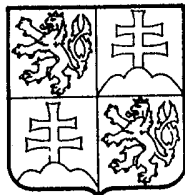


ČESKÁ A SLOVENSKÁ
FEDERATIVNÍ
REPUBLIKA
(19)



FEDERÁLNÍ ÚŘAD
PRO VYNÁLEZY

ZVEŘEJNĚNÁ PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

(12)

(21) 00283-91.N

(13) A3

5(51) G 02 B 6/28
G 02 F 1/315
H 01 P 1/16

(22) 06.02.91

(32) 07.02.90

(31) 90/19280

(33) IT

(40) 15.09.91

(71) SOCIETA CAVI PIRELLI S.p.A., Milan, IT

(72) Grasso Giorgio, Monza (MI), IT
Scrivener Paul Laurence, Southampton, GB

(54) Širokopásmový optický zesilovač signálu

(57) Řešení se týká optického zesilovače, určeného zejména pro telekomunikační vedení z optických vláken (1), pracující s přenosovým signálem v předem určeném pásmu vlnové délky. Zesilovač obsahuje aktivní laserové emisní optické vlákno (6), dotované erbiem (Er), mající části s dvoujádrovými vlákny omezené délky opatřené dvěma jádry (12, 13), z nichž jedno jádro (12) je připojeno k jádrům (16) zbývajících částí aktivního vlákna (6) a s linkovými vlákny (7) vedení, tvořícími vstup a výstup zesilovače. Druhé jádro (13) je opticky spřaženo s prvním jádrem (12) při specifické vlnové délce, rozdílné od vlnové délky přenášeného signálu. Druhé jádro (13) je schopné odstraňovat z prvního jádra (12) spontánní emisní světlo pomocí erbia (Er), které by tvořilo zdroj šumu, čímž je umožňováno zesilování přenášeného signálu v rozsahu vlnových délek v podstatě odpovídajících vlnovým délkám tolerance laserových signálových emitörů (2) tržního typu.

Oblast techniky

Vynález se týká optických vláken obsahujících dotující látky pro laserovou emisi, vhodné pro provádění zesilování přenášeného signálu vysílaného jimi a pro eliminování záření majících nežádoucí vlnovou délku vytvořených uvnitř nich spontánní emisí.

Dosažený stav techniky

Je známo, že optická vlákna mající jádro dotované obzvláštními látkami, jako jsou ionty vzácných zemin, se vyznačují stimulovanou emisí vhodnou pro použití jako laserových zdrojů a optických zesilovačů. Taková vlákna mohou totiž být napájena světelným zdrojem při určité vlnové délce, která je schopná uvést atomy dotující látky do excitovaného energetického stavu, neboli čerpacího pásma, ze kterého se atomy samy spontánně tlumí ve velmi krátké době do laserového emisního stavu, v němž zůstávají po relativně delší dobu.

Když prochází vláknem majícím vysoký počet atomů v excitovaném stavu v emisní úrovni světelný signál mající vlnovou délku odpovídající takovému laserovému emisnímu stavu, signál působí přechod excitovaných atomů na nižší úroveň se světelnou emisí mající stejnou vlnovou délku jako signál. Vláknem tohoto typu tak může být použito pro získání zesilování optického signálu.

Vychází-li se z excitovaného stavu, tlumení atomů nastává také spontánně a působí nahodilou emisí, která tvoří šum pozadí, který se superponuje přes stimulovanou emisi, odpovídající zesílenému signálu.

Světelná emise vyvolaná zaváděním světelné čerpací energie do dotovaného aktivního vlákna může nastávat při několika vlnových délkách, typických pro dotující látku, čímž tak vzniká fluorescenční spektrum vlákna.

Pro optická telekomunikační vedení se normálně používá, s cílem dosáhnout maximálního zesílení pomocí vlákna výše uvedeného typu a v kombinaci s vysokým poměrem signálu k šumu, signál normálně vytvářený laserovým emitorem s vlnovou délkou odpovídající vrcholu fluorescenční spektrální křivky vlákna obsahujícího použitou dotující látku.

Zejména pro zesilování optických telekomunikačních signálů je vhodné používat aktivních vláken s jádrem dotovaným ionty erbia Er^{3+} . Fluorescenční spektrum erbia ^(Er) však má v rozsahu zajímavých vlnových délek obzvláště úzký emisní vrchol a proto vyžaduje používat jako zdroj přenášeného signálu laserový emitor pracující při obzvláštní vlnové délce s omezenou tolerancí, protože mimo toto toleranční pásmo by nebyl přiměřeně zesílen, zatímco by současně vznikla při takové vrcholové vlnové délce silná spontánní emise, vytvářející šum pozadí, který by silně narušil kvalitu přenosu.

Laserové emitory mající výše uvedené vlastnosti, tj. pracující při emisním vrcholu erbia ^(Er) se dají naproti tomu jen obtížně a nákladně vyrobit, zatímco běžná průmyslová produkce

poskytuje laserové emitory, jako jsou například polovodičové lasery ^{obsahující indium} In/Ga/As , ^{gallium} In/Ga/As , ^{arsen} In/Ga/As , mající některé charakteristické vlastnosti,

činící je vhodné pro telekomunikace, ale mají poměrně široké tolerance pokud jde o vlnovou délku emise. Pouze omezené množství laserových emitorů takového druhu tak mají emisi na výše uvedené vrcholové vlnové délce.

Zatímco u některých aplikací, jako jsou například podmořská telekomunikační vedení, může být přijatelné použít emitorů přenášených signálů pracujících při obzvláštní hodnotě vlnové délky, získané například pečlivou volbou mezi lasery tržní produkce, takže pouze ty, které mají emisi v rámci určité malé oblasti laserového emisního vrcholu vlákna zesilovače, takový proces není finančně přijatelný pro vedení jiných druhů, jako jsou například městská komunikační vedení, kde je omezení instalačních nákladů obzvláště důležité.

Například vlákno dotované erbiem^(Er) pro umožnění jeho laserové emise má emisi s vrcholem okolo 1536 nm. V rozmezí 5 nm od této hodnoty má emise vysokou intenzitu a může být použita pro zesilování signálu ve stejném rozmezí vlnové délky. Tržně vyráběné polovodičové lasery, které mohou být použity pro přenos, jsou však obvykle vyráběny s hodnotami vlnové délky emise v rozmezí od 1520 do 1570 nm.

Je tak zřejmé, že velké množství průmyslově vyráběných laserů tohoto druhu je mimo rozsah vhodný pro zesilování pomocí erbia^(Er) a nemůže být proto použito pro vytváření telekomunikačních signálů ve vedeních opatřených erbiiovými zesilovacími typy popsaného výše.

Je však známo, že vlákna dotovaná erbiem^(Er) mají oblast emisního spektra vysoké intenzity, která je v podstatě

konstantní v pásmu vlnových délek přilehlém nad výše uvedeným vrcholem, dostatečně širokém pro zahrnování velké části emisního rozsahu výše zmíněných zajímavých tržních laserů. Ve vlákně tohoto typu by však byl signál poskytovaný o vlnové délce daleko od maximálního emisního vrcholu zesilován v omezené míře, zatímco spontánní přechody z laserového emisního stavu ve vlákně se dějí v převažující míře s emisí při vrcholové vlnové délce spektra při 1536 nm, vytvářející šum pozadí, který bude dále zesilován při současném šíření po délce vlákna a bude se tak superponovat přes užitečný signál.

