



12 **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

21 Numéro de dépôt : **92402694.1**

51 Int. Cl.⁵ : **F42B 3/113**

22 Date de dépôt : **02.10.92**

30 Priorité : **11.10.91 FR 9112566**

43 Date de publication de la demande :
14.04.93 Bulletin 93/15

84 Etats contractants désignés :
CH DE GB IT LI SE

71 Demandeur : **THOMSON-BRANDT
ARMEMENTS
F-45240 La Ferté St. Aubin (FR)**

72 Inventeur : **Winaver, André
THOMSON-CSF, SCPI, Cedex 67
F-92045 Paris la Defense (FR)**
Inventeur : **Broussoux, Dominique
THOMSON-CSF, SCPI, Cedex 67
F-92045 Paris la Defense (FR)**

74 Mandataire : **Benoit, Monique et al
THOMSON-CSF, SCPI, B.P. 329, 50, rue
Jean-Pierre Timbaud
F-92402 Courbevoie Cédex (FR)**

54 **Dispositif d'amorçage pour charge explosive secondaire.**

57 Le dispositif d'amorçage selon l'invention comporte au moins un réservoir d'énergie (1) et une amorce fusible à couche projetée (13) séparés par un commutateur électronique (8) à arséniure de gallium fonctionnant en mode de photo-conduction (11).

Application : systèmes de mise à feu de haute sécurité.

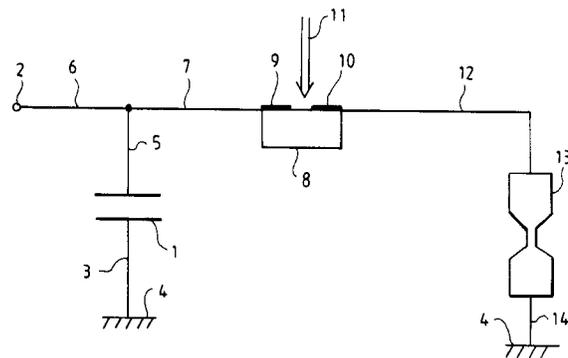


FIG. 1a

La présente invention concerne un dispositif d'amorçage pour charge explosive secondaire comportant au moins un réservoir d'énergie couplé à un élément de commutation d'énergie couplé à une amorce fusible à couche projetée, caractérisé en ce que l'élément de commutation d'énergie est constitué par un commutateur électronique à base de semi-conducteur, sa commutation à la fermeture étant activée par un signal optique impulsionnel.

Selon l'état de l'art, un système d'amorçage de haute sécurité est composé généralement d'un réservoir d'énergie, d'un commutateur d'énergie, de circuits de commande et de vérification des ordres de commutation, et d'une amorce de détonation. Les amorces de détonation de haute sécurité nécessitent, pour assurer un bon fonctionnement, la commutation d'énergies égales à plusieurs centaines de milli-joules, voire un joule, en quelques dizaines de nanosecondes. Cette commutation se traduit dans les circuits électriques par le passage d'un courant égal à plusieurs kilo-ampères sous une tension appliquée de plusieurs kilo-volts. L'élément de commutation actuellement utilisé est un éclateur à gaz ou à vide. Il permet le passage de plusieurs kilo-ampères sous plusieurs kilovolts lorsqu'il est en mode fermé, mais le passage du mode ouvert au mode fermé comporte un temps de commutation trop long pour certaines applications. En effet, le passage du mode ouvert au mode fermé se fait par activation d'une troisième électrode appelée "gâchette" et portée à un fort potentiel, 3 à 4 kv par exemple, cette gâchette provoque une décharge disruptive entre les électrodes principales de l'éclateur, accompagnée de battements selon un phénomène appelé "gigue" en français et généralement connu sous l'appellation anglaise "jitter". Ces "gigues" ou "jitters" retardent l'établissement du mode fermé et provoquent des délais de commutation généralement supérieurs à 100 ns. Les délais et phénomènes de gigue obtenus avec les éclateurs, à gaz ou à vide, sont incompatibles des systèmes d'amorçage multipoints synchrones ou séquencés qui nécessitent une parfaite maîtrise des délais et phénomènes de gigues et nécessitent d'atteindre des temps de commutation de l'ordre de quelques nanosecondes.

Afin d'améliorer la dispersion chronométrique entre les différents amorçages, c'est-à-dire en fait réduire les temps de commutation, une solution consiste à utiliser l'énergie optique issue d'un laser à impulsions pour déclencher la commutation d'énergie au travers de l'éclateur. Ce moyen de déclenchement a été largement décrit dans les publications suivantes: V.A. VUYLSTEKI JAP 34, 1615 (1963), L.L. STEINMETZ - The Review of Scientific Instrument 39 n° 6 (1968) pages 9041/909, H.C. HARGES Texas University Report n° LLL 2257509-1 (1979), R.A. DOUGAL et all J. Phys. D.Appli. Phys. 17 (1984) pages 903/918.

Le principal inconvénient de l'éclateur à déclen-

chement par impulsion optique est qu'il nécessite l'utilisation de laser à impulsions de fortes puissances, comprises par exemple entre 100 kW et 1 MW correspondant à des énergies comprises entre 1 et 10 milli-joules transmises en 10 ns environ, chaque éclateur ayant un laser associé qui lui est propre.

