

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 遠藤 護

狭帯域連続波レーザーと広帯域フェムト秒レーザーとの融合により光周波数コムが誕生してから 15 年が経った。その間光原子時計に代表される様々な応用が提案され実証されてきた。フェムト秒レーザーは 10000 台の狭帯域連続波レーザーと同等であるという言われ方をしてきたが、実際にはそのような使われ方は実現していなかった。それはコムの間隔が分光器の分解能よりも狭いために縦モードの分離が出来ないからである。そのためにデュアルコムや、フィルタリング共振器などの複雑な実験系を組まざるを得ない状況であった。市販の分光器の最高分解能および天文台に設置されている大型分光器の分解能はおよそ 4GHz である。一方で市販のモード同期レーザーの繰り返し周波数は 100 MHz から 1GHz である。繰り返し周波数、即ち、縦モード間隔が分光器の分解能よりも大きくなると縦モードを分離した超精密分光への道が拓ける。

高繰り返しレーザーの候補の中ではカーレンズモード同期レーザーはコム応用が可能な低ノイズレーザーであることが知られている。また、応用を睨んだ時にレーザーダイオード励起のレーザーが長期安定性の面から重要である。

このような背景のもと、本論文では超高繰り返しのモード同期レーザーの開発を行った。レーザーダイオード励起を行うためレーザー媒質は Yb ドープの固体とし、共振器構成を工夫することによりこれまでの最高繰り返しである 15 GHz を達成した。この値は縦モードを分離するのに十分である。

本論文は 7 章から構成されている。

第 1 章では序論として本研究の背景や位置づけ、構成を述べている。

第 2 章ではモード同期レーザー、光周波数コムや分光器などの理論や実験方法について説明している。

第 3 章では天文応用のためのコムの開発について記述している。ここでは 4 GHz のモード同期レーザーを開発した。レーザー媒質は Yb:Y2O3 である。また、本章では超高分解能分光器も開発した。大型透過型回折格子をマルチパス構成で用いることにより 0.6 GHz の光周波数分解能を実現している。これにより各縦モードをきれいに分離できるようになった。

第 4 章では 15 GHz 繰り返しのモード同期レーザー開発について記述されている。世界最小のカーレンズモード同期レーザーを実現するために曲率半径 5mm の特別なミラーを用いて実現した。コムにする方式としては繰り返し制御と連続波レーザーとのビート制御の方法を採用した。

第 5 章ではこれら高繰り返しコム縦モードを分離して強度変調を掛けてから再合成する装置を開発し、これを用いて任意波形生成のデモンストレーションを行った。最もシンプルな任意波形の例として、フェムト秒レーザーの縦モードを 1 本だけ取り出すことにより連続波レーザーができることを示した。また、隣り合う縦モード間の位相関係を測定して合成することによりパルス時間波形を再構築できることも示した。

第 6 章では超高繰り返し光周波数コムのも物性応用を研究した。光周波数コムにはキャリア周波数 (300 THz), エンベロープの周波数 (数 THz), および繰り返し周波数 (100 MHz ~10 GHz) が含まれる。これらのうち, キャリア周波数は電子励起, エンベロープは光学フォノン, そして繰り返し周波数が音響フォノンの周波数に対応する。ここではシリカファイバー中の 1 ミクロン帯における音響フォノンの共鳴周波数は 15 GHz であることに着目した。繰り返し周波数をこの共鳴周波数に同期したときに何が起きるのかについて調べた。実験では音響フォノンの周波数のちょうど半分の周波数に繰り返しを合わせた時に誘導ブリルアン散乱が強く起きることを見出した。また, 誘起したフォノンを打ち消すように時間を置いてパルスを入射するとこの効果が小さくなることを確認した。コムにより物質を操作する可能性を見出したことになる。

第 7 章では全体のまとめと今後の展望について述べている。

以上のように世界最小のカーレンズモード同期レーザーを実現することにより, 縦モードの一本ずつを操作して自由に合成ができるようになった。これは天文コムや光任意波形生成などの様々な応用にとって重要な成果である。また, 光周波数コムのも物性応用はこれまでほとんど行われていなかったが, 本論文では繰り返し周波数が大きくなって音響フォノンの周波数に近づいたことに着目して光ファイバー中の音響フォノンの励起と繰り返し周波数との関係を調べた。また, ダブルパルスにしてパルス遅延を調整することによりフォノンを操作することもできている。

これらの研究は光周波数コムのも応用範囲を広げ, 物性研究に資するツールを提供したことになる。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) の学位請求論文として合格と認められる。