(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 734 649**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **96 06210**

(51) Int Cl[6] : G 02 B 6/122

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt** : 20.05.96.

(30) **Priorité** : 22.05.95 US 445851.

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande :** 29.11.96 Bulletin 96/48.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire :** *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

(71) **Demandeur(s) :** *AT & T IPM CORP* — US.

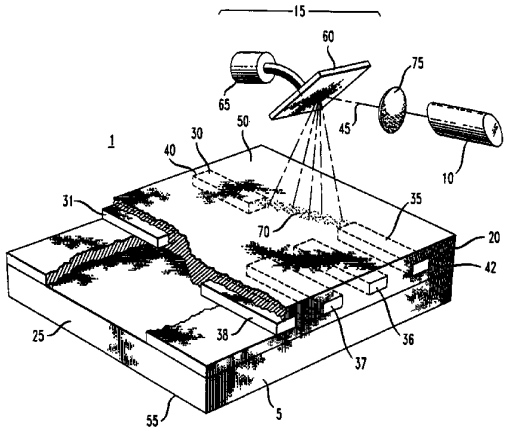
(72) **Inventeur(s) :** PRESBY HERMAN MELVIN.

(73) **Titulaire(s) :**

(74) **Mandataire :** CABINET FLECHNER.

(54) COMMUTATEUR DE CIRCUIT OPTIQUE EN SILICE.

(57) L'invention concerne les commutateurs optiques.
Un commutateur de circuit optique en silice activé de façon thermique utilise de la lumière provenant d'une source de lumière (10), telle qu'un laser, pour chauffer diverses régions (70) du commutateur, pour réaliser une fonction de commutation. Le commutateur peut comprendre du verre de silice (20) formé sur un substrat (25) et au moins un guide d'ondes d'entrée (30, 31) et un guide d'ondes de sortie (35 à 38) formés dans le verre de silice. La lumière, qui est absorbée par le verre de silice et transmise par le substrat, illumine dans le verre de silice un trajet de couplage entre les guides d'ondes d'entrée et de sortie. L'illumination du trajet de couplage augmente sa température et donc son indice de réfraction, permettant ainsi le couplage d'un signal lumineux.
Application à l'optique intégrée.



FR 2 734 649 - A1

COMMUTATEUR DE CIRCUIT OPTIQUE EN SILICE

La présente invention concerne des circuits optiques en silice et elle concerne plus particulier des commutateurs de circuits optiques en silice ayant un encombrement réduit et un bon rendement énergétique, qui sont activés de façon thermique.

Des dispositifs optiques intégrés destinés à traiter directement des signaux optiques deviennent de plus en plus importants au fur et à mesure que des communications par fibres optiques remplacent de manière croissante des liaisons de transmission par câbles métalliques et micro-ondes. On peut réaliser des dispositifs optiques intégrés sous la forme de circuits optiques en silice qui utilisent des structures de guide d'ondes en verre intégrées formées sur des substrats en silicium. La structure de base de tels dispositifs est décrite dans l'article de C.H. Henry et al., "Glass Waveguides on Silicon for Hybrid Optical Packaging", 7 J. Lightwave Technol., pages 1530-1539 (1989) (référence Henry et al.).

De façon caractéristique, dans des circuits optiques en silice, un substrat en silicium comporte une couche de base de SiO_2, et une couche de cœur mince en verre de silice dopé est déposée sur la couche de SiO_2. On peut donner à la couche de cœur une configuration correspondant à une structure de guide d'ondes désirée, en utilisant des techniques photolithographiques classiques. On dépose ensuite une couche de verre de silice dopé sur la couche de cœur, pour remplir la fonction d'une gaine supérieure. On a donné à des guides d'ondes formés dans des circuits optiques en silice une configuration permettant de réaliser une commutation optique.

Une configuration connue de commutateur monomode thermo-optique est décrite dans l'article de M. Kawachi, "Silica Waveguides on

Silicon and Their application to integrated-optic components", 22 Optical and Quantum Electronics, pages 391-416 (1990) (référence Kawachi). Ce commutateur optique utilise une configuration d'interféromètre de Mach-Zehnder et comprend des premier et second coupleurs directionnels et deux branches de guide d'ondes monomode de longueur égale qui sont enterrées dans du verre de silice. Chaque coupleur comprend une paire d'entrées et une paire de sorties. Les deux branches de guide d'ondes connectent les sorties du premier coupleur aux entrées respectives du second coupleur. Des rubans chauffants en chrome minces sont déposés sur la surface de la gaine supérieure, au-dessus des branches de guide d'ondes.

Pendant le fonctionnement, lorsqu'aucun des rubans chauffants ne reçoit de l'énergie électrique, un signal lumineux présent sur l'une des entrées du premier coupleur est divisé de façon qu'une partie du signal soit transmise dans chaque branche de guide d'ondes vers le second coupleur. Le second coupleur recombine les parties de signal lumineux et il dirige le signal lumineux recombiné vers une sortie particulière de ce coupleur. Lorsque de l'énergie électrique est appliquée à l'un des rubans chauffants, le ruban chauffant chauffe la branche de guide d'ondes correspondante, ce qui augmente son indice de réfraction et donc la longueur effective du trajet lumineux dans cette branche de guide d'ondes. L'augmentation de la longueur effective du trajet lumineux produit une différence de phase entre les signaux lumineux à l'extrémité de cette branche de guide d'ondes et à l'extrémité de la branche de guide d'ondes non chauffée. Lorsque la différence de phase est égale à π radians, une interférence soustractive se produit dans le second coupleur et l'acheminement du signal lumineux recombiné est commuté vers l'autre sortie du second coupleur.

