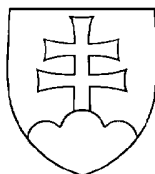


SLOVENSKÁ REPUBLIKA

(19) **SK**



ÚRAD
PRIEMYSELNÉHO
VLASTNÍCTVA
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

PATENTOVÝ SPIS

- (21) Číslo prihlášky: 283-91
(22) Dátum podania: 06.02.91
(31) Číslo prioritnej prihlášky: 19280.A/90
(32) Dátum priority: 07.02.90
(33) Krajina priority: IT
(40) Dátum zverejnenia: 15.09.91
(45) Dátum zverejnenia udelenia vo Vestníku: 08.04.98
(86) Číslo PCT:

(11) Číslo dokumentu:

278 932

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl⁶:

G 02B 6/28
G 02F 1/315
H 01P 1/16

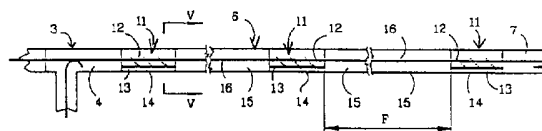
(73) Majiteľ patentu: PIRELLI CAVI S.p.A., Milano, IT;

(72) Pôvodca vynálezu: Grasso Giorgio, Monza (MI), IT;
Scrivener Paul Laurence, Southampton Hampshire, GB;

(54) Názov vynálezu: **Širokopásmový optický zosilňovač signálu**

(57) Anotácia:

Širokopásmový optický zosilňovač signálu, najmä na telekomunikačné vedenia z optických vlákien pracujúcich s prenášaným signálom vo vopred určenom pásme vlnovej dĺžky, obsahujúci dichroický väzobný člen (3), spôsobilý na multiplexovanie prenášaného signálu a svetelnej čerpacej energie v jedinom vystupujúcom vlákne (4), a aktívne optické vlákno (6) obsahujúce fluorescenčnú dotujúcu látku, pripojené k výstupnému vláknu (4) dichroického väzobného člena (3) a k vláknu telekomunikačného vedenia (7), spôsobilé na prijímanie a vysielanie zosilneného signálu. Aktívne optické vlákno (6) obsahuje prvé časti (11), z ktorých každá je tvorená optickým vláknom s dvoma jadrami (12, 13), z ktorých prvé jadro (12) je opticky spojené s jadrom (16) zvyšných častí aktívneho optického vlákna (6), zatiaľ čo druhé jadro (13) je prerušené na koncoch, pričom obidve jadrá (12, 13) sú spolu navzájom opticky viazané v pásme vlnovej dĺžky v oblasti vlnových dĺžok laserovej emisie prvého jadra (12) a odlišné od pásma prenášaného signálu.



Oblasť techniky

Vynález sa týka optických vlákien obsahujúcich dotujúce (dopujúce) látky na laserovú emisiu, spôsobilých na vykonávanie zosilňovania nimi vysielaného prenášaného signálu a na eliminovanie žiarení majúcich nežiaducu vlnovú dĺžku, vytváraných v nich spontánnou emisiou.

Doterajší stav techniky

Je známe, že optické vlákna majúce jadro dotované zvláštnymi látkami, ako sú ióny vzácnych zemín, sa vyznačujú stimulovanou emisiou vhodnou na použitie ako laserových zdrojov a ako optických zosilňovačov. Takéto vlákna môžu totiž byť napájané svetelným zdrojom pri určitej vlnovej dĺžke, ktorá je schopná uviesť atómy dotujúce látky do excitovaného energetického stavu, alebo čerpacej pásma, z ktorého atómy samotné spontánne prechádzajú vo veľmi krátkom čase do laserového emisného stavu, v ktorom zostávajú po relatívne dlhší čas.

Keď prechádza vláknom, majúcim vysoký počet atómov v excitovanom stave v emisnej úrovni, svetelný signál majúci vlnovú dĺžku zodpovedajúcu takémuto laserovému emisnému stavu, tak signál spôsobí prechod excitovaných atómov na nižšiu úroveň so svetelnou emisiou majúcou rovnakú vlnovú dĺžku ako signál. Vláknom tohto typu tak môže byť použité na získanie zosilnenia optického signálu.

Ak sa vychádza z excitovaného stavu, prechod atómov nastáva tiež spontánne a spôsobí náhodnú emisiu, ktorá tvorí šum pozadia, ktorý sa superponuje cez stimulovanú emisiu, zodpovedajúcu zosilnenému signálu.

Svetelná emisia vyvolaná zavádzaním svetelnej čerpacej energie do dotovaného aktívneho vlákna, môže nastávať pri niekoľkých vlnových dĺžkach, typických pre dotujúcu látku, čím vzniká fluorescenčné spektrum vlákna.

Na optické telekomunikačné vedenie sa normálne používa, s cieľom dosiahnuť maximálne zosilnenie pomocou vlákna uvedeného typu a v kombinácii s vysokým pomerom signálu k šumu, signál normálne vytváraný laserovým emitorm s vlnovou dĺžkou, zodpovedajúcou vrcholu fluorescenčnej spektrálnej krivky vlákna, obsahujúceho použitú dotujúcu látku.

Predovšetkým na zosilňovanie optických telekomunikačných signálov je vhodné používať aktívne vlákna s jadrom dotovaným iónmi erbia (Er^{3+}). Fluorescenčné spektrum erbia však má v rozsahu zaujímavých vlnových dĺžok obzvlášť úzky emisný vrchol, a preto vyžaduje používať ako zdroj prenášaného signálu laserový emitorm pracujúci pri zvláštny vlnovej dĺžke s obmedzenou toleranciou, pretože okrem tohto tolerančného pásma by nebol primerane zosilnený, zatiaľ čo by súčasne vznikla pri takejto vrcholovej vlnovej dĺžke silná spontánna emisia, vytvárajúca šum pozadia, ktorý by silne narušil kvalitu prenosu.

Laserové emitory majúce uvedené vlastnosti, t. j. pracujúce pri emisnom vrchole erbia, sa dajú oproti tomu len ťažko a nákladne vyrobiť, zatiaľ čo bežná priemyselná produkcia poskytuje laserové emitory, ako sú napríklad polovodičové lasery (indium In, gálium Ga, arzén As), majúce niektoré charakteristické vlastnosti, ktoré ich robia vhodnými pre telekomunikácie, ale majú pomerne široké tolerancie, ak ide o vlnovú dĺžku emisie. Iba ob-

medzené množstvá laserových emitormov takéhoto druhu tak majú emisiu na uvedenej vrcholovej vlnovej dĺžke.

Zatiaľ čo pri niektorých aplikáciách, ako sú napríklad podmorské telekomunikačné vedenia, môže byť prijateľné použiť emitory prenášaných signálov pracujúcich pri zvláštny hodnote vlnovej dĺžky, získané napríklad starostlivou voľbou medzi lasermi tržnej produkcie, teda použiť iba tie, ktoré majú emisiu v rámci určitej malej oblasti laserového emisného vrcholu vlákna zosilňovača, nie je takýto proces finančne prijateľný na vedenie iných druhov, ako sú napríklad mestské komunikačné vedenia, kde je obmedzenie inštalačných nákladov obzvlášť dôležité.

Napríklad vlákno dotované erbiom kvôli umožneniu jeho laserovej emisie má emisiu s vrcholom okolo 1536 nm. V rozmedzí ± 5 nm od tejto hodnoty má emisia vysokú intenzitu a môže byť použitá na zosilnenie signálu v rovnakom rozmedzí vlnovej dĺžky. Tržné vyrábané polovodičové lasery, ktoré môžu byť použité na prenos, sú však zvyčajne vyrábané s hodnotami vlnovej dĺžky emisie v rozmedzí od 1520 do 1570 nm.

