

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 量子トモグラフィを用いた密度行列分光法の開発

2. 個人研究者名

大島 悟郎（大阪府立大学大学院理学系研究科 准教授）

3. 事後評価結果

本研究では、量子情報技術で用いられる量子トモグラフィの測定・解析法を巧みに利用した新しい非線形分光測定手法である密度行列分光法を構築し、物質中の量子もつれや量子コヒーレンスについて密度行列を直接獲得することにより、従来の分光技術では部分情報の獲得に留まっていた物質の量子状態を定量的に評価することを目指した。

[どのような量子性をどのように扱ったのか]

- ・物質中の量子もつれや量子コヒーレンスなどの量子性について、密度行列を実験的に定量化して解析。
- ・本手法による量子コヒーレンスの定量化により、光合成過程における量子性の解明に貢献。

[達成状況とインパクト]

大島研究者は、Pump&Probe 法や四光波混合法などの非線形分光手法と量子トモグラフィの手法を組み合わせた密度行列分光法(DMS)の実験を通じ、物質の密度行列について、限定的ではあるが励起子の重ね合わせ状態の密度行列とその時間発展の測定結果を得ることに成功した。この手法(DMS)は先行情報が全くなかったため、偏光自由度に着目した DMS の開発、周波数領域 DMS の開発からなる 2 つの研究テーマとして進め、さきがけ研究としては原理検証から進めるチャレンジングな内容となった。そのため大島研究者は、まず取り扱いが比較的容易な偏光自由度に着目し、測定対象として典型的な量子的特性“量子もつれ”を有する半導体中の励起子分子を選定して実験を進めた。そして、励起子分子における量子もつれに誘起された微弱な 2 種類の光応答を“量子プロセス”として定量化し、この得られたプロセス行列の相関を計算することにより、測定対象の偏光（スピン）の密度行列を推定することに成功した。さらに、四光波混合法を用いた時間分解・DMS の手法の開発では、励起子分子の密度行列に対する時間発展の定量化を行い、励起子分子の量子もつれが長時間安定に保持されていることを初めて見いだしている。周波数領域 DMS の開発では、一般に適用できる周波数領域での密度行列を実験的に定量化することを目指し、モデル状態として半導体量子井戸中の励起子量子コヒーレンスを測定対象として検討を進めた。周波数重ね合わせパルスを精度良く生成する技術、それを評価するためのスペクトル干渉法と周波数分解光ゲート法の構築と改良などにも取り組んだ。Pump&Probe 法を利用した周波数領域 DMS の実験では、限定的ではあるが励起子の重ね合わせ状態の密度行列とその時間発展の測定結果を初めて得るに至っている。特に、半導体量子井戸中の励起子量子ビートを観測した結果はインパクトのある大きな成果であり高く評価できる。今後、さまざまな材料系で量子コヒーレンス解析への展開が期待できる。

本技術がどのような生命活動・分子挙動への計測に応用できるかの方向性について、大島研究者は光合成をはじめとした生命現象の量子コヒーレンスや量子もつれを実験的に計測・定量化することを申請時より提唱しているが、その挑戦がまだ見えていないのが若干残念である。光合成タンパク質における量子コヒーレンスの解明に向けて、今後どのような具体的な道筋を考えていくのか、偏光自由度や半導体での原理実証から生体系や複雑な系（材料科学）、そして基底が沢山ある系にどう拡張していくのかについて、さらに果敢に挑戦を続けて欲しい。