(19) SUOMI - FINLAND
(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN
FINNISH PATENT AND REGISTRATION OFFICE

(10) **FI 961890 A7**

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

(21) Patenttihakemus - Patentansökan - Patent application 961890

(51) Kansainvälinen patenttiluokitus - Internationell patentklassifikation - International patent classification (IPC[6])
G02B 6/18
G02B 6/22

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag - Filing date **25.08.1995**

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date **03.05.1996**

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public **07.06.1996**

(43) Julkaisupäivä - Publiceringsdag - Publication date **13.06.2019**

(86) Kansainvälinen hakemus - Internationell ansökan - International application **25.08.1995 PCT/FR1995/001121**

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

05.09.1994 FR 9410615

(71) Hakija - Sökande - Applicant

1 • **Alcatel Fibres Optiques,** 35 rue Jean-Jaures 95871 Bezons Cedex, France, RANSKA, (FR)

(72) Keksijä - Uppfinnare - Inventor

1 • **Nouchi, Pascale,** France, RANSKA, (FR)
2 • **Sansonetti, Pierre,** France, RANSKA, (FR)
3 • **Audouin, Olivier,** France, RANSKA, (FR)
4 • **Hamaide, Jean-Pierre,** France, RANSKA, (FR)

(74) Asiamies - Ombud - Agent

Oy Jalo Ant-Wuorinen Ab, Iso Roobertinkatu 4 - 6 A, 00120 Helsinki

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

Hajontasiirretty monomodinen optinen kuitu

Monomode optisk fiber med förskjutningsdispersion

DISPERSIOSIIRRETTY OPTINEN YKSIMUOTOKUITU

Tämä keksintö koskee dispersiosiirrettyä optista yksimuotokuitua.

Ns. dispersiosiirretyt optiset yksimuotokuidut ovat sellaisia, että niillä käytetyllä siirtoaallonpituudella - joka on yleensä muu kuin 1,3 μm (aallonpituus jolla kvartsin dispersio on olennaisesti nolla) - siirretyn aallon kromaattinen dispersio on olennaisesti nolla, ts. kvartsin nollasta poikkeava kromaattinen dispersio on kompensoitu (termi "siirretty" tulee tästä) erityisesti lisäämällä kerroineroa Δn ytimen ja optisen kuoren välillä.

Linjakuitujen, so. kuitujen jotka on tarkoitettu pitkille siirtoetäisyyksille, esim. valtamerien ylityksiin, siirtoaallonpituudeksi valitaan nykyisin pääasiassa 1,55 μm. Tällä aallonpituudella on valolle mahdollista saavuttaa minimaalinen siirtovaimennus, noin 0,2 dB/km.

Siten tämän keksinnön yhteydessä käsiteltävät kuidut on tarkoitettu käytettäväksi 1,55 μm:n aallonpituudella, koska se on siirron kannalta tehokkain.

On myös hyvin tunnettua, että optisten yksimuotokuitujen kaistaleveys on paljon suurempi kuin monimuotokuitujen, ja juuri tästä syystä pitkien siirtolinjojen nykyinen ja tuleva kehitys keskittyy yksimuotokuituihin.

Vastaavasti tämä keksintö kohdistuu erityisesti dispersiosiirrettyihin optisiin yksimuotokuituihin, jotka on tarkoitettu käytettäväksi olennaisesti 1,55 μm:n aallonpituudella.

Tarkemmin sanottuna keksintö liittyy sellaisiin optisiin kuituhin, joiden taivutushäviöt eivät ole yli 0,005 dB/m kun taivutussäde on 30 mm. On hyvin tunnettua, että täl-

lainen taivutushäviöiden rajoittaminen on tarpeen sen varmistamiseksi, että optiset kuidut toimivat oikeissa siirto-oloissa

Tällä hetkellä tutkimuksen kohteena on useita dispersiosiirrettyjen optisten yksimuotokuitujen profiileita, ja niitä on kuvattu laajalti kirjallisuudessa.