Pro použití aktivních vláken dotovaných erbiem pro zesilování telekomunikačních signálů vytvářených polovodičovými laserovými emitory tržního typu, jak bylo popsáno výše, vzniká potřeba filtrace spontánní vrcholové emise erbia po délce aktivního vlákna, takže taková emise při nežádoucí vlnové délce neodvede čerpací energii od zesilování signálu a nebude se superponovat přes něj.

Pro tento účel je možné použít aktivního vlákna majícího dvě jádra, v jednomž z nich jsou vysílány přenášený signál a čerpací energie, zatímco ve druhém je dotující látka absorbující světlo. Jestliže dvě jádra jsou opticky spřažena při vrcholové frekvenci spontánní emise, bude tato emise přenášena do druhého jádra, kde je absorbována bez vracení se k tomu, aby se superponovala přes přenosovou vlnovou délku.

Takové aktivní vlákno, popsané v italském ~~patentovém~~
~~spise č.~~ /patentové přihlášce č. 22654 A/89~~ž~~ stejného

přihlašovatele, vykonává účinné filtrační působení nežádoucí vlnové délky, ale v některých aplikacích, kde je vystaveno mechanickým nebo tepelným napětím, a zejména stavu kroucení, může vést ke změně vlastností optického spřažení mezi jádry a hodnota vlnové délky přenášené do druhého absorbujícího jádra je změněna.

Vzniká tak problém, aby bylo k dispozici aktivní optické vlákno pro použití v optických zesilovačích, které mohou být použity v kombinaci s laserovými emitory přenášeného signálu tržního typu, aniž by byly na ně kladeny významná kvalitativní omezení, která jsou mimo-to v podstatě necitlivá na deformační napětí a stavy jim udělované během stavby zesilovače nebo vyskytující se při ukládání a v pracovních stádiích zesilovače na lince.

Cílem vynálezu je vytvořit zesilovač s dotovaným optickým vláknem, který může poskytnout uspokojivé zesilování v dostatečně širokém rozmezí vlnových délek, aby se tak dovolilo použití tržních laserových emitorů, vylučující spontánní emise materiálu při nežádoucí vlnové délce, které tvoří šum pozadí vysoké intenzity vzhledem k přenášenému signálu, a které by udržovaly takové vlastnosti stabilní během operačních podmínek.

Podstata vynálezu

Podstatou vynálezu je širokopásmový optický zesilovač signálu, zejména pro telekomunikační vedení s optickým vláknem, pracující s přenášeným signálem v předem určeném pásmu vlnové délky, obsahující dichroický spojovač, vhodný pro

multiplexování přenášeného signálu a světelnou čerpací energií v jediném výstupním vlákně, a aktivní optické vlákno obsahující fluorescenční dotující látku, spojené s výstupním vláknem dichroického spojovače a s vláknem telekomunikačního vedení vhodného pro přijímání a přenášení zesíleného signálu, ~~kteřeho~~ ^{spatřiva v} ~~podle vynálezu~~ ^{lata} ~~vyznačuje~~ tím, že aktivní optické vlákno obsahuje části tvořené každá optickým vláknem majícím dvě jádra, z nichž první je opticky spojeno s jádrem zbývajících částí aktivního vlákna, zatímco druhé jádro je přerušené na koncích, přičemž obě jádra jsou opticky spolu spřažena v pásmu vlnové délky zahrnutém v rozsahu vlnové délky laserové emise prvního jádra a různém od pásma přenášeného signálu.

Ve výhodném provedení obsahuje druhé jádro dvoujádrových částí aktivního optického vlákna dotující látku mající vysokou světelnou absorpci v laserovém emisním rozsahu dotující látky aktivního vlákna. S výhodou může být dotující látka druhého vlákna s vysokou světelnou absorpcí tvořena stejnou fluorescenční látkou, přítomnou v aktivním vlákně.

První jádro každé části dvoujádrového vlákna může obsahovat fluorescenční dotující látku nebo jako alternativa může být první jádro každé části dvoujádrového vlákna bez jakékoli fluorescenční dotující látky.

S výhodou je v každém případě fluorescenční dotující látka, přítomná v aktivním vlákně, alespoň uvnitř jeho částí majících jediné vlákno, erbium (Er).

Podle jiného provedení vynálezu může být dotující látka přítomná ve druhém jádře látka mající vysokou světelnou absorpci přes celé spektrum, zvolená mezi titanem ^(Ti), vanadem ^(V), chromem ^(Cr) a železem ^(Fe), alespoň zčásti přítomná v jejich nižším mocenství.

Délka každého úseku dvoujádrového vlákna je rovná nebo je větší než fázová délka mezi jádry spřaženými ve zvoleném spřahovacím pásmu mezi jádry.

Obsah dotující látky mající vysokou světelnou absorpci ve druhém jádře a spřahovací vlastnosti vlákenných jader mají takový vzájemný vztah, aby se určila ve druhém jádře shášečí délka menší než jedna desetina fázové délky mezi spřaženými jádry.

V obzvláštním provedení vynálezu je druhé jádro bez jakékoli dotující látky absorbující světlo a každá část dvoujádrového vlákna má délku rovnou celému násobku jedné fázové délky, s tolerancí 10 % samotné fázové délky.

V případě, kde fluorescenční dotující látka aktivního vlákna je erbium ^(Er), jsou obě jádra částí dvoujádrového vlákna spolu opticky spřažena mezi 1530 a 1540 nm.

První jádro každé části dvoujádrového vlákna je upraveno koaxiálně s vnějším povrchem vlákna, ve vyřízené poloze s jádrem zbývajících částí aktivního vlákna a s jádrem vláknem, k nimž je zesilovač připojen, zatímco druhé jádro je na svých koncích umístěno proti vláknům samotným.

Alespoň první z obou jader vlákna je vhodné pro umožňování jednovidového světelného šíření při přenosové vlnové délce a při čerpací vlnové délce.

Aktivní vlákno má vláknennou sekci obsahující fluorescenční detující látku, zahrnutou mezi dvěma po sobě následujícími dvoujádrovými částmi majícími délku nikoliv větší než jaká odpovídá maximálně dosažitelnému zisku 15 dB při spřahovací vlnové délce mezi jádry částí dvoujádrového vlákna a s výhodou mezi 1 a 5 dB.

Alespoň jeden konec aktivního vlákna je tvořen úsekem dvoujádrového vlákna.

Části dvoujádrového vlákna jsou mechanicky zakřivitelné do oblouku pro jemné nastavení pásma spřahovací vlnové délky mezi jádry.

S výhodou je každá část dvoujádrového vlákna tuze připojena k odpovídající nosné desce, v podstatě nedeformovatelné za pracovních podmínek. Dále může být každá část dvoujádrového vlákna tuze připevněna k odpovídající podpůrné desce v podmínkách zakřivení odpovídajících požadované spřahovací vlnové délce mezi jádry.

