

Les optiques XUV adaptées à l'étude des plasmas créés par laser

R. Sauneuf

CEA/CEL-V, 94195 Villeneuve Saint Georges Cedex, France

In order to study laser plasmas, we have developed optical systems working in the XUV range (12 eV - a few keV). We present a pinhole camera associated with a high-speed shutter tube, KB and Wolter microscopes, and a Schwarzschild microscope associated with a thinned CCD ; records of plasma images are also presented to illustrate their use.

Pour étudier les plasmas créés par laser sur le plan de la physique fondamentale ou dans leurs applications à la fusion par confinement inertiel ou à l'obtention d'émission stimulée (laser X), nous avons développé des optiques permettant de résoudre spatialement, temporellement et spectralement l'émission XUV du plasma (12 eV à qq keV). Dans la suite du texte, nous emploierons uniquement les qualificatifs suivants : **X**, pour tout ce qui se rapporte aux photons d'énergie supérieure à 12 eV vis-à-vis desquels la matière est très fortement absorbante ; **visible**, pour les photons d'énergie comprise entre 1 et 12 eV, groupant ainsi les rayonnements UV, visible et IR. Les progrès réalisés au cours de ces dernières années donnent maintenant la possibilité de faire des images ou de diffracter les rayons X dans un large domaine spectral, comme cela se pratique en lumière visible. Cependant dans le domaine visible, c'est le phénomène de réfraction qui est à la base de la plupart des systèmes optiques bien connus, alors que dans le domaine X, ce phénomène est très peu marqué et ne peut donc pas être utilisé de la même façon.

En ce qui concerne l'imagerie pure, les optiques X peuvent ainsi être classées en quatre catégories :

- **Les optiques dans lesquelles les rayons lumineux ne sont pas déviés.** La chambre à sténopé constitue la plus simple des optiques X. Son domaine d'utilisation est limité à la gamme spectrale supérieure à 1 keV en raison de la diffraction par le sténopé aux plus faibles énergies. A titre d'exemple, nous présentons le schéma d'une chambre à sténopés multiples qui permet d'obtenir plusieurs images ; associée à un obturateur X comme détecteur, le dispositif donne plusieurs images du plasma avec un temps de pose de 100 ps, espacées de 200 ps.

- **Les optiques à réflexion totale sous incidence rasante**, utilisées dans la gamme 100 eV à plusieurs dizaines de keV. A titre d'exemple, nous présentons les schémas des microscopes de Wolter et de Kirkpatrick-Baez (KB). En collaboration avec IOTA, nous avons construit un tel microscope en l'améliorant (KBA) : deux miroirs supplémentaires permettent de supprimer l'inclinaison de champ. Il donne une image de grandissement 10 avec une résolution de 10 μm dans un champ de 1 mm. Comportant des miroirs en silice attaquées sous un angle de 2 degrés, sa gamme spectrale s'étend de 50 à 500 eV.

- **Les optiques utilisant la réflexion sélective de Bragg** en incidence quasi normale sur des empilements métalliques multicouches. A titre d'exemple, nous présentons le schéma d'un microscope de Schwarzschild et une image fournie par cet appareil. Construit en collaboration avec SESO et IOTA, il est constitué de 2 miroirs sphériques coaxiaux, le premier convexe, l'autre concave, revêtus de multicouches Mo/Si permettant de faire des images à 60 eV avec un grandissement de 1 ou 4 et une résolution $< 10 \mu\text{m}$ dans un champ de 3 mm.

- **Les optiques utilisant la diffraction par des ZRF** (réseaux zonés de Fresnel). Elles agissent comme des lentilles mais ne fonctionnent qu'en rayonnement monochromatique. Elles ne sont donc pas utilisées pour les diagnostics de plasmas mais on les trouve dans les systèmes de microscopie à très haute résolution sur les faisceaux de rayons X émis par les synchrotrons. Leur domaine d'utilisation est limité aux faibles énergies ($< \text{quelques keV}$).

En spectroscopie, on utilise :

- Dans le domaine X-dur ($> 1 \text{ keV}$), des cristaux minéraux comme le mica ou organiques comme le TLAP ou même des "savons" comme le stéarate de plomb. Nous avons ainsi réalisé un spectrographe utilisant un cristal courbe concave de TLAP associé à une fente de résolution spatiale. Il permet d'enregistrer le spectre émis par un plasma dans la gamme 1 keV - 2 keV avec une résolution spatiale fixée par la largeur de la fente.

- Dans le domaine X-mou ($< 1 \text{ keV}$), des réseaux par réflexion et des réseaux par transmission. A titre d'exemple, nous pouvons citer le diagnostic SPARTUVIX qui utilise un réseau par transmission de 0,3 mm de pas travaillant dans le domaine de longueur d'onde 30 à 380 Å avec une résolution de l'ordre de 1 Å. En utilisant une caméra à balayage de fente comme détecteur, il permet de résoudre spectralement et temporellement le spectre X-mou émis par un plasma créé par laser avec une résolution temporelle de 30 ps.

La conception d'un système d'imagerie doit prendre en compte le problème du filtrage, en particulier, pour les plasmas créés par laser où le domaine spectral émis s'étend pratiquement de l'infrarouge lointain jusqu'aux rayons X de plusieurs dizaines de keV avec un maximum de puissance dans les X-mou ou XUV. Il faut donc recourir à des filtres qui sont le plus généralement constitués de feuilles minces métalliques d'un élément solide dont la transmission est de la forme $T = \exp(-\mu \cdot x/\rho)$ où μ est le coefficient d'absorption massique du matériau, ρ sa masse volumique et x son épaisseur.

Nous donnons, en illustration, des exemples d'enregistrements obtenus dans l'implosion de cibles par laser ou dans les expériences d'émission X stimulée.