

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
 INSTITUT NATIONAL
 DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
 PARIS

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

2 598 574

(21) N° d'enregistrement national :

86 06506

(51) Int Cl⁴ : H 04 J 1/00; H 04 B 9/00.

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 6 mai 1986.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la
 demande : BOPI « Brevets » n° 46 du 13 novembre 1987.

(60) Références à d'autres documents nationaux appa-
 rentés :

(71) Demandeur(s) : MATRA, société anonyme. — FR.

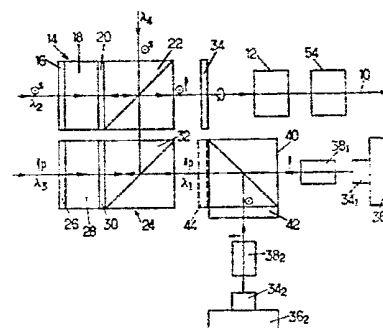
(72) Inventeur(s) : Jean Charlier, Bernard Geenen, Bernard
 Laurent, Jean Lorsignol, André Malherbe et Jean-Luc
 Perbos.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : Cabinet Plasseraud.

(54) Procédé et dispositif optiques de transmission de données à multiplexage de fréquence.

(57) Le dispositif comprend un émetteur muni d'un multi-
 plexeur et un récepteur muni d'un démultiplexeur. Le multi-
 plexeur comporte au moins trois diodes laser fournissant des
 faisceaux optiques polarisés à trois longueurs d'onde λ_2 , λ_3 , λ_4 .
 Sur le trajet λ_2 est interposé un ensemble comportant une
 lame 16 quart d'onde pour la longueur d'onde $2\lambda_2 - \lambda_4$, un filtre
 18 de transmission de la longueur d'onde λ_2 , une lame 20
 quart d'onde pour la longueur d'onde λ_4 et un polariseur 22, la
 diode de longueur d'onde λ_2 étant orientée pour que son
 faisceau soit transmis par le polariseur. La longueur d'onde λ_4
 est dirigée sur le polariseur à 90° de la longueur d'onde λ_2 et
 avec la même polarisation. La longueur d'onde λ_3 , intermédiaire
 entre λ_2 et λ_4 , est dirigée sur le polariseur 22 à l'opposé de
 la lumière d'onde λ_4 et avec une polarisation de même sens,
 de façon que la lumière de longueur d'onde λ_3 soit réfléchie
 suivant un trajet coaxial au trajet de sortie des longueurs
 d'onde λ_2 et λ_4 .



FR 2 598 574 - A1

Procédé et dispositif optiques de transmission de données à multiplexage de fréquence

L'invention concerne les dispositifs de transmission de données par voie optique et elle trouve une application particulièrement importante dans les liaisons entre satellites (notamment entre un satellite placé sur une orbite basse et un satellite géostationnaire).

On a déjà proposé d'utiliser, pour les liaisons optiques entre satellites, des diodes laser en tant que sources lumineuses. Les diodes laser ont l'avantage d'être de petite taille et fiables, d'avoir un rendement élevé et une durée de vie importante. Parmi les diodes laser, les diodes à l'arseniure de gallium présentent un intérêt particulier : des diodes monomode capables de fournir une puissance allant jusqu'à 50 mW environ en continu existent aujourd'hui dans la plage de longueur d'onde comprise entre 810 et 850 nm, et des capteurs de bon rendement sont disponibles dans la plage de longueur d'onde comprise entre 400 et 1100 nm.

