

テーブルトップ型軟 X 線パルス光源の開発

～超高速な現象を元素別に観測！～

理学研究科 物質科学専攻

○助教 ^{たかはし りゅうのすけ} 高橋 龍之介、教授 ^{わだち ひろき} 和達 大樹

キーワード

X 線, 超高速, 磁石



研究概要

赤外線 (フェムト秒レーザー)



図 1 高次高調波による X 線の発生。赤外線とアルゴンを用いて X 線が発生する。

物質の性質や変化のしくみを理解するためには、極めて短い時間スケールで起こる電子やスピンの動きを観測する技術が必要である。特に、1 兆分の 1 秒 (フェムト秒) という時間領域での現象を追うには、物質の深部にまで届き、かつ元素ごとに異なる反応を示す「軟 X 線」と呼ばれる高エネルギーの光を用いることが有効である。この軟 X 線のうち、およそ 40～70 電子ボルト (eV) のエネルギー範囲には、「遷移金属」の M 吸収端と呼ばれる特有の構造が存在する。鉄やコバルト、ニッケルなどの遷移金属は、磁石や電池など多くの先端材料に用いられており、その電子状態を選択的に観測するには、このエネルギー帯域の軟 X 線が不可欠である。たとえば、ニッケルの M 吸収端は約 66 eV 付近にあり、それを観測するには少なくとも 70 eV 前後の光が必要となる。このため、71 eV 程度の光 (すなわち第 59 次

の高調波) を発生できることが、この領域の研究において非常に重要となる。しかしながら、こうした高エネルギーの軟 X 線を得るためには、これまでは大型の放射光施設が不可欠であり、日常的な実験には用いにくいという課題があった。そこで本研究では、実験室内でも使用可能な卓上型の軟 X 線高次高調波 (HHG) 光源を構築し、放射光に頼らずして 71 eV に達する光を安定に発生させることに成功した。具体的には、フェムト秒レーザーをアルゴンガスに集光し、最大で第 59 次 (71 eV) の高調波光を得た。その軟 X 線を用いて、数十～数百ナノメートルの薄膜材料を透過させることで、吸収端構造を観測し、膜厚の非破壊評価も可能となった。

この装置は小型で扱いやすく、光軸調整も容易であることから、将来的には時間分解型のポンププローブ測定や、産業材料の評価といった幅広い応用が期待される。

アピールポイント

本研究の最大の特徴は、これまで大型放射光施設に依存してきた軟 X 線分光を、実験室レベルで実現した点にある。とりわけ、遷移金属の M 吸収端 (40～70 eV) をカバーする 71 eV の高次高調波 (HHG) 光を安定に発生させることに成功し、磁性材料やエネルギー材料に含まれる鉄・コバルト・ニッケルなどの元素に対して、**元素選択的かつ時間分解可能な観測の道を拓いた**。従来、このエネルギー領域における時間分解分光は、光源出力や波長の制約により困難であり、薄膜材料の評価も間接的な手法に頼ることが多かった。本研究では、Yb:KGW レーザーを用いた HHG 装置を構築し、アルゴンガスジェットを用いた方式で最大 59 次 (71 eV) の高調波を生成した。得られた軟 X 線を用いて、シリコンナイトライドや金属薄膜試料の透過スペクトルを測定した結果、既存の吸収端データとよく一致し、膜厚評価にも応用できることが実証された。将来的にはフェムト秒～ピコ秒スケールでのポンププローブ計測への応用が可能であり、**時間分解と元素選択性を同時に備えた新たな分光手法の基盤を提供するものとなる**。今後は材料開発・半導体評価・磁性デバイスの研究など、多岐にわたる産業応用への展開が期待される。すなわち、本研究は軟 X 線分光の自由度と機動性を飛躍的に高める、実験室レベルでのブレイクスルーである。