

テラヘルツ波光源のための半導体レーザー制御技術の可能性調査研究

安達 雅 浩*¹

松 延 剛*²

野 田 純 也*³

【要 旨】

テラヘルツ波はおよそ 300GHz～10THz の周波数帯域の電磁波であり、電波と光波の中間的な性質を有し、そのさまざまな優位性・有用性についての成果も数多く、今後は実用化に向けた普及期に近い技術であると考えられる。現在テラヘルツ波の発生・検出にはフェムト秒レーザーを用いた時間領域分光法が多く用いられているが、装置が大型・高価であるため、幅広い分野への適用や展開を検討するには困難を伴うのが現状である。そこで本可能性調査研究においては、比較的安価な半導体レーザーの高速パルス発生手法によるテラヘルツ波光源への適用を検討し、実用化への可能性を調査したので報告する。

1 はじめに

テラヘルツ波は、300GHz～10THz の周波数帯域の電磁波であり、水の吸収スペクトルを有する一方で、金属には反射することから、両者に対して不透明な電磁波であるが、プラスチックや紙・布に対しては透過することから、X線に代替する非破壊検査が可能となる。また、巨視的な分子に対する吸収スペクトルを有することから、薬物や爆発物に対して指紋スペクトルと呼ばれる固有スペクトルと照合することが可能であり、空港での荷物検査や郵便物の内容物の非破壊検査にも導入されている事例がある。また、周波数利用の観点からも未開拓の帯域であり今後高速無線通信技術として期待が高まっている。このようにテラヘルツ波はさまざまな優位性・有用性があり、その利用範囲は幅広い分野に应用が期待されているが、現在の装置構成では大型・高価であることと、まだまだ技術開発要素が多いことから、アプリケー

ション開発にまで広がっていないことが課題である。今後は技術開発レベルが向上していくと同時にアプリケーション開発も同時並行的に進めるためにも、テラヘルツ波を身近に利用できる環境整備が必要である。本可能性調査研究においては、そのような環境整備の一端を担うために、最も実用化に近い高速パルス光を用いた時間領域分光法におけるフェムト秒レーザーの小型化・低価格化を実現するために、半導体レーザーの高速パルス発生手法によりテラヘルツ波光源のための最適化を検討した。

2 実験方法及び結果

半導体レーザーにパルス駆動電流を注入すると、駆動電流の波形に依存せず、高速パルスを発生可能なゲインスイッチングの手法を図1に示す。最適なゲインスイッチング発振させるため、バイアス T で RF（高周波）に DC 重畳を可能にしている。また発生パルスの観測のために構成した実験構成を図2に示す。

*1 応用技術課 副主査

*2 応用技術課 主任研究員

*3 応用技術課 技師

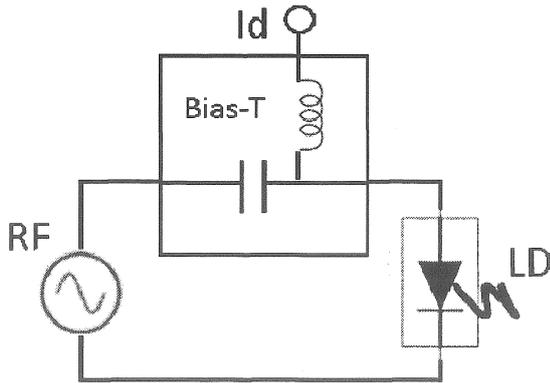


図1 ゲインスイッチングパルス発生手法

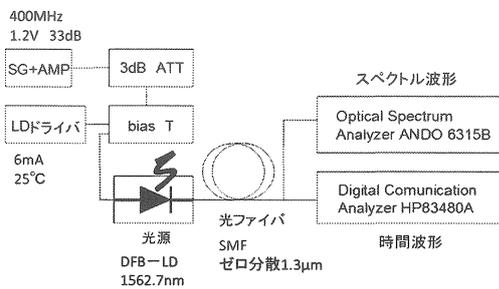


図2 パルスを観測するための実験構成

半導体レーザーは CW 駆動時 20mW、中心波長 1562.7nm の DFB レーザーを用いている。信号発生器 (SG) からの出力を高周波アンプにて増幅できる構成を行い、400MHz 正弦波の振幅強度を可変しながら、また LD ドライバにより温度固定 (25°C) ・バイアス電流を可変しながらパルス発生最適化を図った。3dB アッテネータ (ATT) は、高周波信号の伝送線路内での定在波抑制のために挿入した。ゲインスイッチングパルスは、ゼロ分散 1.31 μ m の SMF を伝送した後、光スペクトラムアナライザ (安藤電気 6315B) でスペクトル波形と光サンプリングオシロスコープ (HP83480A) で時間波形をそれぞれ同時に観測した。その観測結果を図 3、図 4 に示す。最も早く立ち上がっているパルスを拡大したところ半値全幅 (FWHM) は図 5 のとおり 30ps であった。

