

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de pedido: 1998.02.13	(73) Titular(es): KOHERAS A/S	
(30) Prioridade(s): 1997.02.13 DK 16897 1997.03.13 US 40415	BLOKKEN 84 3460 BIRKEROD	DK
(43) Data de publicação do pedido: 2000.06.14	OFS FITEL DENMARK I/S	DK
(45) Data e BPI da concessão: 2007.12.12 018/2008	(72) Inventor(es): MARTIN KRISTENSEN	DK
	JÖRG HÜBNER	DK
	POUL VARMING	DK
	MILAN SEJKA	CA
	BERA PALSDOTTIR	DK
	(74) Mandatário: MARIA SILVINA VIEIRA PEREIRA FERREIRA	
	RUA CASTILHO, N.º 50, 5º - ANDAR 1269-163 LISBOA	PT

(54) Epígrafe: **GUIA DE ONDAS ÓPTICO ACTIVO COM POLARIZAÇÃO ASSIMÉTRICA, PROCESSO PARA A SUA PRODUÇÃO E SUAS UTILIZAÇÕES**

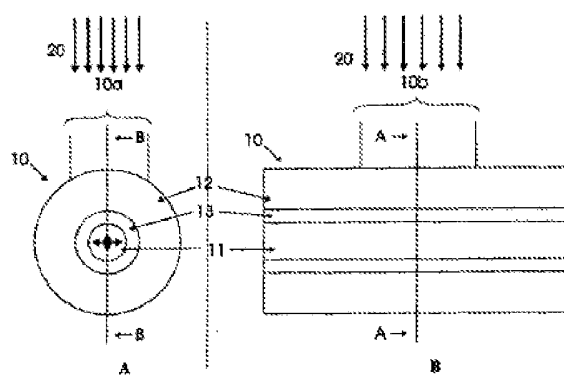
(57) Resumo:

RESUMO

"GUIA DE ONDAS ÓPTICO ACTIVO COM POLARIZAÇÃO ASSIMÉTRICA, PROCESSO PARA A SUA PRODUÇÃO E SUAS UTILIZAÇÕES"

Processo para a produção de um guia de ondas óptico activo, possuindo polarização assimétrica, compreendendo o referido processo os passos de (a) se providenciar um guia de ondas óptico activo (10), compreendendo: (i) um perfil transversal de índice de refração (21), compreendendo uma região de guia (11), uma região intermédia (13) e uma região não guia (12); (ii) um perfil transversal de agente dopante fotorrefractivo (31), compreendendo uma concentração de agente dopante fotorrefractivo constante ou gradual dentro de pelo menos uma das referidas regiões de guia, não guia e intermediária, excepto pelo facto de o agente dopante fotorrefractivo não estar localizado apenas na região de guia; e (iii) a exibição nas referidas região de guia, região intermédia, ou em ambas, de modos de guia de luz que têm polarizações diferentes; e (b) se expor pelo menos uma parte (10a, 10b) do guia de ondas óptico activo a uma iluminação transversal efectiva de luz (20) que reage com o agente dopante fotorrefractivo e se modificar o referido perfil transversal de índice de refração; sendo a referida parte do guia de ondas óptico activo exposta a uma fluência que suprime selectivamente a propagação dos modos de guia de luz que têm diferentes polarizações, de forma que a propagação de um modo seja menos suprimida do que a propagação do outro modo ou outros modos. O referido guia de ondas óptico activo, lasers de guia de ondas óptico de modo de polarização simples e lasers de guia de ondas óptico de modo de polarização simples, de múltiplos comprimentos de onda, compreendendo o referido guia de ondas óptico activo, processos para a sua produção, e a sua

utilização em telecomunicações, em espectroscopia, em sensores e em fontes de luz lasers calibradas absolutas.



DESCRIÇÃO

"GUIA DE ONDAS ÓPTICO ACTIVO COM POLARIZAÇÃO ASSIMÉTRICA, PROCESSO PARA A SUA PRODUÇÃO E SUAS UTILIZAÇÕES"

1. ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a um processo para a fabricação de um guia de ondas óptico activo, com polarização assimétrica, a um guia de ondas óptico activo, com polarização assimétrica, susceptível de obtenção pelo referido processo, a um processo para a produção de um laser com guia de ondas óptico de modo de polarização simples, possuindo uma fonte de luz de bomba e uma realimentação distribuída ou um reflector de Bragg distribuído, a um laser com guia de ondas óptico de modo de polarização simples possuindo uma fonte de luz de bomba e uma realimentação distribuída ou um reflector de Bragg distribuído, susceptível de obtenção pelo referido processo, em particular a um laser com guia de ondas óptico de modo de polarização simples, de múltiplos comprimentos de onda, possuindo uma fonte de luz de bomba e uma realimentação distribuída ou um reflector de Bragg distribuído, e à utilização dos referidos guia de ondas óptico activo com polarização assimétrica e a lasers com um guia de ondas óptico activo de modo de polarização simples, em particular em redes de telecomunicações, em espectroscopia, em sensores e em fontes de luz laser calibradas absolutas.

Campo técnico

Os guias de ondas ópticos activos, dopados com um agente dopante activo, tal como o érbio, e com base em redes de Bragg com desvio de fase, podem proporcionar uma operação de laser no modo longitudinal simples, com

larguras de linhas estreitas, por exemplo, na gama dos kilohertz, um desenho simples e uma compatibilidade directa com as redes de fibra óptica, por exemplo, os chamados lasers com realimentação distribuída de fibra óptica (DFB), ou os lasers de reflector de Bragg distribuído (DBR).

Normalmente, os laser DFB com desvio de fase, de modo longitudinal simples, operam em dois modos de polarização ortogonais, com comprimentos de onda ressonantes ligeiramente diferentes. No entanto, as variações de potência entre dois modos de polarização limitam a sua utilização em aplicações de comunicação ópticas, em virtude de instabilidades na potência de saída de laser implicada por esta variação de potência entre os modos e, por exemplo, a sensibilidade à temperatura e à vibração nas cavidades laser.

Consequentemente, há uma necessidade de assegurar uma operação num estado de polarização simples em guias de ondas ópticos activos, em particular em lasers DFB e DBR em fibra óptica.

Descrição da técnica anterior

Hübner et al., Electronics Letters, Vol. 33, n.º 2, 1997, 139-140, descrevem lasers de fibra de realimentação distribuída (DFB), induzidos por UV, de modo simples, com uma largura de linha < 15 kHz e com uma supressão em modo simples melhor do que 61 db. A estabilidade dos lasers é verificada por um equipamento de transmissão de 10 Gbit/s. Cinco lasers de fibra DFB são ligados em cascata e alimentados com um único laser de semiconductor, formando deste modo uma fonte de múltiplos comprimentos de onda para sistemas WDM. A polarização e a operação em modo simples longitudinal têm sido verificados continuamente, sem saltos de modo desde a temperatura ambiente até 200°C. No entanto,

não foi indicada nem sugerida a forma como se conseguia a operação em modo simples de polarização.

Varming *et al.*, Electronics Letters, Vol. 31, n.º 17, 1995, 1445-1446, revelam um laser de fibra com modo de polarização simples, com realimentação distribuída, compreendendo uma fibra de silicato germano-alumínico dopado com érbio, possuindo uma grelha de Bragg que tem um desvio de fase de $\pi/2$ permanente induzido por exposição aos raios UV da parte central da grelha, aumentando desta forma localmente o índice de refração do fundo. Nada é indicado nem sugerido sobre a forma como se providencia a operação do laser de fibra em modo simples de polarização.

A Patente GB 2 299 203 revela um laser de fibra óptica com realimentação distribuída, compreendendo uma fibra óptica amplificadora dopada com um ou mais elementos das terras raras e possuindo uma grelha de Bragg de fibra tendo pelo menos uma descontinuidade de fase, que proporciona a emissão em dois modos de polarização ortogonais, cuja fibra óptica altera os seus índices eficazes de birrefringência do modo laser por exposição a perturbações externas, por exemplo, pressão e temperatura. Nada é indicado nem sugerido acerca de se providenciar uma operação de modo de polarização simples para o modo laser.

A Publicação de Pedido Internacional WO 94/19713 revela um processo para a fabricação de uma rede guia de ondas óptico, compreendendo o passo de avariar termicamente regiões escolhidas do guia de ondas por exposição destas regiões a iluminação óptica transversal, sendo possível desta forma, utilizando-se uma técnica puramente óptica, fabricar redes na base de uma linha de produção. O processo utiliza a avaria térmica do material, proporcionando

grandes alterações do índice efectivo na vizinhança das regiões avariadas. Nada é indicado nem sugerido acerca de se proporcionar a operação do guia de ondas de modo de polarização simples.

Harutjunian *et al.*, Electronics Letters, Vol. 32, n.º 4, 1996, 346-348 revelam um laser de fibra de realimentação distribuída, torcido, de polarização simples, no qual a operação em polarização simples no laser de fibra DFB é conseguida através da introdução de birrefringência circular induzida externamente, distribuída uniformemente ao longo do laser DFB. São reveladas a introdução da birrefringência linear por tensão ou dobração transversal e a introdução da birrefringência circular por torção. A fabricação da fibra óptica torcida inclui uma torção mecânica da fibra, que é difícil de controlar e que introduz o risco de quebrar a fibra. Além disso, a fibra óptica torcida requer uma embalagem especial para ser mantida em condições estáveis no estado torcido, durante, por exemplo, variações de temperatura durante a sua utilização, por exemplo, num laser de fibra óptica DFB.

A Patente EP-A2-0 689 067 revela um processo para a produção de um sistema de guia óptico por irradiação de um material fotorrefractivo cujo índice de refração varia com a irradiação de luz, formando um guia de ondas óptico ou uma distribuição de índice de refração, induzindo simultaneamente a auto-focagem. Nada é sugerido nem indicado acerca da produção de um guia óptico activo possuindo polarização assimétrica.

A Patente US 5 473 622 revela uma configuração de amplificador de potência para um oscilador principal para um laser de bomba blindada, tendo a configuração uma secção de oscilação incorporada num núcleo em modo simples dopado

com elementos das terras raras ionizados e com agentes dopantes que modificam o índice de refração, sendo o referido núcleo envolvido por uma primeira blindagem e por uma segunda blindagem, e tendo uma secção de amplificação. Nada é sugerido nem indicado acerca de um guia de ondas óptico activo possuindo polarização assimétrica.

A Patente US 5 134 620 revela um laser com um meio de transmissão óptico dopado com terras raras, com selecção de modo longitudinal, compreendendo meios de supressão de modo que incluem uma rede óptica no interior do meio de transmissão. Numa variante construtiva, que consiste num laser de cavidade anelar, compreendendo uma fibra óptica dopada com érbio, os modos de polarização indesejada são impedidos de activar o laser através da inclusão no anel de um isolador óptico que apenas deixa passar uma polarização. Nada é sugerido nem indicado acerca de um guia de ondas óptico activo possuindo polarização assimétrica.

A Patente US 5 056 888 revela uma fibra óptica de polarização simples, em modo simples, compreendendo um núcleo e uma blindagem, que inclui uma região assimétrica que aplica tensão, a qual origina que a fibra se torne birrefringente e que pode polarizar a luz ou propagar a luz polarizada. Nada é indicado nem sugerido acerca de um guia de ondas óptico activo possuindo polarização assimétrica, nem de um guia de ondas deste tipo que seja fotossensível ou que seja dopado com terras raras.

A Publicação de Pedido de Patente Internacional n.º WO 92/10014 revela um guia de ondas óptico activo, possuindo uma estrutura que varia longitudinalmente, no qual pelo menos um dos parâmetros da extensão da região de guia, a extensão do agente dopante activo, e a diferença do índice de refração variam ao longo do comprimento do guia de

ondas. Nada é indicado nem sugerido acerca de um guia de ondas óptico activo possuindo polarização assimétrica.

Storøy et al., "Single polarisation fibre DFB laser", Electronics Letters, Vol. 33, n.º 1, 1997, 56-58, revelam um laser DFB de fibra, de polarização simples, baseado numa fibra AT&T HG 980 normal sem fotossensibilização adicional, possuindo uma rede pós-sintonizada com desvio de fase, exposta de forma ligeiramente descentrada da rede a uma luz UV uniforme, elevando assim o índice da referida área da rede. É revelada uma birrefringência introduzida de $7,5 \times 10^{-6}$. Nada é indicado nem sugerido acerca de um guia de ondas óptico activo, possuindo polarização assimétrica, baseada no guia de ondas óptico activo, compreendendo uma região de guia que contém um agente dopante activo, uma região não guia que envolve a região de guia, e uma região intermédia, sendo pelo menos uma das referidas regiões dopada com um agente dopante fotorrefractivo.

2. DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

Objecto da invenção

Constitui um objecto da presente invenção fornecer um guia de ondas óptico activo que exiba assimetria de polarização, em particular um guia de ondas óptico activo que, quando utilizado numa cavidade, assegura uma operação robusta de modo de polarização simples e um elevado grau de imunidade contra perturbações ambientais, tais como, flutuações da temperatura, vibrações mecânicas ou acústicas, e um processo para a produção de um guia de ondas deste tipo.

Em particular, o objectivo é fornecer um guia de ondas óptico activo, com polarização assimétrica, aperfeiçoado, que exiba uma elevada estabilidade na potência de saída

quando exposto a perturbações ambientais, quando utilizado num laser DFB ou DBR de fibra óptica em redes de telecomunicações.

Um outro objecto da presente invenção é revelar lasers com guias de ondas ópticos de modo de polarização simples, possuindo uma fonte luminosa de bomba e realimentação distribuída ou um reflector de Bragg distribuído, em particular lasers com guias de ondas ópticos de modo de polarização simples, de comprimentos de onda múltiplos, e os processos para a produção destes lasers.