Přehled obrázků na výkrese

Vynález je blíže vysvětlen v následujícím popisu na příkladech provedení s odvoláním na připojené výkresy, ve kterých znázorňuje obr. 1 schéma optického zesilovače používajícího aktivní vlákno, obr. 2 schéma energetických přechodů vláken typu, který může být použit pro zesilovač podle sché-

matu z obr. 1, vhodného pro vytváření stimulované emise *pomocí* laseru, obr. 3 schéma křivky stimulované emise optického vlákna vyrobeného z křemíku ^(Si) / ^{ionty erbia} / dotovaného ^(Er³⁺), obr. 4 zvětšený schématický pohled na optický zesilovač podle vynálezu, obr. 5 aktivní vlákno zesilovače v řezu rovinou V-V z obr. 4, obr. 6 graf závislosti konstant světelného šíření v jádrech na vlnové délce, obr. 7 podrobnost části aktivního optického vlákna podle vynálezu, obsahujícího úsek mající dvě jádra, a znázornění křivky přenosu světelné energie mezi jedním jádrem a druhým jádrem při spřáhovací vlnové délce, obr. 8 podrobnost části optického vlákna podle vynálezu, obsahující úsek dvoujádrového vlákna majícího délku rovnou fázové délce a obr. 9 schéma části vlákna zesilovače podle vynálezu s dvoujádrovými úseky s nuceným zakřivením.

Příklady provedení vynálezu

Pro účely zesilování signálu v optických vláknech pro telekomunikace se může běžně používat zesilovačů využívajících optických vláken. Struktura takových zesilovačů je schématicky znázorněna na obr. 1. Na obr. 1 je patrné optické vlákno 1 pro telekomunikace, podél kterého je vysílán vysílači signál, mající vlnovou délku λ_s , vytvářený laserovým emitorem 2 signálu. Takový signál, utlumený po určité časové délce, je vysílán do dichroického spojovače 3, kde je kombinován na jediném vystupujícím vlákně 4 s čerpacím signálem majícím vlnovou délku λ_p , vytvářeným čerpacím laserovým emitorem 5. Aktivní vlákno ~~všeobecně označené jako vlákno 6~~, připojené k vláknu 4 opouštějícímu spojovač 3, tvoří zesilovací prvek signálu, který je tak zaváděn do linkového vlákna 7, aby pokračoval k místu svého určení.

Pro vytvoření aktivního vlákna 6, tvořící zesilovací prvek jednotky, je podle výhodného provedení vynálezu vhodné použít optické vlákno vytvořené z křemíku^(Si), jehož jádro je oxidu erbia dotováno roztokem (Er_2O_3) , který dovoluje výhodné zesilování přenášeného signálu při využití přechodů erbiového laseru.

Jak ukazuje diagram na obr. 2, vztahující se k vláknu obsahujícímu dotující přísadu uvedeného typu, což symbolicky představuje energetické stavy, které jsou k dispozici pro ionty ^(Er³⁺) erbia v roztoku v mateční hmotě křemíkového jádra, vede zavádění světelné energie mající čerpací vlnovou délku λ_p menší než je vlnová délka λ_s přenášeného signálu, do aktivního vlákna k tomu, že určitý počet iontů erbia (Er^{3+}) přítomných jako dopující látka ve vlákně v excitovaném energetickém stavu 8, dále definovaném jako čerpací pásmo, ze kterého se ionty spontánně tlumí na energetickou úroveň 2, tvořící laserovou emisní úroveň.

V laserové emisní úrovni 2 zůstávají ^(erbia/Er³⁺) ionty erbia po srovnatelně dlouhé časové údobí před tím, že jsou vystaveny spontánnímu přechodu do základní úrovně 10.

Jak je známo, zatímco přechod z pásma 8 na úroveň 2 je spojen s emisí tepelného typu, která je rozptýlena vně vlákna /^{fotonová} radiace/, přechod z úrovně 2 na základní úroveň 10 vytváří světelnou emisi s vlnovou délkou odpovídající energetické hodnotě laserové emisní ^{úrovni} 2. Jestliže je pak vlákno obsahující velké množství iontů na laserové emisní úrovni procházeno signálem majícím vlnovou délku odpovídající

takové emisní úrovni, signál působí stimulovaný přechod těchto iontů z emisního stavu do základního stavu před jejich spontánním útlumem s kaskádním efektem, který na výstupu z aktivního vlákna⁶ působí emisí silně zesíleného přenášeného signálu.

V nepřítomnosti přenášeného signálu vyvolává spontánní útlum laserových emisních stavů, které jsou v odděleném počtu, typickém pro každou látku, světelnou účinnost s vrcholy při různých frekvencích, odpovídajících úrovním, které jsou k dispozici. Konkrétně má, jak je znázorněno na obr. 3, krémik/hliník / krémik/germanium (ionty erbia (Er^{3+})), vhodné pro použití v optických zesilovačích, vysokointenzitový emisní vrchol při vlnové délce 1536 nm, zatímco při větších vlnových délkách než okolo 1560 nm je oblast, ve které má emise stále vysokou intenzitu, ale menší než ve vrcholové oblasti.

V přítomnosti světelného signálu zaváděného do vlákna při vlnové délce odpovídající emisnímu vrcholu (ionty erbia) (Er^{3+}) při 1536 nm dochází k velmi silnému zesílení signálu, zatímco šum pozadí, vyplývající ze spontánní emise (Er) erbia, zůstává omezený a toto činí vlákno vhodné pro použití v optickém zesilovači pro signál takové vlnové délky.

Pro vytváření signálu jsou na trhu dostupné a běžně používané lasery polovodičového typu indium gallium arsen $(InGaAs)$, které mají typické emisní pásmo od 1,52 do 1,57 μm . To znamená, že jejich výrobní technologie není schopna pro všechny vyrobené prvky zaručit emisí přenášeného signálu při konkrétní frekvenční hodnotě, odpovídající emisnímu vrcholu vlákna dotovaného

erbiem ^(Er) používaného jako zesilovače, přičemž se naopak získává vysoké procento dílů se signálem v sekcích emisní křivky vlákna v blízkosti výše uvedeného emisního vrcholu.

Signál vytvářený takovými laserovými emitory by nebyl schopen zesílení s dostatečným ziskem v optickém zesilovači ^(ionty erbia) dotovaném ^(Er³⁺) typu popsaného výše, protože čerpací energie zaváděná do aktivního vlákna ^{6/}by byla z větší části využita pro zesilování šumu pozadí, který je vytvářen uvnitř aktivního vlákna ^{6/}samočného zesilovače při spontánní emisi erbia (Er) při vlnové délce okolo 1536 nm.

Aby se tedy mohly používat laserové emitory výše uvedeného typu, při jejich akceptování v rozsahu jejich výrobních tolerancí dostatečně širokém pro to, aby se jejich použití stalo nenákladné, v kombinaci se zesilovači používajícími vlákna dotovaných erbiem, tj. obecně řečeno pro umožnění použití obzvláštních typů laserových signálových emitorů v kombinaci s fluorescenčními dopujícími látkami majícími vysoký šum pozadí vzhledem ke spontánním přechodům z laserového stavu, přináší vynález použití aktivního vlákna ^{6/}podle obr. 4, které obsahuje ^(dvoujádrového) části 11 vlákna mající dvě jádra 12 a 13, uzavřená ve stejném vnějším obkladu 14, prostřídané částkou 15 s jednojádrovým vláknem.