D'autres types connus de commutateurs thermo-optiques qui font appel à des rubans chauffants pour remplir la fonction de commutation sont décrits dans l'article de M. Haruna et al., "Thermoptic Deflection and Switching in Glass, Appl. Opt., Vol. 21, pages 3461-65 (octobre 1994) (référence Haruna).

La densité d'intégration de ces configurations de commutateur connues est limitée à cause de l'aire nécessaire pour les électrodes de

contact des rubans chauffants. Les contacts des rubans chauffants procurent une plage de brasage ou de soudage pour la connexion à des fils électriques provenant de circuits d'attaque de rubans chauffants. En outre, on ne peut pas positionner de tels commutateurs trop près les uns des autres, du fait que la chaleur qui est produite par un ruban chauffant particulier peut affecter de façon indésirable l'indice de réfraction d'un guide d'ondes d'un commutateur placé en position adjacente. Il en résulte qu'une configuration de commutateur à accès multiples (M x N), ayant un grand nombre de commutateurs classiques individuels ou connectés en cascade, exige une partie relativement grande d'une puce de circuit intégré et présente une complexité d'interconnexion relativement élevée. De plus, chacun des rubans chauffants en chrome correspondants exige une puissance de l'ordre de 0,5 W pour commuter des trajets lumineux, ce qui peut conduire à une exigence de puissance élevée pour des commutateurs comportant des accès multiples en cascade.

Il existe donc un besoin reconnu portant sur un commutateur de circuit optique en silice ayant un coût relativement faible, qui puisse être réalisé avec des dimensions réduites, sans la nécessité d'employer des éléments chauffants à rubans ou des électrodes d'éléments chauffants.

Un commutateur de circuit optique en silice activé de façon thermique utilise de la lumière provenant d'une source de lumière, telle qu'un laser, pour chauffer diverses régions du commutateur pour produire une fonction de commutation. Dans un mode de réalisation, le commutateur comprend du verre de silice formé sur un substrat, tel qu'un substrat en silicium, et au moins un guide d'ondes d'entrée et au moins un guide d'ondes de sortie formés dans le verre de silice. On utilise ensuite le laser pour produire de la lumière qui illumine un trajet dans le verre de silice, par exemple par balayage, pour coupler un guide d'ondes d'entrée à un guide d'ondes de sortie. La lumière qui est produite par le laser a une longueur d'onde qui lui permet d'être sensiblement absorbée par le verre de silice et sensiblement transmise dans le substrat. L'illumination d'un trajet dans le verre de silice augmente la température et change de façon correspondante l'indice de réfraction du verre de silice dans le trajet. Un signal lumineux peut se propager dans les guides d'ondes couplés par

l'intermédiaire du verre de silice à indice de réfraction changé dans le trajet chauffé.

Dans un autre mode de réalisation, des composants du commutateur sont formés dans le verre de silice et l'un au moins des composants du commutateur est activé de façon thermique pour remplir une fonction de commutation. Une configuration de commutateur appropriée pour les composants consiste par exemple en une configuration de commutateur à interféromètre de Mach-Zehnder de type classique, qui comprend deux branches de guide d'ondes de longueur égale connectant deux coupleurs. Une telle configuration de commutateur peut produire une structure de commutateur de type 1 x 1, 1 x 2 ou 2 x 2. La lumière provenant d'une source de lumière illumine le verre de silice dans une région du composant activé de façon thermique, pour chauffer le composant de façon à remplir la fonction de commutation.

Du fait que la lumière est transmise dans une large mesure par le substrat, elle peut être dirigée vers une surface du verre de silice ou une surface du substrat, pour augmenter la température d'une région particulière du verre de silice. La présente invention permet en outre l'utilisation d'un seul laser pour produire un changement de température et pour réaliser une commutation pour un seul commutateur ou un groupe de commutateurs de circuit se trouvant sur la même puce de circuit intégré ou sur des puces très rapprochées, sans la nécessité de connexions complexes, au moyen de fils, d'électrodes d'éléments chauffants et de rubans d'éléments chauffants individuels. En outre, il est possible de placer plus près les uns des autres de tels commutateurs activés de façon thermique, du fait que les limitations physiques des structures de rubans chauffants sont supprimées.

Des caractéristiques et avantages supplémentaires de la présente invention ressortiront plus aisément de la description détaillée qui suit et des dessins annexés, dans lesquels :

La figure 1 est une vue en perspective, avec une partie arrachée, d'un exemple de commutateur de circuit optique en silice de 2 x 4, avec des guides d'ondes induits de façon thermique, conformément à la présente invention;

La figure 2 est une vue de dessus du circuit qui est représenté sur la figure 1;

La figure 3 est une vue de dessus d'un exemple de commutateur de circuit optique conforme à la présente invention, qui utilise des composants de commutateur activé de façon thermique dans le verre de silice; et

La figure 4 est une représentation schématique d'un commutateur de circuit optique en silice de 1 x 8 qui est formé par sept commutateurs de circuit en cascade, chacun d'eux étant pratiquement similaire au commutateur qui est représenté sur la figure 3.

