

## 超高速光サンプリング技術とその応用に関する研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-04-11 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 太田, 裕之 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10297/1452">http://hdl.handle.net/10297/1452</a>

氏名・(本籍)	太 田 裕 之 (静岡県)
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	工博乙第 93 号
学位授与の日付	平成 12 年 12 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	超高速光サンプリング技術とその応用に関する研究

論文審査委員	(委員長)		
	教授	渡 邊 健 蔵	教授 長 村 利 彦
	教授	大 坪 順 次	助教授 坂 口 浩 司
	教授	岡 本 尚 道	

## 論 文 内 容 の 要 旨

今日のインターネットの普及により、種々の情報が容易に得られるようになっている。しかしながらインターネットのコンテンツにはまだ大幅なる改良、革新の必要性があり、そのために情報伝送量は今後ともさらに増大していくものと思われる。そのためには基幹伝送系の超高速、大容量化が求められ、伝送路、伝送装置の評価手法の一つとしての超高速波形観測装置の必要性が高まっていくものと思われる。本論文は、これらの要求に応えるべく、将来の超高速伝送の160Gb/s以上の光波形観測を行うことができる超高速光サンプリング技術に関し、筆者が行った研究成果をまとめたものである。

第一章では、基幹伝送網の状況、研究動向について述べ、本研究の必要性、意義を明らかにした。伝送容量の大容量化、低コスト化のために、長期的な観点から伝送速度を向上させることが最も有効である。これらの研究を推進する上で、伝送装置および伝送線路の評価、調整、運用に必要不可欠な超高速光波形観測装置の研究、開発が求められている。本研究の目的は、次世代の計測器としての光サンプリング技術を提供することを目的としている。

第二章では、超高速光波形観測手法のいくつかを比較し、光サンプリング技術が超高速光信号波形観測装置として最適であることを述べた。さらに、光サンプリング法の原理について述べ、被測定信号光とサンプリング光の繰り返し周波数の関係、サンプリング掃引の相対時間との関係を明らかにした。

第三章では、光サンプリングに用いられる非線形光学結晶内で発生する非線形分極の詳細について述べ、和周波光発生原理、変換効率を求めた。非線形分極は結晶構造によって支配され、結晶の非

対称性が非線形分極を生み出していることを述べた。

また、和周波光発生の変換効率の理論式を導出した。変換効率は非線形光学定数が重要であることを示した。さらに、発生した和周波光の位相整合を取る必要があることも示した。本論文では非線形光学結晶として、それぞれ特徴的な長所があるKTPとPPLNを用いて比較を行っているので、それぞれの位相整合条件について理論値、実験値との比較、検討を行った。

第四章では、光サンプリング用サンプリング光源に求められる特徴を示し、利得スイッチング法、CW光注入によるタイミングジッタの抑圧、正常分散光ファイバを利用した光パルス増幅、光パルス圧縮を用いて発生した光パルスがサンプリング光源として最適であることを示した。

第五章では、第二章から第四章までに述べた光サンプリングの原理、光サンプリングに必要な非線形光学結晶、サンプリング光としての超短パルス光の発生技術を用いてKTPによる光サンプリングシステムを構成した。10Gb/s光信号波形を観測した結果、精度良く光波形を観測することができ、時間分解能1.25ps、周波数応答特性として310GHz、システムジッタ160fs、波長感度特性として35nmが得られた。最低受光感度は3mWと、高感度であった。さらに、200Gb/s光信号のアイ波形観測を行った。その結果、十分なアイ開口度が得られ、200Gb/s光信号の波形観測が可能であることを示した。

第六章では、将来の超高速光信号波形観測装置としてさらなる高感度化、高時間分解能化のニーズが予想され、PPLNを用いた光サンプリングシステムが一つの解としてなり得る可能性を示した。最低受光感度としてKTPを用いた場合の約四倍の800 $\mu$ Wを達成し、1mWの光ピークパワーでも光波形観測が可能であることを示した。また、この時の波長感度帯域幅は22.5nmであったので、実用上問題がない値と考えられる。時間分解能はサンプリング光パルス幅とほぼ同じ1psを達成することができた。PPLNの群速度遅延が非常に小さいため、さらなる高時間分解能化にも有利であることを示した。