Constitui ainda um outro objecto da presente invenção revelar um guia de ondas óptico activo, com polarização assimétrica, do tipo descrito, e lasers com um guia de ondas óptico, de modo de polarização simples, com comprimentos de onda simples e múltiplos, do tipo descrito, para utilização em particular em redes de telecomunicações, em espectroscopia, em sensores e em fontes de luz laser absolutas calibradas.

Ainda outros objectivos tornar-se-ão evidentes a partir da presente descrição.

Solução de acordo com a invenção

De acordo com um aspecto da invenção, estes objectivos são satisfeitos através da revelação de um processo para a produção de um guia de ondas óptico activo, com polarização assimétrica, de acordo com a reivindicação 1, compreendendo o referido processo os passos de:

- (a) se providenciar um guia de ondas óptico activo, compreendendo:

- (i) um perfil transversal de índice de refração, compreendendo uma região de guia que contém um agente dopante activo, uma região não guia que envolve a região de guia, e uma região intermédia entre as referidas regiões de guia e não guia, tendo eventualmente a referida região intermédia o mesmo índice de refração que a região não guia,
 - (ii) um perfil dopante fotorrefractivo transversal, tendo uma concentração de agente dopante fotorrefractivo constante ou gradual dentro de pelo menos uma das referidas regiões de guia, não guia e intermediária, excepto pelo facto de o agente dopante fotorrefractivo não estar localizado unicamente na região de guia, e
 - (iii) a exibição na referida região de guia, região intermédia, ou ambas, de modos de guia de luz que têm polarizações diferentes;
- (b) e se expor pelo menos uma parte do guia de ondas óptico activo a uma iluminação transversal efectiva de luz que reage com o agente dopante fotorrefractivo, e se modificar o referido perfil transversal de índice de refração;
- sendo a referida parte do guia de ondas óptico activo exposto a uma fluência que suprime selectivamente a propagação dos modos de guia de luz que têm diferentes polarizações, de forma que a propagação de um modo seja menos suprimida do que a propagação do outro modo ou outros modos;

sendo desta forma assegurado que possa ser obtido um guia de ondas óptico activo possuindo assimetria de polarização.

Em particular, o perfil transversal de agente dopante fotorrefractivo, tendo uma concentração de agente dopante fotorrefractivo constante ou gradual dentro de pelo menos uma das referidas regiões de guia, não guia e intermediária, excepto pelo facto de o agente dopante fotorrefractivo não estar localizado apenas na região de guia, assegura uma assimetria de polarização aperfeiçoada em comparação com a da técnica anterior.

É inteiramente surpreendente que um guia de ondas óptico activo deste tipo, possuindo uma assimetria de polarização, quando utilizado numa cavidade, assegure uma operação robusta de modo de polarização simples, e um elevado grau de imunidade contra perturbações ambientais, tais como flutuações de temperatura e/ou vibrações acústicas ou mecânicas.

Em particular, o guia de ondas óptico activo, possuindo uma assimetria de polarização, de acordo com a invenção, exhibe excelentes propriedades quando utilizado em lasers de fibra óptica, em particular em lasers de realimentação distribuída de fibra óptica e lasers de reflector de Bragg distribuído.

Estas propriedades compreendem efeitos, tais como, operação longitudinal e de modo de polarização simples, largura de linha estreita, supressão eficiente de modo lateral, elevada estabilização da polarização, baixo ruído de amplitude e baixo ruído de frequência.

Supõe-se, sem que a explicação da invenção esteja desta forma limitada, que o processo para a produção de um guia de ondas óptico activo com polarização assimétrica, de acordo com a invenção, envolve a incorporação de diferentes meios de supressão da propagação da luz nos modos de guia

de luz, tendo polarizações diferentes, de forma que a propagação da luz num modo seja menos suprimida do que a propagação da luz nos outros modos, sendo os referidos meios incorporados por um ou mais dos seguintes efeitos induzidos no guia de ondas óptico activo:

- a) birrefringência, isto é, variações assimétricas do índice de refração e/ou da tensão induzida, dando origem a índices de refração n_α e n_β diferentes, em que α e β são os vectores base no espaço de polarização;
- b) absorção, isto é, as fotorreações entre a luz iluminante e os materiais do guia de ondas activo induzem efeitos de perda assimétricos, devidos ao decréscimo da intensidade da luz através do guia de ondas óptico activo;
- c) separação de modo, isto é, as fotorreações entre a luz iluminante e o agente dopante fotorrefractivo induzem modificações assimétricas do índice de refração, no exemplo do germânio (Ge) como dopante um aumento do índice de refração, devido à diminuição da intensidade da luz através do guia de ondas óptico activo e o perfil de agente dopante fotorreactivo dado, permitindo a referida modificação do índice de refração modos de guia de luz tendo polarizações diferentes para ajustar à blindagem e a fugas, consoante a polarização do modo; e
- d) modificação do factor de ganho anisotrópico, isto é, as fotorreações entre a luz iluminante e o agente dopante activo, por exemplo, o érbio (Er), modificam assimetricamente o factor de ganho, dependente da polarização, do guia de ondas óptico activo, favorecendo desta forma o ganho de luz de certas polarizações.

"Um guia de ondas óptico activo"

O guia de ondas óptico activo utilizado de acordo com a invenção é conhecido na técnica. Nas variantes construtivas preferidas compreendem geralmente guias de ondas planares activos e guias de ondas ópticos de fibras activos.

Um guia de ondas óptico activo a ser utilizado no presente processo de acordo com a invenção pode ser produzido de acordo com processos conhecidos na técnica, por exemplo, no exemplo de guias de ondas de fibras ópticas, podem ser aplicados processos tais como, deposição de vapor químico modificada (MCVD) e técnicas de fibras dopadas em solução (SODOF), mas também podem ser aplicados outros processos.

Estas técnicas permitem a criação de um perfil transversal de índices de refração, compreendendo uma região de guia contendo um agente dopante activo, uma região não guia que envolve a região de guia, e uma região intermédia entre as referidas regiões de guia e não guia, por variação das quantidades e das condições de reacção, por exemplo, temperatura e débito, para os vários agentes dopantes ou precursores de dopantes, por exemplo, cloretos dopantes, tais como SiCl_3 , POCl_3 , e GeCl_4 , ou F, e ErCl_3 , durante o processo de fabricação de um pré-molde que subsequentemente é estirado até à forma de fibra, utilizando técnicas de estiragem conhecidas na técnica, ver, por exemplo, G. Keiser, "Optical Fiber Communications", McGraw-Hill, Inc., New York, 1991.

Numa forma de construção preferida, os guias de ondas ópticos activos compreendem um material à base de sílica dopado com um agente dopante modificador do índice de

refracção, escolhido do grupo que consiste em boro (B), azoto (N), flúor (F), alumínio (Al), fósforo (P), titânio (Ti), germânio (Ge) e estanho (Sn), e agentes dopantes escolhidos do grupo dos elementos das terras raras que consiste em La, Ce, Pr, Nd, Gd, Dy, Ho, Er, Tm e Yb, ou as combinações dos mesmos.

Geralmente, as regiões de guia, as regiões intermédias e as regiões não guia podem ter índices de refracção diferentes, mas podem igualmente ter índices de refracção ajustados. Por exemplo, a região intermédia pode ter o mesmo índice de refracção que a região não guia, isto é, um chamado perfil de índices de blindagem ajustados.

De acordo com a invenção, um guia de ondas óptico activo a ser utilizado no presente processo compreende um perfil transversal de agente dopante fotorreactivo que tem uma concentração de agente dopante fotorreactivo constante ou gradual dentro de pelo menos uma das referidas regiões de guia, não guia e intermédia, excepto pelo facto de o agente dopante fotorrefractivo não estar localizado apenas na região de guia. Este perfil transversal de agente dopante fotorrefractivo é proporcionado pela utilização das técnicas MCVD ou SODOF mencionadas acima, preferivelmente uma co-dopagem com os outros agentes dopantes.

Geralmente, o perfil de agentes dopantes é adaptado ao perfil específico de índice de refracção, a fim de se obter um perfil transversal de índice de refracção modificado pretendido.

Geralmente, as dimensões das regiões de guia, intermédia e não guia são escolhidas de forma a obter-se uma operação tanto em modo simples como em multimodo. Por conseguinte, os guias de ondas ópticos activos, por

exemplo, fibras ópticas activas, exibem, de acordo com a invenção, na região de guia, na região intermédia, ou em ambas, modos de guia de luz que têm polarizações diferentes.

"Iluminação transversal eficaz da luz"

De acordo com a invenção, pelo menos uma parte do guia de ondas óptico activo é exposta a uma iluminação transversal eficaz da luz, luz essa que é capaz de reagir com o agente dopante fotorrefractivo e modificar o perfil transversal do índice de refração.

Os agentes dopantes fotorrefractivos e as luzes iluminantes apropriados são conhecidos na técnica.

De acordo com a invenção, o guia de ondas óptico activo vai sendo exposto a uma fluência da luz iluminante que é capaz de proporcionar uma supressão selectiva da propagação dos modos de guia de luz possuindo diferentes polarizações, num grau tal que a propagação da luz num modo seja menos suprimida do que a propagação da luz no outro ou outros modos.

Na prática, os peritos na técnica são capazes de decidir quando terá sido obtida uma fluência suficiente através da simples medição da propagação da luz do guia de ondas óptico activo, por exemplo, por meio de um controlador da polarização da fibra, de um polarizador e de um medidor de potência, ou por meio de um interferómetro de Fabry-Perot de alto Q, no qual podem ser resolvidos diferentes modos, e decidir em seguida quando é que uma assimetria de polarização medida é suficiente para a aplicação pretendida, por exemplo, para ser utilizada num laser de fibra óptica de modo de polarização simples FDB ou DBR.

Formas de realização preferidas

O perfil transversal de índice de refração, o agente dopante activo, o perfil transversal do agente dopante fotorrefractivo e a iluminação transversal da luz podem ser escolhidos de forma a otimizar os efeitos induzidos no guia de ondas óptico activo.

Numa variante de realização preferida, o perfil transversal modificado do índice de refração tem índices de refração elevados na região de guia e através da região de fronteira entre a região de guia e a região intermédia, e/ou na região intermédia, em comparação com o perfil transversal de índice de refração antes de ser exposto à iluminação transversal de luz.

"Perfil transversal de índice de refração"

Os perfis transversais de índice de refração podem ser quaisquer perfis de índice de refração apropriados conhecidos na técnica. Nas variantes construtivas preferidas das fibras ópticas, os perfis transversais de índice de refração incluem os que são tipicamente utilizados em fibras de modo simples, ver por exemplo, G. Keiser, ibid. para os perfis de índice de refração específicos.

As fibras ópticas activas que têm estes perfis podem ser fabricadas de acordo com processos conhecidos na técnica.

Numa variante construtiva preferida, o perfil transversal de índice de refração é um perfil de índice por níveis, um perfil de índice abatido, um perfil de índice gradual ou um perfil de índice de tipo com manutenção de polarização, tal como o que é utilizado em

fibras com manutenção de polarização dos tipos PANDA, BOWTIE, blindagem de tensão elíptica ou núcleo elíptico, obtendo-se desta forma as vantagens de transmissão destas fibras ópticas específicas e a assimetria de polarização.

"Perfil transversal de agente dopante"

De acordo com a invenção, um guia de ondas óptico activo para ser utilizado no presente processo compreende um perfil transversal de agente dopante fotorrefractivo possuindo uma concentração constante ou gradual de agente dopante fotorrefractivo dentro de pelo menos uma das zonas referidas de guia, não guia e intermédia, excepto pelo facto de o agente dopante fotorrefractivo não estar localizado unicamente na região de guia.

O perfil transversal do agente dopante fotorrefractivo é escolhido de qualquer forma apropriada que modifique o perfil transversal de índice de refacção por iluminação transversal da luz.

Numa variante de realização preferida, o perfil transversal de agente dopante fotorrefractivo é um perfil de concentração simples ou por níveis, ou um perfil de concentração gradual.

Numa variante de realização preferida, o perfil transversal de índice de refacção e o perfil transversal do agente dopante fotorrefractivo têm essencialmente formas semelhantes, por exemplo, quando é utilizado o germânio (Ge) como agente dopante fotorrefractivo isoladamente ou em combinação com outros agentes dopantes.

Tipicamente, nesta variante construtiva o agente dopante tem uma dupla função, tanto de afectar, por exemplo, elevar, o índice de refacção, como de aumentar a

fotossensibilidade dos materiais de guias de ondas, por exemplo, o Ge simultaneamente aumenta o índice de refração e favorece a fotossensibilidade. Em particular, são necessários menos passos no processo de fabricação quando o perfil transversal de índice de refração e o perfil transversal do agente dopante fotorrefractivo são estabelecidos por um agente dopante com dupla função e se não forem utilizados outros agentes dopantes que afectem quer o índice de refração, quer a fotossensibilidade do material do guia de ondas.

Podem ser adicionados outros agentes dopantes para se obter o perfil de índices pretendido. Assim, o perfil transversal de índice e o perfil transversal do agente dopante fotorrefractivo podem ter formas tanto diferentes como semelhantes.

Numa outra variante construtiva preferida, a região intermédia tem o mesmo índice de refração que a região não guia.

Ainda numa outra variante construtiva, o perfil do agente dopante fotorrefractivo tem uma concentração constante ou gradual de agente dopante fotorrefractivo dentro da região intermédia, sendo desta forma obtidas características simplificadas do agente dopante e do fluxo de agente dopante fotorrefractivo.

"Agentes dopantes fotorrefractivos"

Como agentes dopantes fotorrefractivos podem ser utilizados quaisquer agentes dopantes apropriados que possam ser utilizados nas técnicas conhecidas para a produção de fibras ópticas, por exemplo, as técnicas MCVD e SODOF, e que proporcionem fotossensibilidade e modificação do índice de refração suficientes do material do guia de ondas, por

exemplo, vidro à base de sílica, sendo a referida modificação do índice, tipicamente, a elevação do índice, mas também a sua redução. Desta forma, são obtidas as propriedades pretendidas do guia de ondas pelo agente dopante fotorrefractivo, isoladamente ou em combinação com outros agentes dopantes.