La présente invention est basée sur la découverte du fait qu'il existe une gamme particulière de longueurs d'onde de lumière qui est absorbée par le verre de silice et qui est transmise par divers matériaux de substrat tels que le silicium. Lorsque l'énergie de cette lumière est absorbée par le verre de silice, elle est dissipée sous forme de chaleur. Il est donc possible d'employer une source de lumière, telle qu'un laser, pour produire de la lumière ayant la longueur d'onde appropriée, à titre de moyen de chauffage pour un commutateur activé de façon thermique, au lieu d'employer les rubans chauffants de commutateurs thermo-optiques classiques. En outre, du fait que cette lumière est transmise par le substrat, il est possible de diriger la lumière pour illuminer le circuit par le côté du substrat ou par un côté consistant en une couche de silice supérieure. En illuminant une région du verre de silice avec de la lumière, la présente invention est capable de chauffer cette région sans la nécessité des rubans chauffants classiques ou de leurs connexions de circuits d'attaque, réalisées à l'aide de fils. Ainsi, par exemple, un commutateur de 1 x 64 classique peut exiger plus de 100 électrodes d'éléments chauffants et connexions électriques de circuits d'attaque, tandis qu'un commutateur de 1 x 64 correspondant, conforme à la présente invention, n'exige ni des rubans chauffants, ni des connexions de circuits d'attaque.

La figure 1 montre un exemple de commutateur de circuit optique en silice 1 conforme à la présente invention. Le commutateur 1 comprend une structure optique en silice 5, une source de lumière 10, telle qu'un laser, et un dispositif pour diriger la lumière, tel qu'une structure de miroir

15. La structure optique en silice 5 comprend du verre de silice (SiO_2) 20 formé sur un substrat 25, tel qu'un substrat en silicium. Le substrat 25, tel qu'une tranche de silicium (100) ayant par exemple une épaisseur de l'ordre de 0,5 mm, procure une base sur laquelle on peut former une structure de guide d'ondes. Bien que la description qui suit porte sur des dispositifs consistant en guides d'ondes en silice sur silicium, il faut noter qu'il est possible de fabriquer le circuit sur d'autres matériaux de substrat, comme du quartz fondu, du niobate de lithium ou une céramique.

Des guides d'ondes d'entrée 30 et 31 et des guides d'ondes de sortie 35, 36, 37 et 38 sont formés dans le verre de silice 20 de la structure optique en silice 5. On peut utiliser pour fabriquer les guides d'ondes 30, 31 et 35-38 des techniques de fabrication classiques, telles que la lithographie, la gravure, le dépôt chimique en phase vapeur sous basse pression et l'hydrolyse à la flamme. Un exemple de processus de fabrication pour le circuit optique en silice 5 est le suivant : on dépose une couche de base en verre de silice sur le substrat 25, et on dépose une couche de cœur mince en verre de silice dopé sur cette couche de verre de silice; on donne ensuite à la couche de cœur la configuration des structures de guides d'ondes désirées 30, 31 et 35-38, en utilisant des techniques photolithographiques classiques; et on dépose ensuite une couche de verre de silice dopé sur la couche de cœur, pour constituer une gaine supérieure. Un profil de dopage approprié pour le verre de silice dopé consiste en une distribution à saut d'indice uniforme.

La gaine supérieure en verre de silice et la couche de base en verre de silice forment le verre de silice 20 qui est représenté sur la figure 1. Des épaisseurs appropriées pour la couche de silice de base, la couche de cœur et la couche de gaine supérieure sont respectivement de 10 à 20 µm, 4 à 8 µm et 10 à 20 µm. Des épaisseurs inférieures à 10 µm pour la couche de silice de base sont indésirables, du fait d'une perte de lumière vers le substrat, tandis que des épaisseurs supérieures à 20 µm sont généralement désavantageuses du fait des temps de dépôt longs qui sont nécessaires pour former de telles épaisseurs. Pour avoir un examen détaillé de guides d'ondes en verre sur silicium et de leur fabrication, on pourra voir par exemple la référence Henry et al. précitée et l'article de H. Verbeek et al., "Integrated Four-Channel Mach-Zehnder Multi/Demulti-

plexer Fabricated with Phosphorous Doped SiO_2 Waveguides on Si", J. of Lightwave Technol. Vol. 6, n° 6, pages 1011-15 (1988). Bien que le procédé de fabrication envisagé ci-dessus à titre d'exemple produise des guides d'ondes dans le verre de silice 20 qui sont complètement enterrés, il est possible de fabriquer de tels guides d'ondes dans le verre de silice 20 à proximité d'une surface supérieure 50 du verre de silice, ou des guides qui ne sont que partiellement enterrés.

En fonctionnement, il est possible de coupler l'un ou l'autre des guides d'ondes d'entrée 30 et 31 à l'un des guides d'ondes de sortie 35-38, en formant un guide d'ondes temporaire dans le verre de silice 20 entre les guides d'ondes à coupler. Il est en outre possible d'induire un guide d'ondes temporaire entre le guide d'ondes d'entrée 30 et le guide d'ondes de sortie 35, en chauffant une région particulière du verre de silice 20 qui correspond à un trajet entre les guides d'ondes 30 et 35. Le chauffage de la région particulière de verre de silice augmente l'indice de réfraction du verre de silice dans cette région, par rapport aux régions environnantes, et permet à un signal lumineux de se propager dans cette région. De cette manière, un signal lumineux peut se propager à partir d'une extrémité d'entrée 40 du guide d'ondes d'entrée 30, jusqu'à une extrémité de sortie 42 du guide d'ondes de sortie 35.

Le verre de silice a un indice de réfraction d'environ 1,450 pour une longueur d'onde d'environ 1 µm à 0°C, qui augmente jusqu'à environ 1,451 lorsqu'il est chauffé à 100°C. Le coefficient de température de l'indice de réfraction $\Delta n/\Delta t$ est d'environ $1,0 \times 10^{-5}$/°C sur la plage de température de -200°C à 500°C.

