

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication : **2 607 640**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)  
②1 N° d'enregistrement national : **87 16531**  
⑤1 Int Cl<sup>4</sup> : H 03 H 9/46.

①2

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 27 novembre 1987.

③0 Priorité : JP, 28 novembre 1986, n° 283512/86 et 30 avril 1987, n° 107350/87.

④3 Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 22 du 3 juin 1988.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société dite : *SONY CORPORATION.* — JP.

⑦2 Inventeur(s) : Yoshikazu Murakami ; Takahiro Ohgihara ; Kanako Niikura ; Yasuyuki Mizunuma ; Hiroyuki Nakano.

⑦3 Titulaire(s) :

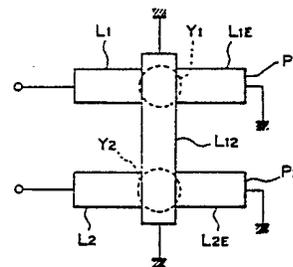
⑦4 Mandataire(s) : Cabinet Beau de Loménie.

⑤4 Filtre accordé à couches minces.

⑤7 L'invention concerne un filtre accordé à résonance ferromagnétique à couches minces.

Elle se rapporte à un filtre qui comporte deux couches minces ferrimagnétiques  $Y_1$ ,  $Y_2$ , par exemple de grenat de fer et d'yttrium, couplées à des lignes de transmission d'entrée et de sortie  $L_1$ ,  $L_2$ . Selon l'invention, les distances comprises entre un point de couplage d'une couche mince et d'une ligne et l'extrémité à la masse de la ligne opposée sont supérieures ou égales aux dixième et inférieures au quart de la longueur d'onde à la fréquence limite supérieure de la bande passante d'accord du filtre.

Application à la réalisation de filtres accordables à couches minces.



FR 2 607 640 - A1

D

La présente invention concerne un filtre accordé à résonance ferromagnétique à couches minces comprenant par exemple un filtre accordé mettant en oeuvre la résonance ferromagnétique d'une couche mince de YIG (grenat de fer et d'yttrium).

La figure 9 représente schématiquement un filtre accordé connu à résonance ferromagnétique à couches minces mettant en oeuvre des couches minces à résonance ferromagnétique. Le filtre accordé à résonance ferromagnétique est un filtre passe-bande à deux étages ayant une paire de couches minces de YIG  $Y_1$  et  $Y_2$  jouant le rôle de résonateur magnétique. Une ligne  $L_1$  de transmission de signaux d'entrée et une ligne  $L_2$  de transmission de signaux de sortie sont couplées magnétiquement aux couches minces de YIG  $Y_1$  et  $Y_2$  respectivement. Une ligne  $L_{12}$  de transmission de connexion disposée transversalement aux lignes de signaux d'entrée et de sortie  $L_1$  et  $L_2$  est couplée magnétiquement aux couches minces de YIG  $Y_1$  et  $Y_2$ . Ces couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  sont couplées aux lignes de transmission de signaux  $L_1$  et  $L_2$  à des emplacements proches des extrémités de masse  $P_1$  et  $P_2$  des lignes  $L_1$  et  $L_2$  de transmission de signaux respectivement, afin que les couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  soient fortement couplées aux lignes de transmission de signaux  $L_1$  et  $L_2$  respectivement.

Dans ces constructions, la plage de variation de la largeur de bande est d'une à deux octaves au plus lorsqu'un champ magnétique continu appliqué aux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  varie afin que le filtre accordé à résonance ferromagnétique soit utilisé comme filtre accordé à fréquence variable.

L'étroitesse de la variation de la largeur de bande d'un tel filtre accordé de YIG à deux étages est examinée dans la suite. On suppose que le facteur  $Q$  sans charge de chacune des couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  est  $Q_0$ , que le facteur externe  $Q$  résultant du couplage des couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  respectivement avec les lignes de transmission de signaux  $L_1$  et  $L_2$  est  $Q_e$ , que le facteur externe apparent  $Q$  résultant

tant de l'augmentation de la distance comprise entre le point de couplage de la ligne de transmission de signaux d'entrée  $L_1$  et de la couche mince  $Y_1$ , et l'extrémité  $P_1$  à la masse,  $1$  et de la distance comprise entre le point de couplage de la ligne de transmission de signaux de sortie  $L_2$  et de la couche mince  $Y_2$ , et l'extrémité à la masse  $P_2$  est  $Q_e^{eff}$ , et que le coefficient de couplage des deux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  est  $k$ .  $Q_u$ ,  $Q_e$  et  $Q_e^{eff}$  et  $k$  sont alors exprimés par les fonctions suivantes de la fréquence  $f$  :

$$k = k_0/f \quad (1)$$

$$Q_u = (f - f_{min})/\gamma\Delta H \approx f/\gamma\Delta H \quad (2)$$

$$Q_e^{eff} = Q_e / \cos^2 \beta l = Q_e / \cos^2 (2\pi l f / V_c / \sqrt{\epsilon_{eff}}) \quad (3)$$

dans lesquelles  $f_{min}$  est une fréquence limite inférieure de résonance,  $\gamma$  est le rapport gyromagnétique,  $\Delta H$  est la largeur de la raie de résonance,  $\beta$  est la constante de phase des lignes de signaux d'entrée et de sortie,  $l$  est la distance comprise entre les points respectifs de couplage des lignes de transmission de signaux d'entrée et de sortie et des couches minces correspondantes de YIG et les extrémités respectives à la masse  $P_1$  et  $P_2$ ,  $V_c$  est la vitesse de la lumière et  $\epsilon_{eff}$  est la constante diélectrique effective des lignes de transmission de signaux d'entrée et de sortie. On suppose que le filtre est à l'état de couplage critique à une fréquence  $f_0$ . L'équation suivante est alors satisfaite :

$$k = 1/Q_e^{eff} + 1/Q_u \quad (4)$$

A l'état de couplage critique, les pertes du filtre par insertion atteignent la valeur minimale alors que les pertes par réflexion atteignent la valeur maximale au centre de la bande passante.

Cependant, à un état de surcouplage dans lequel :

$$k > 1/Q_e^{eff} + 1/Q_u \quad (5)$$

les caractéristiques du filtre ont une double bosse et en conséquence les pertes par insertion ne sont pas minimales et les pertes par réflexion ne sont pas maximales au centre de la bande passante.

Comme un sous-couplage est accentué dans un état tel que :

$$k < 1/Qe^{eff} + 1/Qu \quad (6)$$

les pertes par insertion augmentent et les pertes par réflexion diminuent.

La figure 10 représente les résultats d'essais de simulation des caractéristiques d'un filtre ayant fondamentalement la construction représentée sur la figure 9. Sur la figure 10, les courbes 10RL, 10IL et 10BW représentent la variation des pertes par réflexion, des pertes par insertion et de la largeur de bande à 3 dB respectivement, avec la fréquence. Dans ce cas, une fréquence critique, c'est-à-dire une fréquence à laquelle le filtre est à un état de couplage critique, est d'environ 1 GHz. Lorsque la fréquence diminue à partir de la fréquence critique, le surcouplage s'accroît et détériore les caractéristiques du filtre, les pertes par insertion augmentent au centre de la bande passante et les pertes par réflexion diminuent au centre de la bande passante, et, lorsque la fréquence augmente à partir de la fréquence critique, le sous-couplage est accentué et détériore les caractéristiques du filtre, les pertes par insertion augmentent et les pertes par réflexion diminuent, car le coefficient de couplage  $k$  des couches minces de YIG varie proportionnellement à la fréquence alors que la distance  $l$  est suffisamment faible et en conséquence, comme l'indique clairement l'expression (3),  $Qe^{eff}$  est fixe à la valeur  $Qe$  indépendamment de la fréquence. Comme le montre clairement la figure 10, lorsque la perte nécessaire par réflexion est égale ou supérieure à 10 dB, c'est-à-dire lorsque le taux d'ondes stationnaires de la tension est inférieur ou égal à 2, la largeur de la bande de variation est comprise entre 0,65 et 1,5 GHz, c'est-à-dire dans 1,2 octave et, lorsque la perte par réflexion est de 6 dB ou plus, c'est-à-dire lorsque le taux d'ondes stationnaires de la tension est inférieur ou égal à 3, la largeur de la bande de variation est comprise entre 0,5 et 1,9 GHz, c'est-à-dire qu'elle recouvre 1,9 octave.

La figure 11 représente les caractéristiques mesurées de ce filtre, les courbes 11RL, 11IL et 11BW indiquant la variation des pertes mesurées par réflexion, des pertes mesurées par insertion et de la largeur de bande mesurée à 3 dB. Il est évident que les courbes représentées sur la figure 11 ressemblent étroitement aux courbes correspondantes représentées sur la figure 10.

Ainsi, dans le filtre accordé connu à couches minces de YIG, la largeur de bande à 3 dB varie beaucoup avec la variation de la fréquence centrale, cette caractéristique étant défavorable à l'application du filtre accordé à couches minces de YIG à un système, et le filtre accordé à couches minces de YIG de type connu pose un problème de caractéristiques de sélectivité en ce que la réponse du filtre est accentuée pour un mode parasite lorsque le mode uniforme de résonance des couches minces de YIG est à un état de sous-couplage.

La présente invention élargit beaucoup la bande de variation de fréquence du filtre accordé à résonance magnétique, par exemple du film accordé à résonance magnétique à couches minces YIG, réduit la variation de la largeur à 3 dB qui peut être attribuée à la variation de la fréquence centrale, et maintient fixe la largeur de bande à 3 dB dans toute la bande de variation de fréquence, avec formation d'un filtre accordé à couches minces à résonance magnétique applicable avantageusement à un système. En outre, la présente invention améliore les caractéristiques de sélectivité du filtre accordé à couches minces à résonance magnétique afin que ce filtre ait des caractéristiques satisfaisantes de sélectivité dans toute la bande de variation de fréquence, par conservation du filtre à un état proche du couplage critique dans la plus grande partie de la bande de variation de fréquence, et à un état de surcouplage aux extrémités supérieure et inférieure de la bande de variation de fréquence de manière que la détérioration des caractéristiques de sélectivité due à l'état de sous-couplage soit supprimée.

L'invention concerne ainsi un filtre accordé à résonance ferromagnétique à couches minces d'un type perfectionné.

Elle concerne un tel filtre ayant une plus grande  
5 bande de variation de fréquence.

Elle concerne un tel filtre ayant une plus grande bande de variation de fréquence et dans lequel la largeur de bande à 3 dB est stabilisée.

Elle concerne aussi un tel filtre ayant d'excellentes caractéristiques d'isolement.  
10

Elle concerne aussi un tel filtre ayant une plus grande largeur de bande de variation de fréquence et un faible encombrement.

