

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名：ベクトルビームの光科学とナノイメージング
2. 研究代表者：佐藤俊一（国立大学法人 東北大学多元物質科学研究所 教授）
3. 研究概要

本研究は、光ビームの性質を表す重要なパラメータである偏光、位相、強度分布に注目し、これらが総括的に制御された光ビームをベクトルビームとして捉え、その振る舞いを理論および実験の両面から詳細に調べることによって、新規な特性を明らかにし、それらを生かした新しい応用研究の萌芽を見出すことを目的としている。また、応用展開のひとつとして期待されているナノイメージングに対し、ベクトルビームの優れた特性を生かした方法論の確立とその具体的な実施も目指している。

ベクトルビームの特性を探るとともに、発生方法や新規応用技術開発を行っており、従来のスカラービームに比べ優れた微小スポット形成、ダークスポット形成、自己治癒効果などの特性を有することを明らかにした。また、様々なベクトルビームを直接レーザー共振器から発生することに成功しており、これらを用いてレーザー加工や光トラッピングなどへの応用展開を進めた。さらに、ナノイメージング実現のための光源設計と評価を行った。半導体レーザーをベースとしたナノイメージング用の高安定ピコ秒パルスレーザー光源の開発を進めており、マウス脳深部観測に結びつけた。また、半導体量子井戸の組成揺らぎに起因するナノ構造イメージングに取り組み、誘導放出過程のイメージングに成功した。さらに、ベクトルビームを用いたライフサイエンス分野でのナノイメージングに取り組み、新しい顕微鏡システムの構築を進め、ベクトルビームを用いた超解像イメージングの実現に大きく貢献するとともに、マウス脳深部観測を推進した。

今後も、引き続きベクトルビームの集光特性の実験的検討と理論との比較、半導体レーザーベース光源の高機能化・ベクトル化、ベクトルビームの新しい応用の開拓、ベクトルビームによるナノイメージングなどを推進する。

4. 中間評価結果

4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

ベクトルビームの理論的解析、共振器ミラーの加工と共振器の調整によりレーザーから直接に高次ベクトルビームを自在に発生させることに成功しており、ベクトルビームの発生方法の研究としては世界をリードしていると評価される。また、研究チームが開発した特殊な偏光変換器を既存の顕微鏡の対物レンズ部分に取り付けることにより、容易にベクトルビームを発生させ、空間分解能が約 30%改善される事(特許出願済)を、蛍光ビーズやバイオイメージングとして生体試料を用いて実証している。さらに、バイオイメージングとして特筆すべきは、本グループが開発した新規ピコ秒レーザー光源を二光子顕微鏡に適用し、装置開発と生体試料調製の 2 つのグループと密接に連携することにより、マウス脳の深部観察を可能とし、海馬 CA1 ニューロンを世界で初めて *in vivo* で観察するなどの成果を上げている。これらの成果より、研究は望ましい方向に順調に進捗していると考えられる。半導体レーザーを中心に据えた研究方針の正しさを実証するとともに、脳科学に大きなインパクトを与える結果が得られており、新たな研究の展開を予見させる。

4-2. 今後の研究に向けて

ベクトルビームを超解像ナノイメージングへ応用する際、集光スポットサイズ縮小の限界に達する 30%の分解能向上は既に達成しており、今後はベクトルビームで形成される強い縦方向電場などを利用して、当初計画にある数十ナノメートルの分解能を実現する STED 効果を利用した超解像研究の加速が求められる。これに関しては、半導体量子井戸構造における誘導放出脱励起画像の取得などの予備的成果は既に得られており、バイオナノイメージングへの応用も含めて、グループ内で開発された半導体レーザーの活用が期待される。

ベクトルビームが従来のビームと質的に異なることを分解能の飛躍的向上、光トラッピング・光加工の特異性など、具体的成果として明示できれば、戦略目標へ大いに貢献できるので、各グループの相互関係をより緊密にすることにより、ベクトルビームの有効性を示す努力が大いに期待される。一般的にも関心の高い分野なので、今後は国際的にインパクトのある学術誌への研究成果発表や積極的なアウトリーチ活動への参加も推進してほしい。

4-3. 総合的評価

ベクトルビームの発生方法の研究としては世界をリードしていると評価できる。また、ナノイメージングへの応用展開を目指しており、実用化に向けた成果をあげていることは高く評価できる。今後も光源とイメージング装置の開発によって、新しい光科学分野の基盤形成と応用開拓が進むものと考えられる。震災の影響も大きかったと考えられるが、研究代表者がリーダーシップを持ってグループ間をまとめ、STEDの研究開発の促進を含めて、ベクトルビームならではの特徴を発揮するナノイメージングやその他の応用に関する連携研究の今後の進展を大いに期待したい。さらに、ナノイメージングの形で新しい光技術のイノベーションを創出しようとしており、企業との共同研究と国内・海外特許申請を進めることで、今後の実用化が期待できる。