Numa variante construtiva preferida, o perfil transversal do agente dopante fotorrefractivo compreende um agente dopante escolhido do grupo que consiste em boro (B), alumínio (Al), fósforo (P), germânio (Ge) e estanho (Sn), ou numa combinação dos mesmos.

Em particular, o germânio (Ge) é conhecido quer por aumentar o índice de refacção, quer por melhorar a fotossensibilidade do vidro.

A concentração do agente dopante fotorrefractivo pode ser escolhida dentro de amplos limites, relativamente a conseguir-se a modificação do índice pretendida, por exemplo, num tempo de exposição suficientemente curto para proporcionar um processo de fabricação comercialmente interessante.

Numa variante construtiva preferida, o perfil transversal do agente dopante fotorrefractivo na região de guia tem uma concentração de agente dopante no intervalo de 0 a 45% molar, preferivelmente de 0 a 35% molar, mais preferivelmente de 0 a 24% molar, particularmente de 2 a 12% molar, sendo desta forma obtidas as fotossensibilidades adequadas e preferidas.

Numa variante de realização preferida, o perfil transversal do agente dopante fotorrefractivo na região intermédia tem uma concentração de agente dopante no

intervalo de 0 a 40% molar, preferivelmente de 0 a 30% molar, mais preferivelmente de 0 a 15% molar, particularmente e 0,1 a 5% molar, sendo desta forma obtidas as fotossensibilidades adequadas e preferidas.

Numa variante de realização preferida, o perfil transversal do agente dopante fotorrefractivo na região não guia tem uma concentração de agente dopante no intervalo de 0 a 20% molar, preferivelmente de 0 a 5% molar, mais preferivelmente de 0 a 1% molar, sendo desta forma obtidas as fotossensibilidades adequadas e preferidas.

Numa forma de realização particularmente preferida, o perfil transversal do agente dopante fotorrefractivo na região de guia é substancialmente constante, tendo germânio como agente dopante numa concentração no intervalo de 0 a 45% molar, preferivelmente de 0 a 35% molar, mais preferivelmente de 0 a 24% molar, particularmente de 2 a 12% molar, sendo desta forma controlados por um único agente dopante tanto o índice de refacção como a fotossensibilidade.

Numa outra forma de realização particularmente preferida, o perfil transversal do agente dopante fotorrefractivo na região intermédia é substancialmente constante, tendo germânio como agente dopante numa concentração no intervalo de 0 a 40% molar, preferivelmente de 0 a 30% molar, mais preferivelmente de 0 a 15% molar, particularmente e 0,1 a 5% molar.

"Iluminação transversal de luz"

A iluminação transversal da luz pode ser realizada com qualquer luz apropriada que possua um comprimento de onda que permita uma fotorreacção entre o material do guia de

ondas e/ou o agente dopante fotorrefractivo, para modificar o índice de refacção.

Numa variante construtiva preferida, a luz de iluminação transversal tem um comprimento de onda na gama dos UV desde 50 até 550 nm, preferivelmente de 150 até 380 nm, mais preferivelmente de 190 a 270 nm, sendo desta forma obtidas fotossensibilidades particularmente elevadas para muitos agentes dopantes.

Além disso, numa variante construtiva preferida é utilizado um laser "excimer" como fonte de radiação UV. O laser opera preferivelmente ou a 193 nm utilizando ArF, ou a 248 nm utilizando KrF.

A fluência da iluminação transversal da luz é geralmente escolhida de forma a ser suficiente para suprimir selectivamente a propagação da luz nos modos de guia de luz possuindo polarizações diferentes, de forma que a propagação da luz num modo seja menos suprimida do que a propagação da luz no outro ou outros modos.

Numa variante construtiva preferida, a exposição tem a duração de um período de tempo correspondente à aplicação de uma fluência ao guia de ondas óptico activo no intervalo de 1 J/cm² a 10 MJ/cm², preferivelmente de 10 J/cm² a 1 MJ/cm², mais preferivelmente de 100 J/cm² a 10 kJ/cm².

Abaixo de 1 J/cm² a assimetria de polarização produzida é simplesmente demasiado fraca, e acima de 10 MJ/cm² ocorre a saturação e causa demasiados danos ao material do guia de ondas, por exemplo, o vidro.

"Agente dopante activo"

O guia de ondas óptico activo pode compreender qualquer agente dopante activo conhecido na técnica, agente dopante esse que proporcione um ganho numa janela de transmissão apropriada do guia de ondas óptico activo.

A transição $^4|_{13/2}$ para $^4|_{15/2}$ no Er^{3+} é bem conhecida para produzir ganhos na terceira janela de telecomunicações, 1530 nm - 1565 nm. O La e O Yb podem ser ambos utilizados como agentes codopantes no material dopado com Er, para reduzir o efeito prejudicial, igualmente bem conhecido, de agrupamento de iões Er. O Yb ainda pode ser utilizado para favorecer a eficiência da conversão "bomba para fotão sinal" através das bandas de absorção de Yb de alternativa e da interacção ião-ião. Isto pode ter o efeito útil de aumentar a eficiência de declive de um laser DFB e fibra dopada com Er, produzido mediante a utilização dos processos de acordo com a invenção. Podem ser utilizados tanto o Nd, Yb, Ho e Tm como o Pr para produzir lasers de fibras em outras regiões de comprimentos de onda.

Numa forma de realização preferida, o guia de ondas óptico activo compreende um material à base de sílica dopado com um agente dopante activo escolhido do grupo de elementos das terras raras, em particular escolhido do grupo que consiste em La, Ce, Pr, Nd, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Yb.

"Guia de ondas óptico activo com polarização assimétrica"

A presente invenção também se refere a um guia de ondas óptico activo com polarização assimétrica, susceptível de obtenção pelo processo que pode ser utilizado para produzir lasers de fibras com modo de polarização simples. Pode igualmente ter outras aplicações, por exemplo, a compensação de perdas dependentes da polarização em guias de ondas.

"Laser com guia de ondas óptico activo de modo de polarização simples"

A presente invenção também se refere a um processo para a produção de um laser de guia de ondas óptico activo de modo de polarização simples, possuindo uma fonte luminosa de bomba e uma realimentação distribuída ou um reflector de Bragg distribuído, compreendendo os passos de:

- (a) se produzir um guia de ondas óptico activo com polarização assimétrica, de acordo com a invenção;
- (b) se incorporarem uma ou mais redes de Bragg na região de guia, na região intermédia, na região não guia, ou numa combinação das mesmas, do referido guia de ondas óptico activo de polarização assimétrica, eventualmente simultaneamente com a produção do guia de ondas óptico activo com polarização assimétrica; e
- (c) se dirigir a luz de bomba da referida fonte de luz de bomba para o referido guia de ondas óptico activo com polarização assimétrica, tendo incorporadas as referidas redes de Bragg.

Numa variante de realização particularmente preferida, a rede de Bragg é incorporada na região de guia, na região intermédia, na região não guia ou numa combinação das mesmas, por mistura de forma interferométrica da luz iluminante transversal numa configuração interferométrica que ilumina o guia de ondas óptico activo, preferivelmente através de uma máscara de fase.

A técnica de máscara de fase proporciona um processo particularmente simples e rápido para imprimir uma rede num guia de ondas, utilizando a exposição à luz UV; são evitados extensos processos de alinhamento. Os métodos

interferométricos mais gerais para a mistura de luz envolvem um alinhamento mais elaborado, mas, por outro lado, são mais flexíveis em termos de escolha do período da rede.

Numa outra variante de realização preferida, a luz iluminante transversal é não homogênea, para fornecer uma iluminação na parte central da rede de Bragg que é diferente das outras partes da rede de Bragg, conseguindo-se desta forma que seja induzido um desvio de fase.

Iluminando-se parte do guia de ondas com uma fluência diferente pode ser induzido um desvio de fase de $\pi/2$. Isto é necessário para se obter um bom desempenho em modo simples, como se sabe da teoria geral dos lasers DFB.

Consequentemente, numa outra variante de realização, a parte central da rede de Bragg é iluminada com outra luz iluminante transversal diferente da que ilumina as outras partes da rede de Bragg, podendo desta forma ser utilizados diferentes comprimentos de onda das luzes iluminantes.

Estirando-se as fibras durante a iluminação, o período de rede do dispositivo resultante é sintonizado num comprimento de onda mais curto. Em particular, isto torna a técnica de máscara de fase mais flexível, reduzindo o número de máscaras de fase necessárias para cobrir uma certa gama de comprimentos de onda.

Numa forma de realização, o guia de ondas óptico é uma fibra óptica que mantém a polarização.

A presente invenção também se refere a um laser com guia de ondas óptico de modo de polarização simples, possuindo uma fonte luminosa de bomba e uma realimentação distribuída ou um reflector de Bragg distribuído, susceptível de obtenção pelo processo de acordo com a invenção.

"Laser de guia de ondas óptico de modo de polarização simples, de múltiplos comprimentos de onda"

A presente invenção também se refere a um processo para a produção de um laser de guia de ondas óptico de modo de polarização simples, de múltiplos comprimentos de onda, possuindo uma fonte luminosa de bomba e uma realimentação distribuída, compreendendo os passos de:

(a) se produzirem dois ou mais guias de ondas ópticos activos com polarização assimétrica, de acordo com a invenção, incluindo os guias de ondas para os quais o agente dopante fotorrefractivo está localizado unicamente na região de guia; e

(b) se incorporarem uma ou mais redes de Bragg na região de guia, na região intermédia, na região não guia, ou numa combinação das mesmas, dos referidos guia de ondas ópticos activos com polarização assimétrica, de acordo com a invenção, eventualmente simultaneamente com a produção do guia de ondas óptico activo com polarização assimétrica; e

(c) se dirigir a luz de bomba da referida fonte de luz de bomba para os referidos guias de ondas ópticos activos com polarização assimétrica, tendo incorporadas as referidas redes de Bragg.

Pode ser fabricado um laser de guia de ondas óptico de modo de polarização simples, de múltiplos comprimentos de onda, por concatenação de um certo número de lasers DFB de comprimento de onda simples. Estes podem utilizar quer a mesma fonte luminosa de bomba, quer mais fontes luminosas de bomba. Uma vantagem desta realização é o facto de as cavidades do laser (as fibras radiantes DFB) poderem ser colocadas na mesma carga térmica. Isto reduz o desvio de comprimentos de onda inter-canais com a temperatura. Devido à muito baixa sensibilidade à temperatura das redes ($0,01 \text{ nm/K}$), a posição absoluta da grelha de comprimentos de onda é bem definida. Estas fontes são ideais para aplicação em sistemas de comunicação ópticos multiplexados por divisão de comprimento de onda, e os lasers deste tipo podem ser obtidos pelo processo.

Numa variante de realização preferida, os dois ou mais guias de ondas ópticos activos com polarização assimétrica, tendo incorporadas uma ou mais redes de Bragg na região de guia, na região intermédia, na região não guia, ou numa combinação das mesmas, são produzidos sequencialmente no mesmo guia de ondas óptico activo, ou são produzidos por união de dois ou mais lasers de guias de ondas ópticos de modo de polarização simples, de acordo com a invenção.

Numa outra variante construtiva preferida, os dois ou mais guias de ondas ópticos activos, com polarização assimétrica, possuindo incorporadas as referidas redes de Bragg, consistem em 1 a 64 dos referidos guias de ondas, preferivelmente em 2, 4, 8, 16, 32 ou 64 dos referidos guias de ondas.

A invenção também se refere a um laser de guia de ondas óptico de modo de polarização simples, de múltiplos comprimentos de ondas, possuindo uma fonte luminosa de

bomba e uma realimentação distribuída, susceptível de obtenção pelo processo de acordo com a invenção.

"Utilizações de um guia de ondas óptico activo com polarização assimétrica"

A presente invenção também se refere a utilizações do guia de ondas óptico activo, com polarização assimétrica, do laser de guia de ondas óptico de modo de polarização simples e do guia de ondas óptico de modo de polarização simples, de múltiplos comprimentos de onda, de acordo com a invenção, numa rede de telecomunicações, em aparelhos de espectroscopia óptica, num sensor, ou em fontes de luz laser calibrada absolutas bloqueadas numa linha de absorção de um gás de absorção, preferivelmente o acetileno 13 ($^{13}\text{C}_2\text{H}_2$) ou o cripton.

Utilização em redes de telecomunicações. As fontes laser de acordo com a invenção têm a vantagem particular de terem um comprimento de onda absoluto bem definido. Isto torna-as úteis como fontes em sistemas de comunicação óptica multiplexados por divisão de comprimento de onda ou em sistemas de comunicação óptica coerentes, como osciladores locais. Nas fontes de laser calibradas de comprimento de onda absoluto, tanto o acetileno 13 ($^{13}\text{C}_2\text{H}_2$) como o cripton possuem linhas de absorção fortes no interior da terceira janela de telecomunicações. Por conseguinte, estes gases são bons candidatos para serem utilizados para a estabilização de frequência de lasers DFB de fibra a operar na referida janela. Para aplicações como sensor são necessárias fontes laser de banda estreita estáveis. Isto também é válido em espectroscopia.

O mesmo se passa com sistemas de múltiplos comprimentos de ondas, inclusive em sistemas de comunicação ópticos multiplexados por divisão de comprimento de onda.

Definição de expressões

No âmbito do presente contexto, entende-se que a expressão "modos de guia de luz que têm polarizações diferentes" significa modos de guia de luz dentro da teoria da propagação da luz em guias de ondas ópticos, modos esses que são caracterizados pela sua distribuição de campo completa, por exemplo, compreendendo números e polarizações em modo transversal e/ou longitudinal.

