin tunnetuista reaktantisyöttösystemeistä. Tässä yhteydessä viitataan US-patentteihin 3 826 560; 4 148 621 ja 4 173 305. Polttimiin syötetään ylimäärä happea, niin että reaktanttihöyryt hapettuvat liekkissä 30 muodostaen lasikarstaa, joka suuntautuu esituotetta 30 kohti.

Ulomman peitekerroksen erään valmistusmenetelmän mukaisesti

esimuotoesituotteen 30 litistetyt sivuseinämät päällystetään aluksi pitkittäisillä kaistaleilla 44 ja 46 pyöreän ulomman peitekerroksen muodostumisen nopeuttamiseksi. Sorvin ollessa pysäytettynä poltin 40 suorittaa riittävän määrän pitkittäisiä pyyhkäisyjä karstakerroksen 44 muodostamiseksi. Esimuotoesituotetta käännetään 180° verran ja toinen karstakerros 46 muodostetaan ensimmäistä kerrosta vastapäätä, kuten kuviossa 4 on esitetty. Sen jälkeen muodostetaan ulompi karstakerros 48 pyörittämällä esimuotoesituotetta 30 polttimen 40 siirtyessä pituussuunnassa sen suhteen.

Kaistaleiden 44 ja 46 muodostusvaihe voidaan jättää pois aiheuttamatta liian suurta ulottuvuutta tulokseksi saadun kuidun mitoissa. Jos peitekerros 48 muodostetaan suoraan esimuotoesituotteen 30 päälle, polttimesta lähtevä karstavirta tulee kerrostamaan suuremman karstamäärän esimuotoesituotteen 30 litteiden sivuseinämien sijaitessa polttiin päin kuin sen pyöristettyjen osien ollessa polttiin päin, koska karstan kiertymistehokkuus on kohteen koon funktio. Tämä on omiaan vähentämään karstapeitteen poikkileikkauksen epäpyöreyttä kerrosta 48 muodostettaessa. Olenainen pyöreys voidaan saavuttaa, kun kerroksen 48 ulkoläpimitta on riittävän suuri verrattuna sydämen kokoon, saadun kuidun saattamiseksi toimimaan yksimuotoisena kuituna. Kerroksen 48 paksuuden pitää olla riittävän suuri, jotta se saattaa suhteen A_{SC}/A_f lopullisessa kuidussa ylittämään arvon 0,9.

Liekkihydrolyysillä aikaansaatu peitekerros on huokoinen, ja se on kuumennettava sen sulattamiseksi eli kiinteyttämiseksi osasrajoista vapaaksi lasikerrokseksi. Kiinteytys suoritetaan sopivimmin työntämällä yhdistelmäkappale 50 kiinteytysuuniin kiinteytysuuniin US-patentissa 3 933 454 esitettyyn tapaan. Saatu lasivetoaunio 56 ei mahdollisesti ole poikkileikkaukseltaan pyöreä, jos kerroksia 44 ja 46 ei ole muodostettu tai jos ne on muodostettu sillä tavalla, etteivät ne tasoita esimuotoesituotteen 30 alkuperäistä epäpyöreyttä. Kiinteytetyn aunion 56 ulkopinnan poikkeami-

nen pyöreystä vähenee lisättäessä ulomman peitekerroksen 48 määrää.

Kuvion 5 mukainen vetoaunio 56 asetetaan vetouuniin, jossa ainakin sen yksi pää kuumennetaan lämpötilaan, joka on riittävä, jotta kuvion 6 mukainen kuitu 70 voidaan vetää siitä yleisen käytännön mukaan. Kuitua 70 vedettäessä pintajännitys pyrkii pyöristämään sen ulkopintaa.

Vaihtoehtoisia välituotteen valmistusmenetelmiä on esitetty kuvioissa 7 - 10. Kuten kuviossa 7 on esitetty, ensimmäinen lasikarstakerros 84 muodostetaan sylinterimäisen karan 85 pintaan käyttäen samanlaista tavanmukaista liekkihydrolyysimenetelmää kuin edellä. Lasikarstaa sisältävä liekki 86 lähtee liekkihydrolyysipolttimesta 87 törmäten karaa 85 vasten. Kun sydänlasin päällyste 84 on muodostettu karan 85 pintaan, polttimeen 87 syötetyn reaktanttikaasun koostumista muutetaan ja sisempää peitelasia oleva toinen päällyste 88 muodostetaan ensimmäisen päällysteen 84 ulkopinnalle. Päällysteellä 84 on suurempi taitekerroin kuin päällysteellä 88. Päällysteen 88 fysikaaliset ominaisuudet kuten sen lämpölaajenemiskerroin on valittu siten, että ne aikaansaavat vaaditun määrän jännitystä, joka kohdistuu lopullisen optisen aaltoputkikuidun sisempään peitekerrokseen.

Kun päällyste 88 on saavuttanut halutun paksuuden, kara poistetaan, kuten näkyy kuviossa 8, jolloin muodostuu reiän 89 käsittävä huokoinen esimuoto 90. Saatu ontto karstaesimuoto voidaan sen jälkeen kiinteyttää edellä selostetulla tavalla kuvion 9 mukaisen ontton välituotteen 10' muodostamiseksi. Välituote 10' voidaan pusertaa kokoon kuviossa 2 esitetyllä tavalla ja sitä voidaan käsitellä edelleen kuvioiden 3-6 yhteydessä selostetulla tavalla polaroinnin säilyttävän yksimuotoisen optisen aaltoputkikuidun valmistamiseksi.

Kuvion 8 mukainen huokoinen esimuoto 90 voidaan vaihtoehtoisesti kiinteyttää kuviossa 10 esitetyllä tavalla suuren

muotosuhteen omaavalla sydämellä varustetun esimuotoesituotteen valmistamiseksi yhdessä käsittelyvaiheessa. Kun sydänkara 85 on poistettu karstaesimuodosta, putki 91 työnnetään esimuodon yhteen päähän. Sen jälkeen esimuoto ripustetaan putkimaisesta kannattimesta 92 kahdella platinalangalla, joista vain lanka 93 on esitetty kuviossa. Kaasua johtavan putken 91 pää työntyy putkimaisesta kannattimesta 92 esimuodon 90 pään sisään. Esimuoto kiinteytetään työntämällä sitä vähitellen kiinteytysuuniin 94 nuolen 97 suuntaan. Esimuoto olisi saatettava gradienttikiinteytyksen alaiseksi siten, että sen alapää alkaa ensin kiinteytyä, kiinteytyksen jatkuessa ylöspäin pitkin esimuotoa kunnes se saavuttaa sen pään, joka on lähellä putkimaista kannattinta 92. Kiinteytysvaiheen aikana huuhtelukaasua kuten heliumia, happea, argonia, neonia tai sentapaista tai niiden seosta johdetaan kiinteytysuunin läpi, kuten on osoitettu nuolilla 95. Ennen esimuodon 90 kiinteytymisen alkua kuivauskaasuja voidaan johtaa reikään 89 US-patentissa 4 125 388 selostetulla tavalla. Esimuodon alkupään alkaessa kiinteytyä painetta reiässä 89 alennetaan esimuodon ulkopuolella vallitsevan paineen suhteen. Tämä voidaan aikaansaada yhdistämällä imusysteemi kaasua johtavaan putkeen 91 johdon 96 kautta. Kun esimuotoa 90 työnnetään kiinteytysuuniin nuolen 97 suuntaan, reiässä 89 vallitseva alipaine saattaa reiän 89 painumaan litteäksi alkaen esimuodon aluksi kiinteytetyn kärkiosan alueelta. Esimuodon muun osan kiinteytyessä reiän litteäksi painuminen jatkuu. Siten yhdessä ainoassa kiinteytysvaiheessa huokoinen karstaesimuoto 90, jonka sisällä on reikä 89, voidaan kiinteyttää ja samanaikaisesti sen reikä painaa litteäksi, niin että muodostuu kuviossa 3 viitteellä 30 merkittyä tyyppiä oleva esimuotoesituote.

