

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
21 décembre 2000 (21.12.2000)

PCT

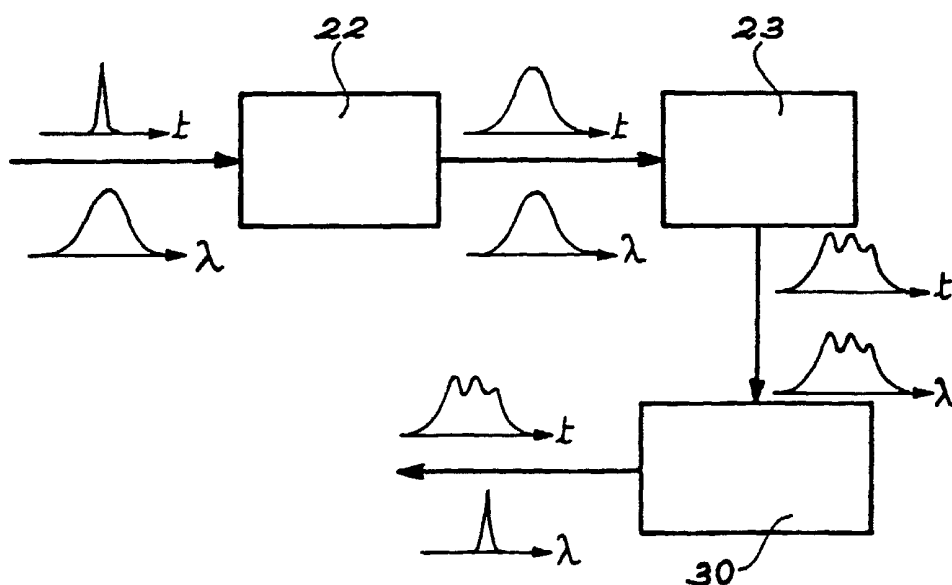
(10) Numéro de publication internationale
WO 00/77891 A2

- (51) Classification internationale des brevets⁷: **H01S** (72) Inventeurs; et
(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement): **RAOULT, Fabrice** [FR/FR]; 44, rue Saint Lazare, F-91100 Corbeil-Essonnes (FR). **HUSSON, Daniel** [FR/FR]; 43, rue Paul Doumer, F-91330 Yerres (FR). **ROUYER, Claude** [FR/FR]; 21, avenue de l'Aérodrome, F-94310 Orly (FR). **SAUTERET, Christian** [FR/FR]; 77, avenue Saint Mandé, F-75020 Paris (FR). **MIGUS, Arnold** [FR/FR]; 37, rue Pierre Curie, F-92330 Sceaux (FR).
- (21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR00/01649
- (22) Date de dépôt international: 14 juin 2000 (14.06.2000)
- (25) Langue de dépôt: français
- (26) Langue de publication: français
- (30) Données relatives à la priorité: 99/07541 15 juin 1999 (15.06.1999) FR (74) Mandataire: **LEHU, Jean**; Brevatome, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US): **COM-MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE** [FR/FR]; 31-33, rue de la Fédération, F-75752 Paris 15ème (FR). (81) États désignés (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR PROGRAMMABLE SHAPING OF A TIME PROFILE FOR QUASI-MONOCROMATIC OPTICAL PULSES

(54) Titre: PROCEDE ET DISPOSITIF DE MISE EN FORME PROGRAMMABLE DU PROFIL TEMPOREL D'IMPULSIONS OPTIQUES QUASI-MONOCROMATIQUES



(57) Abstract: The invention concerns an optical method for programmable shaping of a time profile for quasi-monochromatic optical pulses comprising the following steps: distributing each of the spectral components of a pulse with wide time spectrum and obtaining an extended pulse with frequency drift while preserving the spectral width; shaping the pulse spectrally and consequently temporally; converting the wide spectrum into a narrow spectrum while preserving the temporal shaping.

[Suite sur la page suivante]

WO 00/77891 A2



IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

- (84) États désignés (régional): brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— Sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport.

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) **Abrégé:** La présente invention concerne un procédé optique de mise en forme programmable du profil temporel d'impulsions optiques quasi-monochromatiques comprenant les étapes suivantes: on répartit chacune des composantes spectrales d'une impulsion à spectre large dans le temps et on obtient une impulsion allongée à dérive de fréquence en conservant la largeur spectrale; on met en forme l'impulsion spectralement et par conséquent temporellement; on convertit le spectre large en spectre étroit en conservant la mise en forme temporelle.

PROCEDE ET DISPOSITIF DE MISE EN FORME PROGRAMMABLE
DU PROFIL TEMPOREL D'IMPULSIONS OPTIQUES
QUASI-MONOCROMATIQUES

5

DESCRIPTION

Domaine technique

La présente invention concerne un procédé et un dispositif de mise en forme programmable du profil
10 temporel d'impulsions optiques quasi-monochromatiques.

Etat de la technique antérieure

Une mise en forme du profil temporel de l'amplitude d'impulsions optiques est nécessaire pour
15 certaines applications utilisant des sources laser impulsionnelles. On peut citer, par exemple, le domaine des lasers de puissance, ou le domaine des télécommunications, où il est nécessaire de mettre en forme le profil d'impulsions dans le domaine temporel
20 avant de transmettre une information.

Un procédé de mise en forme du profil temporel d'impulsions optiques cherche à résoudre simultanément différents critères :

- Mettre en forme ce profil temporel avec une
25 bonne résolution, de préférence 100 à 1 000 points sur toute la durée d'une impulsion, chaque point pouvant atteindre le domaine des femtosecondes.

- Etre programmable, c'est-à-dire permettre un changement de la forme de l'impulsion à la demande
30 et rapidement, par exemple de manière automatique.

- Etre compatible avec la production d'impulsions possédant un spectre aussi étroit que la limite de Fourier des impulsions créées.

- Produire des impulsions accordables en
35 longueur d'onde.

- Ne pas provoquer trop de pertes en énergie.

Il existe fondamentalement deux approches générales pour mettre en forme le profil temporel d'une impulsion laser. La première repose sur des méthodes
5 essentiellement optiques. La deuxième consiste à transposer les signaux électroniques en signaux optiques, les procédés correspondants utilisant des systèmes électro-optiques ou acousto-optiques.

10

Procédés optiques

- Procédé de mise en forme temporelle par modulation spectrale

Un tel procédé purement optique de modulation est décrit dans le document référencé [1] en fin de
15 description. Dans ce procédé, comme illustré sur la figure 1, un faisceau lumineux 10 issu d'un point source O_1 , collimaté, se diffracte sur un réseau 11 pour être focalisé ensuite en un point O_2 . La pupille 12 se trouve dans le plan P du réseau 11. Lorsqu'une
20 impulsion brève diffracte à travers la pupille dans une direction donnée, il est possible de construire un profil temporel $h(t)$ en appliquant une fonction primitive de $h(t)$ comme fonction de transmittance, à l'aide d'un masque 13, dans le plan de la pupille 12
25 suivant la direction x. Un filtre spatial 14 est placé au point O_2 afin d'obtenir un faisceau homogène spectralement. Un tel dispositif est similaire à un spectromètre. La résolution temporelle est identique à la durée de l'impulsion brève injectée. La durée de
30 l'impulsion de sortie est égale au retard temporel relatif maximal de chacun des rayons du faisceau qui couvre la pupille 12 dans le plan P.

