

(19)



SUOMI - FINLAND

(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS

PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN

FINNISH PATENT AND REGISTRATION OFFICE

(10) **FI 810256 A7**

(12) **JULKISEKSI TULLUT PATENTTIHAKEMUS
PATENTANSÖKAN SOM BLIVIT OFFENTLIG
PATENT APPLICATION MADE AVAILABLE TO THE
PUBLIC**

(21) Patentihakemus - Patentansökan - Patent application 810256

(51) Kansainvälinen patenttiluokitus - Internationell patentklassifikation -
International patent classification
C03B

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag - Filing date 29.01.1981

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date 29.01.1981

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public 02.08.1981

(43) Julkaisupäivä - Publiceringsdag - Publication date 12.06.2019

(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet - Priority

01.02.1980 US 117,391

(71) Hakija - Sökande - Applicant

1 • Corning Glass Works, Houghton Park Corning, N.Y., USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(72) Keksijä - Uppfinnare - Inventor

1 • Levin, Philip Stephen, USA, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(74) Asiamies - Ombud - Agent

Kolster Oy Ab, Salmisaarenaukio 1, 00180 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning - Title of the invention

Esimuoto optiselle taitekertoimeltaan muuttuvalle aaltojohtimelle.

Förform för en optisk vägledare med varierande brytningsindex.

Esimuoto optiselle taitekertoimeltaan muuttuvalle
aaltojohtimelle

Tämä keksintö liittyy yleisesti esimuotoihin,
5 joista voidaan vetää monimoodisiin optisiin kuituihin,
joihin on radikaalisesti järjestetty sydämen
läpi useita lisäaineita modaalisen hajonnan minimoiksi.
Vaikka seuraava esitys koskee optisia aaltojohtimia
se pätee myös esimuotoihin, joista optiset aaltojohtimet
10 valmistetaan.

On havaittu, että optisilla aaltojohtimilla,
joiden sydämellä on radiaalisesti järjestetty taottokerroinprofiili,
on merkittävästi pienentynyt pulssihajonta,
joka seuraa moodien välisistä ryhmänopeuseroista.
15 Tämä hajontaa vähentävä vaikutus, jota käsitellään
D.Gloge et al.:n julkaisussa "Multimode Theory of Graded-core Fibers",
joka on julkaistu Bell System Technical Journalin marraskuun 1973 numeron
sivuilla 1563-1578, käyttää radiaalisesti järjestettyä
20 jatkuvaa taittokerroinprofiilia maksimiarvosta akselilla
alhaisempaan arvoon sydämen peitekerroksen rajapinnalla.
Taittokerroinjakauma tämän tyyppisessä aaltojohtimessa
saadaan kaavalla

$$n(r) = n_1 [1 - 2\Delta(r/a)^2]^{1/2} \text{ kun } r \leq a \quad (1)$$

25 missä n_1 on taittokerroin akselilla, n_2 on kuitusydämen
taitekerroin säteellä a , $\Delta = (n_1^2 - n_2^2)/2n_1^2$, a on sydämen
säde ja Δ on parametri välillä 1∞ .

Alunperin ajateltiin, että parabaalinen profiili,
jossa Δ on 2, aikaansaisi taitekertoimen gradientin,
30 joka minimoisi moodien välistä ryhmänopeuseroista
aiheutuvan hajonnan. Tämän jälkeen johdettiin muita
 Δ :n arvoja, joilla pyrittiin parantamaan useita
optisia ominaisuuksia, kuten vaimentumisen vähentäminen
ja suurten kaistanleveyksien aikaansaaminen laajoilla
35 aaltopituuskaistoilla, katso esim.

US-patenttijulkaisut 3904268, 4006962 ja 4057320.
Edellä mainitun Glogan et al:n julkaisun yhteydessä
suoritetaan myös yritys minimoida hajonta asetta-
malla Δ -arvoon 2-2 Δ .

5 Laajakaistaisen, monimoodisen, optisen aalto-
johdinkuidun valmistamiseksi on tarpeen säätää tarkoin
sydämen radiaalinen taitekerroin. Yleinen menetelmä
tällaisten kuitujen muodostamiseksi esitetään US-pa-
10 tenttijulkaisuissa 3823995 ja 3711262, jotka patentit
esittävät esimerkkejä taitekertoimeltaan muuttuvista
optisista aaltojohtimista ja optisten aaltojohtimien
muodostamisesta sisäpuolisella höyryoksidaatiomene-
telmällä. Sisäpuoliseen höyryoksidaatiomenetelmään
kuuluu kemiallinen höyrykerrostaminen, liekkihydrolyy-
15 si ja jokin muu prosessi, jossa höyrymäiset aineet
suunnataan kuumennettuun putkeen, reagoivat hapen
kanssa lämmön vaikutuksessa ja kerrostuvat mainitun
putken sisäpuoliselle seinäpinnalle. Aine kerrostetaan
putken sisään perättäisinä kerroksina ja sitten putki
20 saostuneine kerroksineen poistetaan lämmöstä sulaneen
esimuodon tai aihion saamiseksi. Kuten ymmärretään
esimuodon tai aihion keskireikä voi luhistua kerrosta-
misprosessin lopussa. Esimuoto voidaan esim. seuraavak-
si kuumentaa uudelleen ja reikä luhistua tai reikä voi
25 luhistua vetämisprosessin aikana. Joka tapauksessa,
jos esimuoto seuraavaksi kuumennetaan, se vedetään
pitkäksi, ohueksi langaksi. Koska vedetyn langan tai
kuidun rakenne heijastaa esimuodon rakennetta, on tär-
keää että esimuodon fysikaaliset ominaisuudet säädetään
30 tarkasti.

Jotta aikaansaataisiin tällainen sisäpuolisella
höyryoksidaatioprosessilla muodostetun esimuodon taite-
kertoimen muutos, lähtöaineiden kemiallista kokoonpa-
noa, jotka aineet reaktion jälkeen muodostavat lopul-
35 lisen putken sisäpinnalle kerrostuneen aineen, voidaan
muunnella. Höyryseos hydrolysoidaan tai oksidoidaan ja

kerrostetaan putken sisäpinnalle ja seuraavaksi sulatetaan muodostamaan korkealaatuista ja puhdasta lasia. Samaan aikaan yksi tai useampia lisähöyryjä voidaan syöttää putkeen, joista kukin höyry koostuu kemikaalista, jota nimitetään lisäaineeksi, jonka läsnäolo vaikuttaa taitekertoimeen tai muihin muodostettavan lasin ominaisuuksiin.

Yleisesti menetelmä optisten aaltojohtimien esimuotojen muodostamiseksi sisäpuolisella höyryoksidaatiomenetelmällä käsittää estokerroksen muodostamisen kannatin- tai perusputkelle ennen sydämen lasin kerrostamista, jolloin perusputki on peitekerroksena. Estokerroksen pääfunktio on minimoida rajapinnan hajonta ja absorptiohäviöt poistamalla sydän -peitekerros rajapinta, joka sijaitseisi kerrostettujen, erittäin puhtaiden, vähävaimenteisten lasikerrosten ja perusputken sisäpinnan välillä. Estokerros on tavanomaisesti boorisilikaattilasiyhdiste, koska piioksidin, joka on yleisesti peruslasi, seostaminen boorilla pienentää kerrostuslämpötilaa ja minimoi siten perusputken kuitistumisen. Muut edut piioksidin seostamisesta boorilla ovat, että se pienentää lasin taitekerrointa ja se toimii esteenä hydroksidi-ionien, joita yleensä nimitetään vedeksi, diffuusiolle perusputkesta kerrostettuun sydänlasiin nostetuissa prosessi- ja vetämislämpötiloissa.

