

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: **87400514.3**

(51) Int. Cl.⁴: **H 01 Q 3/46**
H 01 Q 15/14

(22) Date de dépôt: **09.03.87**

(30) Priorité: **14.03.86 FR 8603648**

(43) Date de publication de la demande:
16.09.87 Bulletin 87/38

(84) Etats contractants désignés: **DE GB IT**

(71) Demandeur: **THOMSON-CSF**
173, Boulevard Haussmann
F-75379 Paris Cedex 08 (FR)

(72) Inventeur: **Commault, Yves**
THOMSON-CSF SCPI 19, avenue de Messine
F-75008 Paris (FR)

Gautier, François
THOMSON-CSF SCPI 19, avenue de Messine
F-75008 Paris (FR)

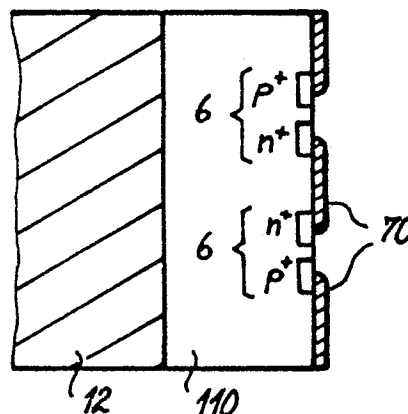
(74) Mandataire: **Benoît, Monique et al**
THOMSON-CSF SCPI 19, avenue de Messine
F-75008 Paris (FR)

(54) **Réseau réflecteur à contrôle de phases, et antenne comportant un tel réseau.**

(57) L'invention concerne principalement un réseau réflecteur à contrôle de phases et une antenne comportant un tel réseau.

La présente invention permet de réaliser des réseaux à contrôle de phases en technologie monolithique des diffusions sur tranches entières destinées à travailler dans des bandes de fréquence des ondes millimétriques. Le réseau réflecteur comporte une pluralité de métallisations reliées par des diodes (6) dont on peut faire varier la capacité. Ainsi on arrive à la commande directe d'impédances réactives. Les bandes métallisées (70) étant placées à une distance sensiblement égale à $\frac{\lambda}{4}$ d'un plan de masse il est possible de contrôler localement la phase du signal réfléchi.

L'invention s'applique principalement à la réalisation d'antennes à balayage électronique un plan pour ondes appartenant à la bande de fréquence des ondes millimétriques.



Description

RESEAU REFLECTEUR A CONTROLE DE PHASES ET ANTENNE COMPORTANT UN TEL RESEAU

L'invention a principalement pour objet un réseau réflecteur à contrôle de phases et une antenne comportant un tel réseau.

Un tel réseau permet de modifier localement la phase d'une onde par exemple plane ou cylindrique se réfléchissant sur lui. Un tel réseau permet de focaliser et/ou de dévier les faisceaux d'énergie électromagnétique d'une antenne par balayage électronique.

D'une part, il est connu de réaliser des réflecteurs, généralement plan, constitués d'une mosaïque de modules. Chaque module comporte une antenne élémentaire et un déphaseur fermé sur un court-circuit. Une onde dont on veut diriger le faisceau est émise par une source hyperfréquence en direction du réseau. L'onde est captée par les antennes élémentaires, et subit un premier déphasage lors de la traversée des déphaseurs, se réfléchit sur les court-circuits, traverse une nouvelle fois les déphaseurs et est rayonnée par les antennes élémentaires. En contrôlant, par des moyens électroniques le déphasage apporté par les déphaseurs on dispose en tout point du réseau la maîtrise de la phase de l'onde émise. De tels réseaux sont décrits par F.GAUTIER dans "Réseau réflecteur" Revue TH-CSF mars 1972, vol. 4 N° 1 pages 89 à 104 et par Oliver et Knittel dans "Phased arrays antennas" Artech house, page 23.

D'autre part, il est connu que la variation de l'impédance réactive par exemple d'un dipôle placé devant un réflecteur métallique provoque la variation de la phase de l'onde réfléchie.

Les réseaux de type connu présentent le grand inconvénient d'exiger une adaptation des antennes élémentaires parfaite ou quasi parfaite. En effet, à la réception par le réseau toute désadaptation provoque la réflexion partielle d'une partie de l'énergie incidente au lieu de sa transmission, la phase de l'énergie réfléchie directement n'est pas contrôlée par le déphaseur. A l'émission par le réseau, toute désadaptation provoque la réflexion vers le déphaseur de l'énergie qui normalement serait émise, cette énergie subit donc une seconde fois le double passage par le déphaseur. Au moment de son émission les ondes n'ayant pas le déphasage voulu perturbent la formation du faisceau d'énergie. Or, il se révèle pratiquement très difficile d'effectuer une adaptation précise et uniforme de toutes les sources élémentaires du réseau.

De plus, il n'est pratiquement pas possible de réaliser de réseau de modules à déphaseurs pouvant travailler dans les bandes millimétriques. Pour ces bandes, les modules doivent être de dimensions faibles, inférieures à la longueur d'onde ; le réseau doit en comporter un très grand nombre.

L'invention consiste à associer une pluralité d'impédances réactives variables devant un réflecteur par exemple métallique, afin de pouvoir obtenir un balayage électronique.

Avantageusement, les dipôles sont placés à une distance proche de $\frac{\lambda}{4}$, λ étant la longueur d'onde du

rayonnement utilisé.

Avantageusement, le contrôle de phases de l'impédance réactive comporte au moins quatre états distincts. Par exemple les déphasages induits correspondent à 0, 90°, 180° et 270°.

Avantageusement, les impédances réactives sont des dipôles comportant deux branches reliées par au moins une diode. Suivant l'état passant ou bloqué des diodes les dipôles réfléchissent une partie plus ou moins grande des ondes incidentes.

L'invention a principalement pour objet un réflecteur actif d'ondes électromagnétiques comportant une pluralité d'inductances réactives variables commandables, caractérisé par le fait que chaque réactance variable comporte une pluralité de métallisations déposées sur un substrat reliées par des diodes à capacité variable ou de commutation (PIN), lesdites métallisations étant par exemple placées à une distance sensiblement égale à $\frac{\lambda}{4}$ d'un plan de masse, λ étant la longueur d'onde desdites ondes électromagnétiques.

L'invention a aussi pour objet une antenne comportant une source primaire de rayonnement illuminant un réflecteur actif, caractérisée par le fait que la source primaire est susceptible de rayonner une onde cylindrique et que le réflecteur actif comporte une pluralité de métallisations reliées par des diodes à capacités variables, lesdites métallisations étant placées à une distance sensiblement égale à $\frac{\lambda}{4}$ d'un plan de masse, λ étant la longueur d'onde desdites ondes.

La présente invention a aussi pour objet une antenne comportant une source primaire de rayonnement illuminant un réflecteur actif, caractérisée par le fait qu'il comporte une lentille diélectrique assurant la focalisation dudit rayonnement et que le réflecteur actif comporte une pluralité de métallisations reliées par des diodes à capacités variables, lesdites métallisations étant placées à une distance sensiblement égale à $\frac{\lambda}{4}$ d'un plan de masse, λ étant la longueur d'onde dudit rayonnement.

La présente invention a aussi pour objet un procédé de fabrication de réflecteur actif d'ondes électromagnétiques, caractérisé par le fait qu'il comporte les étapes suivantes :

- diffusion de diodes à capacité variable dans un substrat de matériau semiconducteur ;
- métallisation de bandes sur ledit substrat de matériau semiconducteur ;
- solidarisation du substrat de matériau semiconducteur avec un plan de masse de façon à ce que les bandes métallisées se trouvent à une distance sensiblement égale à $\frac{\lambda}{4}$ dudit plan de masse.

La présente invention a encore pour objet une antenne comportant une source de rayonnement et un miroir principal, caractérisée par le fait qu'elle comporte un réseau à contrôle de phases susceptibles de faire varier la position du foyer dudit miroir principal.