Assim, não é considerado um modo como compreendendo duas polarizações diferentes, mas um modo compreende uma polarização.

A expressão "guia de ondas óptico" é entendida como compreendendo guias de ondas tanto planares como de fibras ópticas.

3. BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A invenção será ainda elucidada a seguir com a descrição pormenorizada de variantes de realização preferidas, sendo feita referência aos desenhos anexos, nos quais:

as figs. 1A e 1B mostram, respectivamente, esquemas de um corte transversal e de um corte longitudinal de uma variante de realização preferida do processo para a produção de um guia de ondas óptico activo, possuindo polarização assimétrica, de acordo com a invenção, no presente caso uma fibra óptica activa;

as figs. 2A e 2B mostram esquemas da secção transversal da fibra óptica activa da fig. 1A e do seu perfil transversal de índice de refração, antes e depois da exposição a uma iluminação transversal de luz;

as figs. 3A e 3B mostram esquemas da secção transversal da fibra óptica activa da fig. 1A e do seu perfil transversal de agente dopante fotor-refractivo;

as figs. 4A e 4B mostram esquemas de outros perfis transversais de índices, antes e depois da exposição a uma iluminação transversal da luz;

a fig. 5 mostra um esquema de uma secção transversal longitudinal de uma variante preferida de realização de uma fibra óptica activa, tendo simultaneamente uma rede de Bragg inscrita na sua região de guia;

as figs. 6A e 6B mostram esquemas de variantes preferidas de realização de um laser de fibra óptica, respectivamente de modo de polarização simples e de modo de polarização simples de cinco comprimentos de onda, possuindo uma fonte luminosa de bomba e uma realimentação distribuída, compreendendo uma ou mais das fibras ópticas activas com redes de Bragg mostradas na fig. 5;

as figs. 7A e 7B mostram varrimentos de Fabry-Perot medidos da saída de potência de um laser normalizado em relação à frequência, de uma fibra óptica activa de acordo com a técnica anterior e de uma variante preferida de realização de uma fibra óptica activa de acordo com a invenção;

a fig. 8 mostra um varrimento medido da saída de potência em relação ao comprimento de onda, de uma variante preferida de realização do laser de fibra óptica de modo simples, de cinco comprimentos de onda, mostrado na fig. 6B;

as figs. 9A e 9B mostram as saídas de potência de lasers em relação ao comprimento de onda, num pico de comprimento de onda de 1555,6 nm, respectivamente de um laser de fibra óptica de modo de polarização simples preferido, como se mostra na fig. 6A, e do referido laser dotado ainda de um "booster" comercial;

a fig. 10 mostra a taxa de erro de bit (BER) em relação à potência óptica recebida (ROP), de um laser de fibra óptica de modo de polarização simples preferido, como se mostra na fig. 6A;

a fig. 11 mostra um esquema de uma variante preferida de realização de uma fonte luminosa laser calibrada absoluta, e

a fig. 12 mostra um gráfico de transmissão através da célula de gás em relação à frequência da fonte luminosa laser calibrada absoluta representada na fig. 11, indicando o ponto de bloqueio (LP).

4. DESCRIÇÃO PORMENORIZADA

As figs 1A e 1B mostram esquemas de uma secção transversal e de uma secção longitudinal, respectivamente, de uma variante preferida de realização do processo para a produção de um guia de ondas activo possuindo polarização assimétrica, de acordo com a invenção.

Um guia de ondas óptico activo, que numa variante preferida de realização é uma fibra óptica activa à base de sílica 10, compreende uma região de guia 11 de 4 μm de diâmetro, contendo um agente dopante activo, nesta forma de realização o érbio, uma região não guia 12 de 31-37 μm de espessura, envolvendo a região de guia, e uma região intermédia 13 de 1-7 μm de espessura, entre as referidas

regiões de guia e não guia. A fibra óptica activa tem uma abertura numérica de cerca de 0,27 e após a exposição, nesta forma de realização com luz UV de um laser excimer de KrF com luz de 248 nm, exhibe modos de guia de luz tendo polarizações diferentes, como é exemplificado pelas duas setas ortogonais na fig. 1A.

A região de guia contém ainda agentes dopantes fotorrefractivos e de elevação do índice de refacção Ge e Al. A região intermédia é dopada com o agente dopante fotorrefractivo Ge.

As figs 2A e 2B mostram a secção transversal da fibra óptica activa na fig. 1A e o seu perfil transversal de índice de refacção 21 antes da exposição, expresso como o seu índice de refacção, n , em relação à distância radial, r , e o perfil transversal de índice de refacção modificado 22 após a exposição de pelo menos uma parte 10a, 10b do guia de ondas óptico activo à iluminação transversal de luz 20, nesta forma de realização luz UV proveniente de um laser excimer KrF com luz de 248 nm.

Vê-se que o perfil transversal de índice de refacção modificado se tornou significativamente mais elevado na parte das regiões de guia e intermédia mais próximas da luz de iluminação do que nas partes distais daquela, sendo as últimas partes distais dos perfis transversais do índice de refacção não modificado e modificado aproximadamente coincidentes nesta variante de realização.

O perfil transversal assimétrico de índice de refacção resultante 22 desta variante de realização assegura a assimetria de polarização do guia de ondas óptico activo.

O perfil transversal de índice de refração modificado é conseguido principalmente, nesta variante de realização, modificando-se o índice de refração transversal através da reacção da luz iluminante transversal tendo uma intensidade transversal decrescente (devida à absorção, principalmente no núcleo) através do guia de ondas 10 com o agente dopante fotorrefractivo, nesta variante de realização o germânio (Ge), tendo um perfil transversal de agente dopante fotorrefractivo 31 como se mostra na fig. 3B. A secção transversal do guia de ondas está representada na fig. 3A.

Nas figs. 4A e 4B estão representadas outras variantes de realização preferidas do perfil transversal do índice de refração antes da iluminação, e do perfil transversal modificado do índice de refração após a iluminação.

Como se mostra nesta variante de realização, uma fibra óptica activa à base de sílica compreende uma região de guia de 4 μm de diâmetro. A região de guia é dopada com cerca de 16% molar de Ge como agente dopante fotorrefractivo, e cerca de 8% molar de Al. A região intermédia tem uma espessura de aproximadamente 4,5 μm e é dopada com cerca de 1% molar de Ge e uma quantidade de F suficiente para diminuir o índice de refração para cerca de -2×10^{-3} , em comparação com a sílica. A região não guia é parcialmente dopada com P e F e tem o mesmo índice de refração que a região intermédia, e tem o índice de refração da sílica na região não dopada. A fibra óptica activa tem uma abertura numérica de cerca de 0,27. A concentração de érbio na região de guia é escolhida de forma a dar uma atenuação de cerca de 22 dB/m a 1530 nm. Esta fibra óptica activa corresponde a uma fibra que pode ser obtida sob o número de lote 930810 de Lucent Technologies Denmark A/S (antiga Lycom A/S), Brøndby, Dinamarca.

A reacção entre a luz iluminante e o agente dopante fotorrefractivo é prolongada até que o índice transversal de refração tenha sido suficientemente modificado para suprimir selectivamente a propagação da luz nos modos de guia de luz que tenham polarizações diferentes, de forma que a propagação da luz num modo seja menos suprimida do que a propagação da luz no outro ou outros modos.

A ocorrência desta situação pode ser monitorizada por métodos conhecidos na técnica. Neste caso foi utilizado um interferómetro de Fabry-Perot com uma gama espectral livre de 7,5 GHz e uma finura de 75 para correlacionar empiricamente a exposição e a supressão da luz de diferentes polarizações da fibra óptica activa exposta, sendo a referida fibra óptica activa exposta equipada com uma rede de Bragg e montada num laser de fibra óptica dotado de realimentação distribuída.

A fig. 5 ilustra o método de impressão por UV de uma rede num guia de ondas, utilizando uma técnica de máscara de fase. Na figura está representada uma fibra óptica activa, tal como é descrita na invenção, com uma região de guia 11, uma região não guia 12, e uma camada intermédia 13. A luz UV, produzida nesta variante de realização por um laser "excimer" de KrF a operar a 248 nm, passa através de uma máscara de fase 51 (fornecida por QPS, S/N 6035Y-7-1071-50-3). A máscara 51 tem 5 cm de comprimento e tem um afastamento de 1071 nm e uma supressão de ordem zero melhor do que 5%, e assim a luz é difractada predominantemente na 1.^a ordem e na -1.^a ordem. A luz difractada interfere nas regiões de guia e intermédia para produzir uma rede 52 com um período determinado pelo período de rede da máscara de fase 51 e pelo índice efectivo do guia de ondas.

A fig. 6A mostra uma variante preferida de realização de um laser DFB de fibra óptica de modo de polarização simples 60. Nesta variante construtiva uma bomba laser de 1475 nm/60 mW 610 é multiplexada com a luz a cerca de 1550 nm proveniente do laser DFB de fibra óptica de modo de polarização simples, utilizando-se uma fibra WDM 613. Nesta variante construtiva são utilizados elementos de ligação em ângulo 611, 612 em ambas as exterioridades da secção de bomba 61 para reduzir as reflexões internas. São ligados isoladores ópticos tipo "cauda de porco" 62, 63 em ambas as extremidades do módulo laser DFB de fibra completo para o efeito das reflexões externas. Como se mostra na fig. 5, é utilizada luz UV produzida por um laser "excimer" de KrF a operar a 248 nm para inscrever a rede 52 na fibra dopada com érbio e também para aumentar selectivamente o índice de refração na parte central da rede, para induzir o desvio de fase de $\pi/2$ necessário para a operação no modo longitudinal simples. A luz da bomba excedentária, que se propaga na fibra conjuntamente com a luz proveniente do laser DFB de fibra, pode eventualmente ser utilizada para bombear outra secção de fibra dopada com érbio para actuar como amplificador "booster" 64. As extremidades do dispositivo estão dotadas de elementos de ligação 65, 66 para facilmente estabelecer ligação a outros sistemas ópticos.

A fig. 6B mostra uma variante preferida de realização de um laser DFB de fibra óptica de modo de polarização simples, de cinco comprimentos de onda. Nesta variante de realização é utilizado um único laser de bomba de 1480 nm/60 mW 610 para bombear cinco secções de fibra dopada com érbio, de redes simples 52. A luz de bomba a 1480 nm é multiplexada com a luz a cerca de 1550 nm proveniente dos lasers DFB de fibra óptica de modo de polarização simples,

utilizando-se uma fibra WDM 613. Nesta variante de realização são utilizados elementos de ligação em ângulo 611, 612 em ambas as extremidades da secção de bomba 61, para reduzir as reflexões internas. As secções de fibra dopada com érbio com redes simples 52 são ligadas umas às outras 62 para formar um laser DFB de fibra óptica de modo de polarização simples, de cinco comprimentos de onda, em cadeia linear.

As figs. 7A e 7B mostram varrimentos de frequência da saída de um laser DFB de fibra óptica. A luz do laser foi passada através de um interferómetro de Fabry-Perot de varrimento com uma gama espectral livre de 7,5 GHz e uma finura de 75. A escala do eixo vertical é arbitrária, enquanto a escala das abcissas é determinada grosseiramente a partir da extensão da tensão de rampa linear 72 que corresponde aproximadamente à gama espectral livre de 7,5 GHz. O varrimento de frequência 71 da fig. 7A ilustra a estrutura de modo duplo do laser que é obtido se a fibra óptica não tiver um agente dopante fotorrefractivo tanto na região de guia como na região intermédia. O varrimento de frequência 71 da fig. 7B ilustra a forma como é obtido um laser de modo de polarização simples, utilizando-se uma fibra óptica activa de acordo com a invenção. A operação de modo de polarização simples é assegurada devido à formação de assimetria de polarização na fibra durante a formação da rede, de acordo com a invenção.

O espectro de saída do laser DFB de fibra óptica de modo de polarização simples, de cinco comprimentos de onda, está representado na fig. 8. O espectro é obtido utilizando um analisador de espectro óptico de rede dupla ANDO modelo AQ-6315A. A separação entre comprimentos de onda de pico é de $1 \text{ nm} \pm 0,1 \text{ nm}$ e a potência do laser varia entre -19 e -11 dBm. Esta variação é devida à potência de bomba

relativamente baixa (60 mW a 1480 nm) e à perda de potência de bomba em ligações não óptimas 62 entre as secções de laser individuais, fig. 6B. A relação sinal para ruído dos canais de laser é de cerca de 45 dB.

O espectro de saída do laser DFB de fibra óptica de modo de polarização simples, de comprimento de onda único, está ilustrado na fig. 9A e na fig. 9B. Os espectros são obtidos utilizando-se um analisador de espectro óptico de rede dupla ANDO modelo AQ-6315A. A potência óptica é de -8,2 dBm na configuração não amplificada, fig. 9A, e de +13,4 dBm quando amplificado com um amplificador "booster" de fibra dopado com érbio, fig. 9B. A relação sinal para ruído do laser não amplificado, fig. 9A, é de 61 dB, enquanto a do laser amplificado se degrada para 44 dB, fig. 9B.

O laser DFB de fibra óptica de modo de polarização simples, de comprimento de onda único, foi ensaiado numa experiência de transmissão a 10 Gbit/s. O laser foi modulado externamente utilizando-se um modulador Mach-Zender. O sinal foi transmitido por 49,5 km de fibra de telecomunicações normalizada, com deriva não dispersão, com uma perda total de 10 dB. A curva medida para a taxa de bit de erro (BER) em relação à potência óptica recebida (ROP) é mostrada na fig. 10.

