(19)

SUOMI - FINLAND
(FI)

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

(10) **FI 963184 A7**

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

(21) Patenttihakemus - Patentansökan - Patent application 963184

(51) Kansainvälinen patenttiluokitus - Internationell patentklassifikation - International patent classification
G02F 1/313
G02F 1/335

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag - Filing date **17.02.1995**

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date **14.08.1996**

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public **11.10.1996**

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

(86) Kansainvälinen hakemus - Internationell ansökan - International application **17.02.1995 PCT/GB1995/000340**

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

18.02.1994 GB 9403122

(71) Hakija - Sökande - Applicant

1 • **University of Southampton,** Highfield Southampton SO17 1BJ, United Kingdom, ISO-BRITANNIA, (GB)

(72) Keksijä - Uppfinnare - Inventor

1 • **Russell, Philip StJohn,** United Kingdom, ISO-BRITANNIA, (GB)
2 • **Birks, Timothy Adam,** United Kingdom, ISO-BRITANNIA, (GB)
3 • **Pannell, Christopher Noel,** United Kingdom, ISO-BRITANNIA, (GB)

(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

Optinen laite

Optisk anordning

OPTINEN LAITE

Tämä keksintö koskee optisia laitteita.

Akusto-optisia laitteita on ehdotettu käytettäväksi optisina taajuussiirtiminä, viritettävinä suodattimina, optisina kytkiminä ja optisina modulaattoreina. Näissä laitteissa käytetään hyväksi siirtoväliaineen läpi kulkevan valon ja siirtoväliaineeseen synnytettyjen värähtelyjen välistä vuorovaikutusta.

Eräs esimerkki tunnetusta akusto-optisesta laitteesta on Braggin kenno, johon kuuluu valoa siirtävä kenno, johon synnytetään akustisia värähtelyjä (kulkevien aaltojen muodossa) kennon pintaan kiinnitetyllä muuntimella.

Akustiset värähtelyt aikaansaavat jaksoittaisia häiriöitä kennomateriaalin taitekertoimeen, kun materiaali puristuu ja laajenee vuorotellen. Nämä jaksoittaiset häiriöt toimivat kennossa etenevänä diffraktiohilana. Laitetta käytettäessä ns. Braggin kulmassa (valon aallonpituuden ja diffraktiohilan jakson tunnettu funktio) kennoon saapuva valo taipuu etenevässä hilassa. Tämä muuttaa valon etenemissuunnan. Lisäksi, koska hila etenee kennon läpi (etenevien akustisten värähtelyjen mukana), taipuneessa valossa tapahtuu myös Doppler-siirtymä, jolloin valon taajuus muuttuu määrän, joka vastaa akustisten värähtelyjen taajuutta. Kun akustiset värähtelyt poistetaan, valo ei taivu ja se poistuu kennosta olennaisesti muuttumattomana.

Tällä tavalla Braggin kenno voi toimia siten, että se muuttaa tulevan valon taajuuden, tulevan valon etenemissuunnan (jolloin se toimii kytkimenä) tai aikaansaa tulevan valon taajuus- tai amplitudimodulaation. Braggin kennon merkittävänä haittana on kuitenkin se, että se on kallis ja monimutkainen optinen laite. Braggin kennoa on vaikea käyttää optisessa kuitujärjestelmässä, koska op-

tiset kuidut on mekaanisesti "ympättävä" kennoon. Tämä voi johtaa 5-6 dB syöttöhäviöihin, mikä voi muodostaa merkittävän ongelman esim. optisessa kuitusiirtojärjestelmässä , jossa tiedon siirtoetäisyys ja -nopeus voi riippua siirtovastaanottimen käytettävissä olevasta optisesta tehosta. Toinen Braggin kennon epäedullinen piirre on se, että akustisen muuntimen käyttöön tarvitaan suuri sähköteho (esim. 1 watin luokkaa). Tämä johtuu siitä, että akustisia värähtelyjä on syötettävä suureen osaan kennoa, vaikka valon ja akustisten värähtelyjen todellinen limittyminen (vuorovaikutustilavuus) vie vain pienen osan kennosta.

Vaihtoehtona Braggin kennolle on ehdotettu valon lähettämistä sellaista optista kuitua pitkin, jolla on kaksi valonsiirtomuotoa, ja synnyttää kuidussa akustisia taipumavärähtelyjä valon kytkemiseksi yhdestä kuitumuodosta toiseen. Nämä kaksi muotoa voivat olla kaksimuotokuidun kaksi erilaista tilamuotoa (esim. ns. LP_{11} ja LP_{01} muotoja), kahtaistaittavan kuidun kaksi ortogonaalista polarisaatiomuotoa tai kaksiydinkuidun ns. supermuotoja.

Näissä optisten kuitujen akusto-optisissa laitteissa käytetään hyväksi sitä tosiseikkaa, että kaksi muotoa etenee optisessa kuidussa eri nopeuksilla, aiheuttaen näiden kahden muodon välille kuitupituudella tilainterferenssin. Kun "interferenssipituus" vastaa kuituun tuodun taipumavärähtelyn aallonpituutta, syntyy resonanssikytkentä valon yhdestä muodosta toiseen, jolloin samalla tapahtuu myös taajuussiirtymä edellä kuvatulla tavalla. Sitten voidaan käyttää muotosuodatusta halutun (taajuussiirretyn) muodon erottamiseksi.

Tämän tyyppiset kuituakusto-optiset laitteet ovat yleensä Braggin kennoa sopivampia täyskuitujärjestelmässä käytettäviksi. Kuidun mitat rajoittavat kuitenkin käytettävissä olevaa akustista maksimitaajuutta, jonka rajana on tyy-

pillisesti noin 10 Mhz (megahertsiä). Valo on yleensä suljettu kuituytimeen, mutta akustisen aallon on aiheutettava värähtely koko kuituun. Tämä merkitsee sitä, että vaikka sähkötehovaatimukset voivatkin olla pienempiä kuin Braggin kennon käyttöön vaaditut, ne ovat yhä suhteellisen korkeat (100 mW (milliwatin) luokkaa). Voi olla tarpeen jakaa tavanomaiset yksimuotokuidut (tietoliikennejärjestelmissä yleisesti käytetyt) spesifisiin (tässä tapauksessa kaksimuotoisiin) kuituihin akusto-optisen laitteen sisällä, mikä johtaa syöttöhäviöihin. Akustinen toimintataajuus annetulla optisella aallonpituudella määräytyy kuidun ominaisuuksien perusteella, eikä sitä voida muuttaa uutta kuitua valmistamatta. Lopuksi, ilman akustisen tehon syöttöä laitteesta ei saada ulos valoakaan.

Tämän keksinnön tuloksena on aikaansaatu optinen laite, johon kuuluu: optisen kuidun suuntakytkin, jossa on ainakin ensimmäinen optinen kuitu, joka on optisesti kytketty kytkentäalueella toiseen optiseen kuituun siten, että valo voi kulkea kytkentäalueella ainakin kahdessa mahdollisessa sähkömagneettisessa siirtomuodossa; ja välineet energian siirtämiseksi siirtomuotojen välillä ainakin kytkentäalueen osan tilajaksoittaisella häirinnällä.

Keksinnössä edelliset ongelmat ratkaistaan aikaansaamalla täyskuituinen optinen laite, jossa tilajaksoittainen häirintä (esim. mekaaninen värähtely kuten taipuma- tai vääntövärähtely tai sähkökentällä aiheutettu ajan suhteen ei-jaksoittainen taipuma tai aaltoilu) limittyy merkittävästi laitteen läpi etenevän valon kanssa. Laite voidaan rakentaa tavallisista optisista kuiduista, eikä siinä tarvita spesifisiä (esim. kaksimuoto-) kuituja. Tämä tarkoittaa, että laite on helppo liittää muihin optisiin kuituihin, ja että sähkötehon tarve voi olla hyvin paljon pienempi kuin aikaisemmin ehdotetuilla laitteilla.

Alan ammattimiehelle on selvää, että termi "suuntakytkin" on hyvin tunnettu ja käsittää erilaisia optisia kytkimiä, joissa tuleva valo voidaan ohjata vaihtelevina osuuksina useisiin mahdollisiin lähtöportteihin. Eräissä jäljempänä olevissa esimerkeissä on käsitelty 2x2-kytkimiä; mutta on selvää, että keksintöä voidaan soveltaa myös kytkimiin, joissa on suurempi tai erilainen määrä portteja.

Eräässä suositellussa suoritusmuodossa siirtovälineisiin kuuluu välineet akustisten värähtelyjen synnyttämiseksi ainakin osalla kytkentäaluetta. Tällaista keksinnön suoritusmuotojen mukaista akusto-optista laitetta voidaan käyttää useilla tavoilla. Jos esimerkiksi käytetään identtisistä kuiduista valmistettua tavallista 2x2-suuntakytkintä, akustinen värähtely voi aiheuttaa oskillatorisen lähdön kahden lähtöportin välillä kaksinkertaisella akustisella taajuudella. Tämä edullinen modulointivaikutus syntyy, koska kytkentäalueella synnytetään kaksi siirtomuotoa; akustinen värähtely voi aiheuttaa nopean energian siirron muotojen välillä sekä komplementaariset taajuussiirrot (ylös ja alas) valolle näissä kahdessa muodossa. Näiden taajuussiirrettyjen lähtöjen välillä esiintyy sitten väliaikainen interferenssi. Vaihtoehtoisesti, kuten jäljempänä kuvataan, voitaisiin käyttää ns. "nollakytkintä" muodostamaan yksi lähtöportti, josta siirtymätön valo lähetetään, ja toista lähtöporttia, josta taajuussiirretty valo lähetetään.

Rakenne on helposti muunneltavissa, koska kytkentäalueen luonne voidaan päättää kavennuskytkintä valmistettaessa. Laitetta voidaan käyttää satoihin megahertseihin asti ulottuvilla akustisilla taajuuksilla, koska kytkentäalueen halkaisija voidaan helposti tehdä jopa vain 1 μm (mikrometrin) suuruiseksi. Kytkentäalueen halkaisijaltaan pienemmällä laitteella voidaan käyttää suurempia akustisia toimintataajuuksia.

Vaikka myös muun muotoinen akustinen värähtely voi aikaansaada energian siirron kahden siirtomuodon välillä, on suositeltavaa, että akustinen värähtely muodostuu kytkentäalueen taipumavärähtelyistä.

Kun akustista värähtelyä ei synnytetä, on suositeltavaa, että alle puolet yhtä optista kuitua pitkin etenevästä valosta kytkeytyy toiseen optiseen kuituun.

Vaikka voidaankin käyttää kytkimiä, joissa kaksi kuitua on esim. kiillotettu tai syövytetty ytimen vierestä ennen toiseen liittämistä kytkentäalueen muodostamiseksi, on suositeltavaa, että kytkin on sulatettu optinen kuitukytkin.