A ce jour, les sources à laser les plus compactes connues, dont le volume représente quelques dizaines de centimètres cubes, limitent les cadences de fonctionnement aux environs d'une fréquence de l'ordre d'un kilo-hertz et ainsi ne permettent pas des fonctionnements séquencés rapides, par exemple tels qu'il y ait 100 ns entre chaque impulsion. De plus, les puissances, supérieures à 100 kW notamment, mises en oeuvre pour le déclenchement des éclateurs, nécessitent l'utilisation, si l'architecture du système l'impose, de fibres optiques spéciales de forts diamètres, fragiles et difficiles à utiliser du fait du faible rayon de courbure qu'elles acceptent sans se briser.

Le but de l'invention est de pallier les inconvénients précités.

A cet effet l'invention a pour objet un dispositif d'amorçage pour charge explosive secondaire comportant au moins un réservoir d'énergie couplé à un élément de commutation d'énergie couplé à une amorce fusible à couche projetée, caractérisé en ce que l'élément de commutation d'énergie est constitué par un commutateur électronique à base de semi-conducteur.

L'invention a pour principaux avantages qu'elle nécessite une faible énergie de déclenchement, typiquement quelques micro-joules, qu'elle permet de faibles délais d'amorçage, typiquement inférieurs à 1 ns, grâce notamment à la disparition des phénomènes de gigue, qu'elle protège les amorçages des rayonnements électromagnétiques, enfin qu'elle permet une plus grande compacité des moyens d'amorçages ainsi qu'une plus grande facilité d'exploitation.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'aide de la description qui suit faite en regard des dessins annexés représentant :

- la figure 1a, un dispositif d'amorçage élémentaire selon l'invention,
- la figure 1b, un exemple de structure de commutateur d'énergie,
- les figures 2a, 2b, 3, 4a, et 4b, des dispositifs d'amorçage multivoies, selon l'invention,
- les figures 5a, 5b, 6a et 6b, des structures possibles contenant plusieurs commutateurs d'énergie pour des dispositifs d'amorçage selon l'invention,
- les figures 7a et 7b, une structure compacte contenant plusieurs commutateurs d'énergie pour des dispositifs d'amorçage selon l'invention.

La figure la présente un dispositif d'amorçage élémentaire selon l'invention. Il comprend un résér-

voir d'énergie électrique 1, un condensateur par exemple dont la capacité vaut entre 0,1 et 0,2 μF et chargé sous quelques kilo-volts, ayant une électrode connectée par l'intermédiaire d'une ligne 3 à un potentiel de référence 4 et son autre électrode connectée d'une part à un point d'entrée 2 du courant de charge du réservoir d'énergie 1 par l'intermédiaire d'une ligne 5,6, et d'autre part à une électrode 9 d'un commutateur d'énergie 8 électronique, à base de semi-conducteur en arséniure de gallium par exemple, fonctionnant en mode de photo-conduction par exemple, par l'intermédiaire d'une ligne 5, 7. L'autre électrode 10 du commutateur 8 est reliée à un pôle d'une amorce fusible à couche projetée 13 par l'intermédiaire d'une ligne 12, l'autre pôle de l'amorce 13 étant relié au potentiel de référence 4 par l'intermédiaire d'une ligne 14. Les lignes 3, 5, 7, 12 et 14 peuvent être constituées par exemple de conducteurs plans afin de réduire les self-inductances parasites et diminuer ainsi des surtensions parasites aux bornes du commutateur 8. La commutation à la fermeture, c'est-à-dire pour le passage d'énergie, est commandée par une impulsion optique 11 de faible niveau. Le commutateur 8 peut commuter des courants de quelques kilo-ampères sous une tension de quelques kilo-volts à ses bornes. L'énergie optique nécessaire à l'activation du commutateur 8 est très faible, environ 100 μJ par exemple, car la présence de l'impulsion optique n'est pas obligatoire sur toute la durée de la commutation d'énergie à travers le commutateur, ainsi pour une durée de commutation d'environ 100 ns, une impulsion optique d'environ 10 ns est suffisante pour déclencher la fermeture du commutateur, celle-ci se maintient une fois l'impulsion optique 11 disparue jusqu'à ce que le courant traversant le commutateur s'annule, c'est-à-dire en fait jusqu'à ce que le réservoir d'énergie 1 soit totalement déchargé. Cette propriété du commutateur optique permet par exemple l'utilisation de diodes laser comme sources optiques, capables par exemple de délivrer une puissance optique d'environ 1kW pendant 10 ns. Il est possible d'envisager un déclenchement du commutateur 8 par un signal qui n'est pas optique, celui-ci pourrait par exemple être remplacé par un signal électrique de faible puissance.

La figure 1b présente un exemple de structure de commutateur 8 à l'arséniure de gallium réalisé pour le dispositif d'amorçage selon l'invention. Il est composé d'un substrat semi-conducteur 15 en arséniure de gallium de résistivité égale à $10^7 \Omega \text{ cm}$ environ, d'épaisseur de 1 mm et de largeur de 1 cm environ sur lequel sont déposées deux électrodes 9, 10 constituées par exemple de quatre couches de métaux successives suivantes : une couche de nickel d'épaisseur 50 Å, d'or de 750 Å, de nickel de 750 Å et d'or de 2000 Å de façon à créer des contacts ohmiques entre le métal et l'arséniure de gallium et à laisser paraître un écart entre les électrodes adapté à la tension ap-