V každé části dvoujádrového vlákna 11 je jádro 12 připojeno k jádru 16 přiléhlych částí jednojádrového vlákna 15 a na koncích aktivního vlákna k vláknům 4 opouštějícímu dichroický spojovač ^{3/}a k linkovému vláknům 7, a toto jádro tak

vede přenášený signál. Jádro 13, neboli sekundární jádro, je přerušeno na dvou koncích každé části dvoujádrového vlákna 11 a nemá další spoje.

Obě jádra 12 a 13 části vlákna 11 jsou vytvořena tak, že odpovídající konstanty β_1 a β_2 světelného šíření ve vlákně, jejichž křivky proměn jsou znázorněny na obr. 6, jsou takové, že zajišťují optické spřažení mezi oběma jádry 12 a 13 při vlnové délce maximálního emisního vrcholu fluorescenční dopující přísady, konkrétně 1536 nm pro erbium^(Er), a v rozmezí mezi λ_1 a λ_2 , jehož amplituda je určena sklonem křivek λ_1 a λ_2 , v oblasti jejich průsečíku a v podstatě odpovídá, jak ukazuje obr. 3, amplitudě samotného emisního vrcholu, vytvářejícího šum pozadí.

Jako příklad je možno uvést, že spřahovací rozmezí mezi jádry 12 a 13, v případě kdy je použito jako dopující látky^(Er) v jádru 16 erbia^(Er), může být od $\lambda_1 = 1530$ nm do $\lambda_2 = 1540$ nm.

To znamená, že světlo mající vlnovou délku okolo 1536 nm, které se šíří v jádře 12 spolu s přenosovým signálem a které v podstatě tvoří šum pozadí vzhledem ke spontánní emisi erbia^(Er), je periodicky přenášeno z jádra 12 do jádra 13 podle známých zákonů optického spřahování, popsáno například na str. 84 a 90 časopisu Journal of The Optical Society of America, A/Vol. 2, č. 1, leden 1985.

Jak je znázorněno na obr. 7, světelná energie při vlnové délce optického spřažení mezi dvěma jádry ^{12, 13} je rozdělována mezi jádra podle v podstatě sinusovité křivky, zasahující 100 % v jednom z jader v jednom bodě vlákna ^{12, 13} a po vzdálenosti L_B , známé jako fázová délka, 100 % ve druhém z jader ^{13, 12}, zatímco v obecném úseku vlákna je světelná energie rozdělena mezi jeho oběma jádry ^{12, 13}

Přenášený signál má v jádře 12 naproti tomu vlnovou délku λ_s odlišnou od té, při které dochází ke spřažení jader 12 a 13, řekněme rovnou 1550 nm a tak zůstává omezen na jádro 12 bez přenášení do jádra 13. Stejně tak má čerpací světlo přenášené do jádra 16 spojovačem 3, řekněme při vlnové délce λ_p 980 nebo 540 nm konstanty šíření, kterými je v úseku vlákna 11 jeho přechod do jádra 13 vyloučen a v němž je tak zajištěna nepřítomnost čerpací energie.

Jádro 13 s výhodou obsahuje dopující látku, kromě dopující látky, která určuje jeho požadovaný profil indexu lomu, a která je tvořena materiálem majícím vysokou světelnou absorpci po celém spektru, nebo alespoň v emisním vrcholu dopující látky jádra 16 zdroj šumu, jak byl výše popsán, zejména na vrcholu okolo 1536 nm v případě použití erbia ^(Er) jako dopující látky laseru.

Látky vhodné pro tento účel, mající vysokou světelnou absorpci po celém spektru, jsou například popsány v evropské patentové ~~spise č.~~ /patentová přihlášce č. 88304182.4/ a obsahují zejména prvky s proměnlivým mocenstvím, jako je titan

Vanad / chrom / železo
(Ti) / (V) / (Cr) / (Fe) v jejich nižším mocenství (Ti^{III}, V^{III},
Cr^{III} a Fe^{II}).

Mezi látkami majícími vysokou světelnou absorpci při určité vlnové délce, tj. při vlnové délce emisního vrcholu dopující látky jádra 16 zesilujícího vlákna 15, kterou je třeba eliminovat, je obzvláště výhodné používat stejnou dopující látku výše uvedeného aktivního jádra 6. Fluorescenční látka opatřená dostatečným množstvím čerpací energie vykazuje určitou emisi při obzvláštní vlnové délce, zatímco stejná látka, když není opatřena čerpací energií, pohlcuje světlo při stejné vlnové délce, při které docházelo k emisi v přítomnosti čerpání. Zejména v přítomnosti jádra 16 dopovaného erbiem ^(Er) může být také druhé jádro 13 části vlákna 11 výhodně dopováno erbiem ^(Er). Jelikož absorpční křivka erbia ^(Er) je podobná jeho fluorescenci nebo laserové emisní křivce znázorněné na obr. 3, vzniká tímto způsobem při stimulovaném emisním vrcholu při 1536 nm podobný absorpční vrchol při stejné vlnové délce.

Fluorescence při spřahovací vlnové délce mezi jádry 12, 13 tj. při 1536 nm, která byla přenesena do jádra 13 tak není přenášena zase zpátky do jádra 12, v němž je veden přenášený signál, protože uvnitř jádra 13 může být v podstatě dokonalý útlum zavedeného světla, které je absorbováno přítomnou dopující látkou.

Emise při nežádoucí vlnové délce přítomné v jádře 16 tak může být zaváděna do části vlákna 11 předtím, než

začne mít nadměrnou intenzitu a v ní může být extrahována z jádra 12 a rozptylována v jádře 13, takže se neodejme čerpací energie ze zesilování přenášeného signálu zaváděného jádrem 12 do jádra 16 následující části zesilovacího vlákna 15 a nedojde k superponování přes samotný signál.

Pro tento účel je podle vynálezu zapotřebí, aby úsek L zesilovacího vlákna 15, předcházející část dvoujádrového vlákna 11, jak je znázorněno na obr. 4, byl omezené délky, aby se zabránilo nadměrnému vzrůstu šumu pozadí. Taková délka závisí na charakteristických vlastnostech vlákna samotného a v krátkosti řečeno na jeho zisku. Zesilovač podle vynálezu předpokládá, že ^{úsek} $délka \sqrt{L}$ bude taková, aby určila maximální zisk menší než 15 dB a s výhodou v rozmezí od 1 do 5 dB při spojovací vlnové délce mezi jádry ^{12,13} a zejména 1536 nm.

Jádro 12 vlákna 11 může být bez fluorescenční dopující přísady, takže celý zisk zesilování se svěří částem 15, vlákna nebo může obsahovat stejnou dopující látku jako jádro 16.

Délka L_a úseku dvoujádrového vlákna ^M je sama větší než fázová délka L_B , zmíněná výše. Kromě toho je obsah dopující látky mající vysokou světelnou absorpci v ní přítomný takový, že určuje zhasací délku jádra 13 vlákna, která je menší a alespoň jeden velikostní řád než fázová vlnová délka L_B : $L < 1/10 L_B$ (jak je známo ze zákona šíření optické energie v tlumivém mediu $P = P_0 e^{-\alpha L}$, kde α je součinitel závisící na tlumicích vlastnostech vlákna a v podstatě na množství tlumicí dopující látky v něm přítomné, přičemž po délce L

vlákna je světelná energie ve vlákne redukována faktorem $1/e$). S výhodou jsou vlastnosti jádra 13 takové, že mají shášeí délku L menší o dva velikostní řády, než je fázová vlnová délka L_B .

