5 W à 255 nm et 15 kHz obtenus par doublage de fréquence d'un laser CuHBr dans du BBO

N. Huot, C. Jonin, R. Le Harzic, E. Audouard et P. Laporte

*Laboratoire TSI, UMR 5516 du CNRS, 23 rue du Docteur P. Michelon,
42023 Saint-Étienne cedex 02, France*

5.1 W de rayonnement ultra-violet ont été obtenus à 15 kHz par doublage de fréquence de la raie à 510.6 nm d'un laser CuHBr dans deux cristaux de BBO. La qualité de faisceau du rayonnement UV est exprimée par le paramètre M^2 : $M_x^2 = 30 \pm 2$ et $M_y^2 = 24 \pm 2$. Les deux faisceaux UV issus des deux cristaux de BBO, combinés au point focal d'une lentille, permettent le micro-usinage UV à haute cadence.

1. INTRODUCTION

La génération de rayonnement ultra-violet est d'un grand intérêt dans de nombreux domaines de la physique comme la spectroscopie, la photolithographie, la photochimie, la biologie ou encore plus récemment le micro-usinage. Le plus couramment, le rayonnement UV est issu de lasers à excimères à faible taux de répétition (de l'ordre de 100 Hz) ou de lasers à vapeurs de cuivre (LVC) doublés opérant à des cadences plus élevées (4 kHz à 18 kHz) [1]. Récemment ont été mis en œuvre des LVC modifiés (CuHBr) émettant aux mêmes longueurs d'ondes que les LVC classiques (510.6 nm et 578.2 nm) avec de meilleures performances. En effet, ce type de laser fournit une puissance moyenne élevée avec un rendement de l'ordre de 2% correspondant à 2 ou 3 fois plus que celui d'un LVC classique. 100W à 16 kHz avec un rendement de 1.3% et 201W à 17 kHz avec un rendement de 1.7% ont pu être obtenus respectivement à partir de cavités confocales et plan-plan [2,3]. Un des avantages de ce type de laser est la qualité de faisceau. Des lasers CuHBr ont ainsi été utilisés comme pompes de cristaux de Ti:Sapphire ou de lasers à colorants [4,5].

La génération d'UV par doublage de fréquence peut être réalisée dans plusieurs cristaux. Les plus adaptés sont les cristaux de BBO et de CLBO. Les cristaux de CLBO présentent d'importants avantages comme une faible absorption dans l'UV, un faible walk-off et une large acceptation angulaire mais ils doivent être maintenus à des températures de l'ordre de 140 °C du fait de leur sensibilité à la vapeur d'eau. Ainsi pour nos applications de micro-usinage les cristaux de CLBO ne pouvaient être retenus car pas assez souples d'utilisation. Nous nous sommes tournés vers les cristaux de BBO.

Après une caractérisation du faisceau du laser CuHBr, les expériences de génération d'UV sont décrites. Une caractérisation du faisceau UV est ensuite donnée.

2. CARACTERISATION DU FAISCEAU DU CuHBr

Le laser CuHBr que nous avons utilisé est un prototype issu de l'équipe de Jean-paul Pique au Laboratoire de Spectrométrie Physique de Grenoble. Un afocal est placé en sortie du laser pour réduire le diamètre de 28 à 5 mm tout en filtrant spatialement une partie de l'émission spontanée amplifiée (ESA). Un miroir dichroïque permet de sélectionner la longueur d'onde à 510.6 nm. La qualité spatiale du faisceau de 46 W à 15 kHz et 510.6 nm ainsi disponible pour le doublage (après le miroir dichroïque) est estimée par une mesure du paramètre M^2 . Pour cela, un dispositif d'atténuation indépendant de la polarisation permet de réduire l'énergie par impulsion d'un facteur 3.10^6 sans dégradation du profil spatial. L'analyse de l'évolution du rayon du faisceau (défini au sens des moments d'ordre 2 du profil d'intensité [6]) en fonction de la position donne les résultats suivants : $M_x^2 = 8.5 \pm 1.0$ et $M_y^2 = 6.5 \pm 1.0$. Ces valeurs sont légèrement supérieures à d'autres obtenues dans la littérature sur un CuHBr en cavité instable confocale. En outre, un astigmatisme résiduel est présent et peut s'expliquer par un léger tilt des lentilles du télescope qui évite les réflexions vers le laser.

3. GENERATION DE LA RADIATION UV ET CARACTERISATION

Un faisceau UV (255 nm) a été obtenu par doublage de fréquence de la raie à 510.6 nm du laser CuHBr dans deux cristaux de BBO. Trois cristaux ont été utilisés : BBO1 est un cristal de 5 mm de long avec une surface d'entrée de $8 \times 5 \text{ mm}^2$; l'axe optique est dans le plan horizontal $8 \times 5 \text{ mm}^2$. Les deux autres cristaux BBO2 et BBO3 ne diffèrent de BBO1 que par leur longueur de 10 mm. Ces cristaux sont distribués par TechnoSciences (France). Ils sont taillés à $\Theta = 50.6^\circ$ $\phi = 0^\circ$ pour un doublage de fréquence de type I à 510.6 nm. Le coefficient non linéaire est de l'ordre de $d_{\text{eff}} = 1.7 \text{ pmV}^{-1}$, l'angle de walk-off vaut 4.8° et la tolérance angulaire est de 0.2 mrad.cm ce qui est particulièrement faible. C'est pourquoi nous avons choisi une configuration optique utilisant deux lentilles cylindriques (focalisation uniquement dans le plan vertical). Ainsi, le faisceau est maintenu dans la tolérance angulaire, l'effet du walk-off est réduit et l'efficacité globale est meilleure qu'avec une lentille conventionnelle bien que l'éclairement crête soit plus faible. Le dispositif expérimental complet est décrit sur la figure 1.

