

## 審査の結果の要旨

氏名 王 肖南

長距離を精密に測定することは、産業および学術的に重要となっている。光学干渉法は、トレーサビリティを確保しやすく測定分解能が優れている利点からよく使われている。しかし、光学干渉法では高速、高精度で絶対測長を行うことは難しい。本研究では、光周波数コムレーザを利用した新しい絶対測長干渉計を提案し、この問題を解決した。光周波数コムレーザは、時間領域では非常に短いパルス幅を持ち、周波数領域では多くの周波数モードを持つ。さらに、従来の光に比べ、安定性と精度で優れている。光周波数コムレーザは、繰り返し周波数とキャリアエンベロープオフセット周波数の2つのパラメータを持つ。繰り返し周波数は、安定化が容易で、これを利用した新しい干渉計が提案されている。

本論文では、光周波数コムレーザを利用した絶対測長干渉計を提案し、2つの目的を設定している。第1の目的は、パルス干渉により50 m以上の長距離の位置測定を可能にすることであり。第2の目的は、多波長干渉による数mの距離測定を可能にすることである。

第1の目的に対して、音響光学変調器と光周波数コムレーザを用いた新しいヘテロダイン干渉計を提案した。ここでは、光周波数コムレーザの時間コヒーレンス干渉を利用し、光周波数コムレーザを直接的に光源として用いた。光周波数コムレーザのパルス干渉計は、空気揺らぎの影響を受けやすいが、新しく提案した音響光学変調器により、数kHzのヘテロダイン信号を使うことでこの影響を抑えることができる。絶対測長は、参照鏡を走査しながら、ロックインアンプにより位相検出を行うことで実現した。実験的には、403 mの測長が可能であった。

51 mの距離測定で、0.5  $\mu\text{m}$ の測定安定性を実現した。絶対位置測定できる場所は、光周波数コムレーザの繰り返し周波数で決定される。繰り返し周波数100 MHzの光周波数コムレーザでは、1.5 mごとの位置を測定でき、繰り返し周波数58.417 MHzでは2.56 mごとの位置で測定できる。

第2の目的に対して、複数波長干渉法を用いたスーパーヘテロダイン干渉計を開発した。複数の半導体レーザと光周波数コムレーザのヘテロダイン信号を利用することで、合成波長により測長が可能となる。精密測長のためには、そ

それぞれの波長を標準に対して安定化する必要がある。1つの光周波数コムレーザによって2つの半導体レーザを安定化した。スーパーヘテロダイン干渉計は、複数の半導体レーザと光周波数コムレーザによって構成される。合成波長が短いほうが、測定精度はよいが測定範囲は短くなる。そのため、複数の合成波長を変化させながら徐々に測定を行うことで、距離測定が可能となる。最終的な測定精度は、一つの半導体レーザを用いた場合のヘテロダイン干渉計によって決まる。

波長が  $1.540\ \mu\text{m}$ 、 $1.542\ \mu\text{m}$  および  $1.570\ \mu\text{m}$  の3個の半導体レーザを利用し、合成波長  $80.5\ \mu\text{m}$  および  $42\ \text{mm}$  に対して、測定分解能  $0.1\ \mu\text{m}$  および  $10\ \mu\text{m}$  を実現した。これらの複数波長と最終的な一つの半導体レーザを、段階的に使用することで数 m の範囲の距離測定を安定性  $30\ \text{nm}$  で実現できた。

最後に、実験的に、パルス干渉計とスーパーヘテロダイン干渉計の比較を実施した。まず、パルス干渉法と安定化半導体レーザを用いたスーパーヘテロダイン干渉法の安定性を比較した。次に、2個の半導体レーザを用いたスーパーヘテロダイン干渉計をパルス干渉計と比較し、半導体レーザを光周波数コムレーザのモードラインに位相ロックした。これらの実験により、2つの干渉計の安定性と精度は同等であることが分かった。

本論文では、光周波数コムレーザを利用したパルス干渉計において、ヘテロダイン技術を用い、 $51\ \text{m}$  の距離を  $1.1\ \mu\text{m}$  の安定性で測定でき、 $403\ \text{m}$  以上の絶対距離を安定性  $6\ \mu\text{m}$  で計測することができた。さらに、絶対距離を決定する手法の提案も行った。次に、光周波数コムレーザを標準およびプローブ光として利用した、スーパーヘテロダイン干渉計による距離測定手法を提案した。光周波数コムレーザと複数の半導体レーザのビート信号をヘテロダイン信号として利用し、合成波長による段階的な距離測定を実現し、 $30\ \text{nm}$  の高精度な距離測定が実現した。将来的には、より厳密な測定精度の評価が必要となる。特に空気の屈折率、振動などの環境の影響を評価する必要がある。

これらの研究成果は、高速、高精度で絶対測長を可能にし、光周波数コムレーザを利用することでトレーサビリティを確保できる手法である。今後、広い範囲の産業における利用が期待できる。

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。