

Sujet de thèse

Année universitaire 2026

Synthèse et caractérisation de phases MAX à haute entropie par combustion auto-propagée

Encadrant(s)	Sylvain Dubois	Axel Zuber	
Equipe(s)	PPNa		
Partenaire (indust. ou académique)	Oui/ non	si oui préciser lequel : Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux, Université Sorbonne Paris Nord	
Financement thèse	Financement ministère demandé		
Mots clés	High Entropy MAX Phase		
	Caractérisation multi-échelle	nanopowders	Combustion auto-propagée

Description du sujet :

Les phases MAX sont des composés nanolamellaires alternant des couches métalliques de l'élément et céramiques (octaèdres M_6X) ; M est un élément de transition, A est un élément des groupes 13 à 16 du tableau périodique et X est le carbone ou l'azote. Ces matériaux possèdent une bonne conductivité électrique, une bonne résistance aux chocs et à l'oxydation à haute température. Au laboratoire, nous avons déjà synthétisé de nombreuses phases MAX dont Cr_2AlC , Ti_2AlC , Ti_3AlC_2 , Ti_3SiC_2 , Très récemment, est apparu dans la littérature la possibilité de synthétiser des phases MAX à haute entropie développées à partir du concept selon lequel la contribution de l'entropie configurationnelle à l'énergie libre dépasse la contribution de l'enthalpie et contribue ainsi à stabiliser le matériau et à optimiser ses propriétés. Les techniques de frittage haute température utilisées pour la synthèse des phases MAX entraînent un coût de production élevé qui se répercute d'autant plus dans le prix des dérivés 2D, appelant au développement de techniques de synthèse moins énergivores et chronophages. Dans le cadre de cette thèse, nous nous proposons de réaliser la synthèse de ces matériaux en utilisant la combustion autopropagée qui permet une synthèse rapide, en grandes quantités et à moindre coût. Contrairement aux techniques de frittage réactif classique, où la diffusion atomique doit être maintenue par un apport constant d'énergie thermique le temps de la formation des produits, les réactions auto-propagées utilisent l'exothermicité de la réaction de formation des produits pour s'auto-entretenir et synthétiser le matériau souhaité en quelques secondes. Les poudres synthétisées par cette méthode sont typiquement nanométriques, comme le montrent les essais de synthèse de phase MAX à haute-entropie effectués au Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux. La

complexité des phases synthétisées demande une caractérisation microstructurale multi-échelle que nous nous proposons de réaliser durant cette thèse.

Le travail de thèse sera mené sur trois volets distincts :

- 1) La synthèse, par réaction auto-propagée, de nanopoudres de phases MAX à haute-entropie (et éventuellement de leurs dérivés 2D)
- 2) La caractérisation multi-échelle des poudres ainsi élaborées (microscopie électronique, analyse par spectroscopie en dispersion d'énergie des rayons X et éventuellement en spectroscopie de perte d'énergie des électrons.
- 3) Densification par frittage flash des nanopoudres synthétisées.
- 4) Etude des propriétés physico-chimiques et physiques des matériaux massifs élaborés (propriétés de transport électronique (PPMS), propriétés de résistance à l'oxydation, propriétés mécaniques (microdureté et/ou nanoindentation)).

Lieu :

Institut Pprime- Département de Physique et Mécanique des Matériaux
UPR 3346 CNRS - Université de Poitiers - ENSMA

Bd. M. et P. Curie

86073 Poitiers Cedex 9

&

Laboratoire de Sciences des Procédés et des Matériaux (LSPM)

99 avenue Jean-Baptiste Clément

Bâtiment L2, 2ème étage, bureau 231

93430 Villetaneuse

Profil du candidat :

- Ecole d'ingénieur ou Master 2 en sciences des matériaux/physique des matériaux
- Compétences dans les techniques usuelles de caractérisation des matériaux
- Des connaissances dans le domaine de la métallurgie des poudres seraient un plus
- Anglais courant et compétences de communication
- Bonnes compétences rédactionnelles
- Rigueur, initiative et autonomie, goût pour le travail expérimental

Contacts :

Sylvain Dubois

sylvain.dubois@univ-poitiers.fr

Axel Zuber

axel.zuber@cnrs.fr

Candidature auprès des personnes citées ci-dessus :

Merci de joindre à votre lettre de candidature :

- Votre CV
- Les notes et classements de Master 1 et 2 / 2ème et 3ème année école ingénieur
- Une lettre de référence de la part de votre responsable de formation et/ou encadrant de stage