

# Filtres spectraux de nouvelle génération, très sélectifs en longueurs d'onde, travaillant dans le moyen infrarouge

Kristel Chan Shin Yu<sup>1,2</sup>, Anne-Laure Fehrembach<sup>3</sup>, Anne Sentenac<sup>3</sup>, Philippe Arguel<sup>1,2</sup>, Olivier Gauthier-Lafaye<sup>1,2</sup>, Sophie Bonnefont<sup>1,2</sup>, Françoise Lozes-Dupuy<sup>1,2</sup>

1. CNRS ; LAAS ; 7 avenue du colonel Roche, F-31077 Toulouse, France

2. Université de Toulouse ; UPS, INSA, INP, ISAE ; LAAS ; F-31077 Toulouse, France

3. Institut Fresnel, CNRS-Universités Aix Marseille, Campus de Saint Jérôme, av. Escadrille Normandie, 13397 Marseille Cedex 20

## Objectifs

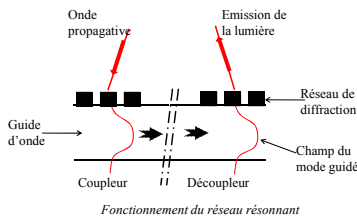
Les filtres spectraux conventionnels, basés sur un fonctionnement de type Fabry-Perot, mettent en œuvre des empilements trop épais qui conduisent à d'importantes limitations notamment en terme d'absorption, de contraintes mécaniques et sont de plus, faiblement accordables en fonction de l'angle d'incidence.

Pour s'affranchir de toutes ces limitations et obtenir de meilleures performances, on utilise des filtres à « réseaux résonnants » qui font intervenir des empilements moins épais. L'objectif est donc de concevoir ce type de filtre spectral de grande surface, à bande étroite (<1nm) travaillant dans le moyen infrarouge, accordable en fonction de l'angle d'incidence et selon les caractéristiques suivantes:

- filtre en réflexion (100% réflexion à la résonance)
- longueur d'onde de centrage à 4.65µm
- domaine spectral de réjection de 50nm de part et d'autre de la bande passante
- fonctionnement en incidence oblique (~10°)
- accordabilité sur une bande de 20nm de large
- indépendance à la polarisation

## Principe de fonctionnement des réseaux résonnants

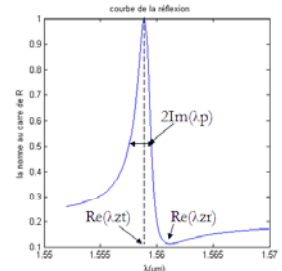
Structures à réseaux résonnants = empilement peu épais + structuration périodique sub-longueur d'onde.



Pour un  $\lambda$ , un  $\theta$  et une structure donnée,  
 ➔ excitation d'un mode propre via réseau  
 ➔ pic de réflectivité spectralement étroit + accordable en fonction de  $\theta$

$$\text{Pic sous forme : } R = r_{ref} + \frac{X}{\lambda - \lambda_p} = r_{ref} \left( \frac{\lambda - \lambda_{zt}}{\lambda - \lambda_p} \right) \quad X: \text{coef de couplage/découplage du mode}$$

- $\lambda_{centrage} = \lambda_{zt}$  ➔ réponse spectrale dépend du pôle + zéros
- $\Delta\lambda = 2 \text{Im}(\lambda_p)$  ➔ pour conception filtre, connaissance de la variation de ces variables
- ➔ leur détermination en utilisant méthode perturbative [1]



## Méthode Perturbative

Considère  $h$ , la hauteur du réseau comme perturbation

Pour déterminer les pôles et zéros, 2 approches:

Relation entre caractéristiques du filtre et géométrie de la structure à travers expression des **pôles** et des **zéros**

1) Résolution problème homogène ➔ recherche **pôle**

$$\text{Re}(\lambda_p) = \lambda_{ref} + o(h^2) \quad \text{Im}(\lambda_p) = h^2 |\tilde{\epsilon}_1|^2 A_1 \text{Im}(G_0) + o(h^2)$$

2) Résolution problème de diffraction ➔ recherche **zéros**

$$\lambda_{zt} = \lambda_p - h^2 G_0 |\tilde{\epsilon}_1|^2 A_1 \left( \frac{1+r_{go}}{r_{go}} \right) + o(h^2) \quad \lambda_{zt} = \lambda_p - h^2 G_0 |\tilde{\epsilon}_1|^2 A_1 + o(h^2)$$

$\tilde{\epsilon}_1$  : 1<sup>er</sup> coefficient de Fourier du réseau

$r_{ref} = \frac{A_1}{\lambda - \lambda_{ref}}$  quantifie capacité du mode à être excité

