

審査の結果の要旨

氏名 清水 俊彦

近年、フェムト秒のパルス幅をもつ超短パルスレーザーは、超高速時間分解分光、及び高強度非線形過程の研究における光源として、ますますその重要性を高めている。特に、高強度レーザーと希ガスなどの媒質との相互作用によって発生する高次高調波は、真空紫外・軟 X 線領域で超短パルス性・小規模・高繰返し性・波長可変性など数多くの優位な性質をもつ有望な光源として、盛んに研究され、固体分光、分子分光、プラズマ物理、アト秒パルス発生など広い分野で応用されている。この論文では、高次高調波の物性面での応用として、高調波励起によるオージェ過程の研究について述べたものである。

第 1 章は序論として研究の背景と高調波の歴史について説明している。ここでは、超短パルスレーザーの高次高調波は高い時間分解能を持つ真空紫外・軟 X 線領域の光源であり、これを用いることによりオージェ過程のような高エネルギー励起を必要とする超高速現象を直接的に測定することが可能となること述べられている。

第 2 章は高次高調波の理論についての解説である。高次高調波発生は高強度レーザーを非線形媒質に入射させることによって起こる効果で、ここでは発生における理論を古典的な摂動論から量子論的な計算まで紹介している。

第 3 章は内殻正孔の緩和過程についての解説である。高次高調波のような真空紫外光源を用いると物体の内殻を励起することが可能となる。この章では内殻励起とそれに伴う内殻正孔の緩和過程についての説明している。内殻正孔の緩和過程として、オージェ過程や格子緩和や輻射遷移があるが、これらが相互作用をする場合、その正孔のダイナミクスがどのようになるかを考察している。

第 4 章および第 5 章は実際に行った実験とその考察であり、この研究の中核をなす。まず、第 4 章では、アルカリハライドの一つである CsBr のオージェ過程の緩和時間の測定を行っているが、その測定方法は独創的な方法であった。CsBr は 0K ではオージェ過程が禁制となり内殻正孔は輻射遷移で消滅するが、温度が上昇するとアーバックテイルとよばれるバンドの裾の効果によりオージェ過程が一部許容となり輻射遷移と共存するようになる。この状況で発光の寿命測定の温度変化測定を行うことによりオージェ過程の緩和時間の決定を行ったことについて述べられている。まず、立ち上がり時間の測定から格子緩和の様子が観測され、ついで発光寿命の温度変化が測定された。この発光寿命の温度変化を低温での放射光のデータと合わせてフィッティングすることにより高温極限でのオージェ過程の緩和時間、2.4 fs が決定された。高温極限ではバンドギャップが内殻-価電子帯間のエネルギーよりも小さい通常の物質のオージェ遷移と同等になると考えられ、CsBr に近い物質である NaF での理論的な計算値、4.3 fs とよく一致している。この実験は固体中のオージェ遷移の緩和時間の直接的な観測に初めて成功したものである。

第5章では、高次高調波を励起光源とした固体のオージェ電子観測システムの開発について述べている。オージェ過程を共存する発光過程より観測する方法は、CsBrのようなバンドのエネルギー差が特殊な系で可能であったが、これをより一般的な物質で行うため高次高調波励起によるオージェ電子を直接観測するシステムの開発を行った。初めに測定のために作成した飛行時間型の光電子分光器について述べている。次いで、光電子分光システム全体について述べて、各注意点について説明している。実験は、まず分光器のテストを高調波スペクトルの希ガスのイオン化による測定を行い、集光や高調波発生のための媒質供給法の改良を行った後に、アルカリハライドの光電子分光を行っている。初めはKIの電子測定について述べている。しかし、KIでは低エネルギー帯に構造を持つ二次電子の影響のためにオージェ電子スペクトルが観測できなかった。そこで、より高いエネルギーを持ったオージェ電子が発生するNaClでの測定を行い、オージェ電子のスペクトルの観測に成功した。このような超短パルス・高強度の高調波励起によるオージェ電子分光システムが完成したことにより、今後オージェ電子の実時間分光や多光子内殻励起の実験などが可能となる。

第6章では本論文のまとめを行っている。以上の内容からこの研究は今まで観測が困難であった内殻正孔のダイナミクス特にオージェ過程のような超高速過程の観測の道を切り開いたものであり、その意義は極めて大きい。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。