Erityisen suositeltavaa on, että sulatettu optinen kuitukytkin on sulatettu kavennusnollakytkin, jossa - kun taipumavärähtelyä ei synnytetä - yhtä optista kuitua pitkin kulkevaa valoa ei olennaisesti lainkaan kytkeydy toiseen optiseen kuituun. Nollakytkimet valmistetaan yleensä ei-samanlaisista kuiduista, ja niillä on olennaisesti nollasiirtosuhde tietyillä toiminta-aallonpituusalueilla ja kytkentäaluepituuksilla, samalla kun niillä on pyrkimys olla omaamatta tavallista jaksoittaista kytkentäsuhteiden vaihtelua näiden arvojen kanssa. Tämä on myös valmistuksen aikana osoitus siitä, että on saatu nollakytkin; tuloportteihin syötettyä testivaloa seurataan lähtöporteissa, ja nollakytkin on saatu silloin kun havaittu kytkentäsuhde on olennaisesti nolla ja olennaisesti riippumaton kytkentäalueen pituuden kasvusta, vaikka nämä kaksi kuitua on sulatettu yhteen kytkentäalueella, joka on kapeampi kuin kumpikaan kuitu.

Kun tässä tapauksessa syötetään akustista värähtelyä, ainakin osa yhden kuidun valosta voidaan kytkeä toista kuitua vastaavaan siirtomuotoon. Tällä tavalla taajuussiirretty ja siirtämätön valo voidaan järjestää lähtemään

laitteesta eri lähtöporteista. Sen vuoksi siirrettyjen ja siirtymättömien aaltojen erotukseen ei tarvita mitään muotomuuttimia tai suodattimia; mahdollinen siirtymätön jäännösvalo voidaan saada lähtemään kuidusta, johon valo lähetettiin.

On suositeltavaa, että kytkentäalueella on kapeampi poikkileikkaus kuin kummallakaan ensimmäisestä ja toisesta optisesta kuidusta. Tällä tavalla valo voidaan ohjata kuori-ilmarajapinnan avulla jomman kumman tai jonkin kuidun ydin-kuorirajapinnan sijasta.

Edullinen ja sopiva tapa nollakytkimen valmistamiseksi on käyttää poikkipinta-alaltaan erilaisia optisia kuituja. Nämä voivat siten olla sovittamattomia kuituja; kuitenkin vaihtoehtoisesti yksi, molemmat tai kaikki alun perin identtiset optiset kuidut voidaan esikäsitellä (esim. esikaventamalla tai venyttämällä, syövyttämällä tai kiillottamalla) ennen kytkimen valmistamista, jolloin esikäsittely muuttaa kytkentäalueen optisia ominaisuuksia.

Kytkin järjestetään (kuten nollakytkimen tapauksessa) suositeltavasti siten, että ensimmäisestä tai toisesta optisesta kuidusta kytkentäalueelle tuleva valo synnyttää vastaavan siirtomuodon kytkentäalueella, synnytetyn siirtomuodon liittyessä optiseen kuituun. Toinen suositeltava edullinen piirre, joka helpottaa laitteen käyttöä kytkimenä, on se että kussakin siirtomuodossa kytkentäalueella etenevä valo lähtee suurimmaksi osaksi kytkimen siirtomuotoon vastaavasti liittyvästä lähtöportista.

Ei-toivottujen akustisten heijastusten välttämiseksi kuiduissa on suositeltavaa, että kuituihin on kiinnitetty yksi tai useampia akustisia absorboivia asennuslohkoja kytkentäalueen ulkopuolelle sijoitettuihin vastaaviin kohtiin.

Vastaavista syistä on myös suositeltavaa, että ainakin osalla optisista kuiduista on akustisesti absorboiva päällyste.

Yhteensopivuuden monien nykyisten tietoliikenne- (ja muiden) optisten järjestelmien kanssa varmistamiseksi on suositeltavaa, että ainakin yksi optisista kuiduista on yksimuotokuitu.

On suositeltavaa, että synnytysvälineisiin kuuluu värähtelymuunnin, jota voidaan käyttää muuntimeen syötetyn oskilloivan sähkösignaalin perusteella. Vaikka värähtelyt voitaisiin synnyttää esimerkiksi magneettisella muuntimella, joka vaikuttaa kuitujen yhteydessä olevaan magneettiseen tai metalliseen elementtiin tai päällysteeseen, on suositeltavaa, että värähtelymuunnin on pietsosähköinen muunnin.

Muuntimella synnytetyt värähtelyt syötetään suositeltavasti ensimmäiseen kuituun ja toiseen kuituun kytkentäalueen ulkopuolelle sijoitetulta liitäntäalueelta.

Jotta optisia kuituja kookkaampaa muunninta voitaisiin käyttää tehokkaasti, on suositeltavaa, että synnytysvälineisiin kuuluu kavennettu siirto-osa, joka yhdistää muuntimen ja liitäntäalueen toisiinsa.

Kytkentäalueella on suositeltavasti olennaisesti tasainen poikkileikkaus ainakin osalla kytkentäalueen pituutta. Eräissä suoritusmuodoissa kytkentäalueen poikkileikkaus voidaan kuitenkin tehdä tarkoituksellisesti muuttuvaksi (esim. pienenemään tasaisesti) akusto-optisen laitteen taajuusvasteen leventämiseksi tai "rasvaamiseksi".

Eräässä suositellussa suoritusmuodossa valon siirtoon kytkentäalueella voidaan vaikuttaa tila- mutta ei aikajaksoittaisella häirinnällä ainakin osalla kytkentäaluet-

ta. Vaikka tällainen häirintä voitaisiin tuottaa mekaanisesti, laitteen suositellussa suoritusmuodossa ainakin osa kytkentäalueesta varataan pysyvällä sähkövarauksella; ja siirtovälineisiin kuuluu välineet tilajaksoittaisen sähkökentän muodostamiseksi, sähkökentän vaikuttaessa yhdessä pysyvän sähkövarauksen kanssa tilajaksoittaisen häirinnän aikaansaamiseksi ainakin osalla kytkentäaluetta. (Tilajaksoittaiseen pysyvään sähkövaraukseen kytkentäalueella voitaisiin vaihtoehtoisesti tietysti vaikuttaa olennaisesti tasaisella sähkökentällä.)

Tämä sähköstaattinen laite ei aikaansaa tulevan valon taajuussiirtoa, mutta sitä voidaan käyttää optisessa kytkentä- tai modulointijärjestelyssä. Vaikka tässä käytetään termiä "sähköstaattinen", on selvää, että termi tarkoittaa ainoastaan sitä vuorovaikutusmenetelmää, jota käytetään häiriötilan synnyttämiseen kytkentäalueelle; alan ammattimiehelle on selvää, että sähkökenttää voitaisiin katkoa nopeasti, jos laitetta käytettäisiin esim. modulaattorina.

Synnytysvälineisiin kuuluu suositeltavasti ainakin yksi jännitelähteeseen kytkettävä sormitettu elektrodipari.

On myös suositeltavaa, että synnytysvälineisiin kuuluu pohjataso, jolloin pohjataso ja sormitettu elektrodipari on sijoitettu kytkentäalueen vastakkaisille puolille. Vaihtoehtoisesti kytkentäalueen toisella puolella voitaisiin käyttää ylimääräisiä sormitettuja elektrodeja (tai ei mitään).

Vielä eräässä vaihtoehtoisessa suoritusmuodossa tilajaksoittainen häirintä voidaan kohdistaa jatkuvasti kytkentäalueelle käyttämällä lämpökäsittelyä esim. herätelaserilla.

Kytkin on suositeltavasti 2x2-kytkin.

Keksinnön mukainen laite soveltuu erityisen hyvin käytettäväksi optisena taajuussiirtimenä; optisena viritettävänä suodattimena; optisena kytkimenä tai optisena modulaattorina.

Keksinnön tuloksena on aikaansaatu myös akusto-optinen laite, johon kuuluu: optisen kuidun suuntakytkin, jossa on ainakin ensimmäinen optinen kuitu, joka on optisesti kytketty kytkentäalueella toiseen optiseen kuituun siten, että valo voi kulkea kytkentäalueella ainakin kahdessa mahdollisessa sähkömagneettisessa siirtomuodossa; ja välineet akustisen värähtelyn synnyttämiseksi ainakin osalla kytkentäaluetta energian siirtämiseksi siirtomuotojen välillä.

Keksinnön tuloksena on aikaansaatu myös menetelmä akusto-optisen laitteen valmistamiseksi, menetelmään kuuluessa vaiheet joissa: valmistetaan optisen kuidun suuntakytkin, jossa on ainakin ensimmäinen optinen kuitu, joka on optisesti kytketty kytkentäalueella toiseen optiseen kuituun siten, että valo voi kulkea kytkentäalueella ainakin kahdessa mahdollisessa sähkömagneettisessa siirtomuodossa; ja aikaansaadaan välineet akustisen värähtelyn synnyttämiseksi ainakin osalla kytkentäaluetta energian siirtämiseksi siirtomuotojen välillä.

Keksinnön tuloksena on myös aikaansaatu menetelmä valon akusto-optiseksi taajuussiirtämiseksi, menetelmään kuuluessa vaiheet, joissa suunnataan valo optisen kuidun suuntakytkimeen, jossa on ainakin ensimmäinen optinen kuitu, joka on optisesti kytketty kytkentäalueella toiseen optiseen kuituun siten, että valo voi kulkea kytkentäalueella ainakin kahdessa mahdollisessa sähkömagneettisessa siirtomuodossa; ja synnytetään akustinen värähtely ainakin osalla kytkentäaluetta energian siirtämiseksi siirtomuotojen välillä.

Keksinnön tuloksena on aikaansaatu myös menetelmä optisen laitteen valmistamiseksi, menetelmään kuuluessa vaiheet joissa: valmistetaan optisen kuidun suuntakytkin, jossa on ainakin ensimmäinen optinen kuitu, joka on optisesti kytketty kytkentäalueella toiseen optiseen kuituun siten, että valo voi kulkea kytkentäalueella ainakin kahdessa mahdollisessa sähkömagneettisessa siirtomuodossa; ja aikaansaadaan tilajaksoittainen häirintä ainakin osalla kytkentäaluetta energian siirtämiseksi siirtomuotojen välillä.

Keksinnön tuloksena on aikaansaatu myös optinen kytkentämenetelmä, menetelmään kuuluessa vaiheet joissa: suunnataan valo optisen kuidun suuntakytkimeen, jossa on ainakin ensimmäinen optinen kuitu, joka on optisesti kytketty kytkentäalueella toiseen optiseen kuituun siten, että valo voi kulkea kytkentäalueella ainakin kahdessa mahdollisessa sähkömagneettisessa siirtomuodossa, jolloin kussakin muodossa etenevä valo poistuu ainakin suurimmaksi osaksi kytkimen vastaavasta lähtöportista; ja synnytetään tilajaksoittainen häirintä ainakin osalla kytkentäaluetta energian siirtämiseksi siirtomuotojen välillä.

Keksinnön tuloksena on aikaansaatu myös optinen kytkin, - johon kuuluu optisen kuidun suuntakytkin, jossa on ainakin ensimmäinen optinen kuitu, joka on optisesti kytketty kytkentäalueella toiseen optiseen kuituun siten, että valo voi kulkea kytkentäalueella ainakin kahdessa mahdollisessa sähkömagneettisessa siirtomuodossa, jolloin kussakin muodossa etenevä valo poistuu ainakin suurimmaksi osaksi kytkimen vastaavasta lähtöportista; ja välineet tilajaksoittaisen häirinnän synnyttämiseksi ainakin osalla kytkentäaluetta energian siirtämiseksi siirtomuotojen välillä.

Keksinnön tuloksena on aikaansaatu myös optinen laite, - johon kuuluu optisen kuidun suuntakytkin, jossa on aina-

kin ensimmäinen optinen kuitu, joka on kytketty kytkentäalueella toiseen optiseen kuituun; ja välineet tilajaksoittaisen häirinnän synnyttämiseksi ainakin osalla kytkentäaluetta.

