



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETÀ INDUSTRIALE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

UIBM

DOMANDA NUMERO	101989900086937
Data Deposito	30/10/1989
Data Pubblicazione	30/04/1991

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	01	S		

Titolo

AMPLIFICATORE OTTICO A FIBRA ATTIVA A LARGA BANDA DI LUNGHEZZA D'ONDA DI SEGNALE.

P. 601

1

Dr. GIORGIO MARIANI
INDUSTRIE PIRELLI S.p.A.DESCRIZIONE dell'Invenzione industriale dal titolo:

"Amplificatore ottico a fibra attiva a larga banda di lunghezza d'onda di segnale".

a nome SOCIETA' CAVI PIRELLI S.p.A.

con sede in Milano, Piazzale Cadorna, 5

di nazionalità italiana

Inventori designati: Giorgio GRASSO, Aldo RIGHETTI, Flavio FONTANA

depositata il: **30 OTT. 1989**

con No.

22197A/89RIASSUNTO

Il trovato riguarda un amplificatore ottico, particolarmente per linee di telecomunicazione a fibre ottiche, operanti con segnale di trasmissione in un prefissato campo di lunghezze d'onda, il quale comprende una fibra ottica attiva ad emissione laser, drogata con Erblio, la quale contiene un ulteriore drogante, distribuito lungo la fibra, il quale presenta un assorbimento, per luce avente lunghezza d'onda inferiore a 1540 nm, sostanzialmente superiore a quello che presenta per luce con lunghezza d'onda da 1540 nm fino all'estremo superiore del campo di lunghezze d'onda prefissato del segnale di trasmissione; preferibilmente l'ulteriore drogante è costituito da Samario.

Il Samario nella fibra è in grado di assorbire l'emissione spontanea dell'Erblio, che costituirebbe una fonte di rumore, permettendo di amplificare un segnale in un campo di lunghezze d'onda sostanzialmente corrispondente a quello di tolleranza degli emettitori laser di segnale di tipo commerciale.

DESCRIZIONE

Il presente trovato si riferisce a una fibra ottica contenente sostanze droganti, atte a modificarne le caratteristiche di emissione luminosa stimolata e di assorbimento a varie lunghezze d'onda.

E' noto che fibre ottiche aventi nucleo (core) drogato con particolari sostanze, ad esempio ioni di terre rare, presentano caratteristiche di emissione stimolata adatte all'impiego come sorgenti laser e come amplificatori ottici.

Tali fibre infatti possono venire alimentate con una sorgente luminosa ad una particolare lunghezza d'onda, che porta gli atomi della sostanza drogante in uno stato energetico eccitato, o banda di pompaggio, dal quale gli atomi decadono spontaneamente in tempi brevissimi ad uno stato di emissione laser, ove permangono per un tempo relativamente più lungo.

Quando una fibra avente un elevato numero di atomi allo stato eccitato nel livello di emissione è attraversata da un segnale luminoso avente la lunghezza d'onda corrispondente a tale stato di emissione laser, il segnale luminoso causa la transizione degli atomi eccitati ad un livello inferiore, con emissione luminosa avente la stessa lunghezza d'onda del segnale; pertanto una fibra di tal genere può essere usata per ottenere una amplificazione di un segnale ottico.

A partire dallo stato eccitato il decadimento degli atomi avviene anche spontaneamente e ciò genera una emissione casuale che costituisce un "rumore di fondo" che si sovrappone all'emissione stimolata, corrispondente al segnale amplificato.

Tali fenomeni possono avvenire a più lunghezze d'onda, tipiche

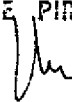
della sostanza drogante, dando così origine ad uno spettro di fluorescenza.

Allo scopo di ottenere la massima amplificazione del segnale per mezzo di una fibra del tipo suddetto, in unione con un elevato rapporto segnale/rumore, viene solitamente usato un segnale con lunghezza d'onda corrispondente ad un massimo della curva dello spettro di fluorescenza della fibra incorporante la sostanza drogante impiegata; tale segnale è convenientemente generato da un emettitore laser.

Ad esempio, come fibra di amplificazione può essere usata una fibra il cui nucleo è drogato con ioni di Alluminio (Al^{3+}) e ioni di Erbio (Er^{3+}), come descritto nella domanda di brevetto britannica GB 8813769; tuttavia lo spettro di fluorescenza dell'Erbio, nel campo delle lunghezze d'onda di interesse, presenta un picco di emissione particolarmente stretto e ciò impone allora di impiegare come sorgente di segnale un emettitore laser operante ad una ben precisa lunghezza d'onda, con ristretta tolleranza, poiché segnali al di fuori di tale tolleranza non sarebbero amplificati adeguatamente, mentre si verificherebbe una forte amplificazione del rumore di fondo a tale lunghezza d'onda.

Emettitori laser aventi le caratteristiche suddette sono tuttavia di difficile e costosa produzione, mentre la produzione industriale comune di tali apparecchiature presenta una tolleranza piuttosto ampia per quanto riguarda la lunghezza d'onda di emissione.

Mentre per talune applicazioni, come per esempio linee di telecomunicazioni sottomarine, potrebbero essere impiegati emettitori di segnale di trasmissione alla corretta lunghezza d'onda, ottenuti ad



esempio operando una accurata selezione dei laser di produzione commerciale, così da impiegare solo quelli che risultano avere una emissione in un piccolo intorno del picco di emissione laser della fibra dell'amplificatore, tale procedimento non è economicamente accettabile per linee di altro genere, come ad esempio linee di comunicazione urbana, ove il contenimento dei costi di impianto è di particolare importanza.

