200Hzの狭線幅レーザダイオードを実現するWGM微小共振器

コヒーレンス長の非常に長いレーザは、ライダ、光通信、干渉測定、モニタリングスマート構造、中赤外（MIR）における生体分子センシングなど、多数の用途を有する。長いコヒーレンス長に必要な狭いスペクトル線幅を達成しようとすると複雑で高価なレーザが必要になるが、半導体レーザ設計と組合せると、複雑さとサイズを多少軽減することができる。つい最近、米オー・イー・ウエイブズ社のエンジニアたちは、ウィスパリングギャラリーモード（WGM）微小共振器で安定化させたサブキロヘルツの線幅をもつ、小型／頑丈で、製品価値の高い半導体レーザを開発した。

標準的なバタフライパッケージに組込まれ、光ファイバ（シングルモードまたは偏波保持シングルモード）ピグテールをもつ3mWの生産モデルは共鳴光フィードバックによってHigh-*Q* WGM共振器に結合させた商用レーザダイオード（LD）である。標準波長は通信波長のCバンドとLバンド（いずれも1550nm領域）であるが、この設計自身は非常に多用途であり、これよりはるかに長波長のMIR半導体光源を利用することによって、309～2900nm範囲の波長の狭線幅レーザの作製に利用することができる。

図1　CaF_2でできた結晶WGM微小共振器は無負荷時のQ因子は2×10^9。その極めて高いQによって大きな表面レイリー後方散乱（他の場所での損失を低くすれば、さらに大きなレイリー散乱になる）が起こり、共振器のDFB半導体レーザへの結合が可能になる。その結果、レーザ線幅は200Hz以下まで狭まった。（写真は当初 "Crystalline resonators add properties to photonic devices," Vladimir S. Ilchenko, Anatoliy A. Savchenkov, Andrey B. Matsko, David Seidel, and Lute Maleki, authors; SPIE Newsroom, Feb. 17, 2010; doi: 10.1117/2.1201002.002536に掲載された。）

表面レイリー後方散乱

このWGM共振器はフッ化カルシウム（CaF_2）でできているが（図1）[1]、フッ化マグネシウムをの利用も可能である。分布帰還型（DFB）半導体レーザは、プリズムを介して直径2mmの微小共振器に結合されている。この共振器の*Q*値は無負荷時で約2×10^9であり、プリズム結合によって約1×10^9へと変化した。共振器へのレーザの結合は共振器内の表面レイリー後方散乱の結果としての注入同期によって実現した。

LDと共振器はいずれも、波長の安定性を確保し、2nm範囲にわたるレーザの熱的同調を可能にするために、熱電冷却器上に設置された。この結合によって、LDの自然線幅は1万分の1以下に狭まり、瞬間線幅は200Hz以下になった。長期ドリフトは1日あたり10MHz以下で、このレーザはDC結合で0～20MHzの範囲、AC結合では200MHz～1GHzの範囲で変調可能であった。オー・イー・ウエイブズ社の社長兼CEO、リュート・マーレキー氏は、CaF_2結晶は振動に反応せず、熱安定化を容易にする優れた熱特性と機械特性を持ち、環境的に安定である、と語っている。さらに、レーザのモノリシック構造によってユニット全体が振動に影響を受けない。同社はこれらのレーザを自社のマイクロ波フォトニック製品、フィルタ、発振器、受信器などで使用するために2年間製造を続けてきた。より広い利用を目指し、オー・イー・ウエイブズ社は今年1月にサンフランシスコで開催されたPhotonics West 2011でレーザ試作ユニットを公開した。同社は6月にその最初の生産ユニットを準備する予定である。

マーレキー氏は、「このレーザの非常に重要な特徴は、狭線幅のレーザが存在しないスペクトル領域でも同様に高いコヒーレンスを提供することである。この領域には、現在数kHzの線幅をもつレーザは存在するが、センシングの要求には対応していない1064nmの波長範囲も含まれる。また、2～6μm領域などの他のスペクトル領域では狭線幅レーザが入手不可能である。この領域では、生化学分子に関係する多くのセンシング用途が、この狭線幅レーザが提供する能力によって可能になる」と語っている。

次マーレキー氏によると、このレーザアーキテクチャを強力な半導体レーザや外部増幅器と組合せて、ファイバレーザに匹敵する出力で狭い線幅を実現することが計画されている。オー・イー・ウエイブズ社は、これらのスペクトル領域における分光法、原子物理学、その他の新たに出現した応用を支援するために、可視ならびに紫外（UV）レーザも生産する予定だ。　（John Wallace）

参考文献
（1）W. Liang et al., Opt. Lett., 35, 16（Aug. 15, 2010）.

LFWJ