Je zjavné, že veľké množstvo pricmyselne vyrábaných laserov tohto druhu je mimo rozsah vhodný na zosilňovanie pomocou erbia a nemôže byť preto použité na vytváranie telekomunikačných signálov vo vedeniach opatrených erbiovými zosilňovačmi typu opísaného.

Je však známe, že vlákna dotované erbiom majú oblasť emisného spektra vysokej a v podstate konštantnej intenzity v pásme vlnových dĺžok, nadväzujúcim za uvedeným vrcholom, dostatočne širokým na zahrňovanie veľkej časti oblasti emisie uvedených zaujímavých tržných laserov. Vo vlákne tohto typu by však bol signál poskytovaný s vlnovou dĺžkou ďaleko od maximálneho emisného vrcholu zosilňovaný v obmedzenej miere, zatiaľ čo spontánne prechody z laserového emisného stavu vo vlákne sa uskutočňujú v prevažnej miere s emisiou pri vrcholovej vlnovej dĺžke spektra pri 1536 nm, vytvárajúc šum pozadia, ktorý bude ďalej zosilňovaný pri súčasnom šírení po dĺžke vlákna a bude sa tak superponovať cez užitočný signál.

Pre použitie aktívnych vlákien dotovaných erbiom na zosilňovanie telekomunikačných signálov vytváraných polovodičovými laserovými emitormi trhového typu, ako bolo opísané, vzniká potreba filtrácie spontánnej vrcholovej emisie erbia po dĺžke aktívneho vlákna, takže takáto emisia pri nežiaducej vlnovej dĺžke neodvedie čerpaciu energiu od zosilňovania signálu a nebude sa superponovať cez neho.

Na tento účel je možné použiť aktívne vlákna majúce dve jadrá, v jednom z nich sú vysielané prenášaný signál a čerpacia energia, zatiaľ čo v druhom je dotujúca látka absorbujúca svetlo. Ak dve jadrá sú opticky viazané pri vrcholovej vlnovej dĺžke spontánnej emisie, bude táto emisia prenášaná do druhého jadra, kde je absorbovaná, bez toho, aby sa mohla ďalej opäť superponovať cez prenosovú vlnovú dĺžku (vlnovú dĺžku prenosu, vysielaciu vlnovú dĺžku).

Takéto aktívne vlákno, opísané v talianskej patenteovej prihláške č. 22654 A/89 rovnakého prihlasovateľa, vykonáva účinné filtračné pôsobenie nežiaducej vlnovej dĺžky, ale v niektorých aplikáciách, kde je vystavené mechanickým alebo tepelným napätiam, a hlavne stavu krútenia, môže viesť k zmene parametrov optickej väzby medzi jadrami a mení sa hodnota vlnovej dĺžky prenášaná do druhého absorbujúceho jadra.

Vzniká tak problém zaistiť, aby bolo k dispozícii aktívne optické vlákno na použitie v optických zosilňovačoch, ktoré môžu byť použité v kombinácii s laserovými emitormi prenášaného signálu tržného typu bez toho, aby sa na ne kladli významné kvalitatívne obmedzenia, ktoré by okrem iného bolo v podstate necitlivé na deformačné napätie a stavy im udeľované počas stavby zosilňovača alebo vyskytujúce sa pri ukladaní a pri výkone funkcie zosilňovača na linke.

Cieľom vynálezu je vytvoriť zosilňovač s dotovaným optickým vláknom, ktorý môže poskytnúť uspokojivé zosilňovanie v dostatočne širokom rozmedzí vlnových dĺžok, aby sa tak dovolilo použitie tržných laserových emitov, vylučujúce spontánnu emisiu materiálu pri nežiaducej vlnovej dĺžke, ktorá tvorí šum pozadia vysokej intenzity vzhľadom na prenášaný signál a ktoré by udržiavali takéto vlastnosti stabilné počas podmienok prevádzky.

Podstata vynálezu

Uvedený cieľ je dosiahnutý širokopásmovým optickým zosilňovačom signálu, obzvlášť na telekomunikačné vedenia z optických vlákien pracujúcich s prenášajúcim signálom vo vopred určenom pásme vlnovej dĺžky, obsahujúcim dichroický väzobný člen, vhodný na multiplexovanie prenášaného signálu a svetelnej čerpacej energie v jedinom vystupujúcom vlákne, a aktívne optické vlákno obsahujúce fluorescenčnú dotujúcu látku, pripojené k výstupnému vláknu dichroického väzobného člena a k vláknu telekomunikačného vedenia, spôsobilé na prijímanie a vysielanie zosilneného signálu, ktorého podstatou je, že aktívne optické vlákno obsahuje prvé časti, z ktorých každá je tvorená optickým vláknom s dvoma jadrami, z ktorých prvé jadro je opticky spojené s jadrom zostávajúcich častí aktívneho vlákna, zatiaľ čo druhé jadro je prerušené na koncoch, pričom obidve jadrá sú spolu vzájomne opticky viazané v pásme vlnovej dĺžky v oblasti vlnových dĺžok laserovej emisie prvého jadra a odlišné od pásma prenášaného signálu.

Vo výhodnom vyhotovení obsahuje druhé jadro dvojjadrových prvých častí aktívneho optického vlákna dotujúcu látku, majúcu vysokú svetelnú absorpciu v oblasti laserovej emisie dotujúcej látky aktívneho vlákna. Výhodne je dotujúca látka s vysokou svetelnou absorpciou druhého jadra tvorená rovnakou fluorescenčnou látkou, aká je prítomná v aktívnom vlákne.

Prvé jadro dvojjadrovej prvej časti vlákna môže obsahovať fluorescenčnú dotujúcu látku alebo alternatívne, iba druhé jadro každej dvojjadrovej prvej časti aktívneho optického vlákna obsahuje fluorescenčnú dotujúcu látku.

Výhodne je v každom prípade fluorescenčná dotujúca látka prítomná aspoň v druhých častiach aktívneho optického vlákna, majúcich jediné jadro, erbium.

Podľa ďalšieho vyhotovenia vynálezu môže byť dotujúca látka, prítomná v druhom jadre, látka majúca vysokú svetelnú absorpciu po celom spektre, zvolená medzi titánom, vanádom, chrómom alebo železom, aspoň sčasti prítomných v ich stave nižšieho mocnenstva.

Dĺžka každej dvojjadrovej prvej časti vlákna je podľa ďalšieho znaku vynálezu rovná alebo väčšia ako pulzová dĺžka medzi jadrami, viazanými vo zvolenom väzobnom pásme medzi jadrami.

Pod pojmom pulzová dĺžka (L_p) sa tu chápe, ako bude ešte podrobne vysvetlené v opise na obr. 7, vzdialenosť

medzi maximom a minimom sínusoidy znázorňujúcej optický výkon v každom z jadier dvojjadrovej časti vlákna. Súčasne ide o dĺžkový rozdiel vo fáze medzi optickým výkonom v jednom jadre a v druhom jadre. Graficky je pulzová dĺžka (beating length) vyjadrená na obr. 7.

Obsah dotujúcej látky, majúcej vysokú svetelnú absorpciu v druhom jadre a väzobné charakteristiky jadier vlákna sú podľa ďalšieho znaku vynálezu v takom vzájomnom vzťahu, aby sa v druhom jadre určila zhášacia dĺžka menšia ako jedna desatina pulzovej dĺžky medzi viazanými jadrami.

Pod pojmom "zhášacia dĺžka" (quenching length) sa chápe dĺžka L vlákna, za ktorou je svetelná energia vo vlákne redukovaná hodnotou $1/e$, ako je podrobnejšie vysvetlené v opise.

