HAL
open science

Couches multiples réfléchissantes

J. Ring, R. Beer, V. Hewison

To cite this version:

J. Ring, R. Beer, V. Hewison. Couches multiples réfléchissantes. Journal de Physique et le Radium, 1958, 19 (3), pp.321-323. 10.1051/jphysrad:01958001903032100 . jpa-00235842

HAL Id: jpa-00235842

https://hal.science/jpa-00235842

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

COUCHES MULTIPLES RÉFLÉCHISSANTES

Par J. RING, R. BEER et V. HEWISON,
Department of Physics, University of Manchester, England.

Résumé. — Les finesses élevées qu'on peut théoriquement atteindre avec les couches multiples diélectriques ne sont pas utilisables avec les meilleurs plans optiques dont les défauts de planéité limitent la finesse à des valeurs très inférieures ; des effets analogues limitent les bandes passantes des filtres interférentiels. On propose deux méthodes pour surmonter ces difficultés :
1) utilisation de minces lames de mica comme couches médianes ;
2) utilisation de miroirs présentant une grande dispersion du déphasage à la réflexion. Cette dispersion élevée peut être obtenue soit avec les couches décrites par Baumeister, Stone et Jenkins, soit avec des multi-couches à faible différence entre le haut indice et le bas indice. Ces multi-couches peuvent également être utilisées comme filtres à réflexion à bande étroite.

Abstract. — The high finesse theoretically available with multi-layer reflecting stacks cannot be obtained when optical flats are used as the support, because the surface irregularities limit the finesse to a much lower value ; similar effect limits the band width of evaporated interference filters. Two methods are proposed to overcome this difficulty :
1) use of thin mica sheets as spacing layers ;
2) use of reflecting stoks exhibiting a higher dispersion of phase change. Such a high dispersion may be obtained either in the way described by Baumeister, Stone and Jenkins, or by the use of multi-layer stacks with a small difference in the index of refraction between high and low index layers. These stacks can also be used as narrow band reflecting filters.

Les couches multiples réfléchissantes permettent d'atteindre aisément des valeurs de la finesse supérieure à 200, mais la seule utilisation possible de telles finesses dans des Fabry-Perot est limitée au cas des filtres interférentiels à lame médiane solide, obtenue par évaporation ; dans le cas des interféromètres à lame d'air, les irrégularités superficielles des meilleures plans optiques limitent en effet la finesse utilisable à des valeurs très inférieures.

Il serait très précieux de pouvoir utiliser ces valeurs élevées du pouvoir réflecteur avec des ordres d'interférences plus élevés, mais on a trouvé que l'augmentation de l'épaisseur de la couche médiane de filtres interférentiels préparés par évaporation ne diminue pas la largeur de la bande passante au-dessous de 10-15 Å. Il y a deux manières de tourner cette difficulté. La première consiste à utiliser des lames médianes préfabriquées planes et parallèles à une très haute précision ; la seconde consiste à utiliser des couches réfléchissantes présentant une grande dispersion du déphasage à la réflexion, d'où une augmentation apparente de l'ordre d'interférence dans la couche médiane.

Pour la première technique, des morceaux sélectionnés de mica fournissent des surfaces de quelques centimètres carrés (jusqu'à 20) sur lesquelles l'épaisseur ne varie que de quelques mailles cristallines [1].

Des morceaux de 25 μ d'épaisseur, recouverts sur les deux faces de couches multidiélectriques, ont fourni des bandes passantes de 1 Å de large, séparées de 30 Å entre elles. La biréfringence conduit normalement à un dédoublement des bandes passantes, qui peut être éliminé par polarisation, mais, si l'épaisseur du mica est choisie avec soin, les deux séries de bandes passantes peuvent être superposées sur un ou plusieurs ordres. Les bandes passantes du filtre seraient normalement fixées arbitrairement par le clivage, et l'inclinaison du filtre réduirait sa luminosité. Un spectrographe à réseau, permettant d'observer les franges d'Edser-Butler pendant l'évaporation, permet d'amener la bande passante à une longueur d'onde pré-déterminée par ajustement des épaisseurs des couches évaporées.