L'invention sera mieux comprise au moyen de la description ciaprès et des figures données comme

des exemples non limitatifs parmi lesquels :

- la figure 1 est un schéma du principe utilisé dans le dispositif selon l'invention ;
- la figure 2 est une illustration d'un exemple de réalisation utilisant le principe illustré sur la figure 1 ;
- la figure 3 est une illustration d'un premier exemple de réalisation du dispositif selon l'invention ;
- la figure 4 est une coupe d'un dispositif selon l'invention ;
- la figure 5 est une coupe d'une variante de réalisation du dispositif selon l'invention ;
- la figure 6 est une vue de face d'un élément d'un réflecteur selon l'invention ;
- la figure 7 est une vue en coupe du dispositif illustré par la figure 6 ;
- la figure 8 est une vue de face d'un exemple de réalisation du dispositif selon l'invention ;
- la figure 9 est un exemple de réalisation du dispositif selon l'invention ;
- la figure 10 est un autre exemple de réalisation du dispositif selon l'invention ;
- la figure 11 est une vue en perspective d'un premier exemple de réalisation de l'antenne selon l'invention ;
- la figure 12 est une vue en coupe d'un second exemple de réalisation de l'antenne selon l'invention ;
- la figure 13 est une vue de face d'un exemple de réalisation du dispositif selon l'invention ;
- la figure 14 est le schéma équivalent de l'alimentation des diodes du dispositif illustré sur la figure 13 ;
- la figure 15 est une vue en coupe d'un troisième exemple de réalisation de l'antenne selon l'invention ;
- la figure 16 est une vue de face d'un premier exemple de réalisation d'un réseau réflecteur mis en oeuvre dans l'antenne illustrée par la figure 15 ;
- la figure 17 est une vue de face d'un second exemple de réalisation d'un réseau réflecteur mis en oeuvre dans l'antenne illustrée par la figure 15 ;
- la figure 18 est une vue de face d'un troisième exemple de réalisation d'un réseau réflecteur mis en oeuvre dans l'antenne illustrée par la figure 15 ;
- la figure 19 est un schéma illustrant les positions du foyer du miroir principal de l'antenne illustrée par la figure 15 ;
- la figure 20 est une vue de face d'un exemple de réalisation du dispositif selon l'invention ;
- la figure 21 est le schéma équivalent de l'alimentation des diodes du dispositif illustré sur la figure 20.

Sur les figures 1 à 21 on a utilisé les mêmes références pour désigner les mêmes éléments.

Sur la figure 1 est illustré un des principes mis en oeuvre dans un dispositif selon l'invention. Sur les deux fils d'alimentation 3 est placée à une distance d d'un court-circuit 2 une impédance réactive variable

1. Si la valeur de l'impédance réactive 1 correspond à un court-circuit pour un signal incident ce signal sera réfléchi sur ladite impédance réactive 1. Par contre, si l'impédance réactive 1 est adaptée au signal elle le laissera passer. Le signal sera alors réfléchi sur le court-circuit 2. Ainsi, il existe un déphasage $\varphi = \frac{2\pi d}{\lambda}$ entre le signal réfléchi par l'impédance réactive 1 et le signal réfléchi par le court-circuit 2. Suivant la valeur de réglage de l'impédance réactive 1 celle-ci réfléchit une partie plus ou moins importante du signal incident. Les signaux réfléchis sur l'impédance réactive 1 et sur le court-circuit 2 se combinent. Ainsi, le dispositif illustré sur la figure 1 permet d'obtenir le déphasage φ compris entre 0 et $\frac{2\pi d}{\lambda}$ au maximum, les valeurs intermédiaires dépendant de la valeur de l'impédance.

Sur la figure 2, on peut voir un réseau d'impédance réactive 1 placé devant un réflecteur 2. La distance séparant les impédances réactives 1 du réflecteur 2 est sensiblement égale à $\frac{\lambda}{4}$. La distance séparant, dans le plan du réseau, deux impédances réactives 1 est sensiblement égale à $\frac{\lambda}{2}$.

Sur la figure 2, seules neuf impédances réactives 1 ont été représentées. Il est bien entendu que dans un cas réel un nombre bien plus grand d'impédances réactives 1 sera utilisé. Chaque impédance réactive 1 est constituée par exemple par un dipôle 4 dont les deux branches sont reliées par une diode 6. La diode 6 est par exemple une diode à capacité variable.

Dans une variante de réalisation du dispositif selon l'invention on utilise une pluralité des diodes à deux états connectés en série entre les deux branches d'un dipôle 4. Les diodes à deux états sont par exemple les diodes PIN. Chacune des diodes est commandable individuellement. Avec deux diodes de même capacité, par dipôle, on obtient trois valeurs possibles de déphasage. Avec deux diodes de capacité différente on obtient quatre valeurs possibles de déphasage. Les diodes à capacité continûment variable sont par exemple des varicaps ou des varactors.

Pour des raisons de clarté les connexions d'alimentation des diodes 6 ne sont pas représentées sur la figure 2.

Le réflecteur 2 est constitué par une plaque métallique placée à une distance voisine de $\frac{\lambda}{4}$ des dipôles 4.

Avantageusement, les lignes électriques 28 sont reliées par un condensateur 5.

La commande individuelle de chacune des impédances réactives 1 permet la déflexion dans le plan site et dans le plan gisement des ondes qui illuminent le réseau selon l'invention.

Sur la figure 3, on peut voir un ensemble de réactances 1 alignées que l'on ne peut commander que simultanément. Les dipôles 4 aussi bien que les lignes de connexion 7 sont réalisés par exemple par métallisation d'un circuit imprimé. La distance B entre deux dipôles 4 successifs est par exemple de l'ordre de $\frac{\lambda}{2}$. La longueur totale A d'un dipôle 4 est par exemple de l'ordre de $\frac{\lambda}{2}$. Les deux branches de chaque dipôle 4 sont reliées par une diode ou une pluralité des diodes 6.

La ligne d'alimentation 7 reliant, par exemple, les branches inférieures des dipôles 4 est reliée à la masse 8. La ligne d'alimentation 7 reliant, par exemple, les branches supérieures des dipôles 4 est reliée à une source de tension 9. La source de tension 9 est capable de délivrer par exemple des tensions variant entre + 1V et -20V.

Avantageusement, un condensateur 52 relie les deux lignes d'alimentation 7 et permet ainsi de découpler les dipôles 4 du champ hyperfréquence. Ainsi, on est assuré d'avoir des conditions d'impédance stables aux bornes du circuit hyperfréquence. La valeur de la capacité de ce condensateur de découplage est limitée, pour les diodes PIN, par le temps de commutation des diodes.

Avantageusement, le réflecteur 2 est constitué par le plan de masse du circuit imprimé.

Il est bien entendu qu'un réseau composé d'association des dispositifs illustrés sur la figure 3 ne permettra que le balayage et/ou la focalisation des ondes électromagnétiques dans un seul plan.

Le mode de réalisation illustré sur la figure 3 où tous les éléments d'une même ligne ou d'une même colonne sont alimentés ensemble diminue considérablement le nombre de fils d'amenées de courant de polarisation des diodes 6. On réduit ainsi le coût de revient du réseau complet.

Sur la figure 4, on peut voir une variante de réalisation du dispositif selon l'invention particulièrement bien adaptée aux ondes électromagnétiques appartenant à la bande millimétrique.

Les éléments de couplage 4, les diodes de contrôle 6 et les câblages 7 sont réalisés sur un même substrat semiconducteur 11 au moyen des techniques d'intégration monolithique. Un élément de couplage 4 et une ou plusieurs diodes 6 qui le chargent constituent un élément réactif contrôlable électroniquement.

Avantageusement, ces éléments réactifs identiques sont disposés sur une maille régulière, par exemple rectangulaire ou triangulaire, de pas voisin de $\frac{\lambda}{2}$ sur un substrat semiconducteur 11.

Avantageusement, on utilise la technologie d'intégration sur tranche entière (Wafer Scale Integration ou WSI en terminologie anglo-saxonne). En utilisant des tranches de grande dimension par exemple de quatre ou de cinq pouces (10,16 cm ou 12,7 cm), on arrive, pour λ égal par exemple 3,2 mm, à réaliser en une seule opération de l'ordre du millier de l'élément réactif. Une telle antenne présente l'avantage d'un coût de revient réduit. De plus, il serait quasi impossible de réaliser, pour de telles longueurs d'onde, des antennes à balayage électronique par des techniques classiques.

D'une part, les dimensions de la puce porteuse de la diode sont de l'ordre de 0,5 mm, ce qui pour un substrat de permittivité de l'ordre de 12 correspond à la moitié de la longueur d'onde pour une fréquence de 100 GHz. Ainsi la puce porteuse de la diode 6 est par elle-même un élément non négligeable du circuit. Les dispersions de fabrication de cette puce et de son câblage peuvent rendre impossible la réalisation d'une antenne par des techniques autres que des techniques d'intégration monolithique.

D'autre part les puces porteuses de la diode 6

sont trop grosses pour un circuit périodique dont la maille est d'environ 1,5 mm et qui dans certains cas comporte une pluralité de diodes.

Avantageusement, on utilise la technologie Planar pour la réalisation du réseau selon l'invention.

La face du substrat 11 opposée aux éléments de couplage 4 et aux métallisations d'alimentation comporte un plan de masse 12.