V zvláštnom vyhotovení vynálezu je druhé jadro bez akejkoľvek dotujúcej látky absorbujúcej svetlo a každá dvojjadrová prvá časť vlákna má dĺžku rovnú celému násobku pulzovej dĺžky s toleranciou 10 % pulzovej dĺžky samotnej.

V prípade, že fluorescenčná dotujúca látka aktívneho vlákna je erbium, sú obidve jadrá spolu opticky viazané medzi 1530 a 1540 nm.

Prvé jadro každej dvojjadrovej prvej časti vlákna je podľa ďalšieho znaku vynálezu usporiadané súsovo s vonkajším povrchom vlákna, vo vzájomnom nastavení s jadrami vo zvyšných častiach aktívneho vlákna a s jadrami vlákien, ku ktorým je zosilňovač pripojený, pričom druhé jadro je na svojich koncoch umiestnené proti plášťu vlákien.

Aspoň prvé z obidvoch jadier dvojjadrovej prvej časti vlákna je podľa ďalšieho znaku vynálezu prispôbené na umožňovanie jednovidového svetelného šírenia pri prenosovej vlnovej dĺžke (vlnovej dĺžke prenosu, vysielacej vlnovej dĺžke) a čerpacej vlnovej dĺžke.

Aktívne vlákno má podľa ďalšieho znaku vynálezu úseky vlákna, obsahujúce fluorescenčnú dotujúcu látku, umiestnené medzi dvoma po sebe nasledujúcimi dvojjadrovými prvými časťami vlákna, majúcimi dĺžku nie väčšiu ako je dĺžka zodpovedajúca maximálnemu dosiahnutelnému zisku 15 dB pri väzobnej vlnovej dĺžke medzi jadrami dvojjadrovej prvej časti vlákna a výhodne medzi 1 a 5 dB.

Aspoň jeden koniec aktívneho vlákna je podľa ďalšieho znaku vynálezu tvorený dvojjadrovou prvou časťou vlákna.

Dvojjadrové vláknové časti sú podľa ďalšieho znaku vynálezu mechanicky zakriviteľné do oblúka kvôli jemnému nastaveniu pásma väzobnej vlnovej dĺžky medzi jadrami.

Výhodne je každá dvojjadrová prvá časť vlákna iba pripevnená k zodpovedajúcej podpornej doštičke, v podstate nedeformovateľnej v prevádzkových podmienkach.

Ďalej môže byť každá dvojjadrová prvá časť vlákna iba pripevnená k príslušnej podpornej doštičke v podmienkach zakrivenia zodpovedajúcich požadovanému pásmu väzobnej vlnovej dĺžky medzi jadrami.

Vynález prináša zosilňovač s dotovaným optickým vláknom, ktorý poskytuje uspokojivé zosilňovanie v dostatočne širokom rozmedzí vlnových dĺžok, pri použití tržných laserových emitov, vylučujúci spontánnu emisiu materiálu pri nežiaducej vlnovej dĺžke, ktoré by tvorili šum pozadia vysokej intenzity vzhľadom na prenášaný signál. Takéto laserové emitory sa ukazujú pri realizácii vynálezu ako prijateľné i s ich širokou výrobnou toleranciou, pričom sa súčasne zaistuje, že vysoký zosilňo-

vací výkon je v podstate konštantný a nezávislý od skutočnej emisnej hodnoty použitého emitora signálu. Dosiahnuté vlastnosti sú pritom stabilné v podmienkach prevádzky.

Prehľad obrázkov na výkresoch

Vynález je bližšie vysvetlený v nasledujúcom opise na príkladoch vyhotovenia s odvolaním na pripojené výkresy, v ktorých znázorňuje:

- obr. 1 schému optického zosilňovača používajúceho aktívne vlákno,
- obr. 2 schému energetických prechodov vlákien typu, ktorý môže byť použitý na zosilňovač podľa schémy z obr. 1, vhodný na vytváranie stimulovanej emisie (laseru),
- obr. 3 schému krivky stimulovanej emisie optického vlákna vyrobeného z kremíka, dotovaného erbiom Er^{3+} ,
- obr. 4 zväčšený schematický pohľad na optický zosilňovač podľa vynálezu,
- obr. 5 aktívne vlákno zosilňovača v reze rovinou V - V z obr. 4,
- obr. 6 graf závislosti konštant svetelného šírenia v jadrách od vlnovej dĺžky,
- obr. 7 podrobnosť časti aktívneho optického vlákna podľa vynálezu, obsahujúceho úsek majúci dve jadrá, a znázornenie krivky prenosu svetelnej energie medzi jedným jadrom a druhým jadrom pri vlnovej dĺžke,
- obr. 8 podrobnosť časti optického vlákna podľa vynálezu, obsahujúcej úsek dvojjadrového vlákna majúceho dĺžku rovnú pulzovej dĺžke, a
- obr. 9 schému časti vlákna zosilňovača podľa vynálezu s dvojjadrovými časťami s núteným zakrivením.

Príklady uskutočnenia vynálezu

Na účely zosilňovania signálu v optických vláknach na telekomunikáciu sa môžu bežne používať zosilňovače využívajúce optické vlákna. Štruktúra takýchto zosilňovačov je schematicky znázornená na obr. 1. Na obr. 1 je zrejme optické vlákno 1 pre telekomunikácie, pozdĺž ktorého je vysielaný vysielací signál, majúci vlnovú dĺžku λ_s , vytváraný laserovým emitomom 2 signálu. Takýto signál, stlmený na určité časové dĺžky, je vysielaný do dichroického väzobného člena 3, kde je kombinovaný na jedinom vystupujúcom vlákne 4 s čerpacím signálom majúcim vlnovú dĺžku λ_p , vytváraným čerpacím laserovým emitomom 5. Aktívne vlákno všeobecne označené ako aktívne optické vlákno 6, pripojené k vláknu 4 opúšťajúcemu väzobný člen, tvorí zosilňovací prvok signálu, ktorý je tak zavádzaný do linkového vlákna 7, aby pokračoval k miestu svojho určenia.

Na vytvorenie aktívneho optického vlákna 6, tvoriaceho zosilňovací prvok jednotky, je podľa výhodného vyhotovenia vynálezu vhodné použiť optické vlákno vytvorené z kremíka, ktorého jadro je dotované roztokom oxidu erbitého Er_2O_3 , ktorý dovoľuje výhodné zosilňovanie prenášaného signálu pri využití prechodov erbiového lasera.

Ako ukazuje diagram na obr. 2, vzťahujúci sa na vlákno obsahujúce dotujúcu prísadu uvedeného typu, čo symbolicky predstavuje energetické stavy, ktoré sú k dispozícii pre ión erbia v roztoku v základnej hmote kremí-

kového jadra, vedie zavádzanie svetelnej energie, majúcej čerpaciu vlnovú dĺžku λ_p menšiu ako je vlnová dĺžka λ_s prenášaného signálu (prenosová vlnová dĺžka), do aktívneho vlákna, že určitý počet iónov erbia Er^{3+} , prítomných ako dotujúca látka vo vlákne, do excitovaného energetického stavu pásma 8, ďalej definovaného ako čerpacie pásmo, z ktorého ióny spontánne prechádzajú na energetickú úroveň 9, tvoriacu úroveň laserovej emisie.

V úrovni 9 laserovej emisie môžu ióny Er^{3+} erbia zostávať po porovnateľne dlhé časové obdobie pred tým, ako sú vystavené spontánnemu prechodu do základnej úrovne 10.

