

論文内容の要旨

博士論文題目 外部共振器 VCSEL の高速自己変調

氏 名 劉 涛

(論文内容の要旨)

光パルスは光通信、計測、センシングなど広い分野で使われている。特に光通信の信号処理において、速度や消費電力の問題を解決するために、光パルス発生的高速化、低コスト化が望まれている。本研究では、外部共振器 VCSEL を用いて、全光型で高速かつ周波数調整ができる光パルスの発生を目指し、以下の成果を得た。

① 平面鏡を外部光共振器として用い、外部共振器長が異なる場合の光パルス発生を調べた。外部共振器が長い場合、偏光自己変調により最高 4 GHz 程度の光パルスが発生できた。外部共振器長を短くすると、偏光自己変調によるパルス発生は不安定になり、発振波長の異なる二つのモードによる出力変調が観測された。さらに外部共振器長を短くすると、安定な出力変調が得られ、二つのモードのビートによることが分かった。

② 高速光パルスを発生するため、コリメートレンズを使用せず、自己集光機能を持つ凹面鏡を使用した。曲率半径が 5.08 mm の凹面鏡で、12 GHz 程度の出力変調が得られた。詳細な測定と検討から、この場合の出力変調は二つの波長の異なる外部共振器モードのビートによることが分かった。外部共振器 VCSEL の発振波長は VCSEL 共振器と外部共振器の競合で決まる。得られた光パルスは 90% 程度の高い変調度を持っている。外部共振器をさらに短くするために、ボールレンズを加工した半球ミラーを用いた。平面鏡で共振器長を短くした場合、及び凹面鏡を用いた場合と同様に、ビートにより光パルスが得られ、半径 3 mm のボールレンズで最高 15.3 GHz の出力変調が得られた。

③ 外部共振器長を短くすると、出力変調の原理が変わることが実験で明らかになった。この現象を理解するために、二モードレート方程式を用いて偏光自己変調を解析した。強い相互利得飽和係数を持つ VCSEL ではパルス発振が得られやすく、光出力の波形は矩形波に近い。戻り光の強度、キャリア注入率を高くすることで、偏光自己変調が生ずる上限周波数が高くなった。キャリア注入

率が低い場合、偏光自己変調が生ずる上限周波数は VCSEL 単体の緩和振動周波数に影響されていることが分かった。従って、低閾値 VCSEL を用いると、高注入電流で動作できるため、周波数のより高い偏光自己変調を得られる可能性がある。外部共振器長が長い場合、偏光自己変調の周波数は外部共振器長により定まり、実験と計算結果が良い一致を示した。

氏名	劉 涛
----	-----

(論文審査結果の要旨)

光パルスは光通信、計測、センシングなど広い分野で使われている。特に光通信の信号処理において、速度や消費電力の問題を解決するために、光パルス発生的高速化、低コスト化が望まれている。本論文では、外部共振器 VCSEL を用いて、全光型で光パルスを発生し、その高速化を実現し、数値計算との比較により発生原理に関する知見を得ることを目的としている。

まず、平面鏡を外部光共振器として用い、外部共振器長が異なる場合の光パルス発生を調べた。外部共振器が長い場合、偏光自己変調により最高 4 GHz 程度の光パルスが発生できた。外部共振器長を短くすると、偏光自己変調によるパルス発生は不安定になり、発振波長の異なる二つのモードによる出力変調が観測された。さらに外部共振器長を短くすると、安定な出力変調が得られ、二つのモードのビートによることが分かった。

次に、高速光パルスを発生するため、共振器長を短くする制限となる共振器内のコリメートレンズを使用せず、自己集光機能を持つ凹面鏡を使用した。曲率半径が 5.08 mm の凹面鏡で、12 GHz 程度の出力変調が得られた。詳細な測定と検討から、この場合の出力変調は二つの波長の異なる外部共振器モードのビートによることが分かった。外部共振器 VCSEL の発振波長は VCSEL 共振器と外部共振器の競合で決まる。得られた光パルスは 90% 程度の高い変調度を持っている。外部共振器をさらに短くするために、ボールレンズを加工した半球ミラーを用いた。平面鏡で共振器長を短くした場合、及び凹面鏡を用いた場合と同様に、ビートにより光パルスが得られ、半径 3 mm のボールレンズで最高 15.3 GHz の出力変調が得られた。

実験の結果から、外部共振器長を短くすると、出力変調の原理が変わることが明らかになった。この現象を理解するために、二モードレート方程式を用いて偏光自己変調を解析した。強い相互利得飽和係数を持つ VCSEL ではパルス発振が得られやすく、光出力の波形は矩形波に近い。戻り光の強度、キャリア注入率を高くすることで、偏光自己変調が生ずる上限周波数が高くなった。キャリア注入率が低い場合、偏光自己変調が生ずる上限周波数は VCSEL 単体の緩和

振動周波数に影響されていることが分かった。従って、低閾値 VCSEL を用いると、高注入電流で動作できるため、周波数のより高い偏光自己変調を得られる可能性がある。外部共振器長が長い場合、偏光自己変調の周波数は外部共振器長により定まり、実験と計算結果が良い一致を示した。

以上のように、本論文では、外部共振器 VCSEL を用い、自己変調により全光型で高速な光パルスの発生が可能なことを示した。また、レート方程式を用いた数値解析から VCSEL の緩和振動周波数を高速化することにより偏光自己変調の高速化が可能なことを示した。これらは全光型通信、光センシングに向けた重要な知見である。よって、審査委員一同は、本論文が博士（工学）の学位論文として価値あるものと認めた。