On selvää, että tässä asiakirjassa keksinnön itse laitteeseen liittyen kuvatut suositellut ominaispiirteet ovat yhtä hyvin sovellettavissa keksinnön muihin suoritusmuotoihin, ja päin vastoin. Vastaavasti johonkin tiettyyn suoritusmuotoon (esim. edellä kuvattuun akusto-optiseen suoritusmuotoon) liittyen kuvatut kytkimen suositellut muodot ovat yhtä hyvin sovellettavissa myös muihin suoritusmuotoihin (esim. edellä kuvattuun sähköstaattiseen suoritusmuotoon).

Seuraavaksi keksintöä selitetään sen erääseen suoritusesimerkkiin liittyen ja viittaamalla samalla oheisiin piirustuksiin, joissa toisiaan vastaavia osia on merkitty samoilla viitenumeroilla, ja joissa:

Kuva 1 esittää kaaviomaisesti akusto-optista laitetta;

Kuvat 2a ja 2b havainnollistavat kaaviomaisesti optisen kuidun ns. nollakytkimen toimintaa;

Kuvat 3a ja 3b havainnollistavat kaaviomaisesti kuvan 1 akusto-optisen laitteen toimintaa;

Kuvan 4 käyrät esittävät optista lähtöä radiotaajuisen (RF) signaaligeneraattorin jännitteen funktiona akusto-optisen laitteen prototyypillä;

Kuvan 5 käyrä esittää ilmaistun interferenssignaalin spektriä akusto-optisen laitteen prototyypin testauksessa;

Kuvat 6 ja 7 esittävät akusto-optisen laitteen prototyy-

pin lähtöspektriä, kun laitteeseen lähetettiin polaroimatonta valkoista valoa;

Kuva 8 on kaaviomainen päällyskuvanto optisen laitteen toisesta suoritusmuodosta; ja

Kuva 9 on kaaviomainen sivukuvanto kuvan 8 suoritusmuodosta.

Kuvaan 1 viitaten, akusto-optiseen laitteeseen kuuluu optisen kuidun suuntakytkin, jossa kaksi optista kuitua 10, 20 kytketään yhteen kytkentäalueella 30. Kytkin on ns sulatettu kavennusnollakytkin, jota kuvataan myöhemmin kuviin 2a ja 2b liittyen.

Pietsosähköinen keraaminen kiekkomuunnin 40 (vaihtoehtoiselta nimeltään PZT) saatetaan värähtelemään radiotaajuisella (RF) signaaligeneraattorilla 50. Muuntimen 40 värähtelyt syötetään optisiin kuituihin 10, 20 kartiomaisella (tai kavennetulla) alumiinisella keskitystorvella 60, joka on epoksoitu muuntimeen 40 ja kiinnitetty optisiin kuituihin 10, 20 kytkentäalueen 30 ulkopuolelle pienikokoisella liitoksella (ei esitetty), joka muodostuu ultraviolettikovetteisesta liimasta. Torven 60 keskittämät muuntimen 40 värähtelyt synnyttävät optisiin kuituihin 10, 20 taipumavärähtelyn erityisesti kytkentäalueelle 30. Värähtelyt absorboituvat olennaisilta osiltaan asennuslohkoihin 70, jolloin vältetään värähtelyjen ei-toivotut heijastukset optisissa kuiduissa 10, 20. Kuituihin 10, 20 voidaan kytkentäalueen 30 ulkopuolella levittää myös akustis-absorboiva puskuripäällyste.

Kuvat 2a ja 2b havainnollistavat nollakavennuskytkimen toimintaa.

Sulatettu kavennuskytkin tai säteenjakaja valmistetaan kuumentamalla ja venyttämällä kahta yhdensuuntaista op-

tista kuitua yhdessä pienessä liekissä. Osa kytkimeen yhdessä kuidussa saapuvasta valosta ristikytkeytyy toiseen kuituun (kytketty aalto) ja loppuosa pysyy ensimmäisessä kuidussa (läpäisyaalto).

Jos kytkin valmistetaan identtisestä yksimuotokuituparista, ovat kaikki ristikytkentäsuhteet (kuidusta toiseen tai toisiin siirtyneen valon määrä) olennaisesti 0%:sta olennaisesti 100%:iin mahdollisia. Ei-samanlaisilla kuiduilla, kuten kuiduilla, joilla on erilaiset poikkileikkauspinta-alat (tai jos toinen tai molemmat kahdesta alun perin samanlaisesta kuidusta esikäsitellään esim. esikaventamalla tai venyttämällä, syövyttämällä tai kiillottamalla ennen kytkimen valmistusta), voidaan maksimiristikytkentä tarkoituksellisesti tehdä pienemmäksi kuin 100%. Ideaalinen nollakytkin on sellainen, jossa kuidut ovat niin erilaisia, että maksimiristikytkentäsuhde on olennaisesti nolla suurella aallonpituusalueella; ts. passiivinen kytkin ei toimi säteenjakajana lainkaan.

Nollakytkimet valmistetaan toisin sanoen yleensä ei-samanlaisista kuiduista, ja niillä on olennaisesti nollasiirtosuhde tietyllä toiminta-aallonpituusalueella ja kytkentäaluepituudella, samalla kun niillä ei ole pyrkimystä omaamaan tavallista jaksoittaista kytkentäsuhteiden vaihtelua näiden arvojen kanssa. Tämä on itse asiassa valmistuksen aikana ilmaisu siitä, että nollakytkin on valmistettu; tuloportteihin syötettyä testivaloa seurataan lähtöporteissa, ja nollakytkin on saatu silloin kun havaittu kytkentäsuhde on olennaisesti nolla ja olennaisesti riippumaton kytkentäalueen pituuden kasvusta, vaikka nämä kaksi kuitua on sulatettu yhteen kytkentäalueella, joka on kapeampi kuin kumpikin kuitu.

Kuidun esikäsittelyn ei tarvitse välttämättä muuttaa kuidun optisia ominaisuuksia ennen sen käyttöä kytkimen valmistuksessa. Esikäsittely muuttaa kuitenkin kytkentäalu-

eelle saatavia ominaisuuksia sen jälkeen kun kytkin on valmistettu.

Nollakytkimen toiminnan selittämiseksi on kuvissa 2a ja 2b esitetty esimerkki nollakytkimestä, jossa kaksi optista kuitua 110, 120 on kytketty kavennetulla kytkentäalueella (kytkimen uuma) 130. Kytkimen valmistuksen aikana suoritettu venytys merkitsee sitä, että kytkentäalueen halkaisija on hyvin paljon pienempi kuin kytkentäalueen ulkopuolella olevan kuidun halkaisija.

Kytkentäalue 130 tukee ainakin kahta valonsiirtomuotoa, joita on kuvissa 2a ja 2b havainnollistettu erilaisilla kaaviomaisilla kenttäjakautumilla kytkentäalueen sisällä. Koska kytkentäalueen halkaisija on pieni, nämä muodot on tehokkaasti rajattu kuori/ilmarajapinnan sisälle kuituytimen sijasta. Nollakytkimessä yhden kuidun 110 valo muuttuu adiabaattisesti kytkimen uuman 130 perusmuotoon (kuva 2a) ja palaa samaan kuituun 110 kytkimen toisessa päässä. Vastaavasti toisen kuidun 120 valo muuttuu uuman toiseen muotoon (kuva 2b) ja poistuu samaa kuitua 120 pitkin.

Tässä suoritusmuodossa akusto-optinen vuorovaikutus tapahtuu kavennetun yksimuotokuitukytkimen kapeassa uumassa. Kavennettu uuma toimii monimuotoaaltojohtona, joka tukee ainakin kahta kuidun täyttävää siirtomuotoa.

Kuvat 3a ja 3b esittävät kaaviomaisesti valon kytkeytymistä yhdestä muodosta toiseen kuvien 2a ja 2b kytkimen kytkentäalueella 130.

Kuten kuvasta 3a nähdään, kun laitteeseen ei kohdistu akustista taipumavärähtelyä, yhteen kuituun (esim. kuituun 110) lähetetty valo poistuu olennaisesti muuttumattomana samaa kuitua 110 pitkin. Toisin sanoen kuvassa 3a esitetty toiminta on identtinen kuvan 2a kanssa.

Vaikka näiden kahden kuidun valoaalloilta puuttuu keskinäinen vuorovaikutus, ne tunkeutuvat ja limittyvät voimakkaasti toisiinsa kytkimen uumassa. Kulkeva akustinen taipuma-aalto voi aiheuttaa resonoivan eteenkytkennän kytkimen uuman perus- ja toisen muodon välillä, taajuussiirron kanssa, jos näiden kahden muodon interferenssipituus vastaa akustista aallonpituutta.

Nämä kaksi muotoa etenevät erilaisilla nopeuksilla kytkentäaluetta pitkin, aikaansaaden kahden muodon välille tilainterferenssin kytkentäalueen pituudella. Kun "interferenssipituus" vastaa kytkentäalueelle kohdistuvan taipumavärähtelyn aallonpituutta, tapahtuu valon resonanssikytkentä yhdestä muodosta toiseen, jolloin myös tapahtuu taajuussiirto.

Toisin sanoen, kun laitteeseen kohdistetaan akustinen taipumavärähtely, perusmuodossa kytkentäalueelle saapuva valo voidaan kytkeä toiseen muotoon (ja päin vastoin) taajuussiirron kanssa. Tätä prosessia on havainnollistettu kuvassa 3b.

Akustiset ja optiset aallot limittyvät keskenään olennaisesti kokonaan, ja sen vuoksi tarvitaan vain hyvin pieni akustinen teho. Tämä on päin vastoin kuin aikaisemmin ehdotetuilla ja edellä kuvatuilla optisiin kuituihin perustuvilla akusto-optisilla laitteilla.

Rakenne on helposti muunneltavissa, koska kytkentäalueen 130 luonne voidaan määrätä kavennuskytkimen valmistuksen aikana. Laite voi toimia jopa satojen megahertsien akustisilla taajuuksilla, koska uuman halkaisija voidaan tehdä jopa vain noin 1 mikrometrin paksuiseksi.

Näissä kahdessa siirtomuodossa oleva valo poistuu eri kuitujen kautta, mikä tarkoittaa, että siirretyt ja siirtymättömät aallot lähtevät eri porteista. Sen vuoksi ei

tarvita mitään muotomuuttimia tai suodattimia siirrettyjen ja siirtymättömien aaltojen erottamiseksi; mahdollisesti jäljelle jäänyt siirtymätön valo poistuu sitä kuitua pitkin, jota pitkin valo lähetettiin.

Kuvat 4-7 esittävät edellä kuvatun tyyppisen akusto-optisen laitteen prototyypillä suoritettujen testien tuloksia.

Akusto-optinen prototyyppilaite konstruoitiin käytettäväksi aallonpituudella (λ) 633 nm (nanometriä) käyttäen kahta ei-samanlaista silikakuitua, joiden halkaisijat olivat 60 μm ja 80 μm, rajataajuudet 500 nm ja 650 nm ja numeeriset aukot 0,26 ja 0,21, vastaavasti. Toinen näistä kuiduista ei ollut yksimuotoinen 633 nm:llä, joten prototyypin testejä varten valoa lähetettiin vain ensin mainittuun kuituun. Laitteet voitaisiin kuitenkin konstruoida siten, että molemmat kuidut ovat yksimuotoisia halutulla aallonpituudella.