Avantageusement, jouant le rôle de réflecteur 2 de la figure 2, le plan de masse 12 assure la tenue mécanique et le refroidissement du réseau selon l'invention. Si l'épaisseur e du substrat 11 est trop faible, par exemple pour des fréquences inférieures à 35 GHz, on intercale un diélectrique entre le plan de masse 12 et le substrat 11. Cette solution est illustrée sur la figure 5.

Sur la figure 5, on peut voir une partie d'un réseau réflecteur à contrôle de phases obtenu par la diffusion des diodes 6 dans un substrat semiconducteur 11 et métallisation de ce substrat en vue de l'obtention des éléments de couplage ainsi que des lignes d'alimentation des diodes 6. Le substrat semiconducteur 11 est rendu solidaire d'un diélectrique 120, par exemple d'un diélectrique à faible perte. Le diélectrique 120 est par exemple en polytétrafluorure d'éthylène (PTFE) ou un matériau composite adapté à la longueur d'onde. Le diélectrique 120 est rendu solidaire d'une plaque métallique 12 parallèle aux métallisations du substrat 11. La distance e entre les métallisations du substrat semiconducteur 11 et la plaque 12 est sensiblement égale au quart de la longueur d'onde pondérée sur les deux diélectriques.

Le dispositif de la figure 5 est particulièrement bien adapté aux basses et aux moyennes fréquences.

Il faut remarquer que le coût de revient du système n'est que faiblement influencé par le nombre de diodes utilisées ou la complexité des dessins des métallisations réalisées.

Divers exemples de réalisation sont donnés par les figures 6 à 10.

Sur la figure 6, on peut voir un premier exemple de réalisation d'un circuit périodique permettant le contrôle de phases. Le dispositif de la figure 6 comporte trois bandes métallisées 70. La bande 70 du milieu et l'une des bandes 70 externes, par exemple la bande 70 supérieure comporte en vis-à-vis des avancées 71 rectangulaires. Les avancées 71 en vis-à-vis des deux bandes 70 sont reliées par une diode 6. A la verticale des diodes 6 reliant la bande métallisée 70 supérieure à la bande métallisée 70 centrale se trouve une diode 6 reliant la bande métallisée 70 inférieure à la bande métallisée 70 centrale.

Avantageusement, à au moins l'une des extrémités les bandes 70 successives sont reliées entre elles par des condensateurs 52.

Dans un exemple de réalisation, du dispositif selon l'invention la bande métallisée 70 centrale est reliée à la masse 8, les bandes métallisées 70 supérieures et inférieures étant reliées à deux générateurs 9. Les générateurs 9 sont capables de délivrer par exemple des tensions comprises entre + 1V et -20V. Les tensions d'alimentation dépen-

dent des diodes 6 utilisées.

Sur la figure 7, on peut voir une coupe selon CC' du dispositif illustré sur la figure 6 dans le cadre d'une technologie Planar. Les diodes 6 sont directement diffusées de la tranche semiconducteur 110. Le semiconducteur est par exemple du silicium.

Avantageusement, le plan de masse 12 a une épaisseur suffisante pour assurer la tenue mécanique et le refroidissement du réseau selon l'invention. Les bandes métallisées 70 sont réalisées par dépôt par exemple d'une couche d'aluminium ou de cuivre. Avantageusement, lesdites métallisations 70 sont recouvertes par une couche d'or assurant la protection contre la corrosion.

Avantageusement, les bandes 70 sont réalisées par dépôt d'une couche d'or.

Sur la figure 8, on peut voir un exemple de réalisation du dispositif selon l'invention comportant trois diodes 6 par maille de circuits périodiques. La période B du réseau est sensiblement égale à $\frac{\lambda}{2}$. Les bandes métallisées 70 inférieures et centrales sont des rubans rectilignes. La bande 70 supérieure comporte des encoches 73 rectangulaires portant en leur centre des avancées rectilignes 74. Les extrémités des avancées 74 de la bande supérieure 70 portent les diodes 6 reliant la bande métallisée 70 supérieure à la bande métallisée 70 centrale. La bande métallisée 70 inférieure est reliée à la bande métallisée 70 centrale par des diodes 6 régulièrement espacées, deux diodes 6 successives étant distantes $\frac{\lambda}{4}$. Ainsi chaque maille comportant trois diodes 6 il est possible d'obtenir quatre états de couplage différent :

- toutes les diodes au repos ;
- la diode 6 reliant la bande métallisée 70 à la bande métallisée 70 centrale polarisée en inverse, les diodes 6 reliant la bande métallisée 70 inférieure à la bande métallisée 70 centrale au repos ;
- la diode 6 reliant la bande métallisée 70 supérieure à la bande métallisée 70 centrale au repos et les deux diodes 6 reliant la bande métallisée 70 inférieure à la bande métallisée 70 centrale polarisée en inverse ;
- toutes les diodes polarisées en inverse.

Dans une variante de réalisation non représentée on remplace dans chaque maille les deux diodes 6 reliant la bande métallisée 70 inférieure à la bande métallisée 70 centrale par une diode 6 unique dont la capacité est égale, par exemple, à la somme des capacités des diodes 6 qu'elle remplace. Pour obtenir quatre états, il est impératif que la capacité totale, dans chaque maille, reliant la bande métallisée 70 inférieure à la bande métallisée 70 centrale soit différente de la capacité de la diode 6 reliant la bande métallisée 70 supérieure à la bande métallisée 70 centrale.

Bien entendu le sens de polarisation des diodes peut être inversé dans la mesure ou on inverse aussi les tensions d'alimentation. Dans ce cas, par exemple les bandes métallisées 70 inférieures et supérieures sont reliées à la masse, la bande métallisée 70 centrale étant reliée à un générateur de tension susceptible de délivrer des tensions comprises entre + 1V et - 20V.

Sur la figure 9, on peut voir un exemple de

réalisation du circuit périodique selon l'invention comportant six diodes par maille B du réseau sensiblement égales à $\frac{\lambda}{2}$, ce qui permet d'obtenir quatre états distincts.

Dans l'exemple illustré sur la figure 9 les circuits périodiques comportent quatre bandes métallisées 70 constituées par des rubans rectilignes, référencés de haut en bas D E F G. Le ruban métallisé 70D est relié au ruban métallisé 70E par des diodes 6 régulièrement espacées, deux diodes 6 successives étant distantes de $\frac{\lambda}{4}$. La bande métallisée 70G est reliée à la bande métallisée 70F par des diodes 6 régulièrement espacées, des diodes successives 6 étant distantes de $\frac{\lambda}{8}$. Les bandes métallisées 70 E et F sont reliées à la masse. Les bandes métallisées 70 D et G sont reliées à des générateurs de tension susceptibles par exemple de délivrer des tensions comprises entre + 1V et - 20V.

Sur la figure 10, on peut voir un exemple de réalisation des réseaux périodiques selon l'invention comportant cinq diodes 6 par maille B sensiblement égales à $\frac{\lambda}{2}$. Les circuits périodiques comportent cinq bandes métalliques 70 référencées de haut en bas H I J K L. La bande métallisée 70H et la bande métallisée 70I sont munies en vis-à-vis d'avancées 71. Les avancées 71 sont espacées de $\frac{\lambda}{2}$. La bande métallisée 70I est reliée à la bande métallisée 70H par des diodes 6 reliant les avancées 71 desdites bandes. Les bandes métallisées 70J et K sont des rubans rectilignes. La bande métallisée 70J est reliée à la bande métallisée 70K par des diodes 6 régulièrement espacées, deux diodes 6 successives étant distantes de $\frac{\lambda}{4}$. La bande métallisée 70L comporte des encoches 73 au milieu desquelles est disposée une avancée 74. Les avancées 74 sont régulièrement réparties, deux avancées successives 74 étant distantes de $\frac{\lambda}{4}$.

Avantageusement, les diodes reliant les bandes métallisées 70J à la bande métallisée 70K et les diodes reliant les bandes métallisées 70L à la bande métallisée 70K sont aux mêmes abscisses. De même, une avancée 74 sur deux et a la même abscisse que les avancées 71.

Le couplage avec les ondes électromagnétiques incidentes pour ces trois ensembles de diodes étant différent on obtient $2^3 = 8$ états différents.

Avantageusement, pour minimiser les erreurs de quantification de phase les états de couplage différent doivent être le plus régulièrement possible espacé sur 360° .

Dans une réalisation du dispositif selon l'invention, utilisant la technologie d'intégration monolithique, le prix de revient n'est que faiblement influencé par la géométrie des bandes 70 et le nombre de diodes 6 utilisées.