Ongelmana sisäpuolisessa höyryoksidaatioprosessissa on, että täten tuotetun optisen aaltojohdinkuidun kaistanleveys joskus putoaa paljon alle ennakoitun teoreettisen arvon. Esimerkiksi, kuten on esitetty FI-patenttihakemuksessa 792351, yritettäessä valmistaa pienihäviöisiä, laajakaistaisia optisia aaltojohdinkuituja havaittiin, että SiO_2 :sta valmistetut kuidut, jotka on saostettu B_2O_3 :lla, GeO_2 :lla ja P_2O_5 :lla myöhemmin esitettävinä konsentraatioina, aikaansaivat

yhdistelmän, jolla oli porrastettu taitekerroinprofiili, mikä aiheuttaa järjestyksessä ylempien moodien pussihajontaa, mikä tekijä alentaa kaistanleveyttä.

Edellä esitetyn mukaisesti keksinnön kohteena on muodostaa esimuoto, josta taitekertoimeltaan muuttuva, optinen aaltojohdin voidaan vetää ja johon kuuluu ulompi peitekerros, estokerros, joka on kerrostettu peitekerroksen sisäpuoliselle seinäpinnalle, ja sydän erittäin puhtaasta lasista, jolla on taitekertoimen gradientti ja joka on sijoitettu estokerroksen sisään ja liitetty siihen rajapinnan muodostamiseksi niiden välille, ja joka sydän sisältää Si_2O_2 :ta, jota on saostettu riittävällä määrällä ensimmäistä oksidia sydämen taitekertoimen nostamiseksi arvoon, joka on suurempi kuin ulomman peitekerroksen arvo, tunnettu siitä, että vetämällä muodostettavan laajakaistaisen monimoodisen optisen aaltojohdinkuidun esimuodon ensimmäisen oksidin konsentraatiogradientti seuraa tehollain gradienttia kuidun akselin ja säteen r_d välissä, joka on pienempi kuin sydämen säde r_a , siten, että taitekerroin on suurin kuidun akselilla ja ensimmäisen oksidin konsentraatio kasvaa sydämessä säteiden r_a ja r_d välissä estokerroksen konsentraatiosta säteellä r_d konsentraatioon, joka on tasoltaan suurempi kuin mille ensimmäisen oksidin konsentraatio nousisi, jos ensimmäisen oksidin tehollain gradientti ulottuisi mairittuun alueeseen säteiden r_a ja r_d välissä.

Oheisissa piirroksissa kuvio 1 esittää graafisesti aikaisemman tekniikan tason mukaisen muuttuvan taitekerroinprofiilin omaavan optisen aaltojohtimen lisääainekonsentraatiota. Kuvio 2 esittää graafisesti pääasiallisen moodiluvun suhdetta viiveaikaan optisessa aaltojohtimessa, joka on muodostettu kuvion 1 piirroksen mukaisesti. Kuvio 3 on perspektiivikuva esillä olevan keksinnön mukaisesta aaltojohtimesta. Kuvio 4 on

graafinen esitys esillä olevan keksinnön mukaisesti muovatun optisen aaltojohdinkuidun lisäainekonsentraatiotasosta. Kuvio 5 on kaaviollinen esitys laitteesta, jota käytetään esillä olevan keksinnön optisen
 5 kuidun muovauksessa. Kuvio 6 on graafinen esitys lähtöaineiden virtaustasosta, joita käytetään esillä olevan keksinnön mukaisen optisen aaltojohdinkuidun muovauksessa. Kuviot 7 ja 8 ovat graafisia esityksiä
 10 pääasiallisen moodiluvun suhteesta viiveaikaan kahdelle optiselle aaltojohtimelle, jotka on muovattu esillä olevan keksinnön mukaisesti.

On huomattava, että piirroksot esittävät kaaviollisesti ja symbolisesti esillä olevaa keksintöä eikä ole tarkoitus ilmaista asteikkoa tai suhteellisia
 15 siinä esitettyjen elementtien osuuksia.

Kuvio 1 esittää graafisesti lisäainekonsentraation tekniikan tason mukaisessa muuttuvan taitekerroinprofiilin omaavassa optisessa aaltojohtimessa, joka koostuu SiO_2 :sta, jota on seostettu B_2O_3 :lla, GeO_2 :lla
 20 ja P_2O_5 :lla kuvion 1 käyrien 10,12 ja 14 esittämällä määrillä. Tässä kuviossa "CL" tarkoittaa peitekerrosta, "B.L." estekerrosta ja säteet r_o, r_a, r_b ja r_c viittaavat vastaavasti kuidun akseliin, sydämen säteeseen, estekerroksen säteeseen ja ulko- tai peitekerroksen säteeseen. Kuten on mainittu edellä mainitussa patenttihakemuksessa, tällaisella kuidulla on yhdistelmä
 25 porrasteinen taitekerroinprofiili, mikä aiheuttaa järjestykseltään korkeampien moodien pulssien hajontaa, mikä tekijä laskee kaistanleveyttä. Yksi porrasteisen profiilin syistä on B_2O_3 :n äkkijyrkkä eliminointi sydämen ja estekerroksen rajapinnassa. Profiilin epäjatkuvuuden johdosta sydämen reunalla tämän tyyppisen, tekniikan tason mukaisen optisen kuidun keskimääräinen
 30 kaistanleveys on vain noin 240 Hz. Differentiaalisen moodiviiveen (DMD) analyysi tämän tyyppisestä kuidusta
 35

vastaavasti paljasti, että järjestyksessä matalammat moodit olivat samanaikaiset, mutta että järjestyksessä korkeammat moodit lisääntyvästi viivästyivät, jolloin järjestyksessä korkeimpien moodien suhteellinen viive oli 1-3 ns/km. Yli puolella etenevistä aalloista oli suhteellinen viive.

Tässä yhteydessä esitetyt kaistanleveysarvot on mitattu sen tyyppisellä "moodisekoitinlaitteella" jota on kuvannut W.F.Love artikkelissaan "Digest of Topical Meeting on Optical Fiber Communication" (Optical Society of America, Washington, D.C., 1979) lehti Thg2, sivut 118-120. On huomattava, että nämä arvot voivat olla merkittävästi alhaisempia kuin ne mitä on saatu käyttämättä moodisekoitinta.

Yritettiin myös parantaa kaistanleveyttä eliminoimalla porrasteinen taitekerroinmuoto, joka aiheutui B_2O_3 :n äkkijyrkästä eliminoinnista sydämen ja este-kerroksen rajapinnassa. B_2O_3 :n konsentraatio järjestettiin este-kerroksen tasosta nollaan säteellä r_d , kuten on esitetty katkoviivalla 16 samalla kun säilytettiin muiden lisäaineiden konsentraatiot kuvio 1 käyrien 10,12 ja 14 esittämissä arvioissa. Kuiduille, joiden säde r_d oli 27,2 μm ja sydämen säde r_a oli 31,25 μm , keskimääräinen kaistanleveys oli 250 MHz 900 nm:llä. Valittujen kuitujen differentiaalisen moodiviiveen tutkiminen osoitti, että B_2O_3 :n seostaminen sydämeen ei ole vailla merkitystä. Kuvio 2, joka on DMD käyrä kuidulle, jossa r_d on 27,2 μm osoittaa, että noin 60 % moodeista oli suhteellisen samanarvoisia tälle kuidulle. Tämä DMD käyrä indikoi, että taitekerroinprofiilin epäjatkuvuus vaikuttaa kielteisesti järjestyksessä korkeampiin moodeihin myös kun äkkijyrkkä porras on eliminoitu vähentämällä B_2O_3 estokerroksen tasosta johonkin lopulliseen sydämen sisällä olevaan säteeseen mennessä, kuten on esitetty katkoviivalla 16.

Niiden aaltojohdinkuitujen tyyppi, joihin tämä keksintö kohdistuu, on esitetty kuviossa 3, jossa sydän 40, jonka säde on r_a , on keskitetty akselin 42 ympärille. Sydäntä 40 ympäröi estokerros 44, jonka säde on r_b , ja peitekerros 46, jonka säde on r_c .