Jádro 13 může být také bez jakékoli tlumicí dopují-
cí látky. V tomto případě musí být, jak je znázorněno na
obr. 8, úsek dvoujádrového vlákna 11 vytvořen s délkou $L_a = L_B$,
takže na konci druhého jádra 13 je světelná energie při vlnové
délce, která má být vyloučena, zcela předávána v samotném
jádrě 13, takže ve spojení s vláknem 15 je rozptýlena v ob-
kladu samotného vlákna 15.

Takové řešení je vhodné, protože je možné vyloučit
vkládání dalších dopujících látek do dvoujádrového vlákna 11
kromě těch, které určují jeho profil indexu lomu, ale naproti
tomu vyžaduje v řezu měření a ve spojení části 11 ke zbýva-
jícímu aktivnímu vláknu plusovou nebo minusovou toleranci
vzhledem k hodnotě fázové délky L_B nikoliv větší než $10\% L_B$,
aby se tak zajistila v samotném spojení zásadní nepřítomnost
šumové vlnové délky v jádrě 12.

Taková tolerance se dá dosáhnout v praxi jen obtíž-
ně, s fázovými délkami L_B pod několika centimetry a je proto
výhodné používat útlumových látek v jádrě 13, jak bylo popsá-
no výše.

Určení velikosti částí vlákna 11 se dosahuje tak,
aby konstanty šíření v obou jádrech ^{12, 13} vedly ke spojení v pásmu
vystředěném okolo vlnové délky vrcholové emise /například

1536 nm/, ale nevyhnutelné výrobní tolerance mohou vést k odchylkám od požadované hodnoty.

Aby se potom dosáhlo jemného nastavení spřáhovací vlnové délky podle vynálezu, části 11 dvoujádrového vlákna budou zakřiveny do tvaru oblouku, čímž se zavedou vnitřní napětí do vlákna, která budou měnit jejich charakteristiky světelného šíření a budou kontrolovat hodnotu spřáhovací vlnové délky ²³spolu s tím, jak se zavedené zakřivení mění, až se dosáhne souladu s hodnotou požadované vlnové délky. Pro udržování takových tvarů jsou části vlákna 11 tak upevněny na příslušných podpůrných deskách 17, jak ukazuje obr. 9, například pomocí lepidla, za účelem udržení jejich tvaru stabilním způsobem.

Jednojádrové vlákno 15 ležící mezi částmi dvoujádrového vlákna 11 může být umístěno podle požadavků uvnitř obkladu obklopujícího zesilovač, například vinutím do závitů, aniž by toto mělo jakýkoli účinek na chování zesilovače z hlediska oddělování vlnové délky tvořící šum, přičemž dvoujádrová vlákna jsou pevně držena v nuceném zakřiveném tvaru, jaký je pro ně nejvhodnější, jak bylo popsáno výše, a chráněna proti dalším napětím.

S výhodou, s účelem vysílání na následující úsek vedení 7 za zesilovačem přenášený signál bez šumu, je poslední část aktivního vlákna 6 zesilovače, ve směru sledovaném přenášeným signálem, tvořena dvoujádrovým vláknem 11. U vedení, která mají být používána dvousměrně jsou oba konce aktivních vláken ⁶tvořena dvoujádrovými úseky 11.

Vlákno podle vynálezu tak vykonává filtrační působení na světlo vedené uvnitř vlákna při oddělování a absorbování fotonů při 1536 nm, které jsou vytvářeny spontánním útlumem z laserové emisní úrovně ^{erbia} iontů (Er^{3+}), čímž je tak bráněno takovým fotonům postupujících po dlouhém úseku aktivního jádra - v přítomnosti čerpací frekvence, aby působily další útlumy při takové vlnové délce a je v podstatě dovolováno, aby se v jádře 12 šířily pouze přenosová vlnová délka a čerpací vlnová délka. Čerpací vlnová délka λ_s potom může být zvolena po celém rozmezí, v němž má ^(Er)erbiium významnou hodnotu laserové emise, například mezi hodnotami λ_2 a λ_3 vyznačenými na obr. 3 /příkladně odpovídajícími přibližně 1540 ÷ 1560 nm/, čímž je umožňována velká volnost výběru laserového emitoru 5 přenášeného signálu, aniž by se zde objevovaly rozdíly v chování, pro účely zesilování, přičemž emitory signálů mají různé vlnové délky obsažené v dostatečně širokém pásmu pro přijímání většiny obchodní produkce polovodičových laserů ^{gallia /arsenu} india (In), (Ga), (As). Současně dovoluje toto řešení v částech majících zmenšenou délku dvoujádrového vlákna přesné nastavení spřahovací vlnové délky a dovoluje jim být v zásadě necitlivé na mechanické namáhání.

Jak ukazuje obr. 5, dvoujádrové vlákno 11 má s výhodou jádro 12, použité pro vedení optického signálu, umístěné souose uvnitř obkladu 14 vlákna, zatímco druhé jádro 13 je upraveno v excentrické poloze.

Tímto způsobem, jak je znázorněno na obr. 4, 7 a 8 může být spojení mezi částmi dvoujádrového vlákna 6, částmi

zesilujícího vlákna 12 a vlákny 4 a 7 vytvořeno tradičním způsobem, bez obzvláštních opatření tím, že se konce vláken samotných umístí proti sobě tradičními spojovacími ústrojími, která vykonávají vzájemné vyřízení mezi vlákny kontrolováním jejich vnějších povrchů, kde odpovídá správné vyřízení jádra 12 dvoujádrového vlákna ^{11/} v axiální poloze jádrům jednojádrových vláken, bez jakýchkoli podstatných spojových ztrát. Jádro 13, které je v excentrické poloze, nemusí být připojeno ke druhým jádrům a tak zůstává přerušené na koncích každé části dvoujádrového vlákna 11, aniž by vyžadovalo jakékoli další operace.

S výhodou je jádro 12 za účelem dosažení nejvyšší zesilovací účinnosti jednovidové jak při signálové vlnové délce, tak i při čerpací vlnové délce ^{2p} a jádro 13 je také ~~spřáhlovací vlnové délce~~ jednovidové při alespoň λ_s .

Jako příklad byl konstruován zesilovač podle schématu z obr. 1, obsahující aktivní vlákno ^{kremík/hliník} 6 typu (Si/Al), dopované ^{ionty erbia} (Er^{3+}) opatřené dvoujádrovými částmi, přičemž hmotností obsah ^{oxidu} (Er_2O_3) v jednojádrových částech vlákna byl 40 ppm. V každé části dvoujádrového vlákna 11 mělo jádro 12 a jádro 13 poloměr $a = 3,1 \text{ m}$, číselnou aperturu $\text{NA} = 0,105$, index lomu $n_1 = 1,462$, oddělení obou jader 12 a 13, udané na obr. 5, bylo $d = 3,5 \text{ m}$, jádro 12 bylo koaxiální s vnějším průměrem ^{dvoujádrového vlákna} vlákna. Každá část ^{úseku} 11 měla délku $L_a = 100 \text{ mm}$ a sousedila s délkou L zesilovacího vlákna 5 m . Jádro 12 každé části dvoujádrového vlákna 11 neobsahovalo žádné erbium, zatímco jádro 13 mělo obsah ^{oxidu erbia} (Er_2O_3) 2500 ppm. Aktivní jádro ⁶ mělo celkovou délku 30 m .