Pour la seconde technique, on a besoin de multi-couches comme celles à large bande de réflexion décrites par Baumeister et Stone [2]. Un essai pour utiliser cet effet dans des filtres interférentiels a été fait, mais les résultats ne coïncidaient pas avec la théorie, probablement à cause de la difficulté de réaliser ces multi-couches complexes avec une bonne précision [3]. Les multi-couches réfléchissantes à bande étroite décrites plus loin fournissent une autre solution au problème de la dispersion de phase élevée et sont plus faciles à contrôler pendant la préparation.

Un des inconvénients des miroirs multi-diélectriques est la baisse du pouvoir réflecteur de chaque côté de la longueur d'onde choisie. Il en résulte l'apparition de « bandes latérales » qui peuvent, dans les interféromètres d'ordre faible, faire prendre une partie des avantages des finesses que l'on peut atteindre. Si, toutefois, cette décroissance peut être exagérée, la multi-couche réfléchissante elle-même

Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/jphysrad:01958001903032100

peut être utilisée comme filtre, les bandes parasites étant alors éloignées de la bande de réflexion. Les propriétés calculées des multi-couches comprenant un grand nombre de couches alternées de substances d'indices peu différents montrent qu'elles satisfont aux conditions requises. Les amplitudes réfléchies à chaque interface donnent des interférences constructives dans la bande de réflexion, mais le pouvoir réflecteur diminue rapidement à une fréquence d'autant plus proche de la fréquence centrale que le nombre des rayons interférents augmente. Il est évident que le nombre de couches (N) qui sont efficaces dépend de l'amplitude réfléchie à chaque interface (ρ). On a trouvé qu'à partir d'environ $2{,}5/\rho$ couches on n'obtient plus d'amélioration sensible en augmentant le nombre de couches. La figure 1 représente les

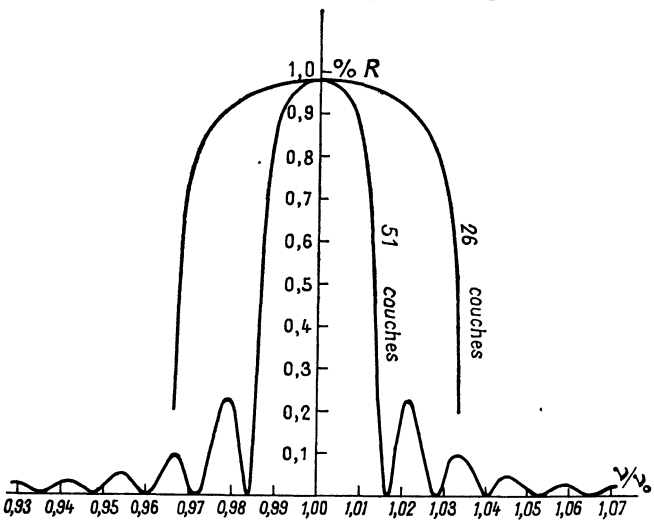

FIG. 1. — Bandes de réflexion pour 26 couches ($\rho = 0{,}1$) et 51 couches ($\rho = 0{,}05$).

bandes de réflexion théoriques pour des systèmes de 25 et 51 couches, pour des valeurs respectives de ρ de 0,10 et 0,05.

La largeur de la bande de réflexion ($\delta\nu$) centrée sur ν_0 est donnée approximativement par

$$\delta\nu/\nu_0 = 2\rho/n$$

où $n = 1, 3, 5, \ldots$ est l'épaisseur optique de chaque couche mesurée en quarts de longueur d'onde. Si les couches sont du premier ordre, la bande de réflexion la plus proche du maximum principal se trouve à $3\ \nu_0$ (on a alors $n = 3$). Des multi-couches du troisième ordre d'iodure de potassium et de cryolithe ont fourni un pouvoir réflecteur de 80 % sur une bande large de 200 Å à $\lambda \simeq 5\,000$ Å sans autre maximum important dans le visible. Comme on pouvait s'y attendre, ces filtres par réflexion présentent une grande dispersion du déphasage à la réflexion (*fig.* 2).