L'indisponibilité de puissances plus élevées et l'importance des débits numériques à transmettre (typiquement 500 Mbit/s) ou l'intérêt de transmettre plusieurs canaux indépendants rendent cependant nécessaire d'associer plusieurs diodes laser. Diverses techniques de sommation de puissance et de multiplexage ont déjà été proposées. Elles sont résumées dans l'article de Begley et autres "Selection of laser diode beam combining techniques for free space communication" (janvier 1986, S.P.I.E., Los Angeles). Les techniques proposées présentent cependant des inconvénients graves. En particulier, beaucoup utilisent des lames dichroïques travaillant en incidence oblique pour assurer le multiplexage ou le démultiplexage (cette seconde opération étant la plus difficile à réaliser, car elle

doit assurer une bonne isolation entre voies adjacentes). Ces lames dichroïques ne permettent d'atteindre le résultat recherché que très imparfaitement et imposent notamment un écart de longueur d'onde important
5 entre canaux.

On a également proposé d'utiliser la très forte polarisation que présente la lumière émise par les diodes laser pour assurer, non pas un multiplexage en fréquence, mais l'accumulation suivant un seul trajet de
10 sortie des faisceaux provenant de plusieurs diodes. Cette solution ne permet pas non plus d'arriver à un résultat satisfaisant du fait notamment que l'on a mis en oeuvre jusqu'ici des composants travaillant en incidence oblique pour ramener les faisceaux suivant le
15 même axe.

L'invention vise à fournir un procédé et un dispositif de multiplexage en fréquence, utilisant le taux de polarisation élevé des diodes laser pour faciliter le multiplexage en fréquence et augmenter le
20 nombre de voies disponibles dans une plage déterminée.

Dans ce but, l'invention propose un procédé optique de transmission de données à multiplexage de fréquence, caractérisé en ce que l'on superpose, suivant un même trajet de sortie, l'émission d'au moins trois
25 diodes laser dont les longueurs d'onde nominales d'émission peuvent avoir une séparation inférieure à la largeur de bande des canaux, la composante de lumière provenant d'une diode ayant une polarisation croisée avec la polarisation de la lumière provenant des diodes
30 ayant des longueurs d'onde adjacentes, dans le faisceau de sortie.

L'invention propose également un dispositif de transmission optique à multiplexage d'au moins trois voies de longueurs d'onde différentes, ayant un émetteur
35 comprenant :

- trois diodes laser fournissant des faisceaux

optiques polarisés linéairement et à trois longueurs d'onde différentes λ_2 , λ_3 et λ_4 ,

- sur le trajet de la lumière de longueur d'onde λ_2 émise par une des diodes, un ensemble comportant une
5 lame quart d'onde pour la longueur d'onde $(2\lambda_2 - \lambda_4)$, un filtre de transmission de la longueur d'onde λ_2 , une lame quart d'onde pour la longueur d'onde λ_4 et un polariseur, la diode de longueur d'onde λ_2 étant orientée pour que son faisceau soit transmis par le polariseur,
10 - des moyens pour diriger la lumière de longueur d'onde λ_4 provenant d'une autre diode sur le polariseur à 90° du faisceau de longueur d'onde λ_2 et avec la même direction de polarisation, de sorte que le faisceau de longueur d'onde λ_4 est réfléchi vers le filtre,
15 - et des moyens pour diriger la lumière de longueur d'onde λ_3 , intermédiaire entre λ_2 et λ_4 , sur le polariseur à l'opposé de la lumière de longueur d'onde λ_4 et avec une polarisation de même sens, de façon que la lumière de longueur d'onde λ_3 soit réfléchie suivant
20 un trajet coaxial au trajet de sortie des longueurs d'onde λ_2 et λ_4 .

Les derniers moyens mentionnés peuvent être utilisés pour multiplexer la longueur d'onde λ_3 et une longueur d'onde λ_1 hors de l'intervalle allant de λ_2 à
25 λ_4 . Ces derniers moyens peuvent avoir la même constitution que ledit ensemble, mais recevoir deux faisceaux de lumière de longueurs d'onde λ_1 et λ_3 ayant un plan de polarisation perpendiculaire à celui de la lumière de longueurs d'onde λ_2 et λ_4 .

