

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名: 新規な電子機能を持つ分子ナノ構造体の構築

2. 研究代表者: 小林 速男 (自然科学研究機構分子科学研究所 教授)

3. 研究概要

研究開始当初の背景と目的は、分子性伝導体の開発・物性評価および分子集積体デバイスの基礎研究を先導してきた研究者が協力して「新規な電子機能を持つ分子ナノ構造体の合成」を推進することを通して、「分子ナノ構造体材料」についての開発・応用の基礎的知見の集積に寄与することである。通常分子を対象とするナノテクノロジーが「単一分子デバイス」を念頭においているのに対して、本研究では「分子集積体デバイス」を目標としている。単一分子ではなく、分子集積体を対象とすることによって、「分子集合体の物性研究や機能性の研究」と「分子ナノ構造材料およびそのデバイス化の基礎研究」が連続的につながった研究課題として研究することが可能となるとの主張が基本にある。

本チームの当初課題は、(1)磁気・伝導協奏機能を示す分子物質の開発と物性評価、(2)単一分子性金属の開発と物性、(3)有機ゼオライトの分子ナノ空間を利用した新規機能性分子物質の構築と電子物性、(4)分子性ナノワイヤおよび分子メカニカルデバイスの構築である。

(1)の課題は、分子を集積することにより異なる分子機能を足し合わせて、従来にない新たな協奏的機能を示す物質を設計・構築する事を目指すことである。ここでは「伝導」と「磁性」に関わる「分子部品」を組み上げて協奏的な磁気・伝導機能を発揮する分子性伝導体の研究を目指している。

(2)の課題は、単一分子性伝導体を用いることによって従来よりも格段に高い磁気転移温度をもつ磁性伝導体の開発を試みることに、単一分子性金属の電子構造を決定することなどである。

(3)の課題は、ポラス分子物質のナノ分子空間構造を利用した金属ナノワイヤの構築と電子物性の研究である。この課題は「ポラス分子空間構造を用いた新たな多重機能分子磁性材料および新規な誘電材料の開発」を目指すことである。また、物質開発と並行して、分子材料の「微小化」を念頭に、従来は不可能であったミクロンサイズの微小結晶の物性評価を推進することを目標に、微小結晶の構造決定、磁気測定、伝導度測定を試みることも課題とした。

(4)の課題は、将来の集積分子エレクトロニクス実現のため、分子性物質の材料化とシステム化を研究することである。方針としては分子性物質のナノ材料化を行うとともに、それらを用いてデバイスプロトタイプを作製し、さらに超分子構造と分子性導体・磁性体を分子レベルでシステム化することにより、デバイスアクションに繋がるような新しい機能を開拓することである。

4. 中間評価結果

4 - 1 . 研究の進捗状況と今後の展望

全般的な状況として、分子性伝導体における新現象の探索、多重機能伝導性分子物質の開発、微小試料の物性評価技術の開発、ナノ磁性体のためのマイクロ SQUID 装置の開発等の物質・材料開発、結晶成長技術開発に加え、新規な測定技術の開発改良などにも進捗成果が認められる。

研究課題として、物質群については一連のものであり、それらの物性多様性を追求してきており、評価時点の進捗としては満足できる。また新規物質のナノサイズ、ミクロンサイズでの評価の困難さを克服するために必要な新規な特性評価装置をグループとして開発し、実用に供し、あるいは供されることを目指していることも大きく評価できる。

分子集合体を用いた主にエレクトロニクスを目指すための、分子修飾の試みやプロセス技術としてのいくつかの結晶作成プロセス開発の試みもされており結果も出ており、順調な進捗である。

今後の展望としては、磁性・伝導性・誘電性等の個々の特性だけでなく、相互が外場・内場を通じてお互いに影響し合う、いわゆる多重機能発現の観点からは最近の物質科学での興味ある分野であり、エレクトロニクスへの展開や分子エレクトロメカニクスへの展望は現時点はまだ開けているとは言えないが、様々な試みの中からブレークスルーの手がかりが得られるものと期待される。

4 - 2 . 研究成果の現状と今後の見通し

これまで、着実な成果を挙げている。具体的には、磁場誘起超伝導、有機サイリスター直流交流変換などの現象の発見。新しい磁性分子伝導体の開発、光応答型磁性伝導体、新規圧力誘起超伝導体。新しい多核遷移金属錯体、単一分子性金属、単一分子性金属結晶のフェルミ面の決定、ナノサイズ、ミクロンサイズの結晶成長技術の開発など学理の究明。物性評価技術として、AFM マイクロカンチレバーを用いたミクロン結晶の磁化測定、SQUID 磁束計の製作、ナノ磁性体用マイクロ装置の開発のほか、将来のナノ構造に由来する新規な電子デバイスへのヒントを与える研究成果が得られている。

本研究課題が扱っている物質群は学理的には興味ある物質系であるが、役に立つ材料が見えてくるまでには、なお時間がかかると思われる。特に低温での特性を、室温で安定的に得るためには多くの課題があると思われる。応用に対する課題よりも、きっちりとした学理を究めることが現時点では重要であり、今後もその観点から研究を進めることが望ましい。

4 - 3 . 今後の研究に向けての助言・提言

本チームにおける活動は、実績のあり、得意な専門分野が活かされるようにテーマが設定されており大いに評価される。しかし見方を変えると、チーム全体としての進む方向はチームの外からは多少見えにくい構造になっている。特に物質開発としてはいくらでも研究対象はあるが、発散してしまう可能性もある。プロジェクト運営という観点から、発散させた方がよい部分と、収束させた方がよい部分の見極めが必要と思われる。

プロジェクトの後半におけるチームの活動としては、各グループの得意とするところを活かしつ

つ、チーム全体の方向が見えるようなチーム運営をお願いしたい。そのため、プロジェクト終了時のアクティビティを想定し、そこから逆にチーム全体の計画を見直すことも検討の余地がある。

4 - 4 . 戦略目標に向けての展望

戦略目標では、いわゆるシリコンデバイスのムーアの法則をボトムアップで克服することが想定されている。そのためには、シリコン以外の物質群とそれらに由来する新規な物性を有効に活用することが必要である。本チームの研究課題は一連の分子を様々な外場のもとで制御し、新規な特性を得ることを目的としている。またもう一つの目標である集積の問題については、解決すべきハザードはあるものの、分子デバイスの特長である小さな分子の特性が集合体でもほぼ維持出来るという特長を生かす方針で克服可能であるという意味で、将来のデバイス実現のための基礎データが得られるものと期待される。

4 - 5 . 総合的評価

構成されている各グループはそれぞれ実績のある得意の専門分野で、分子性導体について新しい物質の合成、新現象の探索・多重機能伝導性分子物質の開発とこれらの物性評価において世界的に評価されている高い成果を挙げている。プロジェクトとしての観点からは、5年間の計画の中での成果の位置づけが見えにくいと思われる。今後終了時の総合的成果(達成目標)を想定して、その大まかな道筋を示すなどアクションプランのようなもの設定が望まれる。