Esillä olevan keksinnön mukaisesti optinen aaltojohdinkuitu koostuu piistä, jota on seostettu kuviossa 4 esitetyillä oksideilla. Estokerros sisältää B_2O_3 :a, P_2O_5 :ttä ja GeO_2 :ta, kuten on esitetty viivoilla 48, 58 ja 64 vastaavasti. Tämä kuitu eroaa tekniikan tason mukaisista kuiduista siinä, että sen lisäksi että B_2O_3 vähenee nollaan säteellä r_d , kuten on esitetty viivalla 50, P_2O_5 :n ja GeO_2 :n konsentraatiot sydämessä ovat seuraavat. P_2O_5 :n konsentraatio vaihtelee sydämen tehollain mukaisesti säteen r_d ja akselin r_o välillä, kuten on esitetty käyrällä 52, mutta se lisääntyy tehollain gradienttia 52 enemmän säteiden r_a ja r_d välissä, kuten on esitetty käyrällä 54. Jotta voitaisiin verrata käyrän 54 jyrkkyyttä tehollain käyrään 52, tätä tehollain käyrää 52 on jatkettu säteiden r_a ja r_d välille, kuten on esitetty katkoviivalla 56. P_2O_5 :n konsentraatio estokerroksessa on sama kuin sydämen ja estokerroksen välisellä rajapinnalla, kuten on esitetty käyrällä 58. GeO_2 :n konsentraatio akselin r_o ja säteen r_d välillä vaihtelee sydämen tehollain mukaisesti, kuten on esitetty käyrällä 60. GeO_2 :n konsentraatio säteiden r_a ja r_d välillä on edullisesti sama kuin sen konsentraatio estokerroksessa, jotta vältettäisiin äkkiyrkät konsentraatiomuutokset. Kuitenkin GeO_2 :n konsentraatio säteiden r_a ja r_d välissä voi olla vähäisempi kuin estokerroksen taso ja GeO_2 voidaan täysin poistaa aaltojohtimen alueelta. Myös piste C käyrällä 60 voi olla millä tasolla tahansa nollan ja GeO_2 :n estokerroksen tason välillä. Tällaisen kuidun kaistanleveys on suurempi kuin

tekniikan tason mukaisten kuitujen, joita on kuvattu yllä kuvioiden 1 ja 2 yhteydessä, kun r_d on optimoitu. Ainakin 700 MHz kaistanleveydet jollakin aallonpituudella 1 km pituisella kuidulla on saavutettu
 5 kuidoissa, joiden säde r_d on $0,75-0,90 r_a$. Yli 1 GHz kaistanleveyksiä on saavutettu erityisillä suoritustavoilla, joita kuvataan seuraavassa ja joilla säde r_d on $0,82 r_a$.

Erityisen esillä olevan keksinnön piirteitä ilmentävän optisen aaltojohdinkuidun suunnittelemiseksi tulee ottaa huomioon seuraavat hyvin tunnetut tekijät. Aksiaalinen kokoonpano valitaan täyttämään numeeriset aukko-, vaimennus- ja hajontavaatimukset. Estokerroksen kokoonpano valitaan täyttämään sintrautuvuus ja
 15 taitekerroinvaatimukset. Kuten on edellä mainitussa hakemuksessa, estokerroksen taitekertoimen tulisi olla sama tai pienempi kuin putkimaisen alkukappaleen taitekerroin, joka kappale muodostaa kuidun peitekerroksen. Putkimaisella alkukappaleella on korkea piipitoisuus ja se voi koostua puhtaasta SiO_2 :sta tai SiO_2 :sta, jota on seostettu B_2O_3 :lla tai vastaavalla.

Käyrän 52 ja 60 muodot määrätään tavallisesti alfa (α) profiilimuodon avulla, joka on valittu tietylle aaltojohtimelle. Kuten on esitetty kuviossa 1
 25 nämä käyrät päättyvät tavallisesti sydämen ja estokerroksen väliseen rajapintaan oksidikonsentraatioille, jotka määrää estokerroksen kokoonpano. Esillä olevan keksinnön mukainen optinen aaltojohdinkuitu eroaa aikaisemmasta tekniikan tasosta siinä, että
 30 vaikka teholakikäyrät 52 ja 60 määräytyvät alfa (α) profiilimuodon mukaan, joka on valittu aaltojohtimelle, nämä käyrät on keskeytetty säteellä r_d , kuten on esitetty kuviossa 4. Yksityiskohtaisemmin P_2O_5 :n konsentraatio C_p painoprosentteina säteellä r kuidun akselin ja säteen r_d välillä määräytyy yhtälöstä
 35

$$C_p = P + (H-P) \{I-(r/r_a)^{\alpha}\} \quad (2)$$

missä H on P_2O_5 :n ennalta määrätty konsentraatio akselilla ja P on arvo, jonka P_2O_5 :n konsentraatio saavuttaisi, jos käyrää 52 jatkettaisi säteelle r_a .

5 Havaitaan, että arvo P on suurempi kuin P_2O_5 :n konsentraatio estokerroksessa. C_p :n arvo säteellä r_d on G, kuten ilmenee kuviosta 4.

10 GeO_2 :n konsentraatio C_G painoprosentteina säteellä r kuidun akselin ja säteen r_d välillä määräytyy yhtälöstä

$$C_G = R + (D-R) \{I-(r/r_a)^{\alpha}\} \quad (3)$$

missä D on GeO_2 :n ennalta määrätty konsentraatio akselilla ja R on arvo, jonka GeO_2 :n konsentraatio saavuttaisi, jos käyrää 60 jatkettaisiin säteelle r_a .

15 Havaitaan, että arvo R on pienempi kuin GeO_2 :n konsentraatio estokerroksessa. GeO_2 :n konsentraatiokäyrän 60 arvo säteellä r_d on C, kuten on esitetty kuviossa 4. Arvo C voi olla mikä tahansa GeO_2 :n konsentraatio, joka on sama tai pienempi kuin estokerroksen konsentraatio. Epäjatkuvuuksien minimoimiseksi sekä viiva 62
20 ja piste C ovat edullisesti samat kuin estokerroksen konsentraatio.

Yhtälöissä 2 ja 3 termi α on taitekertoimen gradientin määräävä termi, joka ilmenee kaavassa 1.
25 Käyrä 54 edustaa lisäystä P_2O_5 :n konsentraatiossa säteiden r_a ja r_d välissä mikä seuraa gradienttia, joka on jyrkempi kuin käyrän 52 tehollain gradientti. Pieni muutos käyrän 54 ja käyrän 52 kaarevuuksissa pisteen G alueella on edullinen taitekerroinprofiilin mahdollisten epäjatkuvuuksien välttämiseksi, kuitenkin P_2O_5 :n diffuusio pyrkii pehmentämään konsentraatioprofiilin tässä alueessa. Käyrä 50 muuttuu B_2O_3 :n estokerroksen tasosta nolnaan säteellä r_d . Käyrät 50 ja 54 voivat olla lineaarisia tai ne voivat kaareutua kevyesti niin,
30 että niiden toiset derivaatat ovat negatiivisia tai

positiivisia, t.s. nämä käyrät voivat kaareutua vähän joko alaspäin tai ylöspäin, kuten on esitetty kuviossa 4. Käyrät 50 ja 54 kuviossa 4 edullisesti seuraavat sydämen teholakiprofiilimuotoa, jossa eksponentiaalinen termi $\propto$ on noin 2. Kuitukokoonpanon tasapaino koostuu oleellisesti SiO_2 :sta.

