

Invitation à la soutenance de thèse

OPTIMISATION DU COEFFICIENT D'ÉMISSION SECONDAIRE PAR DÉPÔT DE COUCHE MINCE CONTRÔLÉ PAR ATOMIC LAYER DEPOSITION

Atomic Layer deposited thin coatings for Secondary Electron Emission Yield optimization

Mathieu LAFARIE

04 Décembre 2025, à 10h00

ONERA – Centre de Toulouse, Auditorium
2 avenue Marc Pégérin, 31400 Toulouse

Devant le jury composé de :

Nathanaëlle SCHNEIDER	IPVF / CNRS	Rapporteuse
Julien HILLAIRET	CEA Cadarache	Rapporteur
Carole ROSSI	LAAS / CNRS	Examinatrice
Yolanda GOMEZ MARTINEZ	LPSC	Examinatrice
Mohamed BELHAJ	DPHY / ONERA	Directeur de thèse
Thomas PROSLIER	IRFU / CEA Saclay	Directeur de thèse
Nicolas FIL	CNES	Membre invité
Juan Antonio DURAN VENEGAS	Thales Alenia Space	Membre invité

Résumé

Dans le domaine de la physico-chimie des matériaux liée en particulier aux systèmes radiofréquences (RF) sous vide et aux systèmes photovoltaïques aérospatiaux embarqués, l'un des principaux objectifs est d'assurer leur bon fonctionnement en toute situation.

Le problème est que deux phénomènes physiques altèrent le fonctionnement de ces systèmes : le multipacting pour les systèmes RF sous vide, et les décharges électrostatiques (ESD) pour les systèmes photovoltaïques embarqués sur les satellites.

Ceci est dû au fait que la propriété qui induit ces deux phénomènes, le rendement d'émission électronique total (TEEY), est souvent secondaire dans le choix des matériaux utilisés pour fabriquer ces systèmes par rapport à des propriétés plus critiques pour permettre d'assurer leur fonctionnement (propriétés mécaniques, supraconductivité, transparence optique, tenue à l'environnement spatial, etc.).

Ceci a pour conséquence la diminution des performances des systèmes, mesurée par le facteur de qualité radiofréquence pour les cavités résonantes ou le rendement de conversion du rayonnement solaire en puissance électrique pour les systèmes photovoltaïques des satellites.

Il y a donc un intérêt à trouver un moyen, qui serait applicable aux systèmes de ces domaines, pour diminuer le TEEY des surfaces tout en altérant le moins possible les propriétés primaires qui assurent leur fonctionnement. L'émission électronique est un phénomène fortement dépendant des premières couches atomiques, l'utilisation de couches minces ayant les propriétés attendues déposées directement sur les matériels existants apparaît donc comme le moyen le plus simple de résoudre ces problèmes. Deux obstacles doivent cependant être surmontés : il faut que la méthode de dépôt retenue permette de faire croître des dépôts uniformes en épaisseur et en composition indépendamment de la géométrie et des dimensions des surfaces à revêtir ; il faut que les revêtements déposés possèdent les propriétés requises pour l'application considérée. Par exemple, pour une application sur cavités SRF en niobium, le TEEY du revêtement doit être le plus bas possible tout en ayant la conductivité électrique la plus faible possible, ce qui est difficilement réalisable avec un revêtement monomatériau. A cet égard, l'Atomic Layer Deposition (ALD) est particulièrement adapté car les croissances se déroulent uniquement via des réactions gaz-surface auto-limitantes ce qui permet une excellente uniformité chimique et structurale des dépôts, quelles que soient la surface et la complexité géométrique. L'ALD permet également un contrôle fin de la composition chimique des couches et de réaliser des revêtements multimatériaux dont les croissances respectives sont contrôlées à l'échelle de la monocouche atomique.

Cela montre la pertinence de la présente étude qui consiste à étudier les variations du TEEY et de la conductivité électrique d'hétérostructures à deux matériaux déposés par ALD. Pour cela, il a tout d'abord fallu faire la synthèse des revêtements qui devront permettre de comprendre comment varient le TEEY et la conductivité électrique avec pour objectif d'avoir un panel d'échantillons suffisamment restreint pour être facilement et rapidement analysé et interprétable mais aussi suffisamment diversifié pour aborder le plus de paramètres rentrant en compte dans la variation des deux propriétés à optimiser. Ensuite, il a fallu sélectionner les deux matériaux utilisés pour réaliser les hétérostructures puis définir leurs paramètres de synthèse et enfin analyser la microstructure des revêtements déposés. Dans un second temps, la conductivité électrique des revêtements a été analysée afin de comprendre comment varie le TEEY en fonction des caractéristiques structurales et chimiques des revêtements mesurées par diffraction aux rayons X (XRD, XRR) et spectroscopie par photoémission (XPS). Finalement, l'analyse du TEEY des revêtements a été effectuée pour trois états de surface. Un protocole pour accéder à ces états de surface a été défini ainsi qu'un protocole pour mesurer leur TEEY. Dans chacun de ces états, la composition chimique de surface et le TEEY ont été analysés afin de comprendre comment varie le TEEY en fonction des différents paramètres en jeu (composition chimique, chimie de surface, structuration et microstructure).

Nous démontrons que l'utilisation d'hétérostructures est une solution pertinente et effective pour contrôler à la fois le TEEY et la conductivité électrique. Ces travaux ouvrent des nouvelles perspectives pour améliorer le fonctionnement des cavités RF et mieux contrôler le risque d'ESD sur satellite.

Mots clés

Rendement d'émission électronique, Atomic Layer Deposition, Effet Multipactor