pliquée aux bornes du circuit, par exemple 1mm pour 3 à 4 kilo-volts. Dès l'apparition du faisceau optique impulsionnel 11, un contact électrique s'établit entre les deux électrodes 10 et 19 par l'intermédiaire du substrat semi-conducteur 15 en arséniure de gallium. Il se crée alors un phénomène de type avalanche qui entretient la fermeture du commutateur. Ces électrodes 9, 10 sont connectées aux circuits extérieures par des liaisons métalliques 16, 17 soudées sur les bords 18, 19 des électrodes 9, 10 selon des techniques connues de l'homme de l'art. Le faisceau optique impulsionnel de commutation 11 est issu par exemple d'une source optique laser émettant suivant des longueurs d'onde comprises entre 0,8 et 1,06 μm . Afin d'éliminer les claquages diélectriques de surface, une couche d'environ 5 à 10 μm de diélectrique polymère, par exemple un polyimide, est déposé sur la surface du commutateur 8 contenant les électrodes 9, 10.

La figure 2a présente un dispositif d'amorçage multivoies selon l'invention. Il comprend par exemple n circuits élémentaires du type de celui décrit par la figure 1a. EN1, EN2, EN3 et EN sont les entrées d'énergie pour les condensateurs C1, C2, C3 et Cn. L'énergie stockée dans ces condensateurs est commutée vers les amorces fusibles F1, F2, F3 et Fn par l'intermédiaire des commutateurs à base d'arséniure de gallium PC1, PC2, PC3 et PCn du type de celui de la figure 1b. Ces commutateurs sont respectivement commandés par les signaux impulsionnels optiques 21, 22, 23 et 24. Les condensateurs C1, C2, C3 et Cn d'une part, et les fusibles F1, F2, F3 et Fn d'autre part ont chacun un pôle relié au même potentiel de référence 4. L'impulsion optique de commande peut être amenée sur chacun des commutateurs selon plusieurs méthodes décrites ci-dessous.

Pour un mode d'amorçage synchrone, une structure possible est présentée par la figure 2b. A titre d'exemple, le dispositif comporte trois voies d'amorçage. Une source optique commune 25 à laser par exemple, envoie des impulsions synchrones vers les commutateurs PC1, PC2 et PC3. Ces impulsions optiques sont transmises au moyen de fibres optiques 26, 27 et 28 de mêmes longueurs. Ces fibres optiques peuvent être par exemple en plastique ou en silice.

Pour un mode d'amorçage séquencé pré-programmé, une structure possible est présentée par la figure 3 ; elle est identique à la structure de la figure 2b à l'exception des longueurs des fibres optiques 31, 32 et 33 qui ne sont plus identiques. Pour ce mode de fonctionnement, la longueur de chacune des fibres 31, 32 et 33 est adaptée aux délais nécessaires entre les amorçages. Généralement, un mètre de fibre optique engendre un retard d'environ 3 ns, selon la nature des fibres optiques, ce retard peut être défini précisément.

Pour un mode d'amorçage séquencé programmé en cours de mission et adapté par exemple, selon la

cible à détruire, deux structures possibles sont présentées par les figures 4a et 4b. La structure de la figure 4a comprend une source optique commune 25, à laser par exemple. Des fibres optiques 41, 42 et 43 guident un signal impulsionnel optique vers chacune des trois entrées EN1, EN2 et EN3 d'une matrice optique 44. Cette matrice optique 44 est constitué d'un système de commutations optiques qui permet d'obtenir un certain nombre de séquences pré-établies en fonction par exemple d'informations acquises en cours de mission. En sorties SO1, SO2, SO3 de la matrice 44, trois fibres optiques 45, 46, 47 de mêmes longueurs permettent l'acheminement des signaux impulsionnels optiques vers les commutateurs PC1, PC2 et PC3. La publication Aérospatiale "4ème Congrès International de Pyrotechnie Spatiale" relative à la conférence organisée par le Groupe Technique de Pyrotechnie Spatiale (GPTS) du 05 au 09 Juin 1989, pages 207 à 213, fait état d'un certain nombre de moyens pour obtenir les séquences précitées par commutation optique.

La figure 4b présente une structure possible où il y a autant de sources à laser L1, L2, L3 qu'il y a de commutateurs PC1, PC2 et PC3. Ces sources laser sont déclenchées selon des séquences programmables par des circuits électroniques de commande 48 dont la réalisation est connue de l'homme de l'art. Les lasers L1, L2, L3 émettent respectivement des impulsions optiques 491, 492, 493 vers les commutateurs PC1, PC2 et PC3.

Les figures 5a et 5b présentent une structure possible contenant plusieurs commutateurs d'énergie et réalisée pour être par exemple utilisée dans les dispositifs d'amorçage multivoies décrits par les figures 2a et 4b.

La figure 5a représente une vue de dessus d'un substrat 51 semi-conducteur en arséniure de gallium par exemple, sur lequel est déposé un réseau d'électrodes métalliques 511, 512, 513, 521, 522 et 523 formant trois commutateurs, les électrodes 511 et 521 formant un premier commutateur relié en entrée à une ligne 531 et en sortie à une ligne 541, les électrodes 512 et 522 formant un deuxième commutateur relié en entrée à une ligne 532 et en sortie à une ligne 522, et les électrodes 513 et 523 formant un troisième commutateur relié en entrée à une ligne 533 et en sortie à une ligne 543. Les paramètres géométriques des électrodes sont fonction des contraintes électriques des circuits de mise à feu, notamment en ce qui concerne l'intensité de courant, la tension et les temps de commutation. Sur la ligne 5a sont représentés trois commutateurs mais il est évidemment possible d'en créer plus, en fait autant qu'il y a de voies d'amorçage.