Plus précisément, dans un premier aspect, l'invention concerne un filtre accordé à résonance ferromagnétique à couches minces qui comprend :  
15

une couche mince ferrimagnétique,

une ligne de transmission d'entrée et une ligne de transmission de sortie couplées à la couche mince ferrimagnétique, et  
20

un circuit magnétique appliquant un champ magnétique continu à la couche mince ferrimagnétique, chacune des lignes de transmission d'entrée et de sortie étant à la masse à une extrémité de masse respectivement, les distances comprises entre un point de couplage de la couche mince ferrimagnétique et de chacune des lignes de transmission d'entrée et de sortie et l'extrémité à la masse de chacune des lignes de transmission d'entrée et de sortie étant choisies de manière qu'elles soient supérieures ou  
25 égales au dixième et inférieures au quart de la longueur d'onde d'une onde transmise dans les lignes de transmission à la fréquence limite supérieure de la largeur de la bande d'accord.

Dans un autre aspect, l'invention concerne un filtre accordé à résonance ferromagnétique à couches minces qui comprend :  
35

une première et une seconde couche mince ferrimagnétique.

tique,

une ligne de transmission d'entrée couplée à la première couche mince ferrimagnétique et reliée à la masse à son autre extrémité,

5 une ligne de transmission de sortie couplée à la seconde couche mince ferrimagnétique et reliée à la masse à une extrémité, et

un circuit magnétique destiné à appliquer un champ magnétique continu à la première et à la seconde couche  
10 mince ferrimagnétique, la distance comprise entre un point de couplage de la première couche mince ferrimagnétique et de la ligne de transmission d'entrée et l'extrémité à la masse et la distance comprise entre un point de couplage de la seconde couche mince ferrimagnétique et de la ligne de  
15 transmission de sortie et l'extrémité à la masse étant choisies de manière qu'elles soient supérieures ou égales au dixième et inférieures au quart de la longueur d'onde d'une onde transmise dans les lignes de transmission à une fréquence limite supérieure de la largeur de la bande  
20 d'accord.

En outre, les parties de prolongement des lignes de transmission peuvent être recourbées afin qu'elles ne forment pas de partie parallèle à une autre ligne de transmission et améliorent ainsi les caractéristiques d'isolement.

25 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre d'exemples de réalisation, faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

la figure 1 est une représentation schématique de la  
30 constitution de base d'un filtre accordé à résonance ferromagnétique à couches minces selon la présente invention ;

la figure 2 est une coupe d'un filtre accordé à résonance ferromagnétique à couches minces dans un mode de réalisation préféré de l'invention ;

35 la figure 3 est une perspective éclatée d'un ensemble de filtrage incorporé au filtre accordé de la figure 2 ;

la figure 4 est un graphique représentant la répartition du champ magnétique sur les lignes de transmission de signaux ;

la figure 5 est un graphique représentant la variation de  $k - 1/Q_u$  et de  $1/Q_e^{eff}$  en fonction de la fréquence ;

les figures 6 à 8 sont des graphiques représentant les caractéristiques de filtres accordés à résonance ferromagnétique à couches minces selon la présente invention ;

la figure 9 est une représentation schématique de la constitution fondamentale d'un filtre accordé à couches minces de YIG de type connu ;

les figures 10 et 11 sont des graphiques représentant les caractéristiques de filtres accordés à couches minces de YIG du type représenté sur la figure 9 ;

les figures 12 et 13 sont des vues schématiques agrandies en plan des parties essentielles d'ensembles de filtrage selon d'autres modes de réalisation de filtres selon l'invention ;

la figure 14 est une perspective schématique agrandie éclatée d'un ensemble de filtrage selon l'invention ;

la figure 15 est une coupe schématique agrandie d'un filtre selon l'invention ;

la figure 16 est une représentation schématique de la répartition d'un champ magnétique dans la partie de couplage de la ligne de transmission de signaux couplée à une couche mince de YIG ; et

les figures 17 à 19 sont des graphiques représentant les caractéristiques d'isolement des filtres.

Selon l'invention, le couplage des couches minces à résonance ferromagnétique, par exemple de couches minces de YIG, et de lignes de transmission de signaux d'entrée et de sortie est augmenté dans une région des faibles fréquences et est réduit dans une région des fréquences élevées afin que le couplage des couches minces à résonance ferromagnétique aux lignes de transmission de signaux d'entrée et de sortie varie avec la variation du coefficient  $k$  de couplage

qui dépend de la fréquence d'une manière telle qu'un état très proche d'un couplage critique est établi sur la plus grande partie de la bande de fréquences et un surcouplage est établi aux extrémités opposées de la bande de variation de fréquence.

Ainsi, dans un filtre accordé à couches minces de YIG selon l'invention, comme représenté sur la figure 1 qui en indique la constitution fondamentale, comprenant des couches minces ferrimagnétiques  $Y_1$  et  $Y_2$  de YIG constituant des résonateurs magnétiques, une ligne  $L_1$  de transmission de signaux d'entrée et une ligne  $L_2$  de transmission de signaux de sortie couplées respectivement aux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  de YIG, et un circuit magnétique non représenté destiné à appliquer un champ magnétique continu aux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$ , les distances comprises entre les points respectifs de couplage de la ligne  $L_1$  de transmission de signaux d'entrée et de la ligne  $L_2$  de transmission de signaux de sortie aux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  et les extrémités respectives  $P_1$  et  $P_2$  à la masse sont supérieures ou égales au dixième et inférieures au quart de la longueur d'onde d'une onde à la fréquence limite supérieure d'une bande de fréquences d'accord. Sur la figure 1, la référence  $L_{12}$  désigne une ligne de transmission de connexion ou de couplage disposée transversalement aux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$ .

Ainsi, selon l'invention, les distances comprises entre les points respectifs de couplage de la ligne  $L_1$  de transmission de signaux d'entrée et de la ligne  $L_2$  de transmission de sortie aux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  et les extrémités correspondantes à la masse  $P_1$  et  $P_2$  (ces points se trouvant au centre des couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$ ) sont fixées sélectivement à des valeurs supérieures ou égales au dixième et inférieures au quart de la longueur d'onde d'une onde se trouvant à la fréquence limite supérieure d'une bande de fréquences d'accord. Ainsi, le couplage des couches minces de YIG et des lignes de transmission de signaux est accru lorsque la fréquence diminue et diminue lorsque

la fréquence augmente. Des ondes stationnaires sont ainsi créées dans la ligne de transmission qui est à la masse à une extrémité, et la répartition de l'intensité du champ magnétique à haute fréquence créé par la ligne de transmission de signaux est la plus grande à l'extrémité à la masse et diminue suivant une fonction cosinusoidale avec la distance depuis l'extrémité qui est à la masse jusqu'à une valeur nulle à un emplacement qui est à une distance correspondant au quart de la longueur d'onde par rapport à l'extrémité à la masse comme indiqué par la courbe 41 de la figure 4, alors que la répartition de l'intensité du champ magnétique à basse fréquence créée par la ligne de transmission de signaux est constante comme indiqué par la courbe 42 sur la figure 4. Ainsi, dans un filtre accordé à couche mince à résonance magnétique selon l'invention, le degré de couplage magnétique des couches minces magnétiques de YIG et des lignes de transmission de signaux est élevé dans la région des faibles fréquences d'une bande de variation de fréquences et est faible dans la région des fréquences élevées de cette même bande.

On suppose que le filtre est à l'état de couplage critique lorsque la fréquence est égale à  $f_0$ . On obtient alors, d'après l'expression (4),

$$k - 1/Q_u = 1/Q_e^{\text{eff}} \quad (7)$$

$$(k_0 - \gamma \Delta H)/f_0 = \cos^2 \beta \ell / Q_e$$

D'autre part, la quantité  $k - 1/Q_u$  ( $\log(k - 1/Q_u)$ ) varie avec  $f$  ( $\log f$ ) suivant la droite 51 représentée sur la figure 5. Cependant, lorsque la distance  $\ell$  entre les points de couplage des couches minces de YIG aux lignes de transmission de signaux correspondantes et les extrémités respectives à la masse est inférieure au quart de la longueur d'onde,  $1/Q_e^{\text{eff}}$  varie avec la fréquence  $f$  de trois manières, comme représenté par les courbes 52a, 52b et 52c de la figure 5, suivant la valeur de la distance  $\ell$ .

On suppose que la variation de  $1/Q_e^{\text{eff}}$  est représentée par la courbe 52b. L'équation (8) suivant es alors satisfaite :

$$d(k - 1/Q_0)/df = d(1/Q_0^{\text{eff}})/df \quad (8)$$

En conséquence,

$$(k - \gamma \Delta H)/f^2 = 2\pi \ell / (Vc/\sqrt{\epsilon^{\text{eff}}}) \cdot \sin 2\beta \ell / Q_0 \quad (9)$$

Si l'on porte l'expression (7) dans l'expression (9), on obtient :

$$\cos^2 \beta \ell = \beta \ell \cdot \sin 2\beta \ell \quad (10)$$

On tire de l'expression (10), le résultat suivant  $\beta \ell = 0,761$ . En conséquence, on a la relation :

$$\ell = \lambda / 8,26 \quad (11)$$

dans laquelle  $\lambda$  est la longueur d'onde à la fréquence  $f$ . La variation de  $1/Q_0^{\text{eff}}$  avec la fréquence, lorsque la distance  $\ell$  est supérieure  $\lambda / 8,26$ , est représentée par la courbe 52a, et par la courbe 52c lorsque la distance  $\ell$  est inférieure à  $\lambda / 8,26$ . Comme l'indique clairement la figure 5, lorsque  $1/Q_0^{\text{eff}}$  varie suivant les courbes 52a ou 52b, la fréquence  $f$  peut être la fréquence limite supérieure de la bande des fréquences d'accord. Cependant, comme un mode de couplage critique apparaît à nouveau à une fréquence  $f_1$  qui est supérieure à la fréquence  $f$  lorsque  $1/Q_0^{\text{eff}}$  varie suivant la courbe 52c, la fréquence  $f$  ne peut pas être la fréquence limite supérieure des fréquences d'accord du filtre. Ainsi, la plage efficace de la distance  $\ell$  est telle que :

$$\lambda / 8,26 \leq \ell < \lambda / 4 \quad (12)$$

Cependant, dans une application pratique, la bande de fréquences peut être suffisamment étalée dans les conditions suivantes :

$$\lambda / 10 \leq \ell < \lambda / 4 \quad (13)$$

On décrit maintenant, en référence aux figures 2 et 3, un mode de réalisation préféré de filtre accordé à couches minces de YIG. Une couche mince  $Y_1$  de YIG en forme de disque et une couche mince  $Y_2$  de YIG en forme de disque sont réalisées par formation d'une couche mince de YIG sur toute la surface d'un substrat non magnétique 31, par exemple d'un substrat de GGG (grenat de gallium et de gadolinium) par un procédé de croissance épitaxiale en phase liquide, et par attaque chimique de la couche mince

de YIG par un procédé photolithographique. Le substrat non magnétique 31 portant les deux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  de YIG est placé sur un conducteur inférieur 32. Une cavité est formée dans une zone prédéterminée du conducteur inférieur 32 afin qu'elle forme un entrefer 36 dans une zone correspondant aux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  comme représenté sur la figure 2. Un substrat diélectrique 33, par exemple de quartz, est placé sur le substrat non magnétique 31. Une ligne  $L_1$  de transmission de signaux d'entrée et une ligne  $L_2$  de transmission de signaux de sortie, qui sont parallèles, sont formées sur une face du substrat diélectrique 33 tournée vers les couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  afin qu'elles soient disposées transversalement à ces couches minces. Une ligne  $L_{12}$  de transmission de connexion est formée de l'autre côté du substrat diélectrique 33 transversalement à la direction des lignes de transmission de signaux  $L_1$  et  $L_2$  afin qu'elle soit disposée au-dessus des couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$ . Un conducteur supérieur 34 est placé sur le substrat diélectrique 33 portant la ligne  $L_1$  de transmission de signaux d'entrée et la ligne  $L_2$  de transmission de signaux de sortie afin que le substrat diélectrique 33 et le substrat non magnétique 31 portant les couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  soient maintenus entre le conducteur supérieur 34 et le conducteur inférieur 32 et ainsi de manière que les bords opposés du conducteur supérieur soient disposés en face des bords opposés du conducteur inférieur 32. Une cavité est formée dans une zone prédéterminée de la surface interne du conducteur supérieur 34 afin qu'un entrefer 37 soit formé dans une zone correspondant aux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$ , au côté d'entrée de la ligne  $L_1$  et au côté de sortie de ligne  $L_2$ .

