

高速半導体全光ゲートを応用した

新しいモードロック光パルス発生方式

Mode-locked pulse generation with an ultrafast semiconductor all-optical gate

上野芳康、鈴木励、大平高志、坂口淳

電気通信大学大学院 コヒーレント光科学の展開, e-mail: ueno@ee.uec.ac.jp

1 はじめに

従来の半導体レーザやファイバーレーザと異なる独自の光パルス発生原理に着目し、160GHz 以上と超高周波で高精度・高効率なモードロック光パルス発生方式の実現を目指している。これらは、超高精度な計測技術、及び、超高速な情報通信技術の両分野にとって魅力的な研究課題と考えている。最近の成果と今後の展望を紹介する。

2 本研究の光パルス発生原理と特徴

本研究の DISC-Loop 型パルス発生器¹は、DISC 型偏光変換器を内蔵するリング共振器と外部 cw 光源からなる(図 1)。DISC 型偏光変換器の全光ゲート動作の起源は、DISC 型全光波長変換器²と概ね同一であり、変換器内部の半導体光増幅器(SOA)の共鳴非線形屈折率変化(バンド充填効果)と光干渉(MZI)である。偏光変換器に TE 偏光パルスと TM 偏光 cw 光を入力すると、cw 光が光パルスに変調され、cw 光が TM 偏光パルス光に変換される。変換出力パルスの幅は、変換器内部の MZI の遅延時間(Δt)に概ね一致する。MZI の作用により、共鳴非線形屈折率変化の緩和時間(\approx キャリア寿命, $\tau_c \approx 100\text{ps}$)よりもはるかに短い出力パルスの発生($\Delta t \ll \tau_c$)が可能となる³。

図 1 に示す DISC-Loop 型パルス発生器の内部で偏光変換器出力を偏光変換器入力へ帰還し、さらに正帰還条件を成立させると、光パルスが発生する。光パルスの中心光周波数は外部 cw 光周波数 f_0 に一致し、パルス幅は MZI 遅延時間 Δt に一致し、周波数はエタロン周波数 Δf に一致する。

従って本原理の第 1 の特徴は、中心光周波数とパルス幅の可変制御性である。本方式の光周波数：繰返し周波数：リング共振周波数の相対比率を $10^8:10^4:1$ 程度の等比数列に並べ易い点も、高精度制御上の利点となる可能性がある。

本原理の第 2 の特徴は、特殊な光学材料や部品を必要とせず、SOA や MZI などの従来型標準材料と部品で構成可能なことである。この特徴は、光情報処理機能を大規模集積化する際に、大きな利点となる。光パルス波長を可視から紫外領域へと大きく展開することも、原理的に可能と考えられる。

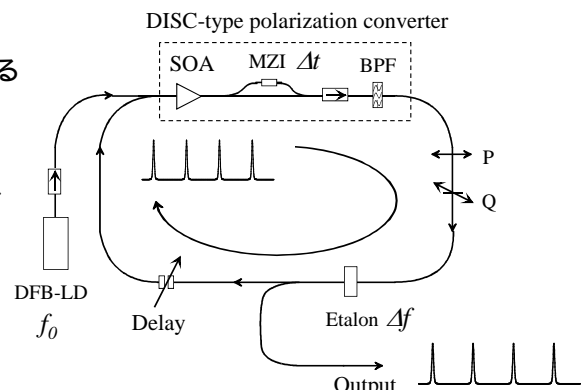


図1 DISC-Loop型パルス発生器の原理的構造¹



図2 研究試作機(ファイバー結合構成)

3 最近の成果

本方式の実用化構造は光集積回路構造と考えているが、現在は基礎研究段階であるため、実験的な自由度と機動性においてはるかに勝るファイバー結合構成のパルス発生器(図 2)を試作し、多角的な研究を進めている。ただし当面のファイバー結合損失と偏光変換損失を補償するため、図 1 の原理的構造に光ファイバー増幅器を加えている。電気通信大学における最近の研究では、

- (1) 10GHz パルスの光スペクトル中心の強度歪を解消、フーリエ限界に接近、
 - (2) パルス出力強度の閾値現象を観測し、閾値条件の妥当性(帰還率 ≈ 1)を確認、
 - (3) 消光比の高い 40GHz, 5ps パルス発生に成功(図 3)、
- 等の進展を得ている⁴。

