

Source laser pour la production de rayons X de forte puissance moyenne par interaction laser-matière

F. Salin, G. Brassart et F. Estable

B.M. Industries, 7 rue du Bois Chaland, CE 2901, 91029 Evry Cedex, France

Abstract: We describe a Nd:YAG laser source capable of producing 0.5 J, 2 ns pulses with an average power of 100 W. This laser is diode pumped and can be used to produce high average power X-ray emission in the keV range.

Les rayons X ont de multiples applications industrielles au nombre desquelles on peut citer la microscopie X, la microlithographie, le micro-usinage. Dans tous les cas il est nécessaire de posséder une source aussi ponctuelle que possible émettant un rayonnement intense. L'encombrement et le coût doivent être compatibles avec une application industrielle.

Les sources à plasma laser sont relativement récentes et utilisent le rayonnement X produit par interaction laser-matière. Le rayonnement X provient d'ions fortement ionisés; il est concentré dans le domaine X-mous (sub-keV) sous forme de raies discrètes ainsi que dans le domaine keV sous forme d'un continuum. Les pics d'émission peuvent être accordés par un choix correct du numéro atomique de la cible et des paramètres du laser. Les dimensions de la source peuvent être très petites (diamètre <100 μm).

Il a été démontré¹ que pour obtenir une conversion efficace du rayonnement laser dans les rayons X il convient d'utiliser des longueurs d'onde courtes ($\leq 1.064 \mu\text{m}$) et des impulsions dans la gamme de 1 à 5 ns. Afin de produire un plasma suffisamment chaud ces impulsions doivent être focalisées sur des taches de l'ordre de 50 μm de diamètre. L'intensité lumineuse requise pour une conversion efficace est de l'ordre de 10^{13} W/cm^2 . Enfin, pour obtenir une source de rayons X utilisable dans des applications industrielles il convient de produire de fortes puissances moyennes. Typiquement un laser d'une puissance moyenne de 100 W produit 0,5-1 W/sr dans le domaine keV et plus de 1 w/sr dans le domaine sub-keV. Ces puissances sont suffisantes pour des applications industrielles en micro-lithographie.

Les conditions de durée (<5 ns), intensité lumineuse ($>10^{13} \text{ W/cm}^2$) et dimension de la tache ($\sim 50 \mu\text{m}$) conduisent à des impulsions dont l'énergie est supérieure à 0,5 Joule. Afin de produire les puissances moyennes requises on peut soit utiliser des impulsions de forte énergie (3 - 50 Joules) à faible cadence, soit utiliser des impulsions de faible énergie à plus haute cadence. Le dispositif décrit ici utilise des impulsions de faible énergie.

Il consiste en un oscillateur laser produisant une impulsion dont la durée est de l'ordre de 1 à 5 ns. L'impulsion de faible puissance provenant de l'oscillateur est injectée dans un amplificateur régénératif. L'impulsion injectée est amplifiée par passage successifs dans le milieu amplificateur. Des facteurs d'amplification supérieurs à 10^8 sont possibles. Une faible partie du signal lumineux est extraite de la cavité à chaque aller-retour. La sortie de l'amplificateur régénératif consiste alors en un train d'impulsions séparées par le temps d'aller et retour dans la cavité. Ce train est amplifié à nouveau dans un ou plusieurs amplificateurs jusqu'à ce que l'énergie de chaque impulsion dépasse le seuil nécessaire à la création d'un plasma. Puisque l'énergie de chaque impulsion reste relativement limitée, la taille des amplificateurs peut être petite. Par contre un grand nombre d'impulsions successives permet d'extraire la totalité de l'énergie stockée dans les amplificateurs. On peut ainsi produire de fortes puissances moyennes (>100 W) tout en utilisant des amplificateurs de faibles dimensions (~ 1 cm de diamètre) fonctionnant à faible cadence (<100 Hz). Nous décrivons un système dans lequel les milieux amplificateurs sont des plaques de Nd:YAG. Ce système est pompé par des diodes lasers assurant ainsi une très bonne efficacité de l'ensemble ainsi qu'une fiabilité indispensable pour des applications industrielles.

Le train d'impulsions est alors doublé et éventuellement triplé ou quadruplé en fréquence grâce à des cristaux non-linéaires. Dans la mesure où seule l'intensité du rayonnement X nous intéresse, toutes ces fréquences sont focalisées simultanément sur une cible.

L'ensemble des impulsions d'un même train atteint la cible en un même point créant ainsi une sorte de cratère. On peut espérer que ce cratère augmente la directivité du rayonnement X et par suite la brillance de la source. Le point d'impact sur la cible est renouvelé entre deux trains d'impulsions par mouvement de la cible ou du système de focalisation.

1. M. Chaker, H. Pépin, V. Bateau, B. Lafontaine, I. Troubhans, R. Fabbro et B. Faral
"Laser plasma x-ray sources for microlithography", J. Appl. Phys. 63, 892 (1988).