30 Il est possible d'augmenter encore le nombre de longueurs d'onde, dans toute la mesure autorisée par la bande de fréquence dans laquelle peuvent travailler les sources et les détecteurs de lumière.

L'invention propose également un dispositif de
35 transmission complet comprenant un récepteur ayant une constitution dans une large mesure symétrique de celle

de l'émetteur. Etant donné que l'orientation du récepteur par rapport à l'émetteur peut changer, il sera généralement nécessaire de placer, sur les faisceaux de sortie, une lame quart d'onde pour la fréquence moyenne
5 de la plage de transmission afin d'obtenir un faisceau à polarisation circulaire. Par ailleurs, les surfaces optiques de réflexion devront être traitées de façon à conserver au maximum la polarisation.

Il est important de relever que le dispositif
10 n'utilise que des filtres travaillant en incidence normale et des lames quart d'onde parfaitement adaptées, sauf en ce qui concerne la lame destinée à donner une polarisation circulaire au faisceau de sortie. On réduit ainsi les pertes et on évite les distorsions et pertes
15 de polarisation beaucoup plus que dans les systèmes antérieurement connus.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit d'un mode particulier d'exécution et d'une variante, donnés à titre d'exemples non
20 limitatifs. La description se réfère aux dessins qui l'accompagnent, dans lesquels :

- la Figure 1 est un schéma montrant une constitution possible de l'émetteur d'un dispositif de transmission à multiplexage de quatre fréquences,
- 25 - la Figure 2 montre une répartition possible des fréquences dans l'émetteur de la Figure 1,
- la Figure 3, similaire à la Figure 1, montre un émetteur à multiplexage de six fréquences,
- la Figure 4 est un schéma d'un récepteur
30 utilisable en liaison avec l'émetteur de la Figure 1.

L'émetteur montré en Figure 1 est destiné à multiplexer quatre canaux à fréquences λ_1 , λ_2 , λ_3 et λ_4 sur un même faisceau de sortie 10 orientable. Les quatre canaux comportent chacun une source de lumière polarisée
35 qu'on supposera être une diode laser GaAs, avec $\lambda_1 = 821$ nm, $\lambda_2 = 827$ nm, $\lambda_3 = 833$ nm et $\lambda_4 = 839$ nm (Figure 2).

L'écartement entre deux longueurs d'onde adjacentes n'est que de 6 nm mais, du fait de la polarisation croisée dans deux voies adjacentes, il est possible d'accepter une largeur de bande pour chaque diode
5 supérieure à 6 nm, ce qui a deux conséquences : d'une part, il n'est pas nécessaire d'utiliser un filtre à bande étroite qui augmenterait les pertes ; d'autre part, il n'est pas nécessaire que les diodes laser aient une émission exactement centrée sur les valeurs définies
10 ci-dessus, ce qui facilite leur obtention et réduit l'incidence de la variation de longueur d'onde due au vieillissement et à l'imperfection de la stabilisation en température de ces diodes.

La lumière émise par une diode laser est naturellement polarisée dans le plan de la jonction de la
15 diode et le faisceau fourni par une telle diode est notablement elliptique. Etant donné que l'on veut obtenir, à la sortie, une ellipticité qui est la même pour toutes les voies de façon qu'il soit possible de
20 former un faisceau cylindrique à l'aide d'un anamorphoseur 12, on sera fréquemment amené à placer toutes les diodes laser avec la même orientation et à intercaler, sur les voies qui doivent avoir une polarisation croisée avec les autres, une lame $\lambda/2$.

25 Le multiplexeur de l'émetteur montré en Figure 1 comprend un ensemble 14 qui comporte, sur le trajet de la lumière de longueur d'onde λ_2 , ayant un premier sens de polarisation $\underline{g}$, une première lame 16, un filtre 18 de fréquence centrale correspondant à la longueur d'onde
30 λ_2 , une seconde lame 20 et enfin un cube polariseur 22. La diode laser qui émet la lumière à la longueur d'onde λ_4 est placée de façon à avoir également la polarisation $\underline{g}$ et à fournir un faisceau qui tombe sur le bloc polariseur 22 orthogonalement au premier.