Ako je známe, zatiaľ čo prechod z pásma 8 na úroveň 9 je spojený s emisiou tepelného typu, ktorá je rozptýlená mimo vlákna (fotónová radiácia), prechod z úrovne 9 na základnú úroveň 10 vytvára svetelnú emisiu s vlnovou dĺžkou zodpovedajúcou energetickej hodnote laserovej emisie. Ak potom vláknom obsahujúcim veľké množstvo iónov na úrovni laserovej emisie prechádza signál majúci vlnovú dĺžku zodpovedajúcu takejto emisnej úrovni, signál spôsobí stimulovaný prechod týchto iónov z emisného stavu do základného stavu pred ich spontánnym prechodom s kaskádnym efektom, ktorý na výstupe z aktívneho vlákna spôsobí emisiu silne zosilneného prenášaného signálu.

V neprítomnosti prenášaného signálu vyvoláva spontánny prechod laserových emisných stavov, ktoré sú v oddelenom počte, typickým pre každú látku, svetelnú účinnosť s vrcholmi pri rôznych frekvenciách, zodpovedajúcich úrovniám, ktoré sú k dispozícii. Konkrétne má, ako je znázornené na obr. 3, vlákno typu Si/Al alebo Si/Ge, dotované erbiom Er^{3+} , vhodné na použitie v optických zosilňovačoch, emisný vrchol s vysokou intenzitou pri vlnovej dĺžke 1536 nm, zatiaľ čo pri väčších vlnových dĺžkach tak okolo 1560 nm je oblasť, v ktorej má emisia stále vysokú intenzitu, ale menšiu ako vo vrchovej oblasti.

V prítomnosti svetelného signálu zavádzaného do vlákna pri vlnovej dĺžke zodpovedajúcej emisnému vrcholu erbia Er^{3+} pri 1536 nm dochádza k veľmi silnému zosilneniu signálu, zatiaľ čo šum pozadia, vyplývajúci zo spontánnej emisie erbia, zostáva obmedzený a toto robí vlákno vhodným na použitie v optickom zosilňovači pre signál takejto vlnovej dĺžky.

Na vytváranie signálu sú na trhu dostupné a bežne používané lasery polovodičového typu (indium In, gálium Ga, arzén As), ktoré majú typické emisné pásmo od 1,52 do 1,57 Nm. To znamená, že ich výrobná technológia nie je schopná pre všetky vyrobené prvky zaručiť emisiu prenášaného signálu pri konkrétnej frekvenčnej hodnote, zodpovedajúcej emisnému vrcholu vlákna dotovaného erbiom používaného ako zosilňovače, pričom sa naopak získava vysoké percento dielov so signálom v sekciiach emisnej krivky vlákna v blízkosti uvedeného emisného vrcholu.

Signál vytváraný takýmito laserovými emitormi by nebol schopný zosilnenia s dostatočným ziskom v optickom zosilňovači dotovanom erbiom Er^{3+} typu opísaného, pretože čerpacia energia zavádzaná do aktívneho vlákna by bola z väčšej časti využitá na zosilňovanie šumu pozadia, ktorý je vytváraný vnútri aktívneho vlákna samotného zosilňovača pri spontánnej emisii erbia pri vlnovej dĺžke okolo 1536 nm.

Aby sa teda mohli používať laserové emitory uvedeného typu, pri ich akceptovaní v rozsahu ich výrobných

tolerancii dostatočne širokom pre to, aby sa ich použitie stalo nenákladným, v kombinácii so zosilňovačmi používajúcimi vlákna dotovaných erbiom, t. j. všeobecne povedané kvôli umožneniu použitia zvláštnych typov laserových signálových emitorov v kombinácii s fluorescenčnými dotujúcimi látkami, majúcimi vysoký šum pozadia vzhľadom na spontánne prechody z laserového stavu, navrhuje vynález použiť aktívne optické vlákno 6 podľa obr. 4, ktoré obsahuje prvé časti 11 vlákna majúce dve jadrá 12 a 13, uzatvorené v rovnakom vonkajšom plášti 14, prestriedané druhými časťami 15 s jedným jadrom 16.

V každej časti 11 je jadro 12 pripojené k jadru 16 príslušných druhých častí 15 a na koncoch aktívneho vlákna k vláknu 4 opúšťajúceму dichroický väzobný člen a k linkovému vláknu 7, a toto jadro tak vedie prenášaný signál. Jadro 13, alebo sekundárne vlákno, je prerušené na dvoch koncoch každej časti dvojjadrovej prvej časti 11 vlákna a nemá ďalšie spoje.

Obe jadrá 12, 13 časti vlákna 11 sú vytvorené tak, že zodpovedajúce konštanty β_1 a β_2 svetelného šírenia vo vlákne, ktorých krivky premien sú znázornené na obr. 6, sú také, že zaisťujú optickú väzbu medzi oboma jadrami 12, 13 pri vlnovej dĺžke maximálneho emisného vrcholu fluorescenčnej dotujúcej prísady, konkrétne 1536 nm pre erbium, a v rozmedzí λ_1 a λ_2 , ktorých amplitúda je určená sklonom kriviek λ_1 a λ_2 , v oblasti ich priesečníka a v podstate zodpovedá, ako ukazuje obr. 3, amplitúde samotného emisného vrcholu, vytvárajúceho šum pozadia.

Ako príklad je možné uviesť, že väzobné rozmedzie medzi jadrami 12 a 13, v prípade kedy je použité erbium ako dotujúca látka v jadre 16, môže byť v rozmedzí vlnových dĺžok od $\lambda_1 = 1530$ nm do $\lambda_2 = 1540$ nm.

To znamená, že svetlo majúce vlnovú dĺžku okolo 1536 nm, ktoré sa šíri v jadre 12 spolu s prenosovým signálom a ktoré v podstate tvorí šum pozadia vzhľadom na spontánnu emisiu erbia, je periodicky prenášané z jadra 12 do jadra 13 podľa známych zákonov optickej väzby, opísaných napríklad na str. 84 a 90 časopisu *Journal of Optical Society of America*, ANel. 2, č. 1, Január 1985.

Ako je znázornené na obr. 7, svetelný výkon pri vlnovej dĺžke optickej väzby medzi jadrami je rozdeľovaný medzi jadrami podľa v podstate sínusovitej krivky, zasahujúcej 100 % v jednom z jadier v jednom bode vlákna a po vzdialenosti L_B , označovanej ako pulzová dĺžka, 100 % v druhom z jadier, zatiaľ čo vo všeobecnom úseku vlákna je svetelný výkon rozdelený medzi jeho oboma jadrami.

Prenášaný signál má v jadre 12 oproti tomu vlnovú dĺžku λ_s odlišnú od tej, pri ktorej dochádza k väzbe jadier 12 a 13, napríklad rovnú 1550 nm a zostáva tak obmedzený na jadro 12 bez prenášania do jadra 13. Rovnako tak má čerpacie svetlo prenášané do jadra 16 dichroickým väzobným členom 3, napríklad pri vlnovej dĺžke λ_p 980 alebo 540 nm, konštanty šírenia, ktorými je v dvojjadrovej prvej časti 11 vlákna jeho prechod do jadra 13 vylúčený a v ktorom je tak zaistená neprítomnosť čerpacej energie.

Jadro 13 výhodne obsahuje dotujúcu látku, okrem dotujúcej látky, ktorá určuje jeho požadovaný profil indexu lomu a ktorá je tvorená materiálom majúcim vysokú svetelnú absorpciu po celom spektre alebo aspoň v emisnom vrchole dotujúcej látky jadra 16 zdroj šumu, ako bol

opísaný, hlavne na vrchole okolo 1536 nm v prípade použitia erbia ako dotujúcej látky lasera.

Látky vhodné na tento účel, majúce vysokú svetelnú absorpciu po celom spektre, sú napríklad opísané v európskej patentovej prihláške č. 88304182.4 a obsahujú hlavne prvky s premenlivým mocenstvom, ako je titán, vanád, chróm a železo, v ich nižšom mocenstve (Ti^{III} , V^{III} , Cr^{III} a Fe^{II}).