Des bornes de masse  $e_{12a}$  et  $e_{12b}$  qui sont au contact du conducteur supérieur 34 sont formées aux extrémités opposées de la ligne  $L_{12}$  de connexion formée sur le substrat diélectrique 33 maintenue entre les conducteurs inférieur et supérieur 32 et 34. Des bornes de masse  $e_1$  et  $e_2$  sont formées à l'extrémité de masse, c'est-à-dire une

extrémité opposée à l'extrémité d'entrée de ligne de transmission de signaux d'entrée  $L_1$  et à l'extrémité à masse, c'est-à-dire l'extrémité opposée à l'extrémité de sortie de la ligne de transmission de signaux de sortie  $L_2$  respectivement, afin que ces bornes soient au contact du conducteur inférieur 32.

Ainsi, un ensemble 35 de filtrage comprenant les couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  de YIG, les lignes  $L_1$  et  $L_2$  de transmission de signaux d'entrée et de sortie couplées aux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$ , et la ligne de connexion  $L_{12}$ , qui sont placées entre les conducteurs supérieur et inférieur 32 et 34, est réalisé.

Comme représenté sur la figure 2, l'ensemble 35 de filtrage est placé dans un entrefer 22 d'un circuit magnétique 21. Ce dernier est réalisé par exemple par disposition de deux noyaux magnétiques 24A et 24B en forme de cloche, ayant des âmes 23A et 23B opposées l'une à l'autre afin qu'elles délimitent un entrefer magnétique 22 entre elles. Un enroulement 25 est formé sur l'une au moins des âmes 23A et 23B. Un courant continu est transmis à l'enroulement 25 afin qu'un champ magnétique continu voulu soit appliqué à l'ensemble 35 de filtrage placé dans l'entrefer 22.

L'intensité du champ magnétique est modifiée par variation d'intensité du courant continu appliqué à l'enroulement 25 afin que la fréquence d'accord varie.

L'arrangement relatif des couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  de YIG et des lignes de transmission d'entrée et de sortie  $L_1$  et  $L_2$  est déterminé de manière que la distance  $\lambda$  comprise entre le point de couplage de la couche mince  $Y_1$  et de la ligne d'entrée  $L_1$  et la borne de masse  $e_1$  et que la distance  $\lambda$  comprise entre le point de couplage de la couche mince  $Y_2$  et de la ligne de sortie  $L_2$  et la borne de masse  $e_2$  soient supérieures ou égales au dixième et inférieures au quart de la longueur d'onde d'une onde à la fréquence limite supérieure.

Lorsque les lignes de transmission de signaux sont

formées sur le substrat de GGG comme indiqué précédemment afin que la constante diélectrique efficace des lignes de transmission de signaux soit accrue, les espaces compris entre le point de couplage de la ligne d'entrée  $L_1$  et de la couche mince  $Y_1$  et l'extrémité de masse  $e_1$  et entre le point de couplage de la ligne de sortie  $L_2$  et de la couche mince  $Y_2$  et l'extrémité de masse  $e_2$ , c'est-à-dire les distances réelles, peuvent être réduits.

La figure 6 représente les caractéristiques du filtre obtenu dans un essai de simulation d'un filtre dans lequel la distance  $l$ , c'est-à-dire la distance comprise entre le point de couplage de la ligne d'entrée  $L_1$  et de la couche mince  $Y_1$  et l'extrémité à la masse  $e_1$  et la distance comprise entre le point de couplage de la ligne de sortie  $L_2$  et de la couche mince  $Y_2$  et l'extrémité à la masse  $e_2$ , correspond à une valeur de 1,3 mm. Sur la figure 6, les courbes 60RL, 60IL et 60BW représentent la variation des pertes par réflexion, des pertes par insertion et de la largeur de bande à 3 dB, avec la fréquence. Dans ce cas, la perte par réflexion est de 6 dB ou plus lorsque la bande à fréquence variable est comprise entre 0,5 et 4,9 GHz, c'est-à-dire que cette bande est bien plus grande que celle du filtre connu représenté sur les figures 10 et 11.

La figure 7 représente les caractéristiques du filtre obtenu au cours d'un essai de simulation d'un filtre dans lequel la distance correspond à un espace de 15,2 mm, les courbes 70RL, 70IL et 70BW représentant la variation des pertes par réflexion, des pertes par insertion et de la largeur de bande à 3 dB respectivement, en fonction de la fréquence. Dans ce cas, une bande de variation de fréquence, destinée à donner une perte par réflexion de 10 dB ou plus, est comprise entre 0,68 et 3,76 GHz, c'est-à-dire recouvre 2,4 octaves, et celle qui donne une perte par réflexion de 6 dB ou plus est comprise entre 0,5 et 3,9 GHz, c'est-à-dire sur 3 octaves. La figure 8 représente les caractéristiques d'un filtre expérimental selon l'invention, correspondant aux caractéristiques du filtre

connu représenté sur la figure 10. Les caractéristiques du filtre déterminées par simulation correspondent bien à celles du filtre expérimental, indiquées sur la figure 8. Les caractéristiques du filtre de la figure 6 et celles de la figure 7 (figure 8) sont obtenues lorsque la distance correspond à des espaces de 12,3 et 15,2 mm respectivement. Ces espaces de 12,3 et 15,2 mm correspondent au cinquième des longueurs d'onde, c'est-à-dire 80 % du quart des longueurs d'onde, aux fréquences limites supérieures de 4,9 et 3,9 GHz respectivement.

Comme l'indique clairement la comparaison des caractéristiques des filtres de l'invention, indiquées sur les figures 6 et 7 (figure 8) et celles du filtre classique, indiquées sur la figure 10 (figure 11), dans le filtre de l'invention, la largeur de bande à 3 dB varie avec la variation de la fréquence centrale dans une plage étroite et garde presque une valeur fixe.

Comme l'indique la description qui précède, selon l'invention, le degré de couplage des couches minces de YIG aux lignes de transmission de signaux d'entrée et de sortie est accru dans la plage des faibles fréquences et est réduit dans la plage des fréquences élevées, par détermination sélective de la distance comprise entre les points de couplage des couches minces et des lignes de transmission d'entrée et de sortie et les extrémités respectives à la masse de ces lignes de transmission de signaux d'entrée et de sortie. Ainsi, comme l'indique clairement la relation entre les courbes 51 et 52c de la figure 5, un couplage critique est obtenu aux fréquences  $f_0$  et  $f_1$  correspondant aux deux points A et B d'intersection des courbes 51 et 52c, et ainsi un état presque identique au couplage critique est établi dans une large plage de fréquences si bien que la plage de variation de fréquence est très élargie. En outre, comme le surcouplage existe aux extrémités opposées de la bande de variation de fréquence, le filtre a des caractéristiques satisfaisantes de sélectivité sur toute la plage de variation de fréquence. Ainsi, le mode principal

du filtre à couches minces de YIG est un mode uniforme et le mode magnétostatique d'ordre élevé est un mode parasite, et  $Q_e^u < Q_e^s$  ( $Q_e^u$  est le facteur externe  $Q$  du mode uniforme et  $Q_e^s$  est le facteur externe  $Q$  du mode parasite). En  
5 conséquence, lorsque le mode uniforme a tendance à être l'état de sous-couplage, le mode parasite a tendance à se rapprocher de l'état de couplage critique si bien que la réponse parasite est accrue de manière correspondante. Ainsi, comme indiqué précédemment, dans le filtre classique  
10 à couches minces de YIG, le mode uniforme devient un état de sous-couplage dans une plage des fréquences élevées, et détériore les caractéristiques de sélectivité dans la plage des fréquences élevées. Au contraire, dans le filtre à couches minces de YIG selon l'invention, un état presque  
15 identique à l'état de couplage critique apparaît dans la plus grande partie de la bande de variation de fréquence, et un état de surcouplage apparaît aux extrémités opposées de la bande de variation de fréquence. Ainsi, le filtre accordé à couches minces de YIG selon l'invention a des  
20 caractéristiques satisfaisantes de sélectivité sur toute la bande de variation de fréquence.

En outre, selon l'invention, la plage de variation de la largeur de bande à 3 dB avec la variation de la fréquence à la résonance est étroite et en conséquence le  
25 filtre accordé à couches minces de YIG selon l'invention a une largeur de bande fixe à 3 dB sur toute la bande de variation de fréquence, d'une manière avantageuse pour l'application du filtre accordé à couches minces de YIG à un système.

30 D'autres modes de réalisation sont décrits dans la suite, et donnent une amélioration des caractéristiques d'isolement du filtre ayant la construction précitée. Comme le montre la comparaison des figures 1 et 9, l'augmentation du couplage magnétique direct à haute fréquence entre les  
35 lignes parallèles de transmission, due à une augmentation notable des longueurs respectives des parties parallèles des lignes de transmission de signaux d'entrée et de sortie

par disposition des prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$ , est l'une des causes de la détérioration des caractéristiques d'isolement. Une autre cause de la détérioration des caractéristiques d'isolement est que l'intensité d'un champ électrique à haute fréquence est accentuée à proximité des parties de couplage des lignes de transmission des signaux d'entrée et de sortie, couplées aux couches minces de YIG, c'est-à-dire les couches minces à résonance magnétique, surtout à la fréquence limite supérieure de la bande de variation de fréquence du fait de la présence des prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$ . Ceci augmente le couplage capacitif à la ligne de transmission de connexion  $L_{12}$ .

La figure 12 est une vue en plan de la partie essentielle d'un ensemble de filtrage. Cet ensemble comporte des couches minces ferrimagnétiques, c'est-à-dire des couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  de YIG, jouant le rôle d'un résonateur magnétique, une ligne de transmission de signaux d'entrée  $L_1$  et une ligne de transmission de signaux de sortie  $L_2$  couplées respectivement aux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$ , et un circuit magnétique, non représenté, destiné à appliquer un champ magnétique en courant continu aux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$ , et dans lequel, comme décrit précédemment en référence à la figure 1, des prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$  sont formés à partir des extrémités de la ligne  $L_1$  et de la ligne  $L_2$  respectivement afin que les distances respectives comprises entre les parties de couplage des lignes de transmission d'entrée et de sortie et les extrémités à la masse des prolongements soient supérieures ou égales au dixième et inférieures au quart et plus précisément proches du quart de la longueur d'onde d'une onde à la fréquence limite supérieure de la bande des fréquences d'accord.

