J. Phys. IV France 11 (2001)
© EDP Sciences, Les Ulis

Source de photons X mous à haute brillance par décharge microcapillaire

T.N. Hansen, J. Castro, A. Guilbert[1], I. Krisch[2], A. Engel[1], J. Larour[1], P. Choi[1] et J.G. Lunney

Department of Physics, Trinity College, Dublin 2, Ireland
[1] *Laboratoire de Physique des Milieux Ionisés, UMR 7648 du CNRS, École Polytechnique, 91128 Palaiseau, France*
[2] *John Caunt Scientific Ltd., Oxford OX9 2QA, U.K.*

Résumé : Une décharge micro-capillaire ultra-rapide est utilisée pour produire un plasma chaud de dimensions sub-millimétriques. La cellule de décharge est essentiellement constituée d'un condensateur plan à plaques circulaires (1 - 2 nF) et dont le film diélectrique est percé d'un trou minuscule. Une ouverture circulaire un peu plus grande est ménagée dans une des électrodes, face au trou, pour assurer le pompage et tenir la tension jusqu'au claquage spontané dans le vide. Le condensateur que forme la cellule est chargé en impulsion jusqu'à environ 20 kV en 150 ns. Le claquage démarre par une décharge en surface du diélectrique exposé au vide et à travers le trou dans le diélectrique. Le courant dans cette décharge croît très rapidement, jusqu'à 20 kA en 1 ns, et un petit plasma transitoire, de taille environ 100 microns, se forme dans le canal micro-capillaire. Les conditions de la phase initiale du plasma ont été étudiées par spectroscopie d'émission XUV. Avec du diélectrique PVDF, l'émission des raies F VII, F VII et C V est observée. L'analyse du spectre d'émission montre que la température maximale du plasma atteint 150 eV avec une densité d'électrons de 10^{19} cm^{-3}. Des sondes ioniques sont installées pour suivre le flux des ions en expansion dans le vide. Un modèle permet de corroborer les signaux ioniques au degré d'ionisation atteint dans la colonne de plasma.

Une difficulté majeure de la production de plasma chauds par décharge électrique rapide, en vue d'obtenir de très fortes puissances rayonnées dans les domaines UV et X, est la limitation que pose la manipulation de fortes énergies. Les systèmes voient leur taille augmenter et par suite leur inductance propre. Il s'ensuit un ralentissement de la décharge qui limite fortement les possibilités de chauffage. La présente étude se place délibérément dans le cas où l'énergie stockée est modeste mais où les paramètres électriques sont poussés à l'extrême en terme de réduction de l'inductance.

Dans les décharges capillaires ablatives ou non ablatives [1], le diamètre interne du capillaire est millimétrique et sa longueur au moins centimétrique. L'inductance du canal se chiffre alors en nH voire dizaine de nH et la source de rayonnement est de l'ordre de ce diamètre. Bien que nous ayons réalisé un dispositif très rapide [1, 2], nous avons pris le parti de réduire encore l'inductance en réduisant la longueur du canal à moins de 100 microns. Ceci n'est possible qu'en supprimant le capillaire en alumine et en creusant la feuille de diélectrique, avec un laser pulsé ou à la main avec une aiguille. En appliquant des armatures métalliques de chaque côté de ce diélectrique, on constitue un condensateur plan compact dont la seule possibilité de décharge est un claquage de surface du diélectrique et un passage à l'arc dans le canal. Le dispositif est représenté Figure 1 avec l'arc formé entre l'armature de fond et la couronne du côté où le canal est pompé. Afin d'augmenter la tension de claquage, la cellule est chargée en impulsion rapide par un système déjà décrit [1, 2]. La tension (environ 10kV) est mesurée par un diviseur résistif aux bornes et le courant ne peut être mesuré que par un capteur inductif, constitué d'une gorge creusée dans l'anode, représentant environ 0,1nH. La Figure 2 montre une trace typique de courant obtenue par intégration analogique du signal induit. On voit sur la première montée de courant, donc au claquage, que le taux de montée est exceptionnellement élevé, supérieur à 10^{13} A/s, ce qui autorise des mécanismes de compression magnétique. L'inductance du circuit peut être évaluée à 0,8nH, la contribution du plasma étant négligeable devant celle des armatures. L'ablation du diélectrique (mylar ou PVDF) est telle que 20 tirs peuvent être répétés avec la même feuille sans grande variation des performances.

