

MEMÓRIA DESCRITIVA

DA

PATENTE DE INVENÇÃO

Nº 96.546 X

NOME: SOCIETÀ CAVI PIRELLI S.p.A.
Italiana, industrial, com sede em Piazzale Cadorna, 5-20123
Milão- ITÁLIA

EPÍGRAFE: "AMPLIFICADOR ÓPTICO DE CORRENTE COM FIBRA ACTIVA DOPADA"

INVENTORES: Giorgio Grasso, Aldo Righetti e Fausto Meli
Todos residentes em Itália.

Reivindicação do direito de prioridade ao abrigo do artigo
4º da Convenção da União de Paris de 20 de Março de 1883.

1990/01/22; IT; No. 19128 A/90

- R E S U M O -

"AMPLIFICADOR ÓPTICO DE CORRENTE COM FIBRA ACTIVA DOPADA"

Apresenta-se um amplificador óptico de corrente, especialmente para linhas de telecomunicação com fibras ópticas, do tipo que compreende uma fibra activa dopada com uma substância fluorescente, particularmente Erbium, bombeada por meio de uma bomba laser com saída a um comprimento de onda 980 nm, em que a fibra activa contém Al_2O_3 como dopante modificador do índice de refração. O amplificador apresenta ainda uma eficiência de amplificação particularmente elevada, próxima da eficiência máxima teórica.

Figuras 1 e 2.

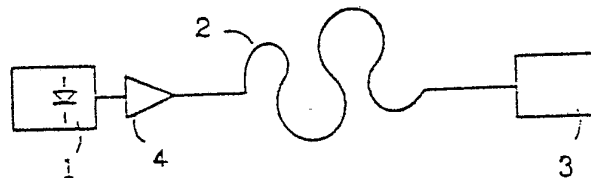


Fig. 1

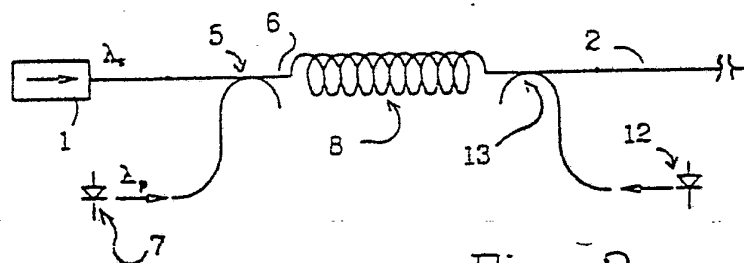


Fig. 2

22 JUN 1991

1

5

O presente invento refere-se a um amplificador óptico de corrente com fibra activa , com eficiência de amplificação elevada .

10

Para uma transmissão de sinal a longa distância através duma linha de comunicação com fibra óptica é necessário que os mesmos sinais atinjam a estação receptora com nível suficiente para que possam ser reconhecidos e utilizados; como na propagação numa fibra óptica se verifica a atenuação da luz do sinal, para se obter na estação receptora, a mais de 10 ou 100 quilómetros de distância, um sinal de nível suficiente, o sinal originariamente introduzido na fibra tem de ter o mais alto nível possível.

15

20

Os lasers usados para a produção do sinal de transmissão têm, contudo, um poder algo limitado, de não mais do que alguns mW, enquanto que os lasers mais poderosos não são capazes de produzir tais sinais; por isso, temos de utilizar amplificadores poderosos, para receber o sinal produzido pelo laser e para o amplificar para o nível desejado.

25

É sabido que as fibras ópticas tendo o núcleo dopado com substâncias particulares como, por exemplo, iões de terras raras, apresentam características de saída estimuladas, adequadas para uso como amplificadores ópticos.

30

Tais fibras, podem de facto, ser providas com uma fonte de luz, chamada "fonte bombeante", num determinado comprimento de onda, em correspondência com um pico do espectro de absorção da substância dopante, o que é capaz de colocar os átomos da substância dopante num estado energético excitado, ou faixa de bombagem, a partir do qual os referidos átomos passam espontâneamente, e num curto período de tempo, para um estado de saída de laser , em que permanecem

35

22. JAN. 1991

1 por um tempo relativamente mais longo.

Quando uma fibra que, no nível de emissão tem um elevado número de átomos em estado de excitação, é atravessada por uma luz de sinal com um comprimento de onda correspondendo ao referido estado de emissão laser, o sinal provoca a transição dos átomos agitados para um sinal inferior com emissão de luz com o mesmo comprimento de onda do sinal; consequentemente, pode usar-se uma fibra deste tipo para obter a amplificação de um sinal óptico.