Medzi látkami majúcimi vysokú svetelnú absorpciu pri určitej vlnovej dĺžke, t. j. pri vlnovej dĺžke emisného vrcholu dotujúcej látky jadra 16, jednojadrovej druhej časti 15 zosilňujúceho aktívneho vlákna, ktorú je potrebné eliminovať, je obzvlášť výhodné používať rovnakú dotujúcu látku uvedeného aktívneho jadra. Fluorescenčná látka opatrená dostatočným množstvom čerpacej energie vykazuje určitú emisiu pri zvláštnej vlnovej dĺžke, zatiaľ čo rovnaká látka, keď nie je opatrená čerpacou energiou, pohlcuje svetlo pri rovnakej vlnovej dĺžke, pri ktorej dochádzalo k emisii v prítomnosti čerpania. Hlavné v prítomnosti jadra 16 dotovaného erbiom môže byť tiež druhé jadro 13 dvojjadrovej prvej časti 11 vlákna výhodne dotované erbiom. Pretože absorbná krivka erbia je podobná jeho fluorescencii alebo laserovej emisnej krivke znázornenej na obr. 3, vzniká týmto spôsobom pri stimulovanom emisnom vrchole pri 1536 nm podobný absorbný vrchol pri rovnakej vlnovej dĺžke.

Fluorescencia pri väzobnej vlnovej dĺžke medzi jadrami, t. j. pri 1536 nm, ktorá bola prenesená do jadra 13, tak nie je prenášaná zase späť do jadra 12, v ktorej je vedený prenášaný signál, pretože vnútri jadra 13 môže byť v podstate dokonalý útlm zavedeného svetla, ktoré je absorbované prítomnou dotujúcou látkou.

Emisia pri nežiaducej vlnovej dĺžke prítomnej v jadre 16 jednojadrovej druhej časti 15, tak môže byť zavádzaná do dvojjadrovej prvej časti 11 vlákna pred tým, ako začne mať nadmernú intenzitu a v ktorej môže byť extrahovaná z jadra 12 a rozptyľovaná v jadre 13, takže sa nedoobere čerpacia energia zo zosilňovania prenášaného signálu, zavádzaného jadrom 12 do jadra 16 nasledujúcej druhej časti 15 zosilňovacieho aktívneho vlákna a nedôjde k superponovaniu cez samotný signál.

Na tento účel je podľa vynálezu potrebné, aby úsek F jednojadrovej druhej časti 15 zosilňovacieho vlákna, predchádzajúcej dvojjadrovej prvej časti 11 vlákna, ako je znázornené na obr. 4, bol obmedzenej dĺžky, aby sa zabránilo nadmernému vzrastu šumu pozadia. Takáto dĺžka závisí od charakteristických vlastností vlákna samotného a hlavne od jeho zisku. V zosilňovači podľa vynálezu sa predpokladá, že dĺžka úseku F bude taká, aby určila maximálny zisk menší ako 15 dB a výhodne v rozmedzí od 1 do 5 dB pri väzobnej vlnovej dĺžke medzi jadrami a hlavne 1536 nm.

Jadro 12 dvojjadrovej prvej časti 11 vlákna môže byť bez fluorescenčnej dotujúcej prísady, takže celý zisk zosilňovania sa zverí druhým častiam 15 vlákna alebo môže obsahovať rovnakú dotujúcu látku ako jadro 16 druhých častí 15 aktívneho vlákna.

Dĺžka L_a dvojjadrovej časti vlákna je samotná väčšia ako pulzová dĺžka L_B . Okrem toho je obsah dotujúcej látky s vysokou svetelnou absorpciou v nej prítomný taký, že určuje zhášaciu dĺžku jadra 13 vlákna, ktorá je menšia o aspoň jeden veľkostný rád ako fázová vlnová dĺžka L_B : $L < 1/10 L_B$ (ako je známe zo zákona šírenia optického výkonu v tlmiacom prostredí $P = P_0 e^{-\alpha L}$, kde α je súčiniteľ závislý od tlmiacich vlastností vlákna a v

podstate od množstva tlmiacej dotujúcej látky v ňom prítomnej, pričom po dĺžke L vlákna je svetelná energia vo vlákne redukovaná faktorom $1/e$). Výhodne sú vlastnosti jadra 13 také, že majú zhášaciu dĺžku L menšiu o dva veľkostné rády, ako je pulzová dĺžka L_B .

Jadro 13 môže byť tiež bez akejkoľvek tlmiacej dotujúcej látky. V tomto prípade musí byť, ako je znázornené na obr. 8, dvojjadrová druhá časť 11 vlákna vytvorená s dĺžkou $L_A = L_B$, takže na konci druhého jadra 13 je svetelný výkon pri vlnovej dĺžke, ktorá má byť vylúčená, úplne odovzdávaný v samotnom jadre 13, takže v spojení s jednojadrovou druhou časťou 15 vlákna je rozptýlený v plášti samotnej druhej časti 15 vlákna.

Takéto riešenie je vhodné, pretože je možné vylúčiť vkladanie ďalších dotujúcich látok do dvojjadrového vlákna okrem tých, ktoré určujú jeho profil indexu lomu, ale oproti tomu vyžaduje v reze na mieru a v spojení prvej časti 11 vlákna k zvyšnému aktívnemu vláknu plusovú alebo mínusovú toleranciu vzhľadom na hodnotu pulzovej vlnovej dĺžky L_B nie väčšiu ako 10 % L_B , aby sa tak zaistila v samotnom spojení zásadná neprítomnosť šumovej vlnovej dĺžky v jadre 12.

V prípade, kedy sa takáto tolerancia dá dosiahnuť v praxi len ťažko, ako pri pulzových dĺžkach L_B pod niekoľko centimetrov, je preto výhodné používať útlmové látky v jadre 13, ako bolo opísané.

Určenie veľkosti dvojjadrových prvých častí 11 vlákna sa dosahuje tak, aby konštanty šírenia v oboch jadrách viedli k väzbe v pásme vycentrovanom okolo vlnovej dĺžky vrcholovej emisie (napríklad 1536 nm), ale nevyhnutné výrobné tolerancie môžu viesť k odchýlkam od požadovanej hodnoty.

Aby sa potom dosiahlo jemné nastavenie väzobnej vlnovej dĺžky podľa vynálezu, budú dvojjadrové prvé časti 11 vlákna zakrivené do tvaru oblúka, čím sa zavedú do vlákna vnútorné napätia, ktoré budú meniť ich parametre šírenia svetla a budú riadiť hodnotu väzobnej vlnovej dĺžky spolu s tým, ako sa zavedené zakrivenie mení, až sa dosiahne súlad s hodnotou požadovanej vlnovej dĺžky. Na udržiavanie takýchto tvarov sú tak dvojjadrové prvé časti 11 vlákna pripojené k príslušným podporným doštičkám 17, ako ukazuje obr. 9, napríklad pomocou lepidla, s cieľom stabilného udržania ich tvaru.

Jednojadrová druhá časť 15 vlákna ležiaca medzi dvojjadrovými prvými časťami 11 vlákna, môže byť umiestnená podľa požiadaviek vnútri plášťa obklopujúceho zosilňovač, napríklad vinutím do závitov, bez toho, aby toto malo akýkoľvek účinok na správanie zosilňovača z hľadiska oddeľovania vlnovej dĺžky tvoriacej šum, pričom dvojjadrové časti vlákna sú pevne držané v nútenom zakrivenom tvare, aký je pre ne najvhodnejší, ako bolo opísané a chránené proti ďalším napätiam.