Viitaten jälleen kuvioihin 4-6, karstakerroksen 48 (ja kaistaleiden 44 ja 46, jos ne on muodostettu) koostumus on sellainen, että saadun lopullisen peitekerroksen 74 lämpölaajenemiskerroin on paljon suurempi tai paljon pienempi kuin

kuidun 70 muun osan lämpölaajenemiskerroin. On tunnettua, että osa 72 (joka käsittää sydämen 80, substraattiputken 82 ja kaikki sisemmän peitteen 78 muodostavat kerrokset) joutuu vetojännityksen alaiseksi, jos ulomman eli "puristusjännityspeitekerroksen" 74 lämpölaajenemiskerroin on pienempi kuin osan 72 tehollinen lämpölaajenemiskerroin. Päinvastoin osa 72 joutuu puristuksen alaiseksi, jos sen kerroin on pienempi kuin jännityspeitekerroksen 74 kerroin. Katso julkaisua: S.T. Gulati & H.E. Nagy, American Ceramic Society 61 260 (1978). Lisäksi jännitysjakaantuma tulee esiintymään aaltoputkisydämessä 80, jossa $\sigma_x > \sigma_y$, jossa σ_x ja σ_y ovat sydämen alueella vallitsevat jännitykset sydämen poikkileikkauksen pitkän akselin suuntaan ja kohtisuoraan sitä vastaan. Tämä jännitysten ero kasvaa lisäksi sydänalueen muotosuhteen suuretessa. Tämä jännitysero tulee aikaansaamaan halutun kahtaistaitteisuuden.

Jännitys $3,1-6,2 \text{ kp/cm}^2$ sydämessä tarvitaan vaaditun kahtaistaitteisuuden aikaansaamiseksi. Niillä muotosuhteilla, jotka on saavutettavissa edellä selostetuilla menetelmillä, lämpölaajenemiskertoimien erotuksen sisemmän peitteen ja ulomman jännityspeitteen välillä pitäisi olla suurempi kuin $1 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$. Seuraavassa esitetään kaksi teoreettista esimerkkiä, joissa kuitujen eri osien lasinkoostumukset on valittu siten, että kuidunsydän on vastaavasti puristus- tai vetojännityksen alaisena.

Kuvion 6 mukaista tyyppiä oleva kuitu valmistetaan taulukossa 1 mainituista lasiseoksista. Kunkin seoksen lämpölaajenemiskerroin (TCE) on myös ilmoitettu.

Taulukko 1
Koostumus (paino-%)

	<u>GeO₂</u>	<u>SiO₂</u>	<u>TCE (x10⁻⁷/°C)</u>
Sydän 80	15	85	13
Sisempi peite 78		100	5
Putki 82		100	5
Ulompi peite 74	30	70	23

Taulukon 1 mukaisen kuidun sydän on puristusjännityksen ja sen ulompi peite vetojännityksen alaisena. Vaikka sydän on riittävästi jännitettynä, tällainen kuitu voi olla epätydyttävä lujuuden suhteen. Tällainen kuitu voitaisiin vahvistaa lisäämällä sen ulkopintaan edelleen pienen laajenemisen omaava, esimerkiksi piidioksidia oleva peitekerros.

Kuviossa 6 esitettyä tyyppiä oleva kuitu voitaisiin valmistaa taulukossa 2 mainituista materiaaleista sydämen saattamiseksi vetojännitystilaan.

Taulukko 2
Koostumus (paino-%)

	<u>GeO₂</u>	<u>P₂O₅</u>	<u>SiO₂</u>	<u>TiO₂</u>	<u>TCE (x10⁻⁷/°C)</u>
Sydän 80	15	1,5	83,5		15
Sisempi peite 78		1,5	98,5		6
Ulompi peite 74			93	7	0

Tämäntyyppinen kuitu, jossa sydän on vetojännityksen alaisena, on edullinen, koska ulompi peitekerros on puristusjännityksen alaisena, mikä tilanne on omiaan vahvistamaan kuitua.

Kuviot 11-21 esittävät keksinnön erästä toista sovellutusmuotoa, jossa kuidun sydämelle on aikaansaatu jännityksen aiheuttama kahtaistaitteisuus viemällä peitekerrokseen sydämen vastakkaisille puolille pitkittäin ulottuvat alueet lasia, jonka TCE eroaa muun peitekerroksen TCE-arvosta. Kuvio 11 esittää poikkileikkausta optisesta yksittäispola-

rointiaaltoputkikuidusta, joka käsittää sisemmän peitealueen 111 ympäröimän sydämen 110. Sydämen 110 suhteen vastakkaisilla puolilla sijaitsee kaksi kapeaa pitkittäin ulottuvaa aluetta 112, joiden materiaalin TCE eroaa peitteen 111 materiaalin TCE-arvosta. Kuviossa 11 alueiden 112 poikkileikkaukset on esitetty jonkin verran summittaisesti, mutta alempana selostetaan menetelmiä, jotka aikaansaavat näille alueille erilaisia erikoismuotoja. Kun tällaista kuitua vedetään, pitkittäin ulottuvat alueet 112 ja niiden suhteen suorakulmaisesti sijaitsevat peitekerrokset tulevat kutistumaan erilaisessa määrässä, minkä johdosta alueet 112 joutuvat veto- tai puristusjännitystilaan riippuen niiden TCE-arvosta peitekerroksen TCE-arvoon verrattuna. Jännityksen aiheuttama kahtaistaitteisuus, joka näin on aikaansaatu kuituun, vähentää liitääntää mainitun kahden suorakulmaisesti polaroidun perusmuodon välillä. Alueita 112 ympäröi ulompi peitekerros 113, jonka taitekerroin on sopivimmin sama tai pienempi kuin sisemmän peitekerroksen 111 taitekerroin. Kerros 113 voi koostua esimerkiksi mistä tahansa niistä materiaaleista, jotka on mainittu käytettäväksi peitekerroksessa 111.

Peitekerroksen 113 ulkopinta voi olla pyöreä, kuten on esitetty kuviossa 11, tai siinä voi olla alueita, jotka on tehty litteäksi yllämainitussa brittiläisessä patenttihakemuksessa GB 2 012 983A selostetulla tavalla kuidun suuntaamiseksi polaroitua valoa lähettävän valonlähteen suhteen tai toisen kuidun suhteen, johon se on yhdistettävä. Jos peitekerroksen 113 ulkopinta on olennaisesti pyöreä, voi olla järjestetty muita apukeinoja, kuten pitkittäinen syvennys 114 suuntaustarkoituksia varten. On edullista, että kuidun ulkopinta on olennaisesti pyöreä, jolloin kuidun tulopää voidaan oikein sovittaa kuitua systeemiin asennettaessa. Tulopää yhdistetään polaroidun valon lähteeseen, ja analysaattori yhdistetään kuidun lähtöpäähän. Kuidun tulopäätä kierretään lähteen suhteen kunnes lähtöpäästä

saapuvan valon maksimi tai minimi löydetään. Kun jompi kumpi niistä on löydetty, kuidun tulopää kiinnitetään pysyvästi polaroidun valon lähteeseen.

Alueiden 112 pitäisi sijaita niin lähellä sydäntä 110 kuin mahdollista ilman, että ne vaikuttavat liikaa kuidun valonlöpäisyominaisuuksiin. Jos alueet 112 on muodostettu pienihäviöisestä materiaalista, jolla on sama taitekerroin kuin sisemmällä peitekerroksella 111, alueiden 112 minimisäde r_m on noin $1,5 r_a$, jossa r_a on sydämen 110 säde. Alueiden 112 taitekertoimen sovittaminen samaksi kuin peitekerroksen taitekerroin voidaan suorittaa käyttämällä piidioksidista valmistettua peitekerrosta sekä muodostamalla jännitystä aiheuttavat alueet 112 esim. piidioksidista, johon on lisätty jokin seuraavista oksidien yhdistelmistä: GeO_2 ja B_2O_3 tai P_2O_5 ja B_2O_3 tai GeO_2 , P_2O_5 ja B_2O_3 . Esimerkki sopivasta suuren lämpölaajenemiskertoimen omaavasta seoksesta, jolla on olennaisesti sama taitekerroin kuin pelkällä piidioksidilla, on piidioksidi, johon on lisätty 12 paino-% B_2O_3 ja 4 paino-% P_2O_5 . Jotta varmistetaan, että saatu kuitu omaa pienihäviöominaisuudet, ainakin keskialue, ts. sydän ja sisempi peitekerros olisi muodostettava käyttäen kemiallista häyrypäälystysmenetelmää. Jos näiden kahden alueen taitekertoimet eivät ole yhteensopivia ja jos r_m on liian pieni, ts. pienempi kuin noin $1,5 r_a$, alueet 112 voivat aiheuttaa valonsiirtohäviöitä hajasäteilyn vuoksi.