10 São particularmente bem conhecidos os amplificadores ópticos que utilizam (Érbio) Erbium como dopante de emissão-laser, os quais usam a fluorescência do (Érbio) a cerca de 1550 nm para a amplificação de um sinal em tal âmbito, no qual se verificam as melhores características transmissíveis da fibra de linha, do ponto de vista da atenuação do sinal.

Os amplificadores de poder óptico que usam fibras dopadas com Érbio estão descritos em "Proceeding ECOC (European Conference on Optical Communication) 1989, páginas 42-43; tal documento descreve um amplificador de corrente que usa fibras de sílica dopadas com Germânio e Érbio, bombeado com um laser Nd-YAG duplicado em frequência para 532 nm.

Tal amplificador apresenta contudo uma eficiência de amplificação (considerada como a proporção entre a energia do sinal de transmissão à saída e a energia de bombeamento fornecida) muito baixa, inferior a 20%, e muito distante da máxima eficiência teórica.

Pela Patente Europeia -A-0345957, conhecem-se as fibras do tipo Al/Er, nas quais o dopante usado para se obter o perfil do índice de refração apropriado para guiar a luz é Al_2O_3 ; as fibras são adequadas para amplificadores ópticos bombeadas a 514.5 nm de comprimento de onda, como por exemplo, um laser Argon.

De acordo com o referido pedido de patente, as fibras de Al/Er são preferíveis às fibras tradicionais Ge/Er se bombeadas no comprimento de onda indicado, de 514.5 nm,

22 JAN 1994

1 porque evitam os fenómenos de absorção no estado de excita-
ção que ocorrem nas fibras Ge/Er, no mesmo comprimento de on-
da.

5 Por outro lado, para se obter uma alta eficiên-
cia de amplificação é conveniente usar comprimentos de onda
de bombeamento relativamente elevadas, sendo particularmente
útil o comprimento de onda de 980 nm, porque a eficiência
de amplificação num amplificador de energia é essencialmente
proporcional ao comprimento de onda da bombagem.

10 O objectivo deste invento é realizar um ampli-
ficador de energia que tenha uma alta eficiência de amplifi-
cação em correspondência com relativamente elevados compri-
mentos de onda de bombeamento, basicamente superiores a 520
nm.

15 O presente invento refere-se a um amplifica-
dor óptico de energia, constituído por uma fibra activa dopa-
da contendo um dopante modificador do índice de refração e
Érbium como dopante fluorescente, ligado a uma linha de te-
lecomunicação com fibras ópticas, e alimentado por um laser
20 bombeador através de um acoplador dicróico; este amplifica-
dor é adequado para funcionar em condições de saturação da
saída estimulada do dopante fluorescente, caracterizando-se
pelo facto de o dopante modificador do índice de refração
da fibra óptica ser Al_2O_3 .

25 O comprimento de onda do laser bombeador liga-
do à fibra activa é substancialmente superior a 520 nm e pre-
ferivelmente igual a 980 nm.

30 A concentração de Érbium na fibra, expressa em
peso de Er_2O_3 , está compreendida entre 30 e 2000 ppm e pre-
ferivelmente entre 30 e 1000 ppm.

A fibra activa pode ser monomodal no compri-
mento de onda do sinal de transmissão, mas não no comprimen-
to de onda de bombagem, de modo a ter uma elevada energia de
bombagem no interior de toda a secção da mesma fibra.

35 Alternativamente, a fibra activa pode ser mo-
nomodal no comprimento de onda do sinal de transmissão bem

22. JAN 1991

1 como no comprimento de onda de bombagem, de modo a reduzir as
perdas de ligação com o acoplador dicróico do laser bombea-
dor.

5 Numa forma de realização preferida, o ampli-
ficador óptico de energia, de acordo com o invento, inclui
dois lasers bombeadores ligados às duas extremidades da fi-
bra activa através dos respectivos acopladores dicróicos ori-
entados de modo a que a direcção de entrada da energia lumi-
nosa emitida pelo laser bombeador esteja dirigida para a mes-
10 ma fibra activa.

