



La présente invention concerne un amplificateur optique utilisant l'amplification optique d'une fibre dopée par une terre rare et un isolateur optique et un circuit optique, qui sont utilisés pour ledit amplificateur optique.

L'isolateur optique indiqué précédemment présente des caractéristiques selon lesquelles un rayon pénètre dans la direction du côté entrée vers le côté sortie, avec une faible perte, mais pénètre à peine dans la direction allant du côté sortie au côté entrée, et la structure de base de cet isolateur est bien connue.

Il est connu, comme amplificateur classique tel que décrit par exemple dans "1990 Spring national convention record, the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers C-273", un amplificateur optique comprenant une fibre dopée par du Er, une source de lumière de pompage, un circuit optique pouvant coupler une lumière de pompage délivrée par la source de lumière de pompage et un signal optique délivré par une fibre de transmission, et des isolateurs optiques non dépendant de la polarisation, qui sont raccordés à l'extrémité côté entrée et à l'extrémité côté sortie de la fibre dopée par du Er. La fibre dopée par du Er utilisée, est une fibre calibrée à dispersion de $1,55 \mu\text{m}$ codopée par du Al et possédant une concentration de 66 ppm de Er et une différence Δ d'indice de réfraction égale à 1,2 %. Le gain maximum pour une entrée d'une lumière de pompage de 25 mW possédant une longueur d'onde de $1,48 \mu\text{m}$ est égale à 27,5 dB pour un pompage unique dans le sens direct ou de 33 dB pour un pompage bidirectionnel.

Pour accroître le rendement de pompage de la fibre dopée par du Er mentionnée précédemment dans la technique antérieure, on règle la concentration de dopage en Er, le diamètre du coeur pour le Er de dopage et l'indice de réfraction du coeur. Cependant, on ne prend pas en

considération les pertes de raccordement au niveau des parties de raccordement avec l'isolateur optique sur l'extrémité côté entrée et sur l'extrémité côté sortie de la fibre dopée par du Er, indiquée précédemment.

5 L'amplificateur à fibre optique est décrit dans ses grandes lignes par exemple par M. Horiguchi; Kogaku (Optics), Vol. 19, N°5 (Mai 1990), pp. 276-282.

Il s'est avéré que, étant donné que les parties de raccordement de l'extrémité côté entrée et de
10 l'extrémité côté sortie de la fibre dopée par une terre rare avec les isolateurs optiques de la technique de l'art antérieur, les diamètres du champ du mode de la fibre dopée par une terre rare et de l'isolateur optique indiqué précédemment sont différents, il se pose un problème dû au fait
15 qu'une désadaptation de mode et des pertes de connexion apparaissent et que par conséquent la valeur de bruit de l'amplificateur optique augmente et le gain diminue.

Il s'est également avéré que, lorsque la fibre, qui constitue le matériau de base de la fibre dopée par une
20 terre rare, a une composition qui diffère de celle de la fibre de transmission dans l'art antérieur, par exemple lorsque la fibre est une fibre formée d'un verre à base de fluorure dopé par du Er, il se pose un problème lié au fait que la fibre dopée par une terre rare, mentionnée précédemment, et l'isolateur optique devant être raccordé à cette
25 fibre ne peuvent pas être épissés par fusion.

Le premier but de la présente invention est de rendre égaux les diamètres de champ de mode d'une fibre dopée par une terre rare et d'un isolateur optique d'un amplificateur optique, au niveau de leurs parties de raccordement, afin de réduire la perte de connexion provoquée par une désadaptation de mode, de manière à réduire la valeur de bruit de l'amplificateur optique et d'accroître le gain.

Le second but de la présente invention est de
35 permettre la réunion par fusion d'une fibre dopée par une

terre rare d'un amplificateur optique à fibre dopée par une terre rare et d'un isolateur optique devant être raccordé à cette fibre, même lorsque la fibre, qui est le matériau de base de la fibre dopée par une terre rare, mentionnée précédemment, a une composition différente de celle d'une fibre de transmission.

Les troisième et quatrième objectifs de la présente invention consistent à fournir respectivement un isolateur optique et un circuit optique qui soient appropriés pour un amplificateur optique dopé par une terre rare, qui permet d'atteindre le premier objectif et/ou le second objectif.

Pour atteindre le premier objectif, l'amplificateur optique à fibre dopée par une terre rare conforme à la présente invention comprend une fibre dopée par une terre rare, une source de lumière de pompage, un circuit optique qui peut coupler la lumière de pompage délivrée par la source de lumière de pompage et un signal optique délivré par une fibre de transmission, et au moins un isolateur optique qui est raccordé à l'extrémité côté entrée et/ou à l'extrémité côté sortie de la fibre dopée par une terre rare et est structuré de manière que le signal de sortie délivré par le circuit optique est envoyé à la fibre dopée par une terre rare directement ou par l'intermédiaire de l'isolateur optique et réduit la perte de connexion provoquée par la désadaptation de mode indiquée précédemment, étant donné que le diamètre de champ de mode de chaque fibre monomode situé sur le côté entrée et sur le côté sortie de l'isolateur optique indiqué précédemment est égal au diamètre de champ de mode de la fibre dopée par une terre rare, qui est raccordée à cet isolateur, ou de la fibre de transmission.

Une fibre optique possède en général une structure dans laquelle une partie formant coeur possédant un indice de réfraction élevé est entourée par la partie formant

revêtement possédant un indice de réfraction faible. Le diamètre W de champ de mode de la fibre peut être réglé par le diamètre $2A$ du coeur ainsi qu'à la fois par l'indice de réfraction n_1 du coeur et la différence d'indice de réfraction Δ comme indiqué par les relations (1) à (3) :

$$W = A (0,65 + 1,691/V^{1,5} + 2,879/V^6) \quad \dots (1)$$

$$V = 2\pi A n_1 \sqrt{2\Delta}/\lambda \quad \dots (2)$$

$$\Delta = (n_1 - n_2)/n_1 \quad \dots (3)$$

V étant la fréquence normalisée de la fibre et N_2 l'indice de réfraction du matériau de revêtement.

Par exemple, W augmente lorsque $2A$ augmente ou que n_1 ou Δ diminue et réciproquement.

Le diamètre du champ du mode de la fibre optique peut être obtenu expérimentalement, par exemple au moyen de la mesure indiquée ci-après.