Les multi-couches ont actuellement de nombreux utilisateurs dans l'infra-rouge [4], mais les substances utilisées sont essentiellement les mêmes que dans le visible (par exemple ZnS).

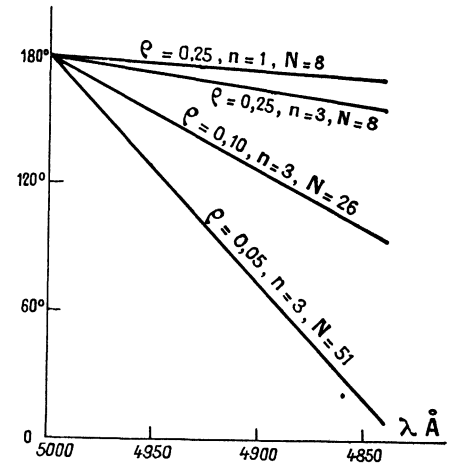

FIG. 2. — Dispersion du déphasage à la réflexion pour diverses multi-couches.

Il y a divers avantages à utiliser des semi-conducteurs (Ge par exemple) au delà de leur limite d'absorption [5]. Les indices de réfraction élevés (> 4) de ces substances permettent d'obtenir des pouvoirs réflecteurs élevés avec un petit nombre de couches et accroîtront l'étendue utilisable des interféromètre d'ordre faible à couche médiane de haut indice. Un filtre constitué de deux miroirs à trois couches Ge-LiF-Ge avec une couche médiane de LiF donnait, à 2,5 μ, une demi-largeur de 0,07 μ avec une transmission maximum de 74 %. Il est évident que les couches mentionnées plus haut peuvent aussi être utilisées dans l'infra-rouge avec grand profit. Par exemple, les défauts résiduels des couches médianes de mica seront insignifiants, permettant des résolutions très élevées. De même, les miroirs à bande de réflexion étroite pourraient remplacer les miroirs aluminés dans les spectrographes infra-rouge à réseaux et permettraient même d'éliminer certains ordres. Des expériences sont en cours sur tous ces types de couches multiples pour l'infra-rouge.

BIBLIOGRAPHIE

[1] TOLANSKY (S.), « Multiple beam interferometry ».
[2] BAUMEISTER et STONE, *J. Opt. Soc. Amer.*, 1956, **46**, 228.
[3] BAUMEISTER et JENKINS, *J. Opt. Soc. Amer.*, 1957, **47**, 57.
[4] RANK et al., *J. Opt. Soc. Amer.*, 1953, **43**, 952.
[5] HEAVENS (O. S.), RING (J.) et SMITH (S. D.), *Spectrochemica Acta*, 1957, **10**, 179.

DISCUSSION

P. H. Lissberger. — J'aimerais faire quelques remarques sur les mérites relatifs des méthodes proposées par J. Ring pour augmenter la dispersion du déphasage $\partial\psi/\partial\lambda$.