Dans ce filtre accordé à résonance ferromagnétique à couches minces, au moins les prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$  placés du même côté que les parties de couplage de la ligne  $L_1$  de transmission de signaux d'entrée et de la ligne  $L_2$  de transmission de signaux de sortie, couplées aux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$ , ou les autres extrémités de la ligne

d'entrée  $L_1$  et de la ligne de sortie  $L_2$ , opposées aux prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$ , sont coudés, courbés ou prolongés progressivement vers le haut afin qu'ils forment des parties  $L$  à intervalles croissants, séparés par une distance supérieure à la distance  $D$  comprise entre les parties respectives de couplage des lignes de transmission d'entrée et de sortie  $L_1$  et  $L_2$ .

En outre, comme représenté par exemple sur la figure 13, la partie de couplage de la ligne d'entrée  $L_1$  couplée à la couche mince  $Y_1$  et/ou la partie de couplage de la ligne de sortie  $L_2$  couplée à la couche mince  $Y_2$  sont divisées en deux parties longitudinales destinées à former un tronçon divisé  $L_{1D}$  et/ou un tronçon divisé  $L_{2D}$ . Sur la figure 13, les parties correspondant à celles de la figure 2 portent les mêmes références et leur description n'est pas reproduite.

Dans une telle construction, des parties  $L$  d'augmentation d'intervalle sont formées dans les prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$  afin que la distance comprise entre le prolongement  $L_{1E}$  et l'autre extrémité de la ligne  $L_2$  et la distance comprise entre le prolongement  $L_{2E}$  et l'autre extrémité de la ligne  $L_1$  soient supérieures à la distance comprise entre le reste des parties des lignes de transmission de signaux  $L_1$  et  $L_2$ . De cette manière, la détérioration de l'isolement du champ magnétique aux fréquences élevées, entre les lignes de transmission de signaux  $L_1$  et  $L_2$ , qu'on peut attribuer à la présence des prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$ , est évitée.

En outre, lorsque les tronçons divisés  $L_{1D}$  et  $L_{2D}$  sont formés dans les parties respectives de couplage des lignes de transmission de signaux  $L_1$  et  $L_2$  qui sont couplées aux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  respectivement, un flux magnétique est appliqué uniformément sur toutes les surfaces des couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$ , les impédances des lignes de transmission  $L_1$  et  $L_2$  restant constantes comme indiqué par le schéma de répartition du flux magnétique indiqué en trait fin sur la figure 16. Ainsi, l'augmenta-

tion du couplage capacitif des couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  avec une autre ligne de transmission, par exemple la ligne de connexion disposée transversalement aux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$ , du fait d'une augmentation locale de l'intensité du champ, est évitée, et les caractéristiques d'isolement sont donc améliorées.

Un filtre accordé à couches minces de YIG, dans un mode de réalisation de l'invention, est maintenant décrit en référence aux figures 12, 14 et 15. Une couche mince  $Y_1$  de YIG et une couche mince  $Y_2$  de YIG ayant chacune une forme de disque sont formées par réalisation d'une couche mince de YIG sur toute la surface d'un substrat non magnétique 31, par exemple un substrat de GGG (grenat de gallium et de gadolinium), par croissance épitaxiale en phase liquide, et par attaque chimique afin que les disques des couches minces soient formés, au cours d'un processus photolithographique. Le substrat non magnétique 31 portant les deux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  est placé sur un conducteur inférieur 32. Une cavité est formée dans une zone prédéterminée du conducteur inférieur 32 afin qu'un entrefer soit formé en face des couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  comme représenté sur la figure 15. Un substrat diélectrique 33, par exemple un substrat de GGG, est placé sur le substrat non magnétique 31. Les lignes parallèles  $L_1$  et  $L_2$  de transmission de signaux d'entrée et de sortie sont formées sur une face du substrat diélectrique 33 tournée vers les couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  afin qu'elles soient disposées transversalement à ces couches minces. Une ligne de transmission de connexion  $L_{12}$  est formée de l'autre côté du substrat diélectrique 33 transversalement à la direction des lignes  $L_1$  et  $L_2$  de transmission de signaux afin qu'elle soit disposée au-dessus des couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$ . Un conducteur supérieur 34 est placé sur le substrat diélectrique 33 portant les lignes  $L_1$  et  $L_2$  de transmission de signaux d'entrée et de sortie afin que le substrat diélectrique 33 et le substrat non magnétique 31 portant les couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  soient maintenus entre le conducteur supérieur 34 et le

conducteur inférieur 32 et afin que les bords opposés du conducteur supérieur 34 soient disposés en face des bords opposés du conducteur inférieur 32. Une cavité est formée dans une zone prédéterminée de la surface interne du conducteur supérieur 34 afin qu'un entrefer 37 soit formé dans une zone correspondant aux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$ , au côté d'entrée de la couche de transmission de signaux d'entrée  $L_1$  et au côté de sortie de la couche de transmission de signaux de sortie  $L_2$ .

Des bornes de masse  $e_{12a}$  et  $e_{12b}$  qui sont au contact du conducteur supérieur 34, sont formées aux extrémités opposées de la ligne de transmission de connexion  $L_{12}$  formée sur le substrat diélectrique 33 maintenue entre les conducteurs inférieur et supérieur 32 et 34. Des bornes de masse  $e_1$  et  $e_2$  sont formées à l'extrémité de masse, c'est-à-dire à l'extrémité opposée à l'extrémité d'entrée, de la ligne  $L_1$  et à l'extrémité de masse, c'est-à-dire à l'extrémité opposée à l'extrémité de sortie, de la ligne  $L_2$ , afin qu'elles soient au contact du conducteur inférieur 32.

Ainsi, un ensemble 35 de filtrage comprenant les couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  de YIG, les lignes de transmission de signaux d'entrée et de sortie  $L_1$  et  $L_2$  couplées aux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$ , et la ligne  $L_{12}$  de transmission de connexion, qui sont placées entre les conducteurs supérieur et inférieur 32 et 34, est réalisé.

Comme représenté sur la figure 15, l'ensemble 34 de filtrage est placé dans un entrefer 22 d'un circuit magnétique 21. Ce dernier est construit par exemple par disposition de deux noyaux magnétiques 24A et 24B en forme de cloche, ayant des âmes centrales 23A et 23B, l'un en face de l'autre afin qu'ils délimitent un entrefer 22 entre les âmes 23A et 23B. Un enroulement 25 est formé au moins sur l'âme centrale 23A ou 23B. Un courant continu est transmis à l'enroulement 25 afin qu'un champ magnétique continu voulu soit appliqué à l'ensemble 35 de filtrage placé dans l'entrefer 22.

L'intensité du champ magnétique est modifiée par

variation de l'intensité du courant continu appliqué à l'enroulement 25 afin que la fréquence d'accord varie.

Des prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$  dépassent respectivement des lignes  $L_1$  et  $L_2$  de transmission de signaux d'entrée et de sortie afin que les distances comprises entre les parties respectives de couplage des lignes  $L_1$  et  $L_2$  et des couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  et les extrémités respectives à la masse  $e_1$  et  $e_2$  soient supérieures ou égales au dixième et inférieures au quart de la longueur d'onde d'une onde à la fréquence limite supérieure.

Dans ce mode de réalisation, le prolongement  $L_{1E}$  dépassant d'une première extrémité de la ligne  $L_1$  de transmission de signaux d'entrée, et le prolongement  $L_{2E}$  dépassant d'une première extrémité de la ligne  $L_2$  de transmission de signaux de sorties sont placés en sens opposés, et ces prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$  sont repliés vers l'extérieur, c'est-à-dire à distance l'un de l'autre, avec une configuration en  $L_w$ , formant des parties  $L_w$  qui augmentent leur intervalle, si bien que la distance comprise entre le prolongement  $L_{1E}$  et l'autre extrémité de la ligne de sortie  $L_2$  et la distance comprise entre le prolongement  $L_{2E}$  et l'autre extrémité de la ligne d'entrée  $L_1$  sont supérieures à la distance comprise entre le reste des parties de la ligne d'entrée et de la ligne de sortie  $L_1$  et  $L_2$ . Les coins externes respectifs des coudes des parties  $L_w$  sont découpés en diagonale afin que les coins des parties  $L_w$  ne puissent pas provoquer une réflexion.

Les lignes  $L_1$ ,  $L_2$  et  $L_{12}$  peuvent être divisées chacune, par exemple en deux parties, au niveau des parties respectives de couplage aux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$  afin que des tronçons divisés  $L_{1D}$ ,  $L_{2D}$  et  $L_{12D}$  soient formés dans les lignes  $L_1$ ,  $L_2$  et  $L_{12}$  respectivement.

Bien que les prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$  partant des lignes d'entrée et de sortie  $L_1$  et  $L_2$  de ce mode de réalisation soient coudés en  $L_w$  et forment des parties  $L_w$  qui augmentent l'intervalle, les prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$  peuvent être réalisés avec un dessin oblique afin que ces

prolongements s'écartent progressivement de la ligne de sortie  $L_2$  et de la ligne d'entrée  $L_1$  respectivement. En outre, bien que les parties  $L$  destinées à augmenter l'intervalle soient formées dans les prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$  dans ce mode de réalisation, ces parties peuvent aussi être formées à la fois dans les prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$  et aux extrémités correspondantes des lignes de transmission de signaux d'entrée et de sortie  $L_1$  ou  $L_2$ , ou les parties  $L$  qui augmentent l'intervalle peuvent n'être formées qu'aux extrémités de la ligne d'entrée  $L_1$  et de la ligne de sortie  $L_2$  placées respectivement en face des prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$ . De plus, dans ce mode de réalisation, les extrémités à la masse des lignes d'entrée  $L_1$  et de sortie  $L_2$  sont opposées par rapport aux parties de couplage des lignes de transmission  $L_1$  et  $L_2$  couplées aux couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$ . Cependant, lorsque les extrémités à la masse des lignes d'entrée et de sortie  $L_1$  et  $L_2$  se trouvent du même côté par rapport aux parties de couplage, les prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$  sont opposés. Dans ce cas, la partie  $L$  d'augmentation d'intervalle n'est formée que dans l'un des prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$ , ou les parties  $L$  sont formées dans les deux prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$ .

En outre, la ligne de connexion  $L_{12}$  de ce mode de réalisation peut être remplacée par une troisième couche mince de YIG destinée à être couplée magnétiquement aux disques  $Y_1$  et  $Y_2$  de YIG.