La figure 5b représente une vue du substrat 51 de la figure 5a recouvert des électrodes 511, 512, 513, 521, 522 et 523 suivant la flèche 56 de la figure 5a. Les commutateurs sont placés en regard de réseaux

53, 54, 55 de diodes lasers disposées en barrette 52 et capables d'émettre des impulsions optiques 57, 51 et 59 pour déclencher ces commutateurs. Chacun des réseaux peut être commandé séparément par une électronique de commande associée dont la réalisation est connue de l'homme de l'art, ce qui permet d'assurer un amorçage synchrone ou séquencé selon les cas. Cette structure présentée par les figures 5a et 5b a l'avantage d'être une structure compacte et très souple en ce qui concerne les différentes possibilités de mode d'amorçage. Néanmoins, si le nombre de commutateurs est trop grand, la structure présentée par les figures 6a et 6b apparaît plus satisfaisante au niveau de la compacité.

La figure 6a représente un réseau de six commutateurs destinés à un dispositif d'amorçage selon l'invention et déposés sur un substrat 61 en arséniure de gallium. Un premier commutateur est formé par des électrodes E1 et S1, un deuxième commutateur par d'autres électrodes E2 et S2, un troisième commutateur par les électrodes E3 et S3, un quatrième commutateur par d'autres électrodes E4 et S4, un cinquième commutateur par d'autres électrodes E5 et S5 et un sixième commutateur par d'autres électrodes E6 et S6. Un écart 63 entre les électrodes d'un même commutateur est fonction de la tension appliquée aux bornes de ce commutateur.

La figure 6b présente le substrat 61 des commutateurs placés en regard d'un ensemble de réseaux de diodes laser placées sur un support 62. Ces réseaux de diodes laser activent par leurs émissions d'impulsions optiques les commutateurs placés sur le substrat 61. L'ensemble de réseaux de diodes laser sur le support 62 peut être obtenu par empilement de barrettes semblables à la barrette 52 de la figure 5b. Il peut aussi par exemple être sous forme de réseaux d'émission surfacique. La réalisation des commutateurs sur le substrat 61 fait appel à des techniques de micro-électronique connues de l'homme de l'art;

Les figures 7a et 7b présentent une structure monolithique d'un ensemble de commutateurs et de leurs sources optiques destinés à un dispositif d'amorçage selon l'invention. La figure 7a représente une vue en coupe de la figure 7b. La figure 7b ne montre que deux commutateurs constitués d'une part, des électrodes 73, 74 et de leurs réseaux de diodes laser 77 associés et d'autre part, des électrodes 78, 79 et de leurs réseaux de diodes laser 80 associés. Ces électrodes sont placées sur un substrat 71 en arséniure de gallium et situées dans un plan incliné à 45 ° par rapport à l'émission optique 72 délivrées par les réseaux de diodes laser 77, 80 à partir des couches de sortie 76. Ces réseaux de diodes laser 77, 80 sont fixés sur une barrette 75 elle-même solidaire du substrat 71. La structure présentée par les figures 7a et 7b peut être agrandie suivant des axes Y ou X parallèles aux côtés du substrat 71, en répétant les motifs représentés sur ces deux figures. Cet-

te structure a l'avantage d'être très compacte et très résistante sur le plan mécanique. De plus, elle permet d'optimiser le couplage optique, donc d'augmenter le rendement et la reproductibilité, entre la source et le commutateur.

Enfin, il est possible d'intégrer complètement sur un substrat en silicium une électronique de commande, des mémoires de travail et de programme, puis par épitaxie de l'arséniure de gallium sur le silicium, d'intégrer la structure décrite par les figures 7a et 7b avec l'électronique de commande. Une compacité maximum peut être obtenue par métallisation des circuits électriques de liaison avec les réservoirs d'énergie et les amorces, en lignes triplaques adaptées en impédance.

