

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名: 相関電子コヒーレンス制御

2. 研究代表者: 永長 直人 (東京大学大学院工学系研究科 教授)

3. 研究概要

本研究の目的は、将来の高度情報処理・通信のための機能性材料を強相関電子系のコヒーレンスという概念をもとに実現することである。例えば、磁場で電気伝導が変化する超巨大磁気抵抗効果といった現象はその一例である。機能という点に注目したとき、磁場、電場、光、圧力などの各種刺激に対して、“非対角的”な応答をナノスケールで設計、制御するために、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指している。例えば、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、上述した2つの方向から、軌道やスピン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研究を進めている。

4. 中間評価結果

4 - 1. 研究の進捗状況と今後の展望

強相関電子系で特徴的なトポロジカルコヒーレンスとクリティカルコヒーレンスの2つの側面から、有機物と無機物の区別なく、以下のような先端的で斬新な研究展開がなされている。

1. 強相関電子系のバンド構造におけるトポロジカル構造の発見、2. 光のホール効果、3. モット臨界性、4. ドープされた3角格子系スピン液体と超伝導の発見、などの研究成果は新しい問題を世界に発信している。理論の側からのベリー位相に基づく種々の新現象の提案が一方であり、他方、実験の側からの新しい観測が理論研究を刺激して、研究は順調に進捗していると判断する。

今後の展望としては、「位相制御を新しい観点」で実現すること、ナノスケールでの古典的振る舞いと巨大化する応答に関する界面制御の理論に基づいて実験的なプロトタイプを追及することを期待したい。

4 - 2. 研究成果の現状と今後の見通し

基礎科学の面でのインパクトの強い成果、(1)トポロジーが引き起こすカレント、(2)スピン秩序のないモット絶縁体、(3)臨界性とその実空間観測、(4)ナノスケールでの古典的振る舞いと巨大化する応答界面の大切さの指摘などの予測を超えた現象の発見は特筆に値する。今後のナノテクにおいて、トポロジカルカレントがどのような技術的インパクトを与えるかは興味深い。位相空間で強相関電子系の物理をブロッホ状態と違う観点で見ることに新しい物理体系がみえてくることを期待する。ベリー位相エンジニアリングは、応用への切り口へと展開されることも期待される。さら

に界面や表面の特異性がより明確になってくると思われ、デバイス化における具体的な問題を把握することにもつながる。

4 - 3 . 今後の研究に向けての助言・提言

- ・ ナノという切り口をより強調して言えば、表面や界面での現象、ナノスケールになった場合に表面や界面の特異な現象が系全体に及ぼす効果などに、より一層注目してもよい。理論と実験の協力の強化という点については、検討の余地がある。
- ・ 永長氏の種々理論的提言に対する実験的バックアップが欲しい。
- ・ これまでに得られている優れた基礎研究をさらに個々の研究者が深化し、さらに発展させることと並行して、新現象の理論的な解明、理論的な提言の実証などを手がけてグループの協奏効果を発揮して頂きたい。
- ・ 本課題の理論の進展から発せられる物質合成への刺激は単にチーム内メンバーのみならず、他領域を含む多くの合成系研究者にも価値あるもので、今後それらの情報共有を進めるべきではないか。
- ・ 体制としては、理論と実験の協力体制の強化は検討課題である。
- ・ STM/STS による強相関係の研究が、表面の特異性とバルクの性質を明確に区別できることが必要である。
- ・ レベルの高い研究活動、成果を挙げており、現状の体制がよく機能しておりこのまま進めればよい。

4 - 4 . 戦略目標に向けての展望

高度情報処理に向けた将来の新しい電子技術学理としての重要な提案がなされている。界面の理解を通して、モット系 / 金属接合の理解とデバイスへの展開の可能性を追求している。STM 技術を利用したナノファブリケーション等に発展していけるのではないかと。近未来にデバイスに繋がるテーマではないが、物質科学の基本的な見方に大きな影響を与えるテーマであり、相応の結果が出てきているので、もうしばらく学理を究めることが重要である。概念として、ナノサイエンスにおける強相関係の特徴と有利さが説明されているが、具体的にナノスケールでの表面や界面での問題への切り込みは今後の課題である。以上の点から、「相関電子コヒーレンス制御」の戦略目標の十分な達成を予感させる。

4 - 5 . 総合的評価

従来コントロールしにくい(あるいは実験的に観測しにくい)「位相」という概念の重要性を示したということで研究代表者の功績は大変大きい。また、各分担者もそれぞれの分野で重要な仕事をしており、総合的に高く評価したい。ただ、難を言えば各人が別々に仕事をしている感があり、もう少し有機的連携を取りつつやるのが望ましい。強相関電子系の内部自由度の量子コヒーレンス制御による新現象の発見および解明を機軸にすえて、わが国の基礎研究分野での成果を世界

へ発信することが本研究プロジェクトの重要な役割であり、この期待に応えている。この点を高く評価したい。今後は、本研究グループのメンバー相互の有機的な連携によって世界に誇れる研究成果を挙げていただくこと、そのなかから強相関電子素子などの応用への入り口が開かれれば、申し分ないと言える。