$G_0 = \frac{ik_0^2}{2\gamma} (1+r_{ref})$  avec  $G_0$ , la fonction de green

## Choix de l'empilement GaAs/AlAs

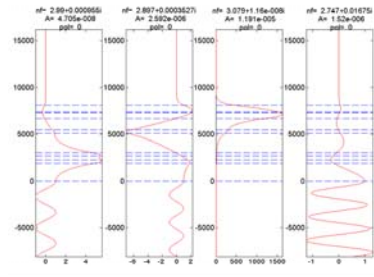
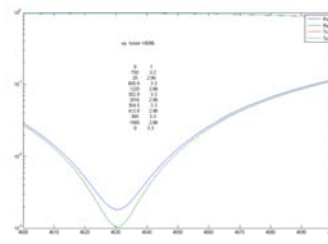
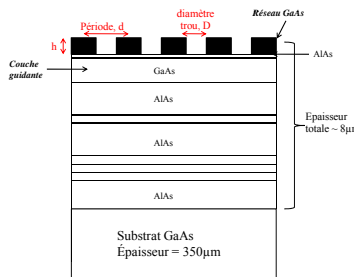
Filière GaAs ➔ excellente compatibilité dans domaine MIR

Contraintes à considérer:

- ✓ oxydation des couches en surface contenant de l'Aluminium
- ✓ rugosité accentuée à l'interface  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{AlAs}$
- ✓ substrat haut indice + faible contraste d'indice ➔ nécessité d'un plus grand nombre de couches ➔ plusieurs modes dans empilement + modes à perte

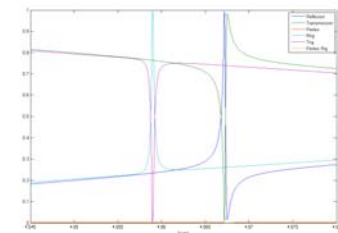
➔ Besoin d'isoler un mode loin du substrat

➔ Nécessité d'inhiber propagation des autres modes guidés en utilisant rugosité du substrat face arrière



## Simulations et Résultats

Simulations pour  $\lambda = 4.65 \mu\text{m}$ ,  $\theta = 10^\circ$ , réseau de trou à maille carrée + éclairage du filtre dans même plan contenant direction de propagation du mode guidé ➔  $\Phi = 0$  (angle azimutal) ➔ cas d'un système 1D



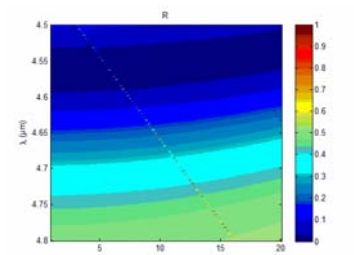
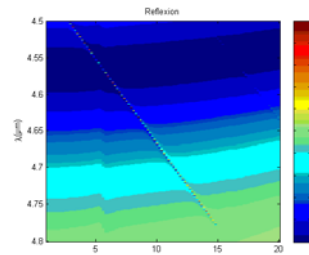
Période,  $d = 1.4298 \mu\text{m}$   
 Hauteur,  $h = 670 \text{nm}$   
 Diamètre de trous,  $D = 216 \text{nm}$

$$\lambda_{res}(rig) = 4.658 \mu\text{m} \quad \lambda_{res}(pert) = 4.667 \mu\text{m}$$

$$\Delta\lambda(rig) = 0.470 \text{nm} \quad \Delta\lambda(pert) = 0.509 \text{nm}$$

$$\% \text{erreur}(\lambda_{res}) = \frac{abs[\lambda_{res}(pert) - \lambda_{res}(rig)]}{\lambda_{res}(rig)} * 100 = 0.19\%$$

$$\% \text{erreur}(\Delta\lambda_{res}) \approx 8\%$$



Bon accord entre les deux méthodes ➔ utilisation de la méthode perturbative pour 1<sup>ère</sup> estimation plus rapide

## Conclusion et perspectives

Le but est de concevoir un filtre fonctionnant à 4.65µm avec une largeur spectrale de 0.5nm. Technologiquement, la filière GaAs a été retenue en raison de son excellente compatibilité dans le moyen infrarouge. Quelques contraintes au niveau des matériaux ont du être prises en compte lors de la conception de la structure. L'utilisation d'un substrat haut indice et le faible contraste d'indice entre les matériaux choisis a engendré des difficultés lors de la conception de la structure, difficultés dues au grand nombre de modes, à perte dans le substrat. La solution retenue consiste à isoler un mode loin du substrat, en utilisant des couches bas indice épaisses, puis à inhiber la propagation des autres modes grâce, soit à la rugosité en face arrière du substrat, soit en rendant le substrat absorbant par l'ajout de dopants. De plus, d'autres pistes sont envisagées notamment le remplacement du substrat haut indice par un substrat bas indice (adhérence moléculaire?) et l'ajout d'absorption dans le substrat. La méthode perturbative a été utilisée pour déterminer les paramètres du réseau, qui ont été validés par la méthode modale de Fourier. Une bonne cohérence des résultats entre les deux méthodes a permis de valider la méthode perturbative pour des premières estimations.

[1] A.-L. Fehrembach (2003) Réseaux résonnants à bande interdite photonique, nouveaux filtres pour le d.W.D.M., Thèse