Revendications

1. Dispositif d'amorçage pour charge explosive secondaire comportant au moins un réservoir d'énergie (1) couplé à un élément de commutation d'énergie (8) couplé à une amorce fusible à couche projetée (13), caractérisé en ce que l'élément de commutation d'énergie (8, PC1, PC2, PC3, PCn) est constitué par un commutateur électronique à base de semi-conducteur, sa commutation à la fermeture étant activée par un signal optique impulsif (11). 20
2. Dispositif selon la revendication 1 caractérisé en ce que le commutateur électronique (8) est constitué au moins d'un substrat en arséniure de gallium (15) sur lequel sont déposées deux électrodes métalliques (9, 10). 25
3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comprend plusieurs voies d'amorçage, chaque voie d'amorçage ayant un commutateur électronique (PC1, PC2, PC3, PCn). 30
4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que les commutateurs électroniques (PC1, PC2, PC3) sont activés par des impulsions optiques guidées par des fibres optiques (26, 27, 28) de mêmes longueurs et fournies par une source optique (25) unique. 35
5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les commutateurs électroniques (PC1, PC2, PC3) sont activés par des impulsions optiques guidées par des fibres optiques (31, 32, 33) et fournies par une source optique unique (25), la longueur des fibres optiques (31, 32, 33) dépendant des délais entre les amorçages des voies. 40
6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend une source optique (25) couplée à des fibres optiques (41, 42, 43) guidant un signal optique vers les entrées (EN1, EN2, EN3) d'une matrice optique (44) constituée d'un système de commutation optique permettant d'obtenir des séquences pré-établies en fonction d'informations mémorisées, les sorties (SO1, SO2, SO3) de la matrice optique (44) étant couplées à des fibres optiques (45, 46, 47) de mêmes longueurs pour l'acheminement de signaux optiques vers des commutateurs électroniques (PC1, PC2, PC3). 45
7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 caractérisé en ce que chaque commutateur électronique (PC1, PC2, PC3) reçoit des impulsions optiques (491, 492, 493) d'une source laser (L1, L2, L3) qui lui est propre, les sources laser (L1, L2, L3) étant déclenchées par des circuits électroniques de commande (48) selon des séquences programmables. 50
8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que les commutateurs électroniques sont réalisés sur un même substrat semi-conducteur (51, 61, 71). 55
9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 ou 7 ou 8, caractérisé en ce que les sources optiques sont constituées de réseaux de diodes laser (53, 54, 55, 77, 80) disposés en barrettes (51, 75). 50
10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que les électrodes (78, 79) sont placées sur un substrat (71) en arséniure de gallium et situées dans un plan incliné par rapport à l'émission optique (72) délivrée par les réseaux de diodes laser (77, 80) à partir de couches de sortie (76), les réseaux de diodes laser (77, 80) étant fixés sur une barrette (75) elle-même solidaire du substrat (71). 55

