

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007～2011

課題番号：19051001

研究課題名（和文）配列ナノ空間物質の伝導：熱伝導・電気伝導・超伝導

研究課題名（英文）Transport properties of materials with regulated nanospaces

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：物性物理

科研費の分科・細目：ナノ材料・ナノバイオサイエンス

キーワード：ナノ物質、電気伝導、磁性、熱伝導、フォノン、電子、エレクトロニクス

1. 研究計画の概要

本特定領域における本研究グループの研究は、配列ナノ空間を有する物質群の伝導・磁気物性に関するものである。特に IV 族元素 (C, Si, Ge) を構成要素として形成されるナノ配列空間を有するナノ多面体幾何構造物質に関して、広範囲の電気伝導、熱伝導、磁性に加えて比熱を測定することにより、フォノンと電子状態との相関を詳細に研究している。また計画研究班の位置づけとして、他のグループとの関連で物性の観点から協力して特定領域研究を進展させる。

2. 研究の進捗状況

本研究として重要な事は、高品質の物質に関して種々の伝導の観点から配列ナノ空間を有する物質の物性を研究することである。そこで、ナノ多面体物質の詳細な物性測定を目的として、熱電材料として興味もたれているクラスレート物質の高品質な単結晶育成を行った。また、育成された単結晶を用いて、広範囲の領域でキャリア濃度を変化させて物性と構造との相関を議論した。その結果、p, n 両方のキャリアを制御した単結晶育成に $\text{Ba}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$ 系の試料で成功した。一方、 $\text{Sr}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$ 系に関しては、n 型の試料だけが単結晶として得られた。この原因を X 線回折による構造の結果をもとにして議論することができた。これらの高品質の試料を用いて、光電子分光の結果と電気伝導および比熱の実験結果を総合的に解釈した。

多面体をネットワークとして組み合わせることができる固体は配列ナノ空間を有し、その配列ナノ空間の中にアルカリ金属元素 (Na, K, Rb, Cs)、アルカリ土類金属元素 (Sr, Ba)、磁性元素 Eu など種々の元素を導入すること

ができる。その結果として伝導ならびに磁性に極めて興味深い電子物性を発現する事が知られている。これらのクラスタからなるネットワーク固体の物性は、これまで個々には研究されてきたが、まだ現在のところ断片的な理解しか達成されていない。そこで、物性と構造との関係を総合的に理解する目的のために、ホール測定まで含めて様々な物質の物性を高精度に測定する一方、比熱の時間依存を正確に測定して、内包原子の運動と比熱で観測される時間依存性の原因を追求した。

一方、超伝導物性においては、 Si_{100} と Ge_{100} 物質を比較することにより、フォノンと超伝導との関係を後論した。その際、 Ge_{100} 物質に関しては、Ge の同位体を用いた NMR を併用して研究を進展させた。

この他に炭素系内包物質に関して、 H_2 分子を内包した C_{60} 物質を対象として、内包空間に閉じ込められた水素分子の電子状態と運動を広範囲のエネルギースケールの比熱測定を用いて議論した。

3. 現在までの達成度

②当初の計画以上に進展している。

(理由)

本特定領域研究の共同研究組織により、高品質の試料合成が可能となり、高精度の物性測定ができるようになった事が理由としてあげられる。また、同時に様々な形の領域研究会を通じて、物性をいろいろな角度から後論できるようになり、普遍性のある解釈が可能となったことによる。特に、クラスレートは、合成・物性・応用と一貫性のある発展が可能となった事は大きい。また炭素内包物質

に関しても、特定領域研究により高品質の試料と極限低温物性の測定が可能となり、研究が大きく進展している。

4. 今後の研究の推進方策

- (1) 自由度の大きな空間を有する物質の内部空間に閉じ込められた原子および分子の運動と電子状態がどのように物性に関係するかという観点から研究を更に進めて、広義のフォノンと電子状態の関係を明確にする。同時に超伝導物質の開拓にどのように役に立てる事ができるかという可能性を議論する。
- (2) ナノ多面体物質の熱電変換素子としての応用をさまざまな観点から検討する。
- (3) ナノ多面体において発現するナノ磁性を総合的な観点から理解する。
- (4) 2次元層物質が形成する内部空間を有するグラファイトおよび鉄ニクタイトに関して研究を進める。
- (5) 配列ナノ空間を有する新物性を開拓する。の5つの方針をもとに、研究を推進していく方針である。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 19 件)