Jos alueet 112 vaikuttavat epäedullisesti kuidun valonsiirto-ominaisuuksiin, esim. jos alueet 112 on tehty materiaalista, joka absorboi liikaa valoa siirrettävillä aallonpituuksilla, näiden alueiden sisäsäteiden r_m pitäisi olla ainakin kolminkertainen ja sopivimmin vähintään viisinkertainen sydämen säteeseen verrattuna. Tämä arvio perustuu tuloksiin, jotka on ilmoitettu julkaisussa: Electronics Letters, Vol. 13, n:o 15, sivut 443-445 (1977). Ilmeisesti valoa absor-

van materiaalin epäedullinen vaikutus lisääntyy sen etäisyyden sydäimestä pienetessä. Kuitenkin kahtaistaitteisuuden suuruus sydämessä myös vähenee, kun jännitystä aiheuttavien pitkittäisten alueiden sisäsäde r_m pienenee. Alueiden 112 sisäsäteen optimiarvo riippuu käytetyn yksimuotoisen aaltoputken erikoistyyppistä, koska yksimuotoisen aaltoputken sydänalueen toiselle puolelle etenevän valon määrä riippuu sellaisista parametreista kuin sydämen säde ja taitekerroin.

Kuitu voi sisältää toisen ryhmän vastakkain sijaitsevia pitkittäin ulottuvia alueita, joiden fysikaaliset ominaisuudet ovat erilaiset kuin jännitystä aiheuttavien alueiden ensimmäisessä ryhmässä. Kuviossa 12 esitetty kuitu käsittää sydämen 116, sisemmän peitekerroksen 117 ja ulomman peitekerroksen 118. Kaksi pitkittäin ulottuvaa aluetta 119, joilla on erilainen lämpölaajenemiskerroin kuin peitekerroksilla, sijaitsevat toisiaan vastapäätä sydämen 116 suhteen. Suorakulmaisesti alueiden 119 suhteen sijaitsee toinen pari pitkittäin ulottuvia alueita 120, jotka voivat olla valoa absorboivaa lasia tai lasia, jonka TCE poikkeaa kerroksen 117 TCE-arvosta eri suuntaan kuin alueen 119 TCE poikkeaa kerroksen 117 TCE-arvosta. Esimerkiksi alueiden 120 TCE-arvon pitäisi olla pienempi kuin kerroksen 117 TCE, jos alueiden 119 TCE on suurempi kuin kerroksen 117 TCE.

Jos peitekerrokset koostuvat pelkästä piidioksidista, alueet 119 voisivat olla B_2O_3 - ja P_2O_5 -pitoista piidioksidia, kun taas alueet 120 voisivat olla TiO_2 -pitoista piidioksidia. Alueet 119 tulevat olemaan vetojännitystilassa ja alueet 120 puristusjännitystilassa. Vetojännitysalueiden vaikutus on additiivinen puristusjännitysalueiden vaikutuksen kanssa, niiden yhdistetyn vaikutuksen aikaansaadessa suuremman jännityksenaiheuttaman kahtaistaitteisuuden kuin mikä olisi saavutettavissa yksistään joko alueiden 119 tai alueiden 120 avulla.

TiO_2 -pitoiset alueet ovat häviöitä aiheuttavia kahdesta

syystä. TiO_2 - SiO_2 -lasi pyrkii erottumaan faaseiksi ja muodostamaan pieniä epähomogeenisia valoa hajottavia kohtia, jotka lisäävät hajasäteilyhäviöitä. TiO_2 myös suurentaa alueen taitekerroimen arvoon, joka on suurempi kuin kerroksen 117 taitekerroin, niin että sydäimestä 116 alueisiin 120 saapuva valo pyrkii taittumaan alueisiin 120 sekä niiden lävitse ja siten pois sydäimestä 116. Jännitysalueet voidaan tehdä häviöitä aiheuttaviksi valmistamalla ne lasisauvoista, jotka on sulatettu sellaisissa upokkaissa, jotka sisältävät absorboituvia epäpuhtauksia kuten rautaa, nikkeliä, kobolttia, kuparia ja sentapaisia.

Edellämainitussa brittiläisessä patenttihakemuksessa GB 2 012 983A on ilmoitettu, että siinä selostetuilla menetelmillä on mahdollista valmistaa kuituja, joiden jännityskahtaistaitteisuus Δn on niin suuri kuin 40×10^{-5} , ja että interferenssipituus L tällä Δn -arvolla on 2,5 mm aallonpituudella 1 μm ja 1,25 mm aallonpituudella 0,5 μm . Eräissä sovellutuksissa tarvitaan kuitenkin vielä lyhyempiä interferenssipituuksia, jotka edellyttävät Δn -arvoja noin 10^{-3} . Seuraava teoreettinen esimerkki osoittaa, että tällaiset Δn -arvot on helposti saavutettavissa tämän keksinnön mukaisen kuiturakenteen avulla. Kuviossa 13 on esitetty kuitu, jossa on sydän 122, peitekerros 123 ja kaksi poikkeileikkaukseltaan pyöreää pitkittäistä aluetta 124. Sydämen 122 läpimitta on 5 μm , jännitystä aiheuttavien alueiden 124 läpimitta 25 μm ja peitekerroksen 123 läpimitta 125 μm . Pyöreiden alueiden 124 keskipisteet sijaitsevat säteen 25 μm etäisyydellä keskustasta. Sydämen 122 koostumus ei ole erikoisen olennainen, on nimittäin vain tarpeen, että sillä on suurempi taitekerroin kuin pelkkää piidioksidia olevalla peitekerroksella 123. Alueiden 124 koostumus on: 5 paino-% P_2O_5 , 12 paino-% B_2O_3 ja 83 paino-% SiO_2 . Kahtaistaitteisuuslaskelmat perustuvat julkaisuun: G.W. Scherer, Stress-Induced Index Profile Distortion in Optical Waveguides, Applied Optics, Vol. 19, n:o 12, June 1980, sivut

2000-2006. Tietokonetta käyttäen määritettiin yhdestä alueesta 124 johtuva kahtaistaitteisuus sydämessä ja sisemmässä peitekerroksessa. Sen jälkeen määritettiin toisesta alueesta 124 johtuva kahtaistaitteisuus samoissa kohdissa ja lisättiin ensiksi laskettuun arvoon. Tulokset on esitetty käyrinä kuviossa 13. Käyrät 125, 126, 127 ja 128 vastaavat kahtaistaitteisuusarvoja $0,4 \times 10^{-3}$, $0,5 \times 10^{-3}$, $0,6 \times 10^{-3}$ ja $0,7 \times 10^{-3}$, viimeksimainitun käyrän kulkiessa sydämen 122 läpi.

Eräässä menetelmässä keksinnön mukaisten kuitujen valmistamiseksi käytetään samanlaista liekkihydrolyysiprosessia kuin on selostettu US-patenteissa 3 737 292 ja 4 165 223. Saadun kuidun poikkileikkaus on esitetty kuviossa 16, jossa kuvion 11 elementtejä vastaavat elementit on merkitty pilkulla varustetulla viitenumerolla. Kuvion 16 kuitu eroaa kuvion 11 kuidusta siinä suhteessa, että pitkittäin ulottuvat jännitystä aiheuttavat alueet 112' ovat puolikuun muotoisia.

Kuviossa 14 lasikarstakerros 130 muodostetaan ensin sylinterimäisen lasikaran 131 päälle polttimesta 132 lähtevän liekin 133 avulla. Kun ensimmäinen karstakerros 130 on saavuttanut ennaltamäärätyn paksuuden, koostumusta muutetaan ja sisemmän peitekerroksen 111' muodostava toinen karstakerros 134 muodostetaan. Kerrosten 130 ja 134 muodostamisen aikana karaa 131 kierretään ja poltinta 132 siirretään pitkittäin karan suhteen. Sellaisen karstan muodostamiseksi, joka on kiinteytettävä kaistaleiden 112' muodostamiseksi, karan kiertoliike pysäytetään ja polttimen 132 annetaan suorittaa riittävä määrä pitkittäisiä ohituksia karstakerroksen 135 muodostamiseksi. Karaa 131 kierretään 180° verran, ja toinen karstakerros 135 muodostetaan ensimmäisen kerroksen vastakkaiselle puolelle, kuten ilmenee kuviosta 15. Peitekarstakerrokset 136 voidaan muodostaa kerroksen 134 päälle kaistaleiden 135 väleihin samalla tavalla. Pei-

tekarstakerros 137 muodostetaan sen jälkeen aloittamalla uudelleen karan kiertäminen. Valmis karstaesimuoto on huokoinen ja sitä on kuumennettava sen sulattamiseksi eli kiinteyttämiseksi yhtenäiseksi lasiesimuodoksi, joka voidaan vetää kuviossa 16 esitetyksi optiseksi aaltoputkeksi.