Ce procédé permet d'obtenir de bonnes performances de mise en forme de profil temporel,
35 notamment le nombre de points souhaités. Il est

programmable : il suffit de placer un filtre spatial variable dans le plan de la pupille. Il produit des impulsions quasi-monochromatiques. Il permet, de plus, de produire une longueur d'onde accordable. En
5 revanche, il possède un rendement très faible en énergie, de l'ordre de l'inverse du nombre de points résolus.

10 • Procédé de mise en forme temporelle par transformée de Fourier

Les champs dans le domaine fréquentiel et dans le domaine temporel sont liés par la transformée de Fourier $E(v)=TF[E(t)]$.

Si l'on veut que le profil temporel $A(t)$ de
15 l'impulsion réponde aux limites de Fourier, le champ doit posséder une phase linéaire avec la variable spectrale. L'impulsion est alors quasi-monochromatique. En agissant sur l'amplitude et la phase de l'impulsion incidente, il est possible de
20 modifier le profil temporel de celle-ci. Le masque spectral $M(v)$ en amplitude et en phase doit alors satisfaire la relation : $\tilde{E}_0(v)M(v)=TF[A(t)\exp(i\omega_0 t)]$, où $\tilde{E}_0(v)$ est le champ spectral incident du dispositif. Le procédé consiste donc en une simple sélection spectrale
25 (en amplitude et en phase) à condition que le champ spectral incident comporte toutes les composantes spectrales du champ à produire (c'est-à-dire si $|M(v)|<1$).

Dans le dispositif de la figure 2, on part
30 d'une impulsion courte possédant un spectre large. On modifie l'amplitude spectrale en utilisant un dispositif de sélection spectrale 20 formé de filtres spectraux d'amplitude et de phase. On obtient alors un profil temporel qui est la transformée de Fourier de

l'amplitude spectrale que l'on a mise en forme dans le plan spectral.

On peut remarquer que la sélection spectrale s'effectue de manière similaire pour la majorité des systèmes optiques. Il suffit de placer un filtre spatial dans un plan particulier du dispositif de sélection spectrale. Il est alors possible d'obtenir une mise en forme programmable en utilisant un système de transmission variable spatial.

Ce procédé de mise en forme temporelle par transformée de Fourier donne de bons résultats en nombre de points résolus puisque l'on peut atteindre les résolutions demandées. Il est également programmable puisqu'il utilise la sélection spectrale. Ce procédé permet d'engendrer un spectre étroit, et la longueur d'onde est de plus accordable : il suffit de déplacer le masque dans le plan spectral pour changer la longueur d'onde. La durée de l'impulsion est variable, néanmoins elle est dépendante de la largeur spectrale de l'impulsion produite (par l'intermédiaire de la transformée de Fourier). On ne peut donc pas obtenir des impulsions longues. Le principal inconvénient d'un tel procédé est en fait le rendement énergétique. En effet la mise en forme temporelle avec une bonne résolution dans le plan spectral nécessite de grandes pertes en énergie si l'on veut obtenir un spectre étroit, puisque l'on doit couper une grande partie du spectre. Ce procédé est, en conséquence, très peu utilisé.

30

• Procédé de mise en forme temporelle d'impulsions à dérive de fréquence

Un tel procédé est décrit dans le document référencé [2]. Le schéma de principe de ce procédé est illustré sur la figure 3. Les impulsions sont

35

représentées schématiquement afin de montrer leur durée et leur largeur spectrale. On peut réaliser la mise en forme temporelle de manière totalement optique en utilisant des impulsions courtes. De telles impulsions
5 qui possèdent un spectre large sont dispersées en fréquence après passage dans un dispositif dispersif 22, tel que celui décrit dans le document [3]. La dispersion des longueurs d'onde s'effectue alors temporellement, ce qui revient à étaler les longueurs
10 d'onde composant le spectre large dans le temps. En sélectionnant les longueurs d'onde à l'aide d'un dispositif de sélection spectrale 23, on effectue la mise en forme de profil temporel.

On peut obtenir à l'aide de ce procédé une
15 très bonne résolution avec un nombre de points résolus supérieur à 100. Ce procédé permet une mise en forme de profil temporel programmable : il consiste en effet à transférer la mise en forme dans le domaine spectral et il existe un grand nombre de systèmes de sélection
20 spectrale programmables, tel que celui décrit dans le document [4]. La perte en énergie provoquée par un tel procédé est minimale, on ne perd que les composantes de l'impulsion essentielles pour sa mise en forme de profil temporel. Cependant l'impulsion mise en forme
25 possède un spectre large.

On peut remarquer que les procédés utilisant un dispositif de sélection spectrale 23 pour effectuer la mise en forme du profil temporel d'une impulsion, dont l'action est schématisée sur la figure 4,
30 fonctionnent tous en général sur la base d'un spectromètre. Le pouvoir de résolution est, par définition, le rapport entre la longueur d'onde centrale du dispositif λ et la résolution spectrale $\delta\lambda$: $R=\lambda/\delta\lambda$. Le nombre P de points résolus en temps est
35 défini par T_1/T_2 et est donné par la

relation : $P = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \frac{\lambda}{\delta\lambda}$. La quantité $\Delta\lambda/\lambda$ est une caractéristique de l'impulsion laser incidente au système. L'ordre de grandeur des quantités $\Delta\lambda/\lambda$ accessibles est de 10^{-2} à 10^{-1} selon les longueurs d'onde utilisées. Le pouvoir de résolution est classiquement de l'ordre de 10^4 . Ce type de dispositif permet donc bien d'atteindre un nombre de points résolus compris entre 100 et 1 000.

10 **Procédés électro-optiques**

Ces procédés effectuent une mise en forme de profil temporel en transposant les signaux électroniques en signaux optiques et en effectuant des interférences entre une partie non modifiée d'une
15 impulsion optique et une partie modifiée de celle-ci à l'aide d'un signal électrique.

Le schéma d'un tel procédé est illustré sur la figure 5. Un champ E_0 d'intensité I_0 est séparé en deux parties. Les deux champs E_a et E_b suivent un trajet différent, l'un des deux champs subissant un déphasage dans un déphaseur 27. On effectue alors leur somme afin de les faire interférer. Le déphasage varie avec le temps. On a ainsi la relation : $E_T = E_a + E_b e^{i\varphi(t)}$. En éclaircissement on obtient alors la relation :

$$25 \quad I_T = \frac{I_0}{2} [1 + \cos \varphi(t)].$$

Ce déphasage peut s'appliquer à l'aide d'un élément électro-optique, par exemple en utilisant l'effet Pockels, comme décrit dans le document référencé [5]. Il existe plusieurs moyens pour former
30 le signal électrique appliqué, mais ceux-ci possèdent tous les mêmes limitations. En effet la gamme des fréquences accessibles par un système électrique est limitée à quelques gigahertz, ce qui est nettement inférieur aux fréquences optiques (environ 100 THz). Un

tel procédé a donc toujours une résolution limitée : quelques dizaines de points au maximum sur toute la durée de l'impulsion pour des impulsions nanoseconde par exemple. Il est, de plus, extrêmement difficile
5 d'obtenir les formes désirées de signal électrique. Les méthodes programmables existantes reposent sur la somme de plusieurs signaux électriques. On utilise par exemple la somme de plusieurs gaussiennes ou de fonctions d'Heavyside de différentes intensités pour
10 créer le signal voulu, mais cela se solde toujours par des modulations d'amplitudes résiduelles sur le signal optique. La seule alternative pour améliorer ces modulations et la résolution est d'augmenter le nombre de composants électro-optiques, ce qui ajoute de
15 nombreux inconvénients en terme de coût, d'encombrement et de facilité d'utilisation. Il est également possible de limiter les modulations en filtrant le signal électrique. Cependant un tel filtrage réduit la résolution du procédé. Il faut alors parvenir à un
20 compromis entre la résolution désirée et les modulations.