1. Yan Wang, Ryotaro Kumashiro, Zhaofei Li, Ryo Nouchi, Katsumi Tanigaki, Light emitting ambipolar field-effect transistors of 2,5-bis(4-biphenyl)bithiophene single crystals with anisotropic carrier mobilities, *Appl. Phys. Lett.* 95, 103306_1-3, (2009). 査読有
2. Yoshimitsu Kohama, Takeshi Rachi, Ju Jing, Zhaofei Li, Jun Tang, Ryotaro Kumashiro, Satoru Izumisawa, Hitoshi Kawaji, Tooru Atake, Hiroshi Sawa, Yasujiro Murata, Koichi Komatsu, and Katsumi Tanigaki, Rotational Sub-level of Ortho-Hydrogen Molecule Encapsulated in Isotropic C₆₀ Fullerene Cages, *Phys. Rev. Lett.*, 102, 013001-013004 (2009). 査読有
3. J. Ju, Z. Li, G. Mu, H-H Wen, K. Sato, M. Watahiki, G. Li and K. Tanigaki, A structural study of the hole-doped superconductors Pr_{1-x}Sr_xFeAsO, *New J. Physics* 11, 083003_1-12 (2009). 査読有
4. J. Tang, T. Rachi, R. Kumashiro, M. A. Avila, K. Suekuni, T. Takabatake, FZ. 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
5. Takahiro Tsuchiya, Ryotaro Kumashiro, Katsumi Tanigaki, Yoichiro Matsunaga, Midori O. Ishitsuka, Takatsugu Wakahara, Yutaka Maeda, Yuta Takano, Motoki Aoyagi, Takeshi Akasaka,

Michael T. H. Liu, Tatsuhisa Kato, Kazutomo Suenaga, Jong S. Jeong, Sumio Iijima, Fumiko Kimura, Tsunehisa Kimura, and Shigeru Nagase, Nanorods of Endohedral Metallofullerene Derivative, *J. Am. Chem. Soc.* 130, 450-451 (2008). 査読有

[学会発表] (計 42 件)

1. Yan Wang, R. Kumashiro, Susumu Ikeda and Katsumi Tanigaki, Nanomaterials and Their Applications to Field Effect Transistors with Two Dimensional Electronic States, AURE International conference, POSCO International Center, POSTECH, Pohang, Korea Nov. 12, 2009.
2. Katsumi Tanigaki, Interplay between electrons and phonons searching for good thermoelectricity and high T_c superconductivity, International Conference on Intercalation Compounds, Beijing, China, May 12, 2009.
3. Katsumi Tanigaki, Indo-Japan international Conference, Physical Properties of Hydrogen Endohedral C₆₀, Trivandrum, India, January 22, 2008.
4. Katsumi Tanigaki, Rubrene Single Crystal FETs on High Electric Gate Insulators, Alpen Winter Workshop, Swiss, Dec.17, 2007.

[図書] (計 2 件)

1. 谷垣勝己, クラスレートと熱電変換材料、熱電変換技術ハンドブック、監修 梶川武信、NTS, pp. 123-133, 2008.
2. 谷垣勝己, フラーレンの電子物性の薄膜電子素子への適用、ナノカーボンハンドブック、遠藤守信、飯島澄男監修、NTS 出版、PP. 614-621、2007.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

Inventor(s): K. Akasaka, K. Wakahara; T. Tsuchiya, K. Tanigaki, US Patent Number(s): JP2007254195-A, Oct. 2, 2008. Conduction material for field effect transistor and laser, contains several metal endohedral fullerene consisting of regularly arranged aggregate and expressing specific polarity. 権利者: 同上、国外

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ

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