

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2006～2009

課題番号：18206006

研究課題名（和文）高強度フェムト秒レーザー生成パルス高速度電子を用いた時間分解電子顕微鏡

研究課題名（英文）Time-resolved electron microscope with plasma electron produced by an intense femtosecond laser

研究代表者

阪部 周二（SAKABE SHUJI）

京都大学・化学研究所・教授

研究者番号：50153903

研究分野：レーザープラズマ物理、レーザー応用理工学

科研費の分科・細目：応用物理学・光学基礎・薄膜・表面界面物性

キーワード：電子顕微鏡、電子線回折、レーザープラズマ電子、高強度フェムト秒レーザー、パルス電子源、高輝度電子源

### 1. 研究計画の概要

(1) (目的) 本研究は、次世代の時間分解電子線回折解析手法や時間分解電子顕微鏡のためのパルス高速電子線源を超高強度極短パルスレーザー生成プラズマ電子により生成できることを実験的に示し、この極短パルス電子線源を用いて時間分解回折像の取得の実証により、超高速時間分解電子顕微鏡実現のための要素を明らかにすることを目的としている。

(2) (計画)

当初の計画は

- ① レーザー生成プラズマ電子線の特性測定と最適ターゲットの評価
- ② レーザー生成パルス電子線による回折像取得の実証
- ③ ポンプ&プローブによる高速時間分解回折像の取得
- ④ 時間分解電子顕微鏡への課題

### 2. 研究の進捗状況

初年度（18年度）の研究ではレーザー生成電子のエネルギー特性を調べ、電子線回折に用いることのできる100keV-1MeVのエネルギーが得られることを示したが、点線源としての強度と位置の高い安定性が必要であることが明らかになった。よって、次年度（19年度）は、レーザー出力の安定化のために新たなレーザー増幅器励起法を提案し、レーザーシステムの完全解体再構築を実施した。その結果、高強度短パルスCPAレーザーシステムとしては世界最高の安定性の実現に成功した。今年度（20年度）は、このレーザーを用

いて電子線源発生の実験を行なった。電子線源の強度空間分布を電子レンズ系で結合することにより測定した。レーザープラズマ物理の分野では電子発生領域の強度空間分布の直接測定は初めてであり、レーザーの集光径（10mm以下）に対して、電子線は数倍の大きさを持つ事も判明し、今後、微小孤立固体ターゲットの開発が重要な課題の一つであることを示した。また、線量については、単一ショットでの回折像取得に必要な量に近い値が得られる事が確認できた。このレーザープラズマ電子を用いて、350keVの電子線を試料に照射できる電子レンズを装備した簡易電子線回折装置を構築し、試験試料として金の薄膜を用いた回折実験を行なった。その結果、世界で初めて単一ショットによる回折像の取得に成功した。試料上でのエネルギー広がりからパルス幅は8psと評価された。今後は、電子線パルスの1ps以下への圧縮と、ポンプ&プローブシステムの構築により、光誘起過程による相変化の高速時間分解観測に挑戦する。

### 3. 現在までの達成度

本研究の当初の電子線源目標仕様は数100keVのエネルギー、数10 $\mu$ mの点源、数10psecのパルスであり、これらはほぼ達成できることが確認できた。しかし、超高速時間分解には数 $\mu$ mの点源、数ps以下のパルスが必要となるが、これらを実現するための課題は明らかとなった（レーザーの高度化や孤立固体系の提案など）。

本研究の最も重要なマイルストーンは、非

可逆現象の観測を可能とする単一パルス電子ショットによる電子線回折像の取得であり、これを実証できれば成果はほぼ達成したと言え、電子顕微鏡への展望が開ける。初期の研究計画に沿って研究を開始したが、問題点が明らかになるとそれを克服するために、当初計画を若干変更した（上記、レーザーの改良再構築は当初計画になかった）。しかし、その結果、顕著な成果が3年目に得られた。高速(350keV)単一パルス電子線による回折像取得に世界で初めて成功した成果から、本研究が①当初の計画以上に進展していると自己評価している。

#### 4. 今後の研究の推進方策

当初目標の電子線源の仕様をほぼ満たし、単一ショットによる回折像取得の目処が付けられた成果を踏まえ、さらに研究を高度化し、超高速時間分解電子線回折法を実証したい。つまり、電子パルスを試料上で数 100fs ~ 1ps のパルスにする電子線制御法の確立、このような極短パルス電子のパルス幅測定法の確立、電子線回折実証装置の構築と高速現象の観測の実証を行なう。本基盤研究(A)の最終年度を残し、基盤研究(S)へ移行して、これらの高度化研究を実施したい。

#### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① Shigeki Tokita, Masaki Hashida, Shinichiro Masuno, Shin Namba, and Shuji Sakabe, 0.3% energy stability, 100-millijoule-class, Ti:sapphire chirped-pulse eight-pass amplification system, Optics Express 16(19), 14875-14881(2008) (査読有)
- ② S. Sakabe, K. Shirai, M. Hashida, S. Shimizu, and S. Masuno, Skinning of argon clusters by Coulomb explosion induced with an intense femtosecond laser pulse, Physical Reviews A 74(4), 043205-1-5(2006)

[学会発表] (計9件)

- ① 時田茂樹、レーザープラズマ電子線源を用いた超高速電子線回折法、第69回応用物理学学会学術講演会、2008.09.02、中部大学
- ② 井上峻介、高強度レーザー生成電子線源の電子発生領域の測定、第69回応用物理学学会学術講演会、2008.09.02、中部大学
- ③ 時田茂樹、高強度レーザー生成電子パルスによる超高速時間分解電子線回折、レーザー学会学術講演会第29回年次大会、2009.01.10、徳島大学
- ④ 時田茂樹、Ti:sapphire マルチパス増幅システムにおけるパルスエネルギーの自己安定化、第55回応用物理学関係連合講演会、

2008.03.27、日本大学(千葉県)

- ⑤ 升野 振一郎、高エネルギー粒子発生のためのLIFTターゲット、第55回応用物理学関係連合講演会、2008.03.30、日本大学(千葉県)

[産業財産権]

○出願状況(計2件)

①

名称：光増幅器  
発明者：時田、橋田、阪部  
権利者：京都大学  
種類：特許  
番号：特願2008-009260  
出願年月日：2008.1.18  
国内外の別：国内

②

名称：光増幅器  
発明者：時田、橋田、阪部  
権利者：京都大学  
種類：PCT国際出願  
番号：PCT/JP2009/050302  
出願年月日：2009.1.13  
国内外の別：国外

[その他]