Esillä olevan keksinnön optinen aaltojohdinkuitu on muodostettu kerrostamalla estokerros perusputken sisäpinnalle ja kerrostamalla sen jälkeen sydänaine estokerroksen pinnalle. Yleisesti sekä estokerros että sydänaine on muodostettu kerrostamalla useita oksidien kerroksia. Mitä tahansa useista hyvin tunnetuista menetelmistä lasisten kerrosten muodostamiseksi perusputken sisäpinnalle voidaan käyttää. Esimerkkeinä tällaisista kerrostusprosesseista, katso US-patenttijulkaisut 3823995 ja 3711262 ja ulkaisut: MacChesney et al. Applied Physics Letters, Vol. 23, No. 6, September 15. 1973, s. 340; MacChesney et al., Proceedings of the IEEE, Vol. 62, No. 9, September 1974, s. 1278; ja Jaeger et al., Bulletin of American Ceramic Society, Vol. 55, No. 4, April 1976, sivu 455. Näissä prosesseissa lasikerrokset kerrostetaan peruslasiputken sisäpinnalle esimuodon tuottamiseksi, joka lopuksi vedetään kuiduksi.

Kuviossa 5 on esitetty kaaviollisesti kuva laitteesta estokerros- ja sydänaineen muodostamiseksi perusputken 70 sisäpinnalle. Kuumennusväline 72 saataan liikkumaan putken 70 suhteen, kuten on esitetty nuolella 74. Putki 70 pyörii akselinsa suhteen, kuten on esitetty nuolella 76. Reagoivat aineet virtaavat putkeen 70 ja sen läpi, kuten on esitetty nuolella 78. Kukin kuumennusvälineiden 72 siirtyminen nuolen 78 suuntaan aikaansaa tasa-aineisen kerroksen kerrostumisen. Ennalta määrätty määrä kuumennusvälineiden siirtoja putkea pitkin vaaditaan muodostamaan esimuodon estoker-

ros ja sydänosa. Tässä käytetty sanonta "ohitusluku" tarkoittaa kuumennusvälineiden jonkin tietyn ohituksen järjestysnumeroa sydänosan muodostuksen aikana jaet-
 tuna ohitusten kokonaismäärällä, jotka tarvitaan
 5 sydänosan muodostamiseen, t.s. kuidun säteen r_a ja
 kuidun akselin r_o välisen osan muodostamiseen. Jos 50
 kuumennusvälineiden ohitusta vaadittaisiin sydämen
 muodostamiseen kymmenennen ohituksen ohitusluku oli-
 si 0,2 ja viidennenkymmenennen olisi 1,0. Säde r liit-
 10 tyy ohituslukuun X kaavalla

$$r = r_a \sqrt{1-x} \quad (4)$$

missä r_a on sydämen säde. Siten aikaisemmin mainittu
 r_d :n alue 0,74 r_a -0,90 r_a vastaisi ohituslukua vä-
 lillä 0,2-0,43.

15 Perusputki voidaan muodostaa puhtaasta SiO_2 :sta
 tai SiO_2 :sta, jota on seostettu yhdellä tai useammal-
 la oksidilla, joihin kuuluu B_2O_3 . Reaktioaineet, jotka
 tarvitaan muodostamaan oksidikerrokset perusputkessa
 70, sisältävät happea ja yhdisteitä, jotka sisältävät
 20 elementtejä, joita tarvitaan muodostamaan halutut
 oksidit. Oksidit SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 ja GeO_2 voidaan
 kerrostaa käyttämällä vastaavasti reaktioaineita
 $SiCl_4$, BCl_3 , $POCl_3$ ja $GeCl_4$. Reaktioaineiden luettelo
 on tarkoitettu olemaan esimerkinomainen, koska on hy-
 25 vin tunnettua, että muitakin reaktioaineita voidaan
 käyttää muodostamaan luetellut oksidit.

Lukuisat reaktioaineiden syöttöjärjestelmät,
 joita tunnetaan, soveltuvat reaktioaineiden 78 syöttä-
 miseen putkeen 70. Tässä suhteessa viitataan US-patent-
 30 tijulkaisujen 3826560, 4148621 ja 4173305 sisältöön.

Reaktioaineiden suhteelliset virtaustasot, jotka
 vaaditaan muodostamaan kuitu, joka on esitetty kuvion 4
 kokoonpanodiagrammassa, on esitetty logaritmisella as-
 teikolla. Samoja kirjaimia, joita on käytetty kuvios-
 35 sa 4 esittämään konsentraatioarvoja, on käytetty

pilkuilla varustettuina kuviossa 6 esittämään vastavia virtaustasoja, jotka tarvitaan näiden konsentraatioarvojen muodostamiseen.

5 Kaikkien reaktioaineiden tasot pidetään vakioina estokerroksen muodostamiseksi.

Sydänaineen ulomman alueen muodostamiseksi estokerroksen ja sydämen murtopisteen väliin, joka sijaitsee ohitusluvulla X_d vastaten sädettä r_d , virtaustasot säädetään seuraavasti. GeCl_4 :n virtaus joko
 10 lopetetaan estokerroksen muodostamisen jälkeen tai se säilytetään jossakin vakioarvossa siihen virtaustason arvoon asti, jota käytettiin muodostamaan estokerros. BCl_3 :n virtaustaso vähennetään tasolta J' nol-
 laan ohitusluvulla X_d . POCl_3 :n virtaustasoa lisätään
 15 tasolta F' tasolle G' .

Sydänaineen sisäosa muodostetaan seuraavalla tavalla. GeCl_4 :n virtaustasoa F_p lisätään pisteestä C' pisteeseen D' kaavaan

$$F_G = R' + (D' - R') [1 - (1 - x)^{\alpha/2}] \quad (5)$$

20 mukaisesti, missä $X_d \leq x \leq 1,0$. Virtaustaso R' on GeCl_4 :n estokerroksen arvon alapuolinen arvo. Virtaustaso C' , joka on F_G :n arvo kun $x = X_d$ on GeCl_4 :n arvo alueella nolasta GeCl_4 :n estokerroksen tasolle. Saman-
 aikaisesti POCl_3 :n virtaustasoa F_p lisätään tasolta
 25 G' tasolle H' kaavan

$$F_p = P' + (H' - P') [1 - (1 - x)^{\alpha/2}] \quad (6)$$

mukaisesti, missä $X_d \leq x \leq 1,0$. Virtaustaso P' on POCl_3 :n estokerroksen tason yläpuolella oleva arvo. Virtaustaso G' on F_p :n arvo kun $x = x_d$.

30 SiCl_4 :n virtaustaso voi pysyä vakiona koko kerrostamisprosessin ajan.

Seuraava on tyypillinen esimerkki optisen aaltojohdinkuidun muovauksesta esillä olevan keksinnön mukaisesti. Piiperusputki, joka sisältää noin 4 paino-%
 35 B_2O_3 :a ja jolla on 25 mm:n ulkohalkaisija ja 1,3 mm

seinänvahvuus on kiinnitetty alalla hyvin tunnettuun kerrostamispenkkiin. Reaktioaineet sisältävät aineet SiCl_4 , BCl_3 , GeCl_4 ja POCl_3 syötetään perusputkeen kemiallisella höyrykerrostusjärjestelmällä, jonka alan ammattimies hyvin tuntee ja tässä suhteessa viitataan erityisesti yllämainittuun Aslamin hakemukseen ja US-patenttijulkaisuihin 3826560, 4148621 ja 4173305. Tämän esimerkin prosessia edustavia parametreja on matemaattisesti laskettu ja arvioitu ja ne esitetään seuraavassa taulukossa I.

