

光照射による量子カスケードレーザの変調

中赤外(MIR)量子カスケードレーザ(QCL)の発振波長(光周波数)の高速変調はその並列なレーザサブバンドと単極性のため困難であり、自己加熱も発振波長の赤方偏移を引き起こすものの熱時定数がマイクロ秒台のため高速変調に利用できない。しかし、幸いにも、米スティーブンス工科大学、中国の重慶大学、カナダの国立研究機構で構成された研究チームによって、フロントファセットに近赤外(NIR)フェムト秒レーザを照射して、MIR QCLの高速波長変調を光学的に誘起する方法が開発された⁽¹⁾。最高1.67GHzの周波数まで波長変調が実現され、QCLは環境センシングや自由空間光(FSO)通信用途にとっても一層魅力的になった。(Laser Focus World 2010年11月号p.51参照)。

光学的に誘起された変調

標準的なMIR QCLの波長変調は、超高速Ti:サファイアレーザをQCLのフロントファセットに垂直から30°傾けて(20 μ mスポットに絞って)照射することによって実現された。820nmのTi:サファイアレーザはパルス幅が100fsで、パルス繰返し周波数が83.3MHzである。変調時には、100fsパルス列はその基本周波数83.3MHzから開始し、約10THzの高調波を含む広帯域の変調周波数源として動作した。

このQCLは、7.6 μ mのピーク波長とコーティングのないファセットを含む2 μ m厚みのコア領域を持つ、標準的な35周期タイプのヒ化インジウムアルミニウム/ヒ化インジウムガリウム(In_{0.52}Al_{0.48}As/In_{0.53}Ga_{0.47}As)ファブリペロー QCLであり、銅ヒートシンク上のエピサイドに搭載された。これを400mA、連続波(CW)

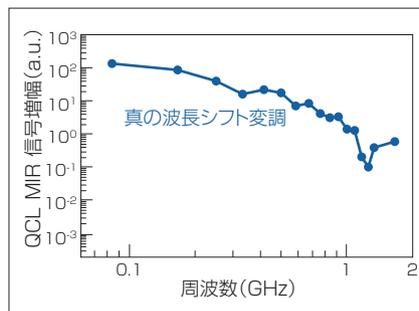


図1 標準的なMIR QCLのフロントファセットへのフェムト秒Ti:サファイアレーザ照射は最高1.67GHzのQCLの光変調を誘起した。1.2GHzのディップはヒートシンクの温度ゆらぎに起因する。(資料提供:スティーブンス工科大学)

モードで動作させた。

平均出力2mWのパルスTi:サファイアレーザをフロントファセットに照射することによって、繰返し周波数83.3MHzのMIR QCLの振幅変調を誘起した。次に、余剰な波長変調を振幅変調に変換するために、ゲルマニウムエタロンをその2枚のセレン化亜鉛レンズ間のMIR QCLのコリメートビーム経路に置いた。エタロンを適切な位置まで回転させると、振幅変調の大きさが1.56から11.38mV(7.5 μ Wの等価光出力)まで7倍以上増加した。エタロンは狭帯域通過フィルタとして機能するため、振幅変調の増加は発振波長幅の広がりまたは真の波長シフトによってのみ誘起される。

波長シフトの証明

観察された変調増加が波長シフト(真の波長変調)によることを直接証明するために、QCLのCWスペクトルとその83.3MHz変調スペクトルをTi:サファイアレーザのさまざまな入射パワーレベル(0.5、1.0、1.5、および2.0mW)で比較した。これらのデータから、観

測された波長シフトを入射パワーレベルに対してプロットした結果は、変調指数のNIRパワーに対する線形依存性を示した。すなわち、変調スペクトルの振幅が変わってもCWスペクトルの幅は一定のままであり、観測された変調がレーザ発振波長の幅の広がりによるのではなく波長シフトによることが証明された。

研究チームは波長シフトを二つの可能な機構で説明している。第1は、NIR Ti:サファイアレーザ照射によって起きるQCL内の光子生成自由キャリアが共振器の屈折率の減少を誘起し、その結果、光学長が効率良く低減され、発振波長が青方偏移した。第2は、光子によって生成したホットキャリアが熱化し、フロントファセット近くのQCL部分から短い波長が放出され、非常に速い変調速度を可能にした。変調QCLの測定において最高1.67GHzの変調速度が確認された(図1)。

スティーブンス工科大学の準教授と研究所所長を兼務するレイナー・マルチャーニ氏は、「電氣的振幅変調に加え、光照射による直接周波数変調が実行可能になったことによって、全く新しい変調の可能性が開かれる。今や、われわれはデータ伝送法を選択し、かなり大きな帯域幅においてならば、衛星リンクですでに知られているような、高品質でロバストなデータ伝送を実現できる。この変調技術から斬新なレーザのコヒーレント制御法や同調法も生まれるはずだ」と語っている。

(Gail Overton)

参考文献

- (1) G. Chen et al., Appl. Phys. Lett., 97, 011102(July 2010).