Il est bien évident qu'il est possible de remplacer une pluralité des diodes PIN commandables individuellement par une diode à capacité variable continuellement. Dans un tel cas, il est possible d'obtenir une infinité d'états nécessaires au balayage électronique.

Sur la figure 11, on peut voir une antenne selon l'invention. L'antenne comporte un réseau 81 à contrôle de phases permettant le balayage électronique dans un plan. Le réseau 81 est illuminé par une

source 82 de rayonnement 83. La source 82 de rayonnement est par exemple une source linéaire ou une source ponctuelle focalisée dans un plan. Dans ces cas, le réseau 81 est illuminé par une onde cylindrique. Le réseau à contrôle de phases 81 réfléchit les ondes 83 incidentes par exemple dans des angles compris entre $+45^\circ$ et -20° par rapport à la normale 85 au réseau. Dans ce cas, le faisceau d'énergie 84 peut être dirigé par balayage électronique tout en assurant la transformation de l'onde cylindrique 83 en une onde plane 84.

Sur la figure 12, on peut voir un autre exemple de réalisation d'antenne à balayage électronique, par exemple avec une fréquence de balayage de l'ordre du mégahertz. L'antenne comporte une source ponctuelle 82, un réseau réflecteur 81 et une lentille 86 par exemple diélectrique. Le réseau en plus de ces capacités de balayage électronique dans un plan est découpé en une pluralité de zones par exemple 4, 9 ou 16 alimentées individuellement. Ainsi il permet un balayage tridimensionnel avec une faible amplitude dans un plan et avec une amplitude de balayage électronique importante dans le plan qui lui est perpendiculaire. La lentille 86 assure la focalisation du rayonnement 84 issu de l'antenne.

Sur la figure 13, on peut voir une variante de réalisation du câblage du réseau selon l'invention. Sur les figures 3, 6, 8 et 9 toutes les diodes 6 reliant deux bandes métalliques 70 sont connectées en parallèle.

Ainsi, un court-circuit provoqué par la défaillance d'une quelconque des diodes 6 reliant deux bandes métalliques 70 met de façon permanente lesdites bandes au même potentiel. Dans un tel cas on perd le contrôle du déphasage introduit par lesdites bandes métalliques 70 sur toute leur longueur. La formation du faisceau d'énergie électromagnétique en est très fortement perturbée. La défaillance d'une diode 6 peut être la conséquence d'un défaut de fabrication. Dans un tel cas il est possible de prévenir le court-circuit en détruisant la diode 6 défaillante par exemple avec un laser. Toutefois il est nécessaire de disposer d'un matériel de test important.

Mais la défaillance d'une diode 6 peut aussi apparaître en cours d'utilisation. Dans ce cas, le fonctionnement du dispositif est perturbé jusqu'à l'intervention de maintenance.

Dans le dispositif selon l'invention illustré par la figure 13 les bandes métalliques 70 sont découpées en une pluralité de segments 77. Les segments 77 sont reliés par des groupes 652 de diodes 6. Chaque groupe de diodes comporte par exemple entre une et six diodes 6 placées en parallèle. Dans l'exemple illustré sur la figure 13 chaque groupe 653 de diodes 6 comporte trois diodes 6. Toutes les diodes 6 appartenant à un même groupe ont la même polarisation.

Les groupes de diodes 6 sont mis en série. Il est possible de relier les segments 77 en polarisant les diodes 6 en direct ou de les isoler en polarisant les diodes 6 en inverse. Sur la figure 13 le générateur porte la référence 9 et les moyens de commutation portent la référence 651.

Sur la figure 14, on peut voir le schéma électrique

des connexions des diodes 6 de la figure 13. Dans l'exemple illustré par la figure 14, les groupes 652 de trois diodes 6 placées en parallèle, sont connectés en série. Un court-circuit au niveau d'une diode 6 empêche la commande de phases au niveau d'un groupe 652 de diodes 6, mais non de deux bandes métalliques 70. Une absence de continuité électrique au niveau d'une diode 6, par exemple suite à un défaut de fabrication ou à un "claquage" ne perturbe la phase que de façon locale au niveau de deux segments 77. Tous les groupes 652 de diodes 6 sont alimentés par les autres diodes 6 du groupe 652 comportant la diode 6 "claquée".

L'alimentation électrique est réalisée entre les bornes 78 et 79 du circuit périodique.

Sur la figure 20, on peut voir une variante de réalisation du dispositif de la figure 13 dans laquelle on assure l'équilibrage des tensions inverses aux bornes des groupes 652 des diodes 6 placées en série. L'équilibrage est obtenu, par exemple, en reliant deux segments 77 successifs par des résistances 791 et/ou en reliant les segments 77 successifs appartenant à une même bande métallique 70 par les résistances 781.

Les résistances 781 et 791 ont des valeurs élevées pour ne pas perturber le fonctionnement radioélectrique.

Avantageusement, les résistances 781 et/ou 791 sont obtenues par métallisation. Par exemple, on effectue un dépôt d'alliage résistif de nickel chrome.

Dans une variante de réalisation les résistances 781 sont déposées dans le prolongement des segments 77. Les résistances 791 sont, par exemple des rubans de faible épaisseur.

Sur la figure 21, on peut voir le schéma électrique des connexions des diodes 6 et des résistances 781 et 791 de la figure 20.

Le premier groupe 652 de diodes 6 en partant de la borne 78 illustre la variante de réalisation comportant uniquement des résistances 791 reliant deux segments 77 successifs.

Les deuxième et troisième groupes 652 des diodes 6 illustrent la variante de réalisation comportant des résistances 791 reliant deux segments 77 successifs et des résistances 781 reliant deux segments 77 successifs appartenant à une même bande métallique 70.

Les quatrième et cinquième groupes 652 des diodes 6 illustrent la variante de réalisation comportant uniquement des résistances 781 reliant deux segments 77 successifs appartenant à une même bande métallique 70.

Sur la figure 15, on peut voir une antenne selon l'invention particulièrement bien adaptée à la poursuite. L'antenne comporte une source de rayonnement 82, un réseau réflecteur auxiliaire 81 et un miroir principal 86.

La source de rayonnement 82 est par exemple un cornet.

Le réseau réflecteur auxiliaire 81 est un réseau réflecteur à contrôle de phases selon l'invention.

Avantageusement, le réseau 81 permet le balayage électronique dans les deux plans.

Le miroir principal est par exemple un paraboloïde de foyer F.

La déflexion du faisceau d'énergie électromagnétique par le réseau 81 provoque un déplacement du foyer F ou un déplacement du centre équivalent de la source 82 par exemple en F_1 ou en F_2 . Le déplacement périodique du foyer F permet en effectuant un balayage (scanning en terminologie anglo-saxonne) d'assurer la poursuite de la cible.

Avantageusement, comme illustré sur la figure 19, le foyer est déplacé entre quatre positions F_1 , F_2 , F_3 , F_4 , équidistantes de F, les points F_1 et F_2 d'une part et les points F_3 et F_4 d'autre part étant alignés sur des droites orthogonales d'intersection F.

Avantageusement, on effectue une permutation circulaire des déplacements du foyer F par exemple F_1 , F_4 , F_2 , F_3 , F_1 , . . . Il est bien entendu, que l'utilisation d'un nombre de positions F_i différent, par exemple 8, 16 ou 32 ne sort pas du cadre de la présente invention. Les points F_i sont par exemple répartis régulièrement sur un cercle de centre F.

Sur la figure 16, on peut voir un premier exemple de réalisation du réseau 81 à contrôle de phases de la figure 15. Le réseau 81 comporte des cellules 131 périodiquement réparties sur sa surface. La phase de chaque cellule 131 est contrôlable individuellement. Les cellules 131 sont par exemple triangulaires, carrées ou hexagonales.

Un balayage conique de précision moyenne peut être obtenu avec un petit nombre de cellules 131, par exemple 64 (8×8). Une augmentation de la précision du balayage sera obtenue par une augmentation du nombre de cellules 131.

Sur les figures 17 et 18, on peut voir un second et un troisième exemples de réalisation du réseau 81.

Les réseaux 81 des figures 17 et 18 sont particulièrement bien adaptés au balayage conique utilisant quatre positions F_1 , F_2 , F_3 et F_4 du foyer F illustré par la figure 19. Le réseau 81 de la figure 17 a une forme en croix.

Le réseau 81 de la figure 17 comporte quatre cellules centrales 136 à 139, quatre cellules intermédiaires 133, 135, 140 et 142 ainsi que quatre cellules périphériques 132, 134, 141 et 143.

Les cellules 136 à 139 sont carrées.