Kuituja pidettiin yhdessä rinnakkain, kuumennettiin ja venytettiin yhdessä liikkuvassa oksibutaaniliekissä. Kytkentäalueen valmiin uuma-alueen pituus oli noin 25 mm, poikkileikkaus olennaisesti tasainen ja halkaisija noin 6 μm, kummankin lyhyen kartiomaisen muutososuuden ollessa pituudeltaan noin 25 mm. Nämä mitat säädettiin tavanomaisella kytkimen valmistustekniikalla muuttamalla liekin kulkuetäisyyttä kytkimen venytyksen aikana. Kytkinten valmistusta tällä tekniikalla ja erityisesti mittojen säätöä kytkentäalueella on kuvattu artikkelissa "The Shape of Fiber Tapers" (Journal of Lightwave Technology, Vol 10, No 4, April 1992, sivut 432-438).

Uuman poikkileikkaus oli olennaisesti pyöreä, mikä antaa hyvän peiton kahden optisen muodon välille, on toistettavissa ja muistuttaa yhden kavennetun kuidun uumaa (samalla resonanssiyhtälöllä).

Uuman poikkileikkaus oli olennaisesti tasainen koko kytkentäalueen pituudella. Kuitenkin myös ei-tasaista uumaa voitaisiin käyttää. Kytkentäalueen poikkileikkaus voidaan esimerkiksi tehdä tarkoituksella muuttuvaksi (esim. pienenemään tasaisesti) akusto-optisen laitteen taajuusvasteen leventämiseksi tai "rasvaamiseksi".

Prototyyppilaitteen häviö oli noin 0,1 dB ja maksimiristikytkentäsuhde oli 1:400.

Kuten edellä on kuvattu, akustinen taipuma-aalto synnytetään kytkimen uumaan vahvistetun RF-signaalin ohjaamalla PZT-kiekolla ja keskitintorvella. Torvi kiinnitettiin kaventamattomaan kuituparin kytkimen toiseen päähän siten, että akustisen aallon taso yhtyi kytkimen kummankin kuidun yhteiseen tasoon. Tällä järjestelyllä on se etu, että akustinen teho pyrkii fokusoitumaan kulkiessaan kavennettuun uumaan.

Kytkimen toiseen tulokuituun lähetettiin 633 nm:n valoa polaroidulla HeNe (Helium-Neon) -laserilla tavanomaisen optisen kuidun polarisaatiosäätimen kautta. Seurattiin kahdesta lähtökuidusta lähteviä optisia tehoja, ja resonanssi etsittiin muuttamalla RF-ohjauksen taajuutta. Prototyyppilaitteessa akusto-optinen resonanssi saatiin akusto-optisella taajuudella 1,851 Mhz.

Kuvan 4 käyrä esittää optista ulostuloa RF-signaaligeneraattorin jännitteen funktiona (jännite vahvistetaan jännitevahvistuksella 500 ennen muuntimeen 40 syöttämistä). Kuvassa 4 käyrä 400 (mustat ympyrät) kuvaa "läpäistyä" optista ulostuloa (valoa, joka poistuu laitteesta samassa kuidussa kuin jossa se syötettiin siihen) ja käyrä 410 (mustat neliöt) kuvaa "kytkettyä" optista ulostuloa (valoa, jonka laite on kytkenyt kuidusta toiseen). Kummatkin käyrät 400, 410 liittyvät tulopolarisaatiotilaan; vastaavat lähdöt ortogonaalitilalle on esitetty

käyrillä 420 (valkoiset ympyrät) ja 430 (valkoiset neliöt).

Sopivalla polarisaatiosäädöllä prototyyppilaitteella saavutettiin yli 99%:n akusto-optinen kytkentä toiseen kuituun. Vaikka toinen tässä prototyypissä käytetty kuitu ei ollutkaan yksimuotoinen, havaittiin, että kytketty valo siirtyi perusmuodossaan. Maksimikytkentään tarvittu RF-teho oli vain 1 mW, paljon pienempi kuin aikaisemmilla taajuussiirtimillä. Teoreettinen alaraja tarvittavalle akustiselle teholle on 170 nW.

Prototyyppilaitteella aikaansaatu taajuussiirto mitattiin asettamalla laite (ottamalla lähtö toisesta kuidusta) Mach-Zehnder interferometrin yhteen varteen. Braggin kennoa käytettiin ylössiirtämään (taajuussiirto) toisen varren valoa 80 Mhz:llä. Ilmaistiin interferenssisignaali ja sitä seurattiin RF-spektrianalysaattorilla.

Kuva 5 esittää saadun interferenssisignaalin spektriä prototyyppilaitteen tehon ja Braggin kennossa 80 MHz:llä ylössiirretyn valon valillä. Pääinterferenssikomponentti nähdään 82 Mhz:n lähellä, ja se vastaa akustisen taajuuden suuruista taajuuden alassiirtoa. Kohinatason yläpuolelle voidaan nähdä myös kantotaajuuden (80 Mhz) ja kuvasivukaistan (noin 78 Mhz) interferenssikomponentit. Nämä ovat molemmat tasoltaan noin 30 dB alempia kuin pääkomponentti. Tämän tehon puhtaus ei juurikaan muuttunut, kun ohjausjännitettä alennettiin maksimimuutoksen arvosta, vaikka valon kokonaismäärä tietysti pieneni. Ensimmäisen kuidun lähtö oli siirtymätön, kuten oli oletettukin.

Laitteen käyttäytymisen optisena suodattimena mittaamiseksi tulokuituun syötettiin polaroimatonta valkoista valoa, ja lähdöt syötettiin optiseen spektrianalysaattoriin. Akustisella taajuudella 1860 Mhz saatu normalisoitu

tehospektri on esitetty kuvissa 6 (läpäisyvalo) ja 7 (kytketty valo).

Kuvien 6 ja 7 spektrit ovat komplementaarisia, kuten tehon säilymisen kannalta on oletettavaakin; laite toimii läpäisytiellä kaistanestosuodattimena ja kytkentätiellä kaistanpäästösuodattimena. Spektrin kolmipiikkisen muodon uskotaan johtuvan toisen muodon polarisaatio-ominaisuuksista. Kunkin piikin 10 nm:n leveys on suurempi kuin odotettu leveys 3,5 nm. 0,02 μm:n pituussuuntainen epätasaisuus kytkimen uuman halkaisijassa on riittävä selittämään tämän.

Kuvat 6 ja 7 havainnollistavat toisin sanoen sitä tapaa, jolla akusto-optinen laite voi toimia viritettävänä suodattimena. Piikkien ja syvennysten keskus kuvissa 6 ja 7 riippuu syötetystä akustisesta taajuudesta. Vastaavasti viritettävä optinen suodatin käsittää akusto-optisen laitteen, jonka muunninta ohjataan muuttuvataajuisella RF-signaaligeneraattorilla.

Akusto-optista laitetta voidaan selvästikin käyttää taajuussiirtimenä, koska edellä kuvatussa suoritusmuodossa taajuussiirretty valo poistuu määrätystä lähtöportista. Jos akustista värähtelyä katkotaan, laitteen lähdön vastaavat siirretyt ja siirtymättömät osuudet saavat vastaavat voimakkuusmuutokset (ts. laite toimii optisena kytkimenä). Jos akustista värähtelyä moduloidaan, myös laitteen lähdöt moduloituvat, jolloin laite toimii optisena modulaattorina.

Keksinnön laitteella voidaan saavuttaa satojen megahertsien taajuussiirrot kapeampaa kytkimen uumaa käyttämällä. Toiminta tiedonsiirtoaallonpituuksilla on yksinkertaista kuituparin sopivalla valinnalla. Laite, jossa on neljä samanlaista yksimuotoporttia, on mahdollinen, esimerkiksi esikäsittelemällä (kuten edellä on kuvattu) identtisen

kuituparin toinen tai molemmat kuidut ennen kytkimen valmistamista siten, että parista tulee riittävän ei-samanlainen nollakytkimen saamiseksi. Vain yhden kuituparin sijasta voidaan useampia kuituja muodostaa moniporttiseksi sulatetuksi kavennuskytkimeksi ja käyttää sitä akustooptisen laitteen lisäsuoritumuodoissa.

Keksinnön suoritusmuodoissa ei välttämättä tarvitse käyttää nollakytkintä. Jos esimerkiksi käytetään identtisistä kuiduista valmistettua tavallista 2x2-suuntakytkintä, akustinen värähtely voi aikaansaada oskilloivan lähdön kahden lähtöportin välillä kaksinkertaisella akustisella taajuudella. Tämä modulointivaikutus syntyy, koska kytkentäalueella syntyy kaksi siirtomuotoa; akustinen värähtely voi aikaansaada nopean energiansiirron muotojen välillä ja komplementaariset taajuussiirrot (ylös ja alas) kahdessa muodossa olevalle valolle. Näiden taajuussiirrettyjen lähtöjen välillä esiintyy silloin väliaikainen interferenssi.

Edellä kuvatuissa suoritusmuodoissa käytetään akustista muunninta synnyttämään kytkentäalueelle häirintä, joka on sekä tilan että ajan suhteen jaksoittainen. Energian siirto siirtomuotojen välillä kytkentäalueella voidaan kuitenkin saavuttaa kohdistamalla kytkentäalueelle vain tilajaksoittainen häirintä.

Kuva 8 havainnollistaa kaaviomaisesti erästä tekniikkaa, jolla kytkentäalueelle kohdistetaan tilajaksoittainen häirintä aikajaksoittaista kulkevaa tai seisovaa akustista aaltoa käyttämättä.

Kuvassa 8 edellä kuvatun tyyppisen kytkimen kytkentäalue 30 sijoitetaan sormitetun elektrodiparin 500, 510 toiselle puolelle, parin ollessa liitetty kytkettävän tasavirtajännitelähteen vastakkaisiin napoihin. Kytkentäalueen vastakkaisella puolella (ts. kuvassa 8 kytkentäalueen

alla) on joko pohjalevy tai elektrodeja 500, 510 vastaava komplementaarinen sormitettu elektrodipari. Elektrodien 500, 510, kuitukytkimen kytkentäalueen 30 ja lisäelektrodien tai pohjalevyn 520 suhteelliset asemat on esitetty kaaviomaisena sivukuvantona kuvassa 9.

Kytkentäalue 30 on käsitelty siten, että kuituun voidaan kohdistaa olennaisesti pysyvä varaus tai "elektreettivaraus". Tämä pysyvä sähkövaraus voi napaisuudeltaan olla kumpi tahansa. Pysyvien sähkövarauksien kohdistamista optisiin kuituihin on kuvattu artikkelissa "Optical fibre electrets: observation of electro-acoustic transduction", Electronic Letters, **30**, s1436, 1994.

Elektrodit 500, 510 ja lisäelektrodit tai pohjalevy 520 synnyttävät tilajaksoittaisen mutta aikastaattisen sähkökentän kytkentäalueen 30 pituudelle aina silloin kun elektrodit on yhdistetty tasavirtajännitelähteeseen. Tämä kenttä vetää joko puoleensa tai hylkii kuidun osia riippuen sähkökentän napaisuudesta kuidun kullakin kohdalla, ja näin kuitu muuttaa muotoaan tai aallottuu jaksoittain pituussuunnassaan.