Un laser à semiconducteur est raccordé à une extrémité de la fibre optique, un faisceau laser est appliqué à partir de l'autre extrémité, un photodétecteur monté en avant de l'autre extrémité de la fibre optique tourne autour de la partie supérieure de la fibre optique, et on mesure la distribution de l'intensité lumineuse autour du centre de la fibre optique. Cette distribution de l'intensité lumineuse est désignée comme étant le diagramme du champ distant. En mesurant l'angle θ entre la position de l'angle de rotation obtenue lorsque l'intensité de la lumière est égale à $1/e^2$ fois la valeur maximale, le centre obtenu lorsque l'intensité lumineuse possède la valeur maximale dans cette distribution de l'intensité lumineuse, on calcule le diamètre de champ de mode, c'est-à-dire la taille w du spot de mode à partir de la relation $w = \lambda/\pi \tan \theta$, le symbole λ désignant la longueur d'onde de la lumière.

En particulier lorsque l'isolateur optique indiqué précédemment est un isolateur optique ne dépendant pas de la polarité et qui comporte un prisme de polarisation,

un rotateur de Faraday, une lentille située côté entrée et servant à convertir un rayon incident délivré par une fibre monomode située côté entrée en un rayon parallèle, et une entrée située côté sortie et servant à focaliser et appliquer le rayon parallèle indiqué précédemment à la fibre monomode située côté sorti, au moyen d'une commande indépendante de l'indice de réfraction et de la forme de chaque lentille de manière que la taille du spot du rayon parallèle converti par la lentille située côté entrée, mentionnée précédemment, soit égale à la taille du spot du rayon parallèle doit être convertie par la lentille située côté sortie, indiquée précédemment, lorsqu'un faisceau de référence est appliqué à partir de la fibre monomode située sur le côté sortie, indiquée précédemment, on obtient une réduction de la perte d'insertion entre les fibres situées côté entrée et côté sortie. Ce faisant, la perte de connexion de l'ensemble de l'amplificateur optique indiqué précédemment diminue et par conséquent, la valeur de bruit diminue et le gain augmente.

La distribution de l'intensité lumineuse dans la fibre optique est en général une distribution gaussienne. La distance w entre le point, auquel l'intensité lumineuse est égale à $1/e^2$ fois la valeur maximale au centre de la fibre, et le centre est désignée sous l'expression diamètre de champ de mode ou taille du spot de mode.

Comme mentionné précédemment, la taille du spot du mode dans la fibre optique est réglée au moyen du réglage du diamètre du coeur, de l'indice de réfraction du coeur et de la différence entre les indices de réfraction du coeur et du revêtement. Cependant, la taille du spot de mode dans l'isolateur optique peut être réglée au moyen d'un simple réglage des distances focales de la lentille située côté entrée et de la lentille située côté sortie.

Si on suppose que les distances focales de la lentille située côté entrée et de la lentille située côté

sortie sont f_1 et f_2 et que les tailles du spot dans la fibre monomode située côté entrée et dans la fibre monomode située côté sortie sont w_1 et w_2 , on a la relation $f_1/w_1 = f_2/w_2$, la perte de connexion provoquée par la différence entre les tailles w_1 et w_2 des spots dans les fibres monomode présentes côté entrée et côté sortie peut être évitée. C'est pourquoi, lors de la conversion de la taille w_1 de spot en la taille w_2 de spot, on peut régler les distances focales de la lentille située côté entrée et de la lentille située côté sortie sur des valeurs f_1 et f_2 satisfaisant à $f_2/f_1 = w_2/w_1$.

Par ailleurs, pour atteindre le second objectif, dans l'amplificateur optique à fibre dopée par une terre rare conforme à la présente invention, en choisissant la composition et la structure de chaque fibre monomode située sur le côté entrée et sur le côté sortie de l'isolateur optique indiqué précédemment dans l'amplificateur optique pour atteindre le premier objectif, égales à celles de la fibre formée du matériau de base de la fibre dopée par une terre rare indiquée précédemment devant être raccordée à cet amplificateur (c'est-à-dire que la fibre formée du matériau de base est une fibre exactement identique à la fibre dopée par une terre rare, mentionnée précédemment, hormis qu'elle ne contient aucune terre rare) ou à la fibre de transmission indiquée précédemment, le point de fusion de la fibre dopée par une terre rare, mentionné précédemment, est réglé égal au point de fusion de la fibre monomode de l'isolateur optique devant être raccordé à cette fibre, et que l'on peut épisser par fusion ces deux fibres.

Une fibre dopée par une terre rare désigne en général une fibre optique possédant une amplification optique directe par émission stimulée par dopage d'ions d'une terre rare dans l'ensemble du coeur ou dans une partie de ce dernier (par exemple proche du centre du coeur).

Conformément à la présente invention, une fibre

de transmission est raccordée à l'une des fibres monomode situées sur le côté entrée et sur le côté sortie d'un isolateur optique, non dépendant de la polarisation, et une fibre dopée par une terre rare est raccordée à l'autre

5 fibre monomode, le diamètre du champ du mode de l'une des fibres monomode indiquées précédemment est égal à celui de la fibre de transmission et le diamètre de champ de mode d'une autre fibre monomode est égal à celui de la fibre dopée par une terre rare; la composition et la structure de

10 l'une des fibres monomode indiquées précédemment sont identiques à celles de la fibre de transmission lorsque cela est nécessaire, et la composition et la structure de l'autre fibre monomode sont égales à celles de la fibre formée du matériau de base de la fibre dopée par une terre

15 rare de sorte que les points de fusion des fibres en amont et en aval de chaque partie de raccordement sont identiques; et les distances focales de la lentille située côté entrée et de la lentille située côté sortie sont déterminées de manière que, lorsqu'un faisceau de référence est

20 produit par la fibre monomode située côté sortie, mentionnée précédemment, la taille du spot du rayon parallèle converti par la lentille située côté entrée est égale à la taille du spot du rayon parallèle converti par la lentille située côté sortie; et comme autres configurations, on peut

25 utiliser la configuration d'un isolateur optique classique et la configuration d'un amplificateur à fibre optique classique.