A fig. 11 mostra uma variante construtiva preferida de uma fonte de luz laser calibrada em comprimento de onda absoluto 1100, baseada num laser DFB de fibra óptica de modo de polarização simples, de comprimento de onda único, como é descrito na invenção. A configuração do laser é basicamente a mesma que está ilustrada na fig. 6A: um laser de bomba a 1480 nm 1103 é multiplexado com a luz do laser DFB utilizando-se uma fibra WDM 1101. Está colocado um

isolador 1104 depois da bomba, para fins de estabilidade. A luz de bomba excedentária que se propaga na fibra é utilizada para bombear outra secção de fibra dopada com érbio, para actuar como um amplificador "booster" 1108. A luz de bomba ainda remanescente é posteriormente reflectida de retorno para a secção de amplificador "booster" 1108, utilizando-se um reflector de bomba 1109 inscrito a UV. A principal diferença para o laser descrito na fig. 6A é o facto de a parte activa do laser com a rede de Bragg estar fixa numa montagem de translação 1107 tal que seja possível distender a fibra. Isto pode ser realizado quer rodando um parafuso micrométrico 1107A, quer sintonizando um piezo 1107B. Desta forma é sintonizado o comprimento de onda de pico do laser DFB de fibra óptica de modo de polarização simples, de comprimento de onda único. O valor absoluto do comprimento de onda do laser é estabelecido através de uma absorção controlada numa célula de gás 1102, que contém um gás com linhas de absorção fortes na banda de ganho do material do laser. Para lasers de fibra dopada com Er, este gás poderia ser o acetileno 13 ($^{13}\text{C}_2\text{H}_2$) ou o cripton (Kr). Enquanto o laser está em operação, o comprimento de onda de pico do laser é sintonizado manualmente, utilizando-se o parafuso micrométrico, fazendo-se desta forma um varrimento através das linhas de absorção do gás na célula de gás. Como se mostra na fig. 12 (transmissão (T) através de uma célula de gás 1102 em relação à frequência (f)), o laser é sintonizado para uma posição, o ponto de bloqueio (LP), que coincide com a parte íngreme de uma linha de absorção forte. A parte da luz do laser que se propaga numa direcção é dividida utilizando-se um divisor de potência de fibra óptica 1110. Uma parte é obrigada a passar através da célula de gás 1102 e é dirigida para um foto-díodo (PD), a outra parte é dirigida directamente para um outro foto-díodo (PD). Os sinais dos dois foto-díodos são comparados num amplificador diferencial 1105. Se o laser se desviar da

sua posição de comprimento de onda ajustado, a saída do amplificador diferencial altera-se. Um servo-circuito 1106 fornece agora a realimentação necessária para sintonizar o laser novamente no seu valor estabelecido, ajustando a tensão que controla a pilha de piezo; isto controla a estiragem do laser DDFB de fibra e, desta forma, o comprimento de onda do laser.

5. EXEMPLOS

Exemplo 1 - Fibra óptica activa com polarização assimétrica

Foi produzido um exemplo de uma variante construtiva de um guia de ondas óptico activo possuindo polarização assimétrica, de acordo com a invenção, do seguinte modo: foi obtida uma fibra óptica (lote n.º 930810, Lucent Technologies Denmark A/S (antiga Lycom A/S), Brøndby, Dinamarca) com um perfil transversal de índice de refração e com um perfil transversal de agente dopante fotorrefractivo como se mostra nas figs. 4A e 3B, respectivamente. Colocaram-se 5 cm desta fibra óptica num sulco e a fibra foi iluminada a 248 nm, utilizando-se um laser excimer de KrF. A fibra foi iluminada com uma fluência total de cerca de 1,2 kJ/cm². Quando iluminada nas mesmas condições, mas através de uma máscara de fase de 5 cm de comprimento, foram fotoinduzidas redes de Bragg com uma reflectividade de pico de 99%. A assimetria da polarização foi comprovada através do emprego de uma fibra desta natureza numa configuração de laser DFB, no qual, adicionalmente, a parte central da secção iluminada foi ainda iluminada separadamente de forma a induzir um desvio de fase de $\pi/2$, como é necessário para os lasers DFB operarem num modo longitudinal simples. Este laser operou também num modo de polarização simples, que ilustra a assimetria de polarização do guia de ondas. Foi medida uma

birrefringência induzida de $1,5 \times 10^{-5}$ a 3×10^{-5} através da utilização de um interferómetro de varrimento de Fabry-Perot num laser de fibra DFB de modo de polarização dual, sendo a referida operação de modo de polarização dual obtida imediatamente após ter sido alcançada a operação de modo de polarização simples, durante a iluminação com o referido laser excimer de KrF.

Exemplo 2 - Laser de fibra óptica DFB

Nesta experiência, uma porção de 5 cm de comprimento de fibra de sílica (lote n.º 930810, fornecido por Lucent Technologies Denmark A/S (antiga Lycom A/S), Brøndby, Dinamarca) codopada com $\text{Er}^{3+}:\text{Ge}:\text{Al}$ foi ligada a isoladores de fibra tipo "cauda de porco" normalizados, equipados com elementos de ligação em ângulo.

Foram fotoinduzidas redes de Bragg, utilizando-se um laser excimer de KrF para iluminar a fibra com luz de 248 nm através de uma máscara de fase de 5 cm de comprimento, possuindo um afastamento de 1071 nm e supressão de ordem zero melhor do que 5% (lote n.º 6035Y-7-1071-50-3, fornecido por QPS, Canadá). A rede induzida tinha 4,6 cm de comprimento e tinha uma reflectividade de pico de 99% a 1555,6 nm. Foi induzido um desvio de fase na parte central da rede por exposição adicional a luz UV. A rede foi bombeada por um laser de semiconductor produzindo 60 mW de saída a cerca de 1475 nm, como se mostra na fig. 6A.

A acção do laser foi monitorizada utilizando-se um analisador de espectro óptico. Foi utilizado um interferómetro de varrimento de Fabry-Perot para verificar a operação em modo simples. A operação em modo simples sem saltos de modo foi observada continuamente, deste a temperatura ambiente até 200°C e também a -196°C.

O laser tinha um comprimento de onda de pico de 1555,6 nm e uma relação de sinal para ruído de 61 dB, medida com uma resolução de 0,05 nm, como se mostra na fig. 9A. A potência de sinal era de 150 μ W com uma bombagem de 60 mW. Quando se amplificou o laser com um amplificador "booster" comercial alcançou-se uma potência de sinal de 22 mW, com uma relação de sinal para ruído de 44 dB, como se mostra na fig. 9B.

Para se comprovar a estabilidade do laser a longo prazo foi realizada uma experiência de transmissão a uma taxa de bits de 10 Gbit/s. O laser foi colocado num bloco de alumínio, que foi montado numa mesa óptica. Não foi necessária uma estabilização adicional da temperatura, uma vez que o desvio de comprimentos de onda devido à temperatura é tão baixo quanto 0,01 nm/K. O laser foi modulado com uma sequência de bits pseudo-randomizada de $2^{31}-1$ com não retorno de zero, utilizando-se um modulador de Mach Zehnder controlado por um conjunto de teste de transmissão de erro de 10 Gbit/s. O sinal foi transmitido ao longo de 49,5 km de fibra de telecomunicações normalizada, com uma perda total de 10 dB. Foi medida a curva de taxa de erro de bits, como se mostra na fig. 10, e foi observada uma operação isenta de erro durante um período de medição de 1 hora.

Este exemplo demonstrou que os lasers de fibra DFB, nas variantes de realização preferidas de acordo com a presente invenção, são uma alternativa atraente como fontes em sistemas de telecomunicações. Os lasers mostram uma excelente estabilidade a longo prazo, com relações de sinal para ruído muito altas e com uma potência de saída razoável, combinadas com uma excepcional estabilidade de temperatura e uma inerente compatibilidade da fibra.

Exemplo 3 - Laser de fibra óptica DFB com cinco comprimentos de onda

Cada laser 52 (ver fig. 6B) foi fabricado individualmente, utilizando-se 5 cm de fibra dopada com érbio (lote n.º 930810, fornecido por Lucent Technologies Denmark A/S (antiga Lycom A/S), Brøndby, Dinamarca), ligado a fibras com desvio de dispersão e equipado com isoladores tipo "cauda de porco" normalizados, utilizando-se elementos de ligação em ângulo 62. A fibra dopada com érbio tem um núcleo, uma blindagem e uma região intermédia, e tem uma concentração de agente dopante de $1,5 \times 10^{25}$ átomos m^{-3} no núcleo, que tem um diâmetro de 4 μm e uma abertura numérica de 0,27. A fibra tem um perfil de agente dopante fotorrefractivo compreendendo germânio na região intermédia. As redes de Bragg e a assimetria de polarização são foto-induzidas simultaneamente, utilizando-se um laser excimer de KrF com luz de 248 nm que ilumina uma máscara de fase de 5 cm de comprimento tendo um espaçamento de 1071 nm e uma supressão de ordem zero melhor do que 5% (lote n.º 6035Y-7-1071-50-3, fornecido por QPS, Canadá).

A fluência na fibra é de cerca de 0,4 J/cm² por impulso. Após cerca de 3000 impulsos, a rede de 4,2 cm de comprimento tinha uma reflectividade de pico de 99%, correspondente a uma força de rede κL de cerca de 3.

Foi então induzido um desvio de fase na parte central da rede por exposição adicional a radiação UV. Para se assegurar um desvio de fase correcto, cada laser foi bombeado com um laser de semiconductor de 1480 nm enquanto o desvio de fase era induzido. A acção do laser foi monitorizada num analisador de espectro e foi utilizado um

interferómetro de varrimento de Fabry-Perot com uma gama espectral livre de 7,5 GHz.

Os lasers apresentam uma elevada estabilidade à temperatura. Foi verificada continuamente uma operação em modo longitudinal e de modo de polarização simples sem saltos de modo desde a temperatura ambiente até 200°C, assim como a -196°C.

Todos os lasers são inscritos com uma única máscara de fase. O comprimento de onda é determinado pela tensão aplicada na fibra durante o processo de inscrição, variando desta forma o período da rede quando a fibra é liberta. É possível alcançar-se uma variação de comprimento de onda de cerca de 5 nm sem fractura da fibra. A reprodutibilidade do comprimento de onda da nossa montagem corrente é de cerca de 0,2 nm.

Após a inscrição dos lasers com luz UV, os isoladores tipo "cauda de porco" em ângulo são cortados e os lasers são ligados entre si e bombeados com o mesmo laser de semiconductor de 60 mW que opera a 1480 nm, formando deste modo uma fonte de múltiplos comprimentos de onda. A separação dos comprimentos de onda de pico é de $1 \text{ nm} \pm 0,1 \text{ nm}$. A fig. 8 mostra a saída dos cinco lasers. A diferença na potência da acção dos lasers é devida principalmente à potência de bombagem relativamente baixa em combinação com as ligações não completamente optimizadas.

Este exemplo demonstrou um laser DFB de fibra óptica, de cinco comprimentos de onda, estável, adequado para sistemas de multiplexagem por divisão de comprimento de onda (WDM). O princípio de concepção é facilmente escalonável para oito comprimentos de onda ou mais. A posição dos comprimentos de onda individuais pode ser

situada mais precisamente utilizando-se uma máscara de fase ajustada para cada comprimento de onda pretendido.

Exemplo 4 - Um padrão de comprimento de onda absoluto baseado num laser DFB de fibra óptica e acetileno 13

Numa variante de realização (ver fig. 11) de um padrão absoluto de frequência/comprimento de onda 1100 baseado num laser de fibra óptica de modo de polarização simples e em modo simples 1103, 1104, 1107A, de acordo com a invenção, o comprimento de onda do laser é afinado através da estiragem da rede de fibra (utilizando-se um elemento de piezo 1107B) e da absorção da luz do laser por uma linha de absorção bem definida de um gás numa célula de gás 1102 com linhas de absorção fortes, dentro do espectro de ganho do laser. No presente exemplo foram utilizados lasers de fibra dopada com érbio e acetileno-13, isto é, carbono enriquecido com carbono 13. Enquanto o laser está em operação, o comprimento de onda do laser pode ser afinado manualmente, utilizando-se um parafuso micrométrico 1107C, fazendo-se desta forma um varrimento ao longo das linhas de absorção do gás empregue. O laser é sintonizado para uma posição de frequência I que coincida com a parte em declive da linha de absorção P(9) forte a 1537,66 nm do acetileno-13. A fracção da luz de laser que se propaga numa direcção é dividida, utilizando-se um divisor de potência de fibra óptica 1110. Uma parte é obrigada a passar através do gás e é dirigida para um foto-díodo PD, a outra parte é dirigida directamente para um outro foto-díodo PD. Os sinais dos dois foto-díodos são enviados aos dois terminais de um amplificador diferencial 1105. Se o laser se desviar da sua posição de comprimento de onda ajustada, a saída do amplificador diferencial varia. Um servo-circuito proporciona então a realimentação necessária para ajustar novamente o laser no seu valor estabelecido de frequência e

desta forma manter a transmissão no seu valor estabelecido $\bar{T}$ (o ponto de bloqueio LP indicado na fig. 12), ajustando-se a tensão que controla o elemento de piezo; este comanda a estiragem do laser DFB de fibra e, através deste, o comprimento de onda do laser.

Poderiam ser obtidos resultados semelhantes para o cripton (Kr) utilizado como gás de absorção e afinando o laser para a linha de absorção a 1537,62 nm.