Un spectromètre à réseau gravé sous incidence rasante [3] est placé dans l'axe du capillaire et enregistre plusieurs spectres avec un temps d'ouverture de 3ns pendant les 15 à 20 ns d'émission photonique. Les spectres, de 3nm à 30 nm, sont composés des raies des éléments lourds du diélectrique (C et O pour le mylar, C et F pour le PVDF) à des degrés d'ionisation élevés. On identifie également les raies

Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/jp4:2001711

de la plaque métallique de fond (Al ou Cu) et on note un creusement de celle-ci au fond du capillaire, signe d'un bombardement intense par faisceau d'électrons. On distingue un rayonnement visible dont le temps de montée est de 12ns et la durée 600ns, et un rayonnement UV - UVV montant en 3ns et durant 40ns. Les rayonnements durs (X inférieurs à 500eV et supérieurs à 500eV) ont des durées plus courtes (13 et 11ns) pour des temps de montée de l'ordre de 5ns. Malgré le caractère hautement transitoire du plasma, on peut tenter d'évaluer la température du plasma. Pour cela on utilise un code de physique atomique comme FLY pour identifier les raies majeures puis on évalue l'énergie des ions du plasma par mesure de leur énergie cinétique (mesure du temps de vol dans le vide). Des résultats concordants placent l'énergie des ions au niveau de la tension de claquage, soit 10 kV, et la température du plasma près de 100eV. Cependant le mécanisme de formation du plasma n'est pas élucidé, comme la possibilité de focalisation dans le canal dans une géométrie de type plasma focus de Filippov, ainsi que la cause de l'accélération des ions, par expansion dans le vide ou lors des oscillations résiduelles de la tension. Une étude se poursuit actuellement par spectrométrie ionique Thomson et imagerie de la source.

Une méthode de caméra fente-fil [4] a été également employée pour mesurer la taille de la source avec une résolution temporelle égale à celle de la spectroscopie. Celle ci est bien trouvée inférieure ou égale au diamètre du canal soit moins de 100 microns. Ce dispositif, bien qu'il soit peu pratique à cause de la forte ablation, constitue un exemple typique de convertisseur efficace d'une énergie électrique modeste en rayonnement relativement dur.

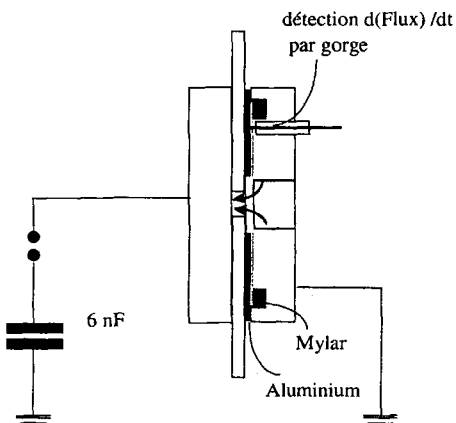

Figure 1 : Schéma de la cellule

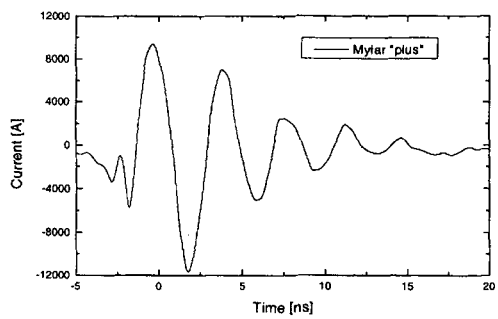

Figure 2 : Impulsion de courant en fonction du temps (ns).

Remerciements

Activité soutenue par la Commission Européenne, 4° programme cadre, sous contrats TMR ERBFMRXCT98-0186, INCO-Copernicus IC-CT97-0705 et par un accord bilatéral CNRS / FORBAIRT.

Références

1. P. Choi and M. Favre, Rev. Sci. Instrum., **69**,. 3118-3122 (1998).
2. P. Choi et al., cette conférence
3. Model GISVUV1, 1 m grazing incidence off Rowland VUV spectrometer from EPPRA sarl, France.
4. M. Favre, P. Silva, P. Choi, H. Chuaqui, C. Dumitrescu and E.S. Wyndham, IEEE Trans. Plasma Science, **26**, 1154-1161 (1998).