

DÉFINITION D'UN RÉSEAU DE COMPRESSION D'IMPULSIONS TOUT SILICE

N. BONOD*, J. NEAUPORT**

*INSTITUT FRESNEL CNRS UMR 6133 MARSEILLE, **CEA CESTA

Un réseau de diffraction pour la compression d'impulsions ultra-brèves est gravé sur un cristal photonique bi-dimensionnel composé de trous d'air à sections carrées dans une matrice de silice. La réflexion du faisceau incident est basée sur le contraste des indices de l'air et de la silice. Ce composant optique permet l'utilisation unique de silice, matériau solide qui présente un seuil d'endommagement laser élevé dans le régime femtoseconde.



Les réseaux de diffraction sont utilisés dans la compression d'impulsions ultra-courtes laser amplifiées par la méthode dite de "dérive de fréquences" [1]. Ces réseaux doivent présenter une efficacité de diffraction importante afin de limiter les pertes d'énergie lors de la compression de l'impulsion, et un seuil d'endommagement élevé puisque le faisceau incident est amplifié. Des réseaux métalliques peuvent être utilisés mais, outre leur efficacité limitée à 90 %, ils présentent un seuil d'endommagement trop faible. Des réseaux entièrement diélectriques dits *MLD* (multi-layer dielectrics) sont donc apparus au milieu des années 1990. Ils ont permis d'augmenter significativement le seuil d'endommagement et d'obtenir des efficacités réfléchies mesurées proches de 96 % [2]. Ces réseaux de diffraction sont gravés sur un empilement diélectrique constitué d'une vingtaine de paires de dioxyde d'hafnium et de silice ; l'empilement diélectrique est optimisé pour présenter une réflectivité quasi parfaite (> 99,99 %) en polarisation transverse électrique (*TE*). La silice est un matériau de bas indice de réfraction ($n = 1,45$) qui présente une très bonne tenue au flux laser. Nous présentons donc ici une étude numérique portant sur des cristaux photoniques bi-dimensionnels (*2D*), où des trous d'air sont réalisés dans une matrice de silice qui joue alors le rôle du matériau de haut indice, l'air jouant celui du bas indice. Ces cristaux évitent donc la présence d'interfaces entre deux matériaux solides. Le réseau est gravé sur le cristal photonique. Ce travail s'inscrit dans l'élaboration de réseaux utilisés pour l'étape final de compression d'impulsions du projet PETAL [3]. La longueur d'onde est fixée à 1 053 nm, l'angle d'incidence à $77,2^\circ$, la polarisation est *TE* et la période est 562 nm selon l'axe *Ox* (figure 1). Les trous d'air dans la silice sont à section carrée et la périodicité air / silice est fixée à la moitié de la périodicité du réseau ; elle est suffisamment faible pour éviter la propagation

d'ordres dispersifs. Suivant *Oy*, le cristal comporte un nombre fini de couches de trous espacées d'une distance Δ . Les calculs sont réalisés par un code numérique où le développement du champ électromagnétique sur

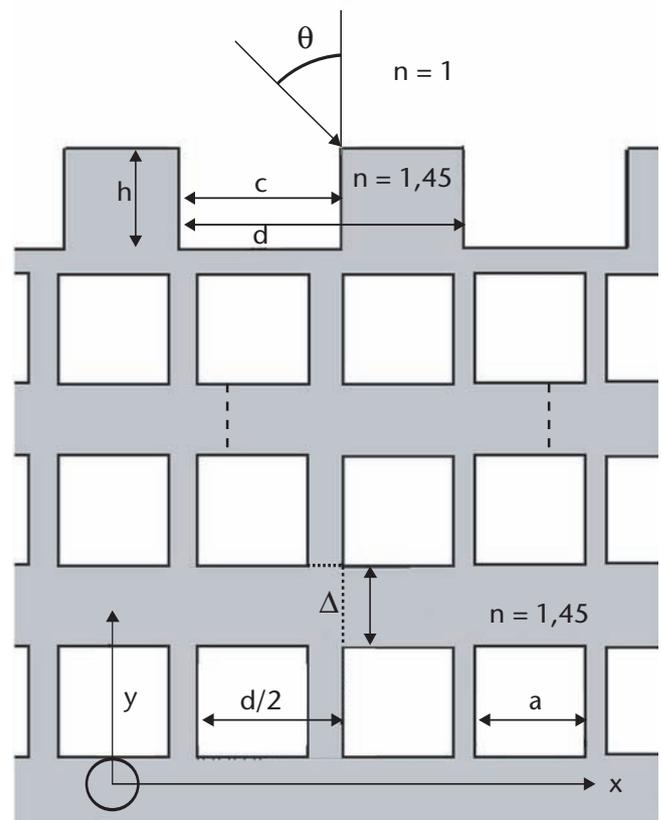


Figure 1
Cristal photonique bi-dimensionnel composé de silice (en gris, indice $n = 1,45$) et d'air (en blanc $n = 1$). Configuration retenue : trous d'air à sections carrées et maille rectangulaire. La période est $d/2$ suivant *Ox* et Δ est la distance entre chaque couche de trous suivant *Oy*. Le réseau est lamellaire de hauteur h , de largeur c , et de période d .

une base de *Fourier* permet de réduire les équations de *Maxwell* à un système différentiel du premier ordre. L'intégration du champ, du substrat (*silice*) à l'air, permet d'évaluer les efficacités réfléchies et transmises de tous les ordres de diffraction.