Podem apreciar-se outros detalhes com a se-
guinte descrição do invento, referenciada aos desenhos jun-
tos, em que:

15 A Figura 1 apresenta um diagrama de uma li-
nha de telecomunicação óptica com amplificador de energia;

A Figura 2 apresenta um diagrama de um ampli-
ficador óptico de energia que utiliza uma fibra activa;

20 A Figura 3 apresenta um diagrama das transi-
ções energéticas de uma fibra para um amplificador de acordo
com o diagrama da Figura 2, adequada para gerar uma saída
(laser) estimulada;

25 A Figura 4 apresenta um diagrama da saída de
energia relativamente à energia de bombeamento num amplifi-
cador de energia que utiliza uma fibra activa de acordo com
o invento;

A Figura 5 apresenta um diagrama da energia
de saída relativamente à energia de bombeamento num amplifi-
cador de energia que utiliza fibra activa do tipo Ge/Er;

30 A Figura 6 apresenta o espectro de fluores-
cência de uma fibra de acordo com o invento e de uma fibra
Ge/Er.

35 Uma linha de telecomunicação com fibras ópti-
cas, esquematicamente representada na Figura 1, compreende,
de uma forma geral, uma estação 1 para a emissão de sinais
de transmissão, uma linha de fibras ópticas 2, adequada para
transportar para longas distâncias os sinais nela introduzi-

22. JAN. 1991

1 dos, e uma estação de recepção 3 a que chegam os sinais.

5 A fim de se introduzirem na linha de telecomunicação por fibras ópticas 2, sinais ópticos com um nível de energia inicial suficientemente elevado para lhes permitir atingir a estação receptora 3, colocada a dezenas ou centenas de quilómetros de distância da fonte 1, e com um nível de energia aceitável para a sensibilidade dos dispositivos receptores aí localizados, não obstante a inevitável atenuação devida ao longo percurso no interior da fibra, os sinais ópticos, que são gerados por um emissor laser presente na estação emissora 1, são devidamente ampliados por meio de um amplificador de energia 4.

15 De facto, os lasers utilizáveis para a geração dos sinais de transmissão, funcionando no comprimento de onda em que as características transmissivas da fibra são as melhores, isto é, correspondente à chamada terceira janela, a cerca de 1500 - 1600 nm, são lasers semicondutores, moduláveis e com bom desempenho espectral; mas tais lasers têm um nível de saída do sinal um tanto baixo, não excedendo cerca de 3 dBm (cerca de 5 mW); por esta razão, o sinal que geram deve ser convenientemente amplificado para um nível superior, como por exemplo, para 15 - 20 dBm, antes da sua introdução na linha.

25 Para realizar a amplificação óptica dos sinais a serem introduzidos numa linha com fibras ópticas para telecomunicações, são utilizados amplificadores com fibras ópticas.

30 A estrutura de um amplificador com fibras ópticas está ilustrada esquematicamente na Figura 2; um sinal de transmissão, tendo um comprimento de onda λ_s , é enviado para um acoplador dicróico 5, em que se junta, numa única fibra óptica de saída 6, com um sinal bombeador com um comprimento de onda λ_p , gerado por um laser bombeador 7; uma fibra activa 8 de comprimento adequado, ligada à fibra 6 de saída do acoplador, constitui o amplificador do sinal que é assim introduzido na fibra de linha 2, para ser enviado para

35

22 JAN 1991

1 o seu destino.

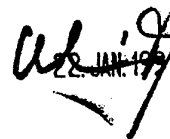
Em geral, um amplificador óptico do tipo descrito proporciona a utilização de uma fibra óptica activa 8 em sílica dopada numa solução com Er_2O_3 , que permite obter a amplificação do sinal de transmissão explorando as transições estimuladas do Érbium.

Conforma se mostra no diagrama da Figura 3, que representa de forma simbólica, o estado energético disponível para um ião de Érbium em solução na matriz silicosa da fibra, a introdução na fibra activa de uma energia luminosa no comprimento de onda de bombeamento λ_p , inferior ao de λ_s do sinal de transmissão, introduz um certo número de iões Er^{3+} , presente salto energético excitado 9, ou banda de "bombeamento", do qual os iões se escoam espontaneamente para um nível energético 10, que constitui um nível de emissão laser.

Os iões de Er^{3+} podem manter-se no nível laser de saída 10 durante um período de tempo relativamente longo, antes de sofrerem uma transição espontânea para o nível base 11.