Elektrodit 500, 510 on järjestetty siten, että kummankin elektrodin vierekkäisten sormitettujen elementtien väli 530 on noin 2 mm. Tämä aikaansaa kytkentäalueella jaksoittaisen lateraalivääristymän, jonka jakso vastaa olennaisesti elektrodiväliä. Häirintää voidaan katkoa elektrodien 500, 510 energiansyötön avulla.

Syötetty valo kytkeytyy siirtomuodosta toiseen, kun jaksoittainen häirintä on käytössä, jolloin kytkin voi toimia sähköisesti säädettynä optisena kytkimenä, joka ohjaa valon jompaan kumpaan lähtöporttiin elektrodijännitteen perusteella.

Eräs esimerkki kuvien 8 ja 9 laitteessa käytettävistä

parametreista on seuraava:
kytkentäalueen pituus (kytkimen uuma- tai vaikutuspituus)
50 mm
käytetty optinen aallonpituus
633 nm
kytkentäalueen halkaisija (olennaisesti tasainen)
20 μm
jännite elektrodeissa 500, 510
110 V
pysyvä kokonaisvaraus kytkentäalueella
$8,3 \times 10^{-11}$ C

Nämä arvot edellyttävät, että laitetta käytetään tyhjössä ja elektrodit 500, 510 on sijoitettu mahdollisimman lähelle kuidun kytkentäaluetta.

Eräässä vaihtoehtoisessa suoritusmuodossa kytkentäalueen muotoa voidaan muuttaa pysyvästi lämpökäsittelyllä esim. laserin avulla. Lämpökäsittelyssä laserin teho suunnataan säännöllisin välein oleviin pisteisiin pitkin kytkentävyöhykettä ja sillä muovataan kytkentäalueen osia siten, että sille saadaan tilajaksoittainen häirintä. Tällä järjestelyllä saadaan kytkin, jolla on taajuusriippuva lähtö jokaiseen lähtöporttiin (ts. suodatin tai demultiplekseri), mutta toisin kuin edellä kuvatuilla akustisilla ja sähköstaattisilla laitteilla, lähtö ei ole aikakytkettävissä.

Lopuksi voidaan todeta, että keksinnön eri suoritusmuodoilla aikaansaadaan yksinkertainen ja helposti muunneltava pienitehoinen taajuussiirrin, joka voidaan valmistaa neljällä yksimuotokuituportilla.

PATENTTIVAATIMUKSET

1. Optinen laite, **tunnettu** siitä, että siihen kuuluu:

optisen kuidun suuntakytkin, jossa on ainakin ensimmäinen optinen kuitu (10), joka on optisesti kytketty kytkentäalueella (30) toiseen optiseen kuituun (20) siten, että valo voi kulkea kytkentäalueella ainakin kahdessa mahdollisessa sähkömagneettisessa siirtomuodossa; ja

välineet (40, 50, 60) energian siirtämiseksi siirtomuotojen välillä synnyttämällä akustinen taipumavärähtely ainakin osalla kytkentäaluetta.

2. Vaatimuksen 1 mukainen laite, **tunnettu** siitä, että siihen kuuluu yksi tai useampia akustisesti absorboivia asennuslohkoja (70), jotka on kiinnitetty optisiin kuituihin kytkentäalueen ulkopuolella sijaitseviin kohtiin.

3. Vaatimuksen 1 tai 2 mukainen laite, **tunnettu** siitä, että ainakin osalla ainakin yhdestä optisista kuiduista on akustisesti absorboiva päällyste.

4. Jonkin vaatimuksen 1-3 mukainen laite, **tunnettu** siitä, että välineisiin värähtelyn synnyttämiseksi kuuluu värähtelymuunnin (40), jonka värähtelyä voidaan ohjata muuntimeen syötettyä oskilloivaa sähkösignaalia vastaten.

5. Vaatimuksen 4 mukainen laite, **tunnettu** siitä, että värähtelymuunnin on pietsosähköinen muunnin.

6. Vaatimuksen 4 tai 5 mukainen laite, **tunnettu** siitä, että värähtelymuuntimen synnyttämät värähtelyt kohdistetaan ensimmäiseen kuituun ja toiseen kuituun kytkentäalueen ulkopuolelle sijoitetulla liitäntäalueella.

7. Jonkin vaatimuksen 4-6 mukainen laite, **tunnettu** siitä, että välineisiin värähtelyn synnyttämiseksi kuuluu kaven-

nettu siirto-osa (60) joka yhdistää värähtelymuuntimen ja liitäntäalueen.

8. Optinen laite, **tunnettu** siitä, että siihen kuuluu:

optisen kuidun suuntakytkin, jossa on ainakin ensimmäinen optinen kuitu (10), joka on optisesti kytketty kytkentäalueella (30) toiseen optiseen kuituun (20) siten, että valo voi kulkea kytkentäalueella ainakin kahdessa mahdollisessa sähkömagneettisessa siirtomuodossa, ja jossa ainakin osa kytkentäalueesta on varattu pysyvällä sähkövarauksella; ja

välineet (500, 510, 520) energian siirtämiseksi siirtomuotojen välillä synnyttämällä tilajaksoittainen sähkökenttä, joka on vuorovaikutuksessa pysyvän sähkövarauksen kanssa siten, että se aikaansaa tilajaksoittaisen häirinnän ainakin osalle kytkentäaluetta.

9. Vaatimuksen 8 mukainen laite, **tunnettu** siitä, että synnytysvälineisiin kuuluu ainakin yksi sormitettu elektrodipari (500, 510), joka on liitettävissä jännitelähteeseen.

10. Vaatimuksen 9 mukainen laite, **tunnettu** siitä, että synnytysvälineisiin kuuluu pohjalevy (520), jolloin se ja sormitettu elektrodipari (500, 510) on sijoitettu kytkentäalueen vastakkaisille puolille.

11. Jonkin edellisen vaatimuksen mukainen laite, **tunnettu** siitä, että kytkin on sulatettu optinen kuitukytkin.

12. Vaatimuksen 11 mukainen laite, **tunnettu** siitä, että kun siirtovälineet on kytketty pois, alle puolet yhtä optista kuitua pitkin etenevästä valosta kytkeytyy toiseen optiseen kuituun.

13. Vaatimuksen 12 mukainen laite, **tunnettu** siitä, että sulatettu optinen kuitukytkin on sulatettu kavennusnolla-

kytkin, jossa silloin, kun siirtovälineet on kytketty pois, yhtä optista kuitua pitkin etenevästä valosta ei kytkeydy olennaisesti yhtään toiseen optiseen kuituun.

14. Vaatimuksen 13 mukainen laite, **tunnettu** siitä, että ensimmäisellä ja toisella optisella kuidulla on erilaiset poikkileikkauspinta-alat.

15. Vaatimuksien 13 tai 14 mukainen laite, **tunnettu** siitä, että ainakin osa ainakin joko ensimmäisestä tai toisesta optisesta kuidusta on esikäsitelty ennen kytkimen valmistusta siten, että esikäsittely muuttaa kytkentäalueen optisia ominaisuuksia.

16. Optinen laite, **tunnettu** siitä, että siihen kuuluu:

optisen kuidun suuntakytkin, jossa on ainakin ensimmäinen optinen kuitu (10), joka on optisesti kytketty kytkentäalueella (30) toiseen optiseen kuituun (20) siten, että valo voi kulkea kytkentäalueella ainakin kahdessa mahdollisessa sähkömagneettisessa siirtomuodossa; ja

välineet (40, 50, 60) energian siirtämiseksi siirtomuotojen välillä tilajaksoittaisella häirinnällä ainakin osalla kytkentäaluetta;

ja että kytkin on sulatettu kavennusnollakytkin, jossa tilajaksoittaisen häirinnän poissaollessa yhtä optista kuitua pitkin etenevästä valosta ei kytkeydy olennaisesti yhtään toiseen optiseen kuituun.

17. Vaatimuksen 16 mukainen laite, **tunnettu** siitä, että ensimmäisellä ja toisella optisella kuidulla on erilaiset poikkileikkauspinta-alat.

18. Vaatimuksen 16 tai 17 mukainen laite, **tunnettu** siitä, että ainakin osa ainakin joko ensimmäisestä tai toisesta optisesta kuidusta on esikäsitelty ennen kytkimen valmistusta siten, että esikäsittely muuttaa kytkentäalueen

optisia ominaisuuksia.

19. Jonkin edellisen vaatimuksen mukainen laite, **tunnettu** siitä, että kytkentäalueelle joko ensimmäisestä tai toisesta optisesta kuidusta saapuva valo synnyttää vastaavan siirtomuodon kytkentäalueella, synnytetyn siirtomuodon liittyessä tähän optiseen kuituun.

20. Jonkin edellisen vaatimuksen mukainen laite, **tunnettu** siitä, että kytkentäalueella kussakin siirtomuodossa etenevä valo poistuu ensi sijassa kytkimen tähän siirtomuotoon liittyvästä lähtöportista.

21. Jonkin edellisen vaatimuksen mukainen laite, **tunnettu** siitä, että optisista kuiduista ainakin yksi on yksimuotokuitu.

22. Jonkin edellisen vaatimuksen mukainen laite, **tunnettu** siitä, että kytkentäaalueella on olennaisesti tasainen poikkileikkaushalkaisija.

23. Jonkin edellisen vaatimuksen mukainen laite, **tunnettu** siitä, että kytkentäalueen poikkileikkaus on kapeampi kuin kumpikin ensimmäisestä ja toisesta kuidusta.

24. Jonkin edellisen vaatimuksen mukainen laite, **tunnettu** siitä, että kytkin on 2x2-kytkin.

25. Jonkin edellisen vaatimuksen mukainen laite, **tunnettu** siitä, että kytkentäalueella tilalimittyy ainakin kaksi sähkömagneettista siirtomuotoa.

26. Akusto-optinen laite, **tunnettu** siitä, että siihen kuuluu:

optisen kuidun suuntakytkin, jossa on ainakin ensimmäinen optinen kuitu (10), joka on optisesti kytketty kytkentäalueella (30) toiseen optiseen kuituun (20)

siten, että valo voi kulkea kytkentäalueella ainakin kahdessa mahdollisessa sähkömagneettisessa siirtomuodossa; ja

välineet (40, 50, 60) akustisen taipumavärähtelyn synnyttämiseksi ainakin osalla kytkentäaluetta energian siirtämiseksi siirtomuotojen välillä.

27. Jonkin edellisen vaatimuksen mukaisen laiteen käsittävä optinen taajuussiirrin.

28. Jonkin vaatimuksen 1-24 mukaisen laitteen käsittävä viritettävä optinen suodatin.

29. Jonkin vaatimuksen 1-26 mukaisen laitteen käsittävä optinen kytkin.

30. Jonkin vaatimuksen 1-26 mukaisen laitteen käsittävä optinen modulaattori.

31. Menetelmä akusto-optisen laitteen valmistamiseksi, **tunnettu** siitä, että menetelmään kuuluu vaiheet joissa:

valmistetaan optisen kuidun suuntakytkin, jossa on ainakin ensimmäinen optinen kuitu (10), joka on optisesti kytketty kytkentäalueella (30) toiseen optiseen kuituun (20) siten, että valo voi kulkea kytkentäalueella ainakin kahdessa mahdollisessa sähkömagneettisessa siirtomuodossa; ja

aikaansaadaan välineet (40, 50, 60) akustisen taipumavärähtelyn synnyttämiseksi ainakin osalla kytkentäaluetta energian siirtämiseksi siirtomuotojen välillä.

