



Campagne de recrutement sur contrats doctoraux 2021
Institut P'

Thermotronique Conductive à Base de Matériaux à Transition de Phase : Application au cas du VO₂

Institut/Département : Pprime/Fluides, Thermique et Combustion (FTC)

Equipe : Thermique aux Nanoéchelles et Rayonnement (TNR)

Directeur de thèse : YOUNES EZZAHRI

Co-directeur : KARL JOULAIN

Contact pour information : younes.ezzahri@univ-poitiers.fr

karl.joulain@univ-poitiers.fr

Salaire net mensuel : 1768€ brut / mois, CDD 3ans (*à modifier si co-financement*)

Mot-clés: Matériaux solides à transition de phase, Dioxide de Vanadium, Conductivité thermique, Chaleur spécifique, Hystérésis, Equation de chaleur, Diode, Transistor, Memristor, Circuit logique thermique, Mémoire thermique.

Contexte

Les matériaux solides à transition de phase isolant-métal (MSTP-IM) constituent des candidats idéaux pour la réalisation de composants thermiques ayant des comportements analogues aux composants électroniques comme la diode, le transistor ou encore le memristor. Ce thème de recherche s'est vu attirer beaucoup d'intérêt dans les huit dernières années et constitue une voie très prometteuse dans le sens où cela pourrait conduire à la réalisation de toute une architecture de traitement d'information purement photonique sans contact ou bien purement phononique ou encore une combinaison des deux, qu'on pourrait intituler « *Thermotronique* ».

Nos études sur le sujet au sein de l'équipe TNR, ont gagné beaucoup de maturité et plusieurs concepts théoriques de la diode, du transistor et du memristor thermiques dans les deux régimes ; radiatif et conducteur, ont été proposés dans les cinq dernières années. Jusqu'à présent, nos efforts se sont concentrés principalement sur le régime radiatif stationnaire avec peu d'investigations des régimes conducteur et dynamique. Le but de ces recherches consiste à faire du contrôle thermique l'analogie de ce qui a été fait du contrôle électronique à l'aide de diodes, de transistors et de memristors. Les concepts développés pourraient même avoir un grand potentiel d'application dans le domaine de la gestion de l'énergie et de la chaleur fatale. En effet, la diode thermique conductive à base d'un MSTP-IM représenterait un très bon exemple d'isolant thermique intelligent dans le bâtiment ou d'autres secteurs. Nous pensons aussi concevoir à terme des circuits logiques thermiques permettant de faire de la régulation passive sans électronique.

Dans les MSTP-IM, les propriétés physiques subissent une variation drastique avec la température lors de la transition de phase. Les comportements thermiques de la conductivité thermique κ et de la chaleur spécifique C_v manifestent à l'instar de l'émissivité ε et de la conductivité électrique σ , une boucle d'hystérésis caractéristique qui constitue en effet, la signature de ces matériaux.

Dans les études en régime stationnaire, les deux paramètres les plus importants sont la conductivité thermique et l'émissivité. Nous avons particulièrement exploité les propriétés du



dioxyde de vanadium (VO_2) qui constitue l'un des MSTP-IM les plus intéressants et qui est depuis quelques années, le sujet de plusieurs études de recherche. Ce matériau manifeste une transition de phase réversible métal-isolant (MIT) aux alentours d'une température critique de $T_C \sim 68^\circ\text{C}$. La transition se produit sur un intervalle de temps ultra-court (quelques picosecondes).

Programme de l'étude, moyens mis en oeuvre

Le travail de thèse sera de nature essentiellement théorique et consistera à réaliser une étude approfondie de la thermotronique dans le régime conductif incluant les deux aspects du fonctionnement ; stationnaire et dynamique (transitoire). L'étude portera sur la conception et l'analyse détaillée des comportements des trois composants thermiques élémentaires : la diode, le transistor et le memristor. L'étude du transistor thermique sera la pierre angulaire du travail de cette thèse. Nous pourrions envisager une étude paramétrique générale de manière à identifier l'ensemble des paramètres qui assureront la meilleure performance du fonctionnement. Ainsi, différents MSTP-IM pourront être considérés avec un focus particulier sur le VO_2 . En plus, nous pourrions considérer diverses configurations sous vide afin d'éliminer tout effet de la convection. Toutefois, en fonction de la géométrie de la configuration, une éventuelle prise en compte du rayonnement des surfaces ne serait pas à exclure. En plus de la conductivité thermique κ , la chaleur spécifique C_V entrera en jeu en tant qu'un paramètre supplémentaire à tenir en compte dans l'étude du régime dynamique (transitoire).

L'élément clé pour réaliser l'étude en régime conductif dynamique consiste à résoudre l'équation de la chaleur au sein d'un MSTP-IM de taille finie, particulièrement lors de la transition de phase en fonction de la température. Compte-tenu de la dépendance en température de κ et C_V , cette équation est intrinsèquement non-linéaire. Un grand effort sera donc à déployer afin de résoudre cette équation semi-analytiquement et numériquement. Différentes conditions aux bords vont être considérées afin de déterminer l'impact de leur changement sur le profil spatio-temporel de la température au sein de la zone de transition de phase.

En fonction de l'avancement des travaux de la thèse, la conception de structures plus complexes comme un circuit logique thermique ou encore une mémoire thermique pourrait être envisagée.

Cette étude, une fois réussie, posera les bases d'une potentielle réalisation expérimentale et preuve du concept des composants thermiques élémentaires de la thermotronique conductive à base des MSTP-IM, particulièrement le VO_2 .

Profil du candidat, prérequis

Master 2 ou équivalent (diplôme ingénieur) avec de bonnes compétences en transfert de chaleur surtout conductif et radiatif, électronique, calcul numérique et programmation.