

Contrôler le nombre d'enroulement de défauts topologiques par ingénierie de matériaux

Certains défauts topologiques se manifestent par une singularité ou « nœud » dans un champ de phase et sont caractérisés par un nombre d'enroulement. Une dislocation coin est un exemple d'un tel défaut que l'on observe dans de multiples systèmes de la matière condensée : cristaux liquides, réseaux atomiques ou textures magnétiques. Ces défauts bénéficient aujourd'hui d'un regain d'intérêt. Leur présence dans des matériaux topologiques pourraient servir d'hôte à des anyons non-abéliens intéressants pour un calcul quantique tolérant aux erreurs. Dans une étude expérimentale à l'aide de la microscopie à effet tunnel, des chercheurs de l'INSPI, en collaboration avec des collègues de l'IPCMS et de l'Université de Liège montrent que dans un réseau de moiré formé entre 2 matériaux épitaxiés, une dislocation dans l'un des réseaux atomiques mène à une dislocation dans le réseau de moiré. Le nombre d'enroulement de la dislocation dans le moiré dépend de manière subtile des paramètres structuraux des 2 matériaux. À l'aide d'un modèle mathématique simple, ils montrent qu'il est possible de contrôler le nombre d'enroulement de ce type de défauts topologiques par l'ingénierie des matériaux.

Des moirés sont observés dans des hétérostructures de van der Waals bien connues, comme le graphène déposé sur Ir, Pt ou Ru. Dans ces cas les paramètres de mailles de la monocouche et du substrat sont très proches. Lorsque les axes cristallographiques des 2 matériaux sont alignés l'un avec l'autre, cela mène à la formation d'un moiré d'ordre 1 : une maille du matériau A accommode une maille du matériau B. Lorsqu'une dislocation du réseau atomique est présente dans le matériau A, une dislocation apparaît dans le réseau de moiré comme un simple agrandissement de celle-ci. Par exemple, une dislocation avec un nombre d'enroulement de 1 dans le réseau atomique mènera à une dislocation avec un nombre d'enroulement de 1 dans le réseau de moiré.

Dans cette étude, une monocouche de CrCl_3 , un matériau bidimensionnel magnétique de van der Waals, a été déposée par épitaxie par jet moléculaire sur un monocristal d'or $\text{Au}(111)$. Bien qu'il y ait un fort désaccord de paramètre de maille entre ces deux matériaux, la maille de CrCl_3 n'est pas contrainte par celle de l'or. Cette hétérostructure se forme par croissance épitaxiale de type van der Waals et donne lieu à l'apparition de réseaux de moirés. Ici, le paramètre de maille de CrCl_3 est environ 2 fois plus grand que celui du substrat d'or. Cela conduit à la formation d'un moiré d'ordre 2. Dans ce cas, nous montrons qu'une dislocation dans le réseau atomique de CrCl_3 n'est pas simplement agrandie dans le réseau de moiré, mais que son nombre d'enroulement est doublé.

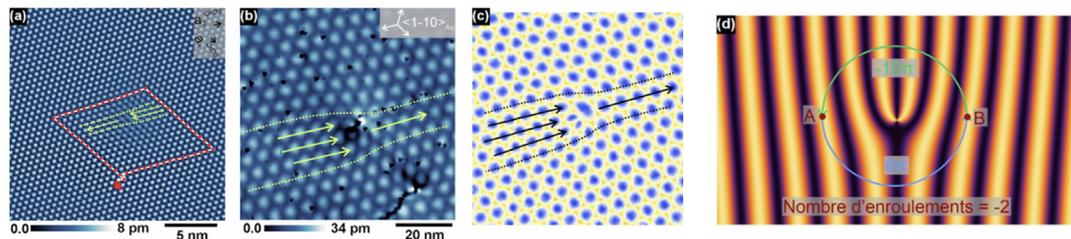


Figure 1

(a) Topographie obtenue par microscopie à effet tunnel montrant qu'une dislocation avec un nombre d'enroulement de 1 dans le réseau atomique de CrCl_3 mène à une dislocation avec un nombre d'enroulement de -2 dans le réseau de moiré (b). (c) Simulation numérique de la dislocation dans le réseau de moiré reproduisant les observations expérimentales. (d) Calcul analytique du nombre d'enroulement de la dislocation dans le moiré.

Notre étude montre que par un simple contrôle des paramètres de maille des matériaux utilisés dans une hétérostructure de van der Waals, il est possible de contrôler le nombre d'enroulement d'un défaut topologique. De tels défauts topologiques, de surcroît dans des matériaux eux-mêmes topologiques, pourraient servir d'hôtes à des anyons non-abéliens. Ces objets sont une piste sérieuse pour le développement de calculateurs quantiques tolérants aux erreurs.

Référence

"Higher Order Topological Defects in a Moiré Lattice"

Eugenio Gambari, Sebastian Meyer, Sacha Guesne, **Pascal David**, **François Debontridder**, Laurent Limot, Fabrice Scheurer, **Christophe Brun**, Bertrand Dupé, **Tristan Cren**, **Marie Hervé**.

Advanced functional materials, 34, 2407438 (2024)

<https://hal.science/hal-04544986>

Contact : marie.herve(at)inspi.jussieu.fr

