

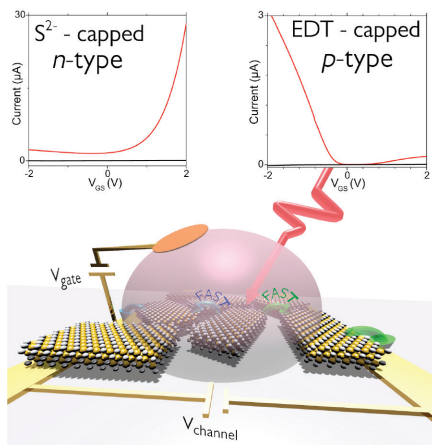
## Vers des photodétecteurs infrarouge à base de nanocristaux : étude de la dynamique du transport dans des puits quantiques colloïdaux

*Les nanocristaux colloïdaux sont des nanoparticules de semiconducteur dont les propriétés optiques sont ajustables de l'UV au THz<sup>1</sup>. Ce sont surtout leurs propriétés de luminescence qui ont, motivé l'intérêt de la recherche et, plus récemment, leur utilisation comme source de lumière pour les écrans au niveau industriel. Ces nanocristaux sont également très prometteurs pour l'optoélectronique car ils combinent la robustesse des matériaux inorganiques avec la facilité de processabilité des matériaux organiques. C'est en particulier vrai dans l'infrarouge où les technologies actuelles demeurent coûteuses et complexes. C'est dans ce contexte que l'équipe Physico-chimie et dynamique des surfaces de l'INSPI a choisi d'étudier les propriétés de (photo)-conduction de films de puits quantiques colloïdaux de HgTe<sup>2</sup>, pour le design de composants bas coût et rapides.*

*Les techniques conventionnelles basées sur des mesures optiques résolues en temps étant difficiles à mettre en œuvre dans l'infrarouge, les chercheurs ont utilisé la photoémission et la photoconduction résolues en temps pour sonder la dynamique des porteurs dans ces matériaux.*

Pour accéder aux longueurs d'onde infrarouge, il est nécessaire d'utiliser des matériaux à faible bande interdite. HgTe est un candidat idéal car c'est un semi-métal sous forme massive et la transition excitonique observée dans les nanocristaux de HgTe résulte donc d'un pur effet de confinement quantique. Dans cette étude, les chercheurs ont utilisé des puits quantiques colloïdaux (nanoplaquettes) de HgTe récemment synthétisées par le groupe de Sandrine Ithurria à l'ESPCI<sup>2</sup>. La géométrie 2D, avec un contrôle de l'épaisseur à la monocouche atomique près, conduit à des propriétés excitoniques exemptes d'élargissement inhomogène (i.e. le spectre d'ensemble est le même que celui d'une particule individuelle). Tout l'enjeu est ensuite de rendre ces matériaux conducteurs et photoconducteurs. Cela est possible en modifiant la chimie de surface des nanoplaquettes. Les chercheurs ont démontré que ces modifications augmentent non seulement le couplage interparticule mais permettent aussi un contrôle de la densité de porteur. Pour ce faire, ces nanoplaquettes sont intégrées dans des transistors électrolytiques (figure 1) et le matériau peut être soit conducteur d'électrons (type n) soit conducteur de trous (type p) selon la chimie de surface utilisée.

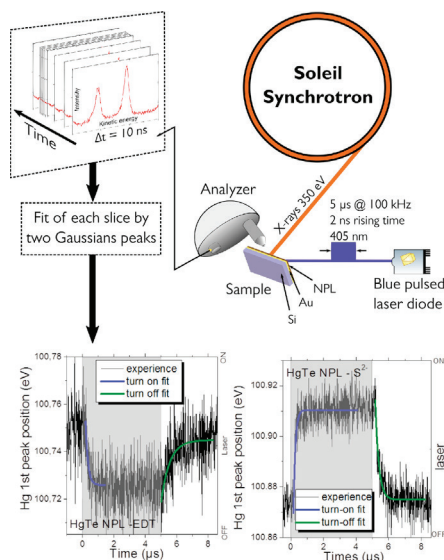
- 1 E. Lhuillier, M. Scarafagio, P. Hease, B. Nadal, H. Aubin, X. Z. Xu, N. Lequeux, G. Patriache, S. Ithurria, B. Dubertret, Infrared photo-detection based on colloidal quantum-dot films with high mobility and optical absorption up to the THz Nano Lett. 16, 1282 (2016)
- 2 E. Izquierdo, A. Robin, S. Keuleyan, N. Lequeux, E. Lhuillier, S. Ithurria, Strongly confined HgTe 2D nanoplatelets as narrow near infrared emitter, JACS 138, 10496 (2016).



**Figure 1**

En haut, courbes de transfert de transistors à base de nanoplaquettes de HgTe, avec  $S^2$  comme chimie de surface (à gauche) ou de l'ethanedithiol (à droite). En bas, schéma de principe du transistor dans lequel le transport se fait par saut entre proches voisins.

Les auteurs ont par ailleurs montré que les propriétés de photoconduction sont également gouvernées par la chimie de surface des nanoplaquettes. Le matériau p est un bien meilleur photoconducteur, grâce à son niveau de Fermi positionné plus profondément dans le gap. Le temps de réponse de ces transistors sous illumination est de l'ordre de  $100\mu s$  à  $1ms$ . Il convenait alors de comprendre si cette dynamique était une performance intrinsèque au matériau ou était au contraire déterminée par des paramètres liés au dispositif. Pour ce faire les chercheurs ont utilisé la photoémission résolue en temps sur la ligne Tempo du synchrotron Soleil. La figure 2 donne un schéma de principe de l'expérience. Cet instrument donne une mesure des temps de relaxation des porteurs majoritaires et minoritaires. Les temps typiques obtenus sont dans la gamme de  $100ns$  à  $1\mu s$  (figure 2, en bas) en fonction de la chimie de surface employée, ce qui suggère que les temps de réponse actuelles des phototransistors peuvent encore être réduits de trois ordres de grandeurs en adaptant la géométrie des dispositifs.



**Figure 2**

En haut, schéma de principe de la photoémission résolue en temps utilisée pour déterminer les temps de relaxation des porteurs majoritaires et minoritaires dans les puits quantiques colloïdaux de HgTe. En bas, suivi temporel de la relaxation de l'énergie de liaison de l'état  $4f$  du mercure en réponse à un créneau de lumière.

En conclusion, les chercheurs ont étudié les propriétés de photoconduction de nanoplaquettes de HgTe et démontré que la densité de porteurs pouvait être contrôlée via la chimie de surface. Ils ont par ailleurs utilisé des techniques originales pour étudier la relaxation des porteurs dans ces systèmes qui semble prometteur pour le design de composant à grande bande passante ( $>MHz$ ). Le prochain enjeu est d'étendre cette méthode à des matériaux à plus faible gap présentant des propriétés optiques dans le moyen et lointain infrarouge.

## Référence

C. Livache, E. Izquierdo, B. Martinez, M. Dufour, S. Keuleyan, D. Pierruci, H. Cruguel, L. Becerra, J.-L. Fave, H. Aubin, A. Ouerghi, E. Lacaze, M. Sully, B. Dubertret, S. Ithurria, E. Lhuillier, Charge dynamics and optoelectronic properties in HgTe colloidal quantum wells, *Nano Lett.* 17, 4067 (2017). <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.nanolett.7b00683>

## Contact

Emmanuel Lhuillier : [el@insp.jussieu.fr](mailto:el@insp.jussieu.fr)