Dans les modes de réalisations qui précèdent, bien que le filtre à couches minces de YIG ait des prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$ , l'augmentation des longueurs des parties en coïncidence des lignes de transmission de signaux d'entrée et de sortie  $L_1$  et  $L_2$  est évitée et la détérioration des caractéristiques d'isolement, due à la concentration locale du champ électrique sur la partie de couplage de la ligne d'entrée  $L_1$  couplée à la couche mince  $Y_1$  et sur la partie de couplage de la ligne de sortie  $L_2$  couplée à la couche mince  $Y_2$ , est évitée. Les figures 17 et 18 représentent les caractéristiques d'isolement des ensembles de filtrage

représentés sur les figures 12 et 13 respectivement. La figure 19 représente les caractéristiques d'isolement d'un filtre à couches minces de YIG ayant une construction analogue à celle du filtre de la figure 12, mais dans lequel les prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$  sont des prolongements directs et rectilignes des couches minces  $Y_1$  et  $Y_2$ , sans que les parties  $L_w$  d'augmentation d'intervalle soient formées. Bien que tous ces filtres soient des filtres à variation de fréquence ayant une largeur de bande de variation de fréquence de 3 octaves entre 0,5 et 4,0 GHz comme l'indique clairement la figure 19, l'isolement est de 40 dB à la fréquence limite supérieure de 4 GHz et est compris entre 45 et 50 dB dans la bande de fréquences placée au-dessous de la fréquence limite supérieure, lorsque les prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$  sont rectilignes. Cependant, comme l'indiquent clairement les figures 17 et 18, l'isolement du filtre à couches minces correspondant à l'ensemble de la figure 12 est de l'ordre de 40 dB à la fréquence limite supérieure et de 60 dB ou plus dans la bande de fréquences qui se trouve au-dessous de la fréquence limite supérieure, et l'isolement du filtre ayant l'ensemble de la figure 13 est de 50 dB ou plus à la fréquence limite supérieure de 4 GHz et est compris entre 65 et 70 dB dans presque toute la bande de variation de fréquence. L'invention améliore donc les caractéristiques d'isolement.

En outre, comme indiqué précédemment, lorsque les prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$  sont rectilignes, la surface de l'élément de filtrage, c'est-à-dire du substrat diélectrique 33, a une valeur atteignant  $10 \times 11,6 \text{ mm}^2$  alors que la surface de l'élément de filtrage est aussi réduite que  $12 \times 5 \text{ mm}^2$  lorsque les prolongements  $L_{1E}$  et  $L_{2E}$  sont coudés en L. Ainsi, l'invention permet la réalisation d'un filtre accordé à résonance ferromagnétique à couches minces qui a un faible encombrement.

De plus, lorsque les lignes de transmission  $L_1$ ,  $L_2$  et  $L_{12}$  sont divisées en tronçons longitudinaux, un champ magnétique uniforme est appliqué aux couches minces  $Y_1$  et

$Y_2$  de YIG à résonance magnétique et les caractéristiques de sélectivité sont donc améliorées.

Bien entendu, diverses modifications peuvent être apportées par l'homme de l'art aux filtres qui viennent  
5 d'être décrit uniquement à titre d'exemples non limitatifs sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Filtre accordé à résonance ferromagnétique à couche mince, caractérisé en ce qu'il comprend :

une couche mince ferrimagnétique ( $Y_1, Y_2$ ),  
 5 une ligne de transmission d'entrée ( $L_1$ ) et une ligne de transmission de sortie ( $L_2$ ) couplées à la couche mince ferrimagnétique, et

un circuit magnétique (21) destiné à appliquer un champ magnétique continu à la couche mince ferrimagnétique,  
 10 chacune des lignes de transmission d'entrée et de sortie étant à la masse à une extrémité de masse, chaque distance comprise entre un point de couplage de la couche mince ferrimagnétique et de l'une des lignes de transmission d'entrée et de sortie et une extrémité à la masse de ces  
 15 lignes de transmission d'entrée et de sortie étant choisie de manière qu'elle soit supérieure ou égale au dixième et inférieure au quart de la longueur d'onde d'une onde transmise dans les lignes de transmission à une fréquence limite supérieure d'une largeur de bande d'accord.

20 2. Filtre accordé à résonance ferromagnétique à couches minces, caractérisé en ce qu'il comprend :

une première et une seconde couche mince ferrimagnétique ( $Y_1, Y_2$ ),

une ligne de transmission d'entrée ( $L_1$ ) couplée à la  
 25 première couche mince ferrimagnétique ( $Y_1$ ) et mise à la masse à une première extrémité,

une ligne de transmission de sortie ( $L_2$ ) couplée à la seconde couche mince ferrimagnétique ( $Y_2$ ) et mise à la masse à une extrémité, et

un circuit magnétique (21) destiné à appliquer un champ magnétique continu à la première et à la seconde couche mince ferrimagnétique, une distance comprise entre un point de couplage de la première couche mince ferrimagnétique et de la ligne de transmission d'entrée et l'ex-  
 30 trémité à la masse et une distance comprise entre un point de couplage de la seconde couche mince ferrimagnétique et de la ligne de transmission de sortie et l'ex-  
 35 trémité à la

masse étant supérieure ou égale au dixième et inférieure au quart de la longueur d'onde d'une onde transmise dans les lignes de transmission à une fréquence limite supérieure d'une largeur de bande d'accord.

- 5           3. Filtre accordé à résonance ferromagnétique à couches minces, caractérisé en ce qu'il comprend :
- des couches minces ferrimagnétiques ( $Y_1, Y_2$ ),  
une ligne de transmission de signaux d'entrée ( $L_1$ )  
et une ligne de transmission de signaux de sortie ( $L_2$ )  
10 couplées respectivement aux couches minces ferrimagnétiques, et
- un circuit magnétique (21) destiné à appliquer un champ magnétique continu aux couches minces ferrimagnétiques,
- 15           caractérisé en ce qu'une première extrémité de la ligne de transmission de signaux d'entrée ( $L_1$ ) et une première extrémité de la ligne de transmission des signaux de sortie ( $L_2$ ) sont prolongées et forment des prolongements ( $L_{1E}, L_{2E}$ ), la distance comprise entre le point de couplage  
20 de la ligne de transmission de signaux d'entrée et de la couche mince magnétique correspondante et l'extrémité à la masse du prolongement de la ligne de transmission de signaux d'entrée, et la distance comprise entre le point de couplage de la ligne de transmission de sortie et de couche  
25 mince ferrimagnétique correspondante et l'extrémité à la masse du prolongement de la ligne de transmission de signaux de sortie étant supérieure ou égale au dixième et inférieure au quart de la longueur d'onde d'une onde transmise dans les lignes de transmission à la fréquence limite  
30 supérieure d'une bande de fréquences d'accord, et en ce que des parties séparées par un intervalle supérieur à l'intervalle compris entre le point de couplage de la ligne de transmission de signaux d'entrée et de la couche mince ferrimagnétique et le point de couplage de la ligne de  
35 transmission des signaux de sortie et de la couche mince ferrimagnétique sont disposées au moins soit dans les prolongements placés du même côté que les points de couplage

des lignes de transmission de signaux d'entrée et de sortie couplées aux couches minces correspondantes à résonance magnétique soit dans les autres parties correspondantes opposées des lignes de transmission de signaux d'entrée et de sortie.

4. Filtre accordé à résonance ferromagnétique à couches minces, caractérisé en ce qu'il comprend :

des couches minces ferrimagnétiques ( $Y_1, Y_2$ ),  
 une ligne de transmission de signaux d'entrée ( $L_1$ )  
 10 et une ligne de transmission de signaux de sortie ( $L_2$ )  
 couplées aux couches minces ferrimagnétiques, et  
 un circuit magnétique (21) destiné à appliquer un  
 champ magnétique continu aux couches minces ferrimagnétiques,  
 15 caractérisé en ce qu'une première extrémité de la  
 ligne de transmission de signaux d'entrée ( $L_1$ ) et une  
 première extrémité de la ligne de transmission de signaux  
 de sortie ( $L_2$ ) se prolongent et forment des prolongements  
 ( $L_{1E}, L_{2E}$ ), la distance comprise entre le point de couplage  
 20 de la ligne de transmission de signaux d'entrée et de la  
 couche mince ferrimagnétique correspondante et l'extrémité  
 à la masse du prolongement et la distance comprise entre le  
 point de couplage de la ligne de transmission de signaux de  
 sortie et de la couche mince ferrimagnétique correspondante  
 25 et l'extrémité à la masse du prolongement étant supérieures  
 ou égales au dixième et inférieures au quart de la longueur  
 d'onde d'une onde transmise dans les lignes de transmission  
 à la fréquence limite supérieure d'une bande de fréquences  
 d'accord, en ce qu'une partie divisée ( $L_{1D}, L_{2D}$ ) est formée  
 30 au moins dans la partie de couplage de la ligne de trans-  
 mission de signaux d'entrée ou dans la partie de couplage  
 de la ligne de transmission de signaux de sortie, et en ce  
 que des parties espacées par un intervalle supérieur à  
 l'intervalle compris entre le point de couplage de la ligne  
 35 de transmission de signaux d'entrée et de la couche mince  
 ferrimagnétique et le point de couplage de la ligne de  
 transmission de signaux de sortie et de la couche mince

ferrimagnétique sont disposées soit dans les prolongements placés du même côté que les points de couplage des lignes de transmission de signaux d'entrée et de sortie couplées aux couches minces ferrimagnétiques correspondantes, soit  
5 dans les autres parties opposées correspondantes des lignes de transmission de signaux d'entrée et de sortie.

5. Filtre selon l'une quelconque des revendications 2, 3 et 4, caractérisé en ce qu'il comporte en outre une ligne de transmission de connexion ( $L_{12}$ ) couplée à la  
10 première et à la seconde couche mince ferrimagnétique ( $Y_1$ ,  $Y_2$ ).

6. Filtre selon l'une quelconque des revendications 2, 3 et 4, caractérisé en ce qu'il comporte en outre une troisième couche mince ferrimagnétique destinée à être  
15 couplée à la première et à la seconde couche mince ferrimagnétique.