La description mentionnée précédemment de l'amplificateur à fibre optique dopée par une terre rare

30 selon la présente invention définit également une configuration d'un isolateur optique servant à atteindre le troisième objectif. Dans l'isolateur optique selon la présente invention, qui est agencé comme mentionné précédemment, le diamètre de champ de mode de la fibre monomode située sur

35 le côté entrée est différent du diamètre de champ de mode

de la fibre monomode située sur le côté sortie. La fibre de transmission est en général constituée par du verre quartz, bien qu'il n'y ait aucune limitation à cet égard. En ce qui concerne la fibre dopée par une terre rare, son matériau n'est pas limité à un matériau particulier, bien qu'on utilise en général un verre quartz ou un verre à base de fluorure (la composition est par exemple $\text{ZnF}_4\text{-BaF}_2\text{-LaF}_3\text{-YF}_3\text{-AlF}_3\text{-LiF-NaF}$). Le verre à base de fluorure présente des avantages consistant en ce que i) il peut être dopé avec une concentration élevée, ii) il possède une courbe caractéristique d'amplification plate dans une gamme assez étendue de longueurs d'onde, et iii) au moyen d'un dopage avec des ions Nd^{3+} ou Pr^{3+} , on peut amplifier un signal optique possédant une longueur d'onde de $1,3 \mu\text{m}$.

La présente invention permet d'obtenir de bons résultats, qui sont indiqués ci-après.

Les diamètres de champ de mode des fibres monomodes situées côté entrée et côté sortie de l'isolateur optique indiqué précédemment sont égaux au diamètre de champ de mode de la fibre dopée par une terre rare mentionnée précédemment et raccordée aux fibres indiquées, ou de la fibre de transmission mentionnée précédemment, et la perte de connexion provoquée par la désadaptation des modes est réduite.

En outre, lorsque l'isolateur optique indiqué précédemment est un isolateur optique ne dépendant pas de la polarisation et qui comprend un prisme de polarisation, un rotateur de Faraday, une lentille située du côté entrée et servant à convertir un rayon incident délivré par une fibre monomode située sur le côté entrée en un rayon parallèle et une lentille située côté sortie servant à focaliser et appliquer le rayon parallèle mentionné précédemment à une fibre monomode située côté sortie, le rayon parallèle converti par la lentille située côté entrée, mentionnée précédemment, traverse le prisme de polarisation mentionné

précédemment et le rotateur de Faraday mentionné précédemment, puis est appliqué à la fibre monomode située côté sortie, par la lentille située côté sortie, et l'indice de réfraction et la forme de chaque lentille sont commandés
5 d'une manière indépendante de sorte que la taille du spot du rayon parallèle converti par la lentille située côté entrée indiquée précédemment est égale à la taille du spot du rayon parallèle converti par la lentille située côté sortie, mentionnée précédemment, lorsqu'un faisceau de référence
10 est appliqué à partir de la fibre monomode située côté sortie, mentionnée précédemment, et par conséquent la perte d'insertion entre les fibres situées côté entrée et côté sortie est réduit. De ce fait, la perte de connexion dans l'ensemble de l'amplificateur optique indiqué précédemment
15 diminue et par conséquent la valeur de bruit diminue et le gain augmente.

Les fibres monomode situées sur les côtés entrée et sortie de l'isolateur optique indiqué précédemment peuvent être identiques à la fibre qui est formée par le matériau de base de la fibre dopée par une terre rare ou de la
20 fibre de transmission mentionnée précédemment. Dans ce cas, la fibre dopée par une terre rare mentionnée précédemment et l'isolateur optique, qui doit être raccordé à cette fibre, peuvent être épissés par fusion.

25 D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description donnée ci-après prise en référence aux dessins annexés, sur lesquels:

- la figure 1 représente une vue schématique montrant le principe de l'isolateur optique non dépendant de la polarisation, correspondant à une première forme de réalisation de la présente invention;
30

- la figure 2 est une vue schématique montrant la structure d'un isolateur optique non dépendant de la polarisation, conformément à une seconde forme de réalisation
35 de la présente invention;

- la figure 3 représente un schéma explicatif illustrant un amplificateur optique selon la présente invention utilisant les isolateurs optiques des première et seconde formes de réalisation, en tant que troisième forme de réalisation de l'invention;

- la figure 4 représente une vue schématique montrant la structure d'un isolateur optique non dépendant de la polarisation, qui constitue la quatrième forme de réalisation de la présente invention;

- la figure 5 est une vue schématique montrant la structure d'un isolateur optique non dépendant de la polarisation et constituant la cinquième forme de réalisation de la présente invention; et

- la figure 6 est un schéma explicatif montrant un amplificateur optique selon la présente invention, qui utilise l'isolateur optique des troisième et quatrième formes de réalisation.

On va décrire ci-après les formes de réalisation préférées de l'invention.

Forme de réalisation 1

Un isolateur optique correspondant à la première forme de réalisation de la présente invention est représenté sur la figure 1. La figure 1 est un schéma de principe illustrant le fonctionnement de l'isolateur optique non dépendant de la polarisation, dans lequel une fibre de transmission est raccordée au côté entrée et une fibre dopée par de l'erbium est raccordée au côté sortie. Sur la figure 1, le chiffre de référence 1 désigne une fibre mono-mode située sur le côté entrée, le chiffre de référence 2 une lentille située sur le côté entrée, le chiffre de référence 3 un prisme de polarisation en forme de coin situé sur le côté entrée, le chiffre de référence 4 un rotateur de Faraday, le chiffre de référence 5 un prisme de polarisation en forme de coin situé sur le côté sortie, le chiffre de référence 6 une lentille située sur le côté sor-

tie, le chiffre de référence 7 une fibre monomode située sur le côté sortie, le chiffre de référence 8 un aimant cylindrique, les chiffres de référence 9a et 9b un rayon ordinaire et un rayon extraordinaire dans le sens direct, et les chiffres de référence 10a et 10b un rayon ordinaire et un rayon extraordinaire dans la direction inverse. Tout d'abord, dans la direction directe, un rayon incident d'une composante de polarisation optionnelle introduite par la fibre monomode 1 située côté entrée est converti en un rayon parallèle par la lentille 2 située côté entrée et est envoyé au prisme de polarisation en forme de coin 3 situé côté entrée. Étant donné que l'indice de réfraction du prisme de polarisation en forme de coin 3 situé côté entrée est différent pour le rayon ordinaire et pour le rayon extraordinaire, le rayon parallèle est subdivisé en étant dirigé dans les directions différentes 9a et 9b. La polarisation de chaque rayon est pivotée d'un angle de 45° par le rotateur de Faraday 4 et chaque rayon est converti en un rayon parallèle par le prisme de polarisation 5 en forme de coin situé sortie, dont l'axe optique est préalablement pivoté d'un angle de 45° et est appliqué à la fibre monomode 7 située côté sortie, par la lentille 6 située côté sortie, et ce avec une faible perte. D'autre part, un rayon avançant dans le sens rétrograde est émis par la fibre monomode 7 située côté sortie, est converti en un rayon parallèle par la lentille 6 située côté sortie et est subdivisé en le rayon ordinaire 10a et en le rayon extraordinaire 10b par le prisme de polarisation en forme de coin 5 situé côté sortie. Le rotateur de Faraday 4 fait pivoter de 45° la polarisation de chaque rayon, et chaque rayon est envoyé au prisme de polarisation en forme de coin 3 situé côté entrée. Étant donné que la relation entre le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire est inversée, les rayons ne sont pas transformés en un rayon parallèle et sortent sous des angles importants. C'est pourquoi les rayons ne peuvent pas

