

審査の結果の要旨

論文提出者 吉富 大

超短パルスレーザーを希ガスなどの媒質に集光することによって発生する高次高調波は、極端紫外・軟 X 線領域で超短パルス性を有する優れたコヒーレント光源として、この波長域での超高速時間分解分光や非線形分光への応用上、注目されている。このような応用に供するためには、高次高調波の高出力化が急務である。本論文は、高次高調波の高出力化を主目的に、(1)励起レーザーとしての高平均出力 KrF/Ti:sapphire ハイブリッドレーザーシステムの開発、(2)KrF レーザーの 5 次高調波によるマイクロジュール級、サブミリワット級の 50nm 光パルスの発生及び集光、(3)適応型波面制御による高次高調波の高出力化の 3 項目について、研究を行ったものである。本論文は、以下の 6 章から成る。

第 1 章は序論であり、本論文の背景として、高次高調波の研究の歴史的経緯および現在の主な研究動向が述べられている。また、高次高調波の光源としての価値が明らかにされ、本論文の意義を明確にしている。

第 2 章では、高次高調波発生過程の理論について述べている。前半部は、微視的な原子応答について、SFA 理論を中心に述べ、後半部では、巨視的伝搬効果について述べている。これらは、後の章における解析において必要となる基礎知識となっている。

第 3 章では、励起レーザーとして開発された高平均出力 KrF/Ti:sapphire ハイブリッドレーザーシステムについて述べている。ゲート利得増幅法を用いて効果的に ASE の発生を抑制し、平均出力 50W を達成している。得られた 50W という平均出力値は、発表当時フェムト秒領域で世界最高の値であり、現在でも高強度物理に応用可能な高強度レーザーにおいては、フェムト秒領域でなお最高値である。また、紫外領域においても、フェムト秒では最高値である。開発されたレーザーは、本論文における高次高調波発生の際起レーザーとして意味があるのみならず、プラズマ軟 X 線発生の際起光源などにも応用可能であると考えられ、価値のあるものである。

第 4 章では、このレーザーを用いて、5 次高調波によって、波長 50nm の高平均出力極端紫外光を発生させ、選択的に集光した研究について述べている。得られたパルスエネルギーと平均出力の値は、どちらもこの波長域の高調波ではこれまで得られていなかった値で価値のあるものである。また、分光などの実用的応用を目し、Sc/Si 多層膜鏡による実用的な集光配置で実験を行っている。スポットサイズ測定では、従来になかったシングルショットで線形性、その場性をもつ画期的な手法を提案し、実証している。この方法により見積もられた集光強度の値は、高調波のみならず、光源によ

らず世界最高の値であり、極端紫外域における非線形分光への期待に大きく道を開くものであると考えられる。

第 5 章では、デフォーマブルミラーと遺伝的アルゴリズムを組み合わせた適応型波面制御により高次高調波の最適化を行った研究について述べている。軟 X 線領域で、最大 1 桁以上の増大を行っており、実用的に有効であることが示されている。また、最適化後の実際の波面を測定し、数値計算によって位相整合の解析を行い、プラトー領域では、位相整合により高調波の出力が増大し、カットオフ領域では、主に集光強度の増大により出力が増大しているという明確な物理的描像を与えている。

第 6 章は、結論である。

以上、本論文は、極端紫外・軟 X 線域での超高速時間分解分光や非線形分光などに期待されているコヒーレント光源としての高次高調波の高出力化に大いに貢献するものである。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。