Taulukko I

		Reaktioaineet Virtaustasot g/min.			
		SiCl_4	GeCl_4	POCl_3	BCl_3
15	Estokerros	0,83	0,41	0,009	0,026
	Ensimmäinen sydänohitus	0,83	0	0,009	0,026
	Ohitusluku 0,33	0,83	0,02	0,059	0
	Ohitusluku 1,0	0,83	0,243	0,110	0

Taulukon I esimerkissä reaktioita varten syötetty happi oli noin 1000 cm^3 . Muodostuslämpötila oli noin 1880°C estokerroksen kerrostamisen aikana ja se pieneni sitten lineaarisesti 1720°C ohituslukuun 1,0 mennessä. Kerroksen muodostamisen pituussuuntainen taso oli noin 15 cm/min. sekä estokerrokselle että sydämelle, jolloin estokerros muovattiin 10 ohituksella tai kerroksella ja sydän muodostettiin 70 ohituksella. Tässä käytetty termi "sydänohitus" tarkoittaa niiden erityisten ohitusten lukumäärää, jotka on tehty polttimella sydämen muodostuksen aikana. BCl_3 :n virtaustasoa pienennettiin lineaarisesti estokerroksen arvosta kuvion 6 pisteessä J' arvoon nolla 23:lla sydänohituksella (ohitusluvulla 0,33). GeCl_4 :n virtaustaso säilyi nollassa 23:lle ohitukselle asti minkä jälkeen sitä lisättiin maksimiarvoonsa kaavan 5 mukaisesti. POCl_3 :n virtaustasoa lisättiin lineaarisesti estokerroksen tasolta pisteessä F' arvoon 0,059 g/min 23:lla

sydänohituksella. POCl_3 :n virtaustasoa, lisättiin sen jälkeen maksimiarvoonsa kaavan 6 mukaisesti. Määrittäessä GeCl_4 :n ja POCl_3 :n virtaustasoja yhtälöiden 5 ja 6 mukaisesti termi α asetettiin arvoon 1,975 ja termiä X vaihdettiin arvojen 0,33 ja 1,0 välillä riippuen polttimen ohituksen järjestysluvusta.

Lopullinen esimuoto luhistettiin sitten paineen alaisena US-patenttijulkaisun 4154591 opetusten mukaisesti. Luhistumisen aikana esimuodon lämpötila nostettiin arvosta 2000°C arvoon 2500°C viiden polttimen ohituksen aikana samalla kun esimuotoa pyöritettiin nopeudella 60 kierrosta minuutissa. Lopullinen kiinteä esimuoto kiinnitettiin sitten vetolaitteeseen, joka myös on alalla tunnettu, sen pää kuumennettiin lämpötilaan 1900°C ja vedettiin optiseksi aaltojohdinkuiduksi, jolla on kuviossa 4 esitetyn kaltainen poikkileikkausprofiili, paitsi että segmentti 62 oli nolla, ja kuviossa 7 esitetyn mukaisen DMD käyrä mitattuna 799 nm :llä. Lopullisella optisella aaltojohtimella oli $125\text{ }\mu\text{m}$ ulkohalkaisija, $60\text{ }\mu\text{m}$ sydämen halkaisija noin $5\text{ }\mu\text{m}$ estokerroksen vahvuus. Piipeitekerros sisälsi noin 4 paino-% B_2O_3 :a. Estokerros sisälsi 6 paino-% B_2O_3 :a, 1 paino-% GeO_2 ja 2 paino-% P_2O_5 tasapainottajan ollessa pii. Säteellä r_d , joka oli $24,2\text{ }\mu\text{m}$, GeO_2 :n konsentraatio oli 0,5 paino-% ja P_2O_5 :n konsentraatio oli noin 8 paino-%. Sydämen säteellä r_o kokoonpano oli noin 8 paino-% GeO_2 , noin 16 paino-% P_2O_5 ja noin 76 paino-% SiO_2 .

Toinen optinen aaltojohdin, johon viitataan kuituna n:o 2 valmistettiin edellisen esimerkin mukaisesti paitsi, että α :n arvoksi asetettiin 1,98 arvon 1,875 sijasta, kaikki muut parametrit pidettiin muuttumattomina. Toisen kuidun DMD käyrä mitattuna 799 nm :llä on esitetty kuviossa 8. Tämän kuidun poikkileikkauksen konsentraatioprofiili oli samanlainen

kuin on kuvattu kuidulle n:o 1.

Kuitu n:o 3 valmistettiin kuidulle 2 esitetyn selityksen mukaisesti paitsi, että GeCl_4 :n virtaus säilytettiin estokerroksen tasolla 0,041 g/min sydämen ulomman alueen muodostuksen aikana ja tämän lisäaineen virtaustaso arvolla X_d kuviossa 6 oli myös 0,041 g/min. Sitten lopullisella optisella aaltojohdinkuidulla oli kuviossa 4 esitetyn kaltainen poikkileikkausprofiili.

Taulukko II esittää joitakin esimerkkien 1, 2 ja 3 kuitujen fysikaalisia ja optisia ominaisuuksia.

		Taulukko II		
		Kuidun n:o		
		1	2	3
	:n arvo	1,975	1,98	1,98
15	sydämen säde	59 μm	60,5 μm	64,0 μm
	säde r_d	24,2 μm	24,8 μm	26,2 μm
	NA 9100 s)	0,208	0,209	0,207
	Vaimentuma (db/km)			
	820 nm	2,9	3,7	2,5
	900 nm	2,0	2,8	1,9
	1060 nm	1,6	2,3	1,0
	Kaistanleveys (MHz)			
20	900 nm	630	1390	1024
	1300 nm	1060	700	1052
	Pituus (km)	1,12	1,12	1,16

Huomaa, että kuitujen 1 ja 2 DMD käyrät (kuviot 7 ja 8) ovat oleellisesti suorina. Huippu kuvion 7 DMD käyrässä indikoi, että kuidulla n:o 1 on suuret kaistanleveydet aallonpituuksilla, jotka ovat suurempia kuin DMD mittauksen aallonpituus 799 nm. Todellakin taulukko II osoittaa, että kuidulla n:o 1 on suurempi kaistanleveys aallonpituudella 1300 nm kuin 900 nm:lla. Huomataan, että täydellisen vaakasuora DMD käyrä saataisiin kuidulle, jonka kaistanleveys on optimoitu 799 nm:lle, mittauksen aallonpituudelle. Kuidun 2 DMD jälki (kuvio 8) on likemmin vaakasuora, osoittaen siten, että sen kaistanleveys on optimoitu lähelle 799 nm:ä. Taulukko II osoittaa, että kuidun 2 kaistanleveys on 1390 MHz aallonpituudella 900 nm. Siten voidaan nähdä, että

kaistanleveys voidaan optimoida halutulle aallonpituudelle asettelemalla muutoskerroin α . Yli yhden GHz kaistanleveydet, joita saavutettiin esillä olevan keksinnön mukaisilla kuiduilla, ovat likimain kaksi
5 kertaa niin suuria kuin niiden kuitujen kaistanleveydet, joilla on sen tyyppiset oksidikonsentraatiot, kuin on esitetty kuviossa 1.

Patenttivaatimukset.

1. Esimuoto, josta taitekertoimeltaan muuttuva, optinen aaltojohdin voidaan vetää ja johon kuuluu ulompi peitekerros, estokerros, joka on kerrostettu peitekerroksen sisäpuoliselle seinäpinnalle, ja sydän erittäin puhtaasta lasista, jolla on taitekertoimen gradientti ja joka on sijoitettu estokerroksen sisään ja liitetty siihen rajapinnan muodostamiseksi niiden välille, ja joka sydän sisältää SiO_2 :ta, jota on seostettu riittävällä määrällä ensimmäistä oksidia sydämen taitekertoimen nostamiseksi arvoon, joka on suurempi kuin ulomman peitekerroksen arvo, t u n n e t t u siitä, että vetämällä muodostettavan laajakaistaisen monimoodisen optisen aaltojohdinkuidun esimuodon ensimmäisen oksidin konsentraatiogradientti seuraa teholain gradienttia kuidun akselin ja säteen r_d välissä, joka on pienempi kuin sydämen säde r_a , siten, että taitekerroin on suurin kuidun akselilla ja ensimmäisen oksidin konsentraatio kasvaa sydämessä säteiden r_a ja r_d välissä estokerroksen konsentraatiosta säteellä r_d konsentraatioon, joka on tasoltaan suurempi kuin mille ensimmäisen oksidin konsentraatio nousisi, jos ensimmäisen oksidin teholain gradientti ulottuisi mainittuun alueeseen säteiden r_a ja r_d välissä.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen esimuoto, t u n n e t t u siitä, että ensimmäinen oksidi on P_2O_5 .