être appliqués à la fibre monomode 1 située du côté entrée par la lentille 2 située du côté entrée, et on obtient une perte élevée dans le sens rétrograde. Pour empêcher une perte de connexion due à une désadaptation du mode au niveau de la partie de raccordement avec la fibre de transmission mentionnée précédemment au niveau de l'extrémité située côté entrée, la fibre monomode 1 située côté entrée est identique à la fibre de transmission mentionnée précédemment. Dans la fibre de transmission et dans la fibre monomode située côté entrée dans cette forme de réalisation, le diamètre du coeur est égal à $9,5\text{ }\mu\text{m}$, le diamètre de la fibre y compris la gaine est égal à $125\text{ }\mu\text{m}$, l'indice de réfraction du coeur est égal à 1,465, l'indice de réfraction du revêtement est égal à 1,46, la différence d'indice de réfraction est égale à 0,35 % et pour le coeur et le revêtement on utilise du verre quartzéux.

Pour réduire la perte de connexion due à une désadaptation du mode au niveau de la partie de raccordement avec la fibre dopée par de l'erbium, mentionnée précédemment, sur l'extrémité côté sortie, il est nécessaire de donner au diamètre de champ de mode de la fibre monomode 7 située côté sortie la valeur du diamètre de champ de mode de la fibre dopée par de l'erbium, mentionnée précédemment. Pour accroître le rendement d'amplification ou le degré d'amplification pour 1 mW de la puissance lumineuse de pompe, on peut choisir des différences importantes entre les indices de réfraction du coeur et de la gaine de la fibre dopée par de l'erbium et pour un diamètre de champ de mode, une valeur faible par rapport à celui de la fibre de transmission. C'est pourquoi, on choisit le diamètre du coeur égal à $5,2\text{ }\mu\text{m}$, la différence des indices de réfraction égale à 1,1 %, le diamètre de champ de mode égal à $6\text{ }\mu\text{m}$, la concentration de dopage par l'erbium égale à 60 ppm et le rendement d'amplification égal à environ 0,7 dB/mW par pompe d'un laser à semiconducteurs possédant une longueur

d'onde de 1,48 μm . En outre, on règle à 6 μm le diamètre de champ de mode de la fibre monomode 7 située sur le côté sortie et la perte de connexion au niveau de la partie de raccordement avec la fibre dopée par de l'erbium, mentionnée précédemment, est réduite. Concrètement, dans la présente invention, la fibre monomode 7 située sur le côté sortie est exactement identique à la fibre dopée par de l'erbium, hormis qu'il n'y a aucun dopage à l'erbium dans le matériau du coeur. Dans la fibre dopée à l'erbium et dans la fibre monomode située côté sortie de la présente forme de réalisation, le diamètre du coeur est égal à 5,2 μm , le diamètre de la fibre y compris le revêtement est égal à 125 μm , l'indice de réfraction du coeur est égal à 1,476, l'indice de réfraction du revêtement est égal à 1,46, et on utilise du verre quartzé pour le coeur et le revêtement. Par conséquent, la comparaison de la fibre optique située côté sortie à la fibre optique située côté entrée montre que le diamètre du coeur diminue et que la différence entre les indices de réfraction augmente et que par conséquent le diamètre de champ de mode diminue.

Étant donné que les diamètres de champ de mode dans la fibre monomode 1 située côté entrée et dans la fibre monomode 7 située côté sortie sont différents, comme mentionné précédemment, la perte d'insertion dans le sens direct augmente lorsque la lentille 2 située côté entrée est identique à la lentille 6 située côté sortie. C'est pourquoi, la distance focale de la lentille 2 située côté entrée est réglée à 3 mm et que la distance focale de la lentille 6 située côté sortie est réglée à 1,8 mm. Dans ce cas, le diamètre de champ de mode de la fibre de transmission est égal à environ 10 μm et l'angle d'émission du rayon sortant délivré par la fibre monomode 1 située côté entrée est égal à 6,5° sur la largeur totale à la moitié du maximum, et que par conséquent la taille du spot du rayon parallèle converti par la lentille 2 située côté entrée est

égal à 0,3 mm. Lorsqu'un faisceau de référence est émis par la fibre monomode 7 située côté sortie avec un diamètre de champ de mode égal à 6 μm , l'angle d'émission du rayon sortant est égal à 11° sur la largeur totale à la moitié du maximum, et la taille du spot du rayon parallèle converti par la lentille 6 située côté sortie est égale à 0,3 mm. Cette valeur est la même que celle du rayon parallèle délivré par la lentille 2 située côté entrée, mentionnée précédemment, et la perte d'insertion dans le sens direct est réduite à 0,3 dB. Lorsque le diamètre de champ de mode d'une fibre optique augmente, l'angle d'émission d'un rayon sortant diminue en général comme le montre la relation (3).

Forme de réalisation 2

Un isolateur optique correspondant à la seconde forme de réalisation de la présente invention est représenté sur la figure 2. La figure 2 représente le schéma d'agencement de l'isolateur optique non dépendant de la polarisation, dans lequel la fibre dopée à l'erbium de la première forme de réalisation est raccordée au côté entrée et une fibre de transmission est raccordée au côté sortie. Sur la figure 2, une fibre monomode 11 située sur le côté entrée et une lentille 12 située sur le côté entrée sont identiques à la fibre monomode 7 située sur le côté sortie et à la lentille 6 située sur le côté sortie de l'isolateur optique de la première forme de réalisation, et une fibre monomode 14 située sur le côté sortie et une lentille 13 située sur le côté sortie sont identiques à la fibre monomode 1 située sur le côté entrée et à la lentille 2 située sur le côté entrée de l'isolateur optique de la première forme de réalisation. De ce fait, la perte de connexion due à une désadaptation de mode au niveau de la partie de raccordement avec la fibre dopée par de l'erbium, indiquée précédemment, sur l'extrémité côté entrée et la perte de connexion due à une désadaptation de mode au niveau de la partie de raccordement avec la fibre de transmission indi-

quée précédemment sur l'extrémité située côté diminuent et la perte d'insertion dans le sens direct est simultanément réduite à 0,3 dB.

