

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名: 高いコヒーレンスをもつ軟 X 線レーザーを利用した新固体分光法の構築

2. 研究代表者: 並河 一道 (東京学芸大学教育学部 教授)

3. 研究概要

プラズマ軟 X 線レーザーの極めて高いコヒーレンス特性と短パルス・高輝度性を生かして初めて実現できる新しい固体分光手法を構築することが、本研究の目的である。この目的の実現のため、軟 X 線レーザーグループが中心となり、その活動に協力するかたちで放射光グループ、試料作成グループ、理論グループを加え、研究チームを組織している。新しい固体分光法として、(1) 短い時間スケールのゆらぎの現象に適用できる軟 X 線スペckル時間相関分光法、(2) 銅酸化物高温超伝導体などの強相関電子系の物性解明に適用できる原子内殻 2 ホール生成分光法の 2 つの大きなテーマを設定している。

4. 中間報告結果

4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

本計画は、軟 X 線レーザー、理論、試料、放射光の 4 グループで推進されているが、中核となるのは、軟 X 線レーザーグループであり、そこでの成果がこの計画の成否を決定することになる。2 つの大きなテーマが設定されているので、それぞれについて評価を記す。

時間分解スペckル測定:

サイトビジットの時に問題だった(1)時間原点付近の測定ができない、(2)ストリーク像の明るさがアンバランスであるという問題は、マイケルソン型の遅延光学系を導入することで解決され、ストリークカメラによる時間分解スペckルの測定に成功した。測定されたストリーク像が試料の物性を反映したものであるかの確認が最大の課題であったが、時間原点付近で相関が増大すること、相関時間に相転移近傍で明らかな温度依存性があることが確認されたので、最初の関門は通過したと認められる。BaTiO₃ の測定結果から、転移温度より数度高い温度で相関時間が最長になるというデータが得られており、相転移の機構についても新しい知見が得られるのではないかと期待される。しかし、定量的な議論を行うには、まだデータの信頼度が不足である。波数 Q に対する依存性も重要な情報であるが、これも現在のところ精度が不足であるので、更なるデータの蓄積が必要である。

2 ホール励起状態からの発光:

励起および発光の集光検出を含む光学系は完成し、当初に問題であった反射鏡の反射効率スペクトル形状が、期待される 2 ホールのスペクトルと紛らわしいという問題は、新たな多層膜反射鏡を製作することで解決している。この装置を用いて関西原研においてスペクトルの測定まで行っているが、未だ銅酸化物超伝導物質における 2 ホール励起状態からの発光を観測するには至っていない。副次的に観測されるはずのラマン散乱と 1 ホール発光の強度も現状では非常に低いことから、(単位面積当たりの)励起密度もさることながら、励起光子の絶対数が不足していると考えられる。また検出系のノイズ対策なども十分とは言えない。

全体としてみれば研究計画は、当初の予定どおり着実に進められており、予算の使い方も適正である。

4-2. 今後の研究に向けて

時間分解スペックル測定:

原理実証までは成功したので、今後は定量性のあるデータを蓄積して、Q 依存性、温度依存性などを含め信頼できる情報を出して欲しい。原理的に新しい実験なので、早期に論文発表する方向で検討するべきであろう。XFEL などの新光源を利用すればさらなる展開が期待できるので、学術的な意義は大きいと考えられる。対象物質は現在のところ BaTiO₃ に限定しているが、次の段階としては、超伝導体など幅広い物質群を対象とする方向へ持っていくとよいであろう。しかし、現在の 20 分に 1 回というパルスの繰り返しでは、多くの対象を研究することは現実的に非常に困難である。もし高速繰り返しで測定できる環境を整えることができれば、上記を含め、膨大な画期的なデータが得られると考えられる。

2 ホール励起状態からの発光:

S/N 比を 1 桁から 2 桁は改善しなければ、目的の達成は困難と思われる。X 線 CCD 検知器を冷却したり、レーザーに同期したゲートをかけて暗電流ノイズを低減するなど、まだ可能な対策がいくつかあるので、早急に実行するべきであろう。もっと発光効率の高い試料を用いて実際に発光を観測しながら装置の最適化を行うことも有効であろう。また、研究代表者自身も言及しているように、フランス LOA の光源を利用して、銅酸化物以外の試料について試してみることも意味があると思われる。

4-3. 総合評価

最重要課題である時間分解スペックル測定に関しては、概ね当初の計画どおり、あるいはやや早めの進捗状況と見てよい。スペックル測定は短波長レーザーの高いコヒーレンスを最大限に利用した独自性の高い実験であり、これに時間分解機能を加えられるかどうかは、多くの研究者の関心事である。原理実証は一応成功しているようであるが、未だデータのばらつきが大きいので、より信頼度の高いものにしていくことが望まれる。2 ホール励起状態からの発光に関しては、装置の整備などは計画どおりに行われているものの、実験は未だ成功していない。この実験も成功すれば軟 X 線領域での固体非線形分光としてインパクトがあるので、今後に期待したい。