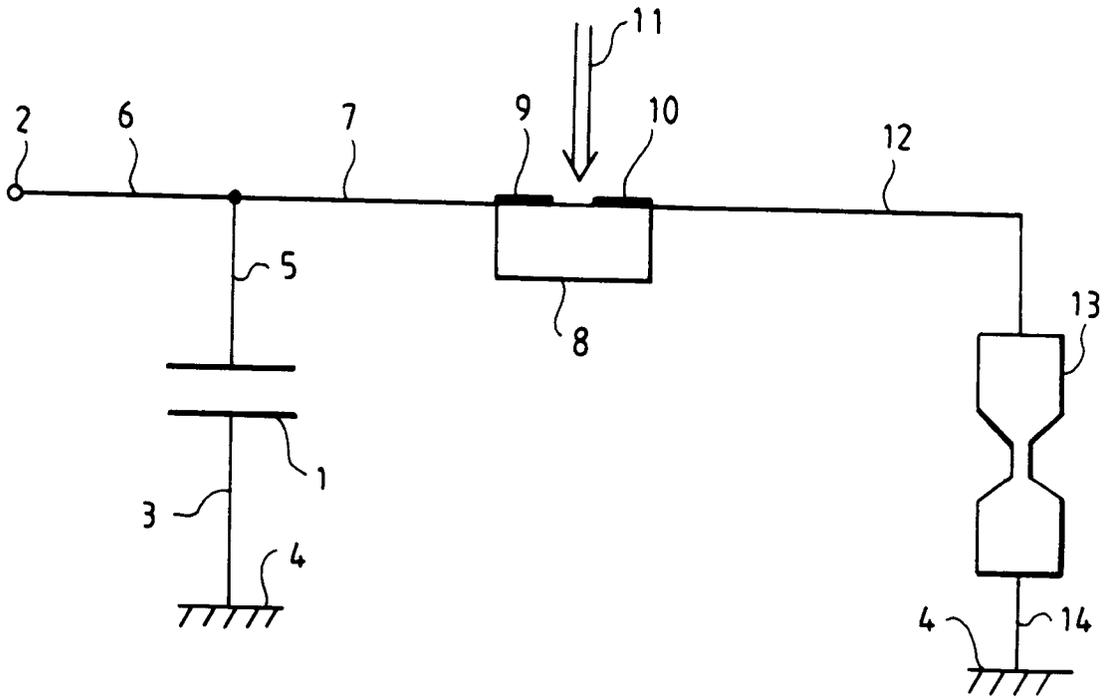


FIG. 1a

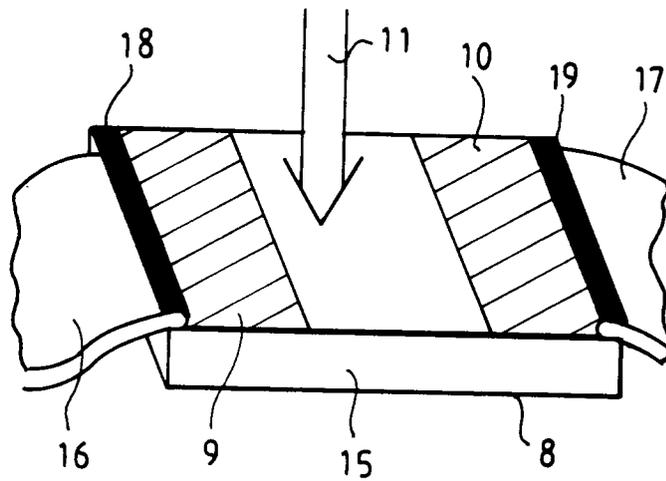


FIG. 1b

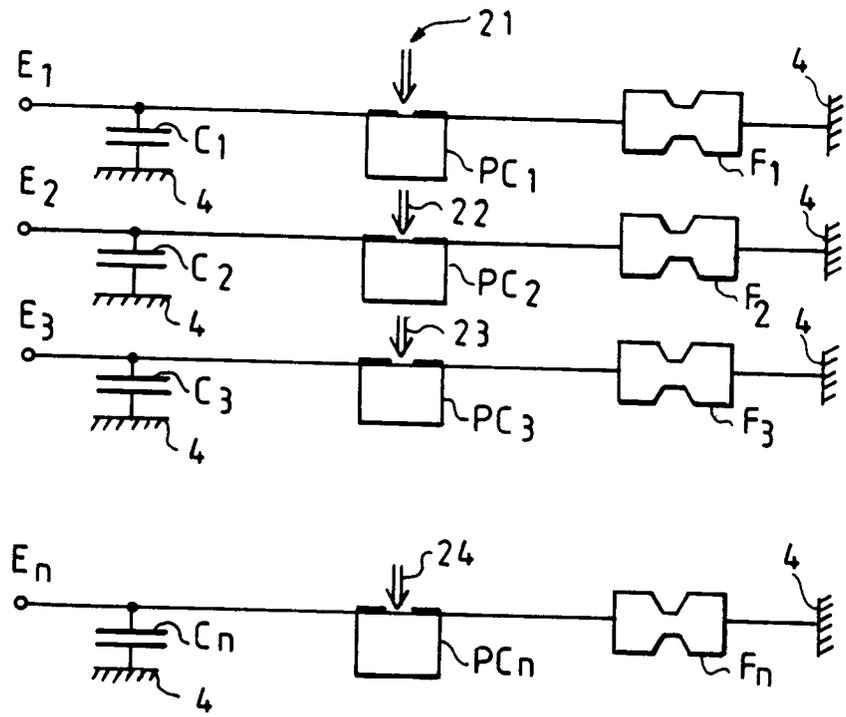


FIG.2a

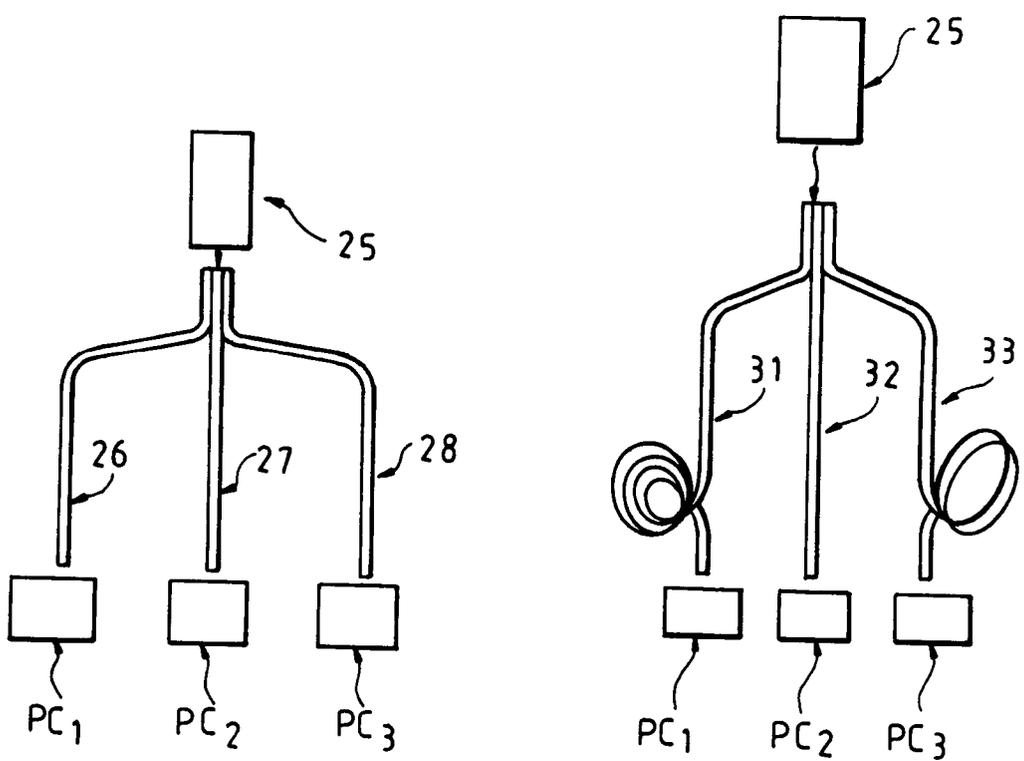


FIG.2b