La configuration optique a été optimisée en utilisant uniquement une seule voie (figure 1). Différentes valeurs de lentilles composant le télescope ont été testées. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec une lentille L1 de focale 200 mm et une lentille L2 de focale 40 mm. Dans ces conditions l'efficacité de conversion a été de 20 % avec BBO2 ou BBO3 et de 12.7 % avec BBO1 (Table 1). Ainsi, avec les deux voies de doublage (figure 1), une puissance totale de 5.13 W d'UV a été obtenue à 15 kHz (corrigée des pertes des optiques mais pas des pertes par réflexion sur les faces non traitées des cristaux) [7]. A notre connaissance cela correspond à la plus haute valeur obtenue à cette cadence à partir d'un oscillateur visible, même avec du CLBO.

La qualité du faisceau UV a été réalisée par la mesure du M^2 en utilisant le système à prisme décrit plus haut avec une lentille en silice de focale $f = 250 \text{ mm}$. Les valeurs obtenues sont les suivantes : $M_x^2 = 30 \pm 2$ et $M_y^2 = 24 \pm 2$. Ces valeurs sont à comparer avec les performances courantes de sources commerciales (laser Nd :YLF pompé par flash doublé (527 nm) de 17 W à 1 kHz caractérisé par $M^2 \sim 20$). La largeur temporelle à mi-hauteur est de 35 ns.

Lorsque les deux lignes d'UV sont focalisées au foyer d'une lentille en silice de focale $f = 30 \text{ mm}$ la puissance moyenne disponible (sans aucune correction) est de 3.8 W à 15 kHz. En considérant un M^2 moyen de 27 le diamètre du spot est de l'ordre de $50 \mu\text{m}$ ce qui conduit à

une fluence de 13 Jcm^{-2} ce qui au-dessus du seuil d'ablation mesuré avec des impulsions ns dans des métaux. Ainsi cette source UV est adaptée au micro-usinage UV à haute cadence.

Figure 1 : dispositif expérimental. DM : miroir dichroïque, PC : cube polariseur, P : prisme, CL_i : lentille cylindrique, L_i : lentille ; S : échantillon ; PO : mesureur de puissance ; DP_i : lame dichroïque ; A : diaphragme.

Table 1 : Résultats expérimentaux obtenus à 15 kKz pour des lentilles L1 et L2 de focales respectives 200 mm et 40 mm.

cristal	dimensions	Puissance moyenne à 511 nm	Puissance moyenne à 255 nm	Efficacité de conversion
BBO1	X=8 mm Y=5 mm Z=5 mm	16.0 W	2.1 W	12.7 %
BBO2 or BBO3	X=8 mm Y=5 mm Z=10 mm	16.0 W	3.2 W	20 %
BBO2 et BBO3 (deux lignes d'UV)		32 W	5.13 W	16 %

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La raie à 510.6 nm d'un laser CuHBr caractérisée par $M_x^2 = 8.5 \pm 1.0$ et $M_y^2 = 6.5 \pm 1.0$, a été doublée en fréquence dans des cristaux de BBO. Une puissance totale de 5.1 W à 255 nm à 15 kHz a été obtenue (corrigée des pertes des optiques mais non corrigée des pertes par réflexion sur les cristaux de BBO non traités). Le faisceau UV possède des caractéristiques ($M_x^2 = 30 \pm 2$ et $M_y^2 = 24 \pm 2$) nous permettant d'envisager des expériences d'usinage UV à haute cadence. Les résultats d'usinage seront alors confrontés aux résultats obtenus à partir de lasers à excimères ou encore de lasers femtosecondes (taille de la zone thermiquement affectée, profondeur d'ablation,...)

References

- [1] R.I. Trickett, M.I. Withford and D.J.W. Brown, Opt. Lett. **23** (1998)189-191.
- [2] P. Coutance, G. Naylor and J.P. Pique, IEEE J. Quant. Electron. **31** (1995) 1747-1752.
- [3] D.R. Jones, A. Maitland and C.E. Little, , IEEE J. Quant. Electron. **30** (1994) 2385-2390.
- [4] M. Laubscher, P. Segonds and J.P. Pique, Opt. Comm. **184** (2000) 425-435.
- [5] P. Coutance, Thèse de Doctorat, Université de Grenoble (1996).
- [6] A.E. Siegman, IEEE J. Quant. Electron. **29** (1993) 1212-1217.
- [7] N. Huot, C. Jonin, N. Sanner, E. Baubeau, E. Audouard and P. Laporte, soumis à Opt. Comm. (2002).