Ad esempio una fibra secondo il suddetto brevetto, avente drogaggio con ioni di Alluminio per modificarne l'indice di rifrazione e ioni di Erblio per consentirne l'emissione laser, ha un picco di emissione intorno a 1531 nm, che per un campo di ± 5 nm da tale valore si presenta di elevata intensità e può essere usato per l'amplificazione; pertanto per operare con tale fibra drogata è opportuno impiegare un segnale nello stesso campo di lunghezze d'onda; laser a semiconduttore di produzione commerciale, che potrebbero essere adatti all'impiego, tuttavia sono usualmente realizzati con un valori di lunghezza d'onda di emissione compresi tra 1520 e 1570 nm.

Si ha allora che un considerevole numero di laser prodotti si troverebbe al di fuori del campo desiderato e non potrebbe perciò generare un segnale adatto ad essere convenientemente amplificato.

E' peraltro noto che fibre drogate con Erblio presentano una zona dello spettro di emissione di intensità elevata e sostanzialmente costante in un campo di lunghezze d'onda contiguo al picco sopra detto e comprendente il campo di segnale dei laser commerciali di interesse suddetti; tuttavia in tale fibra nota un segnale alimentato ad una lunghezza d'onda discosta dal massimo del picco di emissione verrebbe

amplificato in misura limitata, mentre le transizioni spontanee dallo stato di emissione laser nella fibra avvengono in prevalenza con emissione in corrispondenza alla lunghezza d'onda del picco dello spettro, a 1531 nm, generando un "rumore di fondo" destinato ad essere ulteriormente amplificato attraversando la lunghezza della fibra, sovrapponendosi al segnale utile.

Si può pensare di operare, al termine dell'amplificatore, una filtratura dell'emissione luminosa costituente il "rumore", accettando quindi la sola lunghezza d'onda di segnale, disponendo allo scopo un opportuno filtro all'estremità della fibra attiva; tuttavia la presenza di una emissione indesiderata nella fibra, nel campo di massima amplificazione della fibra, sottrarrebbe energia di pompaggio, rendendo quindi sostanzialmente inattiva la fibra ai fini dell'amplificazione del segnale di trasmissione.

Sono anche noti filtri ad interferenza, che possono essere disposti in più punti lungo la fibra di amplificazione ma i filtri noti di tale genere sono costituiti da componenti discreti, non in fibra, e richiedono pertanto fasci luminosi in aria, risultando inadatti per applicazioni industriali.

Sorge perciò il problema di disporre di una fibra ottica attiva per l'impiego in amplificatori ottici che possa essere impiegata in unione con emettitori laser del segnale di trasmissione di tipo commerciale, senza ulteriori limitazioni.

Scopo del presente trovato è fornire una fibra ottica drogata che possa offrire una amplificazione soddisfacente in un campo di lunghezze

d'onda sufficientemente esteso, tale da consentire l'impiego degli emettitori laser commerciali, evitando che emissioni spontanee del materiale ad una lunghezza d'onda indesiderata penalizzino la capacità di amplificazione della fibra e costituiscano un rumore di fondo di elevata intensità rispetto al segnale di trasmissione.

E' oggetto del presente trovato una fibra ottica comprendente sostanze droganti ad emissione laser, particolarmente per l'impiego in amplificatori ottici a fibra per linee ottiche di telecomunicazione, contenente Erblio come drogante ad emissione laser, atta a ricevere un segnale di telecomunicazione da un emettitore laser, in un prefissato campo di lunghezze d'onda, caratterizzata dal fatto che comprende un ulteriore drogante, distribuito lungo la fibra, il quale presenta un assorbimento, per luce avente lunghezza d'onda inferiore a 1540 nm, sostanzialmente superiore a quello che presenta per luce con lunghezza d'onda da 1540 nm fino all'estremo superiore del campo di lunghezze d'onda prefissato del segnale di trasmissione.

In una forma particolarmente preferita dell'invenzione l'ulteriore drogante è costituito da Samario, in forma di catione trivalente.

La concentrazione di Samario nella fibra, rispetto a quella dell'Erblio in essa presente, espressa come percentuale in peso degli ossidi contenuti, è

$$1 \leq \frac{[\text{Sm}_2\text{O}_3]}{[\text{Er}_2\text{O}_3]} \leq 10.$$

Forma altresì oggetto della presente invenzione un amplificatore

ottico, particolarmente per linee di telecomunicazione a fibre ottiche, operanti con segnale di trasmissione in un prefissato campo di lunghezze d'onda, comprendente una fibra ottica attiva ad emissione laser, drogata con Erblio, caratterizzato dal fatto che la fibra ottica attiva comprende un ulteriore drogante, distribuito lungo la fibra, il quale presenta un assorbimento, per luce avente lunghezza d'onda inferiore a 1540 nm, sostanzialmente superiore a quello che presenta per luce con lunghezza d'onda da 1540 nm fino all'estremo superiore del campo di lunghezze d'onda prefissato del segnale di trasmissione; preferibilmente l'ulteriore drogante è costituito da Samario.

