



Système optique de caractérisation non destructive à distance et sans contact par Radiométrie Photothermique Active par Laser

Résumé de présentation de la technologie

La thermographie active permet la détermination non destructive, sans contact et précise des propriétés thermo-physiques surfacique d'un matériau : épaisseur, la conductivité thermique, la capacité calorifique.

La technique s'appuie sur la comparaison des mesures optiques expérimentales issues d'un chauffage laser du matériau et d'un modèle thermique du chauffage. La mesure est locale et peut être étendue à une cartographie de surface en s'appuyant sur les outils de modélisation.

Offre de valeur

L'avantage de cette technique optique est de permettre une analyse in-situ, non destructive et sans contact des propriétés thermo-physiques surfacique d'un matériau.

Il présente de plus des dimensions compatibles avec une intégration dans un système portable augmentant ainsi ses possibilité d'utilisation.

En particulier, ce système de mesure à distance est adapté aux milieux présentant des conditions extrêmes en termes de radiation et de température.

Enjeux et Marchés

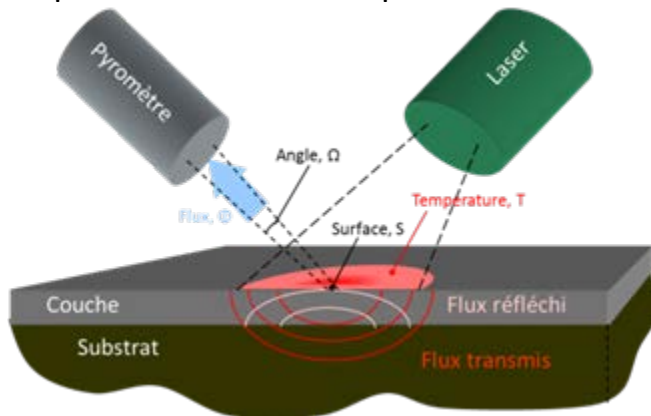
Dans sa version actuelle, le capteur constitue une instrumentation unique et polyvalente permettant de tester et contrôler à distance le comportement d'éléments des installations nucléaires en environnement hostile (cellules blindées) mais aussi en cours d'exploitation, ce avec une bonne résolution spatiale, de l'ordre du rayon du faisceau laser.

Cette problématique du suivi de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques est de première importance pour les scientifiques et les industriels, à la fois pour la surveillance des processus mais aussi pour qualifier les codes de modélisation.

Par ailleurs, cette technologie pourrait être adaptée à d'autres applications similaires en milieux industriels ou de recherche

Présentation détaillée de la technologie

La radiométrie photo-thermique modulée consiste à chauffer le matériau par l'intermédiaire d'un faisceau laser modulé et à mesurer le flux thermique provenant de l'échantillon. L'amplitude et le déphasage entre ces deux flux sont mesurés à différentes fréquences de modulation, et l'ajustement aux mesures des résultats de modèles permet, moyennant certaines hypothèses, de déterminer des paramètres thermo-physiques de l'échantillon. Un tel modèle à quatre dimensions (3D + t) du chauffage cadencé et local, a été développé au LISL (CEA-Saclay-DPC/SEARS) pour un substrat avec (ou sans) couche micrométrique superposée. La réalisation du montage expérimental avec un laser à fibre est très compacte. Le faisceau laser de bonne qualité spatiale permet de faire les mesures à des distances de quelques dizaines de cm à plusieurs mètres avec une résolution latérale millimétrique.



$$c_s(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(k_s(T) \nabla T) + Q_s(t, r, z), \quad z > d$$
$$c_l(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(k_l(T) \nabla T) + Q_l(t, r, z), \quad 0 < z < d$$
$$\left. \frac{\partial \Delta T}{\partial z} \right|_{z=0} = 0, \quad -k_l \left. \frac{\partial \Delta T}{\partial z} \right|_{z=d-0} = -k_s \left. \frac{\partial \Delta T}{\partial z} \right|_{z=d+0} = q_d, \quad \Delta T|_{z=d-0} - \Delta T|_{z=d+0} = \frac{q_d}{h}$$

Niveau de maturité TRL de la technologie

Niveau TRL 3

Un système de mesures, le modèle d'interprétation de la mesure ainsi que le code de modélisation associé ont été testés en laboratoire sur des surfaces fortement absorbantes (métaux, graphite, ...). Le modèle et le code ont été validés à l'aide d'étalons. Les études multiparamétriques ont conduit à l'établissement de relations simples et très utiles pour la caractérisation de l'épaisseur d'un matériau sous forme d'une plaque et pour sa diffusivité thermique.

Les étapes actuelles du développement concernent l'application à des couches de matériaux non absorbantes en surface (couche d'oxyde.) Une intégration dans un système de mesure portable est envisagée à terme pour aller vers des applications in situ sur des objets de l'industrie nucléaire.

Brevets

- FR2897687 - 2007-08-24, Procédé et dispositif de caractérisation, par pyrométrie active, d'un matériau en couche mince déposé sur un substrat, Thro P.-Y., Brygo F, Fomichev S.V., Semerok A.
- FR 1158904 – 2011-10-03 Procédé de détermination sans contact de l'épaisseur d'un échantillon, Melyukov D., Thro P.-Y.
- FR 1355905 – 2013-03-06- Procédé de détermination de la diffusivité thermique et système pour la mise en œuvre, Pham Tu Quoc S., Cheymol G., Semerok A.

Offre technique du laboratoire

- Analyse chimique élémentaire et de surface des matériaux
- Analyse microstructurale des matériaux
- Mesure des paramètres physiques en surface des matériaux (température, physico-chimie...)
- Elaboration de matériaux revêtues par procédé laser
- Elaboration de couches minces par procédés physiques ou chimiques (PVD, CVD, HiPIMS)
- Conception et fabrication de capteurs optiques pour la recherche et l'industrie nucléaires
- Fabrication Additive d'objets métalliques et/ou céramiques.
- Traitement de surface par laser sans apport de matière
- Montages optiques

Expertise du laboratoire

- Capteurs et montages optiques
- Fabrication et caractérisation des matériaux

Equipements et plateformes du laboratoire

Le CEA Saclay dispose d'importants moyens d'essais et de développement :

- Atelier de fabrication de capteurs
- Machines de fabrication additive de matériaux métalliques
- Parc instrumental de caractérisation de surface des matériaux

Notre point fort :

Le CEA Saclay dispose de plusieurs décennies d'expertise et d'un savoir-faire **reconnu** dans le domaine de l'élaboration d'objets pour le nucléaire (composants nucléaires, capteurs) et de l'instrumentation nous permettant de répondre à vos besoins.

Moyens humains en R&D investis dans le développement de cette technologie : 1 ingénieur d'étude, 4 thèses