

高強度短パルスレーザープラズマ加速電子を用いた超高速電子線回折法の実証  
Demonstration of ultra-fast electron diffraction using electrons accelerated in plasmas produced by an  
intense short pulse laser

京都大学 阪部 周二

物質科学やナノ科学の飛躍的な発展とともに、高い空間・時間分解能をもつ物質状態観察手法が求められてくる。物質の原子状態を視ることのできる電子顕微鏡はこの半世紀の間に多くの技術的ブレークスルーを経て nm 以下の空間分解能が得られるまでに発展してきた。他方、時間分解能技術は空間分解能と比してみると大きな遅れがあると言える。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時間尺度 (<数 100fs) で直接観察できる方法の一つが時間分解電子線回折である。これにより、固体の相転移、気相の過渡的な分子構造、表面力学の観察が試みられてきたが、今日までの実験はみな数 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ことは困難な挑戦である。特に、十分な強度のフェムト秒電子パルスの発生が絶対不可欠である。最近の当該研究はすべて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するものである。この方式では、レーザーパルス幅程度の電子線を発生できるが、回折に利用できる数 100keV のエネルギーにまで加速する間に「空間電荷効果」によりパルス幅は大きく広がる。そのため、電子バンチ内の密度を下げるなどが報告されているが、物質の高速時間分解回折のための電子線源に求められる仕様からほど遠いものである。すなわち、諸現象に見られる構造的な動力学の殆どが不可逆的であるので、単一パルスにより回折像を捉えなければならない。そのため回折に適したエネルギーでかつ十分な電子量の極短パルスが不可欠である。我々は超高強度極短パルスレーザー生成加速高エネルギー電子を用いて、単一パルスで数 100fs 以下の時間分解回折像の撮像を実証することを目的として研究を行っている。

超高強度極短パルスレーザーをポリエチレン薄膜上に集光し (光強度は約  $10^{18}$  W/cm<sup>2</sup>)。電子を高エネルギーに加速する。加速電子を偏向磁石 2 台用いて 180°を 2 回 (合わせて 360°) 偏向する。これにより、偏向磁石に対して電子源位置の対称位置にて電子パルスを再圧縮することができる。この位置で電子パルスと高強度レーザーパルスを垂直に交差させ、光による電子の散乱を観測することによりパルス幅を測定した。その結果、約 500fs に電子パルスが圧縮されていることが確認され、356 keV のレーザー加速電子ビームのパルス圧縮を世界で初めて実証した。さらに、電子パルス圧縮位置に金の単結晶 (001) 薄膜を設置し、回折像の取得を試みた。増倍管付 CCD カメラを用い単一ショット撮影により明瞭な (020) 及び (220) 面の回折スポットが観察できた。単一パルスでの電子線回折像の撮像に成功した。これらは最終目的に向けて研究を進展させるための有意義な成果であり。現在、レーザー装置の短パルス化、パルスの高品位化などの装置改良と新しい電子線源の探求に取り組んでいる。