International Conference on Space Optics—ICSO 1997

Toulouse, France

2–4 December 1997

Edited by George Otrio

Les filtres allumettes, composant-clé pour la télédétection

Jacques Angele, Patrice Davi, Dominique Laroche, Patrick Payen

International Conference on Space Optics — ICSO 1997, edited by Georges Otrio, Proc. of SPIE Vol. 10570, 105701Z · © 1997 ESA and CNES · CCC code: 0277-786X/18/\$18 · doi: 10.1117/12.2326625

LES "FILTRES ALLUMETTES" COMPOSANT-CLE POUR LA TELEDETECTION

Jacques ANGELE, Patrice DAVI, Dominique LAROCHE, Patrick PAYEN

*REOSC - Groupe Sfim
Avenue de la Tour Maury 91280 SAINT PIERRE DU PERRY - FRANCE*

RESUME - Une nouvelle structure de séparateur spectral dans le champ a été étudiée par REOSC pour pouvoir équiper les futurs plans focaux d'équipements optiques multispectraux pour la télédétection. Ce composant regroupe sur un même substrat trois filtres interférentiels distincts de 100 μ de large au pas de 200 μ . Ce document décrit les travaux réalisés et les premiers résultats obtenus.

ABSTRACT - A new concept of in the field of spectral separator has been studied by REOSC to equip the future focal planes associated to optical multispectral equipments for teledetection applications. This component gathers together, on the same optical substrate, three distinct interferential filters, 100 μ width and 200 μ repetition interval. This document gives a brief description of the realization and the first results obtained.

1 - INTRODUCTION

La séparation des canaux spectraux d'un équipement de prise de vue multispectral peut être réalisée de manières diverses

- A chaque canal spectral est associé une optique de prise de vue, un filtre et un détecteur. Cette solution permet un excellent découplage des voies spectrales, mais elle peut être encombrante et elle impose une très grande stabilité des axes optiques des optiques, des interfaces avec les détecteurs et un maintien très strict en environnement de la colinéarité des axes optiques de tous les canaux spectraux.

- Dans la mesure où un seul système optique permet de couvrir la totalité des bandes spectrales et du champ, on utilise alors des éclateurs spectraux pour séparer les bandes entre elles. Ces éclateurs spectraux sont des ensembles de prismes traités et de lames dichroïques assurant les séparations spectrales. Les composants sont de réalisation optique complexe, impliquent de nombreux traitements et un montage mécanique critique et devant être de très haute stabilité en environnement pour assurer la colinéarité des voies. Dans la pratique, ces ensembles sont complexes à réaliser, coûteux, encombrants et lourds. Ils n'empêchent pas le développement des filtres interférentiels équipant chaque voie spectrale et il est nécessaire de disposer d'autant de boîtiers détecteurs que de voies.

De plus, cette solution introduit des épaisseurs de verre importantes (plusieurs dizaines de cm) ce qui peut introduire des contraintes supplémentaires dans les calculs de correction chromatique des aberrations du système de prise de vue, soit même, faire perdre tout intérêt à des solutions à miroirs pour lesquelles il peut devenir nécessaire d'introduire des éléments dioptriques dans le but de compenser les aberrations spectrales de l'éclateur spectral.

Une solution pour résoudre ces problèmes, à la condition de disposer d'un système de prise de vue couvrant d'une part la totalité du spectre utile, mais également d'un champ suffisant, est de faire la séparation des différentes images spectrales "dans le champ" et d'associer à chacune de ces voies, le filtre interférentiel de sélection spectrale. Cet élément peut être assez mince pour que son influence sur les aberrations chromatiques soit négligeable.

La configuration finale de séparation dans le champ va dépendre du détecteur lui-même et en particulier, de la capacité à intégrer dans le même boîtier et dans le même plan, plusieurs lignes parallèles de détection.

Dans le cas où cela n'est pas possible, la stabilité de l'ensemble des composants optiques de séparation et des boîtiers détecteurs, pose des problèmes similaires aux éclateurs spectraux.

Par contre, il apparaît que de nombreux travaux sont menés par les fabricants de détecteurs pour intégrer dans le même plan focal, plusieurs lignes parallèles de CCD. Le problème consiste alors à réaliser un système de filtrage approprié. C'est l'objet de l'étude qui a été menée chez REOSC.