Les cellules 132, 133, 134, 135, 140, 141, 142 et 143 sont rectangulaires ; la surface de chacune de ces cellules correspond à celle de deux cellules carrées juxtaposées.

Pour déplacer la foyer F du miroir principal 86 de la figure 15 en F_3 :

- les cellules 134, 135, 140 et 141 n'induisent pas de déphasage ;
- la cellule 132 induit un déphasage de φ ;
- la cellule 133 induit un déphasage de $\frac{3\varphi}{5}$;
- les cellules 136 et 138 induisent un déphasage de $\frac{\varphi}{5}$;
- les cellules 137 et 139 induisent un déphasage de $-\frac{\varphi}{5}$;
- la cellule 142 induit un déphasage de $-\frac{3\varphi}{5}$;
- la cellule 143 induit un déphasage de $-\varphi$.

Pour déplacer le foyer F du miroir principal 86 de la figure 15 en F_1 :

- les cellules 132, 133, 142, 143 n'induisent pas de déphasage ;
- la cellule 134 induit un déphasage de φ ;
- la cellule 135 induit un déphasage de $\frac{3\varphi}{5}$;

- les cellules 136 et 137 induisent un déphasage de $\frac{\varphi}{5}$;
- les cellules 138 et 139 induisent un déphasage de $-\frac{\varphi}{5}$;

- 5 - la cellule 140 induit un déphasage de $-\frac{3\varphi}{5}$;
- la cellule 141 induit un déphasage de $-\varphi$.

Pour déplacer le foyer F du miroir principal 86 de la figure 15 en F_4 :

- 10 - les cellules 134, 135, 140 et 141 n'induisent pas de déphasage ;
- la cellule 143 induit un déphasage de φ ;
- la cellule 142 induit un déphasage de $\frac{3\varphi}{5}$;
- les cellules 137 et 139 induisent un déphasage de $\frac{\varphi}{5}$;

- 15 - les cellules 136 et 138 induisent un déphasage de $-\frac{\varphi}{5}$;
- la cellule 133 induit un déphasage de $-\frac{3\varphi}{5}$;
- la cellule 132 induit un déphasage de $-\varphi$.

Pour déplacer le foyer F du miroir principal 86 de la figure 15 en F_2 :

- 20 - les cellules 132, 133, 142 et 143 n'induisent pas de déphasage ;
- la cellule 141 induit un déphasage de φ ;
- la cellule 140 induit un déphasage de $\frac{3\varphi}{5}$;
- 25 - les cellules 138 et 139 induisent un déphasage de $\frac{\varphi}{5}$;
- les cellules 136 et 137 induisent un déphasage de $-\frac{\varphi}{5}$;
- la cellule 135 induit un déphasage de $-\frac{3\varphi}{5}$;
- 30 - la cellule 134 induit un déphasage de $-\varphi$.

Sur la figure 18, on peut voir un réseau 81 carré. Le réseau 81 comporte quatre cellules carrées centrales 136 à 139 et quatre cellules trapezoïdales périphériques 132, 134, 141 et 143.

Pour déplacer le foyer F du miroir principal 86 de la figure 15 en F_3 :

- 35 - les cellules 134 et 141 n'induisent pas de déphasage ;
- la cellule 132 induit un déphasage de φ ;
- 40 - les cellules 136 et 138 induisent un déphasage de $\frac{\varphi}{5}$;
- les cellules 137 et 139 induisent un déphasage de $-\frac{\varphi}{5}$;
- la cellule 143 induit un déphasage de $-\varphi$.

Pour déplacer le foyer F du miroir principal 86 de la figure 15 en F_1 :

- 45 - les cellules 132 et 143 n'induisent pas de déphasage ;
- la cellule 134 induit un déphasage de φ ;
- 50 - les cellules 136 et 137 induisent un déphasage de $\frac{\varphi}{5}$;
- les cellules 138 et 139 induisent un déphasage de $-\frac{\varphi}{5}$;
- la cellule 141 induit un déphasage de $-\varphi$.

Pour déplacer le foyer du miroir principal 86 de la figure 15 en F_4 :

- 55 - les cellules 134 et 141 n'induisent pas de déphasage ;
- la cellule 143 induit un déphasage de φ ;
- 60 - les cellules 137 et 139 induisent un déphasage de $\frac{\varphi}{5}$;
- les cellules 136 et 138 induisent un déphasage de $-\frac{\varphi}{5}$;
- la cellule 132 induit un déphasage de φ .

Pour déplacer le foyer F du miroir principal 86 de la

figure 15 en F_2 :

- les cellules 132 et 143 n'induisent pas de déphasage ;
- la cellule 141 induit un déphasage de φ ;
- les cellules 138 et 139 induisent un déphasage de $\frac{\varphi}{3}$;
- les cellules 136 et 137 induisent un déphasage de $-\frac{\varphi}{3}$;
- la cellule 134 induit un déphasage de $-\varphi$.

L'invention s'applique principalement à la réalisation d'antennes à balayage électronique notamment en ondes millimétriques.

L'invention s'applique principalement à la réalisation d'antennes comportant des réseaux réflecteurs en contrôle de phases.

L'invention s'applique aussi à la réalisation de panneaux en modulation de phases pour balises répondeuses dans des systèmes radars coopératifs ou des systèmes de localisation.

Revendications

1. Réflecteur actif d'ondes électromagnétiques comportant une pluralité de réactances variables (1) commandables, caractérisé par le fait que chaque réactance variable (1) comporte une pluralité de métallisations (4, 70, 7) déposées sur un substrat (11, 120) reliées par des diodes à capacité variable (6), lesdites métallisations étant placées à une distance sensiblement égale à $\frac{\lambda}{4}$ d'un plan de masse (12), λ étant la longueur d'onde desdites ondes électromagnétiques.

2. Réflecteur selon la revendication 1, caractérisé par le fait qu'il comporte un support semiconducteur (11) les diodes à capacité variable en PIN(6) étant diffusées dans ledit support semiconducteur (11), les réactances variables comportant des bandes de métallisation (70) déposées sur ledit support semiconducteur (11).

3. Réflecteur selon la revendication 2, caractérisé par le fait que le plan de masse (12) est rendu solidaire directement du support semiconducteur (11).

4. Réflecteur selon la revendication 2, caractérisé par le fait qu'il comporte un support diélectrique (120) situé entre le support semiconducteur (11) et le plan de masse (12).

5. Réflecteur selon la revendication 2, 3 ou 4, caractérisé par le fait que le support semiconducteur (11) est une tranche entière de semiconducteur.

6. Réflecteur selon la revendication 1 à 5, caractérisé par le fait que ledit réflecteur est un réflecteur d'ondes électromagnétiques appartenant à la bande de fréquence des ondes millimétriques.

7. Réflecteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les diodes à capacité variable (6) sont des diodes PIN.

8. Réflecteur selon l'une quelconque des

revendications précédentes, caractérisé par le fait que les diodes (6) ont une capacité continûment variable.

9. Réflecteur selon l'une quelconque des revendications 2 à 8, caractérisé par le fait que les bandes métallisées (70) sont partagées en une pluralité d'ensembles commandables individuellement, permettant un balayage électronique dans deux plans perpendiculaires.

10. Antenne comportant une source primaire de rayonnement illuminant un réflecteur actif, caractérisée par le fait que la source primaire (82) est susceptible de rayonner une onde cylindrique et que le réflecteur actif (81) comporte une pluralité de métallisations (70) reliées par des diodes à capacités variables (6), lesdites métallisations étant placées à une distance sensiblement égale à $\frac{\lambda}{4}$ d'un plan de masse (12), λ étant la longueur d'onde desdites ondes.

11. Antenne comportant une source primaire (82) de rayonnement illuminant un réflecteur actif (81), caractérisée par le fait qu'il comporte une lentille diélectrique (86) assurant la focalisation dudit rayonnement et que le réflecteur actif (81) comporte une pluralité de métallisations (70) reliées par des diodes à capacités variables (6), lesdites métallisations étant placées à une distance sensiblement égale à $\frac{\lambda}{4}$ d'un plan de masse (12), λ étant la longueur d'onde dudit rayonnement.

12. Procédé de fabrication de réflecteur actif d'ondes électromagnétiques, caractérisé par le fait qu'il comporte les étapes suivantes :

- diffusion de diodes à capacité variable dans un substrat de matériau semiconducteur (11) ;
- métallisation de bandes (70) sur ledit substrat de matériau semiconducteur (11) ;
- solidarisation du substrat de matériau semiconducteur (11) avec un plan de masse (12) de façon à ce que les bandes métallisées (70) se trouvent à une distance sensiblement égale à $\frac{\lambda}{4}$ dudit plan de masse (12).

