



Dynamique structurale ultra-rapide le long d'un chemin de transition de phase

MnAs est un semi-métal qui suscite un intérêt considérable depuis sa découverte au début des années 1900. Les recherches en cours sur MnAs sont motivées par ses applications dans des dispositifs spintroniques ou en tant que matériau magnétocalorique. L'effet magnétocalorique géant de MnAs est directement relié à une séquence inhabituelle de transitions de phase magnéto-structurales, les mécanismes gouvernant ces transitions n'étant pas encore complètement élucidés. Des calculs récents suggèrent l'implication d'un phonon mou (mode de vibration dont la fréquence s'annule à la température de transition de phase). Grâce à des mesures de diffraction résolue en temps, une équipe de l'INSPI, en collaboration avec des chercheurs de LCLS à Stanford, des synchrotrons SOLEIL et ELETTRA, et de l'Institut des semi-conducteurs de Pékin, a pu identifier ce mode comme une oscillation des positions atomiques le long du chemin de transition orthorhombique-hexagonale de MnAs.

À basse température, la structure cristalline la plus stable de MnAs est hexagonale et un ordre ferromagnétique (FM) est observé. Cette phase est communément appelée α -MnAs. À $T_c = 313$ K, une transition de phase du premier ordre se produit, l'ordre FM est perdu et la structure devient orthorhombique (β -MnAs). La distorsion orthorhombique décroît ensuite progressivement et s'annule à $T_t \approx 400$ K, où la symétrie est à nouveau hexagonale (γ -MnAs). Des calculs récents suggèrent que la transition α - β est assistée par un mode mou de fréquence de l'ordre du THz, à cause d'un fort couplage spin-phonon. Ce mode de vibration serait aussi impliqué dans la transition β - γ [1]. Jusqu'à récemment, il n'existait pas de signature spectroscopique des phonons de MnAs permettant d'éprouver ces prédictions.

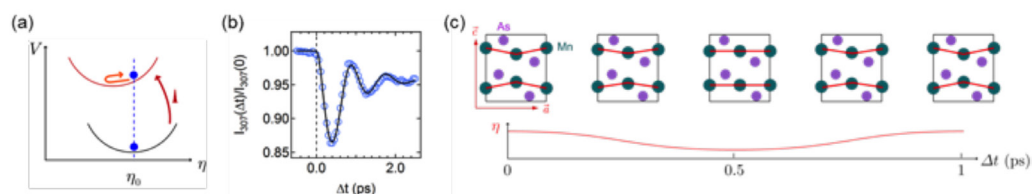


Figure 1

(a) Schéma du principe de l'excitation de phonons cohérents par l'impulsion laser, (b) évolution temporelle de l'intensité de la réflexion de Bragg 307, (c) mouvements atomiques dans la maille de MnAs correspondant au mode sondé.

Les phonons cohérents, excités displacivement par laser dans MnAs [Fig. (a)], ont pu être détectés en utilisant la diffraction des rayons X résolue en temps [2]. Les oscillations d'intensité [Fig. (b)] ont été mesurées pour des réflexions de Bragg sélectionnées présentant des réponses différentes à la distorsion orthorhombique. Ceci a permis de confirmer que le phonon sondé est bien le mode mou prédit avec des mouvements atomiques le long du chemin de transition de phase β - γ [Fig. (c)]. L'analyse des mesures obtenues en faisant varier la distorsion via la température a mis en évidence un amollissement du mode. Les expériences viennent confirmer les prédictions, mais en partie seulement : la fréquence extrapolée à distorsion nulle ne s'annule pas. La transition β - γ n'est donc pas aussi simple que prédite (transition purement structurale du second ordre).

Ces résultats expérimentaux ont donc permis de mettre en évidence le mode THz prédit par la théorie et de confirmer son fort amollissement lorsque la distorsion orthorhombique s'estompe. Ils ouvrent la voie à de nouvelles études sur le couplage spin-phonon dans la phase FM et sur le rôle de ce couplage dans la transition de phase α - β .

Références

- [1] « Phonon Mechanism of the Magnetostructural Phase Transition in MnAs » J. Łażewski, P. Piekarczyk, J. Toboła, B. Wiendlocha, P. T. Jochym, M. Sternik, K. Parlinski, Physical Review Letters, 104, 147205 (2010)
- [2] « Ultrafast Structural Dynamics along the β - γ Phase Transition Path in MnAs » F. Vidal, Y. Zheng, L. Lounis, L. Coelho, C. Laulhé, C. Spezzani, A. Ciavardini, H. Popescu, E. Ferrari, E. Allaria, J. Ma, H. Wang, J. Zhao, M. Chollet, M. Seaberg, R. Alonso-Mori, J. Glowacki, M. Eddrief, M. Sacchi, Physical Review Letters, 122, 145702 (2019)

Contact

vidal@insp.jussieu.fr