Yksinkertaisimmat tunnetut profiilit - "porras", "puolisuunnikas" tai "kolmio" - ovat sellaisia, että ytimen taitekerroin muuttuu etäisyyden kuidun akselista funktiona siten, että kun se esitetään tämän etäisyyden funktiona, kerroin näkyy käyränä, joka vastaavasti muodostuu suorakaiteesta, puolisuunnikkaasta tai kolmiosta, samalla kun ydintä ympäröivän optisen kuoren kerroin on vakio ja pienempi kuin ytimen.

Tunnetaan myös "jalustaprofiili", jossa optisen kuidun "sisemmän" ytimen muodostavaa keskiosaa ympäröivät peräkkäin taitekertoimeltaan sisempää ydintä pienempi "ulompi" ydin ja sitten taitekertoimeltaan ulompaa ydintä pienempi optinen kuori.

Tunnetaan myös ns. "puolisuunnikas- ja keskirengastyyppinen" profiili, joka on hyvin kaaviomaisesti esitetty kuvassa 1, jossa voidaan nähdä käyrä, joka edustaa kuidun taitekerrointa n etäisyyden d kuidun akselista funktiona. Tässä profiilissa ytimeen C kuuluu:

- keskiosa 10, jolla on maksimikerroin $n_s+\Delta n$, ja jolla kerroin muuttuu siten, että käyrä saa puolisuunnikkaan muodon ja rajatapauksissa kolmion tai suorakaiteen muodon;
- kertoimen n_s, joka on esim. vakio ja alle $n_s+\Delta n$, kerros 11, joka ympäröi keskiosaa 10; ja
- kerros 12, joka ympäröi kerrosta 11, ja jonka kerroin on $n_s+h\Delta n$ ($0 < h < 1$), joka on esim. vakio, ja suurempi kuin n_s ja pienempi kuin $n_s+\Delta n$.

Kerrosta 12 ympäröi kuorikerros G, jonka kerroin on n_s.

Käytännössä ytimen C keskiosalle 10 käytetty termi "puolisuunnikas" kattaa myös kolmiomaiset ja suorakaiteen muotoiset rajamuodot.

Kaikki kuvatut profiilit ovat luonnollisesti ympyräsymmetrisiä optisen kuidun akselin suhteen.

Kaikilla näillä profiileilla on mahdollista saavuttaa kromaattiseksi dispersioksi olennaisesti nolla 1,55 μm:llä, samalla kun myös saadaan pienet vaimennus- ja taivutushäviöt. Kuitenkin optisia kuituja käyttävien pitkien yhteyksien kehityksessä on jatkuvana pyrkimyksenä siirtolaadun jatkuva parantaminen ja kustannusten alentaminen.

Siirtolaatuun liittyy linjan signaalikohinasuhde, kohinan syntyessä vahvistetusta spontaaniemissiosta, joka muodostuu vahvistimissa, jotka kuuluvat siirtolinjalla käytettyihin toistimiin, ja on osoitettu, että tämä signaalikohinasuhde on itse kääntäen verrannollinen kuidun "haittafunktioon" F, joka riippuu vahvistimien välisestä etäisyydestä Z, käytetyn kuidun tehollisesta muotopinnasta S_{eff} ja populaatioinversiokertoimesta n_{sp}, lineaarisesta vaimennuksesta α ja kytkentäkertoimista C_1 ja C_2 vastaavasti vahvistimen tulo- ja lähtöpuolella. Haittafunktiota F esittää siten kaava:

$$F = \frac{n_{sp}\alpha}{S_{eff}} \left(\frac{e^{\alpha z}}{C_1 C_2} - 1 \right) \frac{C_2}{(\alpha Z)^2} \left(\frac{e^{\alpha z} - 1}{e^{\alpha z}} \right).$$

Tästä kaavasta nähdään, että siirtolaadun parantamiseksi voidaan yrittää:

- pienentää populaatioinversiokerrointa n_{sp} jättämällä muut tekijat ennalleen; tämä vaatii kuitenkin monimut-

kaista kehittelytyötä värähtelyaallonpituuden suhteen ja siten linjan muiden komponenttien kuin optisen kuidun suhteen;

- pienentää vaimennusta α; koska vaimennus 1,55 µm:llä kuitenkin on jo valmiiksi hyvin pieni (käytännössä noin 0,2 dB/km), mahdollisesti saatavalla lisävähennyksellä ei ole juurikaan vaikutusta haittafunktioon F;
- vaikuttaa kytkentäkertoimiin C_1 ja C_2; myös tämä vaatii muiden linjakomponenttien kuin optisen kuidun muokkausta ja sen vuoksi monimutkaista kehitystyötä; ja/tai
- lisätä tehollista muotopinta-alaa S_{eff}; tämä itse asiassa mahdollistaa yhteyslaadun parantamisen.

Kuva 2 esittää haittafunktiota F dB-yksikköinä optiselle kuidulle, jossa käytetään soliton-tyyppistä siirtoa, ja se on esitetty vahvistimien etäisyyden Z (km) funktiona tunnetulle optiselle kuidulle, jonka tehollinen muotopinta-ala on 50 µm^2 (käyrä 30), ja halutulle optiselle kuidulle, jonka tehollinen muotopinta-ala on 70 µm^2 (käyrä 31), jolloin kaikki muut F:ään vaikuttavat parametrit ovat annettuja ja muuttumattomia. Voidaan nähdä, että annetulla haittafunktiolla, ts. annetulla signaalikohinasuhteella suurempaa tehollista muotopintaa vastaa suurempi vahvistimien välinen etäisyys, mikä tekee mahdolliseksi käytettyjen toistimien määrän vähentämisen ja siten järjestelmän kustannusten alentamisen.

Lisäksi voidaan nähdä, että määrätyllä vahvistimien välisellä etäisyydellä suurempaa tehollista muotopintaa vastaa pienempi haittafunktio, ts. parempi siirtolaatu.

Siten siirtolaadun parantamiseksi, tai vastaavasti toistimien lukumäärän vähentämiseksi annetulla yhteyslaadulla, mikä mahdollistaa yhteyden kustannusten alentamisen, on edullista kasvattaa tehollista muotopinta-alaa.

Yksinkertaisemmilla kerroinprofiileilla, kuten portaalla, puolisuunnikkaalla tai kolmiolla, on kromaattisen dispersion 1,55 µm:llä saamiseksi olennaisesti nollaksi, ts. kvartsin kromaattisen dispersion 1,55 µm:llä kompensoimiseksi, lisättävä kertoimien eroa ytimen ja kuoren välillä, mikä pakostakin pienentää tehollista muotopintaa.

Siten jos halutaan suuri tehollinen muotopinta-ala samalla varmistaen kromaattiseksi dispersioksi 1,55 µm:llä olennaisesti nolla, on valittava monimutkaisempi kerroinprofiili, esim. kuvassa 1 esitetty profiili.

Tähän asti puolisuunnikas- ja keskirengastyyppisiin profiileihin kohdistuneet tutkimukset ovat johtaneet tehollisiin muotopinta-aloihin, jotka eivät ole olleet yli 50-60 μm^2.

Siten nyt käsillä olevan keksinnön tarkoituksena on optimoida puolisuunnikas- ja keskirengasprofiilien geometriset parametrit suurempien tehollisten muotopinta-alojen saamiseksi kuin tavanomaisilla profiileilla on mahdollista, siten että voitaisiin valmistaa optisia yksimuotokuituja, joilla on kromaattinen nolladispersio 1,55 µm:n lähellä ja samalla yli 65 μm^2 oleva tehollinen muotopinta-ala, samalla kuitenkaan huonontamatta tunnetuilla optisilla kuiduilla saatuja vaimennus- ja taivutushäviöitä.