Maggiori dettagli potranno essere rilevati dalla seguente descrizione del trovato, con riferimento ai disegni allegati, in cui si mostra:

- in figura 1 uno schema di un amplificatore ottico impiegante una fibra attiva;
- in figura 2 uno schema delle transizioni energetiche di una fibra del tipo impiegabile per un amplificatore secondo lo schema di figura 1, atte a generare una emissione stimolata (laser);
- in figura 3 un diagramma della curva di emissione stimolata di una fibra ottica in silice, drogata con Al^{3+} e con Er^{3+} ;
- in figura 4 un diagramma della curva di emissione stimolata della fibra ottica di figura 4, drogata con Al^{3+} , con Er^{3+} e con Sm^{3+} ;
- in figura 5 un diagramma di assorbimento luminoso di una fibra ottica

in silice, drogata con Al^{3+} , con Er^{3+} e con Sm^{3+} .

Allo scopo di amplificare segnale in fibre ottiche per telecomunicazioni possono essere convenientemente impiegati amplificatori facenti uso di fibre ottiche; la struttura di tali amplificatori è schematicamente illustrata in figura 1, dove con 1 si designa una fibra ottica per telecomunicazioni, in cui è inviato un segnale di trasmissione, avente lunghezza d'onda λ_s , generato da un emettitore laser di segnale 2; tale segnale, attenuatosi dopo una certa lunghezza di linea, è inviato ad un accoppiatore dicroico 3 ove è unito su una unica fibra uscente 4 con un segnale di pompaggio con lunghezza d'onda λ_p , generato da un emettitore laser di pompaggio 5; una fibra attiva 6, collegata alla fibra 4 uscente dall'accoppiatore, costituisce l'elemento amplificatore del segnale, che viene quindi introdotto sulla fibra di linea 7 per proseguire verso la sua destinazione.

Per realizzare la fibra attiva 6, costituente l'elemento amplificatore del complesso, è conveniente impiegare una fibra ottica in silice drogata in soluzione con Al_2O_3 e con Er_2O_3 , ad esempio del tipo descritto nella domanda di brevetto britannico N° 8813769, già citata, che consente di ottenere una vantaggiosa amplificazione del segnale di trasmissione, sfruttando le transizioni laser dell'Erbio.

Come mostra il diagramma di figura 2, relativo ad una fibra del tipo indicato, rappresentante in modo simbolico gli stati energetici disponibili per uno ione di Erblio in soluzione nella matrice silicea della fibra, l'immissione nella fibra attiva di una potenza luminosa alla lunghezza d'onda "di pompaggio" λ_p , inferiore a quella λ_s del



segnale di trasmissione, porta un certo numero di ioni Er^{3+} presenti come sostanza drogante nella matrice vetrosa della fibra ad uno stato energetico "eccitato" 8, detto nel seguito banda di "pompaggio", dal quale gli ioni decadono spontaneamente ad un livello energetico 9, costituente un livello di emissione laser.

Nel livello di emissione laser 9 gli ioni di Er^{3+} possono permanere per un tempo relativamente lungo prima di subire una transizione spontanea fino al livello di base 10.

Come è noto, mentre la transizione dalla banda 8 al livello 9 è associata ad una emissione di tipo termico, che viene dispersa all'esterno della fibra (radiazione fononica), la transizione dal livello 9 al livello base 10 genera una emissione luminosa, con lunghezza d'onda corrispondente al valore energetico del livello di emissione laser 9; se una fibra contenente una elevata quantità di ioni al livello di emissione laser viene attraversata da un segnale di lunghezza d'onda corrispondente al livello di emissione, tale segnale provoca la transizione stimolata degli ioni interessati dallo stato di emissione allo stato di base, prima del loro decadimento spontaneo, con un fenomeno a cascata che produce all'uscita dalla fibra attiva l'emissione di un segnale di trasmissione fortemente amplificato.

In assenza di segnale di trasmissione il decadimento spontaneo dagli stati di emissione laser, che sono in un numero discreto tipico di ciascuna sostanza, provoca una luminosità con picchi a varie frequenze, corrispondenti ai livelli disponibili; in particolare, come illustrato in figura 3, una fibra di tipo Si/Al, drogata con Er^{3+} , adatta per

l'impiego in amplificatori ottici, presenta in corrispondenza ad una lunghezza d'onda di 1531 nm un picco di emissione di forte intensità, mentre per lunghezze d'onda superiori, fino a circa 1560 nm, si ha una zona di forte emissione ma di intensità assai inferiore.

In presenza di un segnale luminoso immesso nella fibra alla lunghezza d'onda corrispondente al un picco di emissione di Er^{3+} , a 1531 nm, si ha una fortissima amplificazione del segnale, mentre il rumore di fondo, dato dalla emissione spontanea, rimane limitato e ciò rende la fibra adatta all'impiego in un amplificatore ottico per un segnale a tale lunghezza d'onda.

I laser commercialmente disponibili e di conveniente impiego per la generazione del segnale, del tipo a semiconduttore (In, Ga, As), hanno una banda di emissione tipica da 1,52 a 1,57 μm : ciò significa che la loro tecnica di produzione non è in grado di assicurare l'emissione del segnale di trasmissione ad un preciso valore di frequenza, corrispondente al picco di emissione della fibra drogata con Erblio impiegata come amplificatore, presentandosi, al contrario, per un larga percentuale di pezzi prodotti, con un segnale localizzato nelle zone della curva di emissione della fibra adiacenti al picco di emissione suddetto.

Il segnale generato da tali emettitori laser non potrebbe essere amplificato con sufficiente guadagno in un amplificatore a fibra ottica drogata con Er^{3+} del tipo sopra descritto, poiché la potenza di pompaggio immessa verrebbe in gran parte impiegata per amplificare il rumore di fondo, che si genera all'interno della fibra attiva dell'amplificatore stesso, in corrispondenza alla emissione spontanea dell'Erbio

intorno alla lunghezza d'onda 1531 nm.