13. Procédé de fabrication selon la revendication 12, caractérisé par le fait que l'on intercale un support diélectrique (120) entre le matériau semiconducteur (11) et le plan de masse (12).

14. Réflecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé par le fait que les bandes métalliques (70) sont découpées en segments (77) reliés en série par des diodes (6).

15. Réflecteur selon la revendication 14, caractérisé par le fait que deux segments (77) successifs sont reliés en parallèle par une pluralité de diodes (6).

16. Antenne comportant une source de rayonnement (82) et un miroir principal (86), caractérisée par le fait qu'elle comporte un réseau à contrôle de phases (81) susceptible de faire varier la position du foyer (F) dudit miroir principal (86).

17. Antenne selon la revendication 16, caractérisée par le fait que le miroir principal est un paraboloïde.

18. Antenne selon la revendication 16 ou 17, caractérisée par le fait que le réseau à contrôle de phases est susceptible de faire coïncider la position du foyer (F) avec une pluralité de points (F₁, F₂, F₃, F₄) le point de coïncidence changeant par permutation circulaire. 5

19. Réflecteur selon la revendication 14 ou 15, caractérisé par le fait que des segments (77) sont reliés par des résistances (781, 791).

20. Réflecteur selon la revendication 19, caractérisé par le fait que les résistances (781, 791) sont des métallisations de nickel chrome. 10

15

20

25

30

35

40

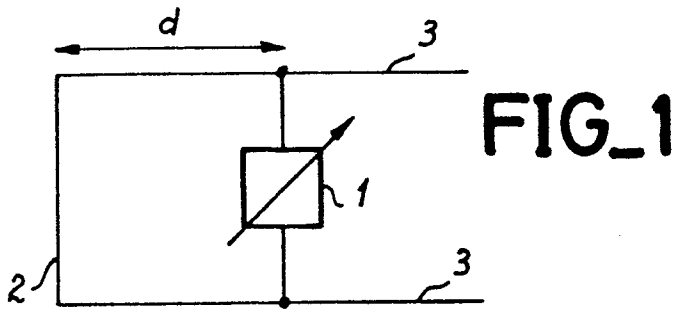
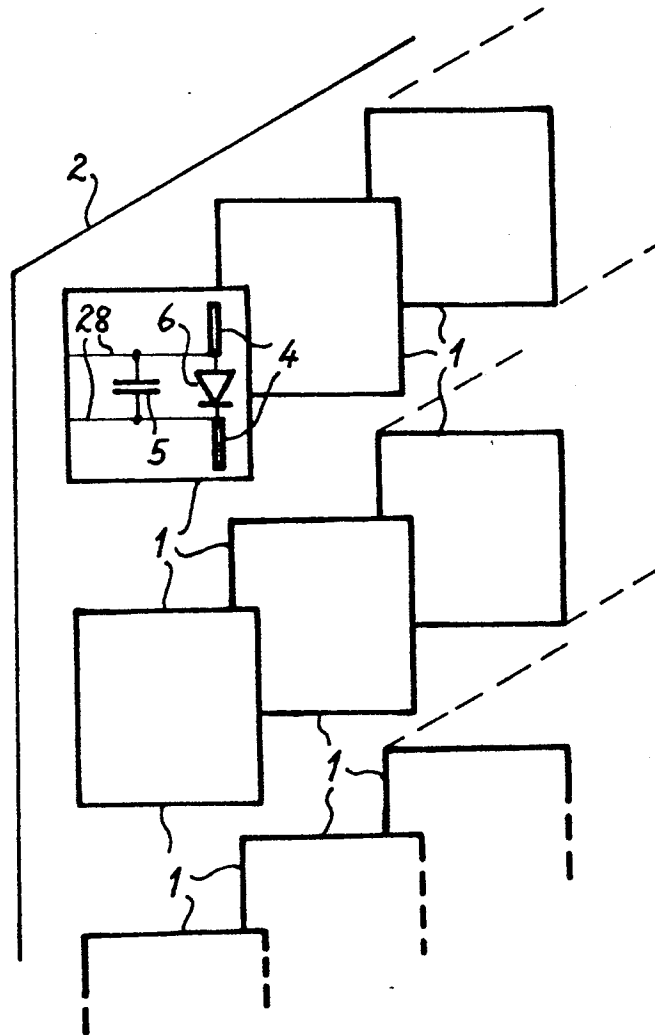
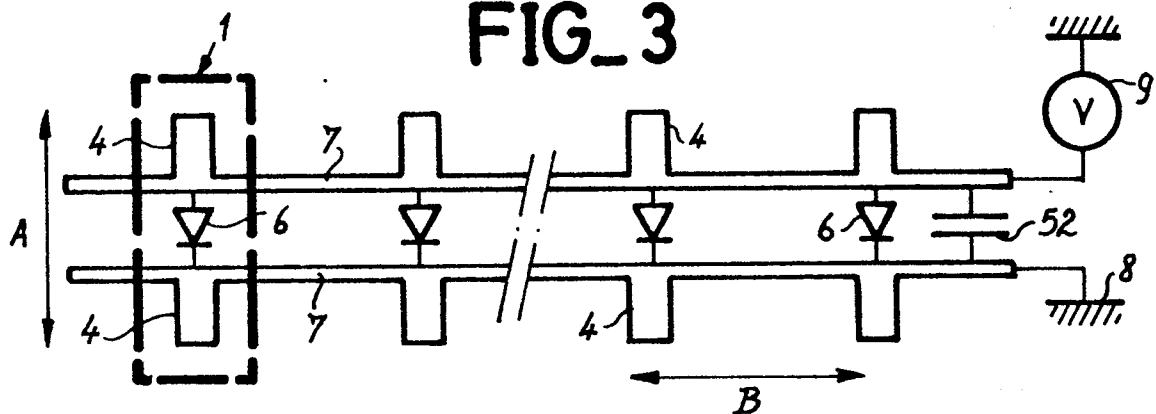
45