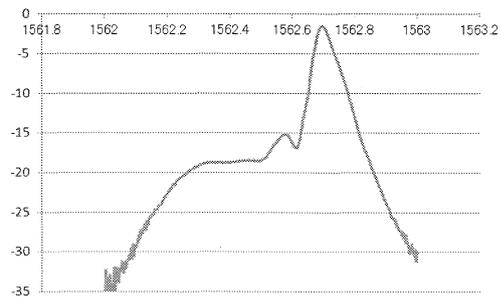


図3 光スペクトラムアナライザ波形

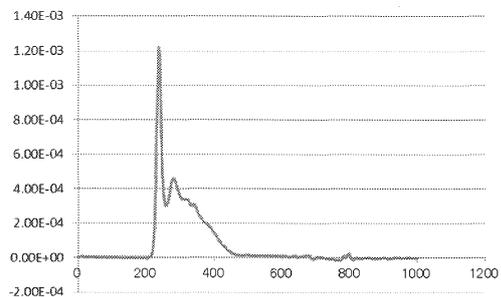


図4 光サンプリングオシロスコープ波形

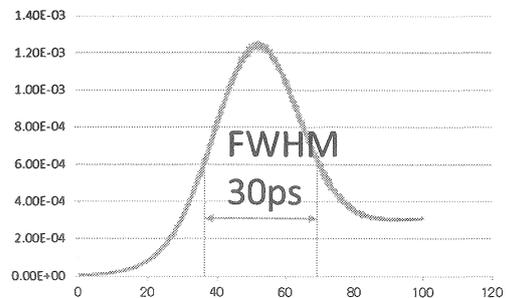


図5 第1パルス部波形拡大

ゲインスイッチングパルスは、短波長側が早く、長波長側が遅く進むレッドシフトチャープと呼ばれる状態の光パルスになっている。これは図 3 において、短波長側のフラットな部分が図 4 の 2 つに分かれた光パルスの 1 番早く応答している光パルス、2 番目の光パルスが図 3 における長波長側スペクトルを含んでいると考えられる。チャープ

を含んだ光パルスは各波長に対して異なる屈折率として振る舞い、光ファイバ中を伝送することで波長毎のスピードが異なってくる。このことから図6に示すようにゲインスイッチングで発生した光パルスは、波長・距離に応じて伝送スピードが変わる分散量を補正することで、本来有する最も速い応答パルス（フーリエ限界パルス）に圧縮することが可能である。

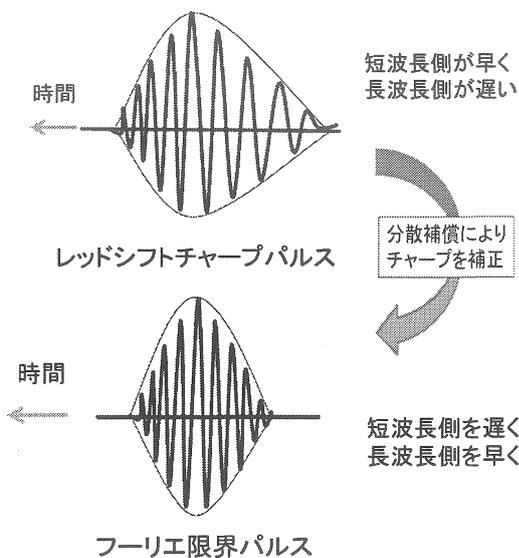


図6 光パルスの分散補償による圧縮化

今回用いている光ファイバはゼロ分散波長が $1.31\mu\text{m}$ で、使用波長である $1.5\mu\text{m}$ 帯においては $+20\sim 30\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 程度となる。分散補償値は、CW動作をさせたときの変調前 ($\Delta\lambda 1$) とゲインスイッチング動作をさせた変調後 ($\Delta\lambda 2$) のスペクトルの広がり（自乗の差）がチャープ量の自乗として見積もることができる。今回 $\Delta\lambda 1 : 0.156\text{nm}$ 、 $\Delta\lambda 2 : 0.344\text{nm}$ としたときの分散補償値は、 $-100\text{ps}/\text{nm}$ として見積もることができたので、分散補償を $-1700\sim +1700\text{ps}/\text{nm}$ 可能なFBG分散補償モジュールを用いて光パルス的高速化の実験構成を図7のとおり行った。