Tätä varten keksinnön tuloksena on aikaansaatu optinen yksimuotokuitu, jonka kromaattinen dispersio on olennaisesti nolla 1,55 µm:n lähellä, siihen kuuluessa optinen ydin, jossa on:

- keskiosa, jonka taitekerroin muuttuu etäisyyden kuidun akselista funktiona minimikertoimen n_s ja maksimikertoimen $n_s+\Delta n$ välillä, jolloin Δn on aina positiivinen, ja kerrointa esittää käyrä, joka on olennaisesti puolisuunnikkaan muotoinen;
- ensimmäinen keskiosaa ympäröivä kerros, jonka ker-

roin on olennaisesti n_s; ja

- toinen ensimmäistä kerrosta ympäröivä kerros, jonka kerroin muuttuu alueella n_s - n_s+hΔn, jossa 0 < h < 1; ja toista kerrosta ympäröivä optinen kuori, jonka kerroin on olennaisesti n_s, jolloin profiilin määrittelevät seuraavat geometriset parametrit:

- a: ytimen kokonaissäde, toisen kerroksen tasolta mitattuna;

- x: keskiosan säteen suhde a:han, jolloin 0 < x < 1;

- y: ensimmäisen kerroksen säteen suhde a:han, jolloin x < y < 1; ja

- r: puolisuunnikkaan lyhyen kannan suhde pitkään kantaan, jolloin 0 ≤ r ≤ 1;

kuidulle ollessa tunnusomaista se, että a ja Δn on määritelty siten, että kuidun kromaattinen dispersio 1,55 µm:llä on olennaisesti nolla, ja kuidun raja-aallonpituus λ_c on sellainen että 1,4 µm < λ_c < 1,55 µm, r on vapaasti valittu alueelta 0 - 1, ja x, y ja h on sitten valittu siten että ne täyttävät seuraavat ehdot:

1°) $x_1(r) \leq x \leq x_2(r)$ jossa:

$$\text{kun } r \leq 0,5: \begin{cases} x_1(r) = 0,25 - 0,2r \\ x_2(r) = 0,45 \end{cases} \text{, ja}$$

$$\text{kun } r > 0,5: \begin{cases} x_1(r) = 0,15 \\ x_2(r) = 0,6 - 0,3r \end{cases}$$

2°) $y_1(x,r) \leq y \leq y_2(x,r)$ jossa:

$y_2(x,r) = y_1(x,r) + (1 + r)x$ ja:

$$\text{kun } r \leq 0,5: \begin{cases} x \leq 0,3: y_1(x,r) = \frac{4}{3} rx + x - 0,2r \\ x > 0,3: y_1(x,r) = 3x + 0,2r - 0,6 \end{cases}$$

$$\text{kun } r > 0,5: \begin{cases} x \leq 0,3: y_1(x,r) = \frac{10}{3} rx - 0,5r + 0,15 \\ x > 0,3: y_1(x,r)\ 0\ 3x + 0,5r - 0,75 \end{cases}$$

3°) $0,3 \leq \frac{2(1 - y)h}{x(1 + r)} \leq 0.45 + 0,3r$

Käytännössä yhtälö 3°) määrittelee raja-arvot käyrän, joka antaa n:n d:n funktiona profiilin keskirenkaalle, rajoittaman pinta-alan, ja käyrän, joka antaa n:n d:n funktiona puolisuunnikkaalle, rajoittaman pinta-alan väliselle suhteelle.

Keksinnön mukaisella optisella kuidulla, jolla on puolisuunnikkaan ja keskirenkaan tyyppinen profiili, saadaan teholliset muotopinta-alat, jotka ovat suurempia kuin 65 μm^2, ulottuen aina 85 μm^2:iin asti. Annetulla yhteyslaadulla tämä mahdollistaa vahvistimien välisen etäisyyden kasvattamisen 10-30%:lla.

Keksinnön muut piirteet ja edut käyvät ilmi sen suoritusmuotojen seuraavasta kuvauksesta, joka on tarkoitettu havainnollistamaan keksintöä sitä millään tavoin kuitenkaan rajoittamatta.