Lisboa, 15 de Janeiro de 2008

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para a produção de um guia de ondas óptico activo, possuindo polarização assimétrica, compreendendo o referido processo os passos de: (a) se providenciar um guia de ondas óptico activo (10), compreendendo um agente dopante fotorrefractivo cujo índice de refração varia com a irradiação de luz, e: (i) um perfil transversal de índice de refração (21), compreendendo uma região de guia (11), contendo um agente dopante activo, uma região não guia (12), que envolve a região de guia, e uma região intermédia (13) entre as referidas regiões de guia e não guia, tendo a referida região intermédia eventualmente o mesmo índice de refração que a região não guia, (ii) um perfil transversal de agente dopante fotorrefractivo (31), tendo uma concentração de agente dopante fotorrefractivo constante ou gradual dentro de pelo menos uma das referidas regiões de guia, não guia e intermediária, excepto pelo facto de o agente dopante fotorrefractivo não estar localizado apenas na região de guia, e (iii) a exibição na referida região de guia, região intermédia, ou em ambas, de modos de guia de luz que têm polarizações diferentes; (b) e a exposição de pelo menos uma parte (10a, 10b) do guia de ondas óptico activo a uma iluminação transversal efectiva de luz (20) que reage com o agente dopante fotorrefractivo e a modificação do perfil transversal de índice de refração; sendo a referida parte do guia de ondas óptico activo exposta a uma fluência que suprime selectivamente a propagação dos modos de guia de luz que têm diferentes polarizações, de forma que a propagação de um modo seja menos suprimida do que a propagação do outro modo ou outros modos.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, no qual o perfil transversal modificado do índice de refração tem índices de refração elevados na região de guia (11) e através da região limítrofe entre a região de guia (11) e a região intermédia (13), e/ou na região intermédia (13), em comparação com o perfil transversal do índice de refração antes de ser exposto à iluminação transversal de luz.

3. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 ou 2, no qual o perfil transversal do índice de refração é escolhido do grupo que consiste num perfil de índices escalonado, num perfil de índice abatido, num perfil de índice gradual e num perfil de índice do tipo com manutenção da polarização do tipo PANDA, do tipo BOWTIE, do tipo de blindagem de tensão elíptica ou do tipo de núcleo elíptico.

4. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 3, no qual o perfil transversal de agente dopante fotorrefractivo é um perfil de concentração de nível único ou de níveis múltiplos, ou um perfil de concentração gradual.

5. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 3, no qual o perfil transversal de índice de refração e o perfil transversal de agente dopante fotor-refractivo têm formas essencialmente semelhantes.

6. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 5, no qual a região intermédia tem o mesmo índice de refração que a região não guia antes da exposição.

7. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 6, no qual o perfil de agente dopante fotorrefractivo tem

uma concentração constante ou gradual de agente dopante fotorrefractivo no interior da região intermédia.

8. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 7, no qual o perfil transversal de agente dopante fotorrefractivo compreende um agente dopante escolhido do grupo que consiste em boro (B), alumínio (Al), fósforo (P), germânio (Ge) e estanho (Sn), ou uma combinação dos mesmos.

9. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 8, no qual o perfil transversal de agente dopante fotorrefractivo na região de guia tem uma concentração de agente dopante no intervalo de 0 a 45% molar, de preferência de 0 a 35% molar, mais preferivelmente de 0 a 24% molar, particularmente de 2 a 12% molar.

10. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 9, no qual o perfil transversal de agente dopante fotorrefractivo na região intermédia tem uma concentração de agente dopante na região intermédia no intervalo de 0 a 40% molar, preferivelmente de 0 a 30% molar, mais preferivelmente de 0 a 15% molar, particularmente de 0,1 a 5% molar.

11. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 10, no qual o perfil transversal de agente dopante fotorrefractivo na região não guia tem uma concentração de agente dopante no intervalo de 0 a 20% molar, de preferência de 0 a 5% molar, muito preferivelmente de 0 a 1% molar.

12. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 11, no qual o perfil transversal de agente dopante fotorrefractivo na região de guia é essencialmente

constante, tendo germânio como agente dopante numa concentração no intervalo de 0 a 45% molar, de preferência de 0 a 35% molar, mais preferivelmente de 0 a 24% molar, particularmente de 2 a 12% molar.

13. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 12, no qual o perfil transversal de agente dopante fotorrefractivo na região intermédia é essencialmente constante, tendo germânio como agente dopante numa concentração no intervalo de 0 a 40% molar, preferivelmente de 0 a 30% molar, mais preferivelmente de 0 a 15% molar, particularmente de 0,1 a 5% molar.

14. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 13, no qual a luz de iluminação transversal tem um comprimento de onda na gama UV de 50 a 550 nm, particularmente de 150 a 380 nm, muito preferivelmente de 190 a 270 nm.

15. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 14, no qual a exposição se estende por um período de tempo correspondente à aplicação de uma fluência ao guia de ondas óptico activo no intervalo de 1 J/cm² a 10 MJ/cm², preferivelmente de 10 J/cm² a 1 MJ/cm², muito preferivelmente de 100 J/cm² a 10 kJ/cm².

16. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 15, no qual o guia de ondas óptico activo compreende um material à base de sílica dopado com um agente dopante activo escolhido entre os elementos das terras raras, em particular escolhido do grupo que consiste em La, Ce, Pr, Nd, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Yb.

17. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 1 a 16, no qual o guia de ondas óptico activo compreende um material à base de sílica dopado com um agente dopante modificador do índice de refração escolhido do grupo que consiste em boro (B), azoto (N), flúor (F), alumínio (Al), fósforo (P), titânio (Ti), germânio (Ge) e estanho (Sn), e agentes dopantes escolhidos do grupo dos elementos das terras raras que consiste em La, Ce, Pr, Nd, Gd, Dy, Ho, Er, Tm e Yb, ou combinações dos mesmos.

18. Guia de ondas óptico activo com polarização assimétrica, susceptível de obtenção por um processo de acordo com as reivindicações 1 a 17.

19. Processo para a produção de um laser com guia de ondas óptico, de modo de polarização simples, possuindo uma fonte luminosa de bomba e uma realimentação distribuída ou um reflector de Bragg distribuído, compreendendo os passos de:

(a) se produzir um guia de ondas óptico activo com polarização assimétrica, de acordo com a reivindicação 18 ou produzido pelo processo de acordo com as reivindicações 1 a 17;

(b) se incorporarem uma ou mais redes de Bragg na região de guia, na região intermédia, na região não guia, ou numa combinação das mesmas, do referido guia de ondas óptico activo com polarização assimétrica, eventualmente simultaneamente com a produção do guia de ondas óptico activo com polarização assimétrica; e

(c) se dirigir a luz de bomba da referida fonte luminosa de bomba para o referido guia de ondas óptico

activo com polarização assimétrica, tendo incorporadas as referidas redes de Bragg.

20. Processo de acordo com a reivindicação 19, no qual a rede de Bragg é incorporada na região de guia, na região intermédia, na região não guia, ou numa combinação das mesmas, por mistura de forma interferométrica da luz de iluminação transversal (20) numa configuração interferométrica que ilumina o guia de ondas óptico activo, preferivelmente através de uma máscara de fase (51).

21. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 19 ou 20, no qual a luz de iluminação transversal é não homogénea, a fim de proporcionar uma iluminação na parte central da rede de Bragg que é diferente da das outras partes da rede de Bragg.

22. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 19 ou 20, no qual a parte central da rede de Bragg é iluminada com outra luz de iluminação transversal diferente da que ilumina as outras partes da rede de Bragg.

23. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 19 ou 20, no qual o guia de ondas óptico activo é estirado durante a iluminação com a luz de iluminação transversal.

24. Processo de acordo com qualquer das reivindicações 19 a 23, no qual o guia de ondas óptico é uma fibra óptica que mantém a polarização.

25. Laser com guia de ondas óptico activo, de modo de polarização simples, possuindo uma fonte luminosa de bomba e uma realimentação distribuída ou um reflector de Bragg

distribuído, susceptível de obtenção por um processo de acordo com as reivindicações 19 a 24.

26. Processo para a produção de um laser com guia de ondas óptico, de modo de polarização simples, de múltiplos comprimentos de onda, possuindo uma fonte luminosa de bomba e uma realimentação distribuída, compreendendo os passos de:

(a) se produzirem dois ou mais guias de ondas ópticos activos com polarização assimétrica, de acordo com a reivindicação 18 ou produzidos pelo processo de acordo com as reivindicações 1 a 17, incluindo os guias de ondas para os quais o agente dopante fotorrefractivo está localizado unicamente na região de guia; e

(b) se incorporarem uma ou mais redes de Bragg na região de guia, na região intermédia, na região não guia, ou numa combinação das mesmas, dos referidos guia de ondas ópticos activos com polarização assimétrica, de acordo com as reivindicações 19 a 24, eventualmente simultaneamente com a produção do guia de ondas óptico activo com polarização assimétrica; e

(c) se dirigir a luz de bomba da referida fonte luminosa de bomba para os referidos guias de ondas ópticos activos com polarização assimétrica, tendo incorporadas as referidas redes de Bragg.

27. Processo de acordo com a reivindicação 26, no qual os dois ou mais guias de ondas ópticos activos com polarização assimétrica, tendo incorporadas uma ou mais redes de Bragg na região de guia, na região intermédia, na região não guia, ou numa combinação das mesmas, são produzidos

sequencialmente na mesmo guia de ondas óptico activo, ou são produzidos ligando-se em conjunto dois ou mais guias de ondas ópticos activos com polarização assimétrica, de acordo com a reivindicação 25, ou produzidos pelo processo de acordo com as reivindicações 19 a 24.

28. Processo de acordo com as reivindicações 26 ou 27, no qual os dois ou mais guias de ondas ópticos activos com polarização assimétrica, tendo incorporadas as referidas redes de Bragg, consistem em 1 a 64 dos referidos guias de onda, preferivelmente em 2, 4, 8, 16, 32 ou 64 dos referidos guias de onda.

29. Laser com guia de ondas óptico, de modo de polarização simples, de múltiplos comprimentos de onda, possuindo uma fonte luminosa de bomba e uma realimentação distribuída, susceptível de obtenção por um processo de acordo com as reivindicações 26 a 28.

30. Utilização de um guia de ondas óptico activo com polarização assimétrica, de acordo com a reivindicação 18 ou produzido pelo processo de acordo com as reivindicações 1 a 17, numa rede de telecomunicações, ou num aparelho de espectroscopia óptica, ou a utilização do referido guia de ondas, ou o referido guia de ondas para o qual o agente dopante fotorrefractivo está localizado unicamente na região de guia, num sensor, ou em fontes de luz laser calibradas absolutas bloqueadas numa linha de absorção de um gás de absorção, preferivelmente o acetileno 13 ($^{13}\text{C}_2\text{H}_2$) ou o cripton.

31. Utilização de um laser com guia de ondas óptico de modo de polarização simples, possuindo uma fonte luminosa de bomba e uma realimentação distribuída ou um reflector de

Bragg distribuído, de acordo com a reivindicação 25, ou produzido por um processo de acordo com as reivindicações 19 a 24, numa rede de telecomunicações, ou num aparelho de espectroscopia óptica, ou a utilização do referido guia de ondas, ou o referido guia de ondas para o qual o agente dopante fotorrefractivo está localizado unicamente na região de guia, num sensor, ou em fontes de luz laser calibradas absolutas bloqueadas numa linha de absorção de um gás de absorção, preferivelmente o acetileno 13 ($^{13}\text{C}_2\text{H}_2$) ou o cripton.

32. Utilização de um laser com guia de ondas óptico de modo de polarização simples, de múltiplos comprimentos de onda, possuindo uma fonte luminosa de bomba e uma realimentação distribuída ou um reflector de Bragg distribuído, de acordo com a reivindicação 29, ou produzido por um processo de acordo com as reivindicações 26 a 28, numa rede de telecomunicações, num sensor, num aparelho de espectroscopia óptica, ou em fontes de luz laser calibradas absolutas bloqueadas numa ou mais linhas de absorção de um gás de absorção, preferivelmente o acetileno 13 ($^{13}\text{C}_2\text{H}_2$) ou o cripton, ou as suas misturas.

