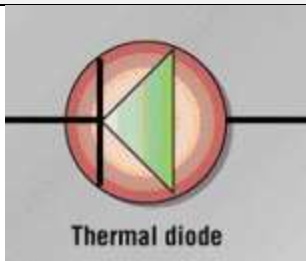


Transfert radiatif en champ proche

Mots-clefs : champ proche thermique, onde de surface, rectification



Porteurs du projet : Ali Belarouci (LN2), Luc Fréchette (LN2)

Autres partenaires académiques : Philippe Ben-Abdallah (LCF)

Période du projet : 09/2012 – en cours



Description du projet et contexte: Ce projet porte sur les transferts de chaleur par rayonnement à des échelles où les lois classiques de la thermique ne sont plus vérifiées. Il s'appuie sur une collaboration soutenue entre le LCF pour son expertise en conception et modélisation et le LN2 pour ses compétences en micro-nanofabrication et caractérisation des dispositifs.

Ces dernières années, des développements spectaculaires ont été réalisés sur le contrôle des flux de chaleur émis par rayonnement, à la fois en champ proche et en champ lointain, par des matériaux artificiels structurés à l'échelle des longueurs de corrélation des photons. À cette échelle de structuration les mécanismes d'interférence du champ électromagnétique deviennent importants de sorte qu'il devient possible de modeler, grâce à une structuration ad hoc du milieu, ses propriétés optiques. Le transfert radiatif en champ lointain entre objets opaques est un sujet étudié depuis de nombreuses années par la communauté scientifique. Il traite de l'interaction par rayonnement thermique entre des objets suffisamment distants les uns par rapport aux autres (domaine d'application de la loi de Stefan-Boltzmann). Avec le développement des nanosciences et la fabrication de composants électroniques toujours plus petits, de nouvelles questions et opportunités sont apparues. Ce projet de recherche a pour objectif d'améliorer les connaissances fondamentales sur la physique des transferts de chaleur par rayonnement aux micro et nano-échelles.

Résultats remarquables et publications associées:

Les travaux développés au cours de ce quadriennal sont déclinés suivants deux opérations principales :

- Conversion thermo-photovoltaïque de champ proche (TPV):

Le principe de la conversion TPV de champ proche a été suggéré récemment pour convertir l'énergie transportée par le rayonnement de surface en électricité à travers une cellule photovoltaïque. D'un point de vue théorique, la puissance électrique susceptible d'être générée par une cellule TPV de champ proche de 250 cm² de section pourrait atteindre 25 kW c'est-à-dire une puissance comparable à la demande énergétique d'une habitation moyenne aux USA. Malheureusement, le décalage spectral entre l'onde de surface supportée par le corps chaud et le gap du matériau semiconducteur limite très fortement l'efficacité de ce type de cellule. Nous avons récemment mis en évidence que le graphène (Phys. Rev. B , 87, 085421 2013) permettait dans une certaine mesure de corriger ce désaccord en fréquence entre la source et la cellule et d'exalter le transfert.

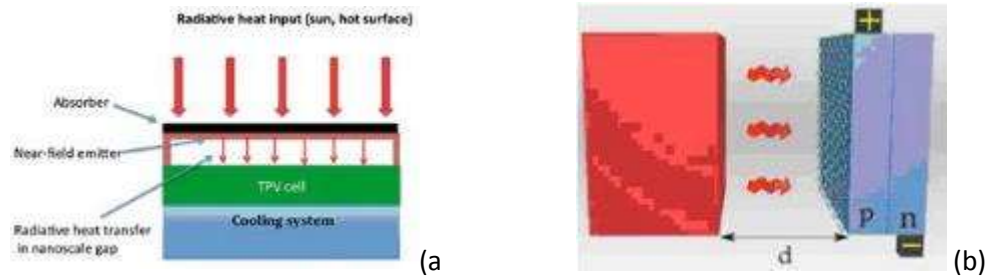


Figure 1: Schéma de principe de la cellule TPV en champ proche (a) cellule TPV utilisant le graphène pour exalter le transfert thermique en champ proche (b)

- Thermotronique : vers la conception de circuits pour la lumière thermique

Le transistor et la diode sont des éléments clés en électronique et dans les technologies de l'information qui ont révolutionné notre vie de tous les jours. Grâce à ces capacités de contrôle (modulation, commutation, amplification) des courants électriques, le transistor constitue la brique élémentaire pour concevoir des portes logiques, des mémoires etc... Est-il possible de transposer ce principe au contrôle des flux de chaleur échangés par rayonnement entre des objets ? Peut-on concevoir des portes logiques pour le management des flux de chaleur transportés par les photons thermiques ? Telles sont les questions abordées dans ce projet. Le premier composant élémentaire que nous avons étudié est la diode thermique radiative. Généralement, le flux de chaleur échangé entre deux points est le même lorsqu'on change le signe du gradient de température. On parle alors de transport symétrique de la chaleur. Obtenir une dissymétrie dans le transport (rectification thermique) fait actuellement l'objet d'intenses recherches en raison de son fort potentiel applicatif. Pour obtenir une telle rectification, il est nécessaire d'avoir recours à des matériaux dont les propriétés optiques dépendent fortement de la température. Un consortium pluridisciplinaire a récemment été mis en place entre le LCF (Philippe Ben Abdallah) pour la conception des dispositifs, Thalès (Odile Bezencenet) pour la croissance des matériaux thermochromiques et le LN2 pour la micro-nanofabrication et la caractérisation des dispositifs. Les premiers résultats sont encourageants. Nous avons, ainsi mise en évidence la transition de phase métal-isolant du VO_2 par des mesures optiques et électriques. Le banc expérimental pour démontrer le concept de rectification en champ proche est en développement.

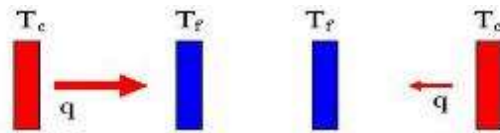


Figure 2 : Schéma de principe de la diode thermique. Le flux de chaleur, asymétrique, lorsque le gradient de température est inversé est directement lié au comportement non linéaire du matériau à changement de phase

R. Messina, J.P. Hugonin, J.J. Greffet, F. Marquier, Y. De Wilde, A. Belarouci, L. Fréchette, Y. Cordier, P. Ben-Abdallah, *Tuning the electromagnetic local density of states in graphene-covered systems via strong coupling with graphene plasmons*, Phys. Rev. B 87, p. 085421, Feb 2013

P.Ben-Abdallah, A. Belarouci, L. Fréchette, S-A Biehs, *Heat flux splitter for near-field thermal radiation*, sous révision à APL

Financement :

- Projet exploratoire dans le domaine de l'énergie 2014 : "Near-field heat engine"
- CRSNG Programme de subventions à la découverte - individuelles 2015-2020: "Thermal circuits"