32. Menetelmä valon akusto-optiseksi taajuussiirtämiseksi, **tunnettu** siitä, että menetelmään kuuluu vaiheet, joissa

suunnataan valo optisen kuidun suuntakytkimeen, jossa on ainakin ensimmäinen optinen kuitu (10), joka on optisesti kytketty kytkentäalueella (30) toiseen optiseen

kuituun (20) siten, että valo voi kulkea kytkentäalueella ainakin kahdessa mahdollisessa sähkömagneettisessa siirtomuodossa; ja

synnytetään (40, 50, 60) akustinen taipumavärähtely ainakin osalla kytkentäaluetta energian siirtämiseksi siirtomuotojen välillä.

33. Optinen kytkentämenetelmä, **tunnettu** siitä, että menetelmään kuuluu vaiheet, joissa:

suunnataan valo optisen kuidun suuntakytkimeen, jossa on ainakin ensimmäinen optinen kuitu (10), joka on optisesti kytketty kytkentäalueella (30) toiseen optiseen kuituun (20) siten, että valo voi kulkea kytkentäalueella ainakin kahdessa mahdollisessa sähkömagneettisessa siirtomuodossa, jolloin kussakin muodossa etenevä valo poistuu ainakin suurimmaksi osaksi kytkimen vastaavasta lähtöportista; ja

synnytetään (40, 50, 60) akustinen taipumavärähtely ainakin osalla kytkentäaluetta energian siirtämiseksi siirtomuotojen välillä.

34. Optinen kytkin, **tunnettu** siitä, että siihen kuuluu:

optisen kuidun suuntakytkin, jossa on ainakin ensimmäinen optinen kuitu (10), joka on optisesti kytketty kytkentäalueella (30) toiseen optiseen kuituun (20) siten, että valo voi kulkea kytkentäalueella ainakin kahdessa mahdollisessa sähkömagneettisessa siirtomuodossa, jolloin kussakin muodossa etenevä valo poistuu ainakin suurimmaksi osaksi kytkimen vastaavasta lähtöportista; ja

välineet (40, 50, 60) akustisen taipumavärähtelyn synnyttämiseksi ainakin osalla kytkentäaluetta energian siirtämiseksi siirtomuotojen välillä.