Lisboa, 15 de Janeiro de 2008

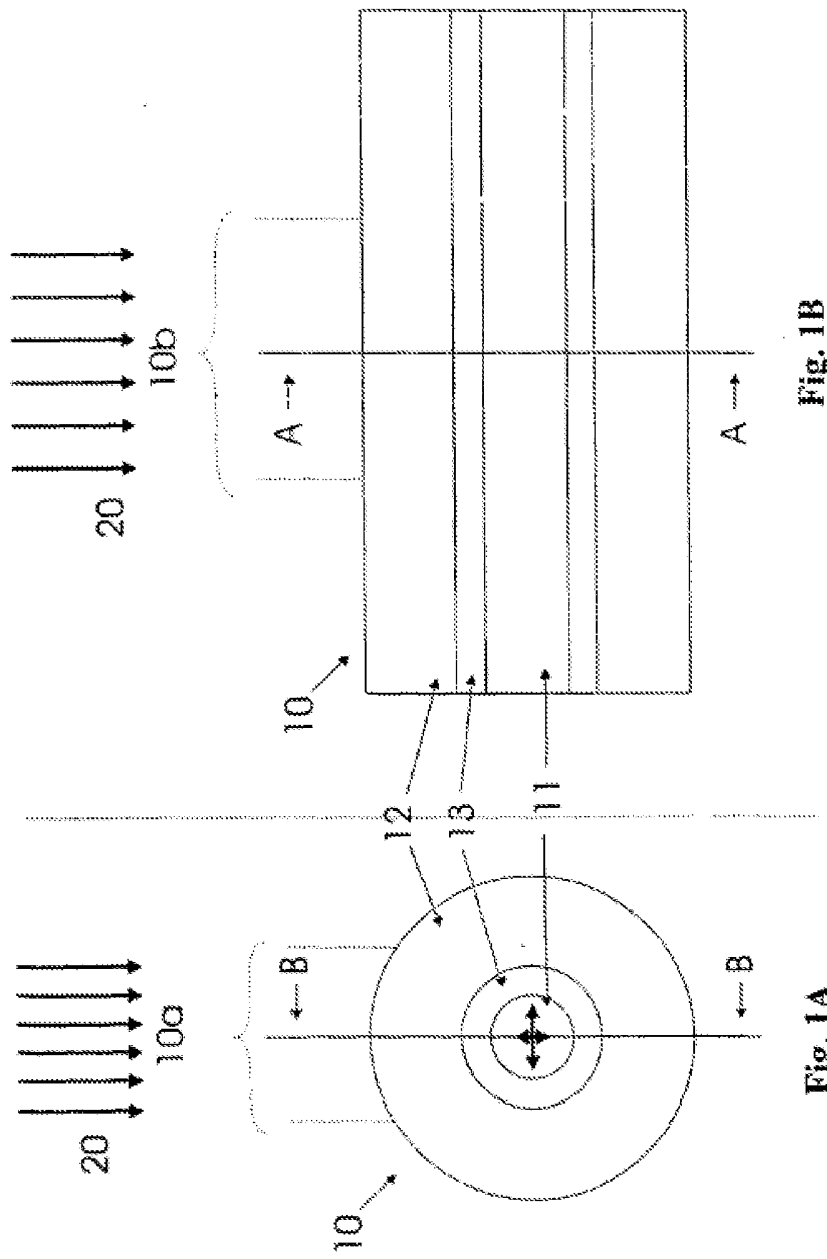
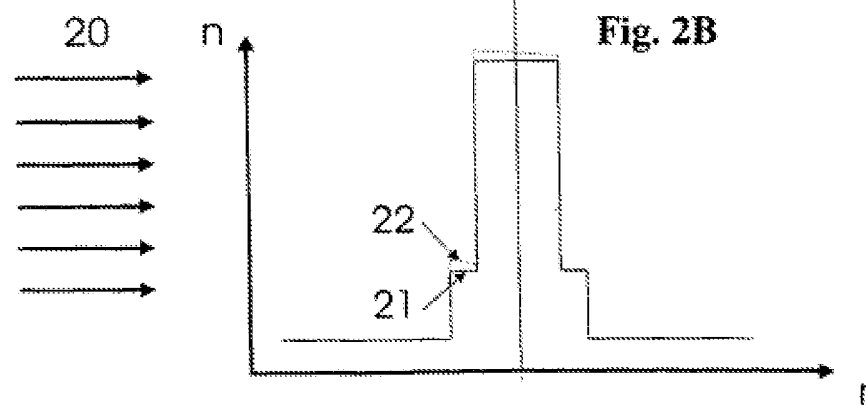
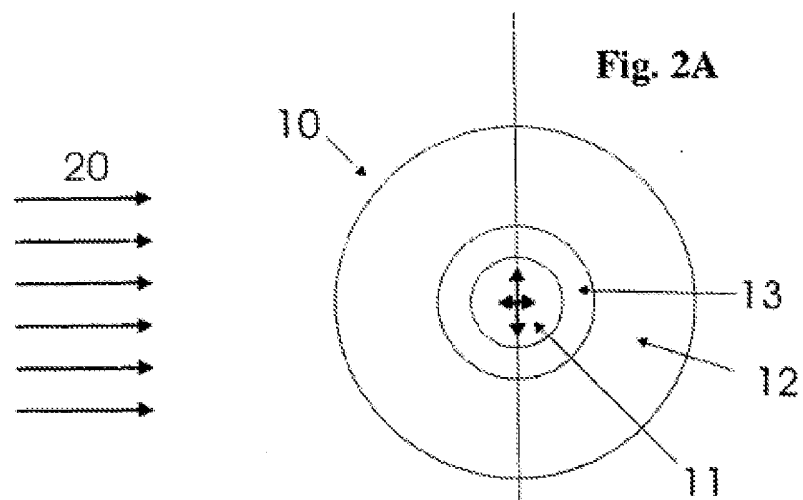
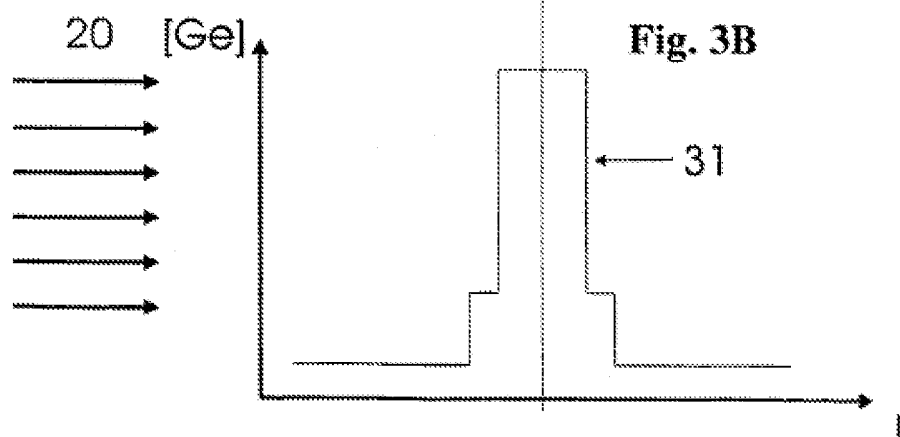
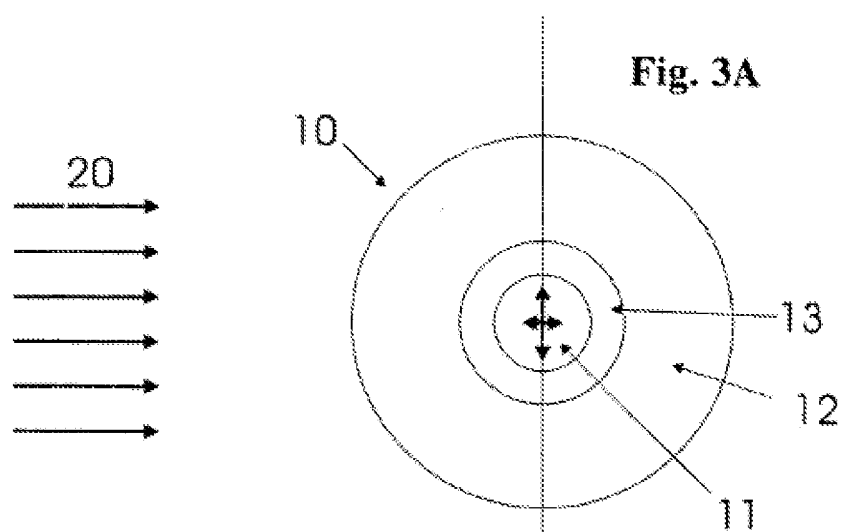
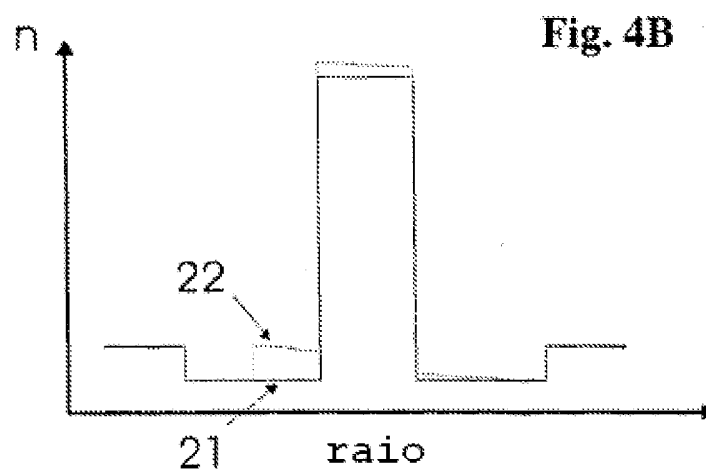
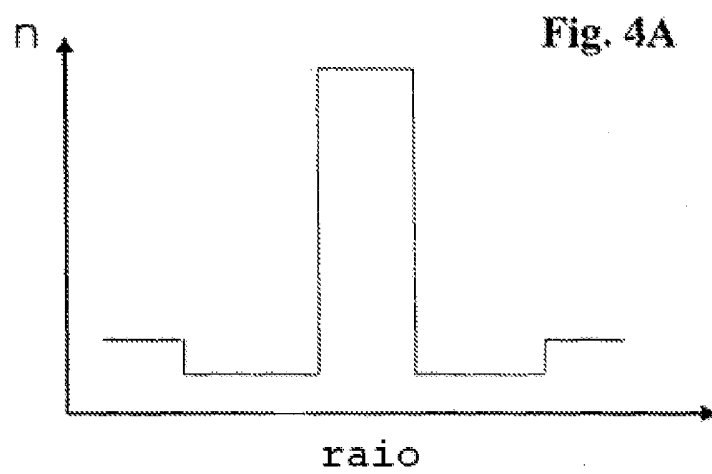


