

Caractérisation d'une source X créée par laser

C. Chenais-Popovics, S. Delysse, M. Merdji et O. Rancu

Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses, Ecole Polytechnique, 91120 Palaiseau, France

Abstract: X-ray diagnostics have been developed to characterize a laser-produced x-ray source. A 60 microns diameter x-ray source is obtained by focusing on an Al or Si target the second harmonic of a Nd-Yag laser delivering 1 Joule in 4 ns at 0.53 μm wavelength. A pinhole camera and filtered x-ray diodes are set-up permanently and a flat crystal spectrograph has been added to characterize the higher ionization stages and higher electronic temperatures achievable. He-like aluminium is excited and a maximum temperature of a few hundred of eV has been obtained. The diagnostics have been designed to be used with a high repetition rate laser-produced x-ray source.

Les lasers de puissance ont permis depuis quelques années de créer des sources X et d'étudier leurs caractéristiques.^[1-4] L'utilisation industrielle de sources X à haut taux de répétition devient maintenant envisageable avec le développement actuel de lasers excimères délivrant une puissance instantanée importante à 10 ou 100 Hz.^[5] Les lasers Nd-Yag de puissance moyenne permettent dès aujourd'hui d'obtenir des sources X de caractéristiques très proches de ce que permettront ces lasers à excimères. On décrit ici les diagnostics de caractérisation du rayonnement X et les caractéristiques du rayonnement X obtenu avec un laser Nd-Yag doublé en fréquence délivrant 1 Joule en 4 ns à la longueur d'onde 0.53 μm , focalisé sur une cible d'aluminium (numéro atomique $Z=13$) ou de silice ($Z=14$ pour le silicium).

Autour de la cible étaient placées à poste fixe une caméra à sténopé couplée à une caméra CCD sensible au rayonnement X plus énergétique que 1 keV permettant de contrôler la bonne focalisation du laser. Une diode P.I.N. et une diode XUV devant lesquelles étaient placés des filtres métalliques de différentes épaisseurs permettaient de mesurer le spectre large bande de la source, entre 50 eV et 10 keV. Un spectrographe à cristal plan d'ammonium-dihydrogène-phosphate (ADP) sélectionnant les longueurs d'onde de 1 à 3 keV avec un pouvoir de résolution de l'ordre de 1000 mesurait le spectre émis par les états ioniques les plus élevés de l'aluminium (Al^{11+} et Al^{12+}) et du silicium (Si^{12+} et Si^{13+}).

Pour la focalisation optimale du laser sur la cible, la zone d'émission X mesurée avec la caméra à sténopé mesurait 30 μm à mi-hauteur, et 70 μm au pied. On déduit que

l'intensité laser obtenue était de 6×10^{12} à 10^{13} W/cm². La connaissance de cette valeur est très importante car elle détermine l'énergie maximale des photons X émis qui est régie par la température électronique et l'état d'ionisation du plasma émetteur. La figure 1 montre un spectre X obtenu avec le spectrographe à cristal pour un tir sur de l'aluminium. Trois tirs ont été superposés pour obtenir ce spectre. La raie la plus intense est la raie de résonance $1s2p-1s^2$ de l'aluminium héliumoïde (Al^{11+}), accompagnée de ses satellites diélectroniques lithiuoïdes. En effectuant 5 tirs, on a pu faire apparaître faiblement la raie de résonance $2p-1s$ hydrogénoïde (Al^{12+}). L'état d'ionisation atteint est donc le niveau fondamental hydrogénoïde de l'aluminium. Avec une cible de silice, dix tirs ont été nécessaires pour faire apparaître la raie $1s2p-1s^2$ du silicium héliumoïde (Al^{11+}). La comparaison de ces spectres avec un calcul hors équilibre thermodynamique indique que le plasma créé atteint une température de l'ordre de 200 eV.[6]

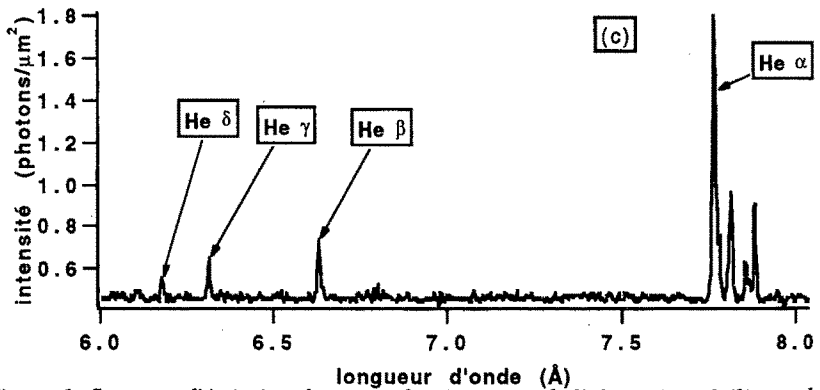


Figure 1: Spectres d'émission des raies de résonance de l'aluminium héliumoïde.

Les diodes ont permis d'effectuer une mesure quantitative du spectre X émis par la source dans un très large domaine spectral. Entre 50 eV et 400 eV, ainsi qu'entre 1 et 2 keV, le nombre maximum de photons émis est de $(3 \pm 1) 10^{14}$ photons/keV/sr. Le pic d'émission autour de 1.5 keV est dû aux ions héliumoïdes (Al^{11+}) alors que le rayonnement intense entre 50 et 400 eV est la superposition de l'émission des états d'ionisation inférieurs et des raies entre niveaux excités de l'ion Al^{11+} .

En conclusion, dans cette expérience, on a pu mesurer l'intensité laser minimum permettant d'obtenir du rayonnement jusqu'à 2 keV. Les diagnostics qui ont été mis en place sont directement transférables sur une installation laser à haute cadence. Pour développer cette installation en vue d'expériences de microlithographie X à haute cadence, un porte-cible à déplacement rapide et un système d'élimination des débris de la cible seront mis en place.

Références:

- [1] P. Alaterre, H. Pépin, R. Fabbro, B. Faral, Phys. Rev.A, **34**, 4184 (1986);
- [2] M. Chaker, S. Boily, B. Lafontaine, J. C. Kieffer and H. Pépin, I. Toubhans and R. Fabbro, Microelectronic Engineering **10** (1990) 91-105
- [3] I. Thoubans, Thèse de Doctorat, École Polytechnique (1989)
- [4] K. A. Tanaka, H. Aritome, T. Kanabe, M. Nakatsuka, T. Yamanaka and S. Nakai, SPIE Proceedings **1140**, X-Ray Instrumentation (1989)
- [5] M. Stéhlé, B. Godard, J. Physique, présent volume.
- [6] R.W. Lee, B.L. Whitten and R.E.Strout, J. Quant. Spect. Radiat. Transf., **32**, 91 (1985)