

平成21年3月31日現在

研究種目： 基盤研究 (A)
研究期間：2006-2009
課題番号：18204030
研究課題名 (和文) ラットリングフォノンと超伝導

研究課題名 (英文) Rattling Phonons and Superconductivity

研究代表者

谷垣 勝己 (TANIGAKI KATSUMI)
東北大学・原子分子材料科学高等研究機構・教授
研究者番号：60305612

研究分野：ナノ物性学
科研費の分科・細目：物性 II
キーワード：分子性固体、有機導体、フォノン

1. 研究計画の概要

本研究では、クラスタの内部空間に閉じ込められた原子の特異なフォノンがe-ph相互作用により、電子相転移ならびに超伝導に関与する可能性を探求し、新しい物性科学への道を拓くことを目的とする。物性研究の中で興味ある現象として、電子とフォノンの相互作用 (e-ph相互作用) が関係した多くの現象がある。この相互作用は、金属-絶縁体転移や超伝導などを発現させる重要な相互作用として知られている。従来この現象に関係するフォノンとしては、結晶の格子振動に関する格子フォノンがその主な研究対象とされてきた。しかし、最近の研究で多面体クラスタを基本構造とする結晶では、結晶全体に関する格子フォノンではなくクラスタ内に閉じ込められた原子運動と関係する非調和フォノンが重要な働きをする可能性が指摘され、近年ラットリングフォノンという名称で認識されている。本研究は、正12面体を基本とする多面体クラスタから構築される結晶を用いてラットリングフォノンが関与するe-ph相互作用と電子相転移および超伝導転移との関係を探求する事を研究する。

2. 研究の進捗状況

クラスタ内に閉じ込められた原子の運動は、クラスタが形作るポテンシャルの中で、幾つかの等価なエネルギーポテンシャルの中を動き回る動的な特異なフォノン状態を創出する可能性がある。等価なエネルギーポテンシャル間の障壁が小さい場合には、原子は障壁間を量子力学的トンネリング現象により飛び移る。またエネルギーポテンシャル間の障壁が大きい場合には、原子はポテンシャル障壁をホッピングにより飛び回ることになる。このような、非調和性が強いフォノンが関与する物性現象は、従来とは大きく異なる新しい電子状態を創出する事が期待されている。

本研究では、シリコンとゲルマニウム骨格を有する多面体固体に着目して、このようなラットリング現象を有するフォノンの物性に及ぼす影響として、熱起電物性の観点と超伝導の観点に注目し研究を進めている。

内部空間に閉じ込められた原子の状態を調べる手法として、軟X線光電子分光を利用する研究手法を適用した。その結果、同じゲルマニウム骨格においても、イオン半径の異なるSrとBaでは、内殻のスペクトルに大きな違いが観測されることを見出した。この結果から、内包される原子運動の状況を把握し

て、観測される熱電物性との関係から詳細に検討を進めることができるようになった。一方、内包原子が同じ Ba の場合においても、骨格の大きさがシリコンとゲルマニウムではその挙動が大きく異なることに着目して、内包原子運動の状況を比熱の観点から研究を進めている。多面体クラスタ固体に比熱の時間依存性があることを確認して、そのフォノン状態を観測される超電導物性と比較することにより、ラットリングフォノンと超電導の関係把握できる可能性がでてきた。

3. 現在までの達成度

評価区分：②おおむね順調に進展している。

本研究で提案した物質系の品質を向上させるとともに、種類を増やすことにより、目的とするラットリングフォノンと超電導との関係が次第に明確になりつつある。研究としては、順調に推移しているといえる。

4. 今後の研究の推進方策

ラットリングフォノンは、本研究で対象としたクラスレート物質だけではなく、スクッテルライトやパイロクロア物質にも見られる普遍性のある現象であるはずである。今後、統一的な理解を目指して、他の物質系を含めて、本研究を推進していく方針である。

5. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕(計 9 件)

① J. Tang, R. Kumashiro, J. Ju, Z. Li, M. A. Avila, Kouichirou S., Toshiro Takabatake, F. Guo, K. Kobayashi, K. Tanigaki, p- and n-Type Ba₈Ga₁₆Ge₃₀ studied by X-ray photoelectron spectroscopy, *Chemical Physics Letters*, 472, 2, 6—64, 2009. 査読有

② J. Tang, Z. Li, J. Ju, R. Kumashiro, M. A. Avila, K. Suekuni, T. Takabatake, F. Z. Guo, K. Kobayashi, K. Akai and K. Tanigaki, Soft x-ray photoelectron spectroscopy study of type-I clathrates, *Sci. Technol. Adv. Mater.*, 9, 044207-044211 (2009). 査読有

③ J. Tang, T. Rachi, R. Kumashiro, M. A. Avila,

K. Suekuni, T. Takabatake, F.Z. Guo, K. Kobayashi, K. Aoki and K. Tanigaki, Energetics of endohedral atoms in type-I clathrates observed by soft x-ray spectroscopy, *Phys. Rev. B*, 78, 085203-085206 (2008). 査読有

④ T. Tsuchiya, R. Kumashiro, K. Tanigaki, Y. Matsunaga, M. O. Ishitsuka, T. Wakahara, Y. Maeda, Y. Takano, M. Aoyagi, T. Akasaka, M. T. H. Liu, T. Kato, K. Suenaga, J. S. Jeong, S. Iijima, F. Kimura, T. Kimura and S. Nagase, Nanorods of endohedral metallofullerene derivative, *J. Am. Chem. Soc.*, 130, 450-451, (2008). 査読有

⑤ J. Tang, G. Xing, Y. Zhao, L. Jing, H. Yuan, F. Zhao, X. Gao, H. Qian, R. Su, K. Ibrahim, W. Chu, L. Zhang, and K. Tanigaki, Switchable Semiconductive Property of the Polyhydroxylated Metallofulleren, *J. Phys. Chem. B* 111 (41), 11929-11934 (2007). 査読有

⑥ S. Yamanaka, T. Otsuki, T. Ide, H. Fukuoka, R. Kumashiro, T. Rachi, K. Tanigaki, F.Z. Guo, K. Kobayashi, Missing superconductivity in BaAlSi with the A1B2 type structure”, *Physica C*, 451, 19-23 (2007). 査読有

⑦ H. Tanida, S. Takagi, H. S. Suzuki, H. Onodera and K. Tanigaki, Anomalous properties of PrMg₃ with the cubic Γ_3 ground state, *J. Magnetism and Magnetic Materials* 310, 246-248 (2007). 査読有

〔学会発表〕(計 29 件)

① K. Tanigaki, Silicon and Germanium Network Polyhedra Viewed from Physical Parameters, ISAQM2008&The 7th APW, November 10, 2008, Yasuda Auditorium, Tokyo

② J. Tang, K. Tanigaki, J. Ju and Z. Li, Superconductivity of Silicon and Germanium Network Polyhedra, IWADRM2008, July 8, 2008, National Institute for Materials Science, Tsukuba.

〔図書〕(計 2 件)

① 「クラスレートと熱電変換材料」、谷垣勝己、熱電変換技術ハンドブック、監修 梶川武信、NTS, pp. 123-133, 2008.

〔その他〕

ホームページ

<http://sspns.phys.tohoku.ac.jp>