Fig. 1B

Fig. 1A







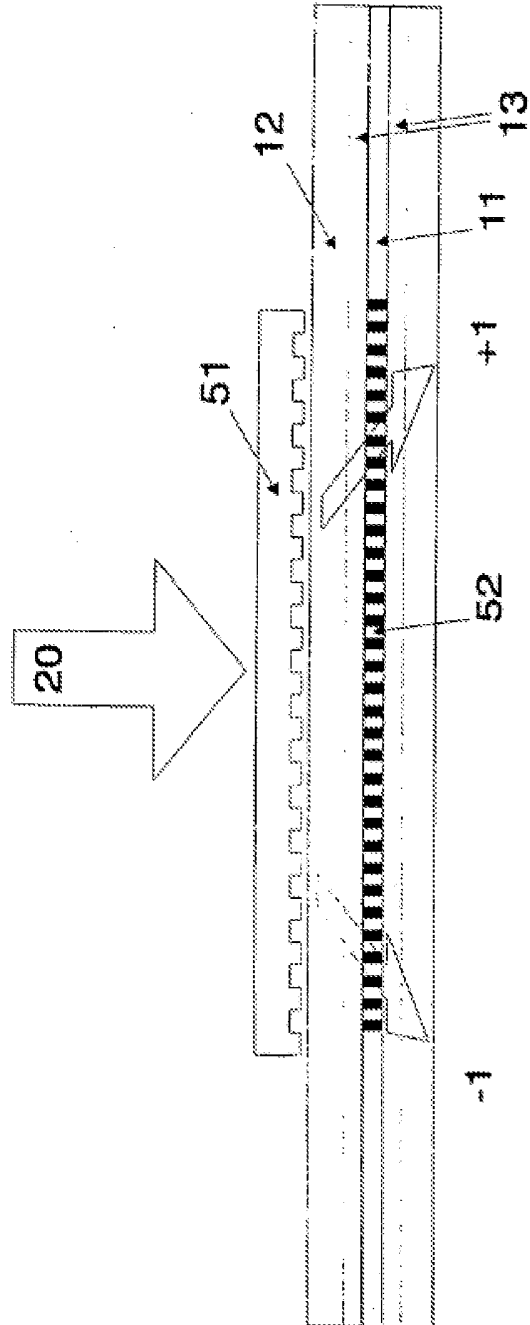


Fig. 5

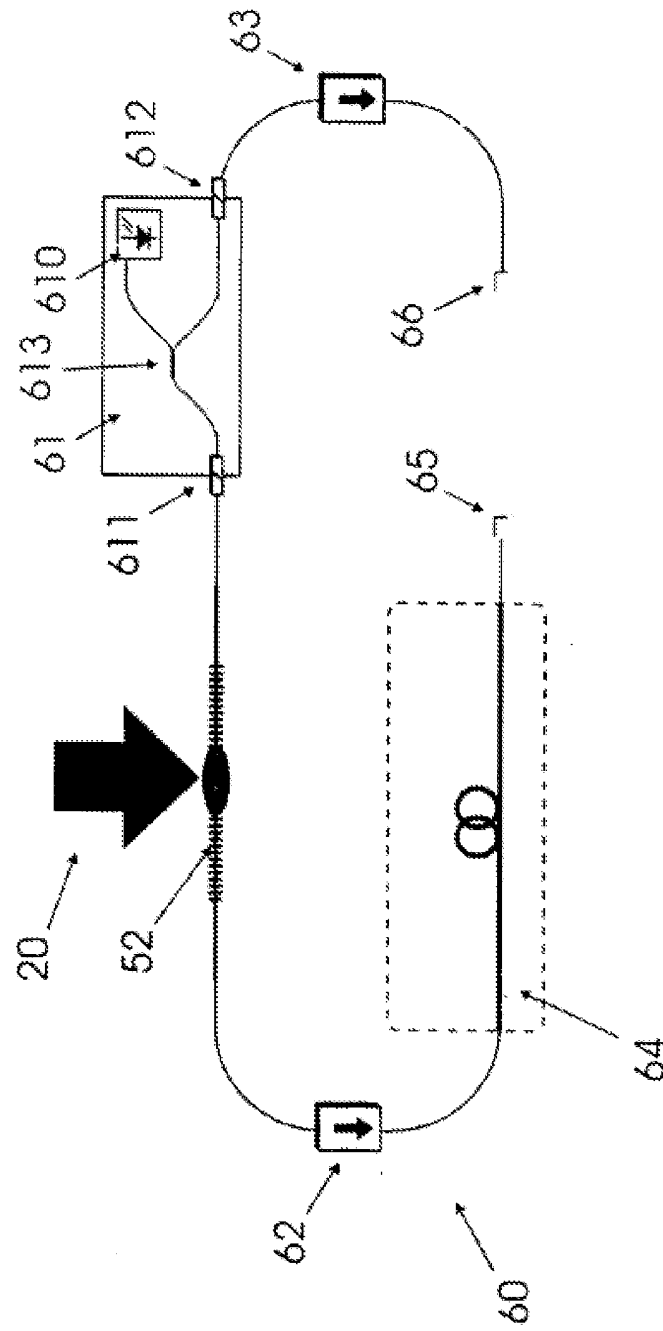


Fig. 6A

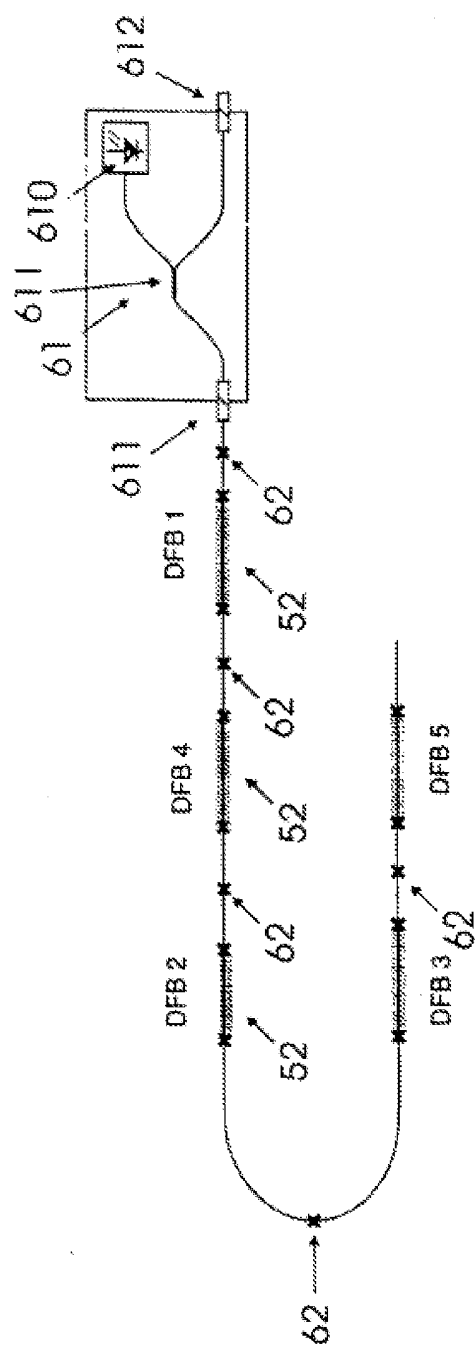
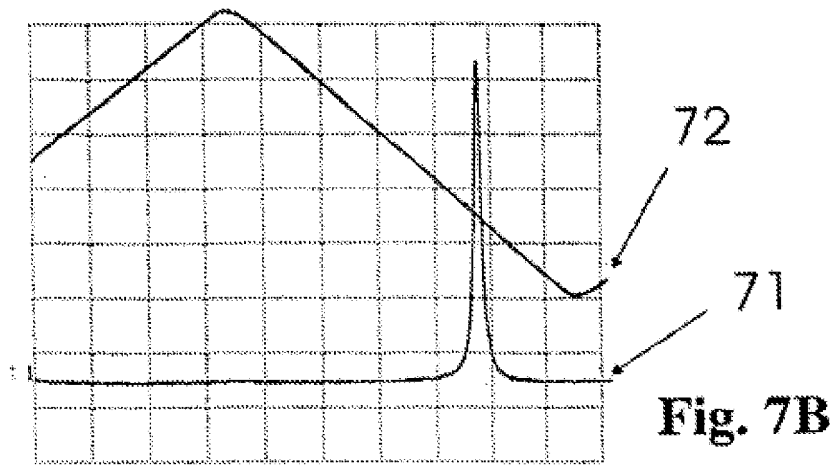
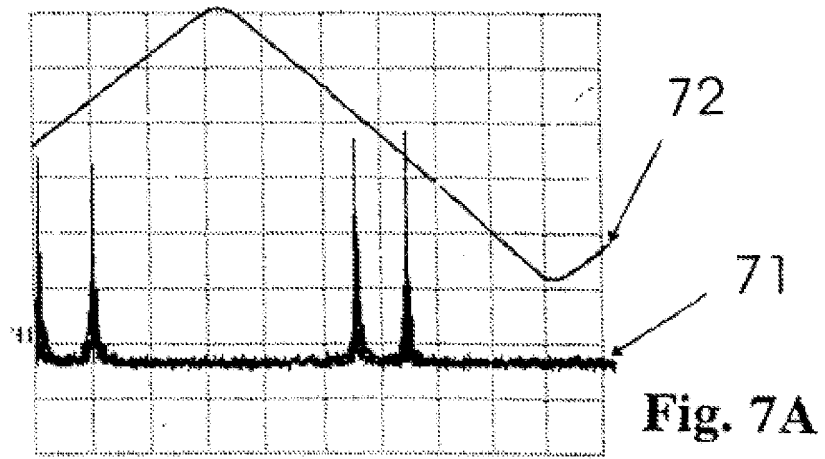
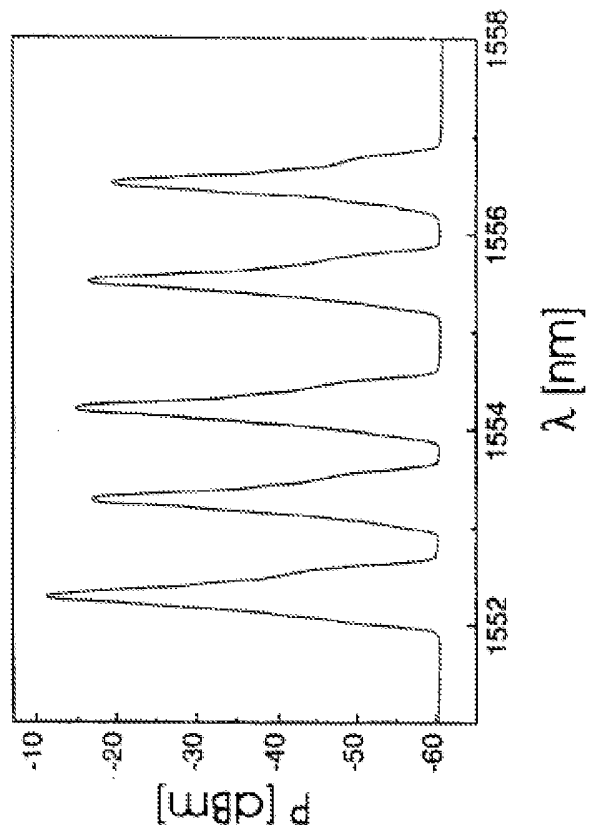
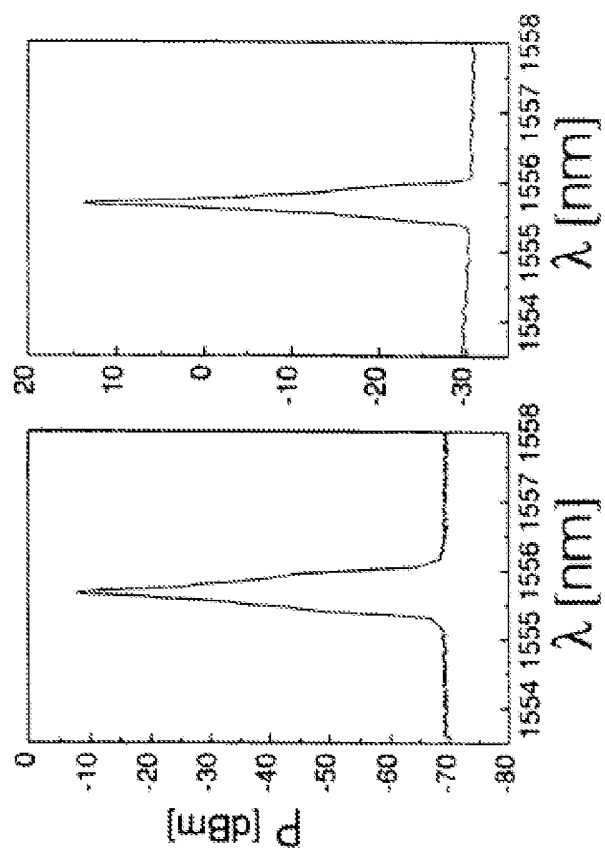


Fig. 6B



**Fig. 8**

**Fig. 9A****Fig. 9B**

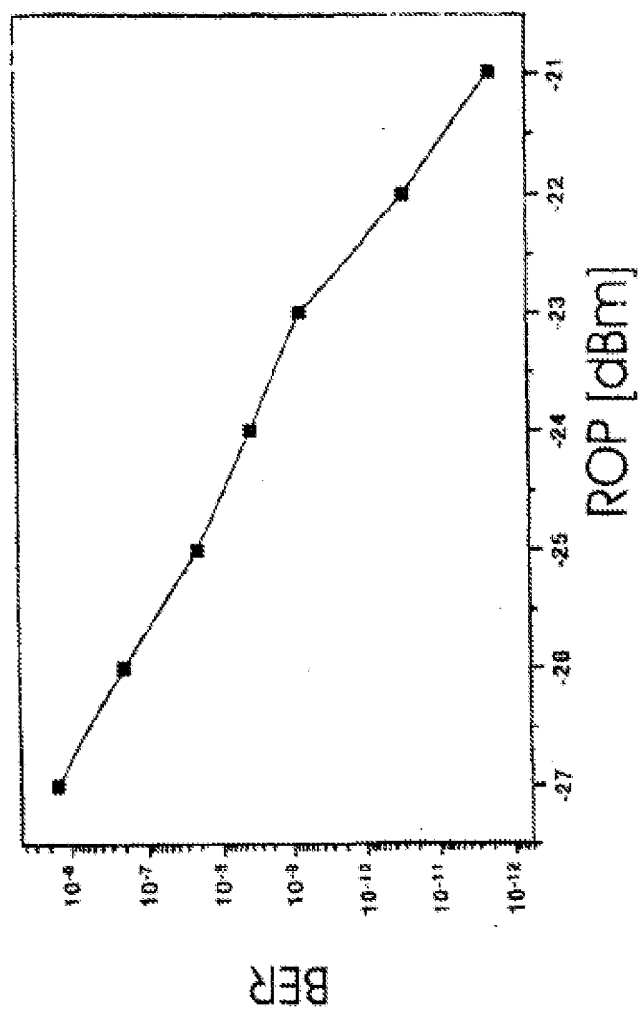


Fig. 10

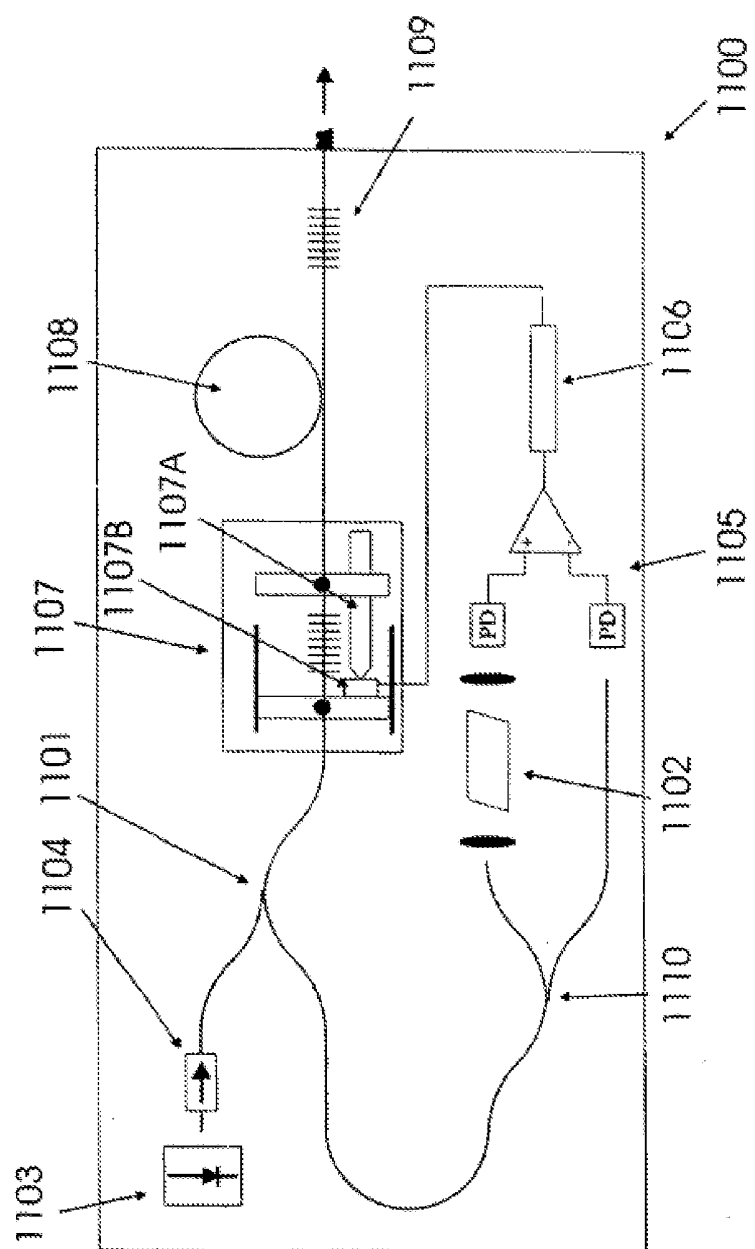
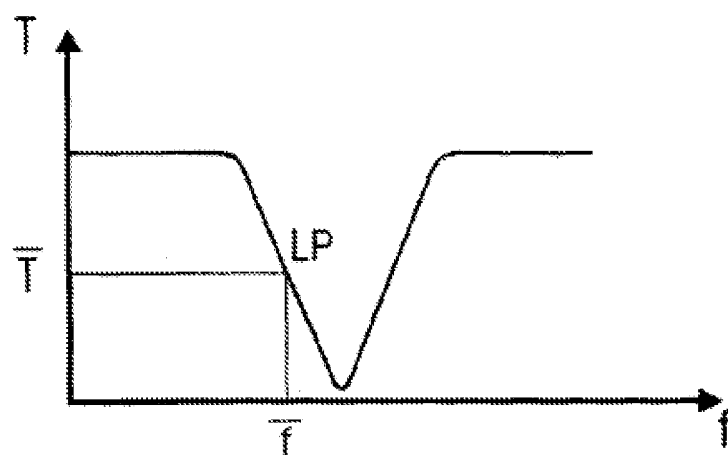


Fig. 11

**Fig. 12**