Peitelasikaistaleiden 136 muodostusvaihe voidaan jättää pois vaikuttamatta liikaa lopullisen kuidun mitoitukseen. Jos peitekerros 137 on muodostettu välittömästi karstaesimuodon sen osan päälle, joka käsittää kerroksen 134 ja kaistaleet 135 ulkopintanaan, polttimeen karstavirrasta kerrostuu suurempi määrä karstaa kerroksen 134 pinnan ollessa polttimeen päin kuin kaistaleiden 135 pinnan ollessa polttimeen päin, koska suurempi pinta-ala on alttiina karstavirralle pinnan 134 ollessa polttimeen päin. Tämä on omiaan vähentämään karsta-aunion poikkileikkauksen epäpyöreyttä kerrosta 137 muodostettaessa. Vedettäessä kuitua kiinteytetystä auniosta pintajännitys pyrkii pyöristämään kuidun ulkopintaa, samalla vaikuttaen jonkin verran epäedullisesti sydämen pyöreYTEEN. Tämä ei kuitenkaan ole haitallinen piirre sellaista tyyppiä olevissa yksimuotoisissa aaltoputkissa, joita tämä keksintö koskee.

Liekkihydrolyysimenetelmällä valmistettu muunnettu esimuoto esitetään kuviossa 17, jossa kuvion 14 elementtejä vastaavat elementit on merkitty pilkulla varustetuilla viitenumeroilla. Kun kerrokset 130' ja 134' on muodostettu kuvion 14 yhteydessä selostetulla tavalla, segmentit 139 ja 140 käsittävä kerros muodostetaan seuraavalla tavalla. Karstakerroksenmuodostumislaitteessa olisi käytettävä sellaista reaktantinsyöttösystemiä kuin on esitetty US-patentissa 4 314 837. Tässä patentissa on esitetty reaktantinsyöttösystemi, jossa reaktanttihöyryt syötetään liekkihydrolyysipolttimeen virtauksensäätimien kautta, joiden säätimien läpäisyjä kontrolloi systeemin ohjauspiiri. Karaan 131' yhdistetty akselinasemanindikaattori tiedoittaa systeemin

ohjauspiirille, mikä karstaesimuodon pinnan osa kulloinkin on polttimeen 132 päin. Tietyn reaktantin virtaa voidaan käyttää kerrosalueiden 139 muodostuksessa sekä lisäaineen sisältävää reaktanttia, joka vaikuttaa kerrostetun lasin laajenemiskertoimeen, voidaan syöttää polttimeen kerrosalueita 140 muodostettaessa. Niinpä karan 131' pyöriessä vakiokulmanopeudella alueet 140 muodostetaan syöttämällä polttimeen lisäainetta sisältävien reaktanttien "pulsseja". Reaktanttihöyryjen sekoittumisen vuoksi alueiden 139 ja 140 välissä esiintyy siirtymäalue. Alueet 139 ja 140 käsittävä kerros voidaan päällystää peitemateriaalin ulommalla kerroksella 141, kuten edellä on selostettu. Kun kara 131' on poistettu, kuvion 17 esimuoto voidaan vetää kuiduksi, jonka poikkileikkaus on muodoltaan samanlainen kuin kuviossa 21 esitetty kuidunpoikkileikkaus, jota selostetaan myöhemmin.

Sen sijaan että muodostetaan ulompi peitekerros karstasta liekkihydrolyysimenetelmällä, tämä kerros voidaan osaksi tai kokonaan jättää pois ja tehdä ulompi peite lasiputkesta. Esimerkiksi kun kuvion 15 kaistaleet 135 ja 136 on muodostettu tai kun alueet 111' ja 112' käsittävä kerros kuviossa 16 on muodostettu, kara poistetaan ja karsta-aunio kiinnitetään. Saatu tiivis lasiaunio työnnetään lasiputkeen, ja yhdistelmä vedetään kuiduksi US-patentin 3 932 162 ohjeiden mukaan.

Kuviossa 18 on esitetty sauvoja putkessa käsittävää tyyppiä oleva esimuoto, jota voidaan käyttää kuvioissa 11-13 esitettyä tyyppiä olevien kuitujen muodostamiseen. Useita sopivaa materiaalia olevia sauvoja on työnnetty peitemateriaalia kuten piidioksidia olevaan putkeen 142. Putken 142 keskelle on sijoitettu sauva, joka käsittää erittäin puhdasta lasia olevan sydämen 143 ja myös erittäin puhdasta lasia olevan peitekerroksen 144, jonka taitekerroin on pienempi kuin sydämen 143 taitekerroin. Sydän 143 ja peitekerros 144 on sopivimmin muodostettu kemiallisella höyrypäällystys-

menetelmällä. Keskisauvan vastakkaisilla puolilla sijaitsee kaksi lasiputkea 145, joiden TCE on suuri verrattuna putken 142 TCE-arvoon. Toinen pari sauvoja 146 on sijoitettu koh-tisuoraan asemaan sauvojen 145 suhteen. Kuvioissa 11 ja 13 esitettyä tyyppiä olevan kuidun valmistamiseksi sauvat 146 voidaan tehdä samasta materiaalista kuin putki 142. Kuviossa 12 esitettyä tyyppiä olevan kuidun valmistamiseksi sauvat 146 voidaan tehdä materiaalista, jolla on pieni TCE putken 142 TCE-arvon suhteen, ja/tai valoa-absorboivasta materiaalista. Peitemateriaalia olevat sauvat 147 täyttävät osan yllämainittujen sauvojen väleistä. Jos muodostettu esi-muoto sisältää suuria tyhjiä alueita, tulokseksi saadun kuidun vetojännityksen alaiset kohdat tulevat esiintymään poikkileikkaukseltaan epäpyöreinä, kuten näkyy kuvioista 11, johtuen sauvojen vääntymisestä niiden täyttäessä viereisiä tyhjiä välejä. Tällaisen kuidun sydän pyrkii myös tulemaan epäpyöreäksi. Jos kaikki kuviossa näkyvät välit täytetään pienillä peitemateriaalia olevilla sauvoilla (ei esitetty kuviossa), sydän ja vetojännityksen alaiset kohdat tulevat esiintymään poikkileikkaukseltaan pyöreämpinä lopullisessa kuidussa.

Kuvio 19 on kaaviomainen kuva muuten standardista kemialli-sesta höyrypäällystyslaitteesta, paitsi että se on muunnet-tu soveltuvaksi tämän keksinnön toteuttamiseen. Tämä systeemi käsittää substraattiputken 150, jonka jälkipäähän voi olla liitetty laajennettu poistoputki 152. Putket 150 ja 152 on kiinnitetty tavanmukaiseen lasikarusellisorviin (ei esi-tetty kuviossa), ja yhdistelmää voidaan pyörittää nuolen osoittamaan suuntaan. Kuuma vyöhyke saatetaan liikkumaan pitkin putkea 150 siirtelemällä kuumennusvälinettä 156, kuten on kaaviomaisesti kuvattu nuolilla 158a ja 158b. Kuumennusvälineenä 156 voi olla mikä tahansa sopiva lämmön-lähde, kuten putkea 150 ympäröivä poltinryhmä. Eräässä so-vellutusmuodossa kuumennusvälineen on kyettävä luovuttamaan lämpöä paikallisesti. Esimerkiksi vain yhtä poltinta tai

kahta toisiaan vastapäätä sijoitettua poltinta voidaan käyttää. Reaktantit viedään putkeen 150 useihin kaasu- ja höyrylähteisiin yhdistetyn putken 160 kautta. Mitä tahansa edellämainituista reaktantinsyöttösystemeistä voidaan käyttää.

Poltin 156 siirtyy aluksi pienellä nopeudella putken 150 suhteen nuolen 158b suuntaan, siis reaktantin virtaussuuntaan. Reaktantit reagoivat kuumassa vyöhykkeessä 154 tuotteen karstaa, jota virtaava kaasu kuljettaa mukanaan, ainakin osan karstasta laskeutuessa putken 150 sisäpintaan alueella 162. Polttimen 156 jatkaessa liikettään nuolen 158b suuntaan kuuma vyöhyke 154 siirtyy myötävirtaan, niin että osa karstalaskeutumasta ulottuu kuumaan vyöhykkeeseen, joka kiinteyttää karstan sen muodostaessa yhtenäisen homogeenisen lasimaisen kerroksen putken 150 sisäpintaan.

