

Refroidissement solaire dans un superréseau de dichalcogénures de métaux de transitions grâce à l'ionisation par impact.

P. Dalla Valle^{(1)(*)}, M. Bescond^(1,2), F. Michelini⁽¹⁾, and N. Cavassilas⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Aix Marseille Université, CNRS, Université de Toulon, IM2NP UMR 7334, 13397, Marseille, France.

⁽²⁾ Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku Tokyo 153-8505, Japan

(*) paul.dalla-valle@im2np.fr

La miniaturisation des puces électroniques induit des échauffements intenses et localisés dans les composants, entraînant des baisses de rendement [1]. La réfrigération optique utilise la lumière pour extraire de l'énergie thermique du système éclairé. Habituellement, ce procédé est basé sur la fluorescence anti-Stokes : la photoluminescence doit émettre des photons de plus haute énergie que les photons incidents [2]. Cela nécessite que l'excitation laser soit très proche de l'énergie de bande interdite du semiconducteur et que l'efficacité radiative de ce dernier soit quasi-unitaire (c.-à-d. que la recombinaison doit être presque purement radiative) [3]. Dans ce travail théorique, nous proposons un dispositif (Figure 1) qui permet de contourner ces deux restrictions en utilisant le refroidissement par évaporation [4] et le phénomène d'ionisation par impact, prépondérant dans les dichalcogénures de métaux de transition [5]. Afin d'être refroidi, l'absorbeur doit être peuplé d'une forte densité de porteurs de faible énergie qui absorbent des phonons pour diffuser dans le réservoir. Sans ionisation par impact, les porteurs photogénérés par des photons de haute énergie fournissent leur surplus d'énergie au cristal par émission de phonon. Cela se traduit par un échauffement du matériau. Avec l'ionisation par impact, les porteurs de haute énergie cinétique transfèrent leur surplus d'énergie dans la création de multiples paires électron-trou à basse énergie. Notre dispositif est un absorbeur de petit gap en contact avec un réservoir de plus grand gap. Pour l'absorbeur, nous considérons un superréseau de monocouches de MoS₂ et de WSe₂ à contraintes compensées. A l'aide de calculs *ab initio*, nous montrons que ce matériau a une bande interdite de 0.6 eV, suffisamment petite pour que le phénomène d'ionisation par impact soit prédominant lorsque les paires électron-trou sont générées par un rayonnement solaire (dont il absorbe 45% de la puissance) Pour le réservoir, nous considérons un bulk de MoS₂, qui a un gap plus grand que le superréseau. Les porteurs, après absorption des photons et ionisations, sont en bord de bande de l'absorbeur (P_{gen}). Ils peuvent soit se recombiner (P_{rec}), ce qui n'est pas désiré, soit absorber des phonons (P_{phonon}) pour être extrait à plus haute énergie dans le réservoir ($P_{extract}$). Cela conduit à un refroidissement par évaporation de l'absorbeur. P_{gen} , P_{rec} , P_{phonon} et $P_{extract}$ sont représentées Figure 1. Avec un modèle de balance détaillée, nous montrons un refroidissement net de l'absorbeur sous une irradiation solaire. L'efficacité de conversion de la puissance solaire en puissance de refroidissement est supérieure à 25% et notre dispositif fonctionne avec une efficacité radiative modeste.

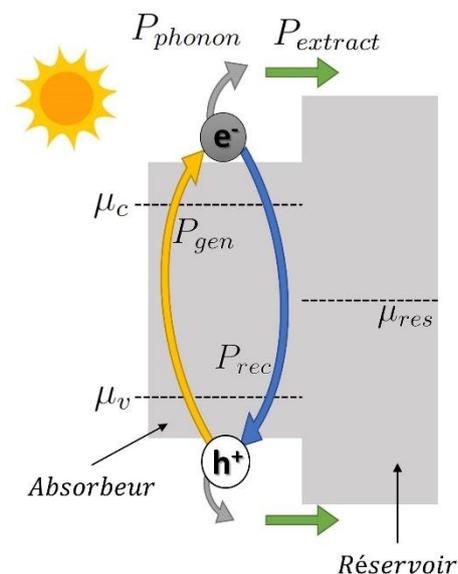


Figure 1: Schéma du dispositif de refroidissement solaire. Les rectangles gris représentent les bandes interdites. Dans l'absorbeur, μ_c (μ_v) est le pseudo-niveau de Fermi des électrons (trous) en bande de conduction (valence). Dans le réservoir les électrons et les trous partagent le même niveau de Fermi. P_{gen} , P_{rec} , P_{phonon} et $P_{extract}$ sont respectivement les puissances correspondant à la génération, la recombinaison, l'absorption des porteurs et à l'absorption des phonons.

à contraintes compensées. A l'aide de calculs *ab initio*, nous montrons que ce matériau a une bande interdite de 0.6 eV, suffisamment petite pour que le phénomène d'ionisation par impact soit prédominant lorsque les paires électron-trou sont générées par un rayonnement solaire (dont il absorbe 45% de la puissance) Pour le réservoir, nous considérons un bulk de MoS₂, qui a un gap plus grand que le superréseau. Les porteurs, après absorption des photons et ionisations, sont en bord de bande de l'absorbeur (P_{gen}). Ils peuvent soit se recombiner (P_{rec}), ce qui n'est pas désiré, soit absorber des phonons (P_{phonon}) pour être extrait à plus haute énergie dans le réservoir ($P_{extract}$). Cela conduit à un refroidissement par évaporation de l'absorbeur. P_{gen} , P_{rec} , P_{phonon} et $P_{extract}$ sont représentées Figure 1. Avec un modèle de balance détaillée, nous montrons un refroidissement net de l'absorbeur sous une irradiation solaire. L'efficacité de conversion de la puissance solaire en puissance de refroidissement est supérieure à 25% et notre dispositif fonctionne avec une efficacité radiative modeste.

Références :

- [1] M. Bescond *et al.*, Physical Review Applied 17, 014001 (2022).
- [2] R. I. Epstein *et al.*, Nature 377, 500–503 (1995).
- [3] D. V. Seletskiy *et al.*, Reports on Progress in Physics 79, 096401 (2016).
- [4] P. Dalla Valle *et al.*, Physical Review Applied 20, 014066 (2023).
- [5] J. H. Kim *et al.*, Nature Communications 10, 5488 (2019).