Oheisissa piirustuksissa:

- kuva 1 esittää taitekertoimen n muutoksia eri kerroksissa etäisyyden d funktiona optisen kuidun akselista optisessa yksimuotokuidussa, jolla on puolisuunnikkaan ja keskirenkaan tyyppinen profiili;
- kuva 2 esittää haittafunktiota F vahvistimien välisen etäisyyden Z funktiona optiselle yksimuotokuidulle, jonka kromaattinen dispersio on olennaisesti nolla 1,55 μm:llä, soliton-tyyppistä siirtoa käytettäessä; ja
- kuva 3 esittää ideaalisen ja todellisen taitekertoimen n muutoksia eri kerroksissa etäisyyden d optisesta akselista funktiona optisessa yksimuotokuidussa, jolla on puolisuunnikkaan ja keskirenkaan tyyppinen profiili.

Kuvia 1-2 on selitetty jo edellä tekniikan tason kuvauksen yhteydessä.

Kuten edellä on kuvattu, tunnetut puolisuunnikkaan ja keskirenkaan tyyppiset profiilit mahdollistavat, kun nii-

den geometriset parametrit valitaan keksinnön kriteerejä soveltamalla, sellaisten tehollisten muotopinta-alojen saamisen, jotka ovat huomattavasti suurempia kuin mitä tavanomaisilla porras-, puolisuunnikas- tai kolmioprofiileilla tai tekniikan tason puolisuunnikas- ja keskirengastyyppisillä profiileilla on aikaansaatu. Siten tämä keksintö tekee mahdolliseksi näiden profiilien geometristen parametrien valinnan optimoinnin siten että ne täyttävät teholliseen muotopinta-alaan, kromaattiseen dispersioon, vaimennukseen ja taipumahäviöihin liittyvät vaatimukset.

Tämän jälkeen kuvataan esimerkkinä keksinnön erästä mahdollista suoritusmuotoa antamalla edellä määritellyille geometrisille parametreille arvot ja täyttämällä keksinnön ehdot, ja esittämällä myös tehollinen muotopinta-ala, kromaattinen dispersio 1,55 μm:llä, raja-aallonpituus, vaimennus ja taipumahäviöt, jotka näillä ominaisuuksilla varustetuilla profiileilla saadaan.

Aluksi palautetaan mieleen, että keksinnön profiilien geometriset ominaispiirteet ovat kahden perusparametrin funktioita: kuidun ytimen kokonaissäteen a sekä ytimen maksimikertoimen ja kuoren kertoimen välisen kerroineron Δn.

Nämä perusparametrit voidaan määrittää tavanomaisella tavalla siten että ne täyttävät optisille kuiduille keksinnön puitteissa asetetut olennaiset vaatimukset, jolloin nämä vaatimukset ovat seuraavat:

- kromaattinen dispersio olennaisesti nolla, ts. käytännössä alle 1 ps/(nm.km) 1,55 μm:n lähellä;
- raja-aallonpituus λ_c on sellainen että 1,4 μm < λ_c < 1,55 μm yksimuotosiirron varmistamiseksi halutulla aallonpituudella ja taipumahäviöiden pienentämiseksi; ja
- vaimennus on noin 0,2 dB/km.

Palautetaan lyhyesti mieleen, kuinka parametrit a ja Δn voidaan valita täyttämään edelliset kriteerit puolisuunnikkaan ja keskirenkaan tyyppiselle profiilille.