Jelikož jako čerpací laser 5 byl použit laser s argonovými ionty, pracující při 528 nm, s energií 150 mW, zatímco jako emisní laser 2 signálu byl použit běžný polovodičový laser ^{indium/gallium} (In)_{0,49}(Ga)_{0,51}As mající energii 1 mW, jehož emisní vlnová délka byla změřena při 1550 nm. Za zesilovačem se získal při výše uvedeném experimentálním uspořádání zisk 20 dB na vstupním signálu tlumeném na hodnotu 0,5 W.

Útlum vstupního signálu zesilovače, vhodný pro simulování skutečného stavu při použití zesilovače na lince, byl dosažen pomocí proměnlivého tlumiče. V nepřítomnosti signálu byla naměřena úroveň spontánní emise za zesilovačem o hodnotě 10 W. Taková emise, která tvoří šum pozadí, nepředstavuje výrazný šum pro signál, který je zesilován na mnohem vyšší úrovni /okolo 250 W/.

Jako srovnání byl stejný přenosový laserový emitor 2, popsany výše, použit v kombinaci se zesilovačem majícím konstrukci totožnou s předchozím příkladem, ale při použití jednojádrového aktivního vlákna 6, typu se skokovou změnou indexu ^{hlinitík/křemík} lomu na bázi (Al/Si), ^{ionty erbia} dotované (Er³⁺) a obsahující hmotově 40 ppm ^(ionty erbia) (Er³⁺) v jádře, přičemž aktivní vlákno ⁶ mělo délku 30 m. Takový zesilovač s přenášeným signálem při vlnové délce 1560 nm vykazoval zisk menší než 15 dB se spontánní emisí úrovně srovnatelné s úrovní výstupního signálu.

Jak je možné vidět z uvedených příkladů, jednojádrový zesilovač vykazoval zmenšený zisk v přítomnosti signálu při 1560 nm, zatímco také zaváděl šum takový, že se stalo obtížným

přijímat signál samotný, čímž se ukázal jako nepoužitelný pro praktické použití. Naproti tomu zesilovač podle vynálezu, používající aktivní vlákno opatřené částmi dvoujádrového vlákna, se dvěma jádry spřaženými spolu při vlnové délce odpovídající emisnímu vrcholu šumu pozadí, se ukázal sám schopný zajistit se stejným signálem při 1560 nm vysoký zesilovací zisk spolu se zanedbatelným zavedeným šumem.

Využitelnost vynálezu

Použití zesilovačů podle vynálezu v telekomunikacích tak dovoluje, aby se takové vedení stalo vhodné pro přenos signálů vytvářených laserovými emitory běžného tržního typu, které se ukazují jako přijatelné i s jejich širokou výrobní tolerancí a současně se zajišťuje, že vysoký zesilovací výkon je v podstatě konstantní a nezávislý na skutečné emisní hodnotě použitého signálového emitoru.

Je možné zařadit řadu obměn, aniž by se opustil rozsah vynálezu z hlediska jeho obecných charakteristických znaků.

PV 283-91.N

PRIL.	ÚŘAD PRO VYHLEDÁVÁNÍ A OBJEVY	06. II. 91	005901
-------	-------------------------------------	------------	--------

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Širokopásmový optický zesilovač signálu, obzvláště pro telekomunikační vedení z optických vláken pracujících s přenášeným signálem v předem určeném pásmu vlnové délky, obsahující dichroický spojovač, vhodný pro multiplexování přenášeného signálu a světelnou čerpací energii v jediném vystupujícím vlákně, a aktivní optické vlákno obsahující fluorescenční dopující látku, připojené k výstupnímu vláknu dichroického spojovače a k vláknu telekomunikačního vedení, vhodnému pro přijímání a přenášení zesíleného signálu, vyznačený tím, že aktivní optické vlákno /6/ obsahuje části /11/ tvořené každá optickým vláknem majícím každé dvě jádra /12, 13/, z nichž první je opticky spojeno s jádrem /16/ zbývajících částí aktivního vlákna /6/, zatímco druhé jádro /13/ je přerušeno na koncích, přičemž obě jádra /12, 13/ jsou spolu vzájemně opticky spřažena v pásmu vlnové délky v rozsahu pásma vlnové délky laserové emise prvního jádra /12/ a různém od pásma přenášeného signálu.

2. Širokopásmový optický zesilovač signálu podle bodu 1, vyznačený tím, že druhé jádro /13/ dvoujádrových vlákených částí /11/ aktivního optického vlákna /6/ obsahuje dopující látku mající vysokou světelnou absorpci v laserovém emisním rozsahu dopující látky aktivního vlákna (6).

3. Širokopásmový optický zesilovač signálu podle bodu 2, vyznačený tím, že dopující látka mající vysokou světelnou absorpci druhého jádra⁽¹³⁾ je tvořena stejnou fluorescenční látkou, jaká je přítomná v aktivním vláknu⁽⁶⁾.

4. Širokopásmový optický zesilovač signálu podle bodu 1, vyznačený tím, že první jádro /12/ dvoujádrové^{ho} vlákna ~~každé části~~ /11/ obsahuje fluorescenční dopující látku.

5. Širokopásmový optický zesilovač signálu podle bodu 1, vyznačený tím, že první jádro /12/ každé^{ho} dvoujádrového vlákna ~~každé části~~ /11/ neobsahuje žádnou fluorescenční dopující látku.

6. Širokopásmový optický zesilovač signálu podle bodu 1, vyznačený tím, že fluorescenční dopující látka přítomná v aktivním vláknu /6/ alespoň uvnitř jeho částí majících jediné jádro je erbium^(Er).

7. Širokopásmový optický zesilovač signálu podle bodu 2, vyznačený tím, že dopující látka přítomná ve druhém jádře /13/ je látka mající vysokou světelnou absorpci po celém spektru, zvolená mezi titanem^(Ti), vanadem^(V), chromem^(Cr) nebo železem^(Fe) alespoň z části v jejich stavu nižšího mocenství.

8. Širokopásmový optický zesilovač signálu podle bodu 1, vyznačený tím, že délka $/L_A/$ každého úseku /11/ dvoujádrového vlákna je rovná nebo větší než fázová délka $/L_B/$ mezi

jádry /12, 13/ spřaženými ve zvoleném spřahovacím pásmu mezi jádry.

9. Širokopásmový optický zesilovač signálu podle bodu 1, vyznačený tím, že obsah dopující látky, mající vysokou světelnou absorpci ve druhém jádře /13/ a spřahovací charakteristiky jader /12, 13/ vlákna jsou v takovém vztahu, aby se ve druhém jádře ⁽¹³⁾ určila zhasací délka menší než jedna desetina fázové délky mezi spřaženými jádry ^(12, 13).

10. Širokopásmový optický zesilovač signálu podle bodu 8, vyznačený tím, že druhé jádro /13/ je bez jakékoli dopující látky absorbující světlo a každá ^{ho} dvoujádrové vlákna ~~končí~~ část /11/ má délku L_A rovnou celému násobku fázové délky L_B s tolerancí 10 % fázové délky samotné.