FIG. 1

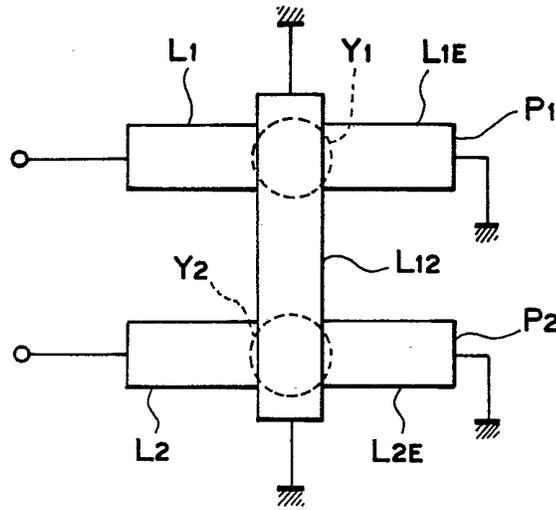


FIG. 2

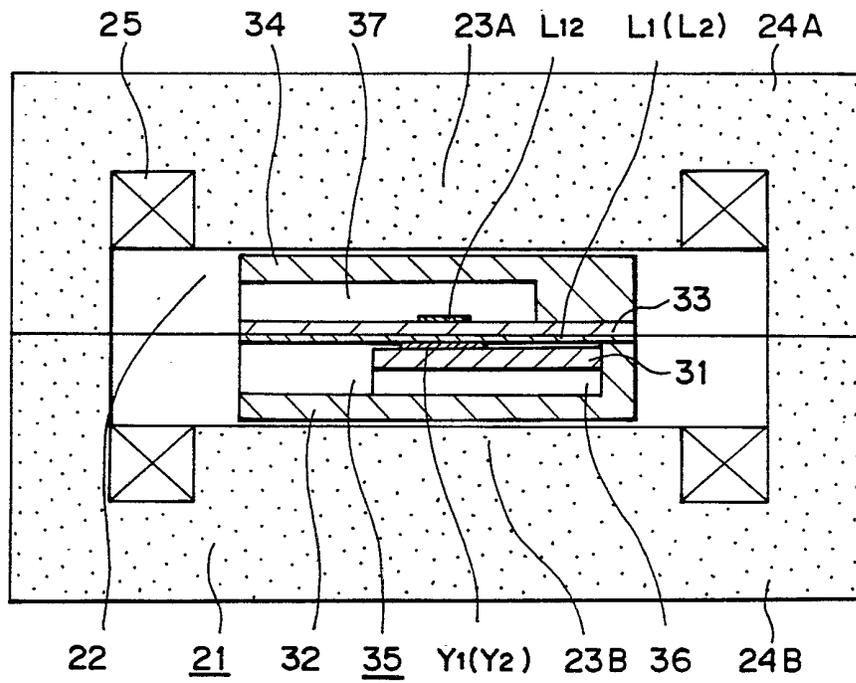
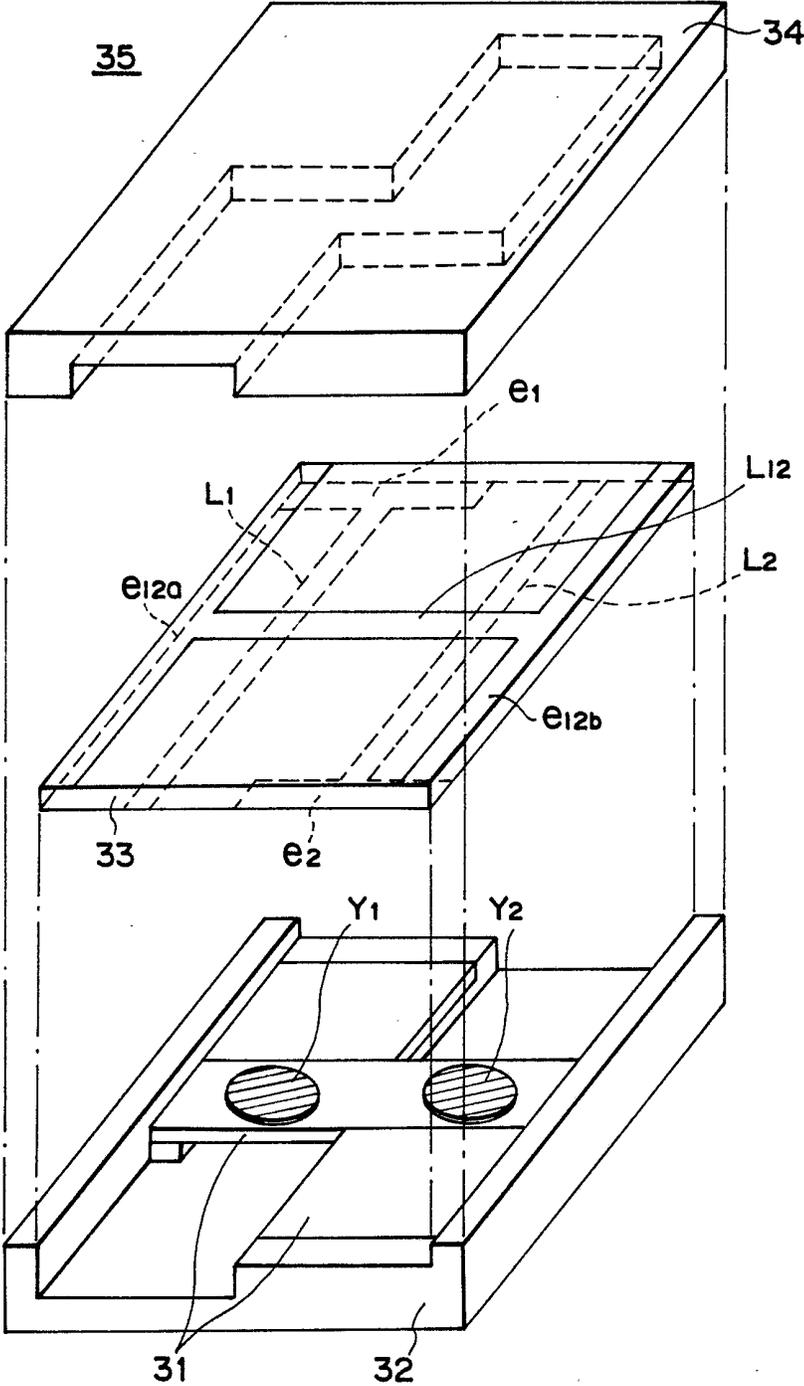


FIG. 3



3/14

FIG. 4

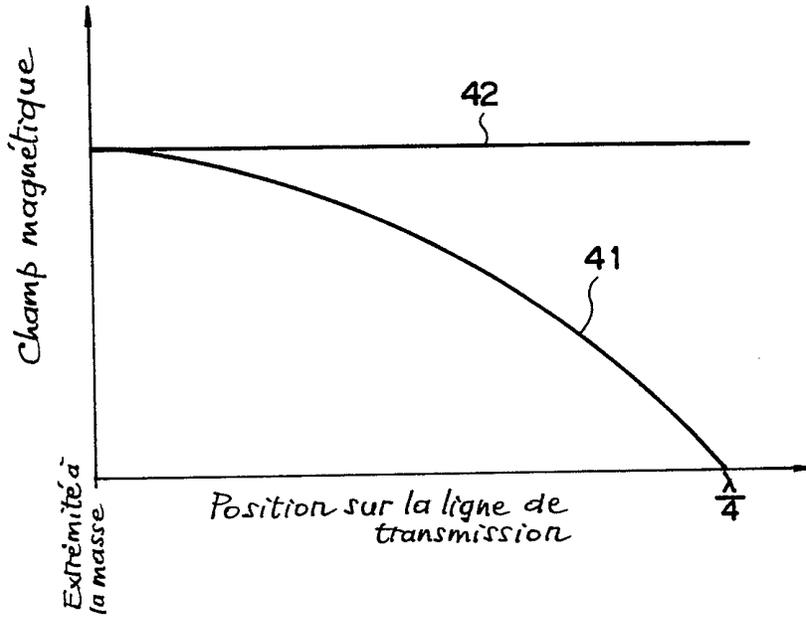
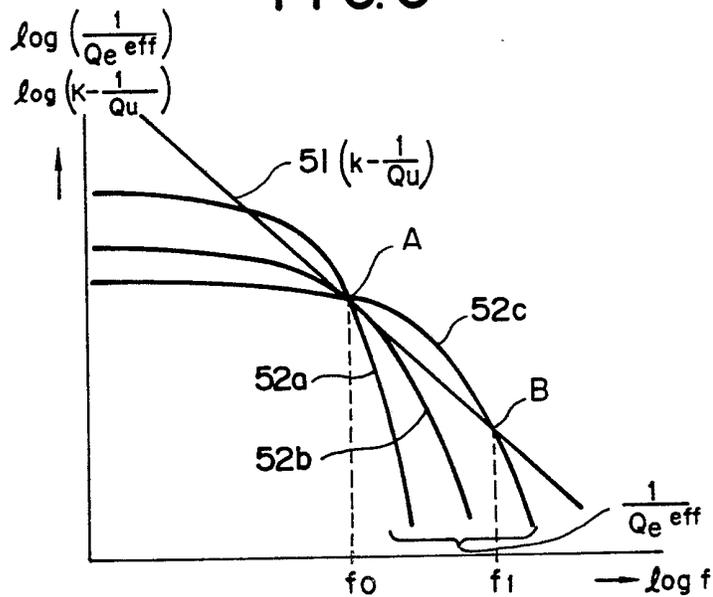
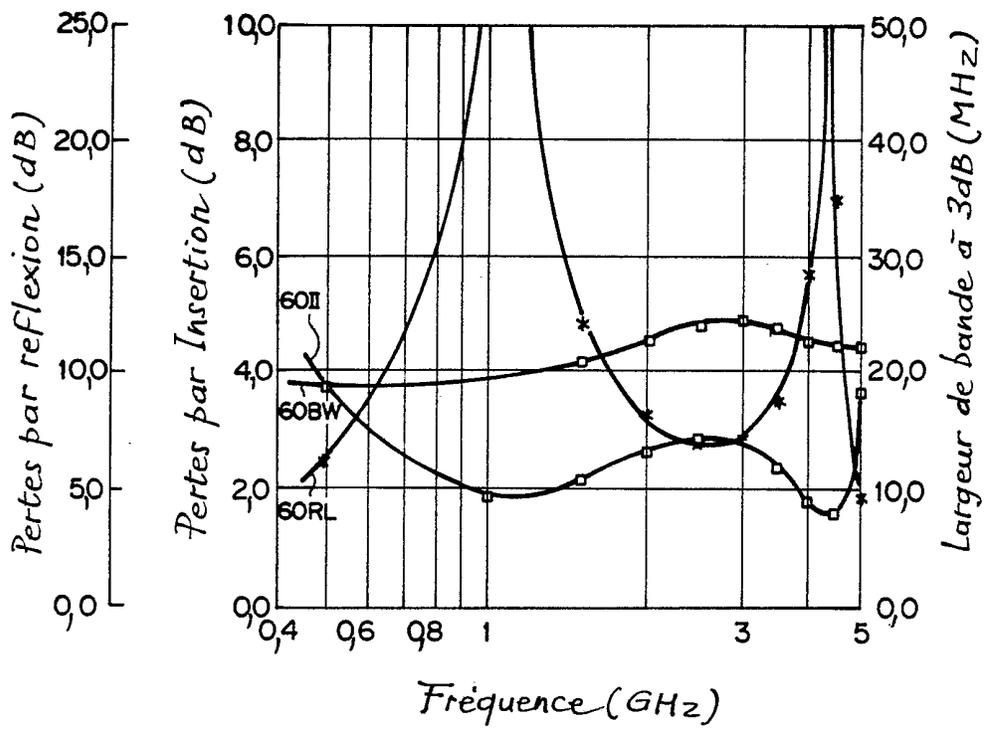