Kun poltin 156 saavuttaa putken 150 poistoputkea 152 lähellä olevan pään, liekin lämpötilaa alennetaan ja poltin palautuu nuolen 158a suuntaan putken 150 sisääntulopäähän. Sen jälkeen lasimaisen materiaalin lisäkerroksia muodostetaan putken 150 pintaan edellä selostetulla tavalla.

Kun sopiva määrä sydänmateriaalina toimivia kerroksia sekä muita lopullisen optisen aaltoputkeen haluttuja kerroksia on muodostettu, lasin lämpötilaa nostetaan putken 150 saattamiseksi painumaan kokoon. Tämä voidaan aikaansaada vähentämällä kuumen vyöhykkeen siirtymisnopeutta. Sopivimmin putken 150 sisus on paineen alaisena kokoonpainumisen aikana, kuten on esitetty US-patentissa 4 154 591.

Aikaisemmin selostettu tavanmukainen laite soveltuu yhdenmukaisen koostumuksen omaavien lasikerrosten muodostamiseen putken 150 sisäpintaan. Tämän keksinnön mukaan tavanmukaista laitetta on muunnettu varustamalla laite kuumen vyöhykkeen 154 lähellä ja siitä ylävirtaan sijaitsevilla väli-

neillä reaktanttikaasujen syöttämiseksi kuumaa vyöhykkeen vastakkaisille alueille, jotka reaktanttikaasut pystyvät muodostamaan karstaa, jolla on erilainen lämpölaajenemiskerroin kuin peitelasimateriaalilla. Kuten kuviosta 19 ilmenee, osa kahdesta kaasuajohtavasta putkesta 164 ulottuu substraattiputken 150 siihen päähän, johon reaktantteja viedään. Putken 150 sisällä sijaitsevat putkien 164 osat päättyvät vähän ennen kuumaa vyöhykettä 154. Putket 164 on mekaanisesti kytketty katkoviivalla 166 kuvatun välineen välityksellä polttimeen 156, jotta varmistetaan putkien 164 pysyminen oikealla etäisyydellä ylävirtaan kuumasta vyöhykkeestä 154. Vaihtoehtoisesti kuumenninta ja putkia 164 voidaan pitää paikoillaan ja siirtää putkea 150 pitkittäissuunnassa. Putken 150 sisään tulopää on yhdistetty putkiin 164 kokoonmenevällä elimellä 168, kiertotiivisteen 170 ollessa sijoitettuna elimen 168 ja putken 150 väliin. Kun putkia 164 ei käytetä, ne voidaan kokonaan vetää pois putkesta 150 tai ne voidaan vetää taaksepäin niin pitkälle, etteivät ne häiritse reaktanttien virtausta johdosta 160 putken 150 läpi. Kuvion 20 mukainen peitelasikerros 178 voidaan muodostaa putken 150 sisäpintaan tavanmukaisesti. Vastakkain sijaitsevien pitkittäisten laajenemiskaistaleiden muodostamiseksi peitekerroksen sisään toinen reaktanttimateriaali saatetaan virtaamaan putkien 164 kautta peitekerroksen muodostavan reaktanttimateriaalin jatkaessa samalla virtaamista johdon 160 kautta. Esimerkiksi yhdisteiden SiCl_4 ja BCl_3 voidaan antaa virrata johdon 160 kautta peitelasikerroksen 178 muodostamiseksi putken 150 sisään. Kun kerros 178 on tullut riittävän paksuksi, putket 164 asetetaan lähelle kuumaa vyöhykettä ja reaktanttimateriaalia kuten yhdistettä GeCl_4 johdetaan niiden läpi, yhdisteiden SiCl_4 ja BCl_3 virtauksen jatkuessa johdon 160 kautta. Myös reaktioon käytettävää happea johdetaan kuumaan vyöhykkeeseen tunnetulla tavalla. Silikoboraattilasikerros 180 muodostetaan kerroksen 178 sisäpintaan, kerroksen 180 pisteitettyjen osien 182 sisältäessä oksidia GeO_2 . Sen jälkeen voidaan li-

säksi muodostaa silikoboraattipeitemateriaalia oleva kerros 184 kerroksen 180 sisäpintaan, ja kerros 184 voidaan päällystää sydänmateriaalia, esim. GeO_2 -pitoista piidioksidia olevalla kerroksella 186. Saatu esimuoto voidaan sen jälkeen pusertaa kokoon ja vetää kuiduksi edellä selostetulla tavalla. Kerroksen 180 alueet 182 sisältävät riittävän määrän lisäainetta, esim. oksidia GeO_2 , muodostaakseen lopullisen kuidun sisään suuren lämpölaajenemiskertoimen omaavaa lasia olevat pitkittäiset kaistaleet.

Kun kuvion 20 mukainen esimuoto on valmis, se puserretaan kokoon kiinteäksi vetoaunioksi, joka asetetaan vetouuniin, missä aunio kuumennetaan niin korkeaan lämpötilaan, että kuitu voidaan vetää siitä. Saatu kuitu, jonka poikkileikkaus on esitetty kuviossa 21, käsittää sydämen 190, sisemmän peitekerroksen 192 ja ulomman peitekerroksen 196. Sydämen 190 vastakkaisilla puolilla kerroksen 196 sisällä sijaitsee kaksi pitkittäin ulottuvaa aluetta 194 suuren lämpölaajenemiskertoimen omaavasta lasista. Alueiden 194 ja ympäröivän lasin välillä esiintyy vähittäinen muuttuminen johtuen kaasujen sekoittumisesta lasikerroksia muodostettaessa sekä lisäaineiden diffuusiosta niiden korkeassa lämpötilassa suoritettujen vaiheiden aikana, joiden alaiseksi lasi joutuu.

Kuvion 21 mukainen kuidun poikkileikkauksen muoto voi olla myös kuviossa 17 esitettyä tyyppiä olevan karstaesimuodon kiinteyttämisen ja vedon tuloksena.

Patenttivaatimukset

1. Yksimuotoinen optinen aaltoputkikuitu, t u n n e t t u siitä, että se sisältää sydämen (110, 116, 122, 190), joka on läpinäkyvää lasia, ja peitelasikerroksen (113, 117, 118, 123, 196) sydämen päällä, jonka sydämen valontaitekerroin on suurempi kuin peitelasin, ensimmäisen parin vastakkain sijaitsevia pitkittäin ulottuvia lasialueita (112, 119, 124, 194), jotka sijaitsevat mainitussa peitteessä, jotka alueet sijaitsevat erillään sydäimestä, jolloin lasialueiden lämpölaajenemiskerroin on erilainen kuin peitekerroslasilla.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen optinen aaltoputkikuitu, t u n n e t t u siitä, että mainitun ensimmäisen lasialueparin (112, 119, 124, 194) lasilla on suurempi lämpölaajenemiskerroin kuin peitekerroslasilla (113, 117, 118, 123, 196).

3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen optinen aaltoputkikuitu, t u n n e t t u siitä, että mainitun ensimmäisen lasialueparin (112, 119, 124, 194) lasilla on pienempi lämpölaajenemiskerroin kuin peitekerroslasilla (113, 117, 118, 123, 196).

4. Patenttivaatimuksen 1 mukainen optinen aaltoputkikuitu, t u n n e t t u siitä, että mainitun ensimmäisen lasialueparin lasilla on suurempi lämpölaajenemiskerroin kuin peitekerroslasilla ja että aaltoputkikuitu lisäksi käsittää toisen parin pitkittäin ulottuvia alueita (120), jotka sijaitsevat kohtisuorassa asemassa ensimmäisen alueparin vastakkaisten alueiden (119) suhteen ja joilla on erilaiset fysikaaliset ominaisuudet kuin ensimmäisellä alueparilla.

5. Patenttivaatimuksen 4 mukainen optinen aaltoputkikuitu, t u n n e t t u siitä, että mainitun toisen alueparin (120) lasilla on pienempi lämpölaajenemiskerroin kuin peitekerroslasilla (117, 118).

