

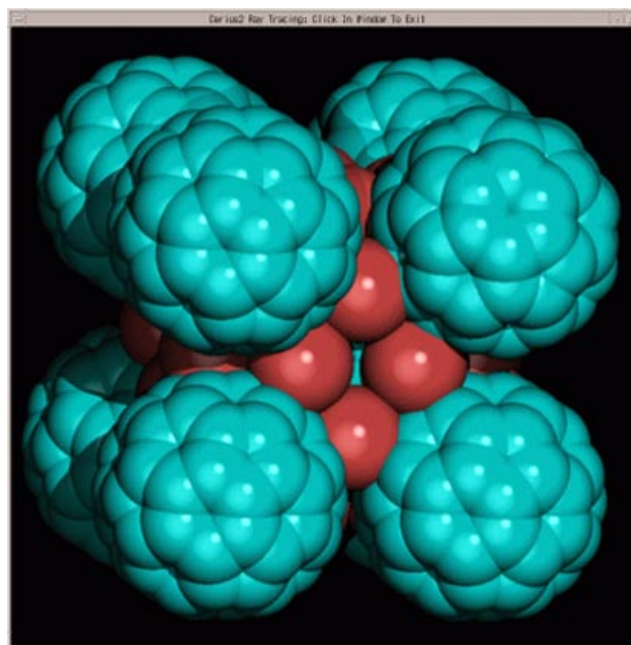
Materials Science and Microelectronics of
Nanometer-Scale Materials,
Fullerenes and Nanotubes

フラーレン・ナノチューブなど
ナノメーター人工物質の探索と物性



プロジェクトリーダー 壽榮松 宏 仁

東京大学 大学院理学系研究科 教授



1. 研究の目的

ダイヤモンドとグラファイトはカーボン原子だけから構成された物質としてよく知られていますが、最近、これに新しくサッカーボール状の球状分子 C_{60} が発見され、つぎつぎに、ネットワーク構造の新奇な籠状巨大分子 - フラーレン - が発見されました。フラーレン分子は、その化学的性質が大変興味深いものですが、同時に、電気的および磁気的性質も、極めて興味深い性質を示すことがわかってきました。 C_{60} 分子のアルカリ金属との化合物は、高い臨界温度を持つ超伝導体で、その臨界温度を広い範囲で制御できるなど、特異な性質を持っています。一方、希土類金属との化合物は強磁性体になり、巨大磁気抵抗などの特異な性質を示します。フラーレンの研究は、これらの新規な物性を探索し、機構を解明しようとするものです。このフラーレンの仲間であるナノチューブは、直径1-数10nm（ナノメーター）、長さ数マイクロメーターの1次元分子であり、チューブ直径の制御により金属相から半導体相へと制御できる特異な導体であり、この直径が電子の波長と同程度であるため、著しい量子干渉効果が期待されるなど、電子構造の上でも極めてユニークな物質であります。これらの特徴は、メソスコピック領域でのナノメーター電子デバイスとしての発展に大きな寄与が期待できる物質です。ナノチューブの研究は、ナノチューブ分子に電極を接続し、直接、電気的性質を測定し、電子構造を明らかにすると同時に、分子サイズ極限でのナノメーター電子デバイスの基礎研究を進めようとするものです。

2. 研究の内容

最近の物質科学の研究は、結晶全体のマクロスコピックな大きさでの物性研究から、個々の分子サイズでの研究に移りつつあります。これは、超微細電子デバイス分野や、半導体・金属の表面構造研究などの著しい発展と、これを支えてきた種々の観測技術の発展に拠っていると考えられます。本研究は、カーボン原子のネットワーク構造から構成される特異な物質群、フラーレンおよびカーボン・ナノチューブを舞台に、分子と結晶の中間領域にある物質の探索とその基礎的電子物性を明らかにし、超微細領域の物質研究を進展させようとするものです。

(1) ナノチューブの電子物性の研究とナノメーター物質の電気的性質の測定技術の開発

我々は、最近、リソグラフィ技術により、直径10-40nmの単一チューブの電気伝導を測定する手法を確立し、低温での伝導度の磁場依存性の測定で、著しい磁気量子振動を観測しました(図1)。これは、チューブ円周上を巡る電子の量子干渉効果、すなわちアハロノフ=ボーム効果であることが明らかになりました。今後、ナノチューブを用いた接合構造など、ナノメーター領域での電子デバイスの基礎研究を進展させようとしています。