Conformément à la présente invention, on utilise la source de lumière 10 pour produire de la lumière, telle qu'un faisceau de lumière continu 45, ayant une longueur d'onde qui lui permet d'être largement absorbée par le verre de silice 20 et largement transmise par le substrat 25. A titre d'exemple, si le substrat 25 est un substrat en silicium, on peut utiliser pour la source de lumière 10 des lasers ou des diodes électroluminescentes qui émettent de la lumière ayant une longueur d'onde dans la gamme de 5 à 12 µm. Une telle lumière sera transmise dans une large mesure par le substrat en silicium 25 et sera absorbée dans une large mesure par le verre de silice 20. De façon caractéristique,

cette lumière est transmise à 75% par le substrat 25 et elle est absorbée à 100% par le verre de silice 20. Une source de lumière 10 appropriée pour produire un tel faisceau de lumière consiste par exemple en un laser au CO_2. Une puissance appropriée pour le laser 10 est de l'ordre de 25 W.

La lumière d'un laser au CO_2 10 produisant un faisceau de lumière continu ayant une longueur d'onde de 10,6 µm sera absorbée dans environ 1 µm du verre de silice 20. La région se trouvant au-dessous de l'épaisseur de 1 µm initiale du verre de silice 20 est chauffée par conduction à partir de la chaleur qui est produite au cours de l'absorption de l'énergie lumineuse dans l'épaisseur initiale de 1 µm du verre de silice 20. Le type particulier de source de lumière que l'on utilise pour la source de lumière 20 n'est pas critique, à condition que la lumière qui est produite ait la longueur d'onde et la puissance appropriées. D'autres sources de lumière appropriées comprennent par exemple un laser à cascade quantique à semiconducteurs ou un laser à sel de plomb à l'état solide pour le laser 10.

Le faisceau de lumière 45 qui est émis par le laser 10 est dirigé vers la structure de miroir 15 qui renvoie le faisceau de lumière 45 sur la structure optique en silice 5. Sur la figure 1, la structure de miroir 15 renvoie le faisceau de lumière 45 de façon qu'il tombe sur la surface supérieure 50 du verre de silice 20. Selon une variante, il est possible de renvoyer le faisceau de lumière 45 de façon qu'il tombe sur une surface inférieure 55 du substrat 25, du fait que la lumière sera largement transmise par le substrat 25 jusqu'au verre de silice 20.

La structure de miroir 15 comprend au moins un miroir mobile 60 et une unité de positionnement de miroir 65, telle qu'un dispositif de balayage par miroir classique. La structure de miroir 15 renvoie le faisceau de lumière 45 de façon à balayer de manière répétée le trajet désiré du guide d'ondes temporaire qui doit être formé dans le verre de silice 20. La représentation du miroir unique 60 dans la structure de miroir 15 est faite uniquement dans un but d'illustration, et il est possible d'employer, conformément à l'invention, un nombre quelconque de miroirs. L'utilisation d'au moins deux miroirs permet d'induire des guides d'ondes qui ont des formes courbes. Bien que l'on utilise une structure de miroir pour diriger le faisceau de lumière 45 dans le mode de réalisation qui est

représenté sur la figure 1, le procédé et le dispositif particulier qui sont employés pour illuminer la surface du verre de silice, 50, ou la surface du substrat, 55, ne sont pas critiques dans la mise en œuvre de la présente invention. D'autres procédés d'illumination appropriés comprennent l'utilisation de prismes, de lentilles de division de faisceau ou d'une structure de guidage d'ondes convenant pour la longueur d'onde de lumière qui est employée.

Une lentille cylindrique facultative 75 est placée dans le trajet du faisceau de lumière 45 pour concentrer le faisceau de lumière 45. Une région hachurée 70 montre un exemple de région d'illumination ou de balayage de la surface du verre de silice, 50, pour établir un guide d'ondes temporaire entre les guides d'ondes 30 et 35. La vitesse de balayage et la puissance de la source de lumière 10 doivent être sélectionnées de façon à produire un chauffage approprié de la région de verre de silice qui est balayée, pour produire une augmentation suffisante de l'indice de réfraction, pour former le guide d'ondes temporaire. Un faisceau focalisé fournissant une puissance de 0,5 W élèvera la température de 100°C, ce qui aura pour effet d'augmenter l'indice de réfraction de $1,0 \times 10^{-3}$, pour former un guide d'ondes induit.

Un avantage de la présente invention par rapport à des commutateurs optiques en silice connus consiste dans l'utilisation d'un seul moyen de chauffage, c'est-à-dire la source de lumière 10 et le dispositif 15 pour diriger le faisceau lumineux, pour produire le chauffage nécessaire pour occasionner une commutation dans un seul commutateur activé de façon thermique ou dans un groupe de commutateurs se trouvant sur la même puce de circuit intégré ou sur des puces très rapprochées. La présente invention est capable d'utiliser cette source de lumière unique pour chauffer le verre de silice, sans la nécessité de rubans chauffants ou de leurs connexions complexes, réalisées par des fils, avec des électrodes d'éléments chauffants individuels. Il faut noter qu'il est en outre possible d'utiliser de multiples sources de lumière, conformément à la présente invention, sans sortir de son cadre.

L'écartement relatif entre les guides d'ondes d'entrée respectifs 30 et 31 et les guides d'ondes de sortie 35-38, a été représenté sur la figure 1 de façon à faciliter l'illustration. Pour renforcer la fraction d'un

signal lumineux qui entre dans l'un des guides d'ondes de sortie 35-38, à partir d'un guide d'ondes temporaire induit, il est préférable que les guides d'ondes de sortie 35-38 soient positionnés aussi près que possible les uns des autres, et très près des axes des guides d'ondes d'entrée 30 et 31. De façon similaire, les guides d'ondes d'entrée 30 et 31 doivent également être positionnés aussi près que possible les uns des autres. De cette manière, un signal lumineux se propageant dans l'un ou l'autre des guides d'ondes d'entrée 30 ou 31 n'a pas à s'éloigner beaucoup de l'axe de sa propagation pour entrer dans l'un des guides d'ondes de sortie 35-38. Un écartement relatif approprié et commode est l'écartement standard de 250 µm qui est utilisé dans des connecteurs de fibres de guidage d'ondes externes classiques. Les guides d'ondes induits peuvent avoir une forme rectiligne ou courbe, en fonction de la forme de la région qui est balayée par le faisceau de lumière 45.