Ces procédés électro-optiques sont néanmoins les plus utilisés. Ils fonctionnent avec des impulsions possédant un spectre étroit et n'importe quelle durée
25 si elle reste supérieure à la nanoseconde. Ils sont également programmables en jouant sur le signal électrique. De plus ils n'occasionnent pas de pertes énergétiques trop importantes. Cependant ces procédés ne rendent pas la longueur d'onde accordable et restent
30 limités en résolution.

Aucun des procédés de l'art connu ne permet donc de vérifier tous les critères souhaités. Les procédés optiques permettent en général d'obtenir de
35 très bonnes performances en terme de résolution, mais

ils ne peuvent être utilisés qu'avec des impulsions possédant un spectre large, et sont onéreux en énergie. Les procédés électro-optiques permettent de créer des impulsions monochromatiques, mais ne possèdent pas les performances d'une mise en forme toute optique.

Le procédé de l'invention a donc pour objectif de résoudre les problèmes posés par les procédés de l'art connu, en permettant de satisfaire l'ensemble des différents critères énoncés précédemment.

Exposé de l'invention

La présente invention concerne un procédé optique de mise en forme programmable du profil temporel d'impulsions optiques quasi-monochromatiques comprenant les étapes suivantes :

- on répartit chaque composante spectrale d'une impulsion à spectre large dans le temps et on obtient une impulsion allongée en conservant la largeur spectrale ;

- on met en forme l'impulsion spectralement et par conséquent temporellement ;

caractérisé en ce qu'il comprend une étape ultérieure dans laquelle on convertit le spectre large en spectre étroit en conservant la mise en forme temporelle.

Dans un mode de réalisation :

- on utilise deux impulsions d'entrée ;
- on allonge ces deux impulsions ;
- on met en forme l'une des deux impulsions ;
- on effectue un mélange des fréquences de ces deux impulsions en effectuant la somme ou la différence des fréquences de ces deux impulsions.

On peut de plus effectuer une adaptation en fréquence de l'une des deux impulsions avant le mélange en fréquence.

Dans un premier exemple de réalisation :

5 - on utilise deux impulsions dont les dérivées de fréquences sont de signes opposés, ces deux impulsions étant telles que : $\omega_1(t) = \omega_0 + \varphi'(t)$ et $\omega_2(t) = \omega_0 - \varphi'(t)$;

10 - on met en forme temporellement l'une des deux impulsions ;

 - on effectue la somme de fréquences des deux impulsions afin d'obtenir une impulsion monochromatique, mise en forme temporellement, telle que : $\omega_3(t) = \omega_2(t) + \omega_1(t) = 2\omega_0$.

15 Dans un second exemple de réalisation :

 - on utilise deux impulsions d'entrée dont les dérivées de fréquences sont de mêmes signes, ces deux impulsions étant telles que : $\omega_1(t) = \omega_0 + 2\varphi'(t)$ et $\omega_2(t) = \omega_0 + \varphi'(t)$;

20 - on met en forme temporellement l'une des deux impulsions ;

 - on convertit la seconde impulsion vers sa seconde harmonique ;

25 - on effectue la différence de fréquences des deux impulsions afin d'obtenir une impulsion monochromatique, mise en forme temporellement telle que : $\omega_3(t) = \omega_2(t) - \omega_1(t) = \omega_0$.

 Le procédé de l'invention répond complètement aux exigences demandées. Il profite en fait des
30 excellentes performances de mise en forme du profil temporel optique. Il parvient à produire une impulsion à spectre étroit, et de plus il bénéficie d'une fonction très avantageuse : il offre en effet la
possibilité d'obtenir une longueur d'onde variable sur
35 quelques nanomètres. De plus, son rendement énergétique

est bon, car il dépend principalement de la conversion de fréquence, et l'impulsion peut être adaptée (en terme d'intensité) au processus de conversion de façon à obtenir un excellent rendement.

5 La présente invention concerne également un dispositif optique de mise en forme programmable du profil temporel d'impulsions optiques quasi-monochromatiques comprenant :

- un dispositif dispersif ;
 - 10 - un dispositif de sélection spectrale ;
- caractérisé en ce qu'il comprend, en outre, un dispositif de conversion spectre large en spectre étroit.

Dans un mode de réalisation, ce dispositif
15 comprend :

- une première voie comprenant un premier dispositif dispersif suivi d'un dispositif de sélection spectrale ;
- une deuxième voie comprenant un second
20 dispositif dispersif ;
- un dispositif de mélange des signaux de sorties de ces deux voies ;
- et éventuellement un dispositif d'adaptation de fréquence disposé sur l'une des deux
25 voies.

Brève description des dessins

La figure 1 illustre le schéma de principe de la mise en forme du profil temporel par modulation spectrale de l'art antérieur.
30

La figure 2 illustre le schéma de principe de la mise en forme de profil temporel par transformée de Fourier de l'art antérieur.

La figure 3 illustre le schéma de principe de la mise en forme de profil temporel d'impulsions à dérive de fréquence de l'art antérieur.

La figure 4 illustre le principe de
5 fonctionnement des systèmes de mise en forme de profil temporel par sélection spectrale de l'art antérieur.

La figure 5 illustre le schéma de principe de la mise en forme de profil temporel par des procédés électro-optiques de l'art antérieur.

10 La figure 6 illustre le principe de mise en forme de profil temporel selon l'invention.

La figure 7 illustre le procédé de mise en forme de profil temporel selon l'invention.

Les figures 8 à 14 illustrent différents
15 exemples de mise en oeuvre du procédé de l'invention.

Exposé détaillé de modes de réalisation

Le principe de l'invention consiste à adapter le procédé de mise en forme de profil temporel
20 d'impulsions à dérive de fréquence qui comporte :

- une étape de dispersion de fréquence ;
- une étape de sélection spectrale ;

en les faisant suivre d'une étape de conversion spectre large-spectre étroit.

25 Ainsi sur la figure 6 un dispositif dispersif 22 permet de répartir dans le temps une impulsion d'entrée qui possède un spectre large et une faible durée pour obtenir une impulsion allongée, tout en conservant la largeur spectrale. Un dispositif de
30 sélection spectrale 23 permet alors de mettre en forme l'impulsion spectralement et donc temporellement. Un dispositif de conversion 30 permet ensuite d'obtenir un spectre étroit à partir du spectre large en conservant la mise en forme temporelle.

Le procédé de l'invention reprend donc bien le principe de la mise en forme de profil temporel d'une impulsion à dérive de fréquence, en l'adaptant à la conversion de spectre large en spectre étroit. On
5 bénéficie, malgré tout, des excellentes performances du procédé de mise en forme temporelle d'impulsions à dérive de fréquence. On obtient ainsi le même nombre de points résolus (de 100 à 1 000 selon les configurations). Le nombre de points est d'ailleurs
10 d'autant plus grand que le spectre est large. On peut également le programmer de façon identique.

