

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名: 光制御極短シングル電子パルスによる原子スケール動的イメージング

2. 研究代表者: 細貝 知直 (国立大学法人大阪大学光科学センター 特任准教授)

3. 研究概要

本研究では、物質が高速で変化する過程をフェムト秒オーダーかつ原子スケールの時間空間分解能をもつ動的イメージング像としてシングルショットで観測することを目的として、極短パルス性、大電荷量性、低エミッタンス性をもつレーザー航跡場加速 (Laser Wake-Field Acceleration: LWFA) を電子源とし、プラズマ波破碎電子入射、追加速航跡場による電子ビームパラメータ制御、極短電子パルスの輸送、等のレーザープラズマ/ビーム制御技術を駆使して、超高分解能電子イメージングに適した信頼性の高い高品質極短電子源を構築することを目標とした。

これまでに、外部磁場印加によるプレプラズマ制御法を発見し、指向性の高い大電荷量の極短電子ビームを思い通りの方向に安定に発生させる電子入射技術確立し、追加速航跡場による電子ビームの準単色化の原理実証にも成功した。また、**Chirped electron Bunch Transport: CeBT** と名付けた新しい極短電子パルス輸送法を発明した。現在、2ビーム駆動の2段 LWFA を採用した超高分解能電子イメージングビームラインを構築中である。装置開発と並行して、電子イメージングの標的となる物性現象の探索を行い、フェムト秒レーザー駆動衝撃波による単結晶シリコンなどへの高密度な格子欠陥の導入および準安定構造の創成を電子線回折により確認出来ることを明らかにした。

今後は、電子入射の位相制御技術確立し高性能電子源を実現し、チャープ電子パルス輸送 (CeBT) を含むレーザーバーチャルカソード (LVC) ビームライン構築を行う。これらが実現すれば、世界で初めての実用可能な LWFA 電子源/加速器の登場となり、ビーム科学分野でのインパクトは極めて大きい。さらに、フェムト秒レーザー駆動で衝撃圧縮された物質が高速で変化する過程を時間分解電子線回折測定によるイメージング実験で捉え、その機構解明に取り組む予定である。

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

動的イメージングを目指した高性能パルス電子源開発を計画通り進め、指向性のよい安定な電子ビーム発生と方向性制御技術確立した。当初計画を変更し、レーザー駆動の光キャビティによる位相回転によるビームの高品質化、新しい極短電子パルス輸送法 CeBT の導入等により、当初計画よりもパフォーマンスの高い LVC の実現が期待できることになった。これに関連して、*Applied Physics Letters* 誌への学術論文発表や CeBT に関する特許出願を行っている。超短電子パルス発生装置の構築に向かって着実に研究が進展しており、大きな成果が挙がるのが期待される。比較的少ない投資で、投資金額に見合う以上の成果を挙げている点は高く評価できる。ただし、当初目標を満足する全ビームラインの完成にはまだかなりのステップがあるので、イメージングについても段階的にテストを行ってほしい。

これまでに無い高品位の極短パルスの電子ビーム生成法として独創性があり、実現されれば、単に顕微鏡のプロブとしてだけでなく、高エネルギー加速器分野の電子銃源として世界的な注目を集めることになる。その意味でも早く装置完成にこぎつけて欲しい。

基本的には研究代表者のリーダーシップのもとに、装置の開発計画が着実に進行している。ただし、まだイメージング計測を実施するまでに至っていないので、研究グループ間の連携としての能力を発揮するに至っていない。物質の動的な挙動を研究する対象として、衝撃誘起構造相転移を取り上げているが、これは装置の有効性を立証する一例であり、より幅広い物性研究への応用も検討されたい。

4-2. 今後の研究に向けて

まずは、高品質な電子ビーム生成を一日でも早く実現させるよう努力してほしい。全システムの完全立ち上げにはまだかなりのステップが予想され、最終目標であるこの電子ビームラインを用いた物質計測までまだ道がある。装置が完成した暁には極めてインパクトのある学術成果の発信が期待できるので、課題となっている電子入射の位相制御を解決し、全システム完成前でも物質計測を実施することを期待する。衝撃誘起相転移のみならず、幅広い物性研究のイメージング実験に早期に着手してもらいたい。

高品質な超短パルス電子ビームが得られれば、光源利用としての戦略目標にも合致しており、インパクトは大きい。物質材料科学のイノベーションへの展開に資するインパクトのある研究成果を期待する。電子ビーム源としても様々な応用が期待でき、加速器の入射電子源としての応用も期待される。得られている成果は優れているので、将来の実用化を目指して、更なる国内外の特許取得へ向けた方策も検討されたい。また、学術論文による成果発表も加速して欲しい。

4-3. 総合的評価

研究開始時期が遅れている項目がいくつかあるが、新たな展開も含まれており、全体的にみると順調に進んでいる。超短電子パルス発生装置の構築に向かって着実に研究が進展しており、大きな成果が挙がることが期待される。光キャビティを導入したシステムに関して、性能を向上する新しい進展があり高く評価できる。レーザー航跡場加速法により高品質の電子ビームが得られることが期待でき、その成果を活用すれば、幅広い物質の動的な挙動に関する研究において学術的・技術的に大きなインパクトのある成果に繋がると思われる。

比較的にじんまりした研究チームで、独創的な高品質の超短パルス電子ビーム生成の研究を行っていること、実現はまだであるが、地道にシミュレーションで評価していることは評価できる。本プロジェクトはこれを顕微鏡に利用しようとしているが、超短パルス電子ビームの実現はより幅広い分野への道を開くものとして、その成果が期待される。