FIG.3

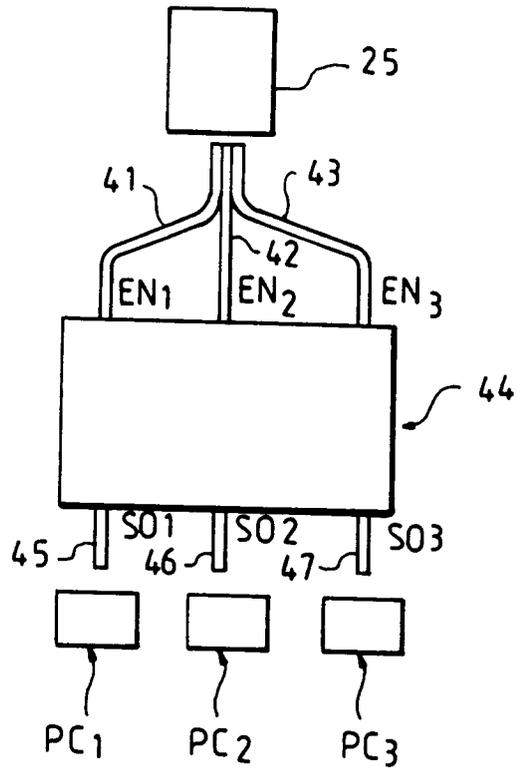


FIG.4a

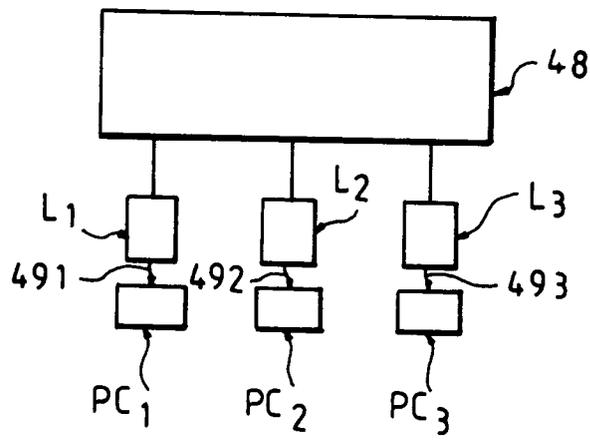


FIG.4b

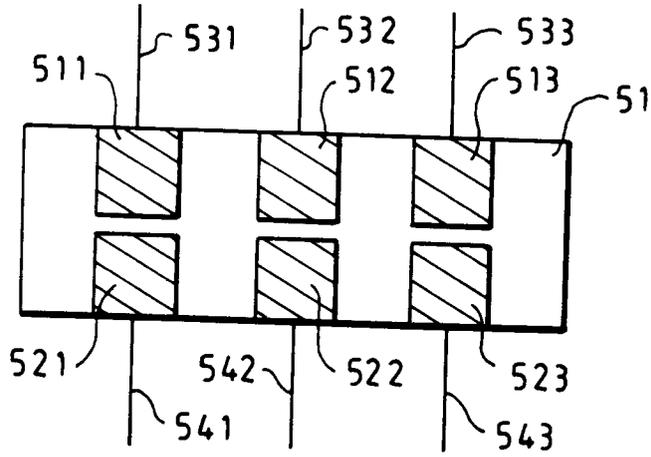


FIG. 5a

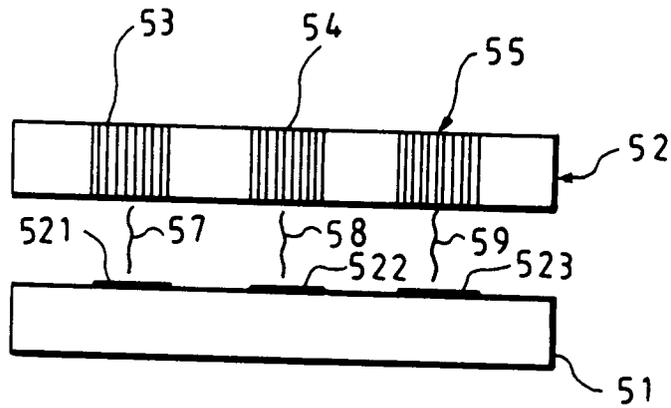


FIG. 5b