Kromaattinen dispersio C voidaan tunnetulla tavalla esittää aallonpituuden λ funktiona seuraavasti :

$$(1) \quad C(\lambda) = M(\lambda) - \frac{\Delta n}{c\lambda} V \frac{d^2(VB)}{dV^2} + \epsilon(\lambda)$$

jossa:

- $M(\lambda)$ on tunnettu termi, joka luonnehtii puhtaan kvartsin kromaattista dispersiota aallonpituudella λ ($M(\lambda)$ on noin 22 ps/(nm.km) 1,55 μm:llä);
- $V \frac{d^2(VB)}{dV^2}$ on termi, joka luonnehtii aaltojohdon dispersiota, jolloin V on normalisoitu taajuus ja B on normalisoitu tehollinen kerroin (muistutetaan, että tehollinen kerroin on se kerroin, jonka ytimessä etenevä valoaalto todellisuudessa "näkee"), joka on V:n funktio;
- c on valon nopeus tyhjössä; ja
- $\epsilon(\lambda)$ on termi, jota ei tarvitse ottaa huomioon.

Olettaen, että raja-aallonpituudeksi λ_c halutaan sellainen, että ohjaus on yksimuotoinen välillä 1,4 μm - 1,55 µm, voidaan johtaa alue, joka määrittelee normalisoidun taajuuden V muutokset ja siten vastaavan alueen B:lle. Sen vuoksi on mahdollista johtaa kaavan (1) Δn ja sitten kaavan (2) a, joka antaa normalisoidun taajuuden:

$$(2) \quad V = \frac{2\pi}{\lambda} a \sqrt{2n_s\Delta n}$$

jossa n_s on kuoren kerroin ja λ on toiminta-aallonpituus.

Optisilla kuiduilla, joilla on puolisuunnikas- ja keski-

rengastyyppinen profiili, voidaan ytimen säde a edellisten ehtojen täyttämiseksi yleensä valita alueelta 2 - 9 μm ja kerroinero Δn alueelta $8x10^{-3}$ - $20x10^{-3}$.

Puolisuunnikas- ja rengastyyppisellä profiililla voidaan r:n arvo lisäksi valita vapaasti alueelta 0 - 1, ja on selvää, että termiä puolisuunnikas tulee tämän keksinnön puitteissa tulkita laajasti, erityisesti siten, että siihen luetaan mukaan rajatapaukset, joissa r on 0 (jolloin puolisuunnikas on kolmio) tai 1 (jolloin puolisuunnikas on suorakaide).

Esimerkki

Tässä esimerkissä optinen kuitu on puolisuunnikas- ja keskirengastyyppinen. Kuidun eri ominaisparametrien arvot ovat seuraavat:

- a = 6,97 μm
- Δn = $10x10^{-3}$
- r = 0,6
- x = 0,35
- y = 0,69
- h = 0,325

Tällaisella kuidulla kromaattinen dispersio on 0,685 ps/(nm.km) 1558 nm:llä, raja-aallonpituus on 1,48 μm ja vaimennus 0,20 dB/km. Taipumahäviöt ovat taivutussäteellä 30 mm alle 0,005 dB/m.

Tehollinen muotopinta on 71 μm^2.

Keksintö ei luonnollisestikaan rajoitu pelkästään edellä kuvattuihin suoritusmuotoihin.

Erityisesti silloin kun on mainittu täsmällisiä geometrisia muotoja kuten puolisuunnikas, kolmio, suorakaide, jne., on selvää, että käytännössä saadut profiilit voivat

poiketa enemmän tai vähemmän ideaalisista, ja kirjallisuudessa on osoitettu, että tällaiset erot, edellyttäen että ne pysyvät kontrolloitavissa, eivät muuta kulloistenkin optisten kuitujen oletettuja ominaisuuksia. Esimerkiksi kuvassa 3 on esitetty optisesta kuidusta mitattu puolisuunnikas- ja keskirengastyyppinen todellinen profiili 40. Nähdään, että oikea profiili on ekvivalenttinen myös kuvassa 4 esitetyn ideaalisen profiilin 41 kanssa. Tarkempia yksityiskohtia tällaisesta ekvivalenssista on esitetty Hitachin US-patentissa 4 406 518.

On myös selvää, että puolisuunnikas- ja rengastyyppisen profiilin keskirengas ei välttämättä muodoltaan ole ideaalinen suorakaide, vaan sillä voi myös olla ideaalisen puolisuunnikkaan tai kolmion muoto, ja käytännössä sillä voi olla mikä tahansa näiden kanssa ekvivalenttinen muoto.