Como é sabido, enquanto a transição da banda 9 para o nível 10 está associada a uma saída térmica, que é dispersa para o exterior da fibra (radiação fonónica), a transição do nível 10 para o nível básico 11 gera uma emissão luminosa, constituindo um fotão com um comprimento de onda correspondente ao valor energético do nível de emissão laser 10; se uma fibra contendo uma elevada quantidade de iões ao nível de emissão laser for atravessada por um sinal com um comprimento de onda correspondente a tal nível de emissão, o sinal provoca a transição estimulada dos iões em causa do nível de emissão para o nível básico, antes do seu decaimento espontâneo, transição associada à correspondente saída de fotões simultaneamente com os fotões do sinal, o que dá origem a um fenómeno de "queda de água" que produz, à saída da fibra activa, a emissão de um sinal de transmissão fortemente amplificado.

Na presença de sinais em entrada para a fibra



22 JUN 1991

1 activa com um baixo nível energético, como por exemplo, um
sinal que foi atenuado depois de ter alcançado uma grande
distância no interior de uma fibra óptica, e em condições de
fraca energia de saída, a energia luminosa P_u do sinal de
5 transmissão com comprimento de onda λ_s em saída da fibra acti-
va é proporcional à energia P_i do mesmo sinal em entrada na
fibra, e a constante da proporcionalidade entre ambos define-
-se como ganho de amplificação G , de acordo com a relação
 $P_u = G P_i$.

10 Tais condições de funcionamento são típicas
dos amplificadores de linha colocados ao longo de uma fibra
óptica de uma linha de telecomunicações, para restaurar, pa-
ra um nível suficiente, um sinal atenuado após um certo per-
curso na fibra.

15 Em presença de um sinal de entrada de alta
energia, e com elevada energia de saída, basicamente mais do
que 5% da energia de bombeamento introduzida, o amplificador
óptico funciona em condições de saturação e proporciona uma
energia de saída que, na prática, já não depende da energia
20 entrada, mas apenas da energia de bombeamento; de facto na
presença de um grande número de fotões no interior da fibra
activa, a capacidade da fibra para emitir novos fotões devi-
do a transições estimuladas pelo nível laser 10 é limitada
pela possibilidade, relacionada com a energia de bombeamento
25 introduzida, de tornar disponível um número suficiente de
iões de Erbium no nível laser 10, e não depende do número de
fotões do sinal de entrada, ou seja, da energia entrada na
fibra.

30 Tais condições de funcionamento são típicas
dos amplificadores de energia, e para eles existe uma rela-
ção $P_u = K P_p$, em que P_u é a energia em saída, P_p a energia
de bombeamento e K a proporcionalidade constante que repre-
senta, basicamente, a eficiência do amplificador.

35 A eficiência máxima do amplificador é teórica-
mente a eficiência correspondente à situação em que, por ca-
da fotão enviado para o interior da fibra com o comprimento

1 de onda de bombeamento λ_p , que causa a transição do dopante
do nível base 11 para o nível laser 10, há uma emissão de
fotões, em presença do sinal, ao nível do comprimento de on-
da de transmissão λ_s ; tais condições correspondem a uma efi-
5 ciência de amplificação dita "Eficiência de Quantum", signi-
ficando um rácio entre a energia do fotão à saída e a ener-
gia do fotão na entrada, ou, em definitivo, entre o compri-
mento de onda do fotão de entrada, ou seja o fotão bombeador
e o comprimento de onda do fotão de saída, ou seja, o fotão
10 de transmissão; $E_q = \lambda_p / \lambda_s$.

No caso do comprimento de onda do sinal
de transmissão ser de cerca de 1550 nm e do comprimento de
onda de bombeamento ser de 980 nm, a eficiência do quantum
é de cerca de 63% (980/1550).

15 Para se obter uma elevada eficiência de
amplificação é, portanto, necessário operar em condições que
correspondam a uma elevada eficiência de quantum, usando com-
primentos de onda de bombeamento relativamente elevados; e,
além disso, aproximar-se tanto quanto possível da eficiência
20 de quantum.

Em particular, o uso de baixos comprimen-
tos de onda de bombeamento, substancialmente inferiores a
520 nm, proporciona uma eficiência de quantum muito baixa
(inferior a 33%) e uma eficiência de amplificação muito fra-
ca mesmo, quando no melhor dos casos, se utilizarem amplifi-
cadores com uma eficiência igual à eficiência de quantum.
25

Para a realização do amplificador de ener-
gia do tipo acima descrito, verificou-se que fibras de síli-
ca activas, dopadas com Al_2O_3 para se obter o desejado per-
fil de índice de refração, e contendo Erbium como dopante
30 com emissão laser, apresentam uma eficiência muito elevada,
próxima da eficiência do quantum acima descrita, em corres-
pondência com um comprimento de onda de bombeamento mais ele-
vado do que 520 nm e, em particular, em correspondência com
o pico de absorção do Erbium a 980 nm.