35 La lame 20 est ajustée de façon à être quart

d'onde pour la longueur d'onde $\lambda_4/4$. La lame 16 correspond à $(2\lambda_2 - \lambda_4)/4$. Dans ces conditions,

- La lumière de longueur d'onde λ_4 , de polarisation $\underline{s}$, est réfléchiée par le bloc polariseur 22 vers la lame 20. Elle traverse la lame 20, qui lui donne une polarisation circulaire, puis est réfléchiée par le filtre 18, car ce filtre est centré sur la longueur d'onde λ_2 . La lumière retransverse la lame 20 qui lui donne une polarisation rectiligne, cette fois de sens $\underline{p}$, ce qui lui permet de traverser le polariseur 22 et de sortir avec une polarisation $\underline{p}$.

- La lumière de longueur d'onde λ_2 , de polarisation $\underline{s}$, est polarisée pratiquement circulairement par la lame 16 qui est presque quart d'onde pour λ_2 ($\lambda_2 - \lambda_4$ étant faible par rapport à λ_2). La lumière traverse ensuite le filtre 18 centré sur λ_2 . Elle prend la polarisation linéaire $\underline{p}$ en traversant la lame 20 (l'ensemble des lames 16 et 20 ayant un effet identique à celui d'une lame unique $\lambda_2/2$). Cette lumière est ensuite transmise par le polariseur 22 et sort du multiplexeur dans le même faisceau que la lumière de longueur d'onde λ_4 , en polarisation $\underline{p}$.

Pour assurer le multiplexage d'une troisième voie, il suffit d'envoyer la lumière correspondante sur le bloc polariseur 22 en sens inverse de la lumière de longueur d'onde λ_4 . Dans le cas représenté sur la Figure 1, le multiplexeur comprend un second ensemble destiné à multiplexer les longueurs d'onde λ_1 et λ_3 .

L'ensemble 24 comporte, sur le trajet de la lumière de longueur d'onde λ_3 , une lame 26 d'épaisseur $(2\lambda_3 - \lambda_1)/4$, un filtre 28 centré sur λ_3 , une lame 30 quart d'onde pour λ_1 et un cube polariseur 32.

La lumière de longueur d'onde λ_1 , de sens de polarisation $\underline{p}$, est transmise par le polariseur 32, traverse la lame 30 qui lui donne une polarisation circulaire, est réfléchiée par le filtre 28 centré sur

λ_3 , reprend une polarisation linéaire (cette fois de sens g) à son deuxième passage dans la lame 30 et est alors réfléchié par le polariseur 32 vers le polariseur 22. Elle sort du multiplexeur avec la polarisation g .

5 Enfin, la lumière de longueur d'onde λ_3 entre avec la polarisation linéaire p dans l'ensemble 24. La lame 26 lui donne une polarisation pratiquement circulaire. La lumière est transmise par le filtre 28 centré sur λ_3 . La lame 30 lui donne une polarisation
10 rectiligne de direction g . Enfin, la lumière est réfléchié successivement par les deux polariseurs 32 et 22 et sort du multiplexeur en polarisation g .

 A la sortie du multiplexeur, une lame 34, pouvant être une lame quart d'onde pour la longueur
15 d'onde $(\lambda_1 + \lambda_4)/2$, c'est-à-dire la moyenne dans la plage allant de λ_1 à λ_4 , fournit un faisceau en polarisation circulaire.

 Les divers composants ont une constitution qui peut être classique. Les polariseurs 22 et 32 sont par
20 exemple constitués par des empilements de couches minces sur des prismes de verre. On peut aisément obtenir des coefficients de transmission et de réflexion atteignant 98%. Des lames quart d'onde sont couramment disponibles dans le commerce. Les filtres 18 et 28 peuvent être
25 constitués en technologie couche mince. Du fait qu'ils travaillent en incidence normale, ils présentent une bande passante bien définie.

