

線幅 13kHzの小型共振器安定化レーザー

低キロヘルツ領域の線幅を持つレーザーは分光法ならびに計測学(例えば、長さや周波数標準)に有用である。独マックスプランク研究所(MPL)の光科学部門の研究チームは、線幅がわずか13kHzの単純で小型なタイプのレーザーを考案した⁽¹⁾。レーザーはフッ化カルシウム(CaF₂)結晶から成るウィスパリングギャラリモード(WGM)の小型共振器を中心にして組立てられた。CaF₂ WGM共振器をディスク形状にすることによって、Q値を非常に高くすることができた(Q値は共振器減衰の尺度であり、Qが高いほど減衰が少ない)。

このレーザーの組立ては一つの光ファイバリングからなり、関連する光学部品はすべてこのリング内に挿入された(図1)。約1560nmにピークを持ち、広いスペクトル範囲を発振する半導体光増幅器(SOA)はレーザー利得を提供した。SOAは二つの偏光制御(PC)部品間に配置され、光アイソレータはレーザー光の1方向伝送を保証した。ファイバ結合器は循環する光の1%を出力ファイバへと導いた。

研究所内で製造された共振器

レーザーの心臓部はWGM共振器そのものとそこに出入する光を結合させるプリズムである。5mm直径の共振器はMPLの特注装置上で形成され、光学的に研磨された。レーザー光は共振器近くに(接触させずに)配置された二つのプリズムによって共振器内外へと結合され、少量の光が一方のプリズムから共振器へとエバネセント的に結合し、その後、共振器から他方のプリズ

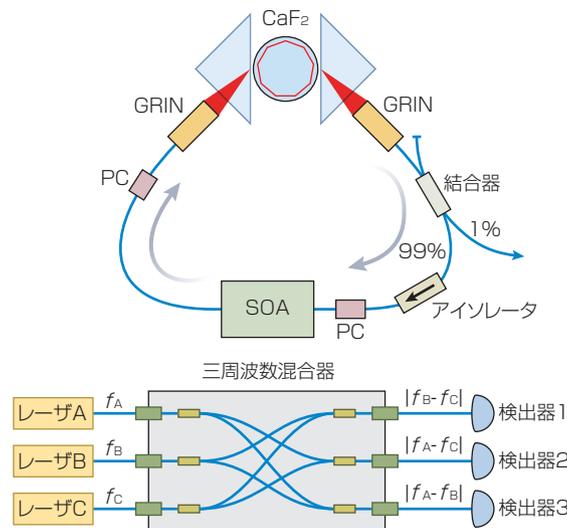


図1 高度に研磨された5mmのCaF₂ディスクは13kHzの線幅を持つ安定化レーザーの心臓部である(上)。三角帽子周波数混合アプローチ(f = 周波数)によって三つのレーザーの線幅が測定された(下)。

ムへ導波されるようにした。ファイバリングからの光は一对の屈折率分布型(GRIN)レンズ経由でプリズムの内または外へと導かれた。プリズムは組立てが単一モードのレーザーを発振するように整列された。1560nm付近のモードがレーザーのモード競争によって自動的に選択された。

この共振器は、温度を制御するために熱電冷却装置上に搭載され、15MHzの受動線幅または 10^7 のQ値が測定された(注:受動線幅は単に共振器の特性であり、レーザーの実際の線幅ではない)。SOAは600mAの電流注入によって励起されると、約10μWの光パワーを1%ポートから放射した。

三角帽子

研究チームは、レーザー線幅の測定に異なる二つの方法を選択した。まず彼らは、いわゆる「三角帽子」測定系をセットし、そこで3種類の光源を互いに

比較し、三つすべての線幅を求めた。CaF₂共振器レーザーに加えて、100kHzの線幅を持つ1550nmダイオードレーザーと特注の回折格子安定化レーザーを考案した。三つのレーザーからの出力は互いにビートしており、そのビート符号が測定され、記録された。アラン分散分析の結果、CaF₂共振器レーザーは10μsで最高時間スケール依存安定性に達し、それより短い時間スケールでは白色位相雑音が高くなり、長い時間スケールでは周波数のランダムウォークが増大することが分かった。この分析は10μsで2kHzの高速(ショートタイムスケール)線幅となることを暗に示した。

二つ目の測定アプローチである遅延線を使ったセルフヘテロダインビートリングは、長期の線幅決定に役立った。ここでは、レーザー光を音響光学変調器で分割し、2分の1の光を100MHzだけ周波数シフトさせ、45kmのファイバ遅延線を通して伝送した。結果としてのセルフヘテロダイン線幅は18kHzであり、固有のガウス線幅は13kHzと計算された。

研究チームは、さらにサブキロヘルツまで線幅を減少させるため、より高いQ値を持つ共振器を使った実験を計画している。彼らは、1530nmの出力が求められるのであれば、SOAをエルビウムドープファイバで置き換えることも可能だと指摘している。

(John Wallace)

参考文献

(1) B. Sprenger et al, Opt. Lett., 35, 17, 2870 (Sept. 1, 2010).