La figure 2 montre une vue de dessus de la structure de circuit optique 5. Sur la figure 2, deux régions d'illumination de forme différente sont représentées par des régions en grisé 80 et 90. La région d'illumination 90 crée un guide d'ondes temporaire pratiquement rectiligne du guide d'ondes d'entrée 31 vers le guide d'ondes de sortie 38. Une région d'illumination courbe, telle que la région 80 entre les guides d'ondes 30 et 35, produirait un guide d'ondes temporaire induit courbe correspondant dans le verre de silice 25. De tels guides d'ondes temporaires courbes réduisent la quantité de lumière qui s'échappe vers l'un des guides d'ondes de sortie adjacents au guide d'ondes 35, et réduit ainsi la diaphonie entre les guides d'ondes de sortie 35-38. Cette réduction de diaphonie se produit du fait que la courbure du guide d'ondes induit fait en sorte que les guides d'ondes de sortie qui sont adjacents au guide d'ondes 35 ne soient pas alignés ou presque alignés avec le guide d'ondes d'entrée émetteur.

La figure 3 est une vue de dessus d'un exemple de commutateur de 2 x 2, portant la référence 100, ayant une configuration de Mach-Zehnder conforme à la présente invention. Le commutateur 100 utilise des guides d'ondes qui sont formés dans du verre de silice pour le composant de circuit activé de façon thermique, au lieu des guides d'ondes temporaires induits de la structure optique en silice 5 de la figure 1. Il est

possible de fabriquer le commutateur 100 d'une manière pratiquement identique à celle de la structure optique en silice 5 décrite ci-dessus en relation avec la figure 1. Sur la figure 3, une couche de verre de silice 105 est formée sur un substrat, tel que le substrat 25 de la figure 1. Deux coupleurs directionnels 110 et 115 et deux branches de guides d'ondes monomodes de longueur égale, 120 et 125, sont formées dans le verre de silice 105. Chacun des coupleurs 110 et 115 comporte des entrées respectives I1 et I2, et 135 et 136, et des sorties respectives 130 et 131, et O1 et O2. Les branches de guides d'ondes 120 et 125 connectent respectivement les sorties 130 et 131 du coupleur 110 aux entrées correspondantes 135 et 136 du coupleur 115.

Conformément à la présente invention, la fonction de commutation du commutateur 100 est obtenue en chauffant l'une ou l'autre des branches de guide d'ondes 120 ou 125, par l'illumination du verre de silice 105 avec de la lumière ayant la longueur d'onde appropriée, comme par exemple par balayage avec un faisceau de lumière qui est produit par la source de lumière 10 représentée sur la figure 1. Des exemples de régions d'illumination ou de balayage pour le faisceau de lumière, pour chauffer l'une ou l'autre des branches de guides d'ondes 120 et 125, sont représentés par des régions hachurées respectives 140 et 145.

Il est possible de donner au commutateur 100 une configuration telle qu'un signal lumineux présent à l'entrée de guide d'ondes I1 soit dirigé vers la sortie O2 correspondante lorsque aucune des branches de guides d'ondes 120 et 125 n'est chauffée par un faisceau de lumière. Lorsqu'un faisceau de lumière est dirigé vers l'une ou l'autre des régions d'illumination 140 et 145, la branche de guide d'ondes 120 ou 125 correspondante est chauffée, ce qui produit un changement de son indice de réfraction et un changement correspondant de la longueur effective du trajet lumineux pour un signal lumineux dans ce guide d'ondes. Du fait que les branches de guides d'ondes 120 et 125 sont de longueur égale, le changement de la longueur effective du trajet lumineux dans l'un des guides d'ondes produit une différence de phase entre les signaux lumineux aux extrémités de ce guide d'ondes et des guides d'ondes non chauffés. Lorsque la différence de phase est de π radians, une interférence soustractive se produit dans le coupleur 115 et l'acheminement du signal

lumineux est commuté de la sortie O2 vers la sortie O1. D'une manière identique, un signal lumineux présent sur l'entrée de guide d'ondes I2 sera transmis par le commutateur 100 vers la sortie de guide d'ondes O1 lorsque ni la branche de guide d'ondes 120 ni la branche 125 n'est chauffée, et vers la sortie de guide d'ondes O2 lorsque l'une ou l'autre des branches de guides d'ondes 120 ou 125 est chauffée par le balayage des régions 140 ou 145 avec un faisceau de lumière.

Il est possible d'utiliser conformément à la présente invention les configurations de commutateurs thermo-optiques décrites par les références Kawachi et Haruna précitées, en remplaçant les rubans chauffants en chrome classiques par des moyens de chauffage comprenant une source de lumière. Il est en outre possible de construire une configuration de commutateur de 1 x 1, 1 x 2 ou 2 x 1 d'une manière sensiblement similaire au commutateur de 2 x 2 qui est représenté sur la figure 3, en déconnectant l'entrée de guide d'ondes I1 ou I2 respective, et/ou la sortie de guide d'ondes O1 ou O2 qui n'est pas ou ne sont pas nécessaires. De plus, il est possible de construire un commutateur à accès multiples conforme à la présente invention, en connectant l'un à l'autre un ensemble de commutateurs correspondant au commutateur 100 de la figure 3. Par exemple, on peut former un commutateur de 1 x 8 en utilisant huit commutateurs de 1 x 1 disposés en parallèle et tous connectés de façon à recevoir un signal lumineux de données commun. Une telle configuration permet à une seule source de lumière de mettre en œuvre les modes de commutateur de chacun des huit commutateurs. Du fait que les commutateurs n'exigent pas de rubans chauffants ou d'électrodes de rubans chauffants, il est possible de disposer les commutateurs très près les uns des autres, pour former un commutateur optique de 1 x 8 de taille réduite.

