

PROPOSITION DE PROJET DOCTORAL

RENTRÉE OCTOBRE 2024

I. RENSEIGNEMENTS ET RÉSUMÉ DU PROJET

Titre du Projet

Conception de nouvelles photocathodes pour les caméras à balayage de fente à rayons X du Laser Mégajoule

Établissement

Sorbonne Université – CEA Direction des Applications Militaires (DAM)

Spécialité de la thèse *Chimie Physique***Unité de recherche**

Laboratoire de Chimie Physique-Matière et Rayonnement, UMR CNRS 7614

<https://www.lcpmr.cnrs.fr/>

CEA DAM Ile de France

<https://www.cea.fr/Pages/le-cea/les-centres-cea/dam-ile-de-france.aspx>

Directeur de thèse :

P. JONNARD (LCPMR)

Co-encadrants

Annaig CHALEIL (CEA-DAM) - Ahmed NAITADBI (LCPMR)

Date de début de la thèse

01-10-2024

Employeur

CEA

Mots clés

Rayons X, détecteur, photocathode, synthèse de films minces

Résumé du projet

Les caméras à balayage de fente (CBF) équipées de photocathodes performantes sont essentielles pour le diagnostic des plasmas générés par le Laser Mégajoule (LMJ). Les photocathodes actuelles, limitées par la qualité des dépôts, la reproductibilité et la stabilité, entravent l'obtention d'images sub-nanosecondes précises de l'implosion de cibles de matériaux fusibles dans le domaine des rayons X. Cette thèse vise à développer des photocathodes X optimisées pour les CBF du LMJ, augmentant le rendement des électrons secondaires sur une large gamme d'énergie X (0-30 keV) tout en garantissant une stabilité optimale. La conception de nouvelles photocathodes, l'optimisation des conditions de synthèse et la caractérisation approfondie des propriétés des photocathodes permettront d'améliorer significativement le diagnostic des plasmas du LMJ, ouvrant de nouvelles perspectives pour l'exploration des phénomènes physiques avec une précision et une résolution inégalées.

II. DESCRIPTION DÉTAILLÉE

Contexte scientifique général.

Les caméras à balayage de fente X (CBF X) des diagnostics plasma (DP) du Laser Mégajoule (LMJ) permettent de réaliser des images sub-nanosecondes de l'implosion d'une cible de matériaux fusibles, dans le domaine des rayonnements X.

La CBF X est constituée d'un tube cathodique qui permet la conversion des photons X incidents en électrons par le biais de la photocathode. Ces électrons sont ensuite accélérés, défléchis et focalisés vers l'écran luminophore du tube imageur. L'image ainsi obtenue est numérisée par une caméra CCD. Les performances requises pour les nouveaux DP nécessitent de concevoir de nouvelles photocathodes X.

Les photocathodes actuellement utilisées dans les tubes des CBF X du LMJ sont constituées d'un substrat en polymère, sur lequel sont déposés de l'aluminium et un élément photoémissif adapté au rayonnement étudié. Ces photocathodes présentent des difficultés : les dépôts ne sont pas homogènes, ni reproductibles et elles se détériorent au contact de l'air ambiant.

Objectifs.

La photocathode est un élément clé des caméras X ultra-rapides, contribuant de façon importante à l'homogénéité et à la reproductibilité des mesures de cet équipement. Il existe deux types de photocathodes : photocathode en transmission et en réflexion. Les photocathodes en transmission actuellement utilisées dans les caméras à balayage de fentes employées sur le LMJ sont généralement constituées d'un substrat en polymère, sur lequel sont déposés de l'aluminium, élément conducteur, et un élément photoémissif adapté au rayonnement étudié (par exemple, les sels halogénés: CsI, KI, etc...). Ces photocathodes présentent un certain nombre de difficultés :

- L'homogénéité du dépôt et la reproductibilité sont difficiles à garantir.
- De plus, au cours des manipulations sur l'installation LMJ, les photocathodes qui sont extrêmement sensibles à l'air et à l'humidité peuvent être détériorées ou perdre en efficacité.

L'objectif de cette thèse est d'augmenter :

- le rendement des électrons secondaires émis par la photocathode dans une gamme d'énergie X étendue comprise entre 0 et 30 keV ;
- la durée de vie de ces photocathodes X.

Méthode (*stratégies envisagées pour atteindre les objectifs*).

Plusieurs phases jalonnent la formation du doctorant.

Dans un premier temps, le doctorant prendra connaissance des études déjà réalisées au laboratoire et fera un travail de recherche bibliographique sur des photocathodes qui pourraient répondre à ce cahier des charges. Il sera ensuite formé, au laboratoire, sur le fonctionnement d'une CBF X avec son système de vide, ses différentes alimentations HT, ses dispositifs de synchronisation, l'acquisition des images via la caméra CCD et les méthodes de traitement d'images permettant d'extraire les paramètres pertinents pour qualifier la qualité de la CBF. Il prendra en main les différents bancs de tests en régime statique ou dynamique (générateurs X ou lasers impulsionsnels) permettant la caractérisation en laboratoire d'une CBF X. Il sera formé à l'utilisation des différents bûches de dépôts de couches minces (pulvérisation cathodique et évaporation sous vide) permettant la réalisation d'une photocathode ainsi qu'aux moyens de caractérisation structurels de celle-ci (profilomètre mécanique à stylet, microscopes optique et électronique à balayage équipé d'un spectromètre X à dispersion d'énergie, etc...). Ce travail se fera en lien étroit avec les experts du laboratoire du CEA-DAM.

