



Title	Studies on optimization of Nyquist multi-pulse optical probe and measurement instrument for ultrafast direct temporal waveform measurement
Author(s)	高橋, 考二
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/76508
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名（高橋考二）	
論文題名	Studies on optimization of Nyquist multi-pulse optical probe and measurement instrument for ultrafast direct temporal waveform measurement (超高速時間波形直接計測に適したナイキストマルチパルスプローブ光生成と計測器構成デバイスに関する研究)
論文内容の要旨	
<p>本学位論文では、高い時間分解能と信号対雑音比を有する時間波形を直接測定することを前提とした超高速シングルショット計測の実現を背景とし、時間波形の直接計測に用いるプローブ光の最適化とその生成方法の創出を中心に、新しいプローブ光に合わせた光パルス波形計測器の最適化として、シリコン系光導波路の導入とその周辺技術の検討を行った。プローブ光の最適化として、時間分解能と信号対雑音比を向上させる以下の3条件を満たすマルチパルスの生成方法を提案、実証した（条件：1）稠密なパルス間隔、2）高いエネルギー、3）高い強度安定性）。また、プローブ計測の実用性を向上させるために、シリコン系導波路の導入することで、光パルス波形計測器の集積化を検証した。</p> <p>第一章では、時間波形を直接計測する超高速シングルショット計測において、高い時間分解能での計測を実現する最適なプローブ光として、光ナイキストマルチパルスを導入した。光ナイキストパルスは、パルス間干渉の影響を受けることなく、稠密な時間多重を実現することができるため、条件1）の稠密なパルス間隔を達成すること可能である。あらゆるパルス形状の中で最も稠密なパルス間隔を実現できる光ナイキストマルチパルスをプローブ光として用いることで、高い時間分解能でのプローブ計測を実現可能であることを示した。</p> <p>第二章では、条件2）を満たし、高い信号対雑音比でのプローブ計測を実現するために、低損失な光ナイキストマルチパルス生成法を提案した。提案手法による損失量の改善について、数値計算と実験による実証結果を示した。</p> <p>第三章では、高い信号対雑音比でのプローブ計測を実現する上で重要となる条件3）強度安定性を、提案手法によって生成した光ナイキストマルチパルスに対して評価した結果について述べた。マルチパルスの強度安定性に依存して変化するアイパターンを測定し、その結果からマルチパルスの強度安定性を議論した。</p> <p>第四章では、超高速現象の測定に適したフェムト秒オーダのパルス間隔をもつ光ナイキストマルチパルス生成を試みた結果について示した。フェムト秒オーダのパルス間隔をもつ光ナイキストマルチパルスは、光学素子の波長分散によってその波形が歪みやすいため、プローブ計測の精度低下をもたらすことが懸念される。この課題を解決するために、フィードバック制御システムを構築し、フェムト秒オーダのパルス間隔をもち高精度な光ナイキストマルチパルスの生成を行った。</p> <p>第五章では、近赤外域において、光ナイキストマルチパルスの生成を実証した結果について述べた。二、三、四章では、空間的な影響を考慮する必要のないファイバ光学系で構成される通信波長帯で提案手法の原理実証をおこなってきたが、プローブ計測には空間光学系で構築される様々な波長帯のレーザが用いられる。本章では、利用頻度の高い近赤外域において、空間光学系特有の課題である集光過程における波形の歪みを補償した結果について示した。</p> <p>第六章では、新しいプローブ光に合わせた光パルス波形計測器の最適化として、シリコン系光導波路の導入に向けた検討内容について述べた。光パルス波形計測器の小型化を最適化の主目的とし、シリコンナイトライド導波路の作製と、この導波路の光パルス波形計測器としての実用可能性を実証した。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名 (高橋 考二)	
	(職) 氏名
論文審査担当者	主査 準教授 小西 育
	副査 教授 大政 健史
	副査 教授 中山 健一
	副査 教授 菊地 和也
	副査 教授 伊東 忍
	副査 教授 高井 義造
	副査 教授 坂本 一之
	副査 教授 渡部 平司

論文審査の結果の要旨

本論文では、高い時間分解能と信号対雑音比を有する時間波形を直接測定することを前提とした超高速シングルショット計測の実現を背景とし、時間波形の直接計測に用いるプローブ光の最適化とその生成方法の創出を中心に、新しいプローブ光に合わせた光パルス波形計測器の最適化として、シリコン系光導波路の導入とその周辺技術の検討を行っている。プローブ光の最適化として、時間分解能と信号対雑音比を向上させる以下の3条件を満たすマルチパルスの生成方法を提案、実証している（条件：1）稠密なパルス間隔、2）高いエネルギー、3）高い強度安定性）。また、プローブ計測の実用性を向上させるために、シリコン系導波路の導入することで、光パルス波形計測器の集積化を検証している。得られた結果を要約すると以下のとおりである。

1. プローブ光に稠密な時間多重を実現することができる光ナイキストマルチパルスを導入することにより、プローブ計測における時間分解能を、理論限界値（パルス幅と同等）にまで向上できることを示している。
2. 光ナイキストマルチパルス生成に伴う損失量を改善する手法を提案し、多重化数10の場合に、損失量を10 dBから1.3 dBに改善している。この光損失量の改善は、プローブ計測におけるSN比を大幅に向上させる。
3. 提案手法によって生成した光ナイキストマルチパルスを評価し、高い強度安定性を確認している。
4. 超高速現象の測定に適したフェムト秒オーダのパルス間隔をもつ光ナイキストマルチパルス生成を試み、プローブ計測系を想定した光学系において、300-fs間隔のナイキストマルチパルスをフィードバック制御により高精度に生成することに成功している。
5. 近赤外域に対応した高い波面精度をもつスペクトル制御器を構築し、レーザ加工において利用頻度の高い近赤外域において提案手法を実証している。
6. 新しいプローブ光に合わせた光パルス波形計測器の最適化として、光パルス波形計測器の小型化に取り組み、シリコンナイトライド導波路の作製と、この導波路の光パルス波形計測器としての実用可能性を実証している。

以上のように、本論文は、提案手法によって生成される光ナイキストマルチパルスをプローブ光として用いることで、時間波形直接計測に基づく超高速シングルショット計測における時間分解能とSN比を向上できることを示している。本研究で得られた知見は、科学技術の発展に不可欠な様々な超高速物理現象の解明に繋がることが期待される。これらの成果は、特にフォトニック情報工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。