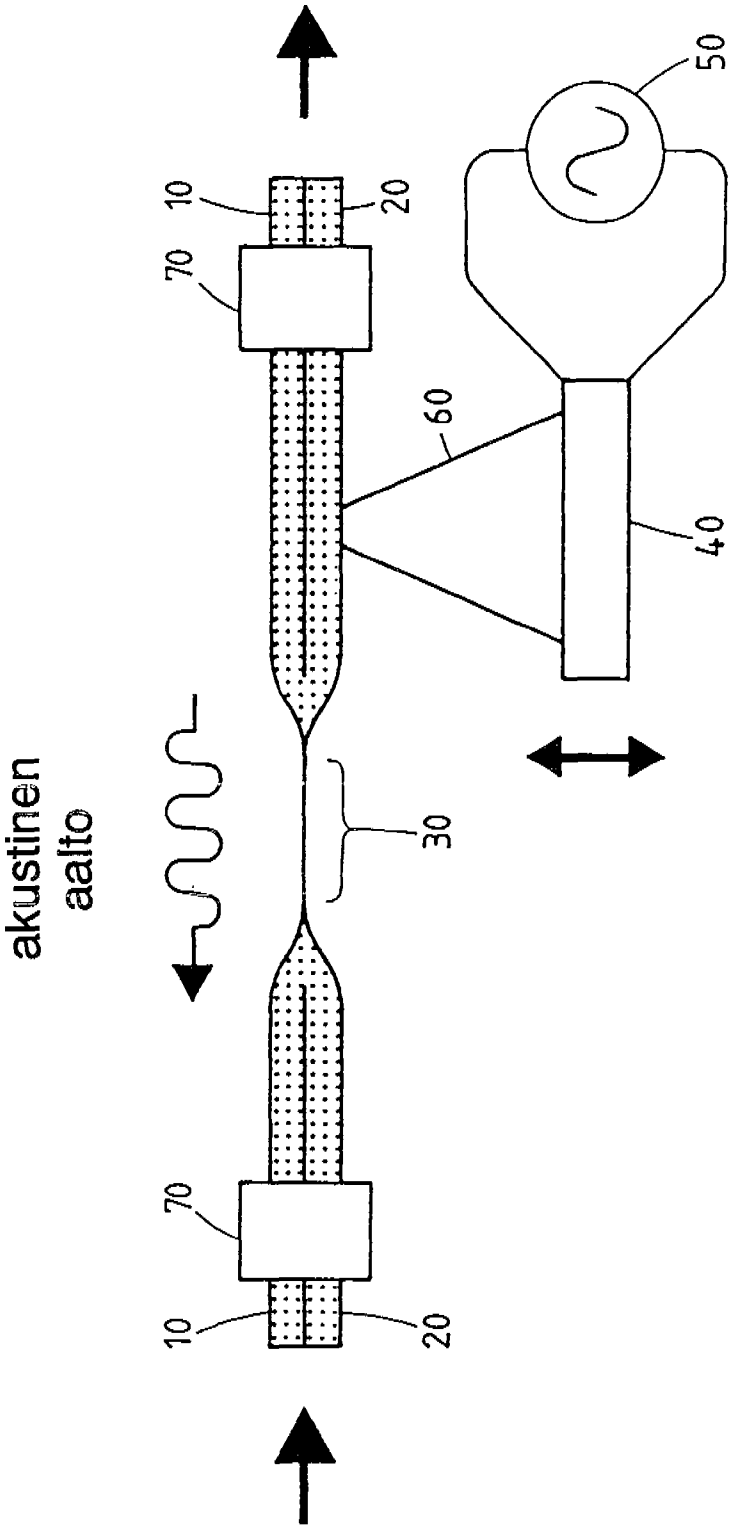


Figure 1

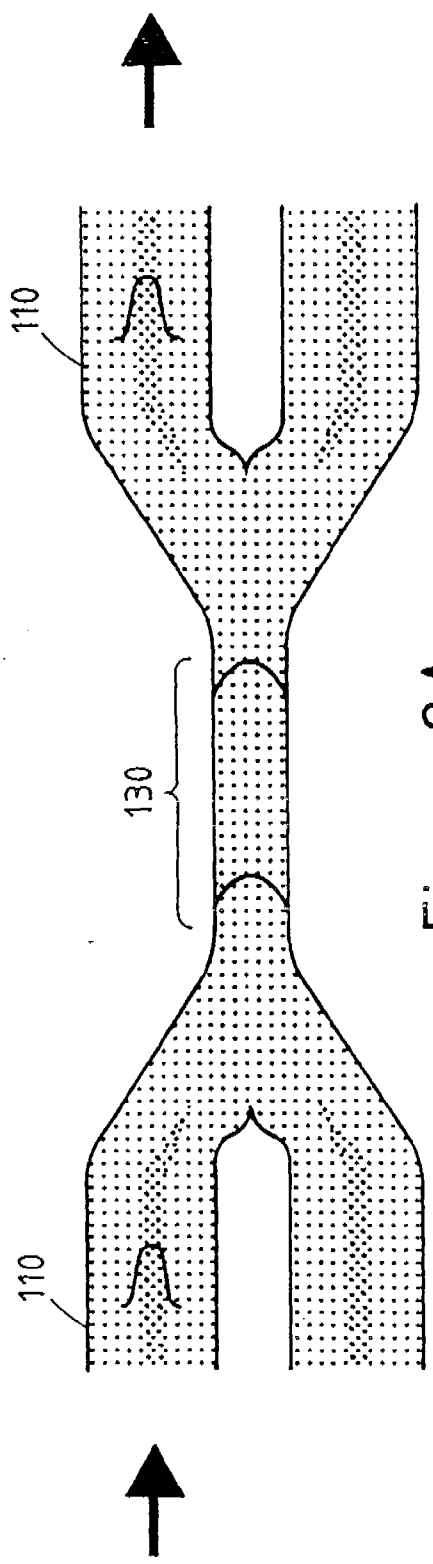


Figure 2A

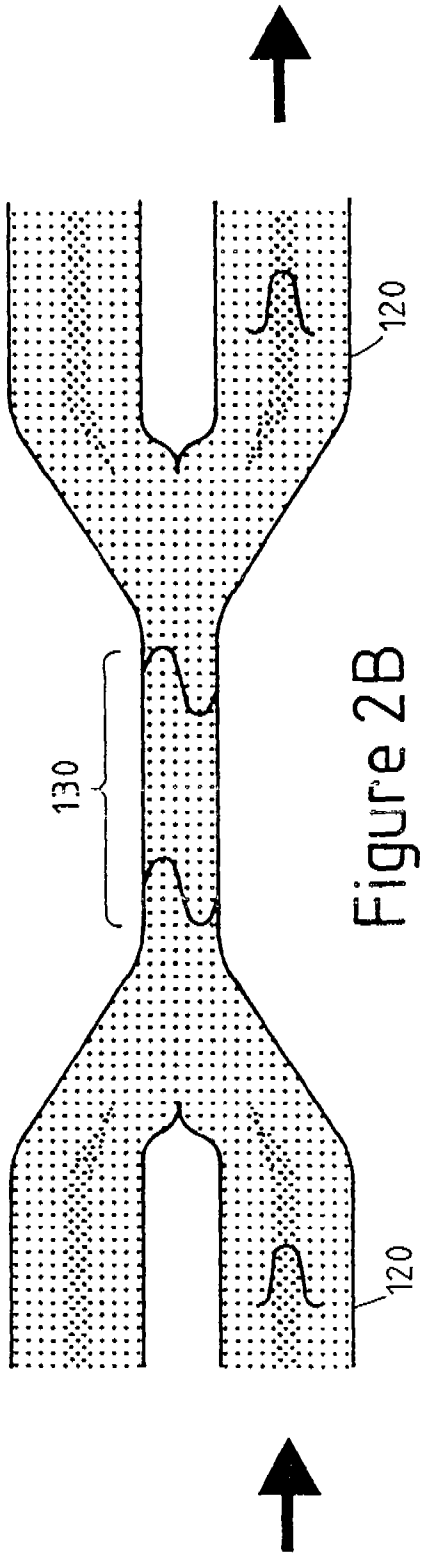


Figure 2B

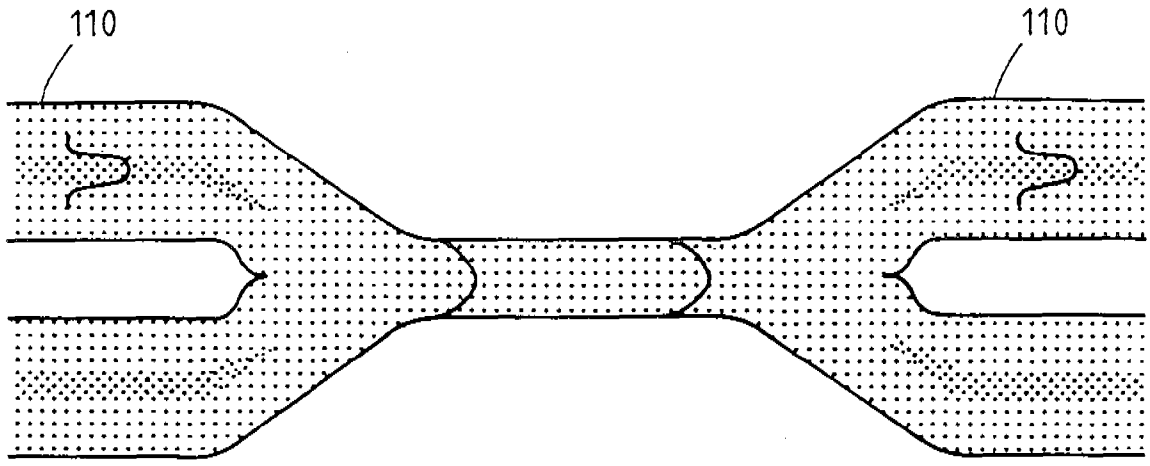


Figure 3A

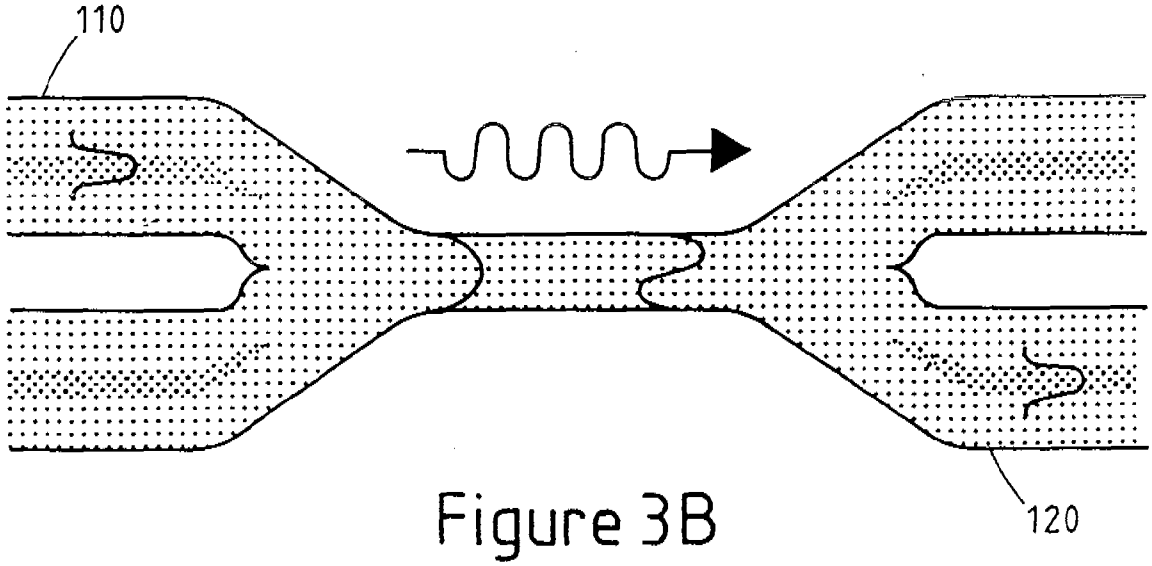


Figure 3B

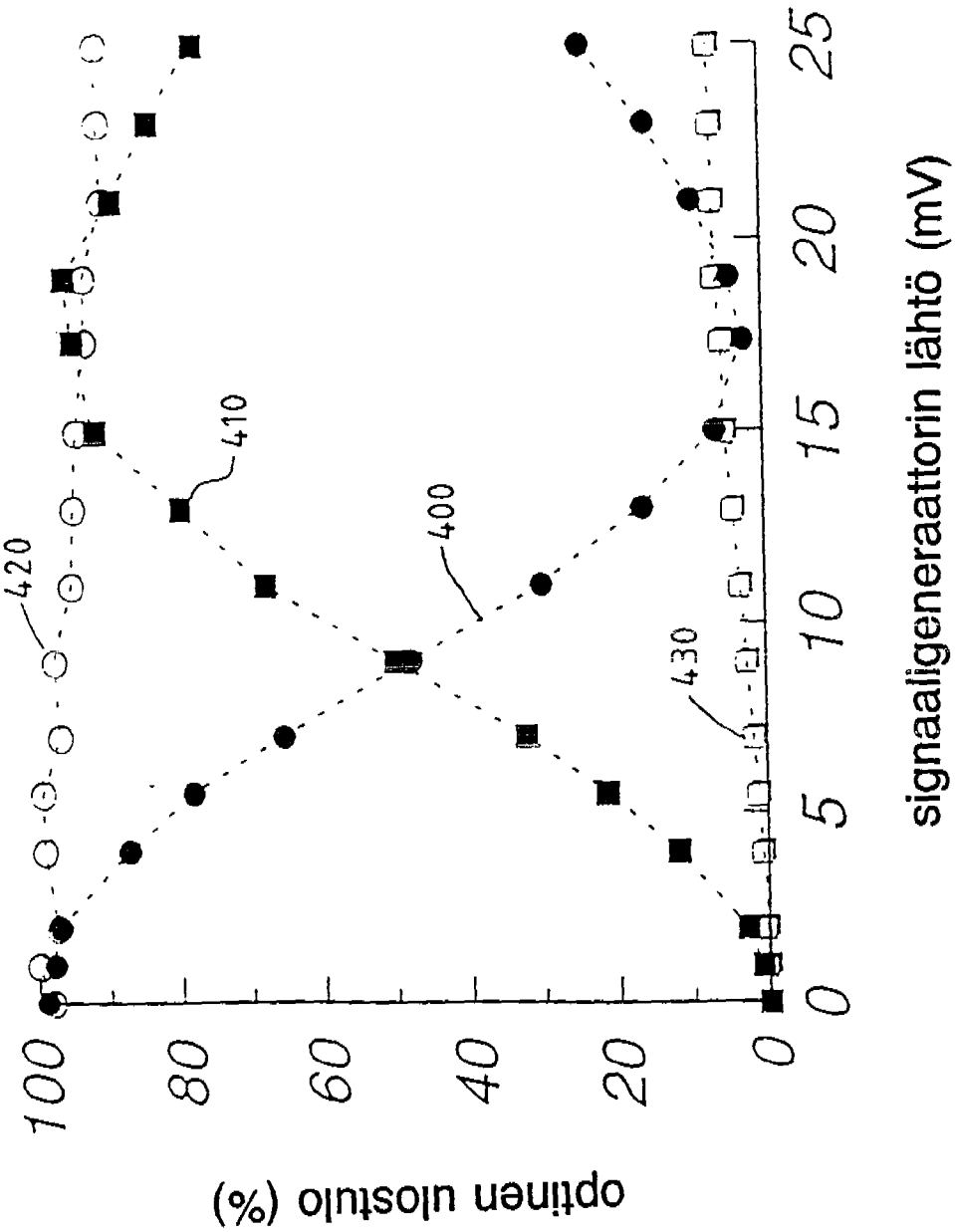

optinen ulostulo (%)
100
80
60
40
20
0
0
5
10
15
20
25
signaaligeneraattorin lähtö (mV)
420
410
400
430