S cieľom vyslať prenášaný signál na linkové vlákno 7 tvoriace nasledujúcu časť vedenia za zosilňovačom bez šumu, je výhodne posledná časť aktívneho optického vlákna 6 zosilňovača, v smere sledovanom prenášaným signálom, tvorená dvojjadrovou prvou časťou 11 vlákna. Na vedenia, ktoré majú byť používané dvojsemerne, sú obidva konce aktívnych vlákien tvorené dvojjadrovými prvými časťami 11 vlákna.

Vlákno podľa vynálezu tak vykonáva filtračné pôsobenie na svetlo vedené vnútri vlákna pri oddeľovaní a absorbovaní fotónov pri 1536 nm, ktoré sú vytvárané spontánnym prechodom z úrovne laserovej emisie iónov erbia Er^{3+} , čím sa tak zabráni takýmto fotónom, postu-

pujúcim po dlhom úseku aktívneho jadra v prítomnosti čerpacej energie, aby spôsobili ďalšie prechody pri takejto vlnovej dĺžke a v podstate sa dovoľuje, aby sa v jadre 12 šírila iba prenosová vlnová dĺžka a čerpacia vlnová dĺžka. Čerpacia vlnová dĺžka λ_c potom môže byť zvolená po celom rozmedzí, v ktorom má erbium významnú hodnotu laserovej emisie, napríklad medzi hodnotami λ_2 a λ_3 vyznačenými na obr. 3 (napríklad zodpovedajúcimi približne 1540 - 1560 nm). Tým sa umožní veľká voľnosť výberu laserového emitora prenášaného signálu na účely zosilňovania bez toho, aby sa objavovali rozdiely v správaní, pričom emitory signálov majú rôzne vlnové dĺžky obsiahnuté v dostatočne širokom pásme na prijímanie väčšiny obchodnej produkcie polovodičových laserov (na báze india, gália a arzenu). Súčasne dovoľuje toto riešenie v úsekoch majúcich zmenšenú dĺžku dvojjadrovej časti vlákna presné nastavenie väzobnej vlnovej dĺžky a dovoľuje im byť v zásade necitlivé na mechanické namáhanie.

Ako ukazuje obr. 5, má dvojjadrová prvá časť 11 vlákna výhodne jadro 12, použité na vedenie optického signálu, umiestnené súsovo vnútri plášťa 14 vlákna, zatiaľ čo druhé jadro 13 je usporiadané v excentrickej polohe.

Ako je znázornené na obr. 4, 7 a 8, môže byť vytvorené spojenie medzi dvojjadrovými prvými časťami 11 aktívneho optického vlákna 6, jednojadrovými druhými časťami 15 vlákna a vláknami 4 a 7, vytvorené tradičným spôsobom, bez zvláštného opatrenia tým, že sa konce vlákien samotných umiestnia proti sebe tradičnými spojovacími prostriedkami, ktoré vykonávajú vzájomné vycentrovanie medzi vláknami kontrolovaním ich vonkajších povrchov, kde zodpovedá správne vycentrovanie jadra 12 dvojjadrovej časti aktívneho vlákna v axiálnej polohe jadrám jednojadrových častí, bez akýchkoľvek podstatných spojových strát. Jadro 13, ktoré je v excentrickej polohe, nemusí byť pripojené k druhým jadrám, a tak zostáva prerušené na koncoch každej dvojjadrovej prvej časti vlákna 11 bez toho, aby sa vyžadovali akékoľvek ďalšie operácie.

Výhodne je jadro 12 s cieľom dosiahnutia najvyššej zosilňovacej účinnosti jednovidové tak pri signálovej vlnovej dĺžke, ako i pri čerpacej vlnovej dĺžke a jadro 13 je tiež jednovidové pri aspoň λ_c .

Ako príklad bol konštruovaný zosilňovač podľa schémy z obr. 1, obsahujúci aktívne optické vlákno 6 typu Si/Al, dotované erbiomom Er^{3+} , opatrené dvojjadrovými časťami, pričom hmotnostný obsah oxidu erbitého Er_2O_3 v jednojadrových častiach vlákna bol 40 ppm. V každej dvojjadrovej prvej časti 11 vlákna malo jadro 12 a jadro 13 polomer $a = 3,1$ m, číselnú apertúru $NA = 0,105$, index lomu $n^1 = 1,462$, oddelenie obidvoch jadier 12 a 13, udané na obr. 5, bolo $d = 3,5$ m, a jadro 12 bolo koaxiálne s vonkajším priemerom vlákna. Každá prvá časť 11 vlákna mala dĺžku $L_A = 100$ mm a susedila s dĺžkou F zosilňovacieho vlákna 5 m. Jadro 12 každej dvojjadrovej prvej časti 11 vlákna neobsahovalo žiadne erbium, zatiaľ čo jadro 13 malo obsah oxidu erbitého Er_2O_3 2500 ppm. Aktívne jadro malo celkovú dĺžku 30 m.

Keďže ako čerpací laserový emitör 5 bol použitý laser s argónovými iónmi, pracujúci pri 528 nm, s výkonom 150 mW, zatiaľ čo ako laserový emitör 2 signálu bol použitý bežný polovodičový laser (indium In, gálium Ga, arzén As) majúci výkon 1 mW, ktorého emisná vlnová dĺžka bola zameraná pri 1550 nm. Za zosilňovačom sa

získal pri uvedenom experimentálnom usporiadaní zisk 20 dB na vstupnom signále tlmenom na hodnotu 0,5 W.

Útlm vstupného signálu zosilňovača, vhodný na simulovanie skutočného stavu pri použití zosilňovača na linke bol dosiahnutý pomocou premenlivého tlmiča. V neprítomnosti signálu bola nameraná úroveň spontánnej emisie za zosilňovačom s hodnotou 10 W. Takáto emisía, ktorá tvorí šum pozadia, nepredstavuje výrazný šum pre signál, ktorý je zosilňovaný na oveľa vyššej úrovni (okolo 250 W).

Na porovnanie bol rovnaký vysielací laserový emitor 2, použitý v kombinácii so zosilňovačom majúci konštrukciu totožnú s predchádzajúcim príkladom, ale pri použití jednojadrového aktívneho optického vlákna 6, typu so skokovou zmenou indexu lomu na báze Al/Si, dotovaného erbiom Er³⁺ a obsahujúceho hmotovo 40 ppm erbia Er^{III} v jadre, pričom aktívne vlákno malo dĺžku 30 m. Takýto zosilňovač s prenášaným signálom pri vlnovej dĺžke 1560 nm vykazoval zisk menší ako 15 dB s úrovňou spontánnej emisie porovnateľnou s úrovňou výstupného signálu.

Ako je možné vidieť z udaných príkladov, jednojadrový zosilňovač vykazoval zmenšený zisk v prítomnosti signálu pri 1560 nm, zatiaľ čo tiež zavádzal šum s takou veľkosťou, že sa stalo problematickým prijímať samotný signál, čím sa ukázal ako nepoužiteľný na praktické použitie. Oproti tomu zosilňovač podľa vynálezu, používajúci aktívne vlákno opatrené dvojjadrovými časťami s dvoma jadrami viazanými spolu pri vlnovej dĺžke zodpovedajúcej emisnému vrcholu šumu pozadia, sa ukázal byť sám schopný zaistiť s rovnakým signálom pri 1560 nm vysoký zosilňovací zisk spolu so zanedbateľným zavedeným šumom.

Použitie zosilňovačov podľa vynálezu v telekomunikáciách tak dovoľuje, aby sa takéto vedenie stalo vhodným na prenos signálov vytváraných laserovými emitorami bežného trhového typu, ktoré sa ukazujú ako prijateľné i s ich širokou výrobnou toleranciou a súčasne sa zaisťuje, že vysoký zosilňovací výkon je v podstate konštantný a nezávislý od skutočnej emisnej hodnoty použitého emitoru signálu.

