

## 【基盤研究(S)】

### 理工系(工学I)



## 研究課題名 高強度フェムト秒レーザープラズマ高速電子パルスによる 高速時間分解電子線回折の実証

京都大学・化学研究所・教授

さかべ しゅうじ  
阪部 周二

研究分野：理工系、工学、応用物理学・工学基礎、薄膜・表面界面物性

キーワード：電子顕微鏡

#### 【研究の背景・目的】

物質の極微細状態変化のような構造的な動力学を単一原子の振動周期の時間尺度 (<数 100fs) で直接観察する技術として時間分解電子線回折 (TRED) が期待される。TRED を用いて固体の相転移、気相の過渡的な分子構造、表面力学が調べられてきたが、今日までの TRED 実験はみな数 ps の時間分解能に留まっている。フェムト秒の時間分解で電子線回折により構造変化を直接測定するには、十分な強度のフェムト秒電子パルスが絶対不可欠である。最近の当該研究では電子を低強度フェムト秒レーザーとフォトカソードを用いて発生している。この方式では、発生した電子を回折に必要な数 100keV のエネルギーにまで外部電界で加速する間に空間電荷効果によりパルス幅が大きく広がる。このような効果を減じるために電子数を減じると単一ショットで回折像を撮像できない。すなわち、不可逆過程の観察ができない。

レーザープラズマから発せられる放射線は一般に点源・パルス・高輝度・小型などの特徴を有しており、本研究では上述の空間電荷効果問題を解決するために、高強度短パルスレーザー光を用いて生成したプラズマ中で瞬時に初期エネルギー数 100keV のパルス電子を発生・制御する。高速時間分解電子線回折に求められるパルス電子線源は数 100keV、数 100fs 以下、百万個程度以上と評価される。従来のフォトカソード方式ではレーザー単一ショットで回折像を取得する事は不可能であるのに対して、本研究の方式では時間分解回折像を取得できると考えられる。

高強度レーザーを固体や気体に照射することにより高エネルギー電子が発生することは知られているが、本研究が目標としている数 100keV 領域において、電子線回折解析に利用しうる高品位のパルス電子線の発生と制御の研究は国内外問わず殆ど行なわれていないのが現状である。

本研究の目標は高強度フェムト秒レーザー加速電子を用いて高エネルギー (数 100keV) 短パルス (数 100fs) 高輝度 (100 万個) のパルス電子線源を生成し、それにより数 100fs 以下の時間分解能での電子線回折の単一ショット撮像を実証することにある。

#### 【研究の方法】

超高強度短パルスレーザーにより高品位のパルス電子線を生成し、パルス電子線の特性を制御しつつ電子パルス圧縮を行ない、観察試料に短パルス電子線を照射する。それに先立つように短パル

スレーザー光により試料を光励起し、その後の試料構造変化を電子線回折により観察する。単一レーザーパルスによる回折像の取得を目指す。主な課題と方法は、(1)電子線の高密度化←金属薄膜線源の利用←プリパルスの低減←プラズマミラーの開発、(2)電子線源の低エミッタンス化←線源に孤立微小薄膜の利用←レーザー剥離駆動薄膜飛行法の確立、(3)電子線源の短パルス化←位相反転によるパルス自己圧縮の実証、(4)試料の光励起と電子線照射系の構築、(5)高速時間分解電子線回折像の取得の実証である。レーザー、レーザープラズマ物理、放射線科学、電子顕微鏡科学、結晶科学の専門家により編成された研究チームにより本研究を実施する。

#### 【期待される成果と意義】

本研究は世界に先駆けたものであり、高速時間分解電子線回折手法が確立できれば、物質科学・ナノ科学の分野において革新をもたらすことができる。最先端の電子顕微鏡技術 (高性能電子レンズ系、試料の極低温化など) と融合すれば、様々な環境下での物質の相変化をはじめ高速の諸現象の観察が可能となる。また、電子線源開発のための孤立固体系と高強度レーザー光との相互作用研究などは高エネルギー放射線科学の分野において、電子以外の放射線発生に応用でき、次世代の放射線源の開発の可能性を広げるものである。

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- S. Tokita, M. Hashida, S. Sakabe, *et al.*, "Single-Shot Femtosecond Electron Diffraction with Laser-Accelerated Electrons: Experimental Demonstration of Electron Pulse Compression," *Physical Review Letters* **105**, 215004(4) (2010).
- S. Tokita, M. Hashida, S. Sakabe, *et al.*, "Single-shot ultrafast electron diffraction with a laser-accelerated sub-MeV electron pulse," *Applied Physics Letters*, **95**, 111911(3) (2009).

#### 【研究期間と研究経費】

平成 23 年度 - 27 年度  
129,200 千円

#### 【ホームページ等】

<http://laser.kuicr.kyoto-u.ac.jp>