35 As fibras acima descritas obtêm-se com a

22. JAN. 1991

1 técnica de dopagem por solução, bem conhecida no ramo, atra-
vés da qual o dopante principal, que é Al_2O_3 , e o dopante
fluorescente, que é Er^{3+} , são incorporados no núcleo da fi-
bra por imersão numa solução aquosa, contendo sais, tendo a
5 pré-forma tubular uma camada interna sintetizada que é então
fundida e deixada cair, e extraíndo-se daí a fibra.

A descrição deste tipo de fibras e do res-
pectivo processo de realização é feita no pedido de patente
Britânico N. 8813769.

10 Para a realização de amplificadores de ener-
gia, de acordo com o presente invento, as fibras dopadas com
 Al_2O_3 contêm uma quantidade de Erbium, expressa como concen-
tração em peso de Er_2O_3 , de 30 ppm a 2000 ppm e, preferivel-
mente, de 30 a 1000 ppm; o conteúdo do dopante modificador
15 do índice de refração, que é Al_2O_3 , e o perfil radial do ín-
dice de refração na fibra podem ser escolhidos com base nas
exigências específicas do pedido, não condicionando as fina-
lidades do presente invento.

20 Em particular, a abertura numérica e o diâ-
metro modal da fibra são oportunamente escolhidos de maneira
a permitir um acoplamento com baixas perdas com a fibra de
linha, enquanto que o conteúdo de Erbium e a sua distribui-
ção radial na fibra podem ser escolhidos em relação com o
comprimento da fibra activa escolhida, a energia de entrada
e semelhantes, de acordo com critérios conhecidos.

25 A fibra activa é uma fibra monomodal no com-
primento de onda da transmissão; pode ser não monomodal no
comprimento de onda de bombeamento, a fim de permitir a en-
trada na fibra da maior quantidade possível de energia de
bombeamento, distribuída por toda a secção; o uso de uma fi-
bra monomodal no comprimento de onda de bombeamento p p pode
30 no entanto, ser conveniente para simplificar e reduzir as
perdas de ligação da fibra com o acoplador dicróico 5.

35 Com tais fibras é possível produzir um ampli-
ficador de energia de acordo com o esquema ilustrado na Figu-
ra 2 e na descrição anterior; com o fim de manter um alto va

22. JAN. 1991

1 lor de energia de bombeamento em toda a extensão da fibra
activa 8, e de aumentar a energia de bombeamento total intro-
duzida na fibra, é possível e conveniente dispor de um segun-
do laser de bombeamento 12 por baixo da fibra activa, com um
5 acoplador dicróico relativo 13 orientado em direcção à mes-
ma fibra.

Isto permite, especificamente, utilizar um
laser de bombeamento com uma energia não demasiado elevada
para que não haja degradação significativa do sinal, garan-
tindo ao mesmo tempo, toda a energia necessária para activar
10 a fibra.

O uso de uma fibra dopada com Al_2O_3 e Er^{3+} ,
bombeada a 980 nm (± 5 nm), permitiu obter uma eficiência de
amplificação muito elevada, próxima da eficiência de quantum
15 acima referida e, no entanto, mais elevada do que 60% desse
valor; pelo contrário, as fibras tradicionais dopadas com
Germanium têm demonstrado uma eficiência muito baixa, infe-
rior a 30% da eficiência de quantum.

A Figura 4 mostra um diagrama da energia
da saída P_u em função da energia de bombeamento P_p para um
20 amplificador realizado com o uso de uma fibra de acordo com
o invento (Al/Er); a fibra tinha as seguintes característi-
cas:

Abertura numérica 0,16

25 Conteúdo de Erbium (peso de Er_2O_3) 350 ppm

Comprimento de onda crítico ($\lambda_{\text{crítico}}$) 930 nm

Diâmetro do Campo de Modo (MFD) a 1536 nm 8,14 μm

Na entrada do amplificador, a energia do sinal de transmis-
são, com um comprimento de onda $\lambda_s = 1536$ nm, foi $P_i = -2$

30 dBm; o comprimento de onda de bombeamento foi $\lambda_p = 980$ nm e
a fibra activa tinha um comprimento de 3,7 m.