 Il faut remarquer au passage que, en associant à chaque diode laser un collimateur approprié, on peut
30 obtenir un faisceau de sortie très peu divergent et donc faire travailler l'ensemble des éléments optiques dans de bonnes conditions. Le maintien des caractéristiques, et notamment de l'indice des verres, peut être assuré par régulation thermique.

35 Des impératifs de sécurité peuvent amener à prévoir une redondance de chacune des sources. Sur la

Figure 1, seule a été représentée la source destinée à fournir la longueur d'onde λ_1 . Elle comporte deux diodes laser 34_1 et 34_2 , munies de leurs circuits d'alimentation et de leurs circuits de régulation thermique par effet Peltier 36_1 et 36_2 . Un collimateur 38_1 ou 38_2 est placé à la sortie de chaque diode. Le faisceau provenant de la diode 34_1 traverse directement un polariseur 40 avant d'arriver sur le polariseur 32. Sur le trajet du faisceau de sortie de la diode 34_2 , qui arrive sur l'analyseur à 90° du faisceau de sortie de la diode 34_1 , est interposée une lame 42 demi-onde pour la longueur d'onde λ_1 . Lorsque c'est la diode 34_2 qui est utilisée, une lame de compensation 44, demi-onde pour λ_1 , est placée à la sortie du polariseur 40.

Il est possible de multiplexer un nombre de longueurs d'onde supérieur à 4. La Figure 3 montre, à titre d'exemple, un multiplexeur d'émission fournissant un faisceau de sortie comportant six longueurs d'onde échelonnées $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_6$. Les composantes de longueurs d'onde λ_1, λ_3 et λ_5 du faisceau de sortie ont une polarisation g , tandis que les composantes $\lambda_2, \lambda_4, \lambda_6$ ont une polarisation p . Le multiplexage exige simplement d'ajouter un ensemble 46 comportant un polariseur 48, deux filtres 50 et 52 et quatre lames quart d'onde aux moyens prévus dans le cas de la Figure 1.

Il est possible de multiplexer un nombre encore accru de longueurs d'onde mais, dans la pratique, il est difficile de dépasser six faisceaux d'entrée lorsque l'on utilise comme sources des diodes laser.

Les lames quart d'onde ne sont plus, dans le cas de la Figure 3, parfaitement appairées mais cela est pratiquement sans incidence sur les performances car la mauvaise polarisation ne se retrouve pas dans le faisceau de sortie.

En effet, il devient difficile d'avoir des filtres suffisamment sélectifs pour réfléchir totalement

une longueur d'onde et transmettre totalement une autre longueur d'onde lorsque les deux valeurs sont trop proches.

Au lieu d'utiliser une répartition du genre
5 montré en Figure 2 (éventuellement étendue à six fréquences), on peut encore adopter des valeurs égales et des polarisations croisées pour λ_1 et λ_2 , λ_3 et λ_4 , etc. On peut ainsi augmenter encore le nombre des fréquences. Il suffit en effet pour arriver à ce
10 résultat que les filtres aient un coefficient de transmission très élevé pour la longueur d'onde qui leur est associée (λ_2 et λ_3 dans le cas de la Figure 1), une bonne réflexion et une très faible transmission pour les longueurs d'onde adjacentes ou égales ayant une polari-
15 sation croisée, c'est-à-dire λ_1 par rapport au filtre 28 et λ_4 par rapport au filtre 18.

