

**MEMÓRIA DESCRIPTIVA
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

1

- R E S U M O -

"AMPLIFICADOR ÓPTICO DE CORRENTE COM FIBRA ACTIVA DOPADA"

5

10

15

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 refracção. O amplificador apresenta ainda uma eficiência de amplificação particularmente elevada, próxima da eficiência máxima teórica.

Figuras 1 e 2.

20

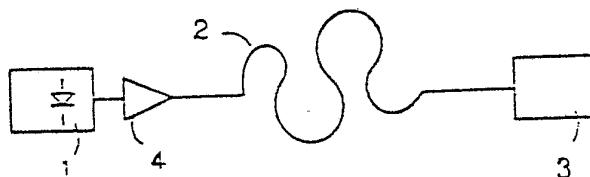


Fig. 1

25

30

35

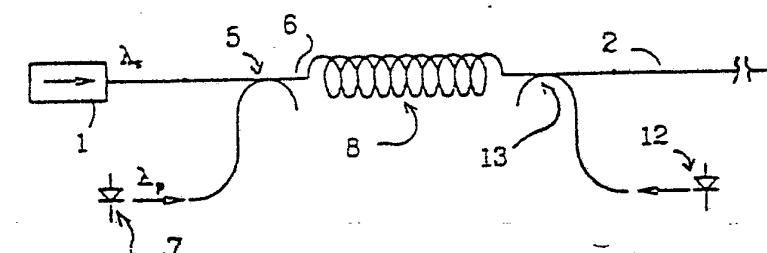


Fig. 2

*Ad
22 JAN 1997*

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 originalmente introduzido na fibra tem de ter o mais alto nível possível.

15

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.

20

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.

25

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

22 JAN 1991

1 por um tempo relativamente mais longo.

5 Quando uma fibra que, no nível de emissão tem um elevado número de átomos em estado de excitação, é atra-
vessada por uma luz de sinal com um comprimento de onda cor-
respondendo ao referido estado de emissão laser, o sinal pro-
voca 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 amplifi-
cadores ópticos que utilizam (Érbio) Erbium como dopante de
emissão-laser, os quais usam a fluorescência do (Érbium) a cer-
ca de 1550 nm para a amplificação de um sinal em tal âmbi-
to, no qual se verificam as melhores características trans-
missíveis da fibra de linha, do ponto de vista da atenuação
15 do sinal.

20 Os amplificadores de poder óptico que usam fi-
bras dopadas com Érbium 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, bombea-
do com um laser Nd-YAG duplicado em frequência para 532 nm.

25 Tal amplificador apresenta contudo uma eficiê-
ncia de amplificação (considerada como a proporção entre a
energia do sinal de transmissão à saída e a energia de bom-
beamento fornecida) muito baixa, inferior a 20%, e muito dis-
tante da máxima eficiência teórica.

30 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 refracção 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.

35 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 1991

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

5 Por outro lado, para se obter uma alta eficiê-
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 amplifi-
cador 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 refracção 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 dícróico; 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 refracção
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
WJ

1 como no comprimento de onda de bombagem, de modo a reduzir as
perdas de ligação com o acoplador dícróico do laser bombeador.

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

D 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 amplifi-
cador 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, comprehende,
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 1981

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.

10 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.

15 D 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 ~~s~~, é enviado para um acoplador dícróico 5, em que se junta, numa única fibra óptica de saída 6, com um sinal bombeador com um comprimento de onda ~~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

22 JAN 1991

1 o seu destino.

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

10 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.

15 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.

20 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 fôr 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.

35 Na presença de sinais em entrada para a fibra

Anexo
22 JAN 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 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
 introduzida, de tornar disponível um número suficiente de
 25 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 teoreti-
 camente a eficiência correspondente à situação em que, por ca-
 da fotão enviado para o interior da fibra com o comprimento

12 JAN 1981

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 onda de transmissão λ_s ; tais condições correspondem a uma eficiência de amplificação dita "Eficiência de Quantum", significando um rácio entre a energia do fotão à saída e a energia do fotão na entrada, ou, em definitivo, entre o comprimento de onda do fotão de entrada, ou seja o fotão bombeador e o comprimento de onda do fotão de saída, ou seja, o fotão 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 comprimentos de onda de bombeamento relativamente elevados; e, além disso, aproximar-se tanto quanto possível da eficiência de quantum.