50

55

60

65

**FIG. 2****FIG. 3**

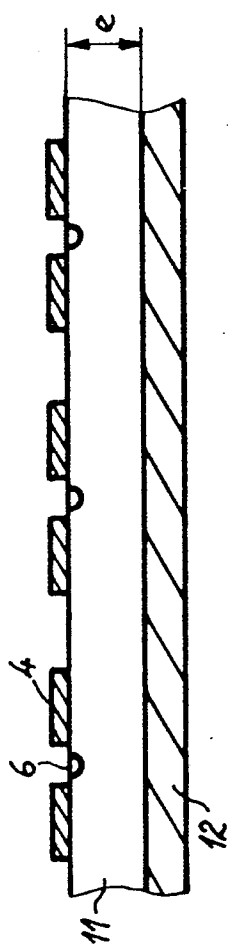


FIG 4

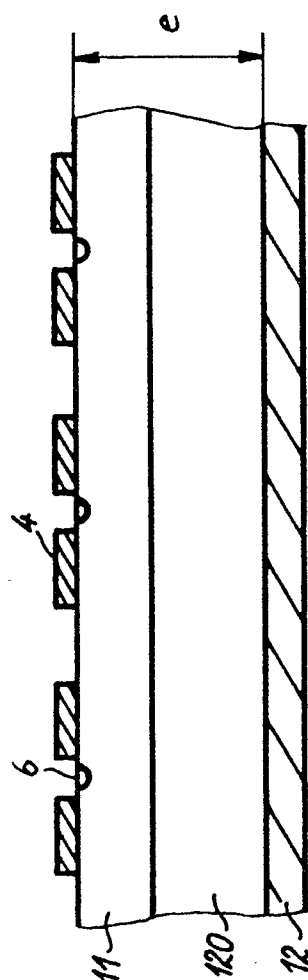


FIG-5

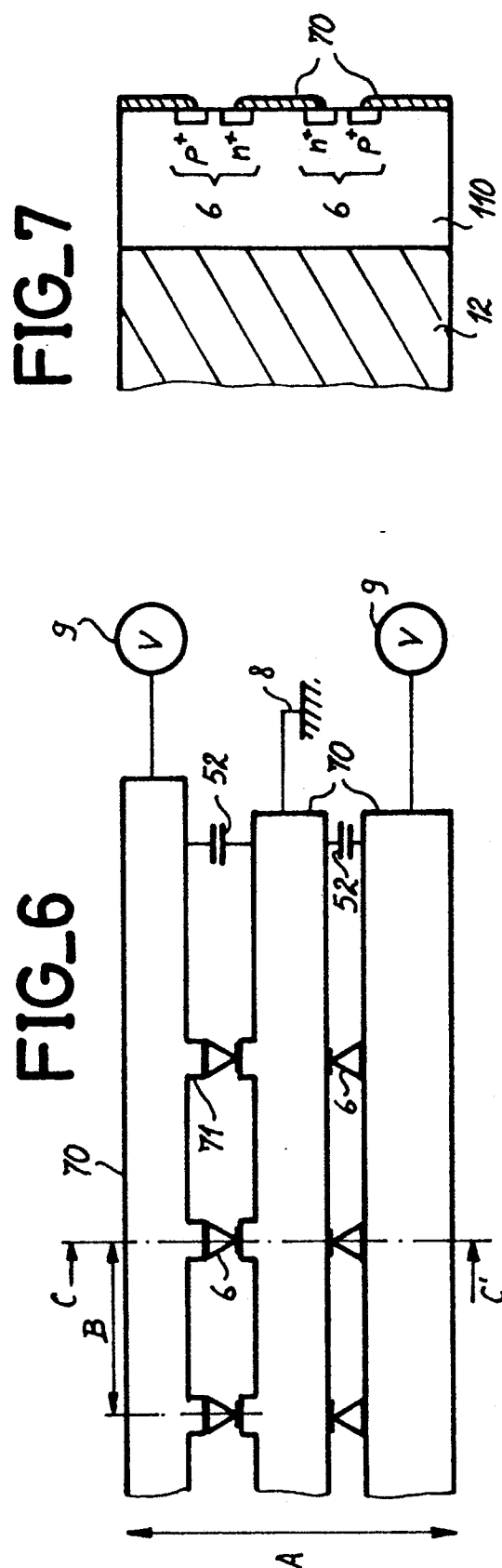


FIG-6

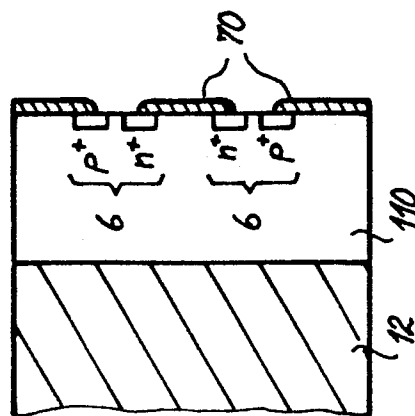
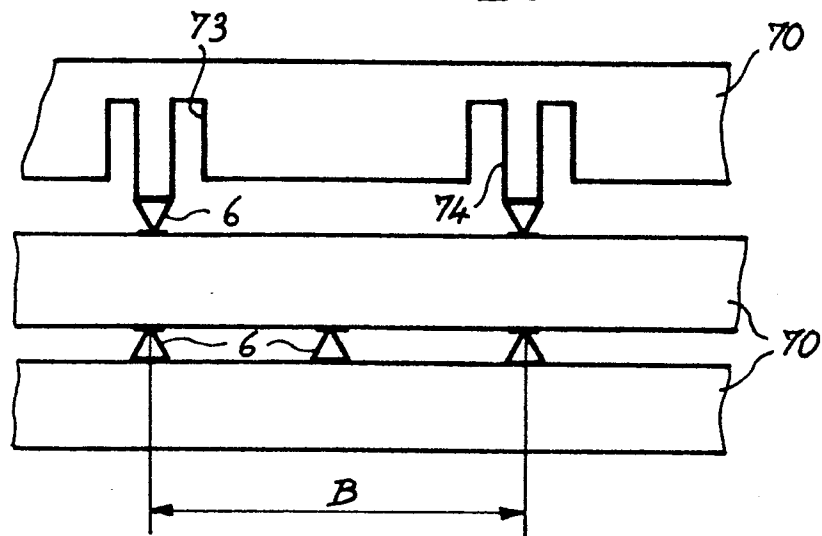
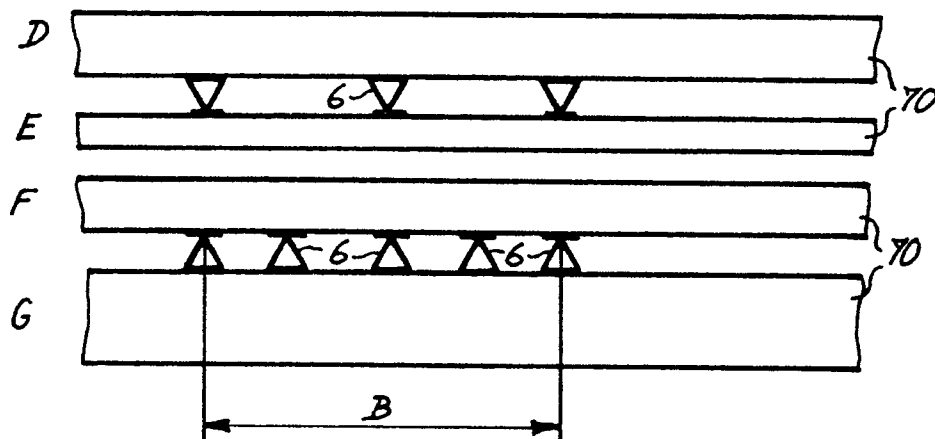


