



Institut de physique

Actualités scientifiques

L'effet tunnel des électrons révélé par des photons infrarouges

Janvier 2019

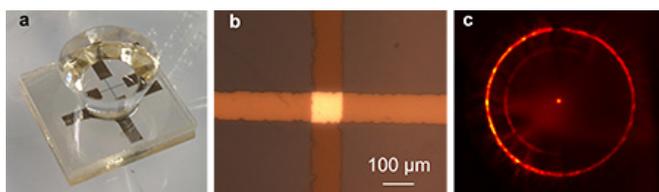
Les jonctions métalliques sont des éléments majeurs de tout dispositif électronique intégré et le courant électrique passe au travers de ces jonctions par un effet quantique appelé l'effet tunnel. En démontrant le lien entre les fluctuations du courant électrique et les fluctuations du signal des photons qui sont émis par la jonction quand elle est fortement polarisée, les chercheurs ont réussi à mesurer le temps de passage des électrons au travers de la jonction qui est de l'ordre d'une femtoseconde.

Une jonction métallique se compose de deux conducteurs métalliques séparés par une fine couche nanométrique d'isolant. C'est l'effet tunnel qui permet le passage du courant électrique au travers de la barrière d'isolant, c'est-à-dire la délocalisation des électrons de part et d'autre de la jonction du fait de leur nature quantique. Le temps τ qu'il faut à un électron pour traverser ce type de jonction avait été évalué théoriquement à quelques femtosecondes ($\tau \sim 10^{-15}$ s) mais n'avait encore jamais été mesuré directement. En effet, regarder le courant à des fréquences optiques ($\nu \sim 1/\tau \sim 10^{15}$ hertz) n'est pas possible directement. Or il était connu depuis plus de 40 ans que, lorsqu'elle est fortement polarisée, la jonction émet un rayonnement optique dans le domaine de l'infrarouge lié aux fluctuations de courant et aux interactions inélastiques des électrons tunnel. Par une approche réunissant les problématiques du transport électronique et de l'émission optique (plasmonique), les chercheurs du Laboratoire de physique des solides (CNRS/Université Paris-Sud) à Orsay ont réussi pour la première fois à mesurer directement le temps de passage tunnel des électrons au travers d'une jonction. Ils ont obtenu pour une

jonction Al/Al₂O₃/Al un temps de 1.1 femtoseconde. Pour cela, ils ont modélisé le rayonnement émis en fonction de la tension aux bornes de la jonction et comparé ce modèle à des mesures optiques, démontrant ainsi précisément les mécanismes à l'origine de l'émission de photons infrarouges. La détection des photons est alors équivalente à une mesure des fluctuations du courant à des fréquences optiques et elle permet de sonder le temps tunnel.

Dans cette étude, les chercheurs ont combiné des mesures de fluctuations du courant électrique dans la gamme des radiofréquences (100 kilohertz) et des mesures de spectroscopie optique dans la gamme du proche infrarouge (entre 0.9 et 1.3 micromètres) pour des régimes de la jonction fortement polarisée (tension de l'ordre du volt). Les mesures électriques ont permis de caractériser finement le transport électronique, en particulier la transmission et les non-linéarités liées à l'effet tunnel, et de vérifier toutes les hypothèses nécessaires à une description théorique (description de Landauer-Buttiker) basée sur la diffusion cohérente d'ondes électroniques par la barrière tunnel. Ils ont ainsi pu adapter les théories existantes pour généraliser le théorème « fluctuation-dissipation » et tenir compte de la dépendance en énergie de la transmission de la barrière, responsable des non-linéarités de la jonction. Les mesures optiques se sont révélées en très bon accord avec les prédictions théoriques basées sur le formalisme de Landauer-Buttiker, ce qui a permis une description précise de la dépendance en tension de l'émission de photons par effet tunnel inélastique.

En faisant le lien entre les jonctions électriques et la plasmonique, ce travail ouvre des perspectives au contrôle électrique des plasmons, et par là à la génération d'états corrélés quantiques de plasmons de surface ainsi qu'à l'alternative plasmonique pour la photonique intégrée. Par ailleurs, l'accès à l'étude des fluctuations à la fois dans le domaine optique et microonde permettra d'aborder des questions fondamentales relatives à la théorie de la mesure en mécanique quantique.



(a) Echantillon dans une configuration « Kretschmann » permettant le couplage entre plasmons de surface et photons optiques. (b) Photographie de la jonction tunnel en aluminium (100 μm X 100 μm). (c) Lumière visible ($\lambda=0.4 \sim 0.9 \mu\text{m}$) émise en champ lointain.

En savoir plus

[Tunneling time probed by quantum shot noise](#)

Pierre Février et Julien Gabelli

Nature Communications (2018), doi: 10.1038/s41467-018-07369-6

Contact chercheur

Julien Gabelli, chargé de recherche au CNRS

Informations complémentaires

Laboratoire de physique des solides (LPS, CNRS/Univ. Paris-Sud)

cnrs

www.cnrs.fr

Institut de Physique

CNRS - Campus Gérard Mégie
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16

T 01 44 96 42 53

inp.com@cnrs.fr

www.cnrs.fr/inp

Illustration du bandeau : © Cyril FRESILLON / Daumet / CNRS Photothèque