20 Em particular, o uso de baixos comprimentos 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 fraca mesmo, quando no melhor dos casos, se utilizarem amplificadores com uma eficiência igual à eficiência de quantum.

25 Para a realização do amplificador de energia do tipo acima descrito, verificou-se que fibras de silica activas, dopadas com Al_2O_3 para se obter o desejado perfil de índice de refracção, e contendo Erbium como dopante com emissão laser, apresentam uma eficiência muito elevada, próxima da eficiência do quantum acima descrita, em correspondência com um comprimento de onda de bombeamento mais elevado do que 520 nm e, em particular, em correspondência com o pico de absorção do Erbium a 980 nm.

30 As fibras acima descritas obtêm-se com a

22 JAN 1996

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

5 A descrição deste tipo de fibras e do respectivo processo de realização é feita no pedido de patente Britânico N. 8813769.

10 Para a realização de amplificadores de energia, de acordo com o presente invento, as fibras dopadas com Al_2O_3 contêm uma quantidade de Erbium, expressa como concentração em peso de Er_2O_3 , de 30 ppm a 2000 ppm e, preferivelmente, de 30 a 1000 ppm; o conteúdo do dopante modificador do índice de refracção, que é Al_2O_3 , e o perfil radial do índice de refracção na fibra podem ser escolhidos com base nas exigências específicas do pedido, não condicionando as finalidades do presente invento.

15 Em particular, a abertura numérica e o diâmetro 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 distribuição 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.

20 A fibra activa é uma fibra monomodal no comprimento de onda da transmissão; pode ser não monomodal no comprimento de onda de bombeamento, a fim de permitir a entrada na fibra da maior quantidade possível de energia de bombeamento, distribuída por toda a secção; o uso de uma fibra monomodal no comprimento de onda de bombeamento pode no entanto, ser conveniente para simplificar e reduzir as perdas de ligação da fibra com o acoplador dícróico 5.

25 Com tais fibras é possível produzir um amplificador de energia de acordo com o esquema ilustrado na Figura 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 introduzida na fibra, é possível e conveniente dispor de um segundo laser de bombeamento 12 por baixo da fibra activa, com um acoplador dicróico relativo 13 orientado em direcção à mesma fibra.

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

15 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 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, inferior a 30% da eficiência de quantum.

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

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 transmissão, com um comprimento de onda $\lambda_s = 1536$ nm, foi $P_i = -2$ 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 quantum.

35 Em comparação, a Figura 5 mostra o diagra-

Uel
22.JAN.1981

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

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 transmissão, com um comprimento de onda $s = 1536 \text{ nm}$, foi $P_i = 0 \text{ dBm}$; o comprimento de onda de bombeamento foi $\lambda_p = 980 \text{ nm}$ e a fibra activa tinha um comprimento de 4 m.

15

A eficiência de amplificação obtida tinha sido, neste caso, de 16%, aproximadamente igual a 25% da eficiência 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 correspondente, 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 espontânea dos iões de Erbium com comprimentos de onda diferentes dos comprimentos do sinal, no caso do seu uso como amplificadores de linha, apresentando uma energia de saída demasiadamente baixa se comparada com a energia de bombeamento.

30

Para utilização como amplificadores de energia observámos que, pelo contrário, as fibras Al/Er não apresentam ruído de saída significativo se comparadas com as fibras 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 praticamente todos os iões de Erbium trazidos para o nível do laser

Carvalho

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, causa de ruído, que, além disso, é em qualquer caso, negligenciável dado o nível da energia de saída do sinal.

5 O alargamento do espectro fluorescente da fibra tem, além disso, a vantagem de permitir uma maior liberdade de escolha do comprimento de onda da transmissão, permitindo, por exemplo, aceitar uma maior tolerância produtiva no sinal laser.

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

15 Podem ser introduzidas variantes múltiplas sem afastamento do escopo do presente invento nas suas características gerais.

20

- R E I V I N D I C A Ç Õ E S -

25 1^a. - Amplificador óptico de corrente, constituído por uma fibra activa dopada (8) contendo um dopante modificador do índice de refracção e Erbium como dopante fluorescente, fornecido por um laser bombeante (7, 12) através 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 para a saída estimulada do material dopante fluorescente, caracterizado pelo facto de o dopante modificador do índice de refracção da fibra activa ser Al_2O_3 .

30 2^a. - 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

(22 JAN 1987)

1 mais elevado do que 520 nm.

5 3^a. - 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 de 980 nm.