3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen esimuoto, t u n n e t t u siitä, että sydän sisältää myös GeO_2 :a, jonka konsentraatio oleellisesti seuraa teholakikäyrää säteen r_d ja kuidun akselin välillä.

4. Jonkin edeltävän patenttivaatimuksen mukainen esimuoto, t u n n e t t u siitä, että estokerros koostuu aineista SiO_2 , GeO_2 , B_2O_3 ja P_2O_5 , joiden kunkin SiO_2 :n GeO_2 :n, B_2O_3 :n ja P_2O_5 :n konsentraatio on oleellisesti tasainen koko estokerroksen vahvuudella.

5. Patenttivaatimuksen 4 mukainen esimuoto, tunnettu siitä, että GeO_2 :n konsentraatio säteiden r_d ja r_a välissä on vakio ja yhtäsuuri tai pienempi kuin GeO_2 :n taso estokerroksessa.

5 6. Jonkin edeltävän patenttivaatimuksen mukainen esimuoto, tunnettu siitä, että sydän lisäksi käsittää B_2O_3 :a, jonka määrä vähenee sydämen sisällä estokerroksen tasosta nollaan säteellä r_d .

10 7. Patenttivaatimuksen 6 mukainen esimuoto, tunnettu siitä, että säde r_d on 0,75-0,9 kertaa sydämen säde r_a .

8. Patenttivaatimuksen 6 tai 7 mukainen esimuoto, tunnettu siitä, että estokerroksen taitekerroin on yhtäsuuri tai pienempi kuin peitekerroksen taitekerroin.

9. Jonkin patenttivaatimuksen 2-8 mukainen esimuoto, tunnettu siitä, että P_2O_5 :n konsentraatio sydämen akselin ja säteen r_d välisellä alueella saadaan kaavasta

20
$$C_p = P + (H - P) \left(1 - (r/r_a)^\alpha \right),$$
 missä $0 \leq r \leq r_d$, α on parametri välillä $1 \dots \infty$, H on P_2O_5 :n konsentraatio akselilla ja P oletettu konsentraatiotasoa säteellä r_a , joka taso P on suurempi kuin P_2O_5 :n taso estokerroksessa.

25 10. Jonkin patenttivaatimuksen 3-9 mukainen esimuoto, tunnettu siitä, että GeO_2 :n konsentraatio kuidun akselin ja säteen r_d välillä saadaan kaavasta

30
$$C_g = R + (D - R) \left(1 - r/r_a \right),$$
 missä $0 \leq r \leq r_d$, D on GeO_2 :n konsentraatio akselilla, R on GeO_2 :n oletettu arvo säteellä r_a , kun R on pienempi kuin GeO_2 :n estokerroksen taso ja GeO_2 :n konsentraatio C säteellä r_d on yhtäsuuri tai pienempi kuin GeO_2 :n konsentraatio estokerroksessa.

11. Menetelmä esimuodon muodostamiseksi laaja-
 jakaistaiselle optiselle aaltojohtimelle, johon me-
 netelmään kuuluu lasisen perusputken muodostaminen,
 estokerroksen muodostaminen tämän putken sisäpuo-
 5 liselle seinäpinnalle ja n:n sydänlasikerroksen ker-
 rostaminen estokerroksen pinnalle, joka sydänlasi
 sisältää erittäin puhdasta peruslasia ja ainakin yhtä
 lisääainetta, t u n n e t t u siitä, että lisääaineen
 konsentraatio muuttuu estokerroksen ja sydänlasin si-
 10 säpinnan välillä siten, että sydänlasin taitekerroin
 jatkuvasti kasvaa estokerroksen ja sydänlasin sisäpin-
 nan välissä, jolloin mainitun lisääaineen konsentraa-
 tion tason muutos on suurempi ensimmäisten Xn kerrok-
 sen muodostuksen aikana kuin loppujen (1-X)n kerrok-
 15 sen, missä X on välillä 0,2-0,43.

12. Patenttivaatimuksen 11 mukainen menetelmä,
 t u n n e t t u siitä, että estokerros sisältää pe-
 ruslasia B_2O_3 :a ja ainakin yhtä lisääainetta, jolloin
 ensimmäiset Xn sydänlasin kerrosta myös sisältää
 20 B_2O_3 :a, jonka konsentraatio sydänlasissa asteittain vä-
 henee estokerroksen tasosta nolnaan ensimmäisten Xn
 kerroksen aikana.

13. Patenttivaatimuksen 12 mukainen menetelmä,
 t u n n e t t u siitä, että mainittu ainakin yksi
 25 lisääaine sisältää P_2O_5 :ta ja jolloin mainitun lisääai-
 neen konsentraatio lisääntyy minimiarvosta estoker-
 roksessa maksimiarvoon sydänlasin sisäpinnalla.

14. Patenttivaatimuksen 12 tai 13 mukainen
 menetelmä, t u n n e t t u siitä, että estokerros
 30 lisäksi sisältää P_2O_5 :ttä.

15. Patenttivaatimuksen 14 mukainen menetelmä,
 t u n n e t t u siitä, että estokerros ja sydänlasin
 Xn ensimmäistä kerrosta sisältää lisäksi GeO_2 :ta, jonka
 konsentraatio on läpikotaisin tasainen ja jonka GeO_2 :n
 35 konsentraatio kasvaa viimeisten (1-X)n kerroksen kerros-
 tamisen aikana maksimiarvoon sydänlasin sisäpinnalla.

Patentkrav:

1. Förform, av vilken ett optiskt vågledarfilament med stigande index kan dragas och omfattande ett
5 yttre täckskikt, ett spärrskikt beläget på inre vägg-
ytan av nämnda täckskikt, och en kärna av högre glas
med stigande brytningsindex beläget innanför nämnda
spärrskikt och häftande vid detsamma för bildande av en
gränsyta mellan dem, varvid nämnda kärna omfattar SiO_2
10 impregnerad med en tillräcklig mängd av en första oxid
för ökande av brytningsindex hos kärnan till ett värde
som överstiger brytningsindexet i nämnda yttre täck-
skikt, k ä n n e t e c k n a d därav, att för att för-
formen vid dragning skall bilda en optisk multimod-våg-
15 ledarfiber med hög bandbredd följer koncentrationsstig-
ningen hos nämnda första oxid en kraftlagsstigning mel-
lan filamentaxeln och en radie r_d , vilken är mindre än
radien r_a hos kärnan, så att brytningsindexet är störst
vid filamentaxeln, varvid koncentrationen av nämnda
20 första oxid i nämnda kärna vid radier mellan r_a ökar
från koncentrationen därav i nämnda spärrskikt till kon-
centrationen vid radien r_d i högre grad än vad koncentra-
tionen av nämnda första oxid skulle öka ifall nämnda
kraftlagstigning hos första oxiden skulle sträcka sig
25 in i nämnda region mellan radierna r_a och r_d .
2. Förform enligt patentkravet 1, k ä n n e t e c k-
n a d därav, att nämnda första oxid är P_2O_5 .
3. Förform enligt patentkravet 1 eller 2, k ä n -
n e t e c k n a d därav, att nämnda kärna även inne-
30 håller GeO_2 , varvid koncentrationen av nämnda GeO_2 väsent-
ligen följer en kraftlagkurva mellan radien r_d och fila-
mentaxeln.
4. Förform enligt något av föregående patentkrav,
k ä n n e t e c k n a d därav, att nämnda spärrskikt om-

fattar SiO_2 , GeO_2 , B_2O_3 och P_2O_5 , varvid koncentrationen av var och en av nämnda SiO_2 , GeO_2 , B_2O_3 och P_2O_5 är väsentligen enhetlig över tjockleken av nämnda spärrskikt.