2 - PRESENTATION GENERALE DES FILTRES "EN BARRETTES"

Le composant optique étudié, destiné à travailler dans le domaine visible et proche infrarouge, devait chercher à répondre au cahier des charges suivant

- disposer de trois fenêtres de filtrage, chacune pouvant recevoir un filtre spectral dans trois bandes de longueurs d'ondes spécifiques B1, B2 et B3 (ces filtres ont, dans le cadre de notre étude, des largeurs de bande d'environ 90 nm),
- les fenêtres de filtrage font chacune 100 μ m de large et 81 mm de long,
- le pas des fenêtres de filtrage est d'environ 200 μ m,
- en dehors des zones de filtrage, le composant doit être absorbant pour l'ensemble du spectre 400-900 nm,
- le taux de réjection en dehors des bandes spectrales doit être élevé,
- être réalisé de préférence sur un seul substrat, d'épaisseur limitée (limitation des aberrations chromatiques),
- utiliser des technologies compatibles d'une utilisation en environnement spatial.

L'implantation générale retenue pour l'étude du prototype est donnée par la figure 1.

Fig. 1 - Vue générale du composant optique

Nous avons retenu le schéma de réalisation suivant :

Les 3 filtres interférentiels "en barrettes" sont réalisés sur un même substrat coloré, préalablement recouvert d'un traitement absorbant TA1 gravé suivant les spécifications.

Les empilements des filtres sont étudiés pour pouvoir être réalisés sur une seule face du substrat, y compris les filtres passe haut ou passe bas participant à la fonction de blocage.

Un traitement de blocage, commun aux trois bandes est déposé sur l'autre face du substrat.

La figure 2 montre l'empilement général tel qu'il a été réalisé sur le prototype.

Fig. 2 : Caractéristiques dimensionnelles de l'implantation des filtres "en barrettes"

3 - OBJECTIF DE L'ETUDE

L'objectif premier de l'étude menée par REOSC était d'étudier et de mettre au point les conditions opératoires concernant toutes les phases de gravure et de montrer, par la réalisation en finale d'un prototype, que les opérations successives à réaliser, ne détruisaient pas les caractéristiques spectrales des filtres déjà réalisés.

Un deuxième objectif était de rechercher les solutions permettant de réaliser l'ensemble du filtre et d'une partie de son blocage sur une seule face du substrat. Les matériaux à évaporer devaient être compatibles d'applications spatiales. Par contre, lors de l'évaporation des couches, aucun effort n'a été apporté pour respecter les gabarits spectraux : le seul point à contrôler étant que les caractéristiques spectrales des filtres réalisés dans "la barrette" sont identiques à celles du filtre témoin réalisé sur le même substrat dans une zone de grande dimension ("fenêtres de test").

Un troisième objectif consistait à mettre au point les couches absorbantes qui doivent être efficaces dans l'ensemble du spectre 400-900 nm, mais qui ont également la spécificité de devoir être anti-réfléchissantes aussi bien côté air que côté verre.

En ce qui concerne la gravure, et compte tenu du fait que nous réalisons des empilements épais de matériaux multidiélectriques, nous avons finalement retenu la technologie lift-off.

4. PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE LIFT-OFF

La gravure par lift-off peut s'apparenter très simplement à la technique du pochoir. Les opérations successives à réaliser sont les suivantes (voir figure 3) :

- enduction d'une résine photosensible sur la surface du substrat,
- insolation et transfert par gravure humide du motif,
- évaporation du dépôt à graver sur la totalité de la surface de l'échantillon (substrat + résine photosensible),
- élimination (ou stripage) de la résine.

Fig. 3 : Procédure technologique de la gravure lift-off

5. INTERET DE LA GRAVURE LIFT-OFF

La technologie lift-off présente l'intérêt soit d'adapter les techniques de gravure à des matériaux non gravables de manière chimique (ex. : la plupart des matériaux diélectriques), soit de pouvoir graver des dépôts sur substrats sensibles aux gravures humides et aux acides forts.

Une autre technologie dont dispose aussi la société REOSC et qui présente des avantages similaires est celle de l'usinage ionique. Toutefois, la technologie lift-off est actuellement à un stade plus industriel et mieux adaptée à la gravure des traitements épais comme ceux que nous rencontrons dans les filtres "allumettes".