第七章では、PPLN応用の一つとして最も一般的な第二高調波光発生について述べた。1550nmの半導体レーザから利得スイッチング法によって発生した光パルスを用いることによって、波長775nm、平均光パワー4.9mWが得られた。なによりの特徴として、半導体レーザの利得スイッチング駆動法を用いているため、繰り返し周波数100MHzは電気信号源と同期が可能であり、また広い繰り返し周波数可変幅を得ることができる。また小型、安価、低ジッタな光源であるため、光サンプリング、EOサンプリングなど、各種装置の光源として、またはそれほどの光パワーが必要ではない場合のチタンサファイアレーザへのリプレースが期待される。

以上、本論文では将来の超高速光信号伝送の研究、製造、運用に必要な超高速光波形観測装置としての光サンプリング技術の原理、構成、性能について、基礎資料、設計指針を与えた。これにより、将来の超高速光信号伝送の一助になるものと期待している。また、光サンプリングシステムに用いられる非線形光学結晶の応用としての第二高調波光の発生によって、各種計測技術の発展に期待したい。

今後、さらなる超高速化、高感度化のニーズが高まるものと思われる。光計測技術向上のため、超短パルス光技術、非線形光学技術等のさらなる研究が重要である。

## 論文審査結果の要旨

高度情報化社会に向けて、光時分割と波長多重技術を併用した100Gbps (Gigabit per second) 以上の光伝送系が研究されている。このような高速・大容量光伝送系の品質評価法の一つにアイ波形観測がある。本論文はアイ波形を観測するための超高速光サンプリング技術に関する研究成果をまとめたものであり、全8章から成る。

第1章は序論で、本研究の背景である光通信技術の現状と動向をまとめ、本研究の意義を明らかにしている。第2章では超高速光波形観測手法を展望し、3ps以上の時間分解能を得るには被測定光信号を光パルスでサンプリングする本手法が最適であることを指摘し、そのシステムの構成と設計指標を述べている。光学系はサンプリング部とサンプリング光発生部から成る。第3章はサンプリング部について述べ、信号光(1534nm)とサンプリング光(1550nm)を非線形光学結晶内で混合し両者の周波数の和の成分(771nm)をサンプリング信号として効率よく取り出すための位相整合条件を導き、KTP (KTiOPO<sub>4</sub>)とPPLN (Periodically Polled LiNbO<sub>3</sub>)を用いた実験によって解析結果を立証している。第4章は利得スイッチング半導体レーザと光ファイバー増幅器から成るサンプリングパルス発生部について述べ、レーザへの連続光注入によるジッタ低減と異常分散光ファイバによる線形圧縮技術を用い、パルス幅0.98ps、タイミングジッタ178fs、平均パワー40mWのサンプリング光を得ている。

非線形光学結晶としてKTPを用いた光サンプリングシステムを第5章で、PPLNを用いたシステムを第6章で述べている。受光部にはいずれも帯域160MHzのフォトダイオードが用いられている。性能評価はパルス幅6ps、10Gbpsの光信号のアイ波形観測によって行い、KTPを用いたシステムでは時間分解能は1.25ps、ジッタは160fs、信号対雑音比17dBを得るための最低受光感度3mW、波長感度帯域幅は35nmであり、一方、PPLNを用いたシステムでは、それぞれ1.0ps、160fs、800 $\mu$ W、22.5nmである。これらの値は両システム共に160Gbpsまでの光信号波形が観測できることを示しており、実際に10Gbpsの信号を16多重した波形のアイ観測によって立証している。システムの時間分解能を向上するにはより狭いサンプリング光パルスが必要である。その1つとして、第7章で第2高調波を用いる方法を述べ、パルス幅0.98ps、波長1550nmの光をPPLNに入射し、パルス幅650fs、波長775nmのサンプリング光を得ている。変換効率は4.9%である。第8章は結論で、以上の研究成果をまとめると共に今後の展望に触れている。

以上述べたように、本研究で開発された光サンプリング技術と短パルス光波形観測システムはこれらの超高速光信号伝送には不可欠であり、その工学的評価は極めて高い。よって、博士(工学)の学位を授与するにふさわしい内容であると認める。