L'étape de conversion spectre large en spectre étroit permet d'obtenir des impulsions possédant un spectre étroit uniquement limité par la
15 transformée de Fourier des fronts de montée que l'on veut créer. La conversion permet de disposer d'une impulsion réglable sur une plage dépendant de la largeur spectrale des impulsions à l'origine.

Pour utiliser le dispositif de conversion permettant d'obtenir une impulsion à spectre étroit à
20 partir d'une impulsion à spectre large, il est nécessaire de modifier le dispositif de mise en forme temporelle d'impulsion à dérive de fréquence. On va pour cela créer deux impulsions à spectre large.

Comme illustré sur la figure 7, on considère donc deux impulsions courtes allongées à l'aide de systèmes dispersifs 31 et 32 qui ajoutent chacun une phase spectrale aux impulsions. On peut alors obtenir une expression de la phase introduite par les systèmes
25 dispersifs en fonction du temps $\phi_i(t)$. On peut introduire l'expression de la fréquence instantanée de ces deux impulsions : $\omega_1(t) = \omega_{10} + \phi_1'(t)$ et $\omega_2(t) = \omega_{20} + \phi_2'(t)$. En notant $\phi_i'(t)$ la dérivé de la phase par rapport au temps. Les deux impulsions possèdent un
30 spectre large. On met en forme l'une des deux
35

impulsions à l'aide d'un dispositif à sélection spectrale 33. Pour obtenir une impulsion monochromatique on effectue alors la somme ou la différence des fréquences dans un dispositif de mélange de fréquence 34, tel que décrit précédemment. On a
5 alors $\omega_3(t) = \omega_1(t) \pm \omega_2(t) = \omega_{10} + \varphi_1'(t) \pm (\omega_{20} + \varphi_2'(t))$.

La fréquence de l'onde produite par le dispositif de conversion de fréquence 34 est telle que : $\omega_3(t) = (\omega_{10} \pm \omega_{20}) + \varphi_1'(t) \pm \varphi_2'(t)$.

10 Dans le procédé de l'invention on adapte les dérivées de fréquences des deux impulsions afin de pouvoir reconstituer un spectre étroit. On choisit la dérivée de fréquence, ce qui signifie que l'on adapte les termes de phase introduits par les systèmes
15 dispersifs pour que la somme $\varphi_1'(t) \pm \varphi_2'(t)$ soit nulle. On obtient donc une impulsion monochromatique de fréquence $\omega_3(t) = (\omega_{10} \pm \omega_{20})$. En utilisant ce procédé on conserve la mise en forme du profil temporel effectuée sur l'impulsion.

20 On peut ajouter également un dispositif d'adaptation en fréquence 35 qui est utilisé pour modifier la fréquence de l'impulsion, afin d'obtenir la pulsation désirée ω_3 en sortie. Ce dispositif 35 n'est pas indispensable dans tous les cas. On peut de plus le
25 placer en d'autres emplacements : par exemple avant le premier 31 ou le second 32 dispositifs dispersifs, après le premier dispositif 32 dispersif, avant ou après le dispositif de sélection spectrale 33.

30 On va à présent considérer un exemple de mise en oeuvre du procédé de l'invention.

EXEMPLE DE REALISATION• Dispositifs dispersifs à réseaux 31 et 32

Pour manipuler les dérivées en fréquences des impulsions, on utilise des dispositifs dispersifs à réseaux, comme décrit dans le document [6].

Les dispositifs dispersifs classiques mis au point pour comprimer et étirer les impulsions courtes peuvent ainsi utiliser des réseaux en réflexion. Un tel réseau 40, tel qu'illustré sur la figure 8, est un composant optique qui disperse angulairement les différentes longueurs d'onde d'un faisceau incident 41. La loi de dispersion des réseaux fonctionnant en réflexion pour un faisceau dont la direction de propagation est perpendiculaire à la direction définie par les traits des réseaux est la suivante : $\sin(i) + \sin(\alpha(\lambda)) = p N \lambda$. Dans cette expression, i est l'angle d'incidence sur le réseau, α est l'angle de diffraction, p est un entier qui donne l'ordre de la diffraction. On fait généralement travailler les réseaux au premier ordre de diffraction. La densité de traits par unité de longueur du réseau est notée N . La longueur d'onde est notée λ .

Un dispositif dispersif de ce type, composé de deux réseaux 43 et 44, est illustré sur la figure 9. Le premier réseau 43 disperse les fréquences de l'impulsion d'entrée courte I_E ; le second réseau 44, parallèle au premier, annule cette dispersion. Un double passage dans l'ensemble, grâce au miroir 45, permet d'obtenir une impulsion laser allongée homogène I_S .

Les composantes spectrales monochromatiques d'une impulsion à spectre large entrent en même temps dans le dispositif. Chaque composante parcourt un chemin différent des autres. Elle acquiert alors un

retard temporel et toutes les composantes se trouvent ainsi réparties en temps en sortie du système.

5 • Dispositifs de sélection spectrale à réseaux 33
 (ligne à dispersion nulle)

10 Pour agir sur le spectre de l'impulsion, on utilise un dispositif de sélection spectrale composé d'un réseau 47, d'une lentille 48, d'un miroir 49, et d'un masque 50, comme illustré sur la figure 10. Ce
15 dispositif permet de transférer l'information spectrale contenue dans l'impulsion dans le domaine temporel. En effet, le mode de fonctionnement de ce dispositif est le suivant : le réseau 47 est un dispositif dispersif. Il établit un codage angulaire des longueurs d'onde. La
20 lentille 48 dont le plan focal objet est confondu avec le réseau 47 transfère le codage angulaire en codage spatial dans le plan focal image. En associant les deux éléments on obtient au plan focal de la lentille (plan spectral) une répartition spatiale de l'intensité image
25 de l'intensité spectrale. Ce dispositif est équivalent à un spectromètre.

 Dans le plan spectral il est possible de sélectionner les fréquences en utilisant le masque 50 de mise en forme spatiale en amplitude caractérisé par
30 une transmission $T(x)$ en fonction de la variable spatiale. $I_{\text{sortie}}(\lambda) = I_{\text{entrée}}(\lambda) \cdot T[x(\lambda)]$.

 Pour retrouver l'impulsion de mise en forme temporellement, il suffit de lui faire parcourir le même chemin en sens inverse. On peut par exemple placer
35 le miroir 49 au niveau du plan spectral.

 Pour réaliser la sélection spatiale dans le plan spectral de manière programmable, on peut utiliser un dispositif de mise en forme spatiale variable, tel que décrit dans le document référencé [7]. Ce
40 dispositif fonctionne suivant le principe suivant : une

image créée sur ordinateur est adressée à un écran matriciel à cristaux liquides. Celui-ci est projeté sur une valve photoconductrice dont la transmission optique varie en fonction de l'éclairement reçu. Le faisceau
5 laser traversant la valve acquiert une répartition d'intensité proportionnelle à l'image initialement engendrée. La figure 11 montre le schéma de principe du système. Sur cette figure sont illustrés une source incohérente 52, un filtre 53, un écran LCD matriciel à
10 adressage électrique 54, une lentille 55, un miroir dichroïque 56, un modulateur à adressage optique 57, le profil du faisceau résultant 58, et le laser à moduler 59

La valve photoconductrice est ainsi réalisée
15 par une couche de cristaux liquides orientés parallèlement les uns aux autres. Sous l'effet d'un éclairement, les cristaux changent d'orientation créant ainsi une biréfringence locale. Une onde incidente polarisée linéairement va donc subir des modifications
20 locales de polarisation. Après repolarisation de l'onde ainsi créée, des modulations d'amplitude peuvent être observées.