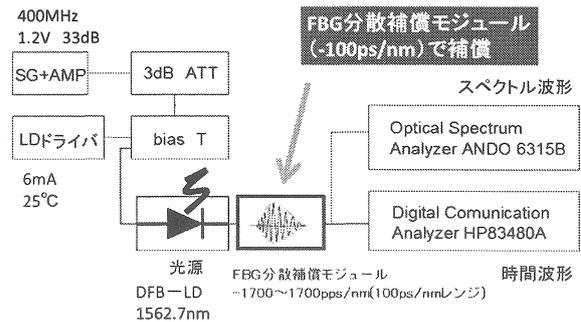


図7 チャープ補償による圧縮パルス光の観測のための実験構成

図7による実験構成において、FBG分散補償モジュールの分散補償量を可変しながら光パルスの圧縮化及びスペクトル波形の観測を行った。FBG分散補償モジュールのチューニングレンジは $100\text{ps}/\text{nm}$ であり、微調整は不可である。しかし、この実験構成において観測した波形は、モジュール内やファイバ接続点等における反射の影響が大きく、分散補償のための制御が困難であり、パルス圧縮を確認することができなかった。そのため、分散補償量を固定的ではあるが負分散にすることが可能な分散補償ファイバ（DCF）を用いて再度実験構成を行った。今回準備できたDCFが $-30\text{ps}/\text{nm}$ で、図8に実験構成を示す。また、この実験構成で得られた光パルス波形を図9、図10に示す。

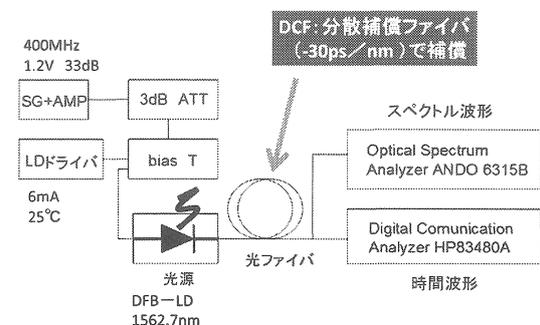


図8 DCFによる圧縮パルス光の観測のための実験構成

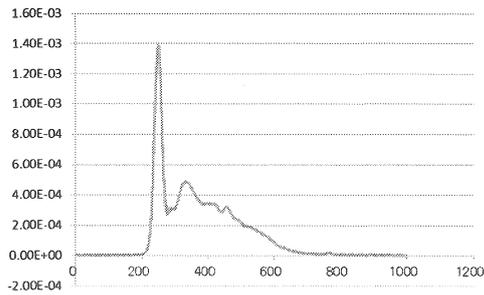


図9 DCFによる分散補償光パルス波形

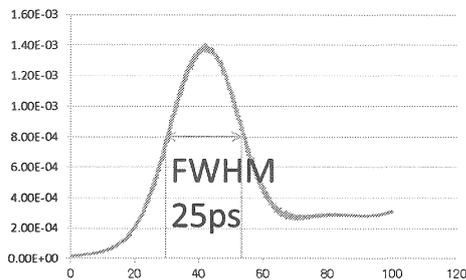


図10 第1パルス部波形拡大

図9において、分散補償前の図4と比較すると、第1パルスと第2パルスの間隔が広がっており、第2パルス自体も若干なまっているように見える。また図10において、同様に分散補償前の図5と比較するとFWHMが30psから25psとなっており、光パルス幅が狭くなっていることが確認できた。負分散量を補償することで、パルス圧縮されたことがわかる。さらに最適化を図ると、第1パルスと第2パルスは整合され、フーリエ限界パルスまでパルス圧縮することが可能であると考えられる。図3において、光スペクトルの広がりには約0.1THzであり、ガウス近似 ($\Delta f/\Delta t=0.441$) においてフーリエ限界パルスは4.4psと見積もることができる。今回の実験構成においては、このパルス圧縮まで達成することができなかったが、DCF長を最適化することにより実現可能であると考えられる。

3 まとめ

今回テラヘルツ波時間領域分光のための高速光パルスの発生法として、半導体レーザーのゲインスイッチングパルス発生手法と分散補償ファイバによるチャープ補償を行い、FWHM30psから25psのパルス圧縮を実現した。今後は、フーリエ限界パルスまでのパルス圧縮についてDCFの最適化を図りながらテラヘルツ波の時間領域分光法のための光学系を構築していく予定である。

(参考文献)

- 1) 伊藤 弘昌, 村田 茂, 横山 弘之, 稲葉 文男, “高周波変調にもとづくAlGaAs半導体レーザーからの超短光パルス発生,” 応用物理 50(1981)18
- 2) 安達 雅浩, 黒川 悟ほか, “近赤外光パルスを用いた分光分析に関する可能性について”, 京都府中小企業総合センター技報, 31, 15 (2003)
- 3) 齊藤富士郎, “超高速光デバイス,” 共立出版株式会社(1998)