Forme de réalisation 3

5 La figure 3 représente un diagramme d'agencement d'un amplificateur optique qui utilise les isolateurs optiques des première et seconde formes de réalisation, en tant que troisième forme de réalisation de la présente invention. Sur la figure 3, le chiffre de référence 15 désigne
10 un laser à semiconducteurs de pompage possédant une longueur d'onde de 1,48 μm , le chiffre de référence 16 désigne un coupleur de fibres qui peut coupler une lumière de pompage et un signal optique possédant une longueur d'onde de 1,55 μm avec un rendement élevé, le chiffre de référence 17
15 désigne un isolateur optique correspondant à la première forme de réalisation, le chiffre de référence 18 désigne la fibre dopée à l'erbium des première et seconde formes de réalisation, le chiffre de référence 19 désigne l'isolateur optique de la seconde forme de réalisation, le chiffre de
20 référence 20 désigne une partie, épissée par fusion, de l'isolateur optique 17 mentionné précédemment et de la fibre 18 dopée à l'erbium, mentionnée précédemment, et le chiffre de référence 21 désigne une partie, épissée par fusion, de la fibre 18 dopée à l'erbium, mentionnée précédemment et de l'isolateur optique 19 indiqué précédemment. En
25 supposant que les diamètres de champ de mode des deux côtés des parties réunies par fusion entre les fibres sont W_1 et W_2 , le rendement de raccordement peut être exprimé comme suit :

$$30 \quad k = 4 / (w_1/w_2 + w_2/w_1)^2$$

Lorsqu'on utilise des isolateurs optiques possédant une fibre monomode, qui est identique à la fibre de transmission, à la fois sur les côtés entrée et sortie de la fibre 18 dopée à l'erbium, mentionnée précédemment, les
35 diamètres de champ de mode w_2 , mentionnés précédemment,

pour les deux parties épaissées par fusion sont égaux à 10 μm et 6 μm et l'on a $k = -1,1$ dB dans ces deux parties, et par conséquent les pertes d'insertion pour les deux isolateurs optiques mentionnés précédemment sont égales à -0,3 dB et la perte totale de connexion produite est égale à -2,8 dB. Dans cette forme de réalisation, les pertes de connexion au niveau des parties épaissées par fusion 20 et 21 sont égales à -0,1 dB. Il en résulte que le niveau de bruit diminue de 1 dB, que la valeur de sortie de la lumière saturée augmente de 1 dB et que le gain augmente de 2 dB. Lorsque l'intensité de la lumière de pompage est réglée à 50 mW, la valeur de bruit est égale à 5,4 dB, la valeur de sortie de la lumière saturée est égale à 10 dBm et le gain est égal à 30 dB.

Des ions Er incorporés dans la fibre 18 dopée à l'erbium possèdent des bandes d'absorption intrinsèques pour des longueurs d'onde de 0,51 μm , 0,66 μm , 0,81 μm , 0,98 μm et 1,48 μm , et absorbent des lumières ayant ces longueurs d'onde et passent à l'état dans lequel une énergie électronique est excitée. Lorsqu'une lumière possédant une longueur d'onde d'environ 1,55 μm est appliquée à cet instant, la lumière incidente peut être amplifiée par émission stimulée. Parmi les lumières de pompage situées dans les bandes de longueurs d'onde de 0,51 à 1,48 μm , la lumière située dans la bande de longueur d'onde de 1,48 μm peut être obtenue très facilement au moyen du laser à semiconducteurs. C'est pourquoi cette bande de longueur d'onde de 1,48 μm est prometteuse. La bande appropriée de cette longueur d'onde s'étend de 1,465 à 1,485 μm . En utilisant la lumière de pompage dans cette bande, on obtient un gain suffisant pour une amplification optique.

Forme de réalisation 4

Un isolateur optique correspondant à la quatrième forme de réalisation de la présente invention est représenté sur la figure 4. Sur la figure 4, on a représenté un

schéma de l'isolateur optique non dépendant de la polarisation, dans lequel une fibre de transmission est raccordée au côté entrée et une fibre formée de verre à base de fluorure dopé à l'erbium est raccordée au côté sortie. Sur la figure 4, le chiffre de référence 22 désigne une fibre monomode située côté entrée, le chiffre de référence 23 une lentille située côté entrée, le chiffre de référence 24 une lentille située côté sortie, et le chiffre de référence 25 une fibre monomode située sur le côté sortie. La fibre monomode 22 située sur le côté entrée est identique à la fibre de transmission indiquée précédemment et à celle de la première forme de réalisation. Pour permettre une épissure par fusion de la fibre monomode 25 située côté sortie à la fibre formée de verre à base de fluorure dopé à l'erbium, mentionnée précédemment, au niveau de la partie de raccordement avec la fibre formée de verre à base de fluorure sur l'extrémité côté sortie et réduire la perte de connexion en raison d'une désadaptation de mode, la fibre monomode 25 située sur le côté sortie est identique à la fibre formée de verre à base de fluorure, qui est le matériau de base de la fibre formée de verre à base de fluorure dopé à l'erbium, mentionnée précédemment (c'est-à-dire qu'elle est identique à la fibre formée de verre à base de fluorure dopé à l'erbium hormis s'il n'y a aucune incorporation d'erbium dans le coeur). Dans la fibre formée de verre à base de fluorure dopé à l'erbium, le diamètre du coeur est égal à $7\text{ }\mu\text{m}$, le diamètre de la fibre y compris la gaine est égal à $125\text{ }\mu\text{m}$, la différence d'indice de réfraction est égal à 0,4 %, le diamètre du champ du mode est égal à $8\text{ }\mu\text{m}$, la concentration de dopage à l'erbium est égale à 2000 ppm et la longueur de la fibre est égale à 50 cm. On obtient un gain d'environ 18 dB pour des longueurs d'onde allant de 1,54 à 1,565 μm par pompage d'un laser à semiconducteurs avec une longueur d'onde de 1,48 μm . Étant donné que le diamètre de champ de mode de la

fibres monomodes 22 et 25 situées côté entrée et côté sortie est différent de celui de la fibre monomode 25 situé côté sortie, la perte d'insertion dans le sens direct augmente lorsque la lentille 23 située sur le côté entrée est identique à la lentille 24 située sur le côté sortie. C'est pourquoi, on règle à 3 mm la distance focale de la lentille 23 située sur le côté entrée et on règle à 2,2 mm la distance focale de la lentille 24 située sur le côté sortie. Dans ce cas, le diamètre de champ de mode de la fibre de transmission est égal à environ 10 μm et l'angle d'émission du rayonnement sortant de la fibre monomode 22 située sur le côté entrée est égal à $6,5^\circ$ au niveau de la largeur complète pour la moitié du maximum, et par conséquent la taille du spot du rayonnement parallèle converti par la lentille 23 située sur le côté entrée est égale à 0,3 mm.