Nestas condições, obtivemos uma eficiência
de amplificação substancialmente igual à eficiência de quan-
tum.

35 Em comparação, a Figura 5 mostra o diagra-

1 ma da energia de saída P_u em relação à potência de bombeamen
to P_p para um amplificador realizado utilizando-se uma fibra
tradicional (Ge/Er); a fibra tinha as seguintes característi
cas:

5

Abertura Numérica 0,21

Conteúdo de Erbium (peso de Er_2O_3) 300 ppm

Comprimento de Onda Crítico ($\lambda_{crítico}$) 980 nm

Diâmetro do Campo de Modo (MFD) a 1536 nm 5,82 μm

10

Na entrada do amplificador, a energia do sinal de transmis
são, com um comprimento de onda $\lambda_s = 1536$ nm, foi $P_i = 0$
dBm; o comprimento de onda de bombeamento foi $\lambda_p = 980$ nm e
a fibra activa tinha um comprimento de 4 m.

15

A eficiência de amplificação obtida tinha si
do, neste caso, de 16%, aproximadamente igual a 25% da efi
ciência de quantum.

Conforme também se pode ver comparando os
diagramas, a fibra Al/Er apresentou um melhor desempenho do
que a fibra Ge/Er.

20

Uma fibra Al/Er apresenta um espectro de
fluorescência mais amplo do que o de uma fibra Ge/Er corres
pondente, conforme se vê pelas respectivas curvas A e G da
Figura 6; isto torna tais fibras activas uma fonte de maior
ruído, se comparadas com as fibras Ge/Er, devido à queda es
pontânea dos iões de Erbium com comprimentos de onda diferen
tes dos comprimentos do sinal, no caso do seu uso como ampli
ficadores de linha, apresentando uma energia de saída dema
siadamente baixa se comparada com a energia de bombeamento.

25

Para utilização como amplificadores de ener
gia observámos que, pelo contrário, as fibras Al/Er não apre
sentam ruído de saída singnificativo se comparadas com as fi
bras Ge/Er; considera-se que isso se deve ao facto de que,
nas condições de saturação anteriormente descritas em que um
amplificador de energia funciona, nas fibras Al/Er pratica
mente todos os iões de Erbium trazidos para o nível do laser

30

35

1 são feitos decair para o nível base por um fotão do sinal,
conforme confirma a eficiência de amplificação próxima da
eficiência do quantum apresentada por tais fibras; e assim,
praticamente nenhum ião é submetido à queda espontânea, cau-
5 sa de ruído, que, além disso, é em qualquer caso, negligenciá-
vel dado o nível da energia de saída do sinal.

O alargamento do espectro fluorescente da fi-
bra tem, além disso, a vantagem de permitir uma maior liber-
dade de escolha do comprimento de onda da transmissão, permi-
10 tindo, por exemplo, aceitar uma maior tolerância produtiva
no sinal laser.

As fibras de acordo com o invento revelaram-
-se assim particularmente vantajosas para uso em amplificado-
res ópticos com fibras de energia, oferecendo uma eficiência
15 de amplificação sensivelmente mais elevada do que a das fi-
bras conhecidas.

Podem ser introduzidas variantes múltiplas
sem afastamento do escopo do presente invento nas suas carac-
terísticas gerais.

- R E I V I N D I C A Ç Õ E S -

1ª. - Amplificador óptico de corrente, cons-
tituído por uma fibra activa dopada (8) contendo um dopante
25 modificador do índice de refração e Erbium como dopante
fluorescente, fornecido por um laser bombeante (7, 12) atra-
vés de um acoplador dicróico relativo (5, 13) e ligado a uma
linha de telecomunicação por fibra óptica (2), amplificador
esse que é adequado para funcionar em condições de saturação
30 para a saída estimulada do material dopante fluorescente, ca-
racterizado pelo facto de o dopante modificador do índice de
refração da fibra activa ser Al_2O_3 .

2ª. - Amplificador óptico de corrente de acor-
do com a reivindicação 1, caracterizado pelo facto de o com-
35 primento de onda da bomba laser ligada à fibra activa ser

22 JAN 1987

1 mais elevado do que 520 nm.

3ª. - Amplificador óptico de corrente de
acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo facto de o
comprimento de onda da bomba laser ligada à fibra activa ser
5 de 980 nm.