Si è tuttavia osservato che una fibra incorporante una quantità di Samario (Sm^{3+}), come codrogante, in unione con Er^{3+} , presenta una curva di emissione stimolata, nel campo di lunghezze d'onda di interesse, del tipo illustrato in figura 4, priva di un picco localizzato a 1531 nm di elevata intensità, presentando, al contrario, un valore elevato e pressoché costante in un ampio campo, sostanzialmente tra 1530 e 1560 nm.

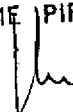
Tale fibra può essere allora impiegata in un amplificatore ottico, operante su un segnale generato da emettitori laser commerciali, poiché è in grado di generare un effetto di amplificazione con guadagno soddisfacente su di un segnale di trasmissione nel suddetto campo di lunghezze d'onda, senza introdurre una quantità inaccettabile di "rumore".

A titolo di esempio, è stato costruito un amplificatore secondo lo schema illustrato in figura 1, comprendente una fibra attiva 6 di tipo "step index" Si/Al, drogata con Er^{3+} e con Sm^{3+} , contenente, in peso, 40 ppm di Er_2O_3 e 60 ppm di Sm_2O_3 .

La fibra attiva aveva una lunghezza di 30 m.

È stato usato, come emettitore laser di pompaggio 5, un laser a ioni Argon, operante a 528 nm, con una potenza di 150 mW, mentre come emettitore laser di segnale 2 è stato impiegato un laser a semiconduttore (In, Ga, As), di tipo commerciale, di potenza 1 mW, la cui lunghezza d'onda di emissione è stata misurata a 1560 nm.

A valle dell'amplificatore, con la configurazione sperimentale suddetta, si è ottenuto un guadagno di 27 dB, su un segnale in ingresso di 1 μW .



In assenza di segnale si è misurato un livello di emissione spontanea, a valle dell'amplificatore, di 10 μW .

Tale emissione, che costituisce il rumore di fondo prodotto dall'amplificatore, non rappresenta un disturbo significativo per il segnale, che è amplificato a livelli molto più alti (circa 500 μW).

Per confronto, lo stesso emettitore laser di trasmissione 2 è stato impiegato in unione con un amplificatore con struttura uguale a quella dell'esempio precedente, ma impiegante una fibra attiva 6 di tipo "step index" Si/Al, drogata unicamente con Er^{3+} , contenente, in peso, 40 ppm di Er^{3+} ; la fibra attiva aveva lunghezza di 30 m.

Tale amplificatore ha mostrato, con un segnale di trasmissione a 1560 nm di lunghezza d'onda, un guadagno inferiore a 15 dB, con una emissione spontanea di livello paragonabile a quello del segnale in uscita.

Come si osserva dagli esempi riportati, mentre l'amplificatore del secondo esempio ha mostrato un ridotto guadagno, introducendo inoltre un rumore tale da rendere difficile la ricezione del segnale di trasmissione, risultando inutilizzabile per una applicazione pratica, l'amplificatore impiegante una fibra attiva secondo il trovato si è rivelato, come appare dal primo esempio riportato, in grado di fornire un elevato guadagno di amplificazione in unione con un rumore introdotto trascurabile.

Si ritiene che il risultato ottenuto sia dovuto al fatto che il Samario presente come codrogante nella fibra attiva si comporti come un assorbitore dell'emissione luminosa dell'Erbio a 1531 nm, mentre non

assorbe sostanzialmente potenza luminosa a lunghezze d'onda superiori, "livellando" in tal modo lo spettro di emissione della fibra attiva, che può quindi operare efficacemente su segnali di trasmissione in un campo sufficientemente ampio da accettare la maggior parte della produzione commerciale di laser a semiconduttore (In, Ga, As).

Come mostra la figura 5, che rappresenta la curva di assorbimento luminoso per unità di lunghezza di una fibra Si/Al drogata con Samario, la presenza del Samario nella fibra dà origine, per lunghezze d'onda sostanzialmente inferiori a 1540 nm, ad un assorbimento molto superiore a quello presentato tra 1540 e 1560 nm; ciò significa che il Samario introdotto in una fibra secondo il trovato apparentemente svolge una azione di "filtro" distribuito nella lunghezza della fibra attiva, assorbendo fotoni emessi a 1531 nm non appena essi si generano per decadimento spontaneo dal livello di emissione laser degli ioni Er^{3+} , evitando quindi che possano procedere nella fibra attiva provocando ulteriori decadimenti a tale lunghezza d'onda, sottraendo quindi energia di pompaggio nel campo di lunghezza d'onda contiguo a tale valore, in cui è inviato il segnale utile e generando un rumore di fondo amplificato.

La quantità di Erblio presente nella fibra attiva viene prescelta in base al guadagno desiderato per la lunghezza di fibra impiegata, ovvero si seleziona la lunghezza di fibra in base alla quantità di Erblio in essa presente, in funzione del guadagno desiderato; usualmente il contenuto di Erblio nella fibra, inteso come ossido (Er_2O_3), varia tra 10 e 100 ppm in peso.