La figure 4 montre un exemple de représentation schématique d'un commutateur de 1 x 8, 200, conforme à la présente invention, qui est construit à partir de sept commutateurs de 1 x 2 activés de façon thermique, 201-207, qui sont connectés en cascade. Chacun des commutateurs 201-207 est sensiblement similaire au commutateur 100 représenté sur la figure 3, uniquement à titre d'illustration, et il est possible d'employer n'importe quel commutateur optique de 1 x 2, activé

de façon thermique. Comme dans l'exemple ci-dessus, une telle configuration permet d'utiliser un seul moyen de chauffage par laser, comme le laser 10 et la structure de miroir 15, pour chauffer les branches de guides d'ondes correspondantes dans les commutateurs 201-207, pour produire le trajet de propagation désiré à partir d'une entrée de guide d'ondes I1' vers l'une des sorties O1' à O7' du commutateur 200.

Bien que l'on ait décrit en détail ci-dessus plusieurs modes de réalisation de la présente invention, de nombreuses modifications peuvent être effectuées sans sortir des principes de celle-ci. On doit considérer que les revendications qui suivent englobent toutes ces modifications. Par exemple, il est possible d'utiliser d'autres configurations de commutateurs activés de façon thermique qui exigent le chauffage de verre de silice pour remplir des fonctions de commutation avec les moyens de chauffage de la présente invention. La présente invention est particulièrement utile dans les circuits qui exigent un grand nombre de régions chauffées distinctes ou un grand nombre de commutateurs qui peuvent être chauffés avec une seule source de lumière.

REVENDICATIONS

1. Commutateur de circuit optique en silice, caractérisé en ce qu'il comprend : un substrat (25); du verre de silice (20) formé sur le substrat; au moins un guide d'ondes d'entrée (30, 31) et au moins un guide d'ondes de sortie (35 à 38) formés dans le verre de silice (20); et une source de lumière (10) produisant de la lumière ayant une longueur d'onde qui lui permet d'être absorbée dans une large mesure par le verre de silice (20) et transmise dans une largeur mesure dans le substrat (25), la lumière pouvant être dirigée de façon à illuminer un trajet (70) dans le verre de silice (20), pour coupler un guide d'ondes d'entrée (30, 31) particulier à un guide d'ondes de sortie (35 à 38) particulier, l'illumination par la lumière ayant pour effet de changer la température et de façon correspondante l'indice de réfraction du verre de silice (20) dans le trajet, de façon qu'un signal lumineux puisse se propager dans les guides d'ondes couplés (30, 31, 35 à 38), par l'intermédiaire du verre de silice (20) dans le trajet.

2. Commutateur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un dispositif pour diriger la lumière (15) qui est destiné à diriger la lumière produite par la source de lumière (10) pour illuminer le trajet dans le verre de silice.

3. Commutateur selon la revendication 2, caractérisé en ce que le dispositif destiné à diriger la lumière (15) est une structure de miroir comprenant au moins un miroir mobile (60), ce miroir pouvant être déplacé de façon à diriger la lumière produite par la source de lumière (10) pour balayer de façon répétée le trajet dans le verre de silice (20).

4. Commutateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la source de lumière (10) est un laser.

5. Commutateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le trajet illuminé est notablement courbé de façon à sensiblement empêcher qu'une partie du signal lumineux n'entre dans un guide d'ondes de sortie (35 à 38) qui n'est pas couplé au guide d'ondes d'entrée (30, 31).

6. Commutateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le substrat (25) est un substrat en silicium et la source de lumière (10) produit de la lumière ayant une longueur d'onde qui est sensiblement dans la gamme de 5 à 12 μm.

7. Commutateur selon la revendication 6, caractérisé en ce que la source de lumière est un laser au CO_2 (10).

8. Commutateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la lumière est dirigée dans le substrat (25) vers le verre de silice (20).

9. Commutateur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une lentille cylindrique (75) dans un trajet de la lumière, dans lequel la lentille cylindrique focalise la lumière.

10. Commutateur de circuit optique en silice, caractérisé en ce qu'il comprend : un substrat (25); du verre de silice (20) formé sur le substrat; des composants du commutateur (110, 115, 120, 125) formés dans le verre de silice, l'un au moins des composants de commutateur étant un composant de commutateur activé de façon thermique pour remplir une fonction de commutation; et une source de lumière (10) produisant de la lumière ayant une longueur d'onde qui lui permet d'être absorbée dans une large mesure par le verre de silice (20) et transmise dans une large mesure par le substrat (25), la lumière pouvant être dirigée de façon à illuminer une région (140, 145) dans le verre de silice (20), pour chauffer le composant activé de façon thermique, pour qu'il remplisse la fonction de commutation.

11. Commutateur selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un dispositif pour diriger la lumière (15) qui est destiné à diriger la lumière produite par la source de lumière (10) pour illuminer le trajet dans le verre de silice (20).

12. Commutateur selon la revendication 11, caractérisé en ce que le dispositif destiné à diriger la lumière (15) est une structure de

miroir comprenant au moins un miroir mobile (60), le miroir pouvant être déplacé de façon à diriger la lumière produite par la source de lumière (10) pour balayer de façon répétée le trajet dans le verre de silice.

