Étude paramétrique d'une source X impulsionnelle créée par décharge rapide THT dans le vide ou dans les gaz basse pression

A. Khacef, R. Viladrosa, C. Cachoncinlle, E. Robert et J.M. Pouvesle

GREMI, CNRS, Université d'Orléans, BP. 6759, 45067 Orléans cedex 2, France

Résumé : Nous reportons les développements récents d'une source flash X compacte basée sur une décharge THT rapide dans le vide ou dans des gaz basse pression. Cette source peut émettre des doses supérieures à 2.2 R/tir (à la fenêtre de sortie) de photons X d'énergie comprise entre 5 et 250 keV dans des impulsions de 20 ns à mi-hauteur et à un haut taux de répétition de 60 Hz.

Le champ d'application des sources flash X de puissances moyennes élevées s'est considérablement élargi ces dernières années. Longtemps utilisées pour l'observation des phénomènes ultra rapides, ces sources dont les spécificités peuvent être fort différentes (puissance rayonnée, domaine spectral, durée de l'impulsion, taux de répétition) trouvent aujourd'hui applications dans des domaines aussi variés que la cinématographie, la radiographie éclair, l'analyse, la médecine, la cristallographie, la micro-électronique, la physico-chimie des plasmas et les lasers.

Nous avons développé et optimisé une source flash X compacte dont le fonctionnement est basé sur la production d'une décharge électrique THT très brève (temps de montée < 30 ns, fwhm < 60 ns) et de forte énergie (quelques joules) entre deux électrodes placées sous vide résiduel. L'impulsion haute tension est délivrée au moyen d'un générateur multi-lignes commuté par un roto-spark (temps de commutation < 10 ns).

La diode X conventionnelle dont le corps est en quartz est optimisée pour un fonctionnement en mode réflexion pour des tensions pouvant atteindre environ 250 kV. C'est une diode facilement démontable composée essentiellement d'une cathode creuse conique et d'une anode pointe. Plusieurs matériaux d'électrodes (tungstène, molybdène, laiton, et acier) ont été testés. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec une cathode en laiton et une anode en tungstène pour laquelle la stabilité de la décharge est meilleure et l'ablation la plus faible. Les doses X ont été mesurées à travers une fenêtre de mylar (350 μm d'épaisseur) au moyen de dosimètres de différentes sensibilités (SEQ5 et SEQ6 de Saphymo-phy). L'évolution temporelle des impulsions X a été caractérisée à l'aide d'une diode PIN rapide (Hamamatsu S1722-03) dont la réponse a été calibrée. La pression résiduelle de fonctionnement, comprise entre 0.04 et 0.8 mbar suivant le gaz utilisé, est assurée à l'aide d'une pompe primaire.

L'efficacité de conversion de l'énergie électrique stockée dans le système en énergie de rayonnement X dépend de plusieurs paramètres critiques faisant notamment intervenir la tension appliquée à la diode, la nature et la géométrie des électrodes, la distance inter-électrodes, la pression résiduelle et la nature du gaz introduit en pression contrôlée dans la diode X. Ainsi, les caractéristiques de l'émission X (dose, durée de l'impulsion, taux de

répétition, énergie des photons, répartition spatiale, géométrie et diamètre de la source) ont été étudiées en fonction de ces paramètres expérimentaux ajustables.

Pour une énergie stockée de 3.2 J par tir (tension de charge = 20 kV), ce système est capable d'émettre des doses moyennes supérieures à 7 kR⁽¹⁾/min, à la fenêtre de sortie de la diode (2 mR à 1 m), de photons X d'énergie comprise entre 5 et 250 keV. Emises dans des impulsions de 20 ns à mi-hauteur, cela représente un débit de dose instantané supérieur à 10⁸ R/s. Le système peut fonctionner aussi bien en mode monocoup qu'à une fréquence de 60 Hz permise par l'alimentation HT disponible.

Des résultats intéressants ont été obtenus en changeant la nature du gaz introduit en pression contrôlée dans la diode X. L'utilisation de gaz rare légers permet d'étendre largement la pression de fonctionnement du flash. Cette pression passe de quelques dizaines de μ bar dans l'air à plus du mbar dans l'hélium. Suivant les conditions de décharge, la durée de l'impulsion X peut être ajustée entre quelques ns et 20 ns (figure 1). Cet aspect est particulièrement intéressant pour des utilisations du flash X dans certains domaines de recherches spécifiques ne nécessitant pas l'utilisation de fenêtre spéciale ou de systèmes de pompage complexe.

Figure 1: Effet de la pression résiduelle sur: (a) la dose et la durée de l'impulsion X dans le cas de l'air. (b) la largeur de l'impulsion X pour différents gaz de remplissage. (Anode W - cathode laiton, tension aux bornes des électrodes = 110 kV, distance source - détecteur = 25 cm).

De réels progrès ont été réalisés quant à la durée de vie de la diode et à la fiabilité du système développé permettant ainsi un fonctionnement en routine durant plusieurs jours à haut taux de répétition sans diminution significative de dose et sans intervention sur les électrodes.

Les dimensions réduites du système développé (volume $\approx 0.6 \times 0.45 \times 0.45$ m³ hors alimentation HT et pompage) en font un véritable "table top device" très bien adapté à une utilisation en laboratoire ou dans l'industrie. En plus de la radiographie éclair médicale ou industrielle, ce flash X apparaît comme un outil très performant pour les études résolues en temps en cristallographie ou en physico-chimie des plasmas. De plus, la cadence de tir élevée permet d'envisager des développements intéressants en cinéradiographie.

Ce travail a bénéficié du soutien de l'ANVAR, contrat N° A9309100F00

⁽¹⁾ 1 R = 1 Roentgen = $2.48 \cdot 10^{-4}$ C kg⁻¹