In corrispondenza a tali valori di concentrazione di Erblio nella

fibra, la concentrazione di Samario, anch'essa espressa come concentrazione in peso di ossido (Sm_2O_3) nella fibra, è pari o, preferibilmente, superiore a quella dell'Erbio, nel campo:

$$1 \leq \frac{[\text{Sm}_2\text{O}_3]}{[\text{Er}_2\text{O}_3]} \leq 10$$

Le sostanze droganti possono essere introdotte nella fibra ad esempio attraverso la tecnica del drogaggio in soluzione ("solution doping"), ben nota nel settore, che assicura soddisfacenti risultati qualitativi, ovvero attraverso altre tecniche anch'esse note, in base a specifiche esigenze.

Benché l'invenzione sia stata descritta in dettaglio con particolare riferimento all'impiego di Samario come drogante nella fibra attiva, altre sostanze possono essere impiegate per lo stesso scopo, purché esse siano dotate di un assorbimento luminoso elevato in corrispondenza alla lunghezza d'onda di massima emissione spontanea dell'Erbio, particolarmente intorno ai 1531 nm, presentando, nel contempo, un assorbimento luminoso sensibilmente minore al di sopra di tale lunghezza d'onda, preferibilmente al di sopra di 1540 nm, per tutto il campo di lunghezze d'onda di tolleranza degli emettitori laser di segnale commerciali.

Al fine di non penalizzare l'amplificatore dal punto di vista della potenza di pompaggio richiesta per realizzare l'inversione di popolazione che causa l'emissione laser nella fibra attiva, la quale potenza di pompaggio è fornita alla fibra sotto forma di radiazione luminosa con

lunghezza d'onda inferiore a quella del segnale di trasmissione, la sostanza drogante da aggiungere all'Erbio nella fibra non deve avere, al pari del Samario, un sensibile assorbimento luminoso alla lunghezza d'onda di pompaggio, che può essere, preferibilmente, 528 o 980 nm.

Molteplici varianti potranno essere introdotte, senza uscire dall'ambito del presente trovato nelle sue caratteristiche generali.

RIVENDICAZIONI

1) Fibra ottica comprendente sostanze droganti ad emissione laser, particolarmente per l'impiego in amplificatori ottici a fibra per linee ottiche di telecomunicazione, contenente Erbio come drogante ad emissione laser, atta a ricevere un segnale di telecomunicazione da un emettitore laser, in un prefissato campo di lunghezze d'onda, caratterizzata dal fatto che comprende un ulteriore drogante, distribuito lungo la fibra, il quale presenta un assorbimento, per luce avente lunghezza d'onda inferiore a 1540 nm, sostanzialmente superiore a quello che presenta per luce con lunghezza d'onda da 1540 nm fino all'estremo superiore del campo di lunghezze d'onda prefissato del segnale di trasmissione.

2) Fibra ottica comprendente sostanze droganti ad emissione laser secondo la rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che l'ulteriore drogante è costituito da Samario, in forma di catione trivalente.

3) Fibra ottica comprendente sostanze droganti ad emissione laser secondo la rivendicazione 2, caratterizzata dal fatto che la concentrazione di Samario nella fibra, rispetto a quella dell'Erbio in essa presente, espressa come percentuale in peso degli ossidi contenuti, è

lunghezza d'onda inferiore a quella del segnale di trasmissione, la sostanza drogante da aggiungere all'Erbio nella fibra non deve avere, al pari del Samario, un sensibile assorbimento luminoso alla lunghezza d'onda di pompaggio, che può essere, preferibilmente, 528 o 980 nm.

Molteplici varianti potranno essere introdotte, senza uscire dall'ambito del presente trovato nelle sue caratteristiche generali.

RIVENDICAZIONI

1) Fibra ottica comprendente sostanze droganti ad emissione laser, particolarmente per l'impiego in amplificatori ottici a fibra per linee ottiche di telecomunicazione, contenente Erbio come drogante ad emissione laser, atta a ricevere un segnale di telecomunicazione da un emettitore laser, in un prefissato campo di lunghezze d'onda, caratterizzata dal fatto che comprende un ulteriore drogante, distribuito lungo la fibra, il quale presenta un assorbimento, per luce avente lunghezza d'onda inferiore a 1540 nm, sostanzialmente superiore a quello che presenta per luce con lunghezza d'onda da 1540 nm fino all'estremo superiore del campo di lunghezze d'onda prefissato del segnale di trasmissione.

2) Fibra ottica comprendente sostanze droganti ad emissione laser secondo la rivendicazione 1, caratterizzata dal fatto che l'ulteriore drogante è costituito da Samario, in forma di catione trivalente.

3) Fibra ottica comprendente sostanze droganti ad emissione laser secondo la rivendicazione 2, caratterizzata dal fatto che la concentrazione di Samario nella fibra, rispetto a quella dell'Erbio in essa presente, espressa come percentuale in peso degli ossidi contenuti, è

$$1 \leq \frac{[\text{Sm}_2\text{O}_3]}{[\text{Er}_2\text{O}_3]} \leq 10.$$

4) Amplificatore ottico, particolarmente per linee di telecomunicazione a fibre ottiche, operanti con segnale di trasmissione in un prefissato campo di lunghezze d'onda, comprendente una fibra ottica attiva ad emissione laser, drogata con Erblio, caratterizzato dal fatto che la fibra ottica attiva comprende un ulteriore drogante, distribuito lungo la fibra, il quale presenta un assorbimento, per luce avente lunghezza d'onda inferiore a 1540 nm, sostanzialmente superiore a quello che presenta per luce con lunghezza d'onda da 1540 nm fino all'estremo superiore del campo di lunghezze d'onda prefissato del segnale di trasmissione.