• Dispositif d'adaptation en fréquence 35

25 Pour réaliser l'adaptation en fréquence, il est possible de convertir la fréquence de l'impulsion vers son harmonique en utilisant par exemple un cristal de KDP 61. A partir d'une impulsion de fréquence 1ω , on peut ainsi obtenir selon les besoins une impulsions à
30 2ω . Le schéma de principe d'un tel fonctionnement est illustré sur la figure 12.

• Dispositif de mélange de fréquence 34

On va considérer, ci-dessous, deux exemples de réalisation d'un tel dispositif de mélange de fréquences.

5

1- Cas de la mise en forme du profil temporel en amplitude d'une impulsion à une longueur d'onde moitié de la longueur d'onde incidente

10 Dans cet exemple, on effectue une somme de fréquences dans le dispositif de mélange de fréquences 34. Les dérivées de fréquences des deux signaux d'entrée dans ce dispositif sont de signes opposés. On choisit les deux impulsions telles que $\omega_1(t) = \omega_0 + \varphi'(t)$ et
15 $\omega_2(t) = \omega_0 - \varphi'(t)$. La première impulsion est ensuite mise en forme temporellement à l'aide d'un dispositif de sélection spectrale 31. Dans ce cas, on n'utilise pas de dispositif d'adaptation en fréquence. On effectue la somme de fréquence des deux impulsions dans le module
20 de mélange de fréquences 34 afin d'obtenir l'impulsion désirée monochromatique et mise en forme temporellement. On effectue l'opération : $\omega_3(t) = \omega_2(t) + \omega_1(t) = 2\omega_0 + \varphi'(t) - \varphi'(t) = 2\omega_0$.

On obtient alors naturellement une onde
25 monochromatique à la fréquence harmonique possédant les mêmes caractéristiques de mise en forme temporelle que les signaux d'entrée.

On peut ainsi partir d'une impulsion à 1053 nm. On sépare celle-ci en deux parties. On met en forme
30 les dérivées de fréquence des deux impulsions ainsi créées. Puis on utilise un cristal de KDP type I ($\theta = 41^\circ 18'$) en configuration doubleur autour de un micron mètre.

Comme illustré sur la figure 13, dans
35 l'espace des fréquences (ω_1, ω_2), la zone d'accord de

phase 70 telle que $\Delta K.L < 2\pi$ (L : épaisseur du cristal) est à peu près linéaire et possède une pente de -1. Cette pente est exactement celle qu'il faut pour créer une onde monochromatique. Il suffit par conséquent de
 5 placer les longueurs d'onde en adaptant leur dérive de fréquence selon cette direction (droite 71) pour obtenir une impulsion à 2ω (0,5 nm) monochromatique.

**2- Cas de la mise en forme du profil temporel en
 10 amplitude d'une impulsion à une longueur d'onde identique à la longueur d'onde de l'impulsion incidente**

On effectue alors une différence de fréquences dans le dispositif de mélange de fréquences
 15 34. Dans ce cas, on introduit une dérive de fréquence de même signe sur les deux impulsions. la dérive de fréquence est adaptée afin de pouvoir recréer ensuite une impulsion à spectre étroit. On choisit donc : $\omega_1(t) = \omega_0 + 2\phi'(t)$ et $\omega_2(t) = \omega_0 + \phi'(t)$. La première impulsion
 20 est ensuite mise en forme temporellement à l'aide d'un dispositif de sélection spectrale 33, tandis que la seconde est convertie en fréquence vers sa seconde harmonique dans le module adaptation en fréquence. Sa fréquence instantanée est telle que : $\omega_2(t) = 2\omega_0 + 2\phi'(t)$.
 25 Enfin dans le dispositif de mélange de fréquences 34, on effectue la différence de fréquences des deux impulsions afin d'obtenir l'impulsion désirée monochromatique et mise en forme temporellement. On effectue donc l'opération : $\omega_3(t) = \omega_2(t) -$
 30 $\omega_1(t) = 2\omega_0 + 2\phi'(t) - \omega_0 - 2\phi'(t) = \omega_0$.

On obtient donc naturellement une onde monochromatique possédant les mêmes caractéristiques de mise en forme temporelle que les ondes l'ayant créée.

On peut ainsi partir d'une impulsion à
 35 1053 nm. On sépare celle-ci en deux parties. On met en

- forme les dérives de fréquences des deux impulsions ainsi créées et on convertit l'une des deux vers sa seconde harmonique. Enfin, on utilise un cristal de KDP type II ($\theta=59^{\circ}228$) en configuration doubleur autour de
- 5 un micron mètre. On ne se trouve pas en accord de phase pour toutes les longueurs d'onde mais on utilise le fait que l'on est proche de la longueur d'onde non critique et donc que l'acceptance spectrale du KDP est grande pour la gamme de longueurs d'onde.
- 10 Comme illustré sur la figure 14, dans l'espace des fréquences (ω_1, ω_2), la zone d'accord de phase 72 telle que $\Delta K.L < 2\pi$ est à peu près linéaire et possède une pente de 1,7. Pour créer une impulsion monochromatique il aurait fallu une pente de 1. On
- 15 utilise cependant la grande acceptance spectrale du cristal. En plaçant les couples de longueurs d'onde sur la droite 73 de pente 1, on se trouve encore dans le domaine où le rendement de conversion de fréquence n'est pas affecté par le désaccord de phase.

REFERENCES

- [1] « Shaping Of Short Laser Pulses By Passive Optical Fourier Techniques » de B. Colombeau, M. Vampouille
5 et C. Froehly (Optics Communications, volume 19, numéro 2, pages 201-204, novembre 1976)
- [2] « Shaping Of Nanosecond Linearly Chirped Pulses » (LLE review, Quaterly Report, Octobre-Décembre 1992, LLE Review, volume 53, paragraphe 1.F)
- 10 [3] « Negative Group-Velocity Dispersion Using Refraction » de O.E. Martinez, J.P. Gordon et R.L. Fork (Journal of Optical Society of America, volume 1, numéro 10, octobre 1984, pages 1003 à 1006)
- [4] « Liquid Crystal Light Valve Using Bulk
15 Monocrystalline $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ As The Photoconductive Material » de P. Aubourg, J.P. Huignard, M. Hareng et R.A. Mullen (Applied Optics, volume 21, numéro 20, 15 octobre 1982)
- [5] « Amplitude Modulation Of Kilowatt Laser Pulses
20 With LNO Pockels Cells Experiments And Results On Phebus Facility » de E. Bar, R. Bailly-Salins, F. Boubal et N. Boyer (Solid State Lasers For Application (SSLA) To Inertial Confinement Fusion (ICF), Third International Conference, 7-12 juin
25 1998, Monterey, Californie, Book of abstracts)
- [6] « Optical Pulse Compression With Diffraction Gratings » de Edmond B. Treacy (IEEE Journal Of Quantum Electronics, volume QE-5, numéro 9, septembre 1969)
- 30 [7] « Amplitude And Phase Coding Measurements Of A Liquid Crystal Television » de V. Laude, S. Maze, P. Chavel et Ph. Réfrégier (Optics Communications, volume 103, numéro 1-2, pages 33 à 38, 1^{er} novembre 1993)

