

「高度情報処理・通信の実現に向けたナノ構造体材料の制御と利用」

平成14年度採択研究代表者

永長 直人

(東京大学大学院工学系研究科 教授)

### 「相関電子コヒーレンス制御」

#### 1. 研究実施の概要

1 電子の量子力学に基づく現代の半導体テクノロジーの次に来る科学技術の基礎は、多電子の場の量子論に基づく新しい量子効果である。近い将来素子寸法がナノスケールになった場合、電子位相に基づく量子デバイスを維持するのであれば、応答感性を持ちかつコヒーレンス長がナノスケールになり得る強相関電子系のデバイス化は必然である。この強相関デバイスの位相の担い手は、軌道やスピンといった内部自由度であり、それらの量子コヒーレンスと種々の秩序の多相臨界性を制御する必要が生じる。本プロジェクトはトポロジカル相制御（ボトムアップ）とクリティカル相制御（トップダウン）の双方向からこれらの自由度顕在化の学理を確立することを目的とする。量子ベリー位相と多相臨界現象の概念に基づき、第一原理電子状態計算による物性予測と有機・無機およびそのハイブリッド系をターゲットとした物質設計・物性実験で、電場・電流による磁化制御などの全く新しい多体の電子機能を開拓することをねらいとする。元来、電子相関は電子の重心運動の量子コヒーレンスを抑える方向に働くと考えられて来たが、それが上記のような内部自由度の場合はむしろ電子相関により顕在化することが可能なのである。これが本研究の新しい着眼点である。

本プロジェクトは相制御とこれらの自由度顕在化の学理を確立することでまさにその方法論を与えるものとなるであろう。たとえば、基礎学理の確立の舞台として、ベリー位相工学の概念に基づく磁性-誘電結合や電界-磁性結合、さらに量子臨界性などの特徴を有する数多くの材料や機能が、開拓・蓄積される。これらにハイスピード巨大応答センサー（デバイス）材料としての展開を意識したい。その中にはベリー位相素子や量子ホロミックデバイスなどの新しい原理やアイデアに基づくデバイス要素が含まれる。また、相分離に伴う組織化の制御によって、制御されたナノ構造を構成し、そこには母体とは異なる機能が付加されている。ナノ構造すなわちメモリなどという論理の飛躍をするつもりはないが、高集積度メモリへの応用という新しい切り口からこれらを眺め、積極的に新しいシーズを発信していきたい。計画された研究の過程において、セレンディピティーによる新現象、新物質の発見の期待がもたれることは言うまでもない。物性理論に対するインパクトとして、従来はほとんど別々に行われていた多体量子場の研究と第一原理計算が緊密に連

携を持ち、実験も含めた三位一体の研究スタイルの雛型を作ることになる。その経験（成功例も失敗例も含めて）は今後の物性研究の形を考える上でも有益な材料を提供することになる。

## 2. 研究実施体制

### 2.1 理論グループ

①研究分担グループ長：永長 直人（東京大学、教授）

②研究項目 相関電子コヒーレンス制御の理論

（1）高温超伝導体の希薄ドーピング領域の理論

（2） $\text{LaVO}_3$ における1次元軌道ダイナミクス

### 2.2 $\pi$ 電子相制御グループ

①研究分担グループ長：鹿野田 一司（東京大学教授）

②研究項目  $\pi$ 電子多体系のコヒーレンス制御

（1）2次元フラストレーション系のスピン電荷制御；スピン液体状態の実現

（2）相関 $\pi$ 電子系のクリティカルコヒーレンス制御

### 2.3 d電子相制御グループ

①研究分担グループ長：高木 英典（東京大学教授）

②研究項目 d電子多体系のコヒーレンス制御

（1）3次元幾何学的フラストレーション系のコヒーレンス制御

—スピン・ヤーンテラー転移、磁場誘起構造転移と3-1型秩序、フラストレーションとスピングラス

（2）微小ドーピングモット絶縁体のナノスケール電子自己組織化

—電子相分離のSTM直接観察と自己組織の一軸圧力制御