5) Amplificatore ottico secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che l'ulteriore drogante della fibra ottica attiva è costituito da Samario, in forma di catione trivalente.

6) Amplificatore ottico secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che la concentrazione di Samario nella fibra ottica attiva, rispetto a quella dell'Erblio in essa presente, espressa come percentuale in peso degli ossidi in essa presenti, è

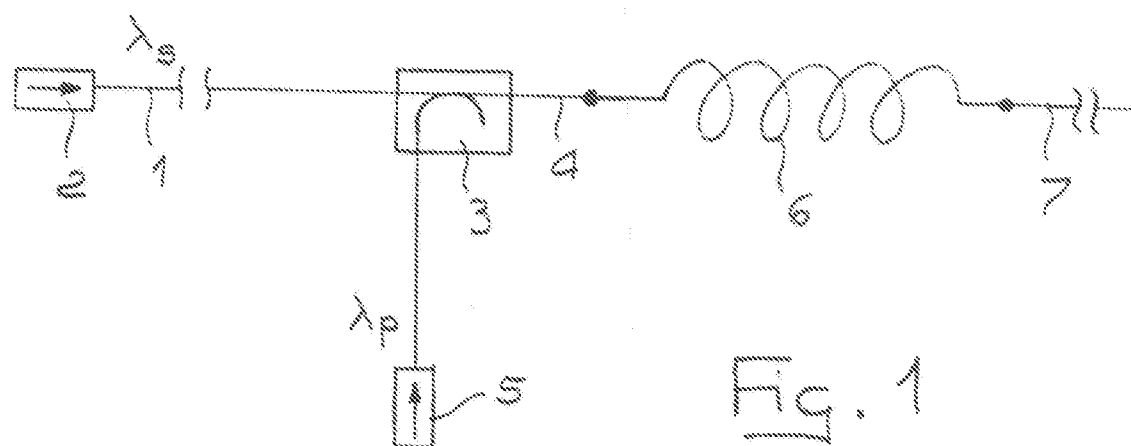
$$1 \leq \frac{[\text{Sm}_2\text{O}_3]}{[\text{Er}_2\text{O}_3]} \leq 10.$$



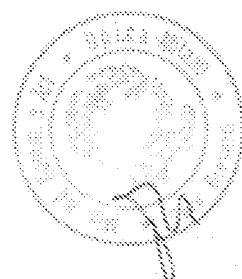
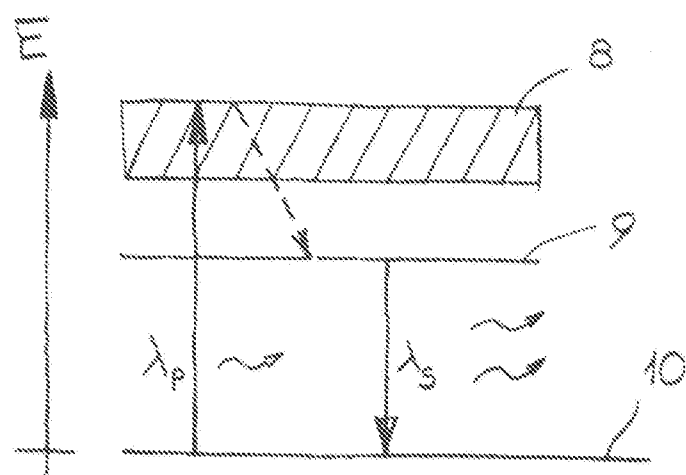
PER INCARICO

Dr. GIORGIO MARIANI
INDUSTRIE PIRELLI S.p.A.

