

ナノクラスタ物質による階層性制御と新規物性の発現



● 研究代表者

谷垣 勝己 物理学専攻・教授
Katsumi Tanigaki

● メールアドレス…tanigaki@sspns.phys.tohoku.ac.jp

● 専門分野…微細加工技術、分子超薄膜技術、ナノクラスタ固体物性

● 主な研究課題…
 ・炭素系クラスタ物質の合成、構造、物性の研究
 ・シリコンおよびゲルマニウム系ナノクラスタの物性の研究
 ・電界効果素子を利用したナノ物質の電子物性の研究

● 研究目的

20世紀の物性科学の進展は、新しい物質の発見と共に進展したといつてよい。例えば、高温超伝導への道を拓いた銅酸化物系ペロブスカイト物質、電気を伝える高分子ならびに分子系物質など次々と新しい物質が発見され、これらの物質から多くの新しい物性が研究された。このような状況の中で、1990年代に大きな発展を遂げたナノ炭素系クラスタ物質は、将来の展開が注目される興味ある物質群である。ナノ領域の物性を研究する場合、従来の技術では、微細加工技術により所望する構造体を形成する場合が多い。しかし、このような加工においては、構造体を構築する場合に欠陥が生じたり、構造体の周期構造に乱れが生じる事により興味ある物性が発現しないことがある。本研究の目的は、C、Si、Geなどの元素を構成要素として作り出すことができるナノクラスタ物質を基本構成要素として、量子物性が発現する構造体を種々の結合を利用して作り出し、新しい物性を見出すことである。基本構成要素となるナノクラスタから作られる新しい物質を探索するとともに、これらの物質のネットワーク構造をX線ならびに中性子などを用いた構造解析により高精度に決定し、さらに計算科学を適用して電子状態を理解する、という学問領域を越えた融合的な研究協力体制により、新しい物性学を展開することを趣旨とする。

● 研究内容

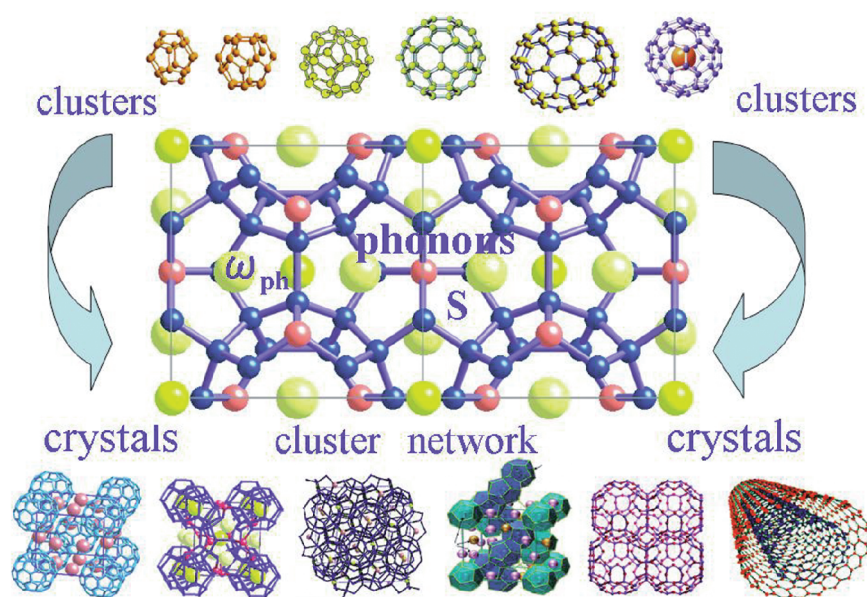
ナノクラスタを基本構成要素として構築される結晶は、次のような特徴を有する。

(1) 従来物質とは異なり、結晶に見られる結合とは別形態のクラスタ特有の結合様式をとる。(2) 多面体クラスタの内部空間に導入された原子あるいは分子は、閉じ込められた空間環境においてクラスタ固有の新しい物性を示す。(3) 内部空間に存在する元素は、結晶の対称性とは異なる自由度を有する特異熱運動を示し、特異フォノンの関与する新しい物性を発現させる可能性がある。(4) 物質の構造が階層的であり、フォノン系—伝導系—磁性系の相互関係を階層構造を利用することにより精密に制御できる。

本研究では、C、Si、Geなどの元素を構成要素として作り出すことができるナノネットワーク構造物質を基本要素とする新しい物質を探索し、クラスタ固体を基礎とする新しい物性を発現させることを試みる。新しく創製されたナノネットワーク物質の構造は、X線ならびに中性子などを用いた構造解析により高精度に決定する。さらに、計算科学により予測される電子状態を基礎として、発現する物性—構造—電子状態の関係を理解する。このような研究分野を越えた融合的な研究協力体制により、新しい物性学を展開する。対象とする内部空間を有するナノネットワーク系物質としては、炭素系クラスタ(フラーレンおよびナノチューブ)、SiおよびGe元素を基本的構成要素とするクラスレート化合物、SiOネットワークを基本とするゼオライト物質などがある。これらに物質を基本的構造としてクラスタネットワーク形成の多様性を利用して、階層的に構築できる物質探索ならびにその物質群に関する物性研究は、21世紀の新しい物質科学の扉を開くものと期待している。

研究分担者 斎藤理一郎（物理学専攻・教授） 松井 広志（物理学専攻・助教授）
高木 滋（物理学専攻・助教授） 熊代良太郎（物理学専攻・助手）

ナノクラスタ物質による階層性制御と新規物性の発現



IV族原元素(C,Si,Ge)からは、種々のナノクラスタが形成する。これらのナノクラスタを結合させることで多種多様なネットワークを有する固体を作り出すことができる。このような固体では、フォノンスピン-伝導電子の相互作用から新しい物性が発現することが期待される。

● 代表的な発表論文

- 1) Azafullerene ($C_{59}N$)₂ thin-film field effect transistors,
R. Kumashiro, K. Tanigaki, H. Ohashi, N. Tagmatarchis, H. Kato, H. Shinohara, T. Akasaka, K. Kato, S. Aoyagi, S. Kimura and M. Takata, Appl. Phys. Lett. **84**, 2154 (2004).
- 2) Raman spectra of lithium doped single-walled 0.4nm carbon nanotubes,
J. T. Ye, Z. M. Li, Z. K. Tang, R. Saito, Phys. Rev. B **67**, 13404 (2003).
- 3) Mechanism of superconductivity in the polyhedral-network compound BaSi₁₄₆,
K. Tanigaki, T. Shimizu, K. M. Itoh, J. Teraoka, Y. Moritomo and S. Yamanaka, Nature Materials, **2**, 653 (2003).
- 4) Phonon trigonal warping effect in graphite and carbon nanotubes,
Ge. G. Samsonidze, R. Saito, A. Jorio, A. G. Souza Filho, A. Grueneis, M. A. Pimenta, G. Dresselhaus, M. S. Dresselhaus, Phys. Rev. Lett. **90**, 027403 (2003).
- 5) Closed-packed C_{70}^{3-} phases-synthesis, structure and electronic properties,
M. S. Denning, I. D Watts., S. M. Moussa, P. Durand, M. J. Rosseinsky and K. Tanigaki, J. Amer. Chem. Soc., **124**, 5570 (2002).