REVENDEICATIONS

1. Procédé optique de mise en forme programmable du profil temporel d'impulsions optiques
5 quasi-monochromatiques comprenant les étapes suivantes :

- on répartit chacune des composantes spectrales d'une impulsion à spectre large dans le temps et on obtient une impulsion allongée en
10 conservant la largeur spectrale ;

- on met en forme l'impulsion spectralement et par conséquent temporellement ;
caractérisé en ce qu'il comprend une étape ultérieure dans laquelle on convertit le spectre large en spectre
15 étroit en conservant la mise en forme temporelle.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel :

- on utilise deux impulsions d'entrée ;
- on allonge ces deux impulsions ;
20 - on met en forme l'une des deux impulsions ;

- on effectue un mélange des fréquences de ces deux impulsions en effectuant la somme ou la différence des fréquences de ces deux impulsions.

25 3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel on effectue une adaptation en fréquence de l'une des deux impulsions avant le mélange en fréquence.

4. Procédé selon la revendication 2, dans lequel :

30 - on utilise deux impulsions dont les dérivées de fréquences sont de signes opposés, ces deux impulsions étant telles que : $\omega_1(t) = \omega_0 + 2\phi'(t)$ et $\omega_2(t) = \omega_0 - \phi'(t)$;

- on met en forme temporellement l'une
35 des deux impulsions ;

- on effectue la somme de fréquences des deux impulsions afin d'obtenir une impulsion monochromatique, mise en forme temporellement, telle que : $\omega_3(t) = \omega_2(t) + \omega_1(t) = 2\omega_0$.

5 5. Procédé selon la revendication 2, dans lequel :

- on utilise deux impulsions d'entrée dont les dérivées de fréquence sont de mêmes signes, ces deux impulsions étant telles que : $\omega_1(t) = \omega_0 + \varphi'(t)$ et
10 $\omega_2(t) = \omega_0 + \varphi'(t)$;

- on met en forme temporellement l'une des deux impulsions ;

- on convertit la seconde impulsion vers sa seconde harmonique ;

15 - on effectue la différence de fréquences des deux impulsions afin d'obtenir une impulsion monochromatique, mise en forme temporellement telle que : $\omega_3(t) = \omega_2(t) - \omega_1(t) = \omega_0$.

20 6. Dispositif optique de mise en forme programmable du profil temporel d'impulsions optiques quasi-monochromatiques comprenant :

- au moins un dispositif dispersif (22) ;

- un dispositif de sélection spectrale (23) ;

25 caractérisé en ce qu'il comprend, en outre, un dispositif de conversion spectre large en spectre étroit (30).

7. Dispositif selon la revendication 6 comportant :

30 - une première voie comprenant un premier dispositif dispersif (31) suivi d'un dispositif de sélection spectrale (33) ;

- une deuxième voie comprenant un second dispositif dispersif (32) ;

- un dispositif (34) de mélange des signaux de sorties de ces deux voies.

8. Dispositif selon la revendication 7 comprenant un dispositif d'adaptation de fréquence (35)
5 disposé sur l'un des deux voies.

9. Dispositif selon la revendication 6, dans lequel le dispositif de mélange de fréquences (34) comprend un cristal biréfringent.

