

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： フェムト秒時間分解走査プローブ顕微鏡技術の開拓と極限計測

2. 研究代表者： 重川 秀実（筑波大学大学院数理物質科学研究科 教授）

3. 研究概要

本課題は走査プローブ顕微鏡法の優れた空間分解能と超短パルス光を用いたポンプ・プローブ法の時間分解能を融合することで、時間・空間両領域での極限的な計測が可能な装置・手法を開発し、ナノスケールでの新たな計測手法の確立と科学技術の発展に貢献することを目的としている。通常ポンプ・プローブ法で用いる光強度変調では熱膨張の問題などが生じるため、本課題では二つのパルス光の間の遅延時間を変調する新しい手法の導入を図り、光軸のずれなどの安定性にも配慮した装置の設計、作製を進めた。その結果、分解能に関しては試料特性評価などを含めて検討の余地があるものの、時間・空間領域で分解された信号が見え始めている状況である。

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

これまでの期間は装置開発を重点的に進めてきたことで、装置の安定性、信号対雑音比の改善が図られ、時間・空間領域で分解された信号が見え始めている。具体的には、GaAs 系の pn 接合や AlGaAs/GaAs ヘテロ構造、低温成長 GaAs を含む構造を用い、その界面近傍に着目して、0.3ピコ秒間隔で時間分解した一次元マッピングが得られている。得られた信号の空間分解能は数 10nm レベルであるが、この値には半導体界面でのキャリア拡散の影響が含まれている。拡散の影響を取り除くと、装置自体の空間分解能はより優れていることが期待されるが、正確な評価には至っていない。従って、SNOM と比較した本装置の優位性も現時点ではまだ不明である。一方で、2 つの超短パルス光の遅延時間を制御できる新しい仕組みとして同期した 2 レーザ発振とポッケルセルを用いたパルスピッキングを組み合わせる技術を考案した。この新しい技術により、従来の光路差を用いた遅延制御ではピコ秒領域までに限られていた遅延時間制御をナノからマイクロ秒に大幅に広げることが実現された。対応できる時間スケールが大幅に広がったことで、開発された装置を様々な材料に適用することが可能になり、新たな好ましい方向の展開が生じている。今後は進行している新しい遅延時間制御を利用した装置性能の実証研究を進めていくことが必要であるが、中間評価の段階としては、当初計画に対する装置開発はほぼ順調に推移しており、予定通りの進捗が達成されているものと評価できる。

4-2. 今後の研究に向けて

研究は装置開発から装置性能を実証する段階に移っている。ナノスケールの構造を持つ試料を対象としてデータの蓄積を進め、開発した装置の優位性を実証し、成果を外部にアピールすることが急務である。現在一次元マッピングを中心に研究を進めているが、STM の特徴をアピールするには、今後の予定として視野に入れている二次元マッピングが不可欠である。装置の安定性などをさらに改善して二次元マッピングを実現することで、測定したナノ構造との対応から優れた位置分解能が確認されれば、STM の新たな可能性を開く研究として大きなインパクトを持つことが期待できる。実証実験の最初の試料としては、その産業的重要性からも、半導体界面・半導体ナノ構造に着目するのが妥当である。しかしその一方で、開発した装置を極限まで利用するにはどのような試料が望ましいか、開発した装置でどのような物理が見られるかは最も重要な点であるため、引き続き十分な検討が必要である。遅延時間制御で時間分解した信号が得られるメカニズムに関しても、まだ曖昧な部分が残されており、その解明も大変重要である。また研究に参加している人数が小中規模の研究チームのため、効率

的に絞り込んで研究を進めていくことが重要である。今後も研究方向が散漫にならぬよう、プロジェクトリーダーのしっかりしたリーダーシップを期待したい。

4-3. 総合評価

時間分解能と空間分解能の両方を有する顕微鏡の開発には多くの研究者が関心を持っており、成功すればその意義は大きい。高い空間分解能で高速の光誘起信号の計測を実現する装置開発がほぼ予定通りに進捗しており、CREST スタート時に目標としていた新しい計測装置の完成を期待することができる。今後、作製した測定装置の優れた時間・空間分解能を時間分解二次元マッピングなどで明確にしていくこと、さらに、測定装置の性能を最大限に発揮できる応用対象を見つけることで、戦略目標に貢献し、社会的にも大きなインパクトのある成果が得られことを期待したい。