6. Menetelmä optisen aaltoputkikuidun valmistamiseksi, t u n n e t t u siitä, että se käsittää seuraavat vaiheet: rakeista lasia olevan ensimmäisen päällysteen muodostamisen pyörivän lähtöelimen pintaan, rakeista lasia olevan toisen päällysteen muodostamisen ensimmäisen päällysteen ulkopintaan, lähtöelimen poistamisen ja optisen aaltoputkikuidun valmistamisen saadusta karstaesimuodosta, toisen päällysteen muodostusvaiheelle ollessa tunnusomaista, että se käsittää sellaista rakeista lasia olevan päällysteen muodostamisen ensimmäisen päällysteen ulkopintaan, jolla on pienempi taitekerroin kuin ensimmäisen päällysteen lasilla, ensimmäisen ja toisen pitkittäin ulottuvan alueen muodostamisen sellaisesta lasikarstasta toisen päällysteen vastakkain sijaitsevien osien päälle, jolla on erilainen lämpölaajenemiskerroin kuin toisella päällysteellä, sekä sellaisen peitekarstapäällysteen muodostamisen edellä saadun karstarungon ulkopintaan, jolla on sama lämpölaajenemiskerroin kuin mainitulla toisella päällysteellä sekä sama tai pienempi taitekerroin kuin toisella päällysteellä.

7. Patenttivaatimuksen 6 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että mainittujen vastakkain sijaitsevien pitkittäin ulottuvien lasikarsta-alueiden muodostusvaihe käsittää lähtöelimen eli karan (131) kiertoliikkeen pysäyttämisen, liekkihydrolyysipolttimen (132) siirtämisen pitkittäin karan suhteen muodostaen tällöin ensimmäisen puolikuunmuotoisen pitkittäin ulottuvan lasikarsta-alueen, karan (131) kääntämisen 180° verran ja sen jälkeen karan ollessa pysäytettynä liekkihydrolyysipolttimen siirtämisen pitkittäin karan suhteen muodostaen tällöin toisen pitkittäin ulottuvan lasikarsta-alueen (135).

8. Patenttivaatimuksen 7 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että vastakkain sijaitsevien alueiden muodostusvaihe edelleen käsittää karan kääntämisen 90° verran ja sen pysäyttämisen, karstakerroksen muodostamisen mainitun toisen päällysteen pintaan mainittujen ensimmäisen ja toisen pitkit-

täin ulottuvan karsta-alueen väliin, karan kääntämisen 180° verran ja sen pysäyttämisen sekä polttimen siirtämisen pitkittäin karan suhteen muodostaen neljännen pitkittäin ulottuvan lasikarsta-alueen, kolmannen ja neljännen pitkittäin ulottuvan lasikarsta-alueen koostumuksen ollessa erilainen kuin ensimmäisen ja toisen pitkittäin ulottuvan lasikarsta-alueen koostumus.

9. Patenttivaatimuksen 6 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että vastakkain sijaitsevien pitkittäin ulottuvien lasikarsta-alueiden muodostusvaihe käsittää karan pyörittäksen, pitkittäisen liikkeen aikaansaamisen liekkihydrolyysipolttimen ja karan välille, reaktanttihöyryjen johtamisen polttimeen peruslasikarstan muodostamiseksi sekä toisen reaktanttihöyryn pulssin syöttämisen polttimeen karan kunkin 180° verran kääntämisen jälkeen.

10. Menetelmä optisen aaltoputkiesimuodon valmistamiseksi, t u n n e t t u siitä, että se käsittää seuraavat vaiheet: peitelasia olevan putken (142) käyttöönoton, ensimmäisen lasisauvan sijoittamisen keskeisesti mainitun putken (142) sisään, jolla lasisauvalla on peitelasikerroksen ympäröimä aksiaalinen sydänalue, ensimmäisen lasisauvaparin (145) asettamisen vastakkaisiin asemiin keskisauvan suhteen putken (142) sisään, tämän ensimmäisen sauvaparin ollessa lasia, jolla on erilainen lämpölaajenemiskerroin kuin peitelasilla (142), sekä useiden peitelasia olevien sauvojen (147) asettamisen ainakin joihinkin tyhjiin tiloihin keskisauvan, ensimmäisen sauvaparin ja putken sisäseinämän välillä.

11. Patenttivaatimuksen 10 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että se edelleen käsittää toisen lasisauvaparin (146) asettamisen putken (142) sisään keskisauvan vastakkaisille puolille sijoitettuna kohtisuoraan asemaan ensimmäisen sauvaparin (145) suhteen, tämän toisen lasisauvaparin (146) omatessa erilaiset fysikaaliset ominaisuudet kuin ensimmäisen lasisauvapari (145).

12. Menetelmä optisen aaltoputkiesimuodon valmistamiseksi, t u n n e t t u siitä, että se käsittää seuraavat vaiheet: kuumennettuna lasiosasia muodostavan kaasun johtamisen ensimmäisen putken läpi, kuumentimen siirtämisen pitkin ensimmäiseen putken ulkopintaa, jolloin ainakin osa kaasusta muuttuu rakeiseksi materiaaliksi ja ainakin osa rakeisesta materiaalista kerrostuu ensimmäisen putken sisäpintaan, sellaisen menetelmäparannuksen, joka käsittää kahden putken siirtämisen ensimmäisen putken sisällä pitäen näiden putkien päät tietyllä etäisyydellä kuumentimesta ja siitä ylävirtaan, näiden putkien sijaitessa symmetrisesti ensimmäisen putken keskustan vastakkaisilla puolilla, kaasun johtamisen ensimmäisen putken sisäpinnan ja mainittujen kahden putken välistä sekä sellaisen toisen kaasun johtamisen tämän putkiparin läpi, joka reagoiden kuumassa vyöhykkeessä muodostaa oksidin, joka yhtyen rakeiseen materiaaliin muodostaa lasialueen, jolla on erilainen lämpölaajenemiskerroin kuin pelkän ensimmäisen kaasun tuottamalla lasiosasilla.

13. Patenttivaatimukseen 12 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että putkipari vedetään ainakin osaksi taaksepäin ensimmäisestä putkesta paitsi silloin, kun mainittua toista kaasua johdetaan putkiparin kautta.

14. Patenttivaatimukseen 1 mukainen optinen aaltoputki, t u n n e t t u siitä, että pitkittäin ulottuvien alueiden pienin halkaisija on ainakin 1,5 x sydämen halkaisija.

15. Patenttivaatimukseen 14 mukainen optinen aaltoputki, t u n n e t t u siitä, että kukin pitkittäin ulottuva alue on pyöreä halkaisijaltaan.

16. Patenttivaatimukseen 14 mukainen optinen aaltoputki, t u n n e t t u siitä, että kukin pitkittäin ulottuvista alueista on halkaisijaltaan puolikuunmuotoinen.

17. Patenttivaatimuksen 14 mukainen optinen aaltoputki, t u n n e t t u siitä, että kukin pitkittäin ulottuvista alueista on sektorinmuotoinen halkaisijaltaan, jolloin kunkin pitkittäin ulottuvan alueen halkileikkauksen muoto on sellainen, että mainittujen alueiden sisä- ja ulkopinnat ovat pyöreät, jolloin kunkin alueen sisempi pyöreä pinta on pienempi kuin tämän ulompi pyöreä pinta.

18. Patenttivaatimuksen 1 mukainen optinen aaltoputki, t u n n e t t u siitä, että pitkittäin ulottuvat alueet muodostuvat valoa absorboivasta aineesta, jolloin mainittujen alueiden pienin halkaisija on ainakin kolme kertaa mainitun sydämen halkaisija.