Optimisation du cristal

La première étape de l'étude consiste à définir une géométrie du cristal photonique lui garantissant une réflectivité quasi parfaite. L'angle d'incidence est fixé à $70,9^\circ$, angle médian entre les deux angles de diffraction des ordres (-1) et (0) du réseau de diffraction, qui sera par la suite ajouté au cristal photonique. Nous calculons donc la réflectivité du cristal en fonction de la longueur des côtés a des trous d'air et de l'épaisseur résiduelle de silice entre deux couches de trous d'air Δ . Dix couches de trous d'air de côté $0,8d/2$ permettent d'obtenir une réflectivité quasi parfaite ($> 99,99\%$) sur un large intervalle spectral de 200 nm et pour des angles d'incidence supérieurs à 60° [4].

Optimisation de la structure complète

Nous étudions l'efficacité en réflexion de la structure complète, incluant le réseau de diffraction, en fonction de la profondeur h et de la largeur c des sillons du réseau à une incidence de $77,2^\circ$. Les efficacités en réflexion obtenues dans l'ordre (-1) peuvent être numériquement très élevées dans des intervalles larges de h et c (figure 2).

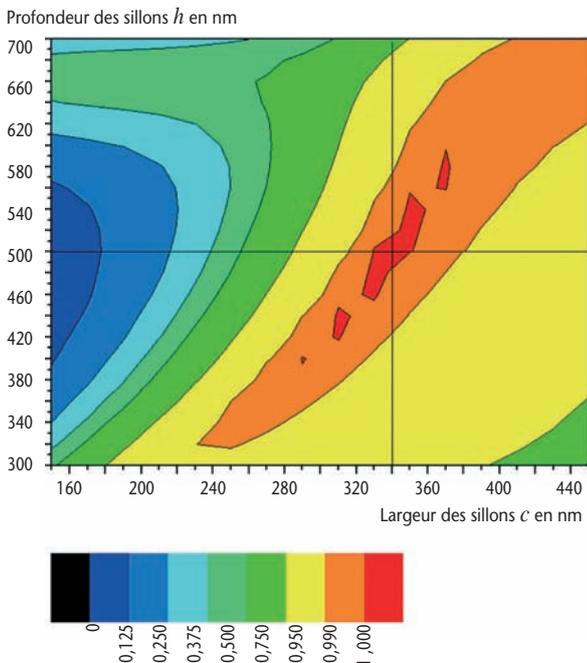


Figure 2
Efficacité réfléchie de l'ordre (-1) en fonction de la hauteur h et de la largeur c des sillons pour 10 couches de trous d'air dans la silice.
 $\Delta = 350\text{ nm}$; $a = 0,8d/2$; $\theta = 77,2^\circ$; $\lambda = 1\,053\text{ nm}$.

Pour $h = 500\text{ nm}$ et $c = 340\text{ nm}$, l'efficacité réfléchie dans l'ordre (-1) est supérieure à 99% dans un intervalle d'incidence de 18° . La tolérance spectrale est alors comparable à celle obtenue avec les réseaux *MLD*. Bien que le cristal seul présente des performances largement supérieures, c'est le réseau ici qui impose les tolérances angulaires et spectrales. La répartition du champ électrique dans la partie supérieure du réseau, paramètre déterminant pour l'endommagement laser en impulsion courte [4], est similaire à celle observée avec les réseaux *MLD*.

Conclusion

Des réseaux uniquement composés de silice peuvent présenter des efficacités réfléchies dans l'ordre (-1) supérieures à $99,9\%$. La réflectivité du cristal photonique, basée sur un contraste d'indices entre l'air et la silice, est quasi parfaite sur de larges intervalles spectraux et d'angles d'incidence. Ces intervalles sont partiellement réduits par l'ajout du réseau de diffraction. Cependant, les efficacités réfléchies restent élevées ($\geq 99\%$).

Références

[1] D. STRICKLAND, G. MOUROU, "Compression of amplified chirped optical pulses", *Opt. Commun.*, **56**, p. 219-221 (1985).
 [2] M. D. PERRY *et al.*, "High efficiency multilayer dielectric diffraction gratings", *Opt. Lett.*, **20**, p. 940-942 (1995).
 [3] N. BLANCHOT *et al.*, "Overview of PETAL, the multi-petawatt project on the LIL facility", *Plasma Phys. Control. Fusion*, **50**, 124045 (2008).
 [4] N. BONOD, J. NEAUPORT, "Design of a full silica pulse compression grating", *Opt. Lett.*, **35**(5), p. 458-460 (2008).
 [5] J. NEAUPORT *et al.*, "Effect of electric field on laser induced damage threshold of multilayer dielectric gratings", *Opt. Express*, **19**, p. 12508-12522 (2007).