1 / 5

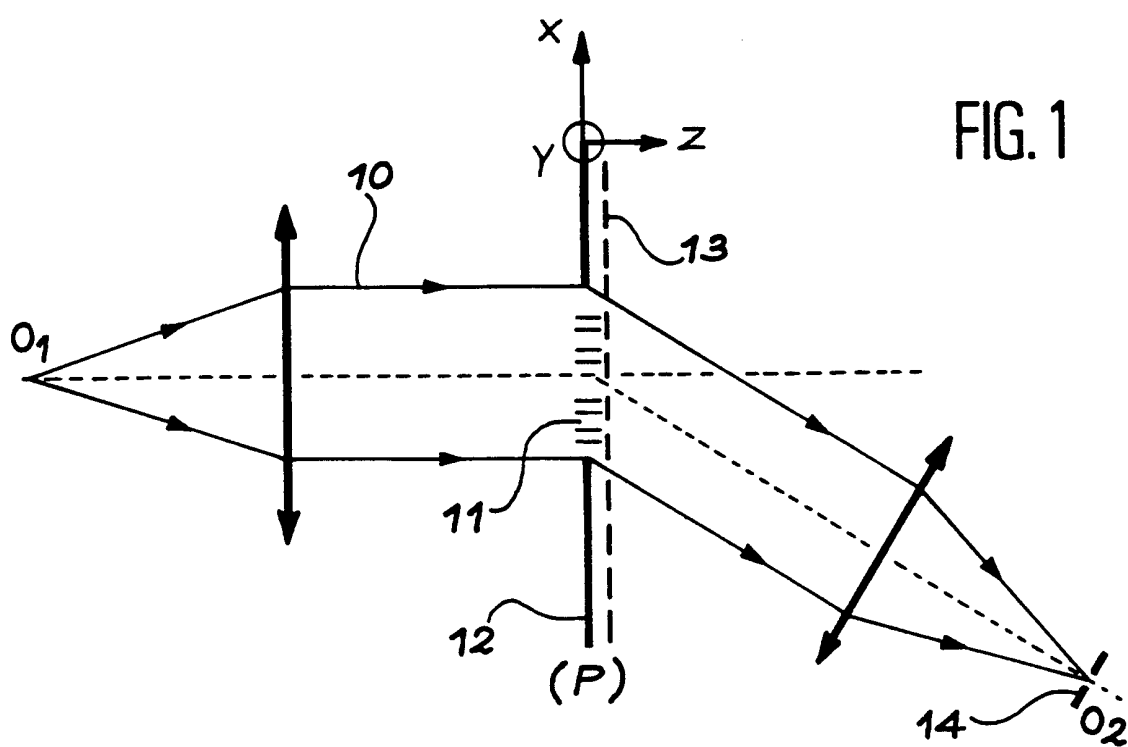


FIG. 1

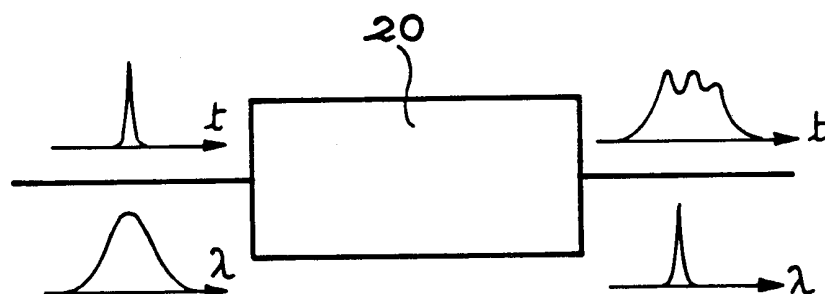


FIG. 2

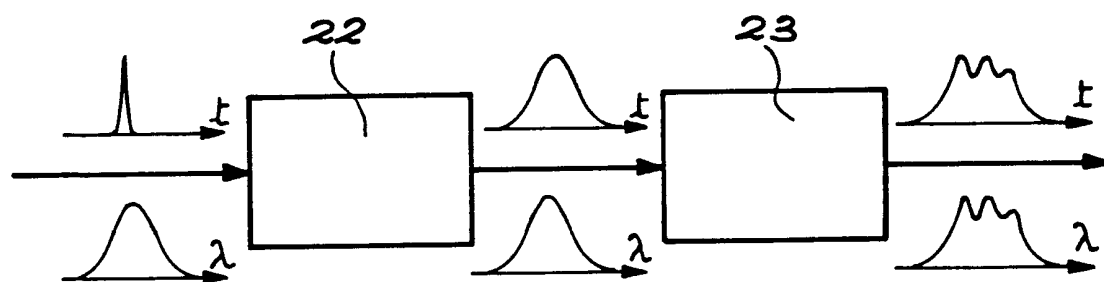


FIG. 3

2 / 5

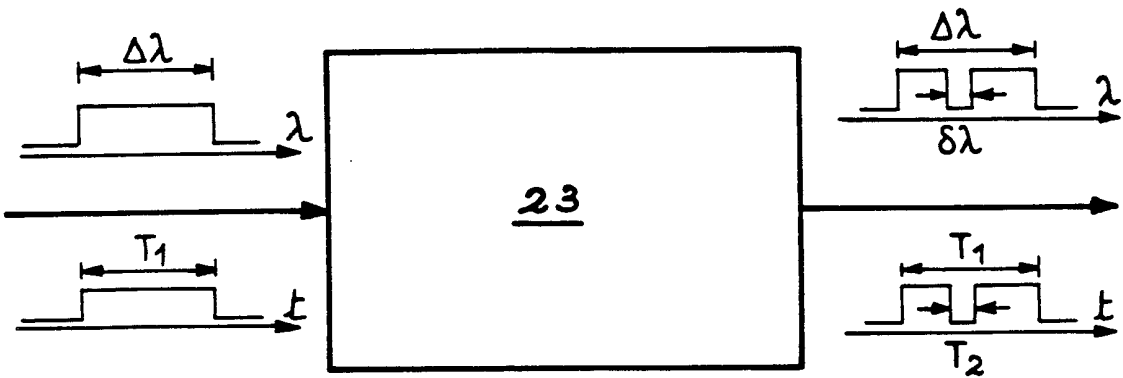


FIG. 4

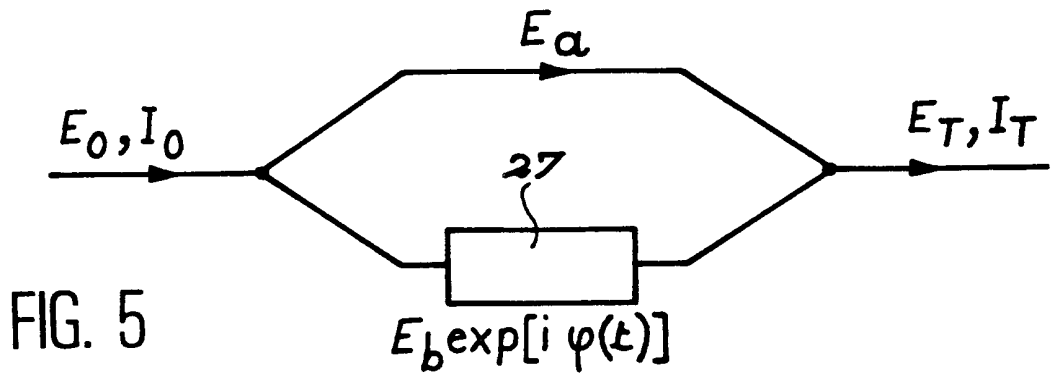


FIG. 5

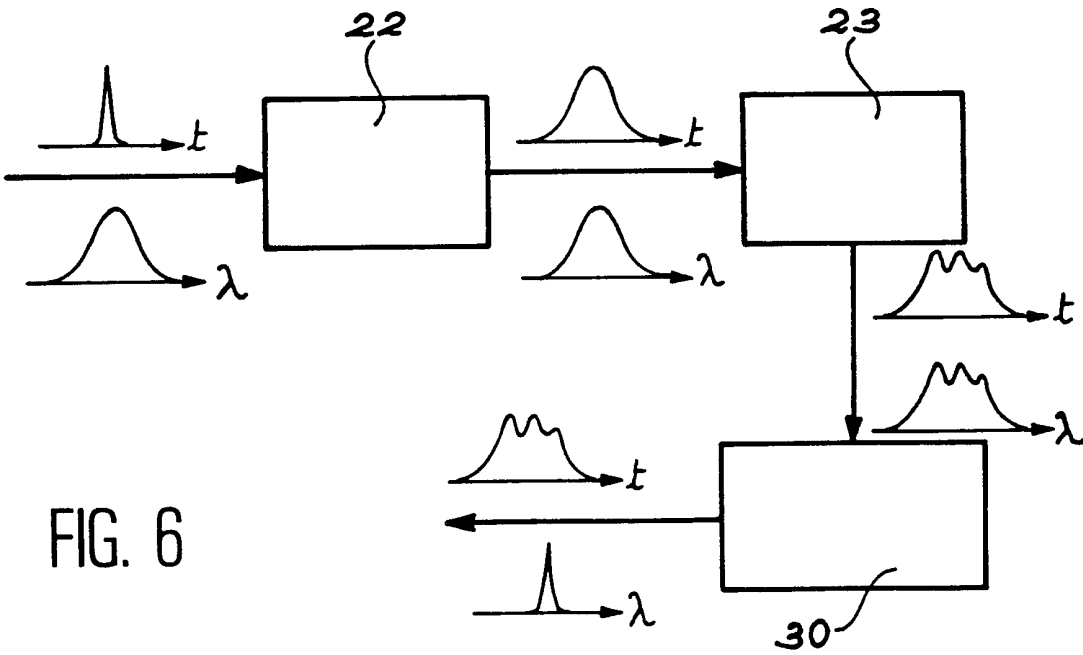


FIG. 6