FIG. 5



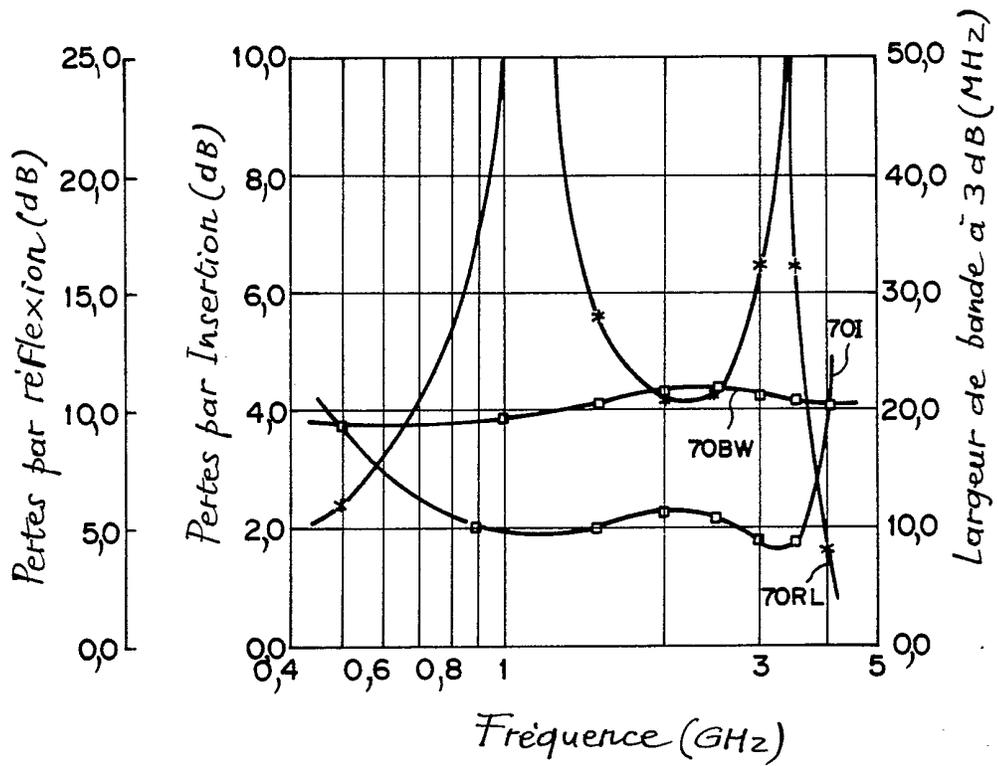
4/14

FIG. 6



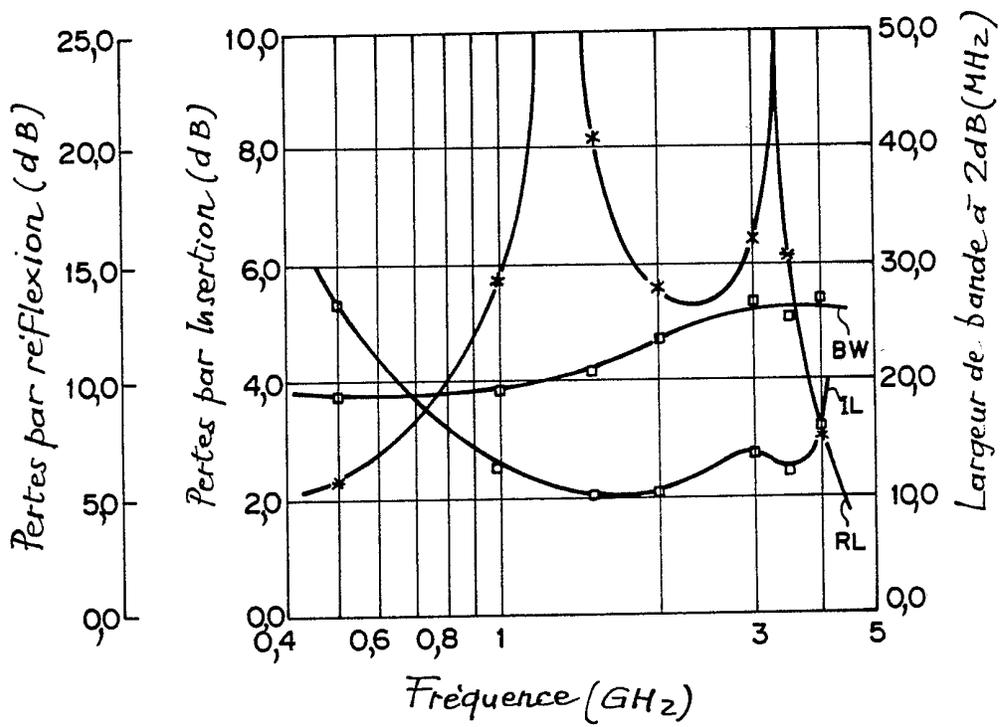
5/14

FIG. 7



6/14

FIG. 8



7/14

FIG. 9

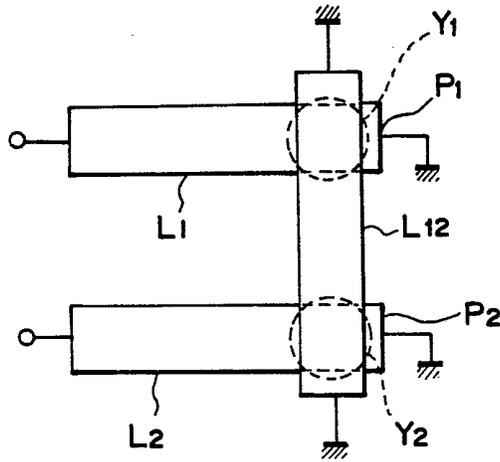
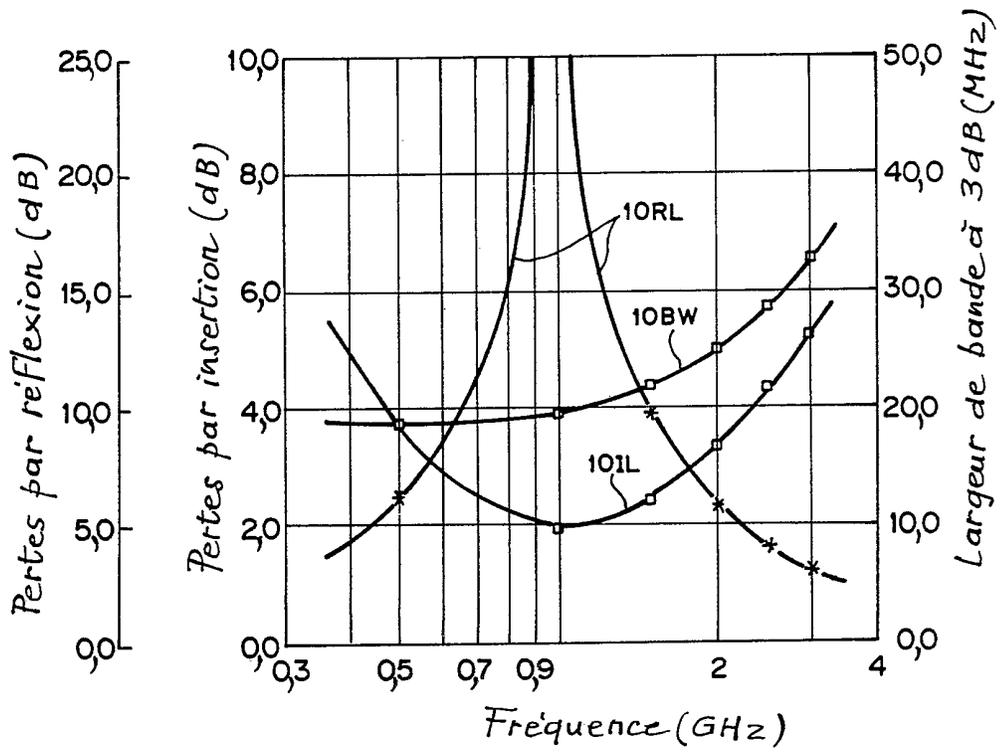
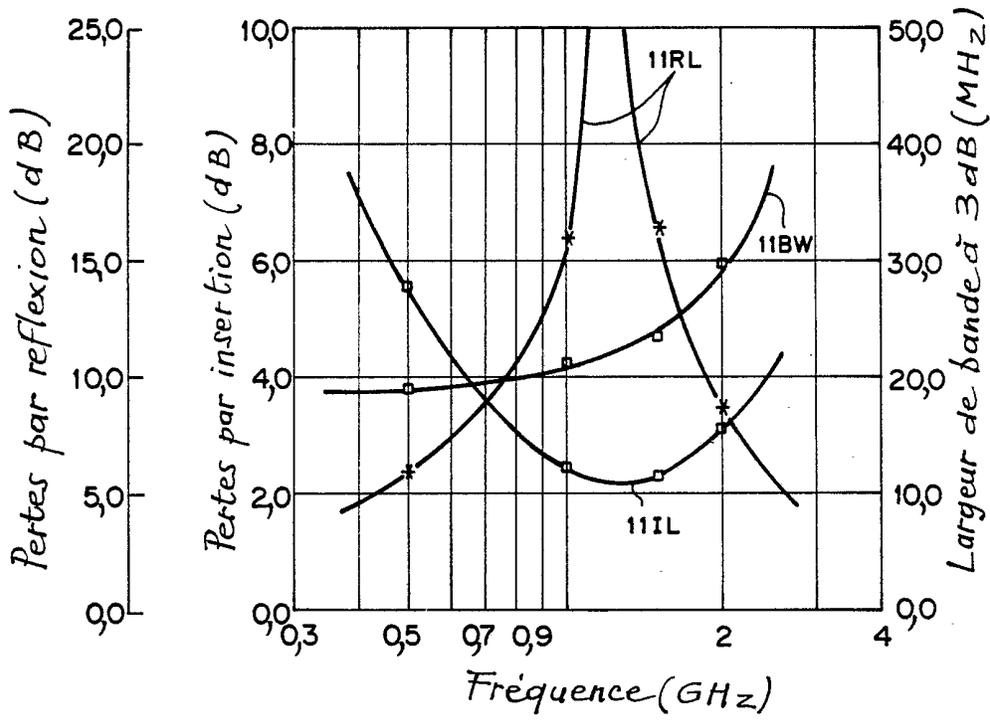