13. Commutateur selon la revendication 10, caractérisé en ce que la source de lumière (10) est un laser.

14. Commutateur selon la revendication 10, caractérisé en ce que les composants de commutateur comprennent : au moins une paire de coupleurs optiques (110, 115); et au moins une paire de branches de guides d'ondes (120, 125), la paire de branches de guides d'ondes connectant l'un à l'autre des coupleurs respectifs d'une paire de coupleurs, et en ce que l'une ou l'autre des branches de guides d'ondes (120, 125) dans une paire de branches de guides d'ondes est activée de façon thermique pour produire un changement de son indice de réfraction et un changement correspondant d'une longueur effective d'un trajet lumineux pour un signal lumineux qui se propage dans la branche de guide d'ondes (120, 125).

15. Commutateur selon la revendication 14, caractérisé en ce que les coupleurs optiques (110, 115) et les paires de branches de guides d'ondes (120, 125) sont disposés en une configuration en cascade.

16. Commutateur selon la revendication 10, caractérisé en ce que le substrat est un substrat en silicium (25) et la source de lumière (10) produit de la lumière ayant une longueur d'onde qui est sensiblement dans la gamme de 5 à 12 μm.

17. Commutateur selon la revendication 16, caractérisé en ce que la source de lumière (10) cohérente consistent en un laser au CO_2.

18. Commutateur selon la revendication 10, caractérisé en ce que la lumière illumine le trajet dans le substrat (25).

19. Commutateur selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une lentille cylindrique (75) dans un trajet de la lumière, cette lentille cylindrique focalisant la lumière.