L'émetteur, lorsqu'il est monté sur satellite, sera complété par un dispositif de pointage et un télescope, schématisé sur la Figure 1 en 54. Le télescope
20 peut être du type Cassegrain. Le dispositif de pointage comportera avantageusement, d'une part, un miroir de pointage grossier, d'autre part, un miroir de pointage fin. Etant donné les distances de parcours, il sera nécessaire de prévoir soit un système de poursuite, soit
25 un système de calcul tenant compte de la nécessité de "pointer en avant" du récepteur du fait que le temps mis par la lumière pour aller de l'émetteur au récepteur n'est pas négligeable.

Il n'est pas nécessaire ici de définir les
30 dispositifs d'asservissement ou de calculs, car ils peuvent avoir l'une des constitutions connues pour les liaisons entre satellites.

Le démultiplexeur prévu dans le récepteur aura généralement une constitution symétrique de celle du
35 multiplexeur. La Figure 4 montre, à titre d'exemple, un démultiplexeur pouvant appartenir à un dispositif dont

l'émetteur est du type montré en Figure 1. Le démulti-
plexeur, placé en aval d'une lame quart d'onde 56,
comporte un premier cube polariseur 58 qui transmet les
longueurs d'onde λ_1 et λ_3 qui présentent une polarisa-
5 tion p , et réfléchit les longueurs d'onde λ_2 et λ_4 , de
polarisation s . Sur le trajet du faisceau contenant les
longueurs d'onde λ_1 et λ_3 sont interposés successivement
une lame 60, quart d'onde pour λ_1 et un filtre 62 centré
sur λ_3 . La longueur d'onde λ_1 est réfléchiée par le
10 filtre et sa double traversée de la lame 60 ayant fait
tourner sa polarisation de 90° , elle est réfléchiée par
le polariseur 58 et sort suivant un trajet orthogonal à
celui de la composante λ_3 . Un filtre 64, centré sur λ_1 ,
peut être interposé à la sortie du polariseur sur le
15 trajet de la composante λ_1 .

Un second cube polariseur 66, également associé
à une lame 68, quart d'onde pour λ_4 , et un filtre 70
centré sur λ_2 , assurent la séparation des composantes λ_2
et λ_4 . Un filtre 72, centré sur λ_4 , peut être interposé
20 sur le trajet de sortie de λ_4 .

Il est important de noter que, dans le démulti-
plexeur, les filtres 62 et 70 travaillent en réflexion
sur une longueur d'onde qui n'est pas directement adja-
cente à la longueur d'onde sur laquelle ils travaillent
25 en transmission, ce qui améliore l'isolation.

Il n'est pas nécessaire de décrire ici le
démultiplexeur associé au multiplexeur de la Figure 3,
étant donné qu'il découle directement des indications
ci-dessus.

30 L'invention ne se limite pas aux modes parti-
culiers de réalisation qui ont été représentés et
décrits et il doit être entendu que la portée du présent
brevet s'étend à toute variante restant dans le cadre
des équivalences et couvertes par les revendications
35 ci-jointes.

REVENDICATIONS

1. Procédé optique de transmission de données à multiplexage de fréquence, caractérisé en ce que l'on superpose, suivant un même trajet de sortie, l'émission d'au moins trois diodes laser dont les longueurs d'onde centrales d'émission sont séparées, la composante de lumière provenant d'une diode ayant une polarisation croisée avec la polarisation de la lumière provenant des diodes ayant des longueurs d'onde adjacentes, dans le faisceau de sortie.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les longueurs d'onde centrales d'émission ont une séparation inférieure à la largeur de bande des canaux de transmission.