Patentkrav

1. Enmodig optisk vågrörsfiber, **kännetecknad** av att den innefattar en kärna (110, 116, 122, 190) av genomskinligt glas samt ett överdragsglasskikt (113, 117, 118, 123, 196) på kärnan, vilken kärna har en ljusbrytningsfaktor som är större än överdragsglasets, ett första par mot varandra belägna i längdriktningen utsträckta glasområden (112, 119, 124, 194), vilka befinner sig i nämnda överdrag och är belägna åtskilt från kärnan, varvid glasområdenas värmeutvidningskoefficient är olika glasets i överdragsskiktet.
2. Optisk vågrörsfiber enligt patentkravet 1, **kännetecknad** av att glasets i det nämnda första glasområdesparet (112, 119, 124, 194) har större värmeutvidningskoefficient än glasets i överdragsskiktet (113, 117, 118, 123, 196).
3. Optisk vågrörsfiber enligt patentkravet 1, **kännetecknad** av att glasets hos det nämnda första glasområdesparet (112, 119, 124, 194) har lägre värmeutvidningskoefficient än glasets i överdragsskiktet (113, 117, 118, 123, 196).
4. Optisk vågrörsfiber enligt patentkravet 1, **kännetecknad** av att glasets hos det nämnda första glasområdesparet har större värmeutvidningskoefficient än glasets i överdragsskiktet och att vågrörsfibern därtill omfattar ett andra par i längdriktningen utsträckta områden (120), vilka är placerade i vinkelrätt läge i relation till de motsatta områdena (119) hos det första områdesparet och vilka har olika fysikaliska egenskaper än det första områdesparet.
5. Optisk vågrörsfiber enligt patentkravet 4, **kännetecknad** av att glasets hos det nämnda andra områdesparet (120) har mindre värmeutvidningskoefficient än glasets hos överdragsskiktet (117, 118).
6. Förfarande för framställning av en optisk vågrörsfiber, **kännetecknat** av att det omfattar följande steg:

bildande av ett första överdrag av kornigt glas på ytan av ett roterande utgångsorgan, bildande av ett andra överdrag av kornigt glas på ytan av det första överdraget, avlägsnande av utgångsorganet och framställning av en optisk vågrörefiber av den erhållna slaggförformen, varvid kännetecknande för formningssteget av det andra överdraget är att det omfattar bildande av ett överdrag av sådant kornigt glas på ytan av det första överdraget, vilket glas har mindre brytningskoefficient än glaset hos det första överdraget, bildande av ett första och ett andra i längdriktningen utsträckt område på motsatt varandra belägna delar av det andra överdraget av sådan glasslagg som har en värmeutvidgningskoefficient avvikande från det andra överdraget, samt bildande av ett täckande överdrag av slagg på ytan av den sålunda erhållna slaggstommen, vilket överdrag har samma värmeutvidgningskoefficient som nämnda andra överdrag samt samma eller lägre brytningskoefficient än det andra överdraget.

7. Förfarande enligt patentkravet 6, **kännetecknat** av att steget för bildande av de nämnda mot varandra belägna på längden utsträckta glasslaggområdena omfattar ett avstannande av utgångsorganets eller spindelns (131) vridningsrörelse, förskjutande av en flamhydrolysbrännare (132) på längden i relation till spindeln, under bildande av ett företa halvmånformat på längden utsträckt glasslaggområde, en svängning av spindeln (131) om 180° och därefter under stillastående spindel förskjutning av flamhydrolysbrännaren på längden i relation till spindeln under bildande av ett andra på längden utsträckt glasslaggområde (135).

8. Förfarande enligt patentkravet 7, **kännetecknat** av att steget för bildande av de motsatt belägna områdena vidare omfattar en svängning av spindeln om 90° och avstannande av densamma, bildande av ett slaggsikt på ytan av det nämnda andra överdraget mellan det nämnda första och andra på längden utsträckta slaggområdet, en svängning av spindeln om 180°

och avstannande av densamma samt förskjutning av brännaren på längden i relation till spindeln under bildande av ett fjärde på längden utsträckt glasslaggområde, varvid sammansättningen i det tredje och det fjärde på längden utsträckta glasslaggområdet avviker från sammansättningen hos det första och det andra på längden utsträckta glasslaggområdet.

9. Förfarande enligt patentkravet 6, **kännetecknat** av att steget för bildande av de mot varandra belägna i längdriktningen utsträckta glasslaggområdena omfattar en rotation av spindeln, åstadkommande av en längsgående rörelse mellan flamhydrolysbrännaren och spindeln, inledande av reaktansångor i brännaren för bildande av basglasslagg samt inmatande av en andra reaktansångpuls i brännaren efter städse svängning av spindeln om 180° .

10. Förfarande för bildande av en optisk vågrörsförform, **kännetecknat** av att det omfattar följande steg: färdigställande av ett rör (142) av täckt glas, placering av en första glasstav centralt i nämnda rör (142), varvid glasstaven har ett av överdragsglasskiktet omgivet axiellt kärnområde, placering av ett första glasstavpar (145) i motsatta lägen i relation till centrumstaven inuti röret (142), varvid detta första stavpar är av glas som har olika värmeutvidgningskoefficient än överdragsglasets (144), samt placering av ett flertal stavar (147) av överdragsglas i städse tomma utrymmen mellan centrumstaven, det första stavparet och rörets innervägg.

11. Förfarande enligt patentkravet 10, **kännetecknat** av att det vidare omfattar placering av ett andra glasstavpar (146) inuti röret (142) på motsatta sidor om centrumstaven placerade i vinkelräta lägen i relation till det första stavparet (145), varvid detta andra glasstavpar (146) har olika fysikaliska egenskaper än det första glasstavparet (145).

12. Förfarande för framställning av en optisk vågrörsform, kännetecknat av att det omfattar följande steg: inledande av gas som upphettad bildar glaspartiklar genom ett första rör, förskjutning av ett upphettningsorgan utmed det första rörets ytteryta, varvid åtminstone en del av gasen omformas till kornartat material och åtminstone en del av kornen i materialet avskiktas på det första rörets inneryta, varvid förbättringen i förfarandet omfattar en förskjutning av tvenne rör inuti det första röret under det att ändarna hos dessa rör hålls på ett bestämt avstånd från upphettningsorganet och uppströms från detsamma, varvid dessa rör är belägna symmetriskt på motsatta sidor om det första rörets centrum, inledande av gas mellan det första rörets inneryta och de nämnda tvenne rören samt inledande av en sådan andra gas genom detta rörpar, vilken gas vid reaktion i den heta zonen bildar en oxid som vid sammangående med det kornartade materialet bildar ett glasområde som har en annan värmeutvidgningskoefficient än glaspartiklarna som producerats av den rena första gasen.

13. Förfarande enligt patentkravet 12, kännetecknat av att rörparet dras åtminstone delvis bakåt från det första röret utom då nämnda andra gas inleds genom rörparet.

14. Optiskt vågrör enligt patentkravet 1, kännetecknat av att den minsta diametern hos de i längdriktningen utsträckta områdena är åtminstone 1,5 x kärnans diameter.

15. Optiskt vågrör enligt patentkravet 14, kännetecknat av att vart och ett i längdriktningen utsträckt område är runt till tvärsnittet.

16. Optiskt vågrör enligt patentkravet 14, kännetecknat av att vart och ett i längdriktningen utsträckt område är till tvärsnittet halvmånformat.

17. Optiskt vågrör enligt patentkravet 14, kännetecknat av att vart och ett i längdriktningen utsträckt område har en sektorformad genomskärning, varvid genomskärningsformen hos vart och ett i längdriktningen utsträckt område är sådan, att de inre och yttre ytorna hos nämnda områden är runda, varvid den inre runda ytan hos vart och ett område är mindre än dettas yttre runda yta.

18. Optiskt vågrör enligt patentkravet 1, kännetecknat av att de i längdriktningen utsträckta områdena är bildade av ljusabsorberande material, varvid minsta diametern hos nämnda områden är åtminstone tre gånger diametern hos nämnda kärna.