FIG. 1

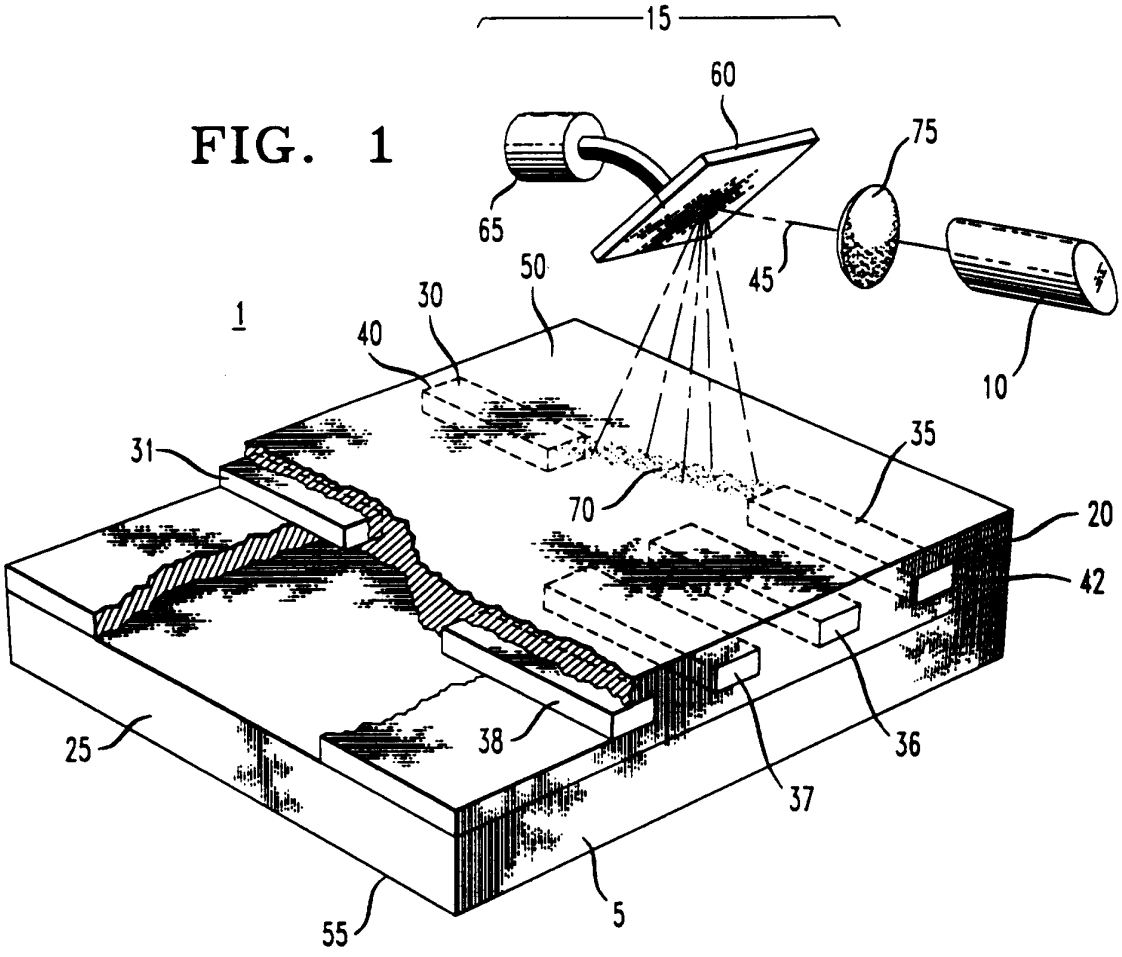

15
60
65
75
45
50
30
1
40
10
31
35
70
20
42
25
38
36
37
55
5

FIG. 2

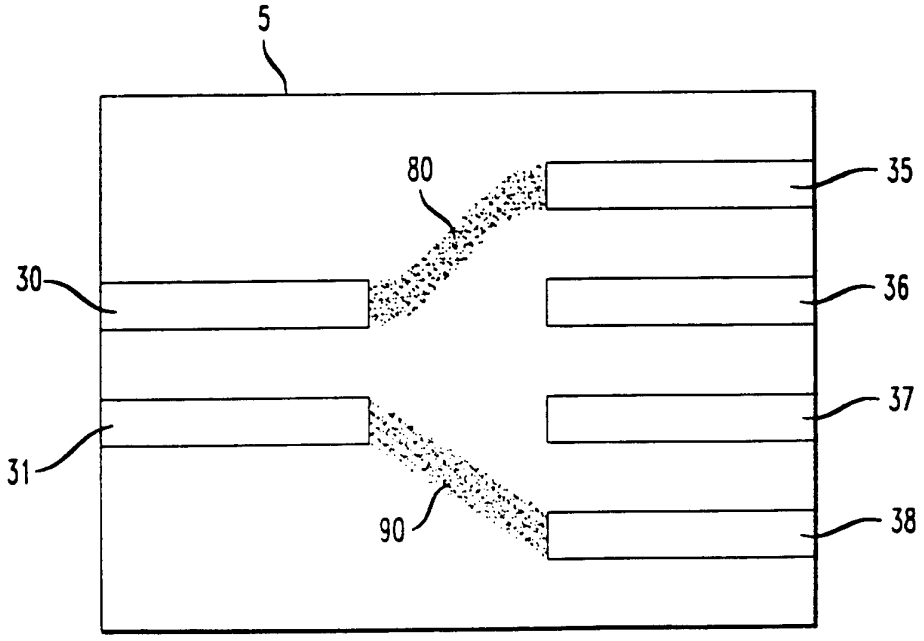

5
80
35
30
36
37
31
90
38

FIG. 3

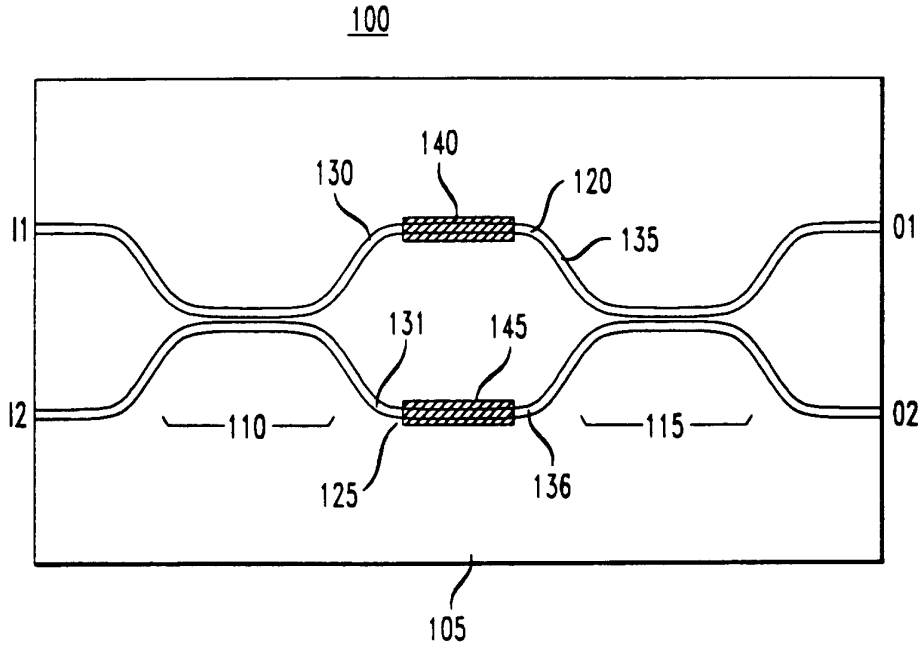
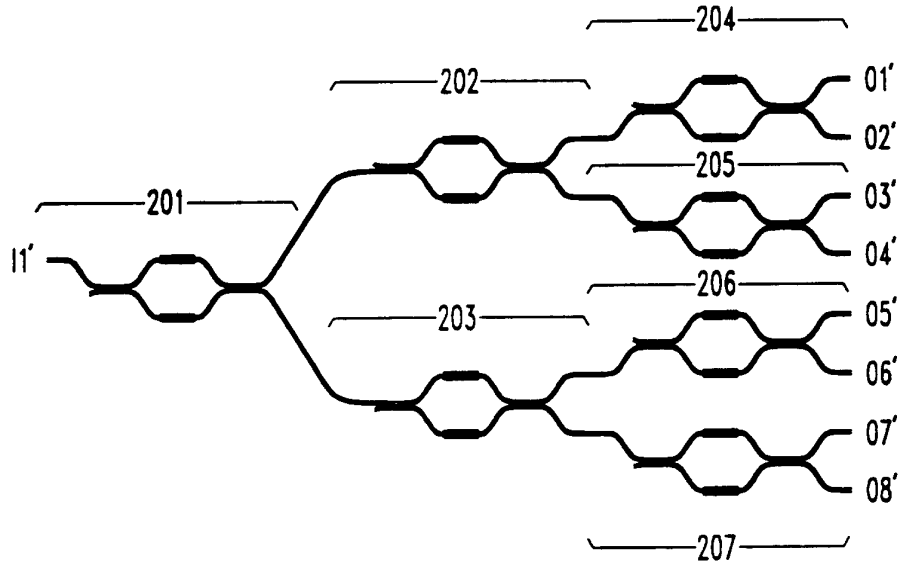

100
140
130
120
I1
135
O1
131
145
I2
110
115
O2
125
136
105

FIG. 4


204
202
O1'
O2'
205
201
O3'
I1'
O4'
206
203
O5'
O6'
O7'
O8'
207