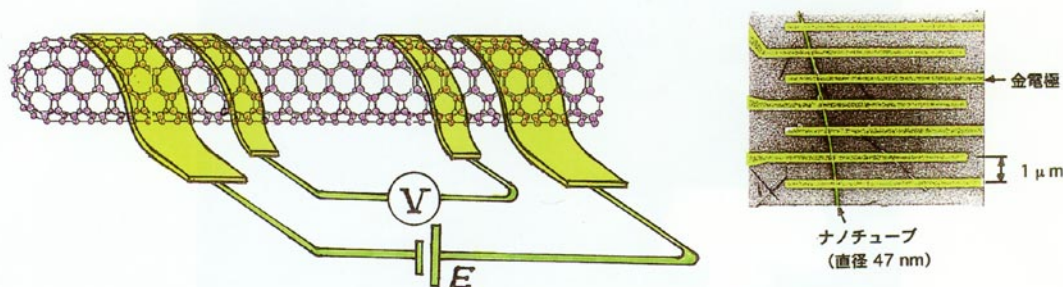


図1：カーボン・ナノチューブ(直径47nm)に金の電極を接続し、電気伝導や低温における磁気抵抗などを測定する。測定概念図(左図)と実際に測定に用いた試料のSEM像(右図)。

(2) フラーレン化合物における超伝導および磁性の研究

C_{60} のアルカリ金属化合物は、高い臨界温度を持つ超伝導体ですが、アルカリ金属の他、アルカリ土類金属や、アンモニアなどの分子を含む多くの化合物で超伝導を示します。この超伝導は、従来の物質とは異なり、強い電子-格子相互作用と電子間相互作用の狭間で出現していると考えられます。本研究では、多様な物質探索と平行してこの物質系に特徴的な電子構造と結晶構造の研究を行ない、新しい超伝導物質の開発と超伝導機構の解明を目指すと同時に、フラーレン磁性体の研究を進めます。本プロジェクトのカバー図の結晶構造は、フラーレン化合物群のひとつ A_3C_{60} 結晶です(Aはアルカリ金属、アルカリ土類金属)。図のように、 C_{60} や C_{60} 化合物の結晶では、室温で C_{60} 分子が回転しているものもあります。

(3) 金属内包フラーレンの基礎物性の研究

金属内包フラーレンは、炭素ケージの中に金属原子がトラップされた、全く新しい複合元素-Superatom-であるため、その電子構造および磁気的性質など、非常にユニークな物性が期待されます。本研究では、初めて $La@C_{82}$ の結晶および分子構造を決定し、分子が結晶中で回転していること(図2)や、低温で電気双極子の秩序化による相転移がおこっていることを明らかにしました。今後、希土類内包金属フラーレン、特にEuやGdなど磁気的に興味深い物質系を中心に、結晶構造、電子および磁気構造など、内包金属原子の電子状態と磁気構造の解明を目指します。

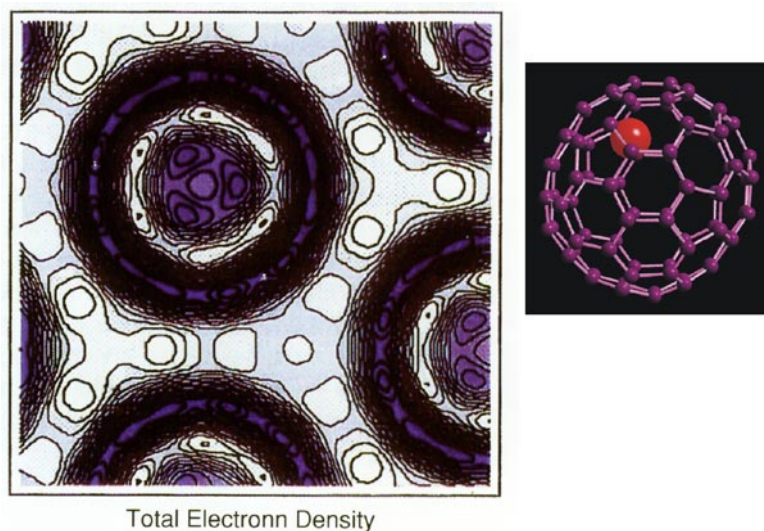


図2：放射光X線回折実験によって得られた金属内包フラーレン $La@C_{82}$ 結晶の電子密度分布(左図)。環状の部分が C_{82} ケージを表し、内部の3回対称のピークがLa金属原子を表している。3つのピークに見えるのは分子が回転しているためと考えられる。右の図は、分子模型で、赤丸が金属原子。

3. 研究体制

期 間：1996年4月～2001年3月

組 織：プロジェクトリーダー：壽榮松宏仁(東大理)とコアメンバー：岩佐義宏(北陸先端大) 谷垣勝己(大阪市大理) 藤井保彦(東大物性研)を中心に、物質合成、結晶および磁気構造、メソスコピック電子物性、超伝導電子物性の研究グループが有機的な協力をして、研究を進展しています。

研究拠点：東京大学 大学院理学系研究科 壽榮松 宏仁

113-0033 東京都文京区本郷7-3-1

北陸先端科学技術大学院大学 材料科学研究科 岩佐 義宏

923-1292 石川県能美郡辰口町旭台1-1