10 4^a. - Amplificador de corrente de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo facto de a concentração de Erbium na referida fibra, expressa em peso de Er₂O₃, se encontrar entre 30 e 2000 ppm.

15 5^a. - Amplificador óptico de corrente de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo facto de a concentração de Erbium na fibra, expressa em peso Er₂O₃, se encontrar incluída entre 30 e 1000 ppm.

20 6^a. - 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 sinal de transmissão mas não ao comprimento de onda da bomba.

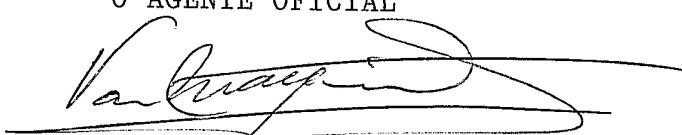
25 7^a. - Amplificador óptico de corrente de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo facto de a fibra activa (8) ser monomodal ao comprimento de onda do sinal de transmissão e ao comprimento de onda da bomba.

30 8^a. - Amplificador óptico de corrente de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo facto de incluir dois lasers de bombagem (7, 12) ligados às duas extremidades da fibra activa (8) através de acopladores dicróicos respectivos (5, 13), orientados com a direcção de entrada da energia luminosa emitida pela bomba laser (7, 12) dirigida em direcção à fibra activa (8).

Lisboa,

35 Por SOCIETÀ CAVI PIRELLI S.p.A.

O AGENTE OFICIAL



VASCO MARQUES LEVY

Agente Oficial
da Propriedade Industrial
Centro - Arco da Conceição, 3, 10-1100 [REDACTED]