5 5. Förform enligt patentkravet 4, k ä n n e t e c k n a d därav, att koncentrationen av GeO_2 mellan radier-
na r_d och r_a är konstant och lika med eller mindre än GeO_2 -nivån i spärrskiktet.

10 6. Förform enligt något av föregående patentkrav, k ä n n e t e c k n a d därav, att nämnda kärna ytterli-
gare omfattar B_2O_3 , varvid mängden B_2O_3 minskar i nämnda kärna från spärrskiktnivån till noll vid radien r_d .

15 7. Förform enligt patentkravet 6, k ä n n e t e c k n a d därav, att nämnda radie r_d är mellan 0,75 och 0,9
gångar nämnda kärnradie r_a .

8. Förform enligt patentkravet 6 eller 7, k ä n n e t e c k n a d därav, att brytningsindex hos nämnda spärrskikt är lika med eller mindre än brytningsindexet i täckskiktet.

20 9. Förform enligt något av patentkraven 2-8, k ä n n e t e c k n a d därav, att koncentrationen av P_2O_5 i
regionen mellan kärnaxeln och radien r_d givits av ekva-
tionen

25
$$C_p = P + (H - P) \left[\bar{I} - (r/r_a)^\alpha \right]$$

30 vari $0 \leq r \leq r_d$, α är en parameter mellan 1 och ∞ ,
H är axiella koncentrationen av P_2O_5 och P är en imaginär
koncentrationsnivå vid radien r_a , varvid nivån P är stör-
re än spärrskiktnivån av P_2O_5 .

10. Förform enligt något av patentkraven 3-9, k ä n n e t e c k n a d därav, att koncentrationen av GeO_2 mel-
lan filamentaxeln och radien r_d givits av

35
$$C_G = R + (D - R) \left[\bar{I} - r/r_a \right]^\alpha$$

vari $0 \leq r \leq r_d$, D är axiella koncentrationen av GeO_2 , R är ett imaginärt värde på GeO_2 vid radien r_a , R är mindre än GeO_2 -nivån i spärrskiktet, och koncentrationen C av GeO_2 vid radien r_d är lika med eller mindre än koncentrationen av GeO_2 i spärrskiktet.

11. Förfarande för framställning av en förform för ett optiskt vågledarfilament med hög bandbredd och omfattande tillhandahållande av ett ämnesrör av glas, bildande av ett spärrskikt på inre väggytan av röret, och avsättande av n skikt av kärnglas på ytan av nämnda spärrskikt, varvid kärnglasets omfattar ett högre basglas och åtminstone ett impregneringsmedel, k ä n n e - t e c k n a t därav, att koncentrationen av nämnda impregneringsmedel förändras mellan spärrskiktet och inre ytan av kärnglasets på sådant sätt, att kärnglasets brytningsindex kontinuerligt ökar mellan spärrskiktet och inre ytan av kärnglasets, varvid förändringsgraden i koncentrationen av nämnda impregneringsmedel är större under bildande av de första xn skikten än för de slutliga $(1-x)n$ skikten, varvid x är ett tal mellan 0,2 och 0,43.

12. Förfarande enligt patentkravet 11, k ä n n e - t e c k n a t därav, att nämnda spärrskikt omfattar nämnda basglas B_2O_3 och nämnda åtminstone ett impregneringsmedel, att första xn skikten av kärnglasets även omfattar B_2O_3 , och att koncentrationen av B_2O_3 i nämnda kärnglas gradvis minskar från spärrskiktets nivå till noll i de första xn skikten.

13. Förfarande enligt patentkravet 12, k ä n n e - t e c k n a t därav, att nämnda åtminstone ett impregneringsmedel omfattar P_2O_5 och att koncentrationen av nämnda impregneringsmedel ökar från ett minimivärde vid nämnda spärrskikt till ett maximivärde på inre ytan av nämnda kärnglas.

14. Förfarande enligt patentkravet 12 eller 13, k ä n n e t e c k n a t därav, att nämnda spärrskikt ytterligare omfattar P_2O_5 .

5 15. Förfarande enligt patentkravet 14, k ä n n e - t e c k n a t därav, att nämnda spärrskikt och de första x_n skikten av kärnglasets ytterligare omfattar GeO_2 i enhetligt genomgående koncentration och att koncentrationen av GeO_2 ökar under avsättandet av de sista $(1-x)_n$ skikten till ett maximivärde på inre ytan av kärnglasets.

Seostekonsentraatio

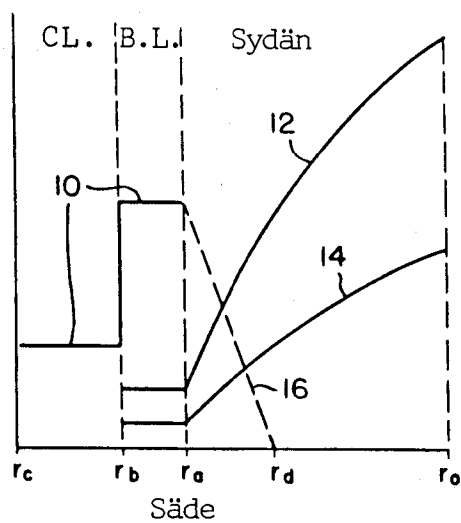


FIG. 1

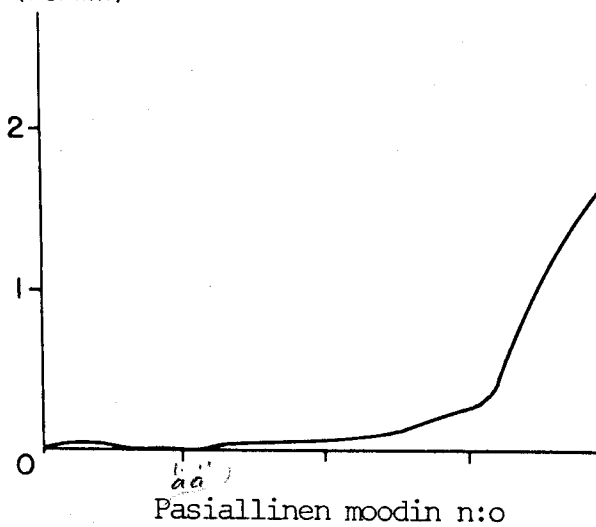
Viiva
(ns/km)

