

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 木下 健一

従来より X 線回折は物質のミクロな構造を解明するために利用されてきたが、近年の極短パルス X 線源の登場によって、物質内高速過渡現象における原子・分子の構造変化の直接観測に道が開かれつつある。物質内高速過渡現象を観測する手法としては、近年発展著しいフェムト秒レーザーを用いたフェムト秒レーザー分光等が先行しており、半導体内誘電率時間変化や分子結合状態推移など、物質電子系の振舞いに関する研究に応用されている。一方、格子系については、レーザーによるプローブからは間接的な情報が得られるのみである。本論文では、ピコ秒時間領域での物質内原子・分子配列変化の直接観測のために、極短 X 線パルスを用いて X 線回折を行う時間分解 X 線回折法の開発を目的として研究を行っている。

第 1 章は序論であり、本研究の主題である時間分解 X 線回折について基本的な解説を行うとともに、本研究における背景として、極短パルス X 線生成法と時間分解 X 線回折をめぐる最近の研究状況を概観している。また、東大原施ライナックにおける短パルスビーム生成技術について紹介し、研究の目的と位置付けについて述べている。

第 2 章では、電子ライナックからのサブピコ秒電子パルスを固体照射することで得られる極短 X 線の発生と、その時間分解 X 線回折への適用について述

べている。まず、電子・X線変換によって発生するX線の特性が、電子光子輸送モンテカルロ計算コードEGS4を用いた数値計算によって詳細に求められている。特に、高時間分解能化のために重要となるサブピコ秒X線パルスが、固体標的として薄膜を用いることによって発生可能であることを明らかにしている。さらに、実際に電子ライナックからのサブピコ秒パルスを用いたX線発生実験を行い、単結晶試料からの回折像の取得に成功している。

第3章では、テラワットレーザーを用いたX線発生と時間分解X線回折への適用について述べている。ここでは特に、微弱なX線回折像の変化を識別するために重要となるS/N比の向上に重点をおいて体系の構築を行っている。そのためにレーザープラズマX線に関する基礎的な特性評価を行い、遮蔽体の設置により大幅なS/N比の向上が得られている。また、フェムト秒ストリークカメラを用いて時間軸を校正する手法を採用し、1ピコ秒程度の精度でパルス間隔を測定している。構築された体系を用いた実験では、フェムト秒レーザーに照射された半導体結晶からのX線回折像の時間変化を、ピコ秒時間領域において観測することに成功している。

第4章では、レーザー照射された結晶からの時間分解X線回折プロファイルを求める数値計算コードを作成し、実験結果との比較を行っている。ここでは、超短パルスレーザー誘起現象として、電子・正孔対生成による結晶内でのレーザー光の吸収と、引き続いての電子格子相互作用による緩和と格子の加熱を想定し、急激な熱膨張による熱弾性論的歪み波の伝搬を結晶格子配列に導入している。続いて、運動学的回折理論に基づいて、数値計算によって歪んだ格子面間隔を持つ原子配列からのX線回折プロファイルを求めている。得られたX線回折プロファイルは実験結果をよく再現しており、本手法が原子配列変化の決定にとって有効であることを確認している。

第5章では上述の成果がまとめられており、本研究の総括が述べられている。

以上のように、本論文はピコ秒時間領域での結晶原子配列変化を観測する手法を追求し、その実現可能性を示したもので、工学の進展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。