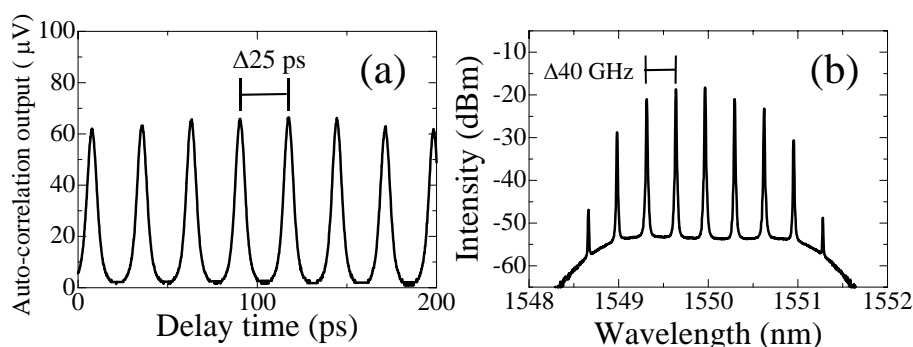


図3 40GHz, 5ps出力パルス
(a) 自己相関波形、(b) 光スペクトル

4 今後の展望

過去の DISC 型波長変換実験(波長 1.55μm)では、繰返し周波数 168GHz(世界最高)、変換出力パルス幅 1.5ps(世界最短)、制御入力パルスエネルギー 1fJ/pulse の高速・高効率性能が達成されている³。従って同一の半導体全光ゲート原理に基づく DISC-Loop 型パルス発生器は、繰返し周波数 160GHz 以上、パルス幅 1.5ps 以下の将来性を有すると考えられる。

本研究のパルス発生方式の基礎特性と将来性に関連するいくつかの課題を、現在並行して研究している。DISC 波長変換器の高速出力波形形成モデル⁵や透過率特性モデルの体系的研究(一部、国際共同研究)、半導体光増幅器のキャリア・光子変換損失要因⁵を究明する基礎研究(産学連携共同研究)、ナノテク光材料を全光ゲートに応用する超高速光学評価研究(チーム研究)などの今後の進展が、本研究のパルス発生方式の展開に大きく貢献すると期待している。

¹ Y. Ueno, S. Nakamura, and K. Tajima, '5-ps, 10-GHz pulse generation from an all-optical semiconductor switch embedded in a ring cavity,' Appl. Phys. Lett., vol. 79, no. 16, pp. 2520-2522, Oct. 2001.

² Y. Ueno, S. Nakamura, and K. Tajima, "Record low-power all-optical semiconductor switch operation at ultrafast repetition rates above the carrier cutoff frequency," Opt. Lett. vol. 23, no. 23, pp. 1846-1848, Dec. 1998.

³ Y. Ueno, S. Nakamura, and K. Tajima, 'Ultrafast 168-GHz 1.5-ps 1-fJ Symmetric-Mach-Zehnder-type all-optical semiconductor switch,' Jpn. J. Appl. Phys. vol. 39, part 2, no. 8A, pp. L806-808, August 2000.

⁴ R. Suzuki, S. Kobayashi, J. Sakaguchi, and Y. Ueno, 'Threshold condition for pulse generation from a DISC-loop-type pulse generator,' IQEC/CLEO-PR, July 11-15, 2005, Tokyo, paper CMF1-4, pp. 1522-1523、及び、鈴木励ほか、DISC 型全光偏光変換器を利用した 40GHz, 5ps モードロックパルス発生、本シンポジウムでポスター発表予定。

⁵ J. Sakaguchi, M.L. Nielsen, T. Ohira, R. Suzuki, and Y. Ueno, 'Observation of small sub-pulses out of the delayed-interference signal-wavelength converter,' Jpn. J. Appl. Phys vol. 44, no. 44, 2005, pp. L1358-1360、及び、坂口淳ほか、超高速全光半導体ゲート内部の注入キャリア - 光子変換効率の新しい評価方法、本シンポジウムでポスター発表予定。