Je možné zaradiť rad obmien bez toho, aby sa opustil rozsah vynálezu z hľadiska jeho všeobecných charakteristických znakov.

P A T E N T O V É N Á R O K Y

1. Širokopásmový optický zosilňovač signálu, najmä na telekomunikačné vedenia z optických vlákien pracujúcich s prenášaným signálom vo vopred určenom pásme vlnovej dĺžky, obsahujúci dichroický väzobný člen, vhodný na multiplexovanie prenášaného signálu a svetelnej čerpacej energie v jednom vystupujúcom vlákne, a aktívne optické vlákno obsahujúce fluorescenčnú dotujúcu látku, pripojené k výstupnému vláknu dichroického väzobného člena a k vláknu telekomunikačného vedenia, spôsobilé na prijímanie a vysielanie zosilneného signálu, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že aktívne optické vlákno (6) obsahuje prvé časti (11), z ktorých každá je tvorená optickým vláknom s dvoma jadrami (12, 13), z ktorých prvé jadro (12) je opticky spojené s jadrom (16) zvyšných častí aktívneho optického vlákna (6), zatiaľ čo druhé jadro (13) je prerušené na koncoch, pričom obidve jadrá (12, 13) sú spolu navzájom opticky

viazané v pásme vlnovej dĺžky v oblasti vlnových dĺžok laserovej emisie prvého jadra (12) a odlišnej od pásma prenášaného signálu.

2. Širokopásmový optický zosilňovač signálu podľa nároku 1, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že druhé jadro (13) dvojjadrových prvých častí (11) aktívneho optického vlákna (6) obsahuje dotujúcu látku majúcu vysokú svetelnú absorpciu v oblasti laserovej emisie dotujúcej látky aktívneho vlákna.

3. Širokopásmový optický zosilňovač signálu podľa nároku 2, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že dotujúca látka s vysokou svetelnou absorpciou druhého jadra je tvorená rovnakou fluorescenčnou látkou, aká je prítomná v aktívnom optickom vlákne (6).

4. Širokopásmový optický zosilňovač signálu podľa nároku 1, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že prvé jadro (12) každej dvojjadrovej prvej časti (11) vlákna obsahuje fluorescenčnú dotujúcu látku.

5. Širokopásmový optický zosilňovač signálu podľa nároku 1, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že iba druhé jadro (13) každej dvojjadrovej prvej časti (11) aktívneho optického vlákna (6) obsahuje fluorescenčnú dotujúcu látku.

6. Širokopásmový optický zosilňovač signálu podľa nároku 1, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že fluorescenčná dotujúca látka prítomná aspoň v druhých častiach (15) aktívneho optického vlákna (6), majúcih jedině jadro, je erbium.

7. Širokopásmový optický zosilňovač signálu podľa nároku 2, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že dotujúca látka prítomná v druhom jadre (13) je látka majúca vysokú svetelnú absorpciu po celom spektre, zvolená medzi titánom, vanádom, chrómom alebo železom, aspoň sčasti prítomných v ich stave nižšieho mocnstva.

8. Širokopásmový optický zosilňovač signálu podľa nároku 1, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že dĺžka (L_A) každej dvojjadrovej prvej časti (11) vlákna je rovná alebo väčšia ako pulzová dĺžka (L_B) medzi jadrami (12, 13), viazanými vo zvolenom väzobnom pásme medzi jadrami.

9. Širokopásmový optický zosilňovač signálu podľa nároku 1, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že obsah dotujúcej látky, majúci vysokú svetelnú absorpciu, v druhom jadre (13) a väzobné charakteristiky jadier (12, 13) vlákna sú v takom vzájomnom vzťahu, aby sa v druhom jadre určila zhášacia dĺžka menšia ako jedna desatina pulzovej dĺžky medzi viazanými jadrami.

10. Širokopásmový optický zosilňovač signálu podľa nároku 8, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že druhé jadro (13) je bez akejkoľvek dotujúcej látky absorbujúcej svetlo a každá dvojjadrová prvá časť (11) vlákna má dĺžku (L_A) rovnú celému násobku pulzovej dĺžky (L_B) s toleranciou 10 % pulzovej dĺžky samotnej.

11. Širokopásmový optický zosilňovač signálu podľa nároku 6, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že obidve jadrá sú spolu opticky viazané medzi 1530 a 1540 nm.

12. Širokopásmový optický zosilňovač signálu podľa nároku 1, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že prvé jadro (12) každej dvojjadrovej prvej časti (11) vlákna je usporiadané súosovo s vonkajším povrchom vlákna, vo vzájomnom vycentrovaní s jadrami (16) vo zvyšných častiach aktívneho optického vlákna (6) a s jadrami vlákien (7), ku ktorým je zosilňovač pripojený, pri-

čom druhé jadro (13) je na svojich koncoch umiestnené proti plášťu jednojadrových druhých častí (15).

13. Širokopásmový optický zosilňovač signálu podľa nároku 1, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že aspoň prvé (12) z obidvoch jadier dvojjadrovej časti (11) vlákna je prispôsobené na umožňovanie jednovidového svetelného šírenia pri prenosovej vlnovej dĺžke a čerpacej vlnovej dĺžke.

14. Širokopásmový optický zosilňovač signálu podľa nároku 1, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že aktívne optické vlákno má úseky vlákna, obsahujúce fluorescenčnú dotujúcu látku, umiestnené medzi dvoma po sebe nasledujúcimi dvojjadrovými prvými časťami (11) vlákna, majúcimi dĺžku (F) nie väčšiu ako je dĺžka zodpovedajúca maximálnemu dosiahnuteľnému zisku 15 dB pri väzobnej vlnovej dĺžke medzi jadrami dvojjadrovej prvej časti (11) vlákna.

15. Širokopásmový optický zosilňovač signálu podľa nároku 14, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že úseky vlákna obsahujúce fluorescenčnú dotujúcu látku, umiestnené medzi dvoma po sebe nasledujúcimi dvojjadrovými prvými časťami (11) vlákna, majú dĺžku (F) nie väčšiu ako je dĺžka zodpovedajúca zisku 1 až 5 dB pri väzobnej vlnovej dĺžke medzi jadrami časti dvojjadrovej prvej časti (11) vlákna.

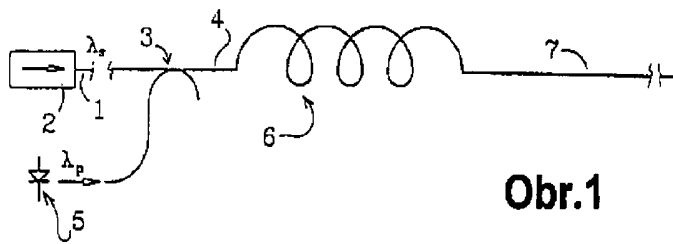
16. Širokopásmový optický zosilňovač signálu podľa nároku 1, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že aspoň jeden koniec aktívneho optického vlákna (6) je tvorený dvojjadrovou prvou časťou (11) vlákna.

17. Širokopásmový optický zosilňovač signálu podľa nároku 1, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že dvojjadrové prvé časti (11) vlákna sú mechanicky zakriviteľné do oblúka kvôli jemnému nastaveniu pásma väzobnej vlnovej dĺžky medzi jadrami.