Siten keksinnön kuiduilla on tärkeää, että geometriset parametrit (etäisyys kuidun akselista, kerroinero) täyttävät olennaisesti keksinnön ehdot, mutta kuitujen todellisen muodon ei tarvitse ehdottoman tarkasti mukautua kyseessä olevan profiilin ideaalisen geometriseen muotoon.

Lopuksi, kaikki keksinnön välineet voidaan korvata ekvivalenttisilla välineillä keksinnön piiristä irtaantumatta.

PATENTTIVAATIMUKSET

1. Optinen yksimuotokuitu, jonka kromaattinen dispersio on olennaisesti nolla 1,55 µm:n lähellä, siihen kuuluessa optinen ydin, jossa on:

- keskiosa, jonka taitekerroin muuttuu etäisyyden kuidun akselista funktiona minimikertoimen n_s ja maksimikertoimen $n_s+\Delta n$ välillä, jolloin Δn on aina positiivinen ja kerrointa esittää käyrä, joka on olennaisesti puolisuunnikkaan muotoinen;
- ensimmäinen keskiosaa ympäröivä kerros, jonka kerroin on olennaisesti n_s; ja
- toinen ensimmäistä kerrosta ympäröivä kerros, jonka kerroin muuttuu alueella n_s - $n_s+h\Delta n$, jossa $0 < h < 1$; ja toista kerrosta ympäröivä optinen kuori, jonka kerroin on olennaisesti n_s, jolloin profiilin määrittelevät seuraavat geometriset parametrit:
- a: ytimen kokonaissäde, toisen kerroksen tasolta mitattuna;
- x: keskiosan säteen suhde a:han, jolloin $0 < x < 1$;
- y: ensimmäisen kerroksen säteen suhde a:han, jolloin $x < y < 1$; ja
- r: puolisuunnikkaan lyhyen kannan suhde pitkään kantaan, jolloin $0 \leq r \leq 1$;

kuidulle ollessa **tunnusomaista** se, että a ja Δn on määritelty siten, että kuidun kromaattinen dispersio 1,55 µm:llä on olennaisesti nolla, ja kuidun raja-aallonpituus λ_c on sellainen että 1,4 µm < λ_c < 1,55 µm, r on vapaasti valittu alueelta 0 - 1, ja x, y ja h on sitten valittu siten että ne täyttävät seuraavat ehdot:

1°) $x_1(r) \leq x \leq x_2(r)$ jossa:

kun $r \leq 0,5$: $\begin{cases} x_1(r) = 0,25 - 0,2r \\ x_2(r) = 0,45 \end{cases}$, ja

$$\text{kun } r > 0{,}5: \begin{cases} x_1(r) = 0{,}15 \\ x_2(r) = 0{,}6 - 0{,}3r \end{cases}$$

2°) $y_1(x,r) \leq y \leq y_2(x,r)$ jossa:
$y_2(x,r) = y_1(x,r) + (1 + r)x$ ja:

$$\text{kun } r \leq 0{,}5: \begin{cases} x \leq 0{,}3: y_1(x,r) = \frac{4}{3} rx + x - 0{,}2r \\ x > 0{,}3: y_1(x,r) = 3x + 0{,}2r - 0{,}6 \end{cases}$$

$$\text{kun } r > 0{,}5: \begin{cases} x \leq 0{,}3: y_1(x,r) = \frac{10}{3} rx - 0{,}5r + 0{,}15 \\ x > 0{,}3: y_1(x,r) \; 0 \; 3x + 0{,}5r - 0{,}75 \end{cases}$$

3°) $0{,}3 \leq \dfrac{2(1 - y)h}{x(1 + r)} \leq 0.45 + 0{,}3r$

2. Vaatimuksen 1 mukainen kuitu, **tunnettu** siitä, että a on välillä 2 - 9 µm ja Δn on välillä 8×10^{-3} - 20×10^{-3}.