Lorsqu'un faisceau de référence est émis par la fibre monomode 25 située sur le côté sortie avec un diamètre du champ du mode égal à 8 μm , l'angle d'émission du rayonnement sortant est égal à $8,2^\circ$ pour la largeur totale au niveau de la moitié du maximum, et la taille du spot du rayonnement parallèle converti par la lentille 24 située côté sortie est égal à 0,3 mm. Cette valeur est identique à celle du rayonnement en parallèle délivré par la lentille 23 située sur le côté entrée, mentionnée précédemment, et la perte d'insertion dans le sens direct est réduite à 0,3 dB.

Forme de réalisation 5

Un isolateur optique correspondant à la cinquième forme de réalisation de la présente invention est représenté sur la figure 5. La figure 5 représente un diagramme structural de l'isolateur optique non dépendant de la polarisation, dans lequel la fibre formée de verre à base de fluorure dopé à l'erbium de la quatrième forme de réalisation est raccordée au côté entrée et une fibre de transmission est raccordée au côté sortie. Sur la figure 5, une

5 fibre monomode 26 située sur le côté entrée et une lentille
27 située sur le côté entrée sont identiques respectivement
à la fibre monomode 25 située sur le côté sortie et à la
lentille 24 située sur le côté sortie de l'isolateur op-
tique de la quatrième forme de réalisation, et la fibre mo-
nomode 29 située sur le côté sortie et la lentille 28 si-
tuée sur le côté sortie sont identiques respectivement à la
fibre monomode 22 située sur le côté entrée et à la len-
10 tille 23 située sur le côté entrée de l'isolateur optique
de la quatrième forme de réalisation. De ce fait, la partie
de raccordement équipée de la fibre formée de verre à base
de fluorure dopé à l'erbium, mentionnée précédemment, sur
l'extrémité côté entrée peut être formée par fusion, la
perte de connexion due à une désadaptation de mode diminue
15 et la perte d'insertion dans le sens direct est réduite si-
multanément à 0,3 dB.

Forme de réalisation 6

La figure 6 représente un schéma de configuration
d'un amplificateur optique utilisant les isolateurs op-
20 tiques de quatrième et cinquième formes de réalisation, en
tant que sixième forme de réalisation de la présente inven-
tion. Sur la figure 6, le chiffre de référence 30 désigne
l'isolateur optique de la quatrième forme de réalisation,
le chiffre de référence 31 la fibre en verre à base de
25 fluorure dopé à l'erbium des quatrième et cinquième formes
de réalisation, le chiffre de référence 32 l'isolateur op-
tique de la cinquième forme de réalisation, le chiffre de
référence 33 une partie de raccordement de l'isolateur op-
tique 309 mentionné précédemment et de la fibre 31 formée
30 de verre à base de fluorure dopé à l'erbium, mentionnée
précédemment, et le chiffre de référence 34 une partie de
raccordement de la fibre 31 formée de verre à base de fluo-
rure dopé à l'erbium, mentionnée précédemment, et
l'isolateur optique 32 mentionné précédemment. Les chiffres
35 de référence 15 et 16 désignent les mêmes éléments que ceux

de la troisième forme de réalisation. Lorsqu'on utilise des
isolateurs optiques pourvus d'une fibre monomode qui est
identique à la fibre de transmission, à la fois sur les cô-
tés entrée et sortie de la fibre 31 formée de verre à base
5 de fluorure dopé à l'erbium, mentionné précédemment, les
deux parties de raccordement ne peuvent pas être épissées
par fusion, et c'est pourquoi il est difficile de maintenir
une connexion stable pendant un long intervalle de temps.
Dans cette forme de réalisation, les pertes de connexion au
10 niveau des parties de raccordement 33 et 34 sont réduites à
-0,2 dB par épissage par fusion. Il en résulte que,
lorsqu'on règle l'intensité de la lumière de pompage à
60 mW, la valeur de sortie de la lumière saturée est égale
à 5 dBm et le gain est égal à 17 dB.

15 Comme cela a été décrit dans les formes de réali-
sation mentionnée précédemment, en choisissant à la fois
pour la fibre monomode située côté entrée et pour la fibre
monomode située côté sortie d'un isolateur optique, les
mêmes composition et structure que celles de la fibre de
20 base d'une fibre dopée par une terre rare, que l'on utilise
en tant que fibre optique devant être raccordée ou à celles
d'une fibre optique qui est utilisée en tant que fibre op-
tique devant être raccordée, les diamètres du champ du mode
et les points de fusion des fibres optiques des deux côtés
25 de la partie de raccordement sont respectivement iden-
tiques, la perte de raccordement due à une désadaptation de
mode diminue fortement et la partie de raccordement peut
être formée par fusion.

Conformément à la présente invention telle que
30 mentionnée précédemment, dans un amplificateur optique uti-
lisant l'amplification optique fournie par une fibre dopée
par une terre rare, la perte de connexion au niveau de la
partie de raccordement entre la fibre dopée par une terre
rare et un isolateur optique peut être réduite et par
35 conséquent il est possible d'avoir une amplification op-

tique avec un faible bruit, une puissance lumineuse saturée élevée et un gain élevé. C'est pourquoi, on peut utiliser l'amplificateur optique très largement dans les systèmes tels que des amplificateurs en lignes et des préamplificateurs.

5

REVENDICATIONS

1. Isolateur optique comportant des fibres monomode respectivement sur ses côtés entrée et sortie, caractérisé en ce que les diamètres de champ de mode des fibres monomodes (1,7; 11,14; 22,25; 26,29) sont différents et que le diamètre de champ de mode de chaque fibre monomode est égal au diamètre de champ de mode d'une fibre optique devant être raccordée à ladite fibre.

2. Isolateur optique selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une fibre optique devant être raccordée à l'une desdites fibres monomode sur les côtés entrée et sortie est une fibre de transmission, et qu'une fibre optique devant être raccordée à l'autre fibre monomode est une fibre dopée par une terre rare (18;31).

