

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 久世 直也

論文題目 2 台の Yb ファイバー光周波数コム位相同期とデュアルコム分光への応用

1960 年のレーザーの発明以来、光科学の発展は最先端レーザーの開発とともに進んでいる。単色性を追求した連続波 (cw) レーザーを用いた分光と超短パルス性を追求した分光は独立して歩んできた。しかし 2000 年の光周波数コム出現により事態は一変した。精密制御されたフェムト秒パルス列のスペクトルには数十万本の狭帯域 cw レーザーが規則正しく並んだ構造になっており、超広帯域にわたって精密分光に利用できる可能性が出てきたのである。この光周波数コムは固体レーザーであるチタンサファイアレーザーにより構成されていたが、より長期安定性の優れたファイバーレーザーによる光周波数コムの実現が求められていた。

光周波数コムは cw レーザー数十万本が詰まっていると言っても、実際には縦モード間隔が狭いために分光器で一本ずつ取り出すことができない。縦モードをうまく分離して分光するために考え出されたのがデュアルコム分光という手法である。これはわずかに繰り返し周波数が異なる二つの光周波数コム同士のビートを取ることで、光周波数を RF 周波数にダウンコンバートする手法であり、フーリエ分光を応用したものである。そのためには 2 つの光周波数コムを光位相の精度で制御する必要があり、非常に複雑で精緻なシステムを構築する必要があった。

以上のような背景のもと、本論文では Yb をドープしたファイバーレーザーによる光周波数コムを開発し、新しい方法による簡便なデュアルコム分光法を提案・実践する。さらには歪みセンサーや原子の飽和分光への応用を開拓することを目的としている。

本論文は、7 章から構成されている。以下に各章の内容を要約する。

第 1 章では、序論として本研究の背景目的、及び構成について述べている。

第 2 章では、超短パルスレーザーと光周波数コムについての関係や制御法について説明している。

第 3 章では、光ファイバーコムを作る際に関連する光ファイバー中の非線形効果や光伝搬についての理論的考察を記述している。非線形シュレーディンガー方程式からどのように伝搬や非線形性の数値計算に結びつけるかについて説明している。

第 4 章では、Yb ファイバー光周波数コムを開発について述べている。まずは非線形偏波回転モード同期によるファイバー発振器において 30fs 程度超短パルス発生を実現している。なぜファイバー発振器でこのような超短パルスが発生するのかについて、実験および理論的に考察を行った結果、ファイバー中のパルス波形が非対称になると物質による 3 次の分散を打ち消すように非線形分散が生じることを初めて明らかにした。また、この発振器か

ら始まるレーザーシステムを構築し、フィードバックを行うことにより光周波数コムを構築を行った。

第5章では、第4章で作成した光周波数コムを他の発振器に注入することによりコムを複製を目的とした実験について述べている。cw レーザーの注入同期では縦モード光周波数のみが同期すれば良い。コムの場合、繰り返し周波数とオフセット周波数の2つの自由度があるために注入同期が掛かるかどうかは自明ではなかったが、本章の実験によりこれが実現することが示された。

第6章ではまず、デュアルコム分光の実現法として、2台のフリーラン cw レーザーを使う方法を提案し、実現している。二つの光周波数コムを同期させるためにはそれまで超高安定な cw レーザーにそれぞれのコムを同期する方法が採られていたが、本実験では揺らぎの大きい cw レーザーとそれぞれのコムとのビートを取り、さらにこれら二つのビートの差を取るにより共通参照である cw レーザーの揺らぎの影響をキャンセルする方法である。本方法がうまく実現することを示したのちに、分光への応用として準安定状態の He の吸収分光のデモンストレーションを行った。また、飽和吸収分光の手法をデュアルコム分光に適用することにより、準安定 He の遷移をコムを用いて高分解かつ広帯域に分光ができることを示した。さらに、ファイバースラッグ回折格子の透過特性をコム分解で調べることで、超精密でありなおかつ超広帯域のファイバースペクトルセンサーへの応用が可能であることを示した。

第8章では本研究のまとめを行い、今後の課題・展望について述べた。

以上のように、それまで解明されていなかったモード同期 Yb ファイバー発振器から何故超短パルスが発生するかを考察したうえで、高精度光周波数コムを開発を行った。次に、光周波数コムを注入同期によりコムを複製する方法の提案・実行を行った。また、新しいデュアルコム分光法を提唱し、飽和吸収分光や高精度ファイバースペクトルセンサーへの応用を行うことでその実用性を実証した。

これらの研究は、光周波数コムを分光応用するうえでの課題であった安定性や実用性を高めるだけでなく、新しい分光法の提案や応用を実際に切り拓いている。そのため本研究の成果は今後の物理工学の発展に大きく寄与することが期待される。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認められる。