4ª. - Amplificador de corrente de acordo
com a reivindicação 1, caracterizado pelo facto de a concen-
tração de Erbium na referida fibra, expressa em peso de Er_2O_3 ,
se encontrar entre 30 e 2000 ppm.

5ª. - Amplificador óptico de corrente de
acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo facto de a
concentração de Erbium na fibra, expressa em peso Er_2O_3 , se
encontrar incluída entre 30 e 1000 ppm.

6ª. - Amplificador óptico de corrente de
acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo facto de a
fibra activa (8) ser monomodal ao comprimento de onda do si-
nal de transmissão mas não ao comprimento de onda da bomba.

7ª. - Amplificador óptico de corrente de
acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo facto de a
fibra activa (8) ser monomodal ao comprimento de onda do si-
nal de transmissão e ao comprimento de onda da bomba.

8ª. - Amplificador óptico de corrente de
acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo facto de
incluir dois lasers de bombagem (7, 12) ligados às duas ex-
tremidades da fibra activa (8) através de acopladores dicrói-
cos respectivos (5, 13), orientados com a direcção de entra-
da da energia luminosa emitida pela bomba laser (7, 12) di-
rigida em direcção à fibra activa (8).

30 Lisboa,

Por SOCIETÀ CAVI PIRELLI S.p.A.