3. Isolateur optique selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'une desdites fibres monomode sur les côtés entrée et sortie est identique à ladite fibre de transmission et que l'autre fibre monomode est identique à la fibre formée du matériau de base de ladite fibre dopée par une terre rare.

4. Isolateur optique selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite fibre de transmission et ladite fibre formée du matériau de base de ladite fibre dopée par une terre rare sont des fibres en verre quartzeux.

5. Isolateur optique selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite fibre de transmission est une fibre en verre quartzeux et que la fibre formée du matériau de base de ladite fibre dopée par une terre rare est une fibre formée de verre à base de fluorure.

6. Isolateur optique selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit isolateur optique n'est pas dépendant de la polarisation.

7. Isolateur optique selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit isolateur optique (17,19,30,32) possède un prisme de polarisation (3;5), un rotateur de Fa-

raday (4), une lentille (2,12,23,27) située côté entrée servant à convertir un rayon incident délivré par ladite fibre monomode située sur le côté entrée en un rayon parallèle, et une lentille (6,13,24,28) située sur le côté sortie et servant à focaliser et appliquer ledit rayon parallèle à ladite fibre monomode située sur le côté sortie, et que les distances focales de ladite lentille située côté entrée et de ladite lentille située côté sortie sont prédéterminées d'une manière indépendante de sorte que la taille du spot du rayon parallèle délivré par la lentille située sur le côté entrée est égale à la taille du spot du rayon parallèle qui est converti à partir dudit faisceau de référence arrivant dans la fibre monomode située sur le côté sortie, par la lentille située côté sortie, dans ledit isolateur optique.

8. Amplificateur optique, caractérisé en ce qu'il comprend une fibre (18,31) dopée par une terre rare, une source de lumière de pompage (15), un circuit optique (16) qui permet de coupler une lumière de pompage délivrée par ladite source de lumière de pompage et un signal optique délivré par une fibre de transmission, et au moins un isolateur optique (17,19,30,32) raccordé à ladite fibre dopée par une terre rare, que la fibre de transmission est raccordée à une fibre monomode côté entrée ou à une fibre monomode côté sortie dudit isolateur optique, que ladite fibre dopée par une terre rare est raccordée à l'autre fibre monomode dudit isolateur optique, que le diamètre de champ de mode de ladite fibre monomode est égal au diamètre du champ du mode de ladite fibre de transmission, et que le diamètre de champ de mode de ladite autre fibre monomode est égal au diamètre de champ de mode de la fibre formée du matériau de base de ladite fibre dopée par une terre rare.

9. Amplificateur optique selon la revendication 8, caractérisé en ce que la fibre monomode, à laquelle est raccordée la fibre de transmission, est identique à ladite

fibre de transmission et que la fibre monomode, à laquelle est raccordée la fibre dopée par une terre rare, est identique à la fibre formée du matériau de base de ladite fibre dopée par une terre rare.

5 10. Amplificateur optique selon la revendication 9, caractérisé en ce que ladite fibre de transmission et ladite fibre formée du matériau de base de ladite fibre dopée par une terre rare sont toutes deux des fibres en verre quartzes.

10 11. Amplificateur optique selon la revendication 9, caractérisé en ce que ladite fibre de transmission est une fibre en verre quartzes et que la fibre formée d'un matériau de base de ladite fibre dopée par une terre rare est une fibre formée d'un verre à base de fluorure.

15 12. Amplificateur optique selon la revendication 8, caractérisé en ce que ledit isolateur optique n'est pas dépendant de la polarisation.

 13. Amplificateur optique selon la revendication 12, caractérisé en ce que ledit isolateur optique
20 (17,19,30,32) possède un prisme de polarisation (3;5), un rotateur de Faraday (4), une lentille (2,12,23,27) située côté entrée servant à convertir un rayon incident délivré par ladite fibre monomode située sur le côté entrée en un rayon parallèle, et une lentille (6,13,24,28) située sur le
25 côté sortie et servant à focaliser et appliquer ledit rayon parallèle à ladite fibre monomode située sur le côté sortie, et que les distances focales de ladite lentille située côté entrée et de ladite lentille située côté sortie sont prédéterminées d'une manière indépendante de sorte que la
30 taille du spot du rayon parallèle délivré par la lentille située sur le côté entrée est égale à la taille du spot du rayon parallèle qui est converti à partir dudit faisceau de référence arrivant dans la fibre monomode située sur le côté sortie, par la lentille située côté sortie, dans ledit
35 isolateur optique.

14. Circuit optique possédant des fibres monomode sur les côtés entrée et sortie, caractérisé en ce que les diamètres de champ de mode des fibres monomode situées sur les deux côtés (1,7;11,14;22,25;26,29) sont différents, 5 qu'une lentille (2,12,23,27) située sur le côté entrée et et servant à faire converger un rayon incident délivré par la fibre monomode située sur le côté entrée pour former un rayon parallèle sont différents et qu'il est prévu une lentille située côté sortie (6,13,24,28) et servant à focaliser 10 et appliquer ledit rayon parallèle à la fibre monomode située côté sortie, et que grâce à une commande indépendante de l'indice de réfraction et de la forme de chaque lentille de manière que la taille du spot du rayon parallèle converti par ladite lentille située côté entrée soit égale à la taille du spot 15 du rayon parallèle converti par ladite lentille située côté sortie lorsqu'un faisceau de référence est appliqué à partir de la fibre monomode située côté sortie, la perte d'insertion entre les fibres d'entrée et de sortie est réduite.