22 JAN 1991

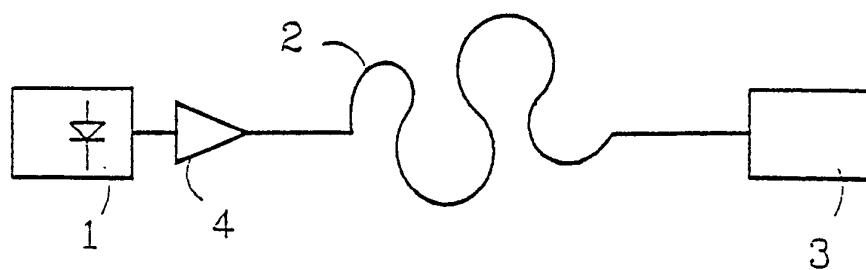


Fig. 1

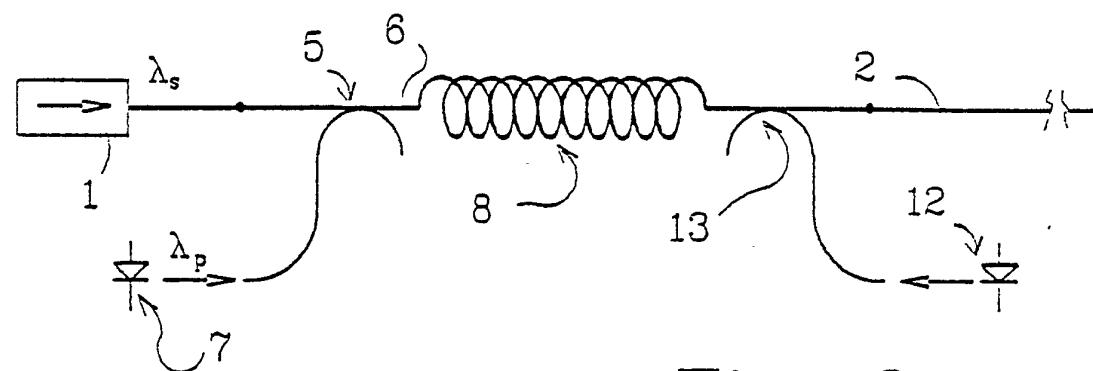


Fig. 2

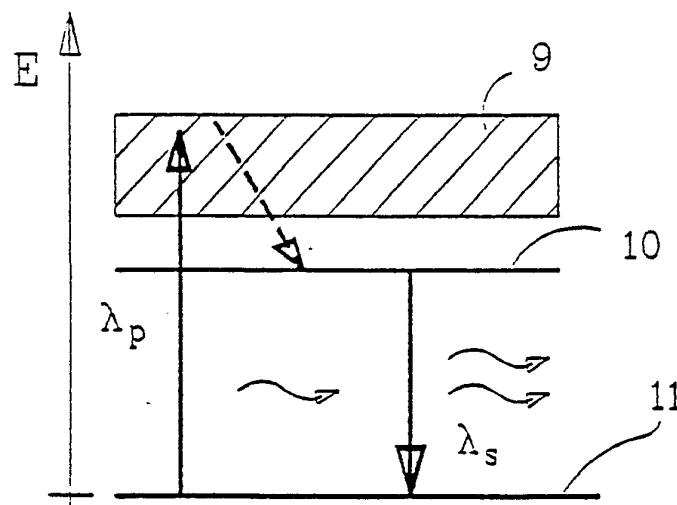


Fig. 3

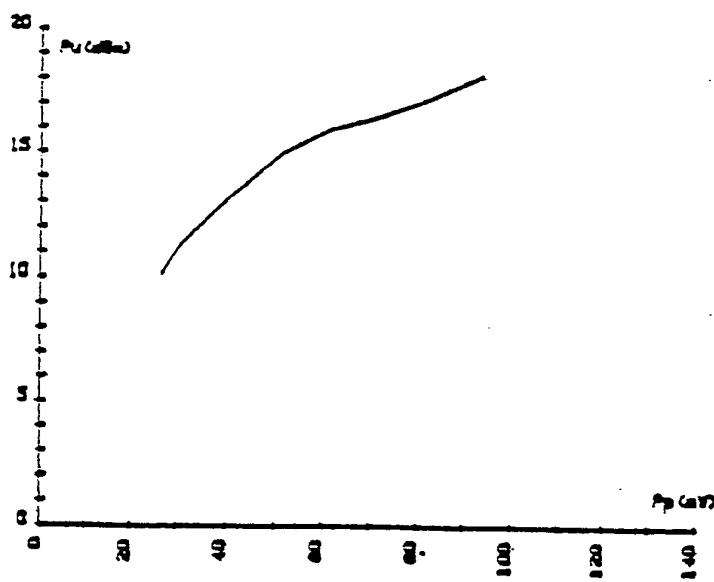
ACG
12 JAN 1991

Fig. 4

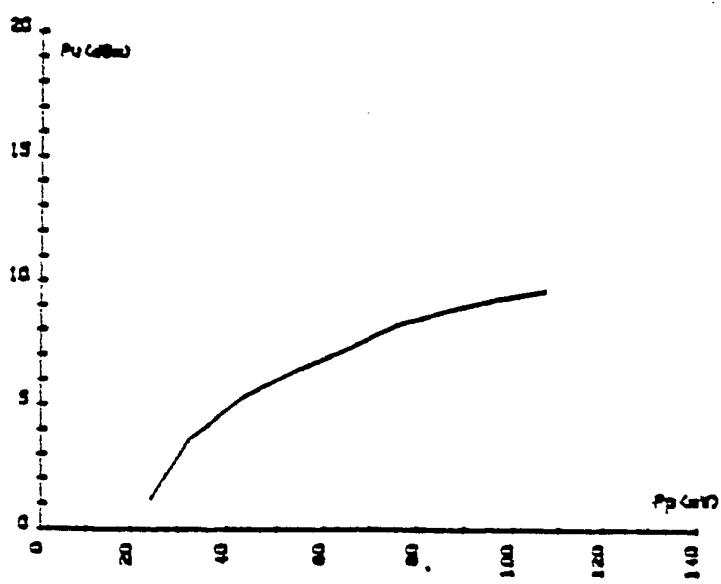


Fig. 5

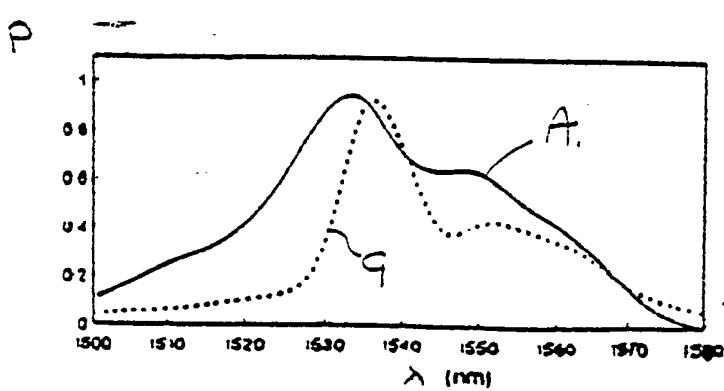


Fig. 6