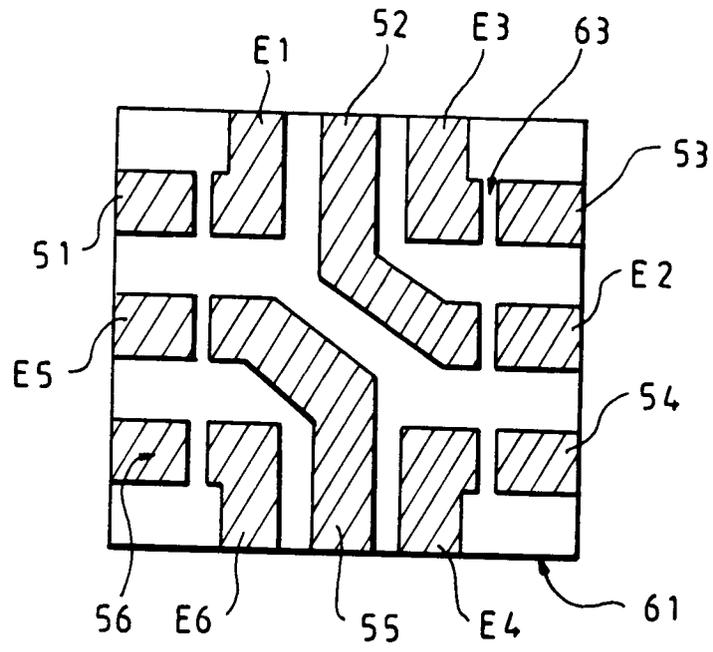


FIG. 6a

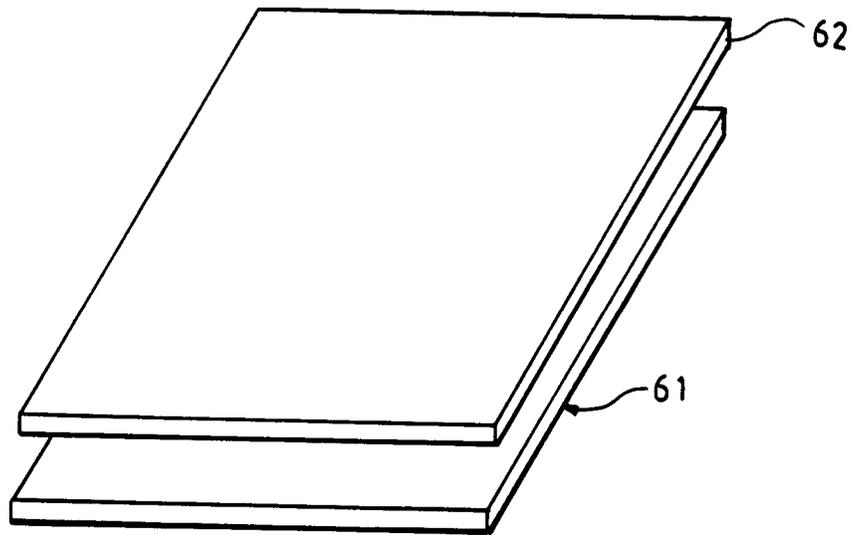


FIG. 6b

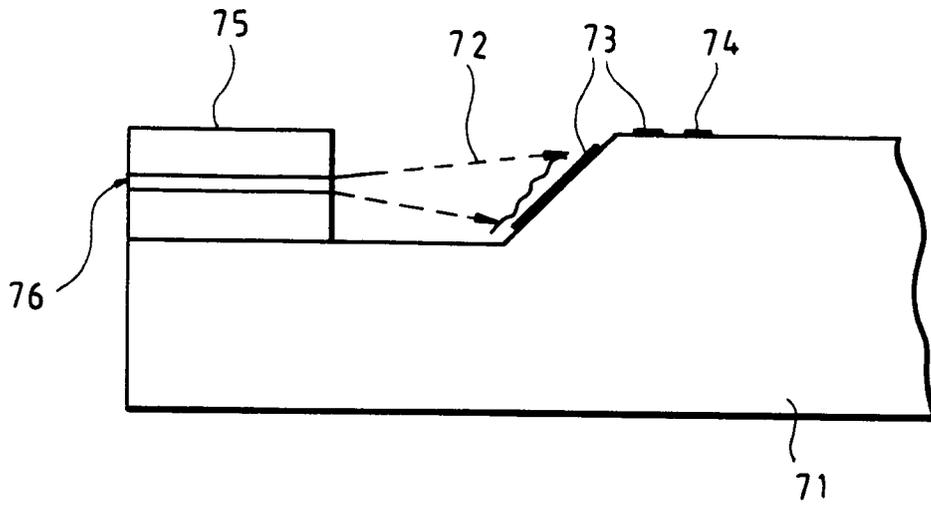


FIG. 7a

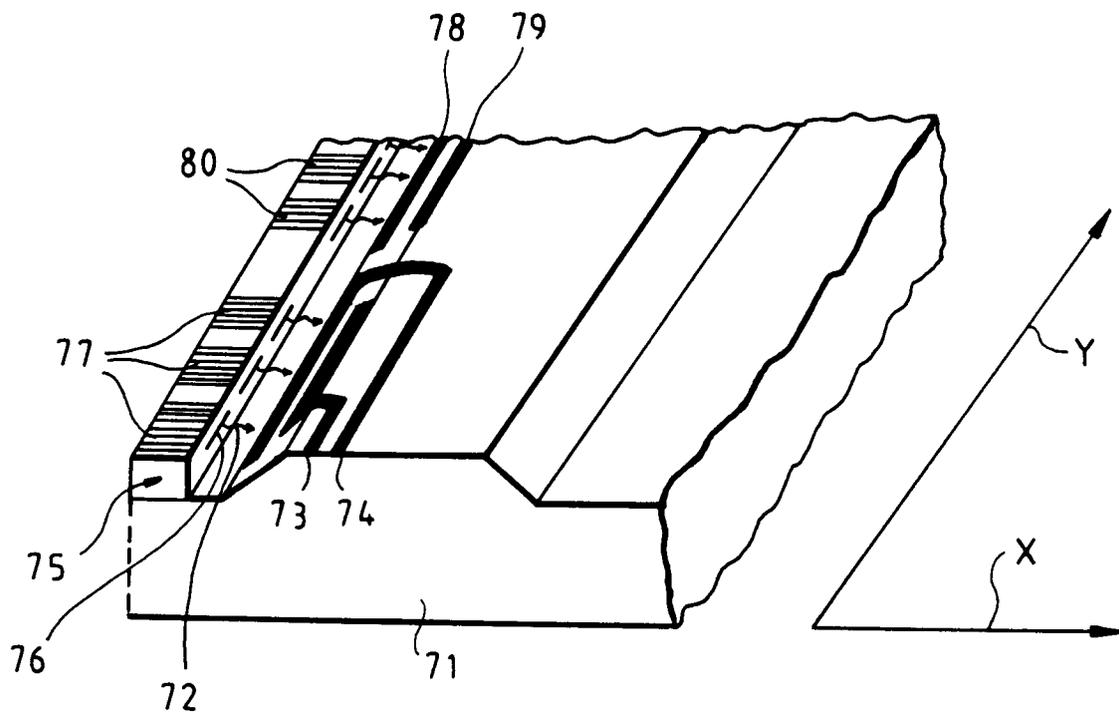


FIG. 7b