th

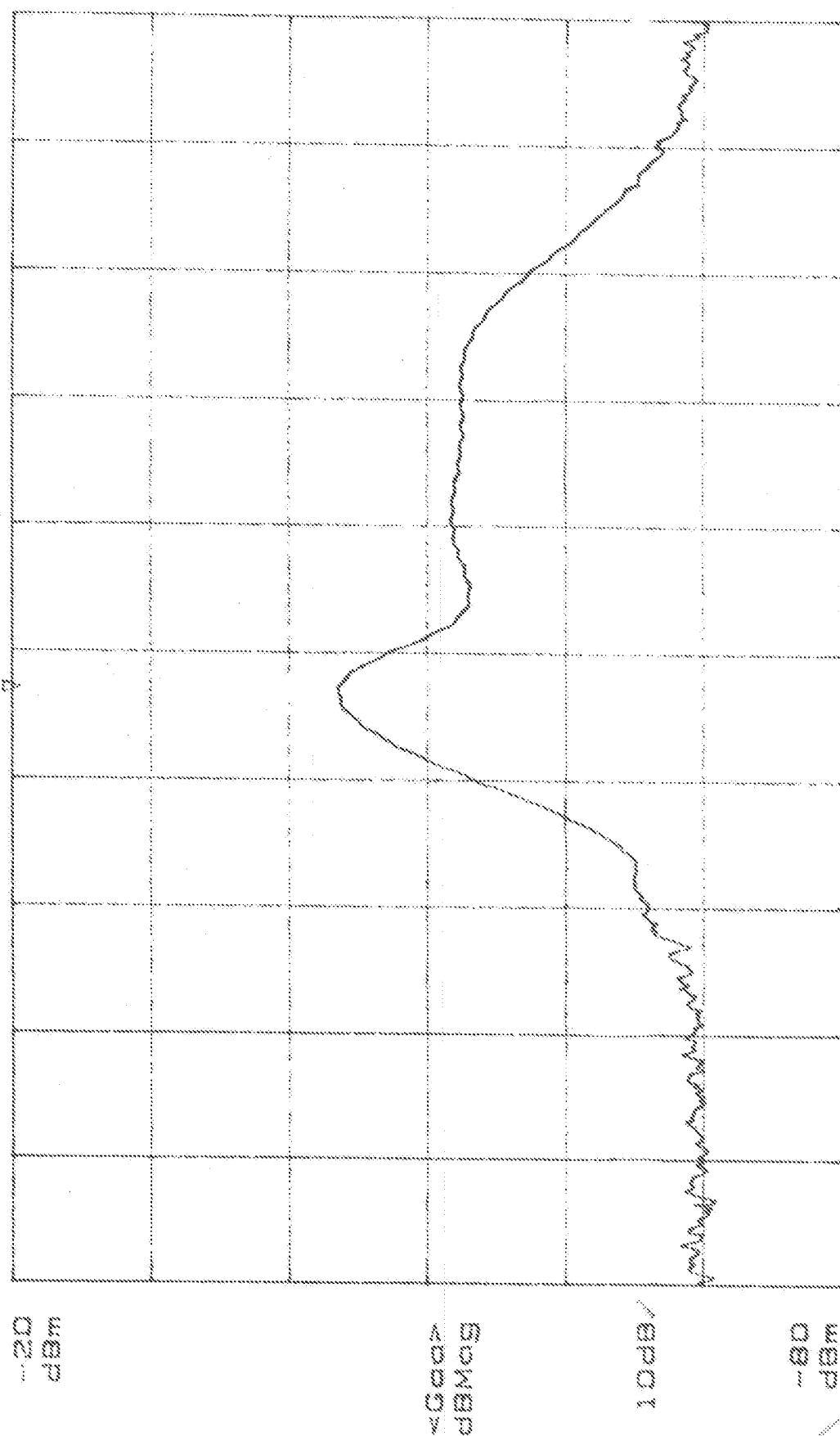


22197A/89



PER INCARICO
 Dr. GIORGIO MARIANI
 INDUSTRIE PIRELLI S.p.A.