FIG-7

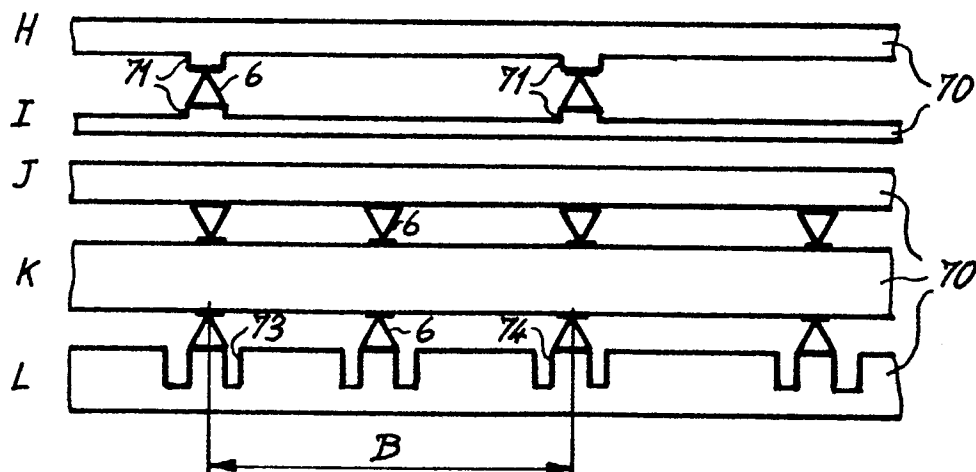
FIG_8



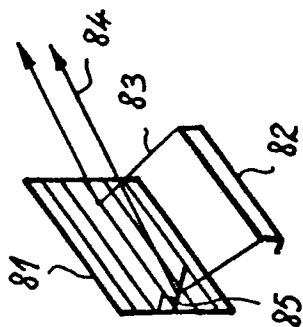
FIG_9



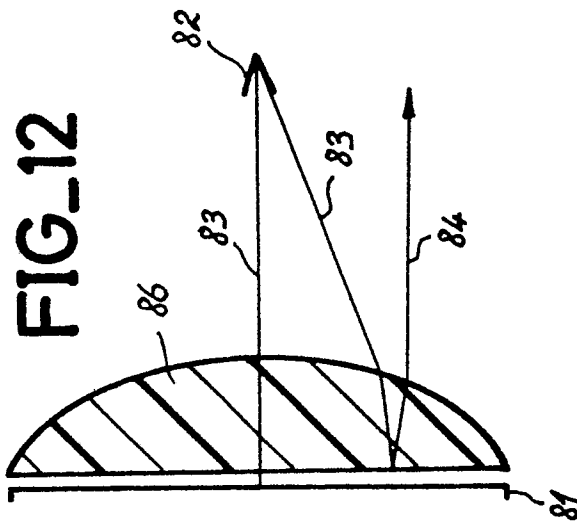
FIG_10



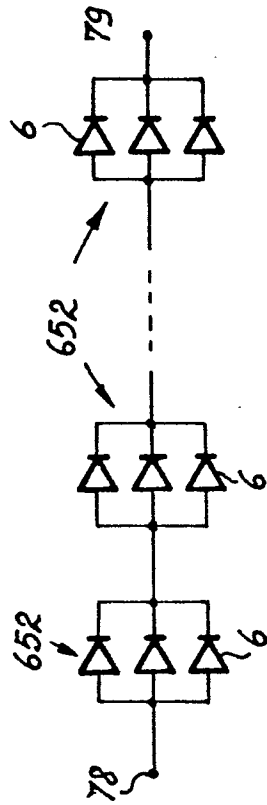
FIG_11



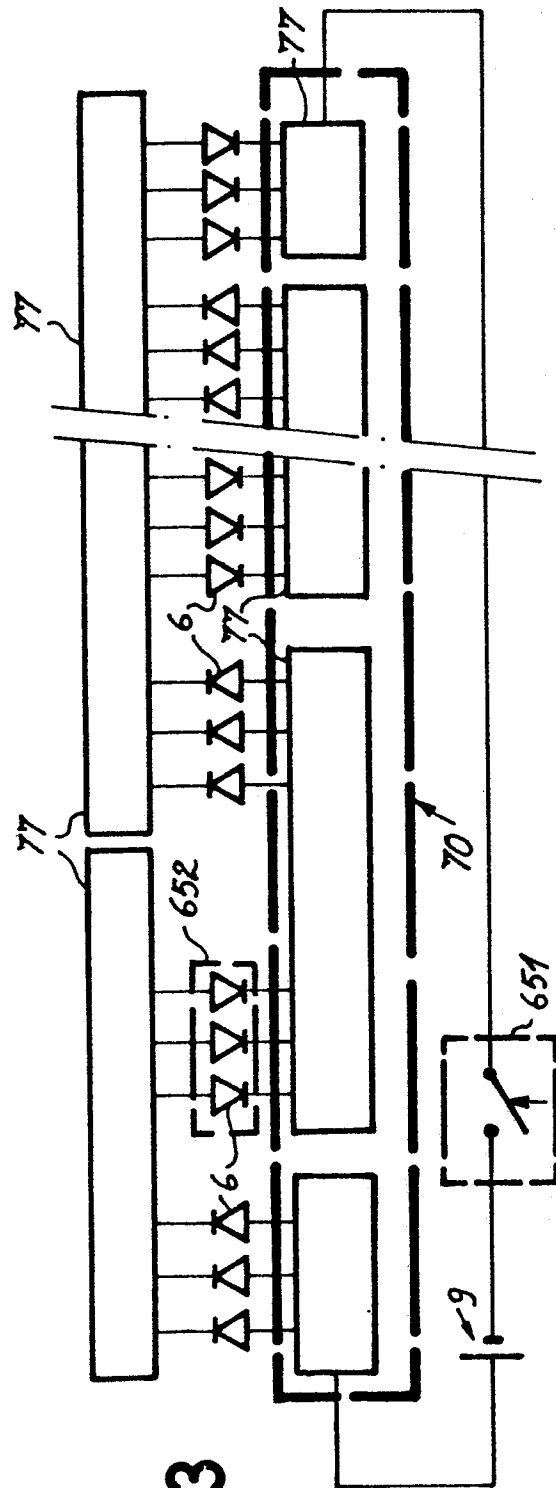
FIG_12



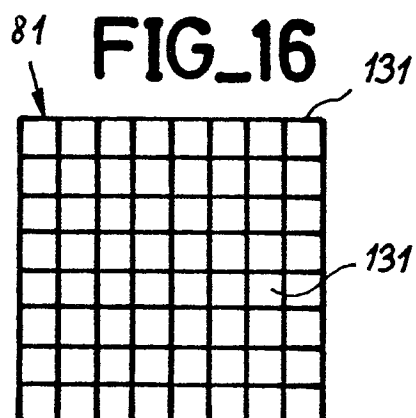
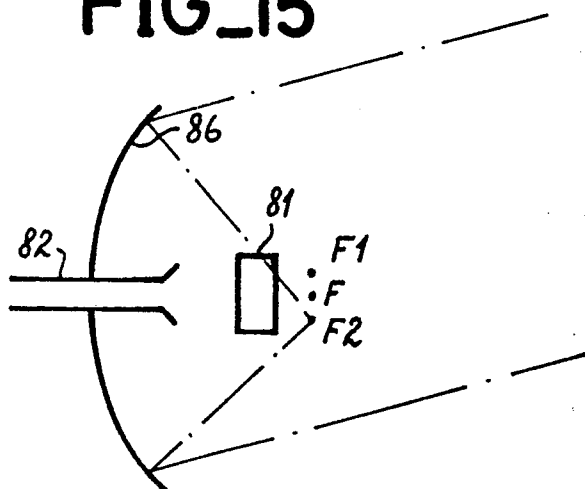
FIG_14



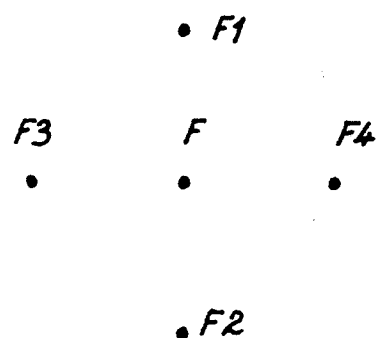
FIG_13



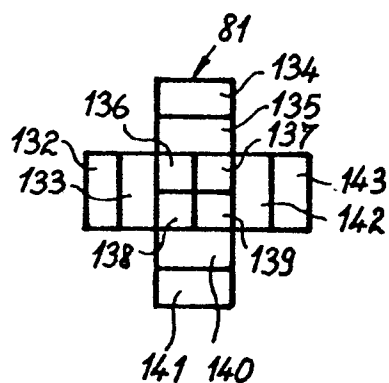
FIG_15



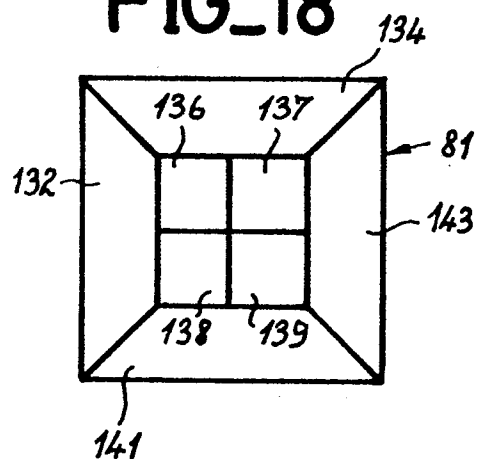
FIG_19



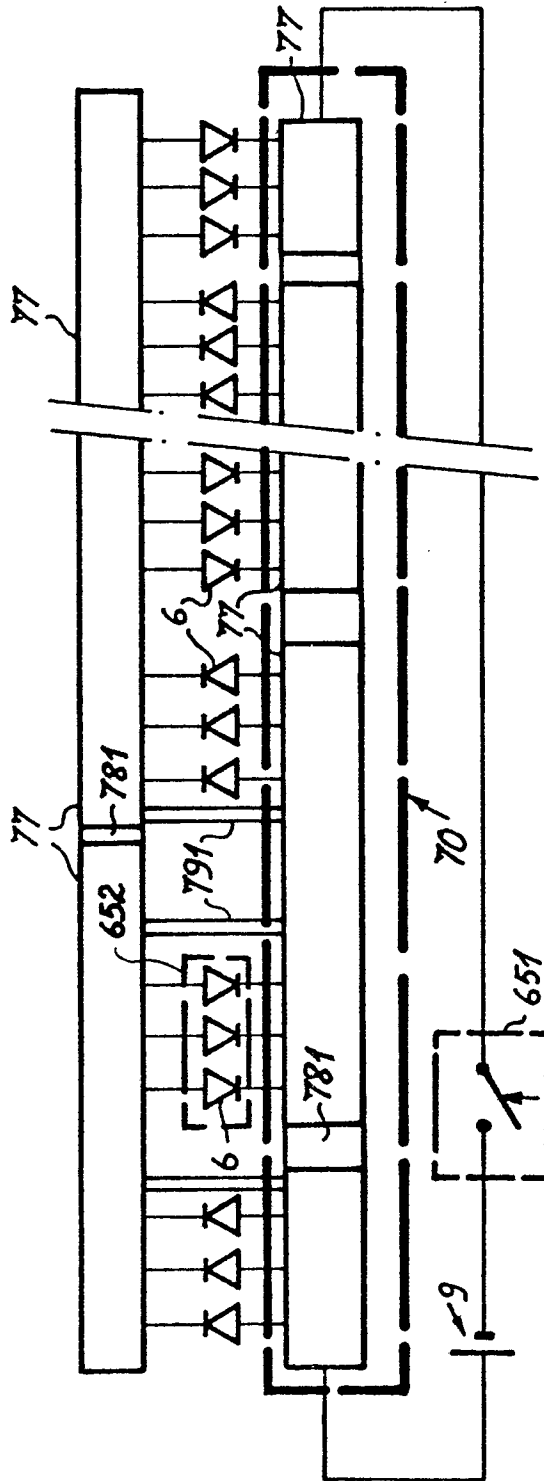
FIG_17



FIG_18



FIG_20



FIG_21