O AGENTE OFICIAL

35 VASCO MARQUES LEITE

Agente Oficial

da Propriedade Industrial

Cartório - Arco da Conceição, 3, 1.º - 1160 LISBOA

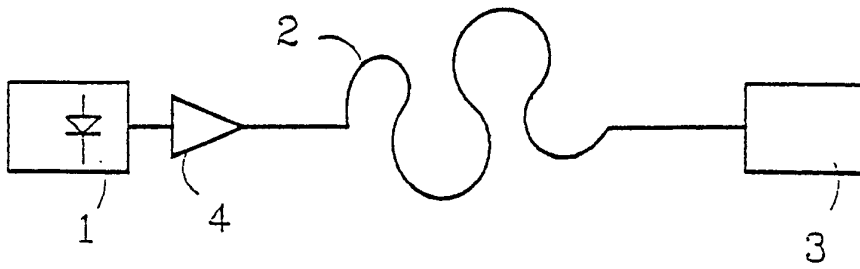


Fig. 1

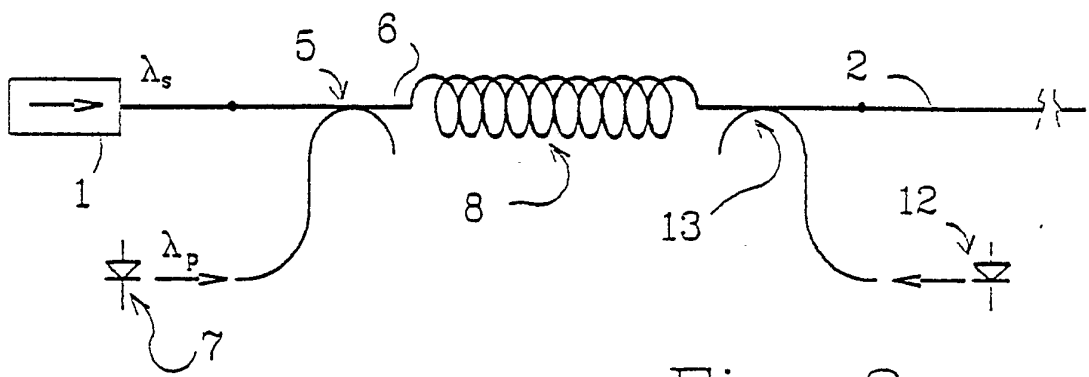


Fig. 2

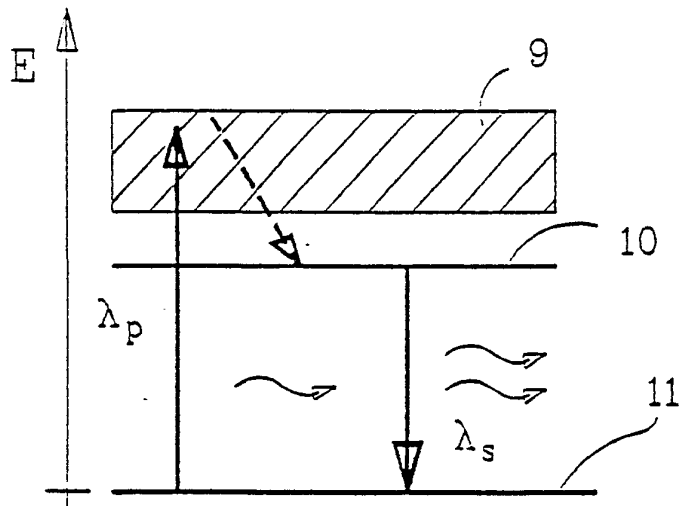


Fig. 3

2 JAN 1991

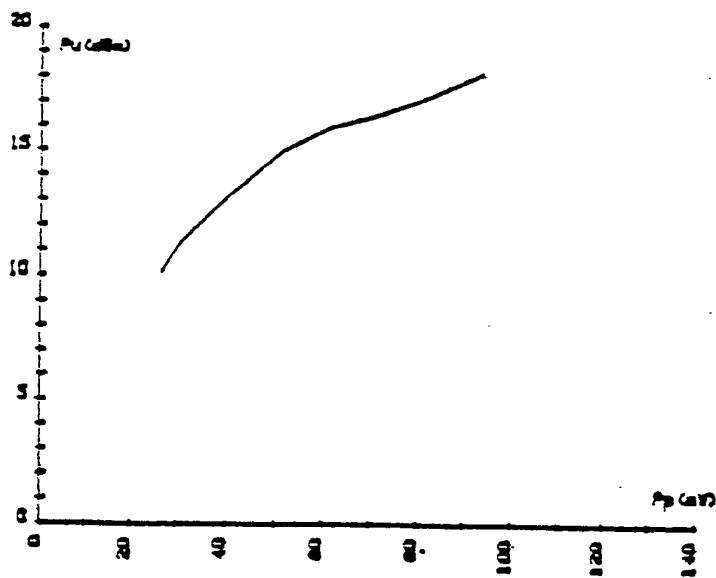


FIG. 4

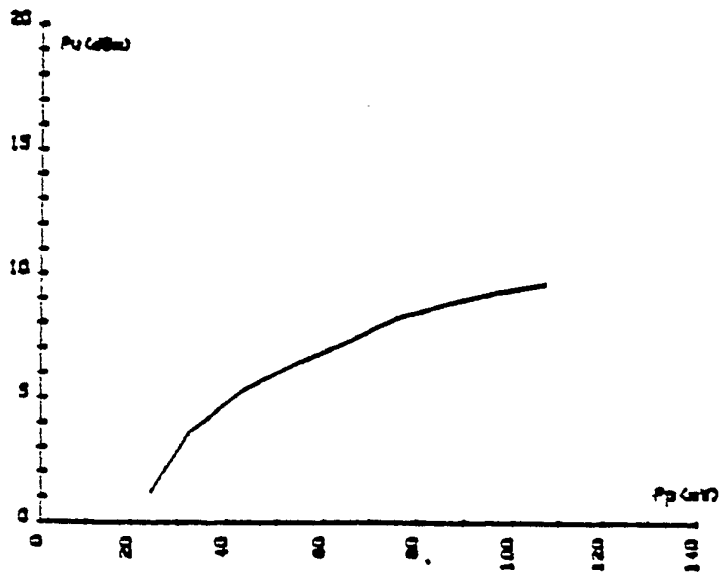


FIG. 5

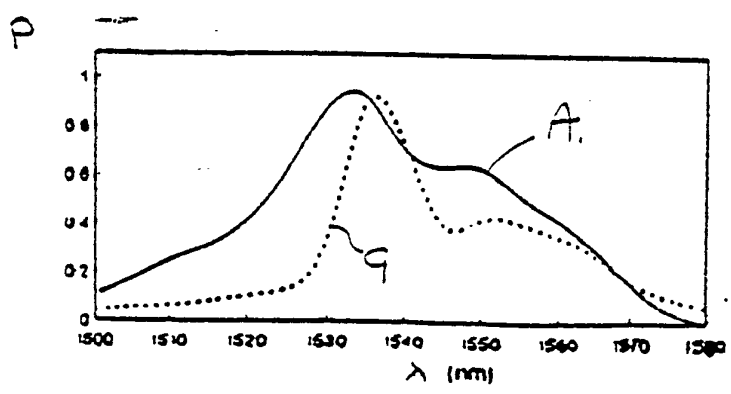


FIG. 6