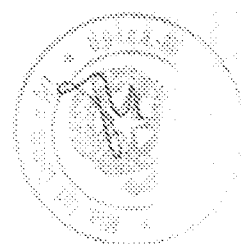
2219 7A/89



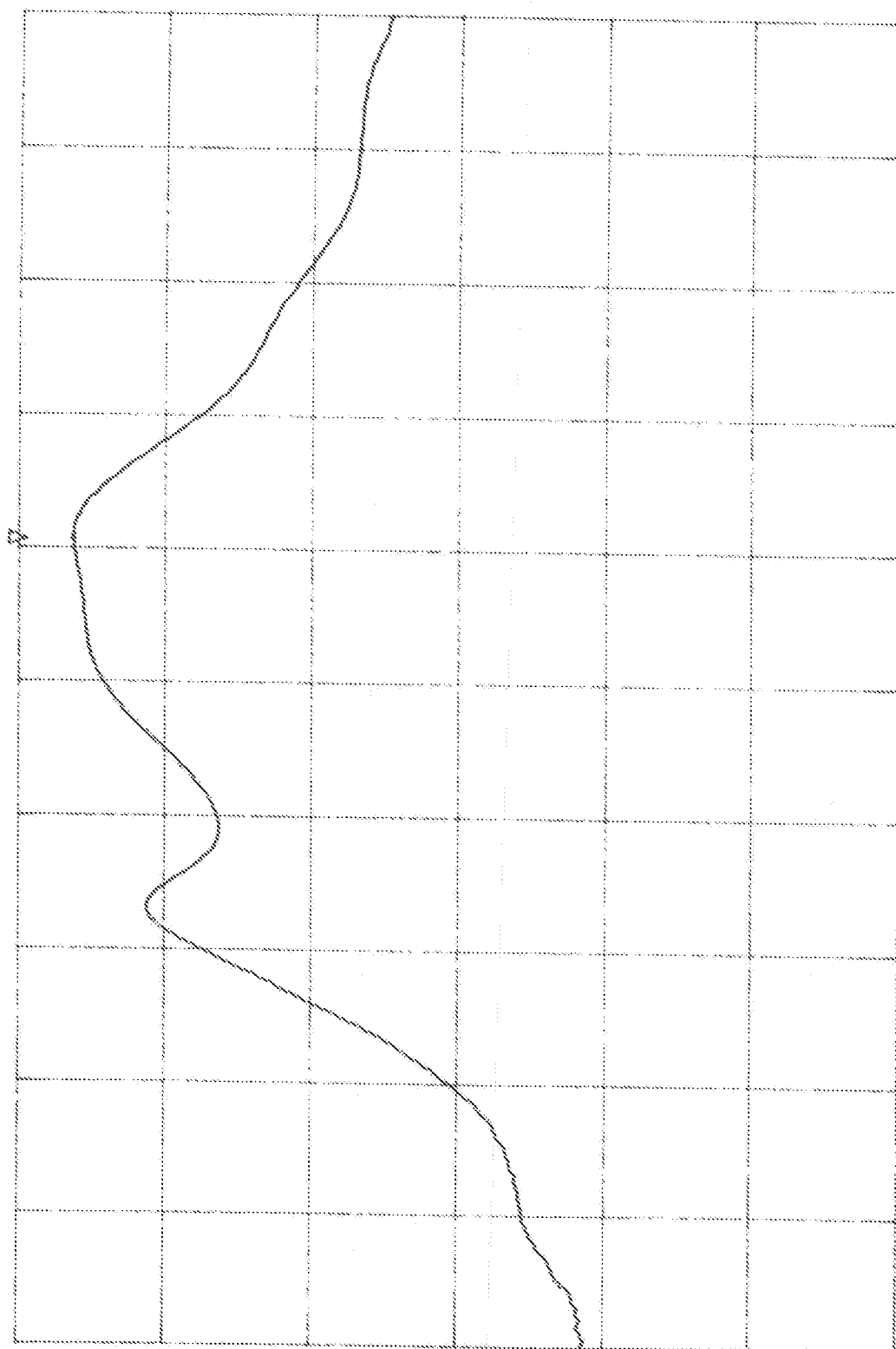
1.484 μm 1.584 μm

FIG. 3

PER INCARICO Dr. GIORGIO MARIANI
INDUSTRIE PIRELLI S.p.A.



2219 7A/89



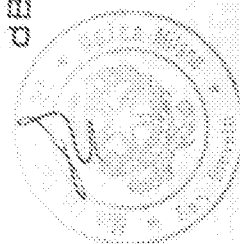
1.500 μm

λ

1.500 μm

Fig. 4

PER INCARICO
Dr. GIORGIO MARIANI
INDUSTRIE PIRELLI S.p.A.



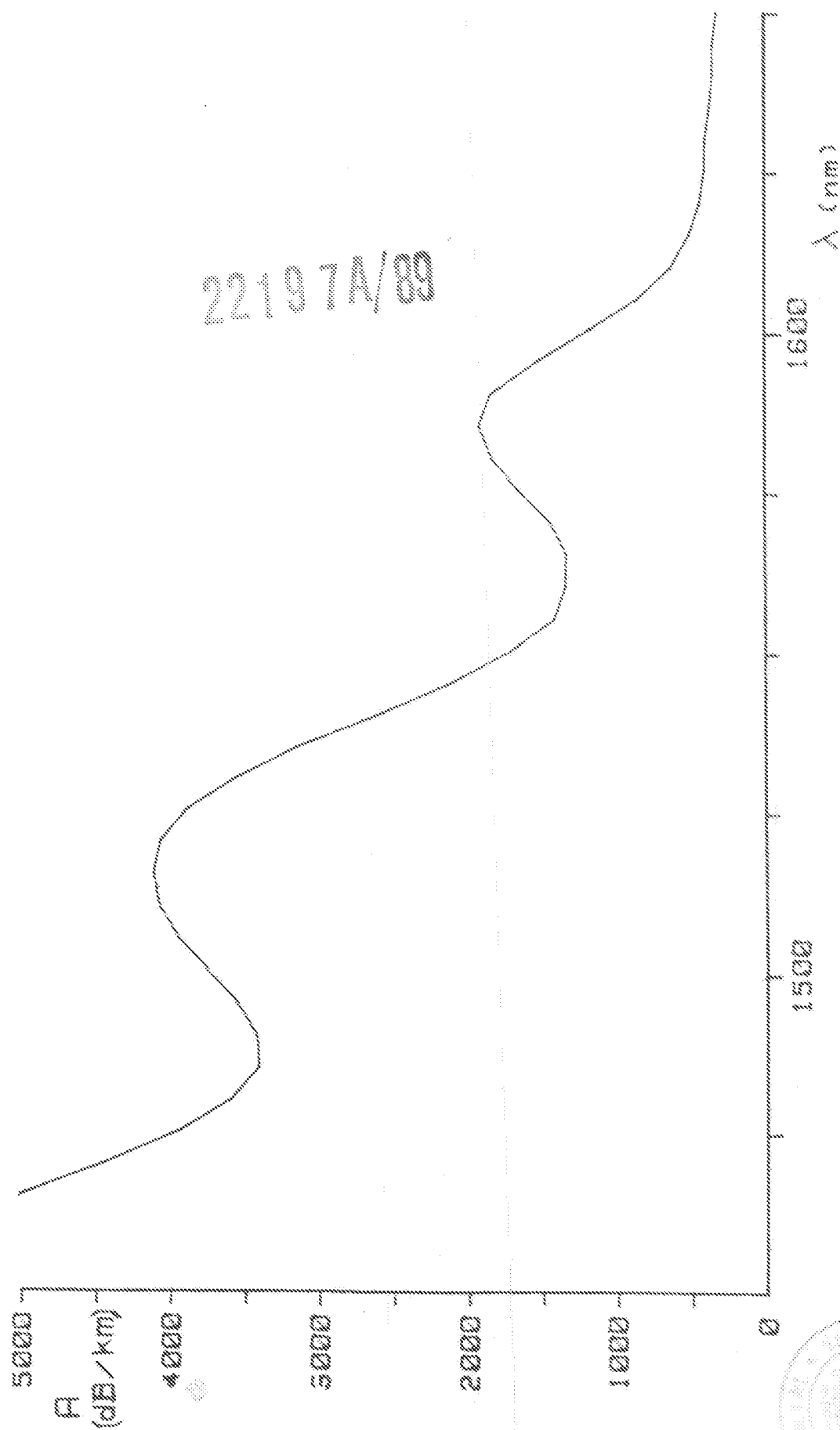


Fig. 5

PER INCARICO

Dr. GIORGIO MARIANI
INDUSTRIE FIBRE S.p.A.