Après cette phase de découverte, le doctorant sera chargé de fabriquer des photocathodes traditionnelles (type CsI/Al/Polymère). Il devra en étudier la reproductibilité et en quantifier la dérive dans le temps en fonction des conditions environnementales. En parallèle une analyse fine des modifications de la morphologie de la surface, sous l'effet des rayons X, pourra être effectuée à l'aide d'équipements disponibles dans le laboratoire, tel qu'un MEB/FIB et de spectromètres X associés. Différents matériaux ou types de dépôts pourront être étudiés.

Au fur et à mesure de l'avancée des études et en concertation avec l'ensemble des experts des laboratoires, le candidat gagnera en compréhension des phénomènes et sera amené à proposer, à concevoir et à fabriquer de nouvelles photocathodes X optimisées pour les CBF X (structure et composition de la photocathode, gamme spectrale, durée de vie, résolution spatiale et temporelle, etc...). Il devra optimiser les conditions de synthèse pour obtenir des dépôts uniformes et répétables. Des méthodes d'élaboration et de synthèse par voies chimiques et physiques pour obtenir des dépôts uniformes et reproductibles seront mis en œuvre à Sorbonne Université.

L'aboutissement de cette seconde phase permettra d'envisager une troisième phase dédiée aux nouveaux concepts de photocathodes X durs (adaptées au domaine de plusieurs dizaines de keV) qui devront présenter une constitution physique plus épaisse et structurée, très différentes des photocathodes pour le domaine des rayons X mous. Différents concepts seront à prospector: photocathode avec des nanoparticules ou structurées par microgravure, par exemple, ..., en tenant compte des contraintes d'utilisation des photocathodes ainsi que des techniques de fabrication devant rester relativement simples à mettre en œuvre et reproductibles. Le choix des éléments et leur composition ainsi que leur structure morphologique seront considérés afin d'atteindre les propriétés désirées de la photocathode.

Pour les CBF X, il sera également nécessaire de caractériser les distributions d'émission électronique de ces nouvelles photocathodes en fonction des énergies des photons incidents en utilisant de dispositifs plus simples qu'une CBF de type diode (un banc de mesure dédié a été conçu à cet effet au laboratoire). Suivant l'avancée des études, ce travail pourra être réalisé en concomitance ou à l'issue de la troisième phase. Les résultats de mesure obtenus seront comparés avec les données publiées dans la littérature et permettront d'alimenter les outils de simulations numériques des CBF.

Profil et compétences recherchées.

Le doctorant sera amené à appréhender plusieurs domaines scientifiques et techniques :

- La physique et chimie des matériaux, l'électromagnétisme, l'optique électronique, l'instrumentation de laboratoire, ...
- Le dépôt de couches minces par différentes méthodes et les moyens de caractérisation (pulvérisation cathodique magnétron, évaporation sous vide, ...)
- Les méthodes de caractérisation de films minces (MEB, AFM, FIB, EDS, XPS, profilomètre à stylet, ...)
- L'utilisation d'instruments en salle blanche, les montages laser et les générateurs X, les montages optiques, électroniques et mécaniques, le traitement d'image et de signaux électriques (images issues des CBF, signaux acquis par des capteurs divers : oscilloscopes, multimètres, ...).

Le thésard sera supervisé par son responsable de thèse mais sera aussi amené à dialoguer avec l'ensemble des experts des laboratoires du CEA-DAM et de Sorbonne Université en physique, chimie, optique, électronique, mécanique et simulation. Le laboratoire dispose également d'un atelier de micromécanique et de compétences en conception et métrologie électroniques.

Ce sujet s'inscrit dans le cadre d'un contrat de thèse de 3 ans.

Les qualités recherchées pour le candidat sont les suivantes :

- solides connaissances académiques,
- curiosité scientifique, dynamisme, rigueur, autonomie,
- sociabilité : capacité à s'intégrer dans une équipe de recherche et de développement,
- capacités à communiquer à l'écrit et à l'oral,
- goût pour l'expérimentation et les travaux de laboratoire.

Précisions sur l'encadrement.

Le doctorant sera sous la supervision de Philippe JONNARD, du Laboratoire de Chimie Physique – Matière et Rayonnement (LCPMR) de Sorbonne Université et du CNRS à Paris. Il sera co-encadré par Annaig CHALEIL du CEA-DAM et Ahmed NAITADBI du LCPMR.

Le doctorant partagera son temps entre le CEA-DAM (Bruyères-le-Châtel) et le LCPMR-SU-CNRS (Paris).

L'étudiant sera inscrit à l'école doctorale 388, Chimie Physique et Chimie Analytique de Paris Centre (<https://ed388.sorbonne-universite.fr/>).

Conditions scientifiques matérielles et financières du projet de recherche.

Le doctorant bénéficiera d'un financement du CEA.

Envoyer par email (philippe.jonnard@sorbonne-univresite.fr, ahmed.nait_abdi@sorbonne-universite.fr, Annaig.CHALEIL@CEA.FR) **un dossier de candidature comprenant:**

- CV
- lettre de motivation
- relevé de notes et classement en Master
- lettres de recommandation
- coordonnées de minimum deux personnes du milieu professionnel à contacter