11. Širokopásmový optický zesilovač signálu podle bodu 6, vyznačený tím, že obě jádra ^(12, 13) jsou spolu opticky spřažená mezi 1530 a 1540 nm.

12. Širokopásmový optický zesilovač signálu podle bodu 1, vyznačený tím, že první jádro /12/ každé dvoujádrové ^{dvoujádrového} vláknenné části /11/ je uspořádáno souose s vnějším povrchem vláknem ve vzájemném vyřízení s jádrem /16/ ve zbývajících částech aktivního vlákna /6/ a s jádrem ^{linkových} vláken /7/, ke kterým je zesilovač připojen, přičemž druhé jádro /13/ je na svých ^{(14) zesilujících} koncích umístěno proti obkladu /15/ vláken samotných.

13. Širokopásmový optický zesilovač signálu podle bodu 1, vyznačený tím, že alespoň první ^{jádro} /12/ z obou jader ^(12, 13) dvoujádrového vlákna /11/ je uzpůsobeno pro umožňování jednovidového světelného šíření při přenášení vlnové délce a čerpací vlnové délce.

14. Širokopásmový optický zesilovač signálu podle bodu 1, vyznačený tím, že vlákno ⁽¹⁵⁾ má vlákenné úseky, obsahující fluorescenční dopující látku, umístěné mezi dvěma po sobě následujícími ^{vlákny} ~~částmi~~ /11/, majícími délky /F/ ne větší než je délka odpovídající maximálnímu dosažitelnému zisku 15 dB při spřahovací vlnové délce ^(12, 13) ~~mezi jádry~~ ⁽¹⁵⁾ částí dvoujádrového vlákna /11/.

15. Širokopásmový optický zesilovač signálu podle bodu 14, vyznačený tím, že ^{jednojádrového} ~~vlákna~~ ⁽¹⁵⁾ úseky obsahující fluorescenční dopující látku, umístěné mezi dvěma po sobě následujícími ^{vlákna} ~~dvoujádrového~~ úseky /11/ mají délku /F/ ne větší než je délka odpovídající zisku 15 dB při spřahovací vlnové délce ^(12, 13) ~~mezi jádry~~ ⁽¹⁵⁾ částí dvoujádrového vlákna /11/.

16. Širokopásmový optický zesilovač signálu podle bodu 1, vyznačený tím, že alespoň jeden konec aktivního vlákna /6/ je tvořen dvoujádrového vlákna ^(12, 13) ~~části~~ /11/.

17. Širokopásmový optický zesilovač signálu podle bodu 1, vyznačený tím, že dvoujádrového ^{ko} ~~vlákna~~ části /11/

jsou mechanicky zakřivitelné do oblouku pro jemné nastavení pásma spřahovací vlnové ^(2s)delky mezi jádry (12, 13).

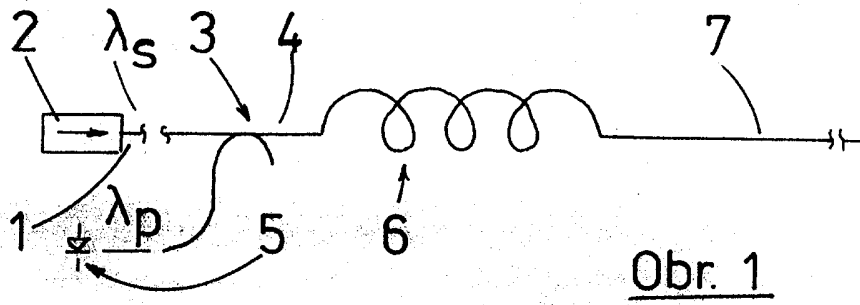
18. Širokopásmový optický zesilovač signálu podle bodu 1, vyznačený tím, že každá ^{ho}~~dvoujádrové vlákna~~ část /11/ je tuze připevněna k odpovídající podpůrné desce /17/, která je ~~podstatně~~ nedeformovatelná v pracovních podmínkách.

19. Širokopásmový optický zesilovač signálu podle bodu 17 nebo 18, vyznačený tím, že každá ^{po vlákna}~~dvoujádrové~~ část /11/ je tuze připevněna k příslušné podpůrné desce /17/ v zakřivených podmínkách odpovídajících požadovanému pásmu spřahovací vlnové ^(2s)delky mezi jádry (12, 13).

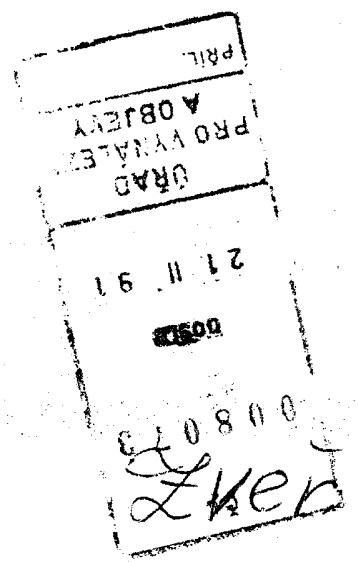
Zastupuje:

Dr. M. Všečetka

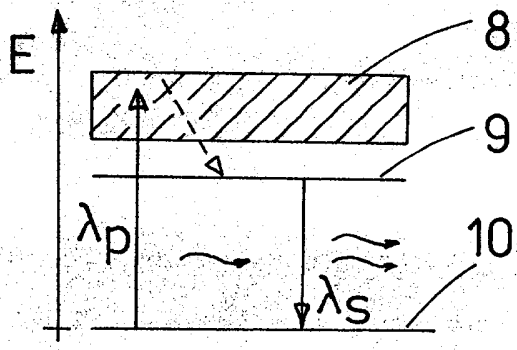
16 61034



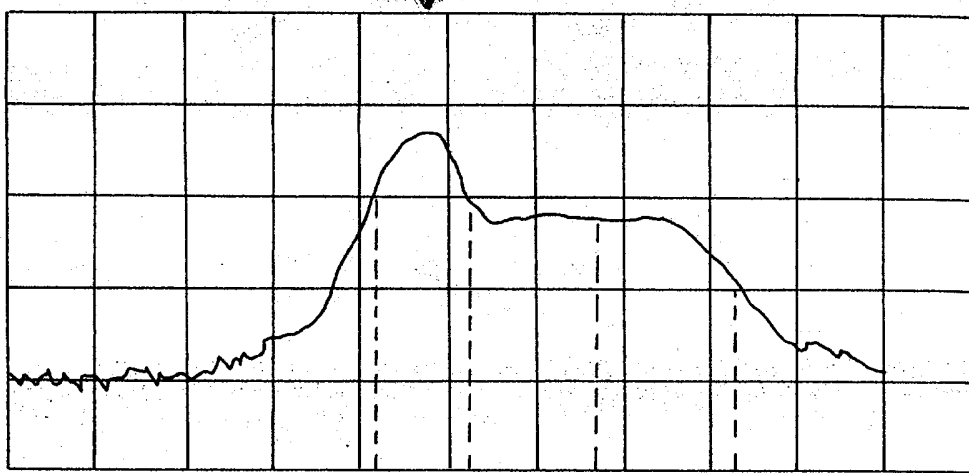
Obr. 1



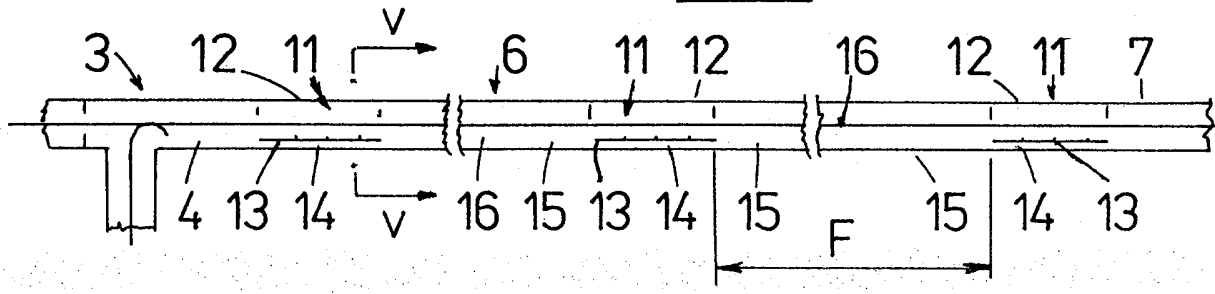
Obr. 2



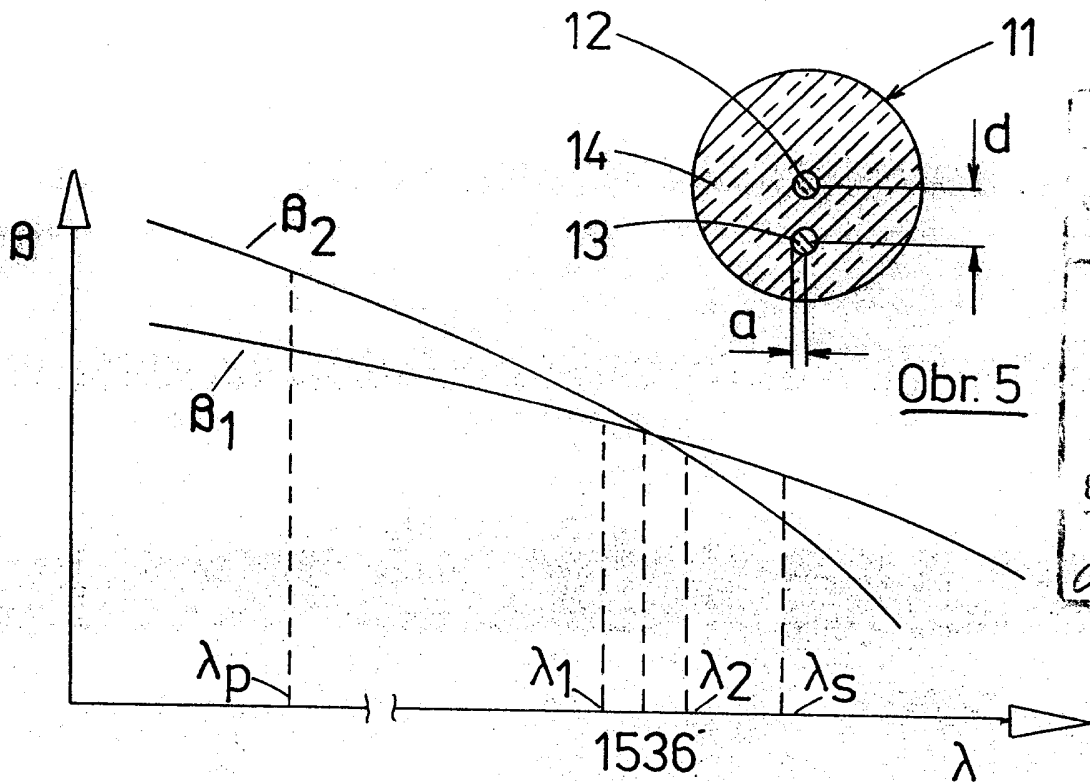
dBm



Obr. 3



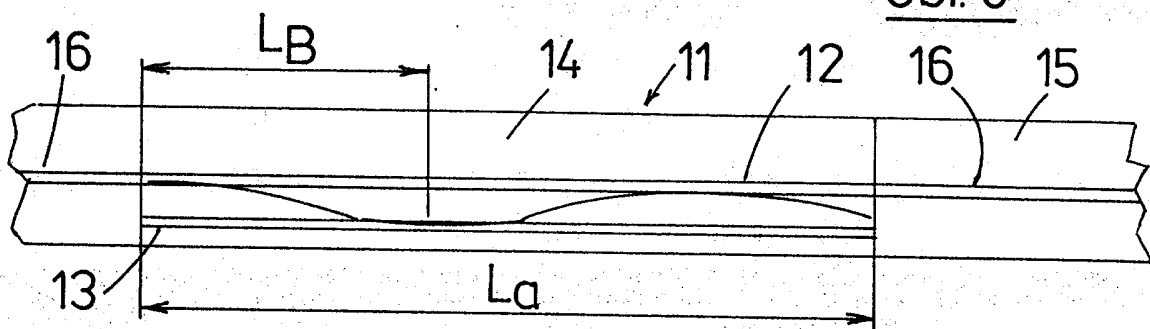
Obr. 4



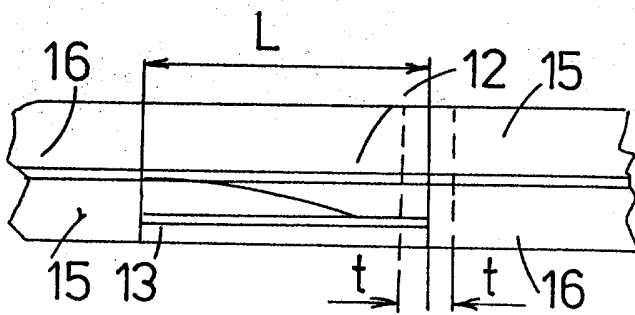
PROVALEZ
OBJEV
URAD
21.11.91
00800
Zker

Obr. 5

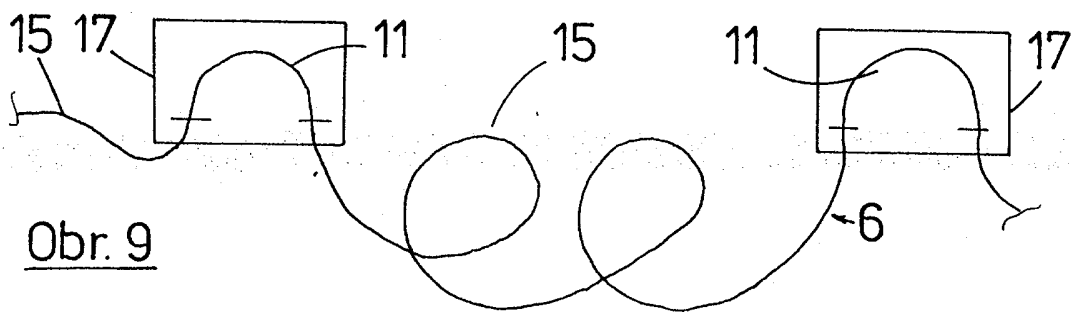
Obr. 6



Obr. 7



Obr. 8



Obr. 9