Il faut évidemment augmenter $\partial\psi/\partial\lambda$ en augmentant le moins possible le nombre de couches. Si l'on utilise les miroirs à 6 couches du type classique (couches $\lambda/4$ de ZnS et de cryolithe) on peut multiplier $\partial\psi/\partial\lambda$ par 5 en prenant des couches $5\lambda/4$ au lieu de $\lambda/4$. Ceci conduit à utiliser en fait $30\lambda/4$. On peut également utiliser des couches $\lambda/4$ de deux substances d'indice peu différent (puisque $\partial\psi/\partial\lambda$ est proportionnel à $n_1/(n_2 - n_1)$ approximativement). Pour $n_1 = 1{,}9$ et $n_2 = 2{,}3$ (au lieu de 1,3 et 2,3) on gagne un facteur 5 ; on est cependant obligé d'utiliser 20 couches $\lambda/4$ pour obtenir un pouvoir réflecteur de 95 %. Il existe une meilleure manière d'utiliser les couches de ZnS et de cryolithe. Comme la contribution de chaque couche à $\partial\psi/\partial\lambda$ croît dans les rapports 1, 2, 4, 8, 16 etc... avec le rang de la couche, on peut accroître $\partial\psi/\partial\lambda$ d'un facteur 5 simplement en prenant pour la dernière couche une épaisseur $9\lambda/4$ ce qui nécessite seulement $14\,\lambda/4$ en tout.

J. Ring. — Je voudrais seulement faire remarquer que je me méfie de ces solutions qui augmentent $\partial\psi/\partial\lambda$ pour rendre plus étroite la bande passante des filtres. En effet si ce sont les irrégularités d'épaisseur de la couche médiane qui limitent la finesse, on ne supprime ce défaut que pour introduire la limitation imposée par les irrégularités d'épaisseur des couches formant les miroirs. C'est pourquoi les systèmes à bande étroite de réflexion, me semblent préférables surtout pour le proche infra-rouge où on utilise couramment des optiques réfléchissantes.

C. D. Reid. — Nous avons préparé des filtres infra-rouges à lame centrale de mica, avec des réflecteurs à 3 couches germanium-cryolithe. Les performances sont sensiblement celles indiquées par J. Ring : bande passante d'environ 10 cm^{-1} comprenant les deux polarisations. D'autre part ces filtres utilisant des semi-conducteurs comme milieu de haut indice ont généralement une bande de réflexion beaucoup plus large ; la suppression des bandes parasites latérales est alors plus facile. Ce genre de couches peut également être utilisé comme filtres soustractifs en transmission.

E. B. Armstrong. — Les filtres de mica sont-ils suffisamment rigides pour n'avoir pas besoin d'être montés sur un support transparent ? Est-ce que leur flexion abimerait les couches ?

J. Ring. — La flexion n'entraîne pas de décollement. Mais lorsque la bande passante est si petite, le champ angulaire est de l'ordre de 1 ou 2° seulement ; il est alors nécessaire que le filtre reste plan ; on pourrait pour cela le coller sur un support de verre ce qui, d'ailleurs, serait beaucoup plus commode.

H. Kuhn. — La question du petit champ angulaire est importante, puisqu'elle interdit l'usage des filtres d'ordre élevé à un foyer. C'est pourquoi j'aimerais connaître la surface des lames de mica qu'on peut obtenir.

Nous utilisons souvent comme « filtre interférentiel » un véritable étalon dont les cales sont constituées, par exemple, par une boucle de fil ; un avantage de ce système est la possibilité de régler la position de la bande passante par pression.

J. Ring. — C'est ici que la notion d'étendue s'impose : les lames de mica, clivées par un spécialiste, peuvent atteindre 5 cm, et même 7 cm de diamètre, ce qui fournit en général une étendue surabondante. Pour la question du réglage, on peut, comme je l'ai dit, régler la position de la bande passante pendant la préparation. Cette position est fixée une fois pour toutes, ce qui peut être un avantage pour le travail hors du laboratoire quand on ne désire pas être obligé de régler le filtre.

K. M. Baird. — A Ottawa, Dobrowokki a utilisé des filtres en mica ; il a actuellement abandonné la méthode du collage, donnant des difficultés pour obtenir une bonne planéité, au profit de montures mécaniques, qui sont très satisfaisantes.

J. Ring. — Je suppose qu'on pourrait utiliser, comme nous le faisons pour les filtres déposés sur verre, une goutte d'huile de paraffine entre le filtre et le verre protecteur, le bord seul étant alors collé.