FIG. 1

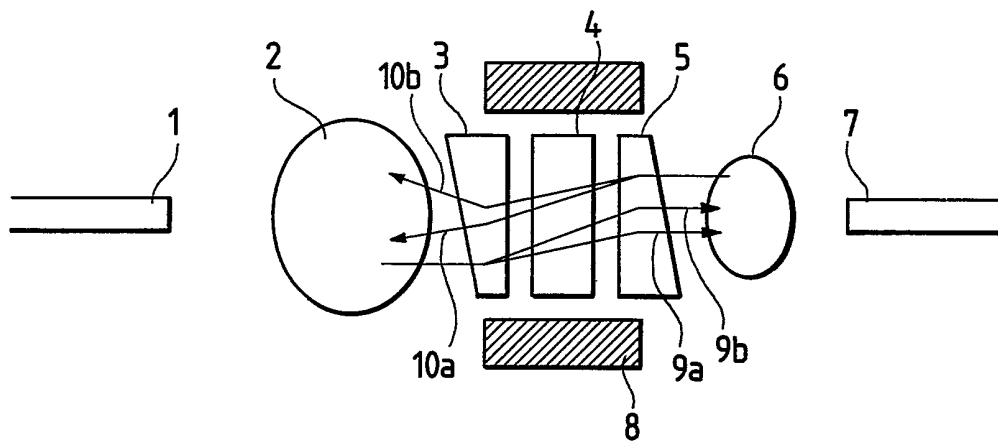


FIG. 2

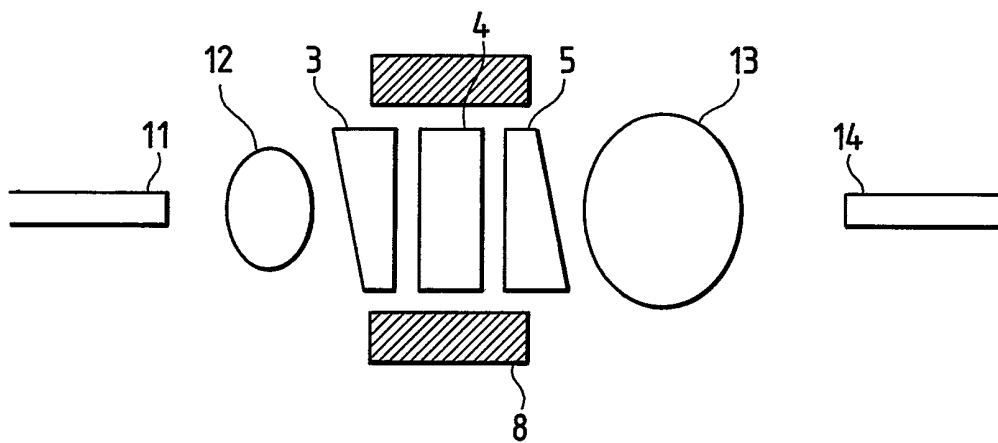


FIG. 3

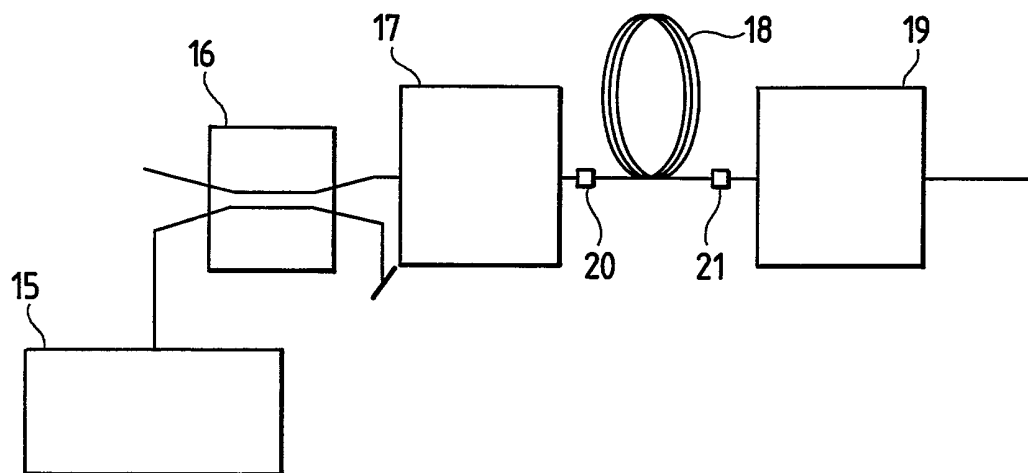


FIG. 4

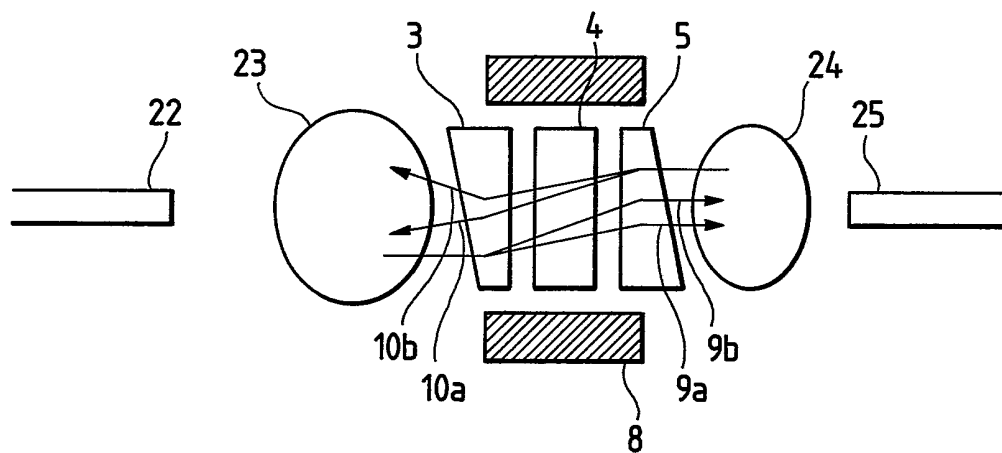
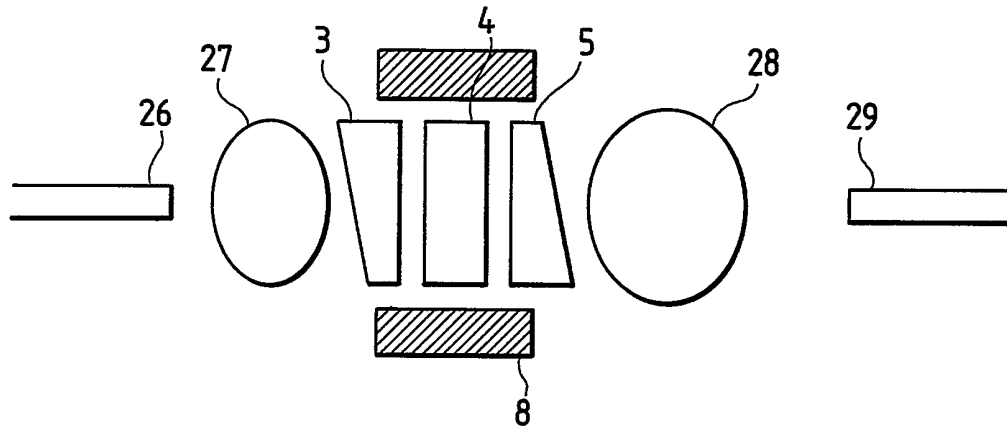


FIG. 5*FIG. 6*