3. Dispositif de transmission optique à multiplexage d'au moins trois voies de longueurs d'onde différentes, caractérisé en ce que son émetteur comprend :

- trois diodes laser fournissant des faisceaux optiques polarisés linéairement et à trois longueurs d'onde différentes λ_2 , λ_3 et λ_4 ,

- sur le trajet de la lumière de longueur d'onde λ_2 émise par une des diodes, un ensemble comportant une lame (16) quart d'onde pour la longueur d'onde $(2\lambda_2 - \lambda_4)$, un filtre (18) de transmission de la longueur d'onde λ_2 , une lame (20) quart d'onde pour la longueur d'onde λ_4 et un polariseur (22), la diode de longueur d'onde λ_2 étant orientée pour que son faisceau soit transmis par le polariseur,

- des premiers moyens pour diriger la lumière de longueur d'onde λ_4 provenant d'une autre diode sur le polariseur (22) à 90° du faisceau de longueur d'onde λ_2 et avec la même direction de polarisation, de sorte que le faisceau de longueur d'onde λ_4 est réfléchi vers le filtre (18),

- et des seconds moyens pour diriger la lumière de longueur d'onde λ_3 , intermédiaire entre λ_2 et λ_4 , sur le polariseur (22) à l'opposé de la lumière de longueur d'onde λ_4 et avec une polarisation de même sens, de façon que la lumière de longueur d'onde λ_3 soit réflé-
5 chie suivant un trajet coaxial au trajet de sortie des longueurs d'onde λ_2 et λ_4 .

4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que les seconds moyens (24) multiplexent la
10 longueur d'onde λ_3 et une longueur d'onde λ_1 hors de l'intervalle allant de λ_2 à λ_4 .

5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que les seconds moyens ont la même constitution que ledit ensemble, mais reçoivent deux faisceaux
15 de lumière de longueurs d'onde λ_1 et λ_3 ayant un plan de polarisation perpendiculaire à celui des longueurs d'onde λ_2 et λ_4 .

6. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que les premiers moyens comportent également un polariseur supplémentaire recevant, dans deux
20 directions opposées orthogonales à sa sortie, deux faisceaux présentant la même polarisation, l'un des faisceaux traversant, avant d'arriver au polariseur, une lame sensiblement quart d'onde, un filtre pour la
25 longueur d'onde de ce faisceau et une lame quart d'onde pour la longueur d'onde de l'autre faisceau.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend une
30 lame interposée sur le faisceau de sortie, pour circulariser la polarisation.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 à 7, caractérisé en ce qu'il comprend un récepteur ayant un démultiplexeur d'entrée symétrique du multiplexeur.

FIG. 1.