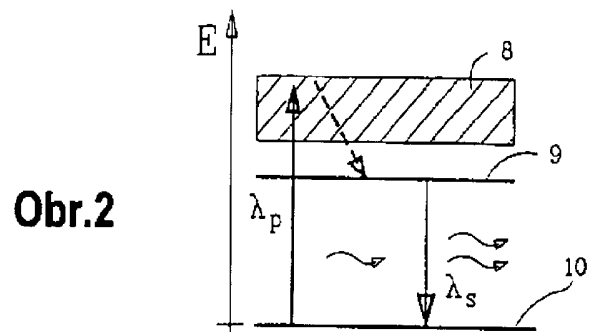
18. Širokopásmový optický zosilňovač signálu podľa nároku 1, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že každá dvojjadrová prvá časť (11) vlákna je iba pripevnená k zodpovedajúcej podpornej doštičke (17) v podstate nedeformovateľnej v prevádzkových podmienkach.

19. Širokopásmový optický zosilňovač signálu podľa nároku 17 alebo 18, **v y z n a ě u j ú c i s a t ý m**, že každá dvojjadrová prvá časť (11) vlákna je iba pripevnená k príslušnej podpornej doštičke (17) v podmienkach zakrivenia, zodpovedajúcich požadovanému pásmu väzobnej vlnovej dĺžky medzi jadrami.

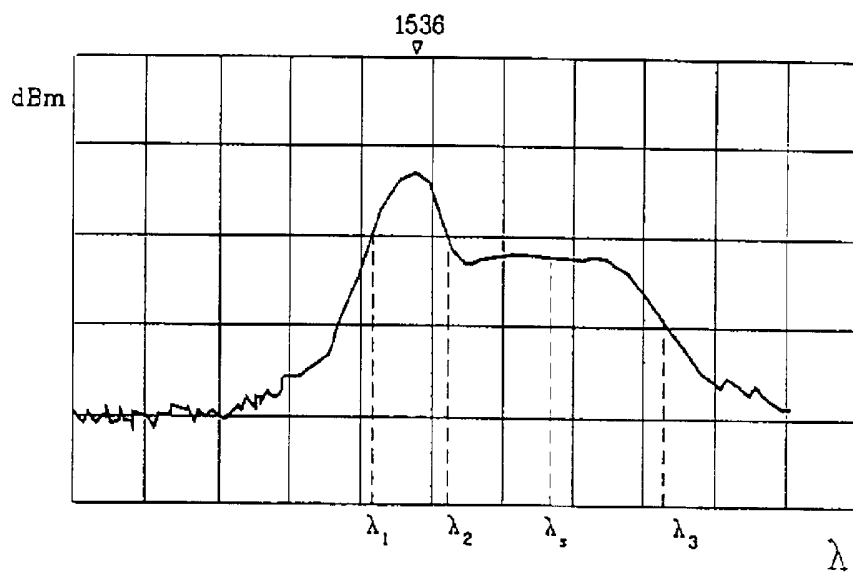
2 výkresy



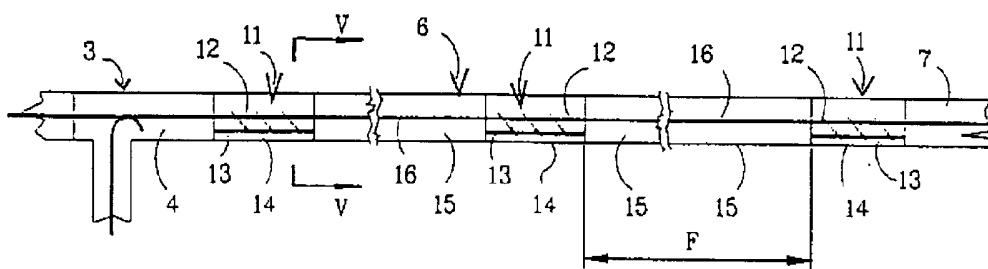
Obr.1



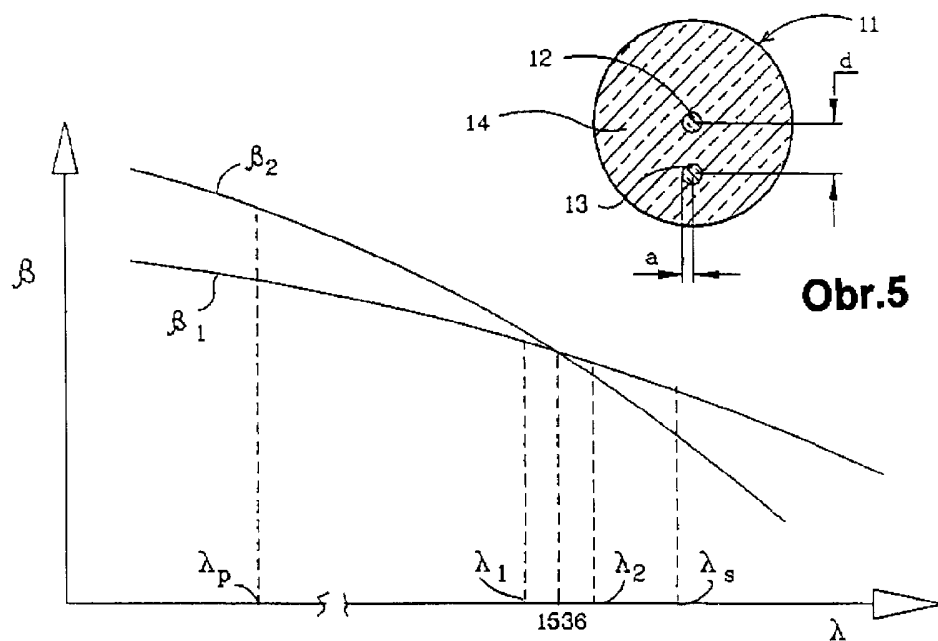
Obr.2



Obr.3

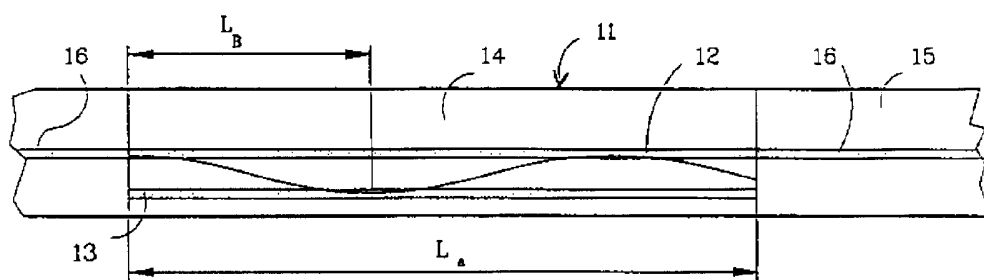


Obr.4

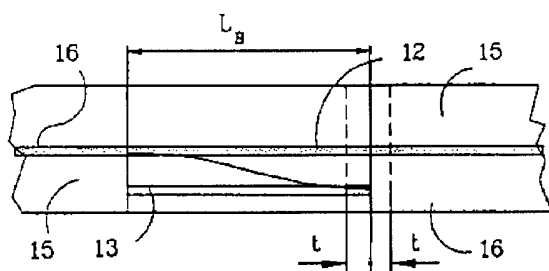


Obr.5

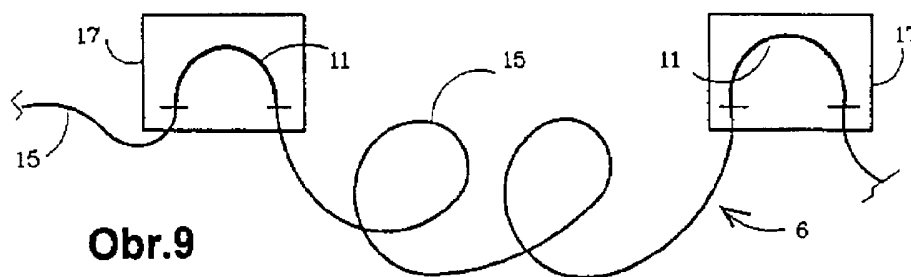
Obr.6



Obr.7



Obr.8



Obr.9