FIG. 2

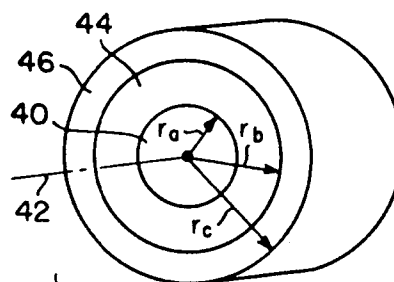


FIG. 3

Oksidikonsentraatio

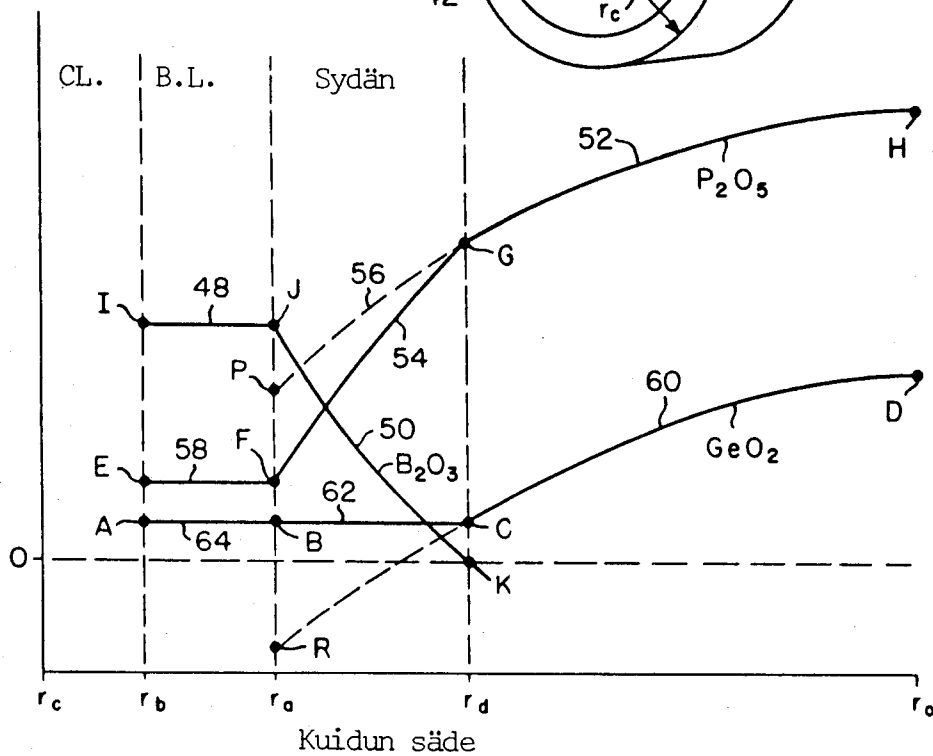


FIG. 4

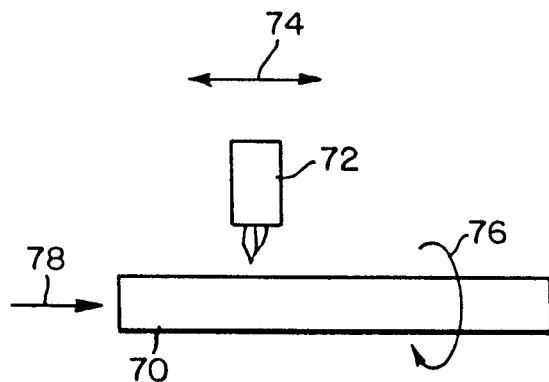


FIG. 5

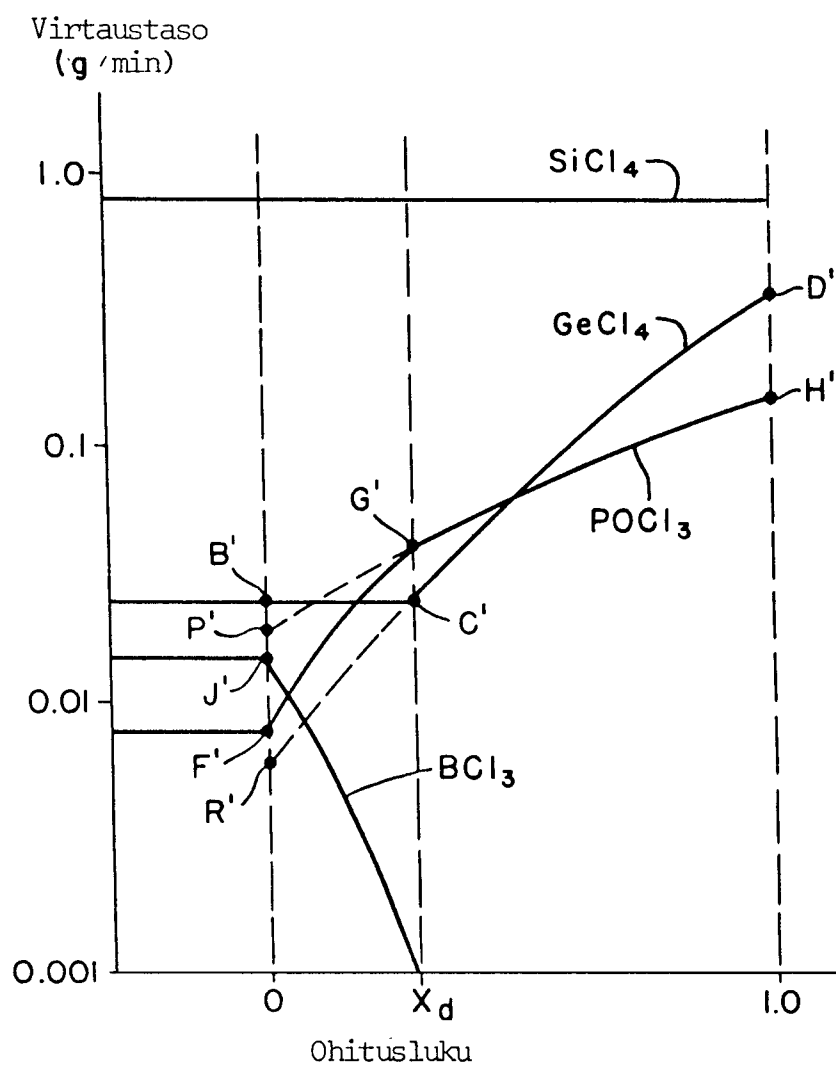


FIG. 6

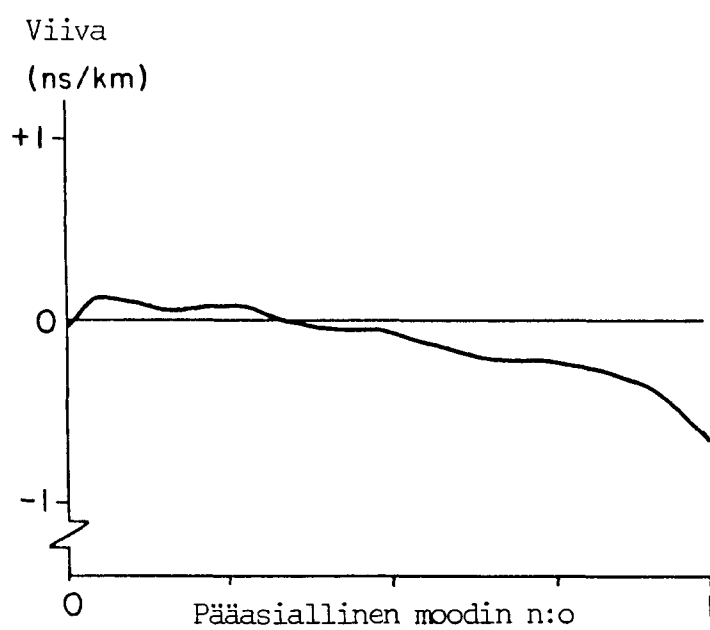


FIG. 7

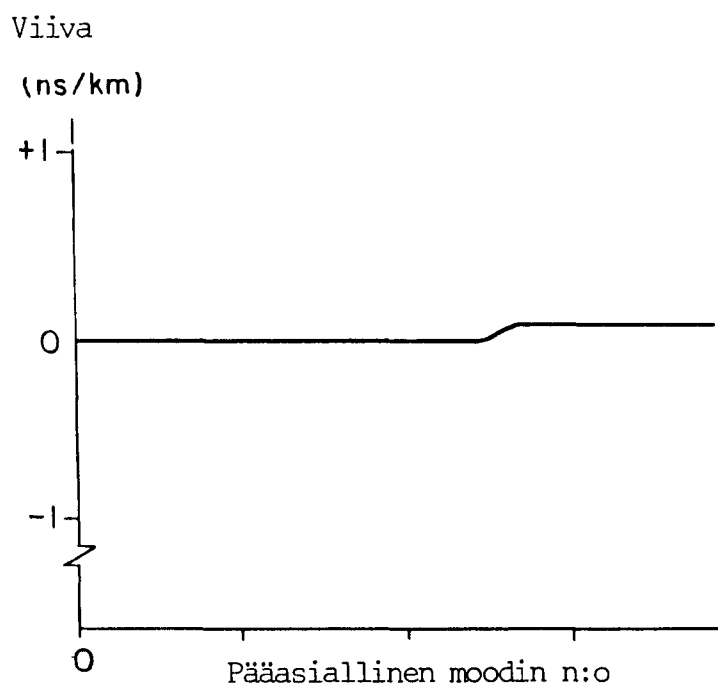


FIG. 8