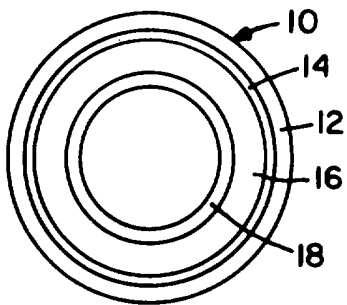


Fig. 1

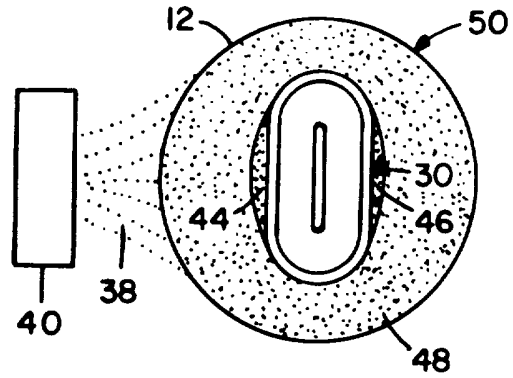


Fig. 4

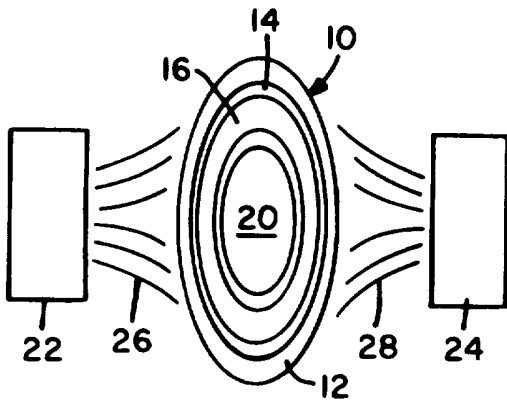


Fig. 2

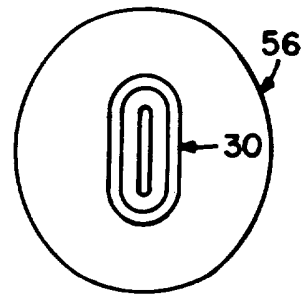


Fig. 5

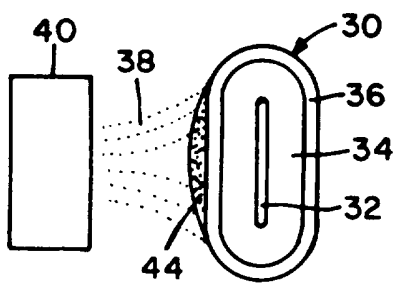


Fig. 3

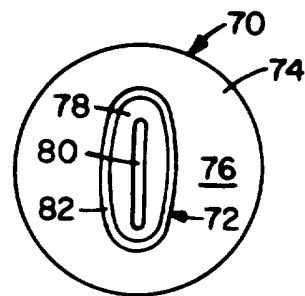


Fig. 6

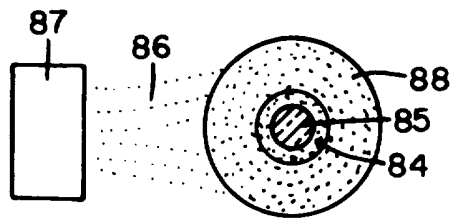


Fig. 7

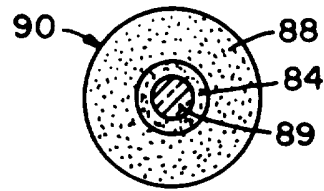


Fig. 8

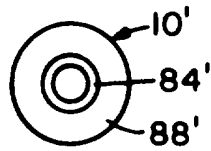


Fig. 9

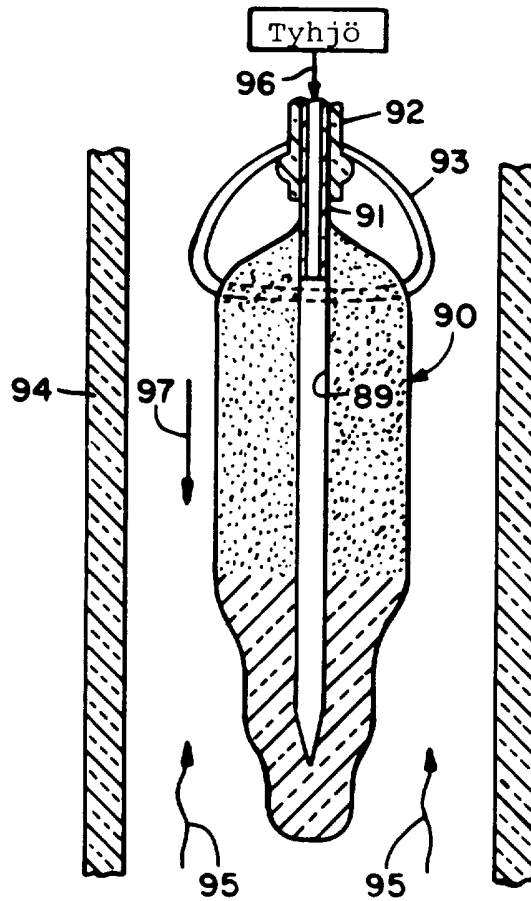


Fig. 10

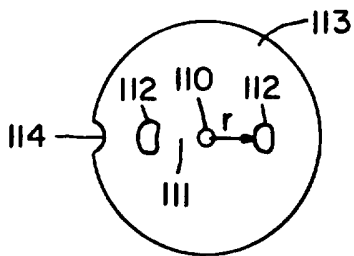


Fig. 11

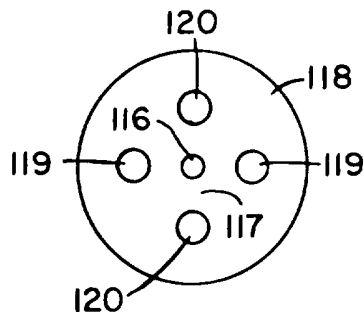


Fig. 12

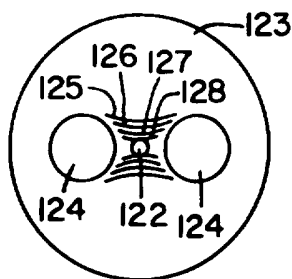


Fig. 13

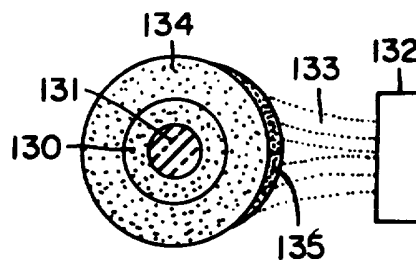


Fig. 14

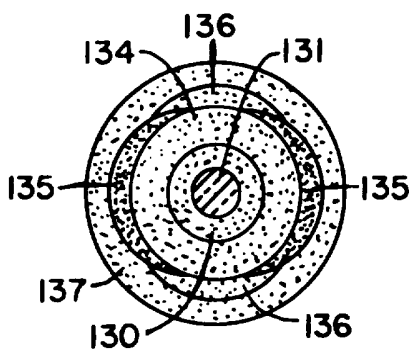


Fig. 15

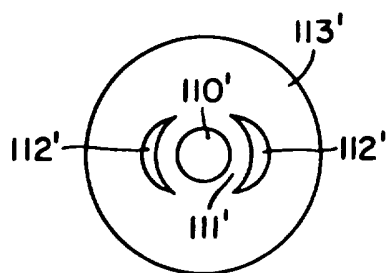


Fig. 16

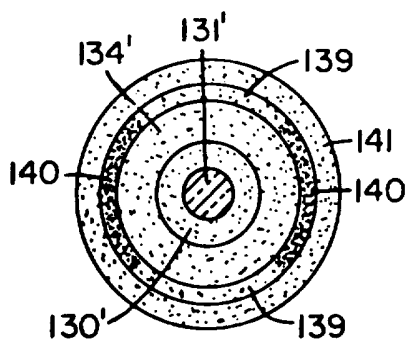


Fig. 17

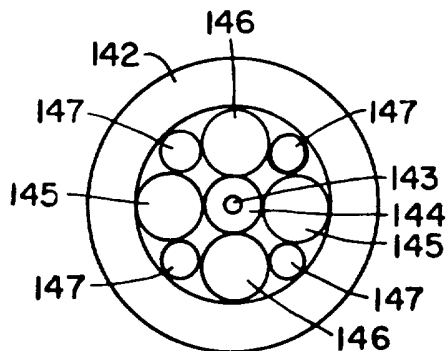


Fig. 18

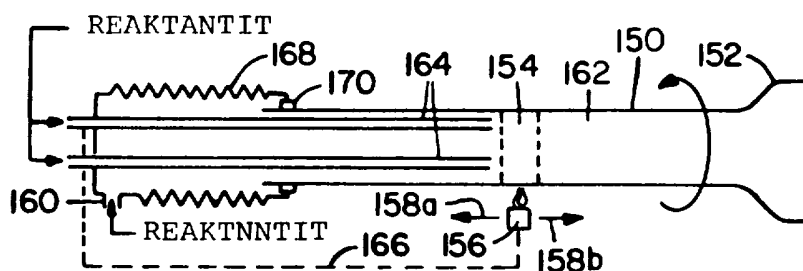


Fig. 19

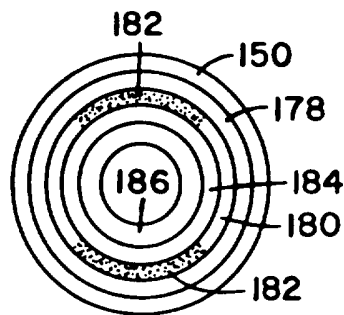


Fig. 20

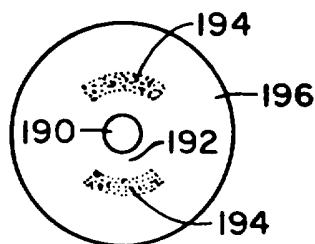


Fig. 21