3/5

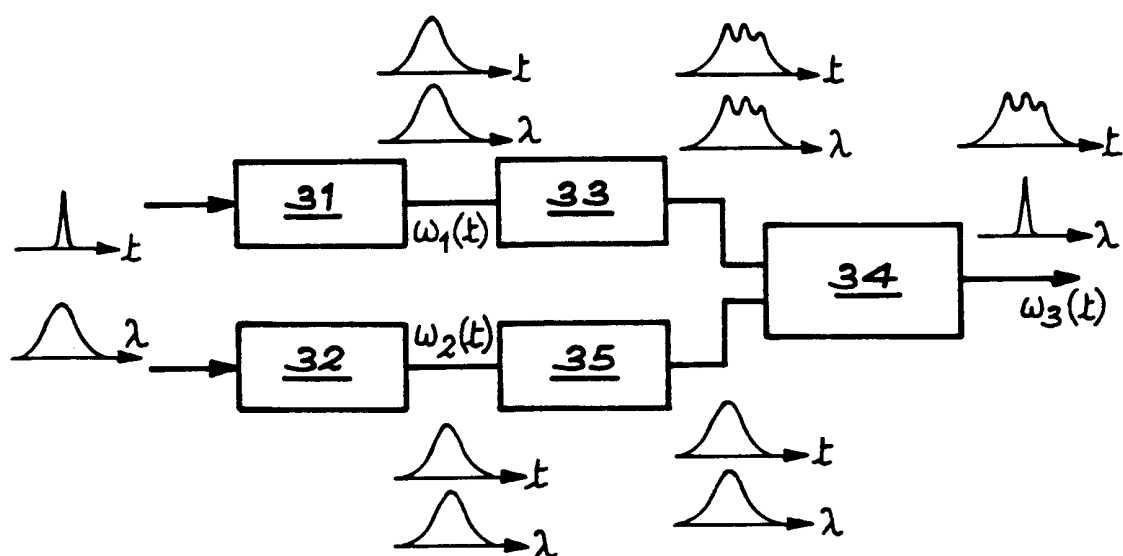


FIG. 7

FIG. 8

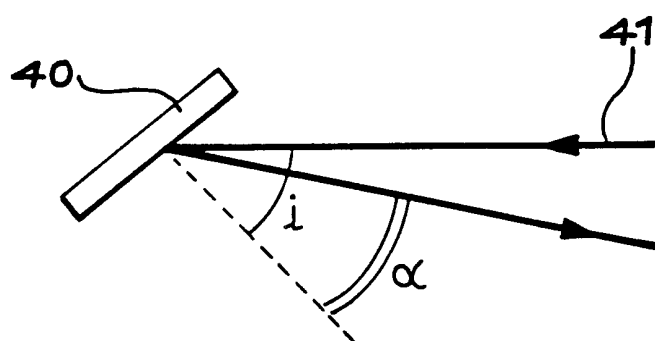
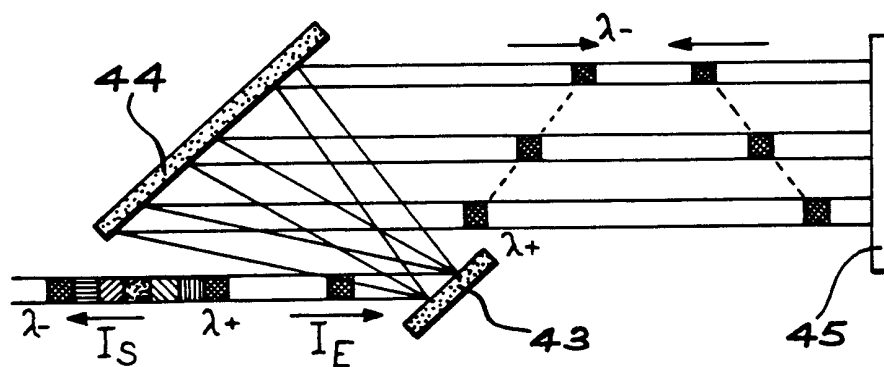


FIG. 9



4/5

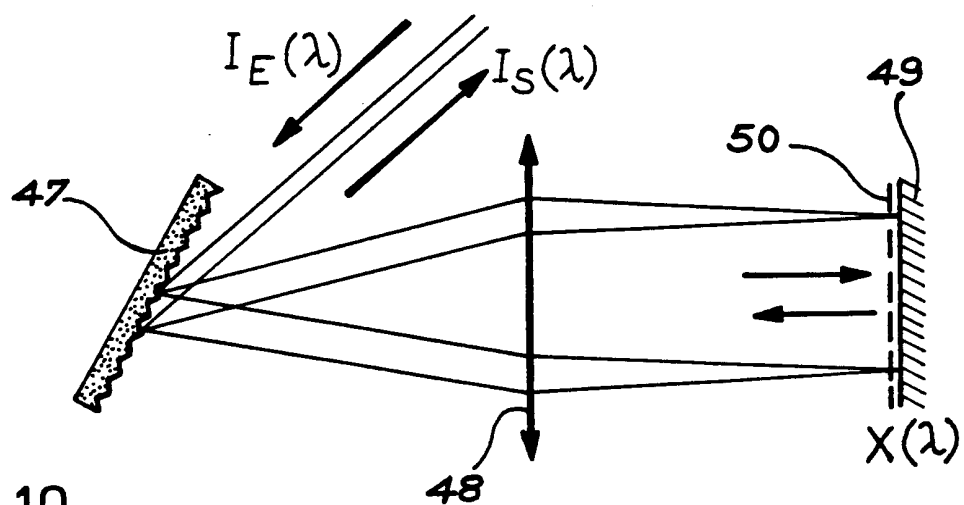


FIG. 10

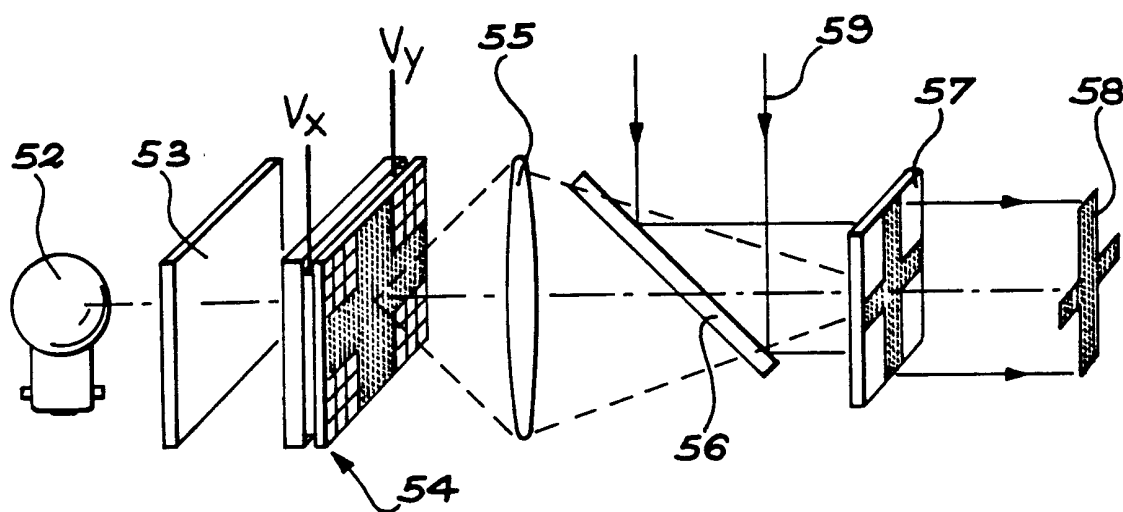


FIG. 11

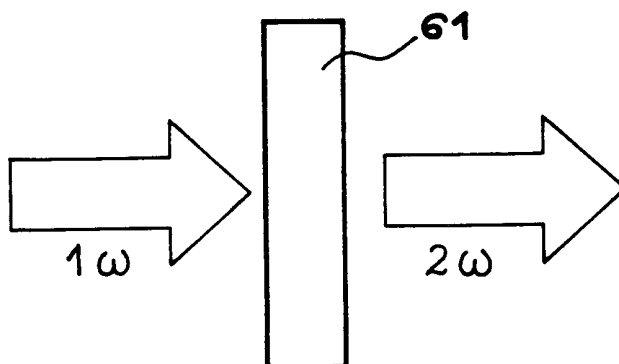


FIG. 12