Une étude toute particulière a été menée au sein de REOSC sur la résine photo sensible retenue afin d'en maîtriser toutes les étapes de la microgravure et en particulier sur les fronts de la gravure ainsi que de permettre un bon décrochement du dépôt entre la résine et la surface du substrat. L'épaisseur de résine en fonction de l'épaisseur du dépôt de couche mince à réaliser a été optimisée.

Cette technologie ne présente à priori aucune restriction d'utilisation hormis celles imposées par la résolution photo-lithographique de la résine (ici sub-micronique).

6 - REALISATION D'UN PROTOTYPE DE FILTRES EN BARRETTES

La fabrication des filtres "en barrettes" se décompose en 6 étapes successives :

- ↳ 1ère étape : dépôt et gravure du traitement absorbant TA1 (face avant)
- ↳ 2ème étape : dépôt et gravure du filtre dichroïque B_1 (face avant)
- ↳ 3ème étape : dépôt et gravure du filtre dichroïque B_2 (face avant)
- ↳ 4ème étape : dépôt et gravure du filtre dichroïque B_3 (face avant)
- ↳ 5ème étape : dépôt et gravure du traitement absorbant TA2 (face avant)
- ↳ 6ème étape : dépôt du traitement de blocage T_B (face arrière)

L'ensemble des procédures de chacune de ces étapes a été réalisé et optimisé au fur et à mesure de la réalisation de la maquette.

Pour chaque étape, les procédures précisent les conditions opératoires de chaque phase (nettoyage, étuvage, enduction, insolation, développement, dépôt couches minces, stripage, nettoyage final).

De même, les cycles de nettoyage des substrats avant traitement couches minces ont été définis et spécifiés. Ces opérations de nettoyage font appel en particulier à un nettoyage par plasma afin de pouvoir éliminer tous les résidus de résine.

7 - RESULTATS PRELIMINAIRES OBTENUS

Deux exemplaires du prototype ont été réalisés en faisant appel à des matériaux évaporés déjà qualifiés spatial. L'examen visuel des filtres ainsi réalisés montre que les empilements de couches réalisés ne sont pas, à priori, perturbés par la succession importante d'opérations à effectuer.

La qualité et la rectitude des bords de plage répond bien à notre attente (qualité de type microlithographique).

Un des aspects importants qu'il reste à résoudre concerne les mesures spectrales de tels filtres. En effet, leur largeur mécanique n'est pas compatible des spectrophotomètres habituellement utilisés dans les laboratoires de couches minces.

Quelques mesures ont pu être réalisées au moyen d'un microscope LEICA équipé d'un monochromateur comme source. Les mesures ont été réalisées avec un spot d'analyse de $10 \times 10 \mu\text{m}$ en différents points caractéristiques du filtre (au centre ; à mi-hauteur côté gauche ; à mi-hauteur côté droit ; en haut au centre ; en bas au centre).

Le tableau ci-dessous donne pour la bande B2 les valeurs mesurées suivantes :

	$\Delta\lambda$ (nm)	λ_0 (nm)	Tmax (%)	λ_{max} (nm)
Centre	64	647	75,1	670
Mi-hauteur gauche	64	647	74,6	670
Mi-hauteur droite	64	647	75,5	670
Haut centre	64	645	75,6	668
Bas centre	63	643,5	75,0	667

Le développement d'un moyen de mesure spectrales adapté à ce type de géométrie de composant devra être envisagé par la suite.

8. CONCLUSION

Les résultats obtenus lors de cette étude nous ont permis de démontrer la faisabilité d'un tel composant optique par la technologie lift-off. Ils ont permis d'établir des procédures précises concernant l'ensemble des opérations successives de gravure.

Les prototypes réalisés ont permis de montrer que les caractéristiques spectrales du filtre dans les bandes étroites sont similaires à celle du filtre déposé dans les fenêtres larges servant de tests, et les mesures préliminaires réalisées avec des spots de mesure de $10 \times 10 \mu$ ont montré une bonne homogénéité des caractéristiques spectrales entre le centre et les bords du filtre ainsi que sur la longueur du filtre.

Pour les évolutions potentielles de ce type de composant, nous pensons qu'il est possible d'augmenter à 5 le nombre de bandes réalisables sur un même substrat. De même, la technologie actuelle permet d'envisager la réduction des distances interbarrettes ainsi que celles de la largeur des filtres.