FIG. 10



8/14

FIG. II



9/14

FIG. 12

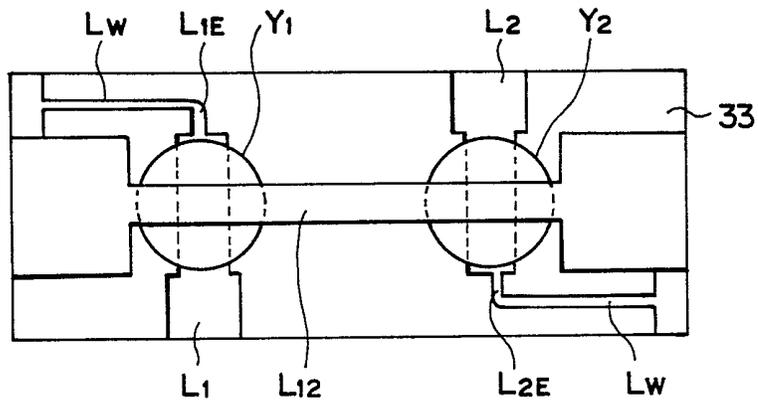
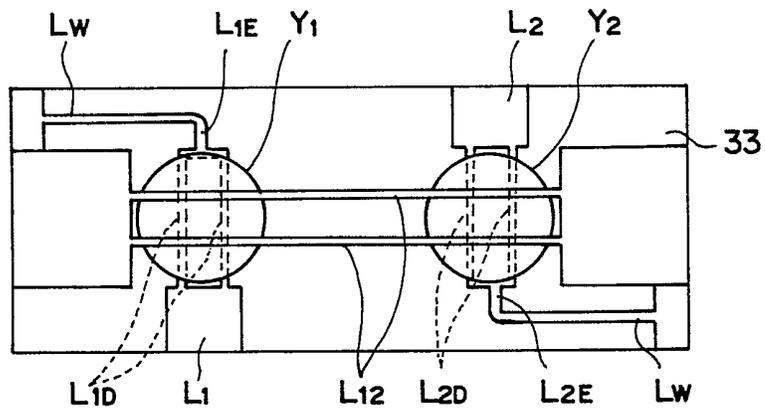
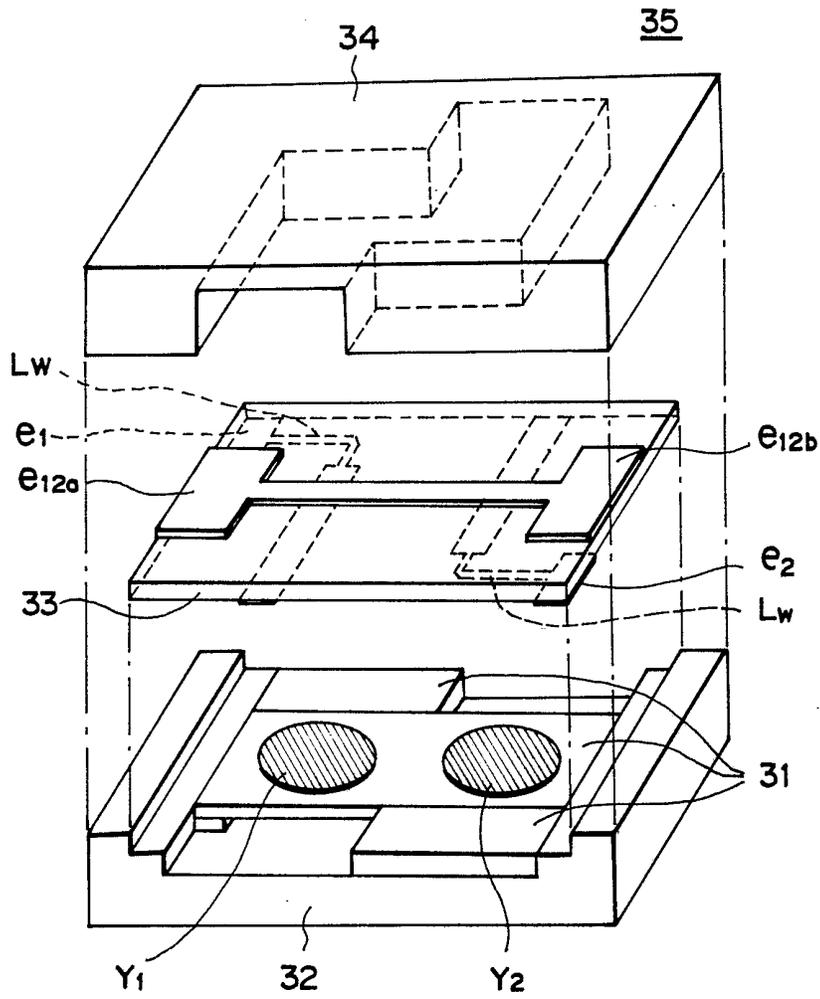


FIG. 13



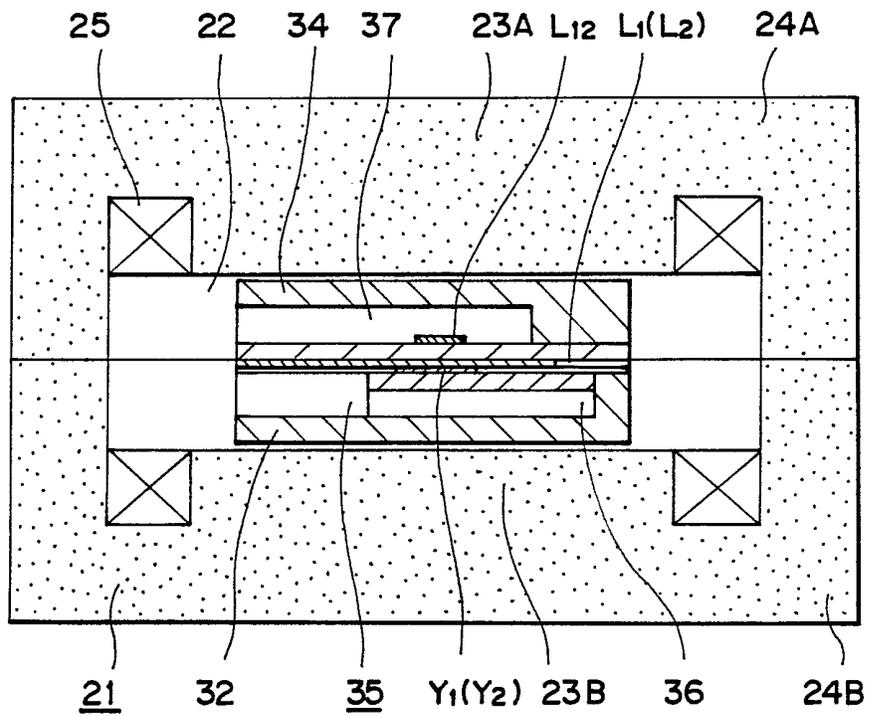
10/14

FIG. 14



11/14

FIG. 15



12/14

FIG. 16

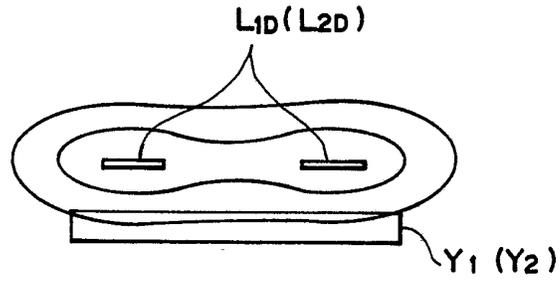
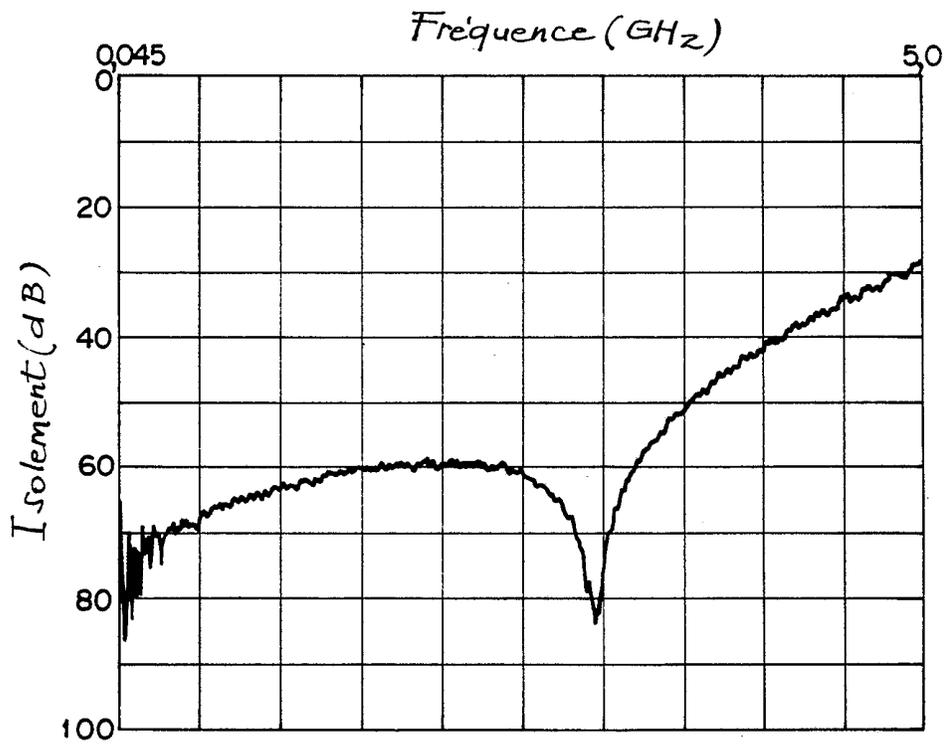
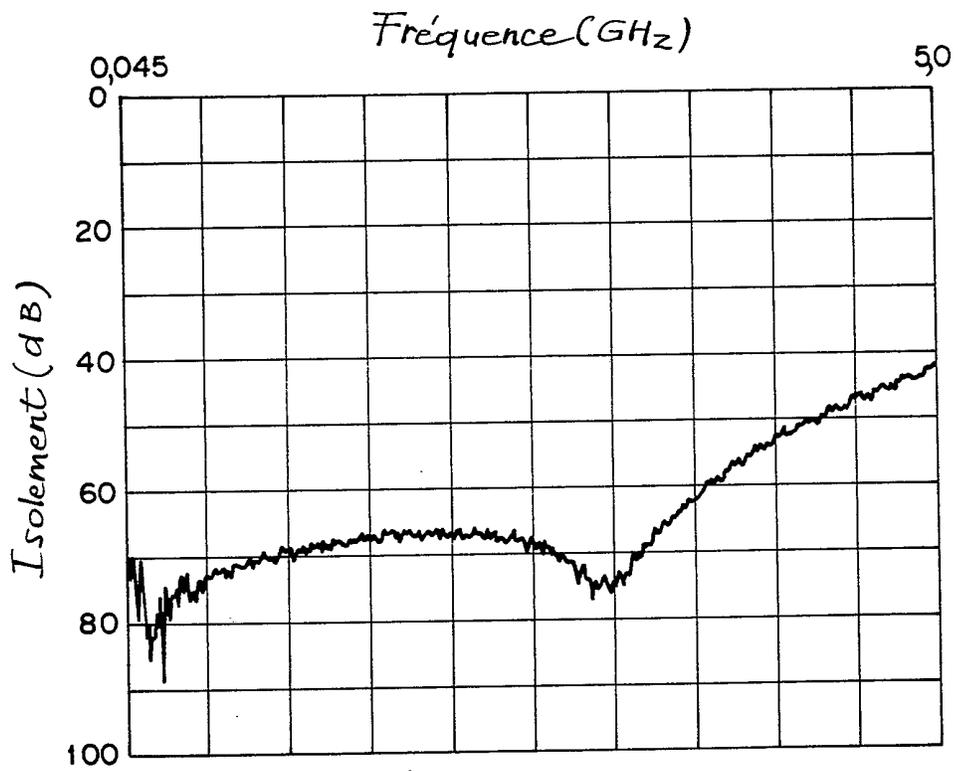


FIG. 17



13/14

FIG. 18



14/14

FIG. 19