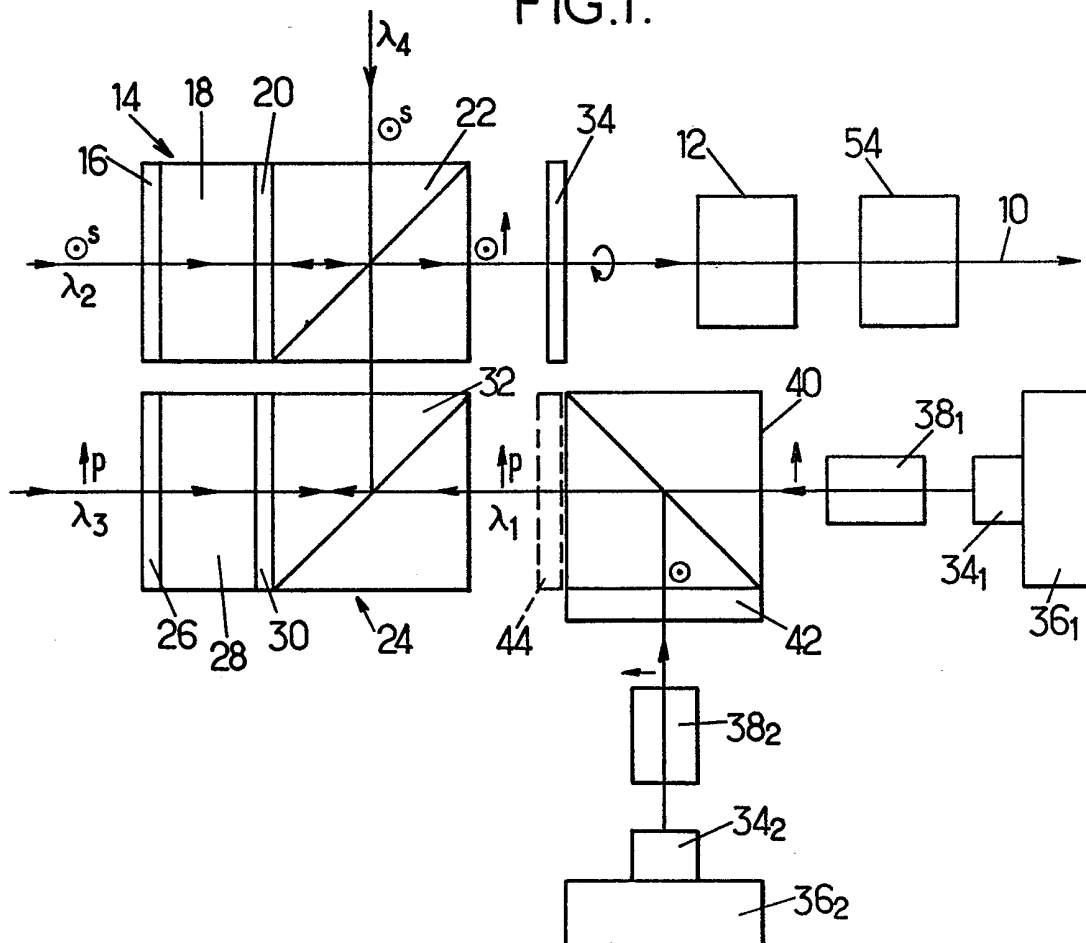


FIG. 2.

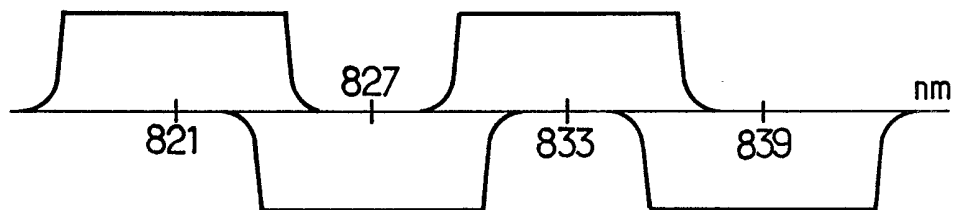


FIG.3.

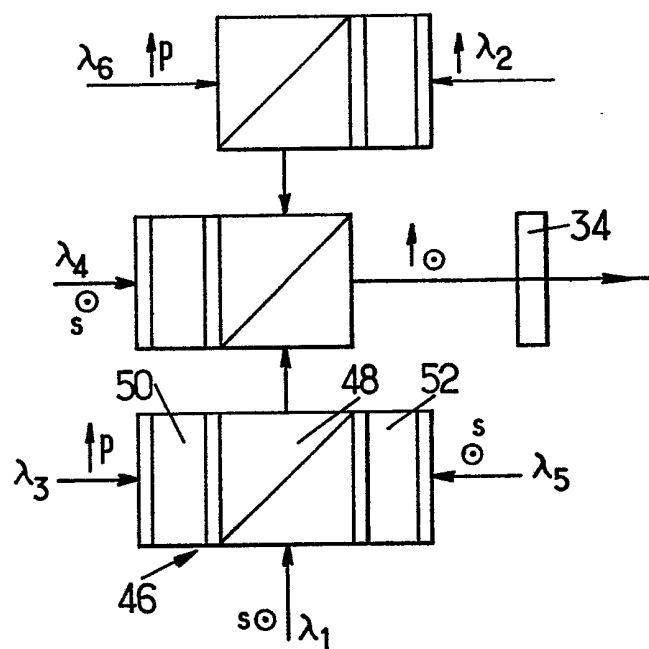


FIG.4.