Figure 4

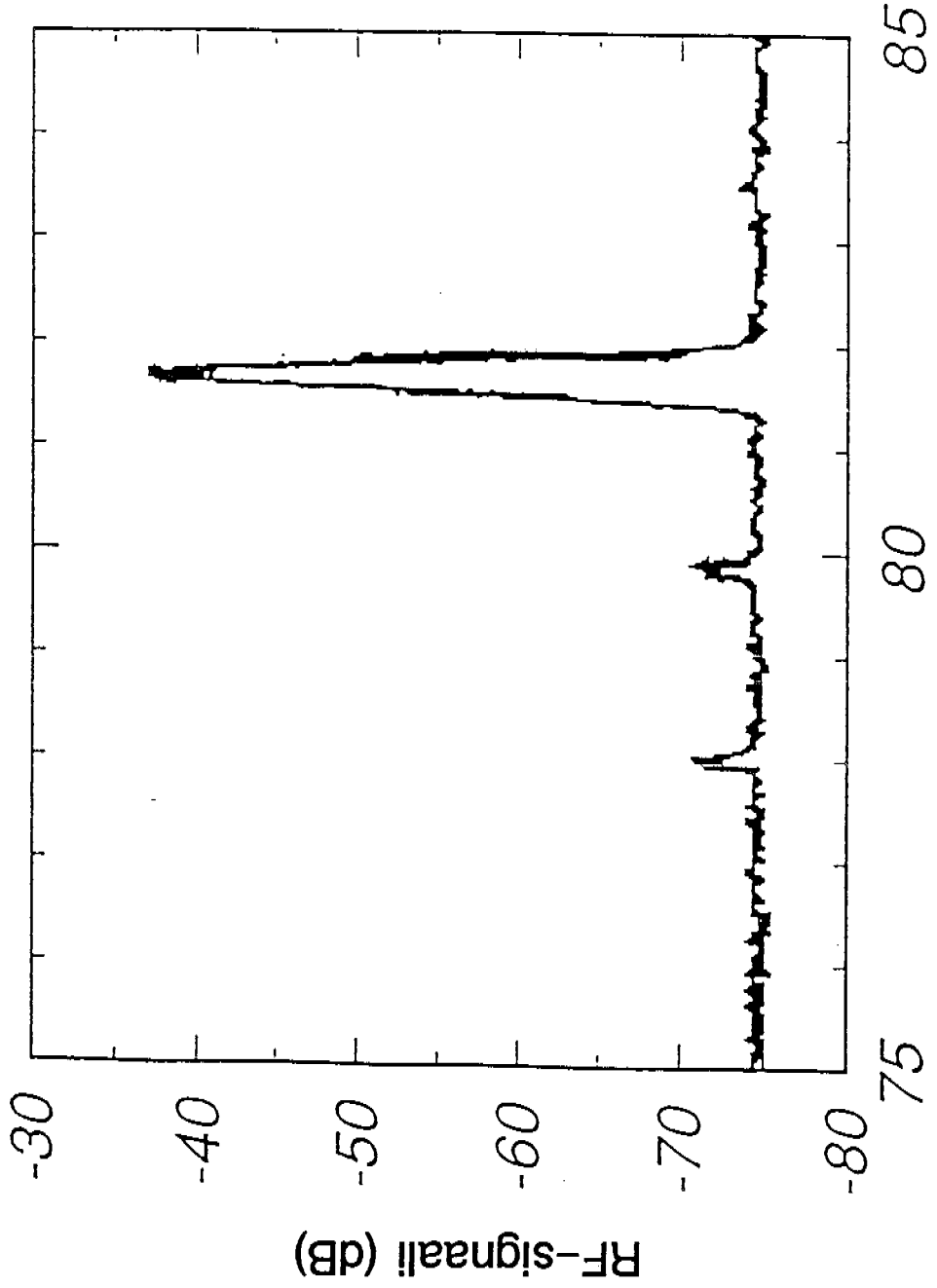


Figure 5

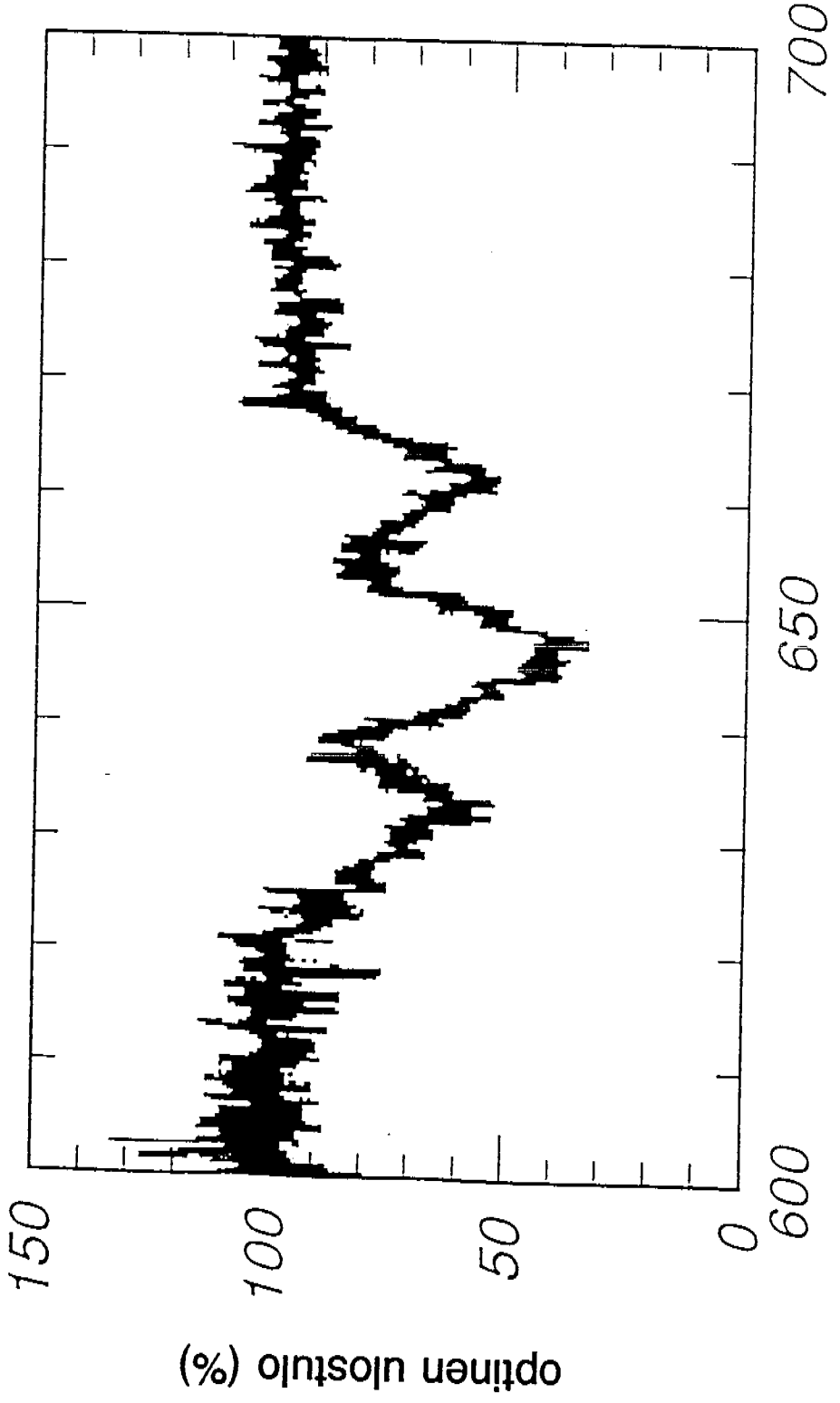


Figure 6

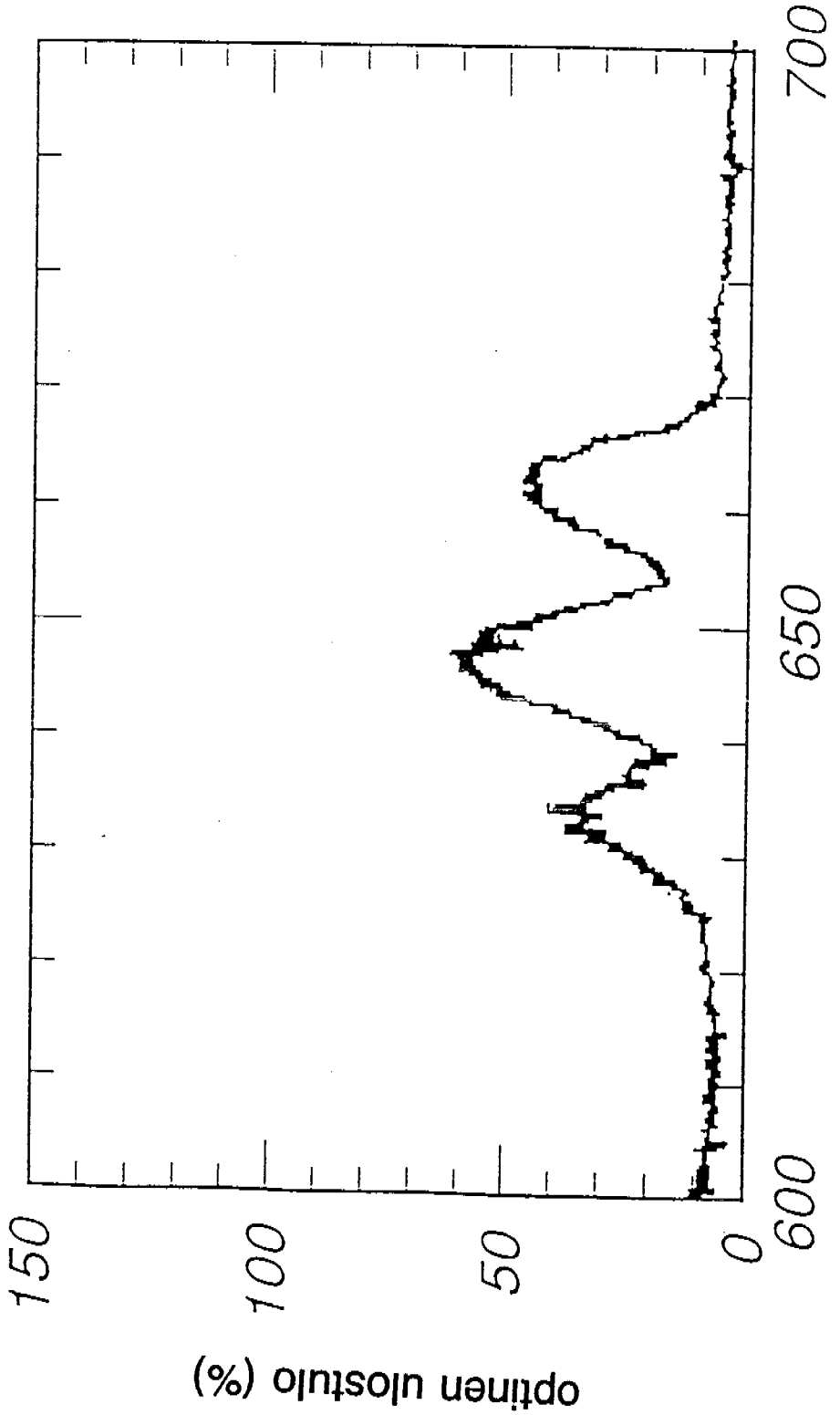


Figure 7

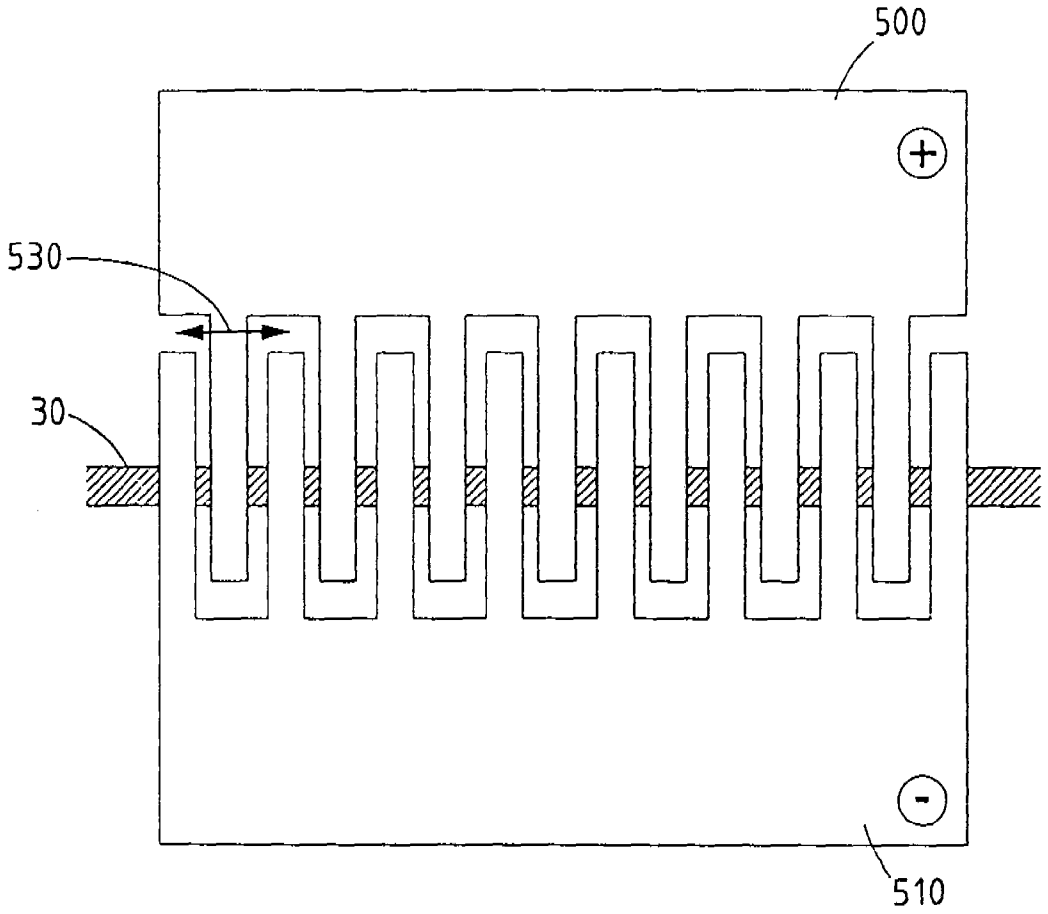


Figure 8

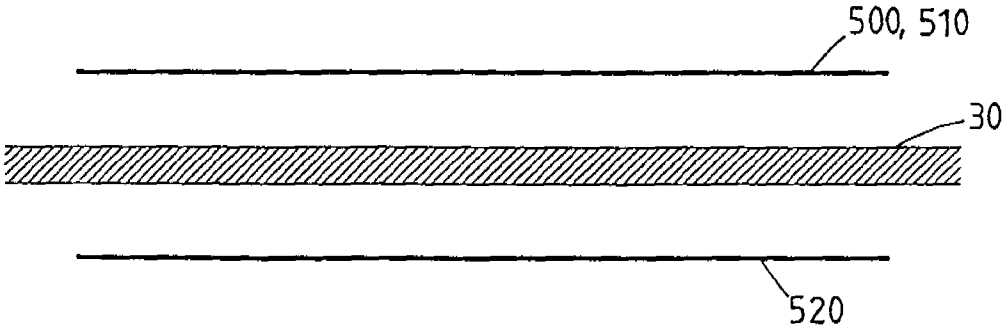


Figure 9