

光を吸収する エール大学の「反レーザー」

昨年の夏、米エール大学応用物理学教授のA・ダグラス・ストーン氏率いる研究チームは反レーザー、すなわち特定の周波数の光を放射するのではなく逆に吸収するレーザーの基礎にある概念を説明する研究を発表した⁽¹⁾。その後1年も経たない内に、研究チームは、彼らがコヒーレント完全吸収体(CPA)と名づけた、機能する反レーザーの製造に成功した。

ストーン氏の理論チームと密接な協力関係の下でCPAを実現した実験チームを率いるエール大学応用物理学教授のホイ・カオ氏は、「われわれの結果は一定波長をほぼ完全に増強するか、あるいは完全に抑制するかのいずれかにコントロールされた光を実現する新しいアプローチを提案した⁽²⁾。この技

術は、スイッチ、変調器、検出器などより小さな集積シリコン(Si)デバイス、生物学もしくは化学センシング用途における特定波長でのフィルタリングまたは雑音抑制デバイス、ことによると選択的光線療法または熱実験における生物学的組織や他の媒質におけるレーザー光の必要に応じた吸収など、いくつかのアプリケーションを予示している。もちろん、これらの反レーザーのアプリケーションは、それらの影響力が適切に評価される前に、多くの開発が必要になるであろう」と語っている。

「損失」媒質

時間反転対称は、古典電磁気学と非相対論的量子力学における基本的対称性であるため、それはレーザー放射の時

間反転類似物が存在することを示唆している。反転分布とコヒーレントレーザー放射を創り出すために励起光源をレーザーキャビティ内の利得媒質に適用する代わりに、エール大学の研究チームは、利得媒質を入射するコヒーレントレーザービームを完全に吸収し得る「損失媒質」に置き換えた。このCPAは、入射光の周波数とフィールドパターンが正確に時間反転された放射パターンと一致することを要求する。一致しない場合には、吸収は減ることになる。

この時間反転レーザー発振を最も簡単に実現するのは、一端に反射鏡を配置し、他端に一つの入力チャンネルを配置した非対称キャビティによって形成される単一チャンネルCPAである。このタイプのいくつかのデバイスは非対称フ

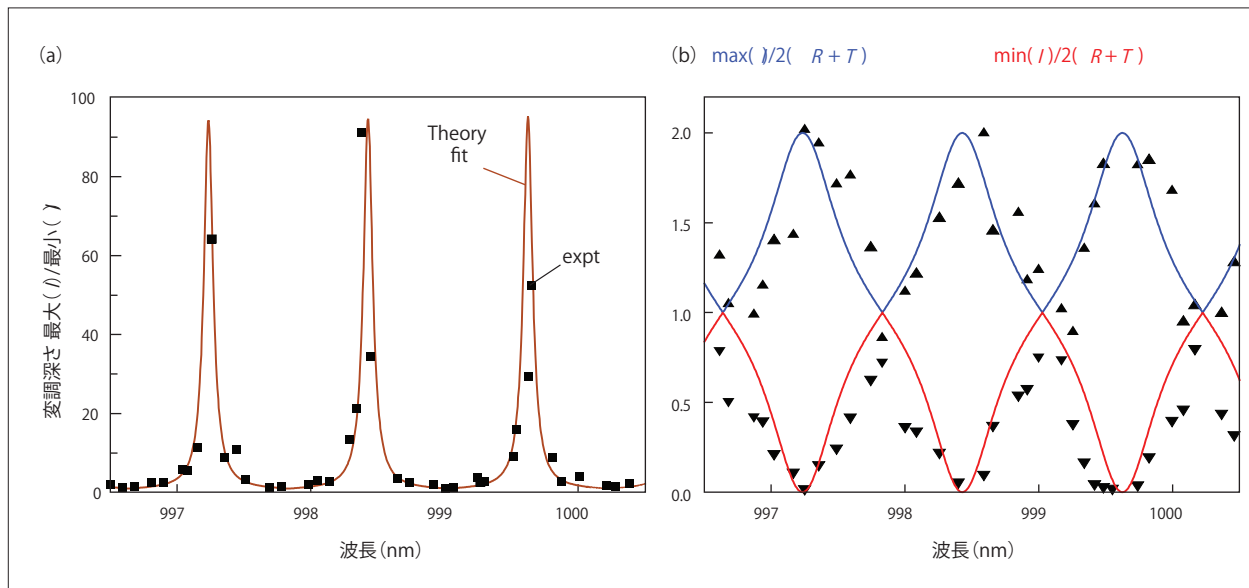


図1 変調深さ(M; 2本の対向伝搬するビームの相対的な入力位相を変えることによって得られる最大対最小の出力強度比)を反レーザー配置で波長の関数として示した(a)。これらの最大と最小の値の、2本の入力ビームがコヒーレントに干渉しない時に得られる値2(反射率+透過率)に対する比は干渉による空洞吸収の増強と抑制を実証している(b)。四角形(a)と三角形(b)は実験データであり、(b)における直立した三角形は抑制された吸収を示すのに対して、逆三角形は増強された吸収を示す。実線は分解効果を含む理論である。(資料提供:エール大学)

アブリペロー変調器、共振キャビティ増強光検出器、臨界結合共振器(スイッチまたはフィルタとして機能する)などとして実現されている。それらは一般に二つのデカップリングされた単一チャンネルCPAと等価なリング形状を持つ。しかし、これらのデバイスが開発された時点では、人々は、それらがCPAを示していることに気が付かなかった。

エール大学チームは時間反転レーザーの概念を展開し、適切な照明条件を使えばCPAを幾分複雑なシステムにおいて実現可能であることを示した。一例として、彼らは、2本のコヒーレント入力ビームを必要とし、これらの2ビームが正しい相対位相と振幅をもつ時だけ完全吸収が達成される2チャンネル

CPAを実現した。2本の入力ビームの相対的な位相を調整して、キャビティから漏れる光の量を増大させることによって吸収を抑制することもできる。その時、この装置は変調器、検出器、または位相制御光スイッチとして潜在的に有用な吸収干渉計として機能する。

光の消去

反レーザーを構成するために、自由空間を対向伝搬する2本の平行ビーム(Ti: サファイアレーザー光源の分割によって生成)をLow-Q(Q値は840)のフアブリペローエタロンとして動作する110 μ m厚のSiウエハの向かい合った面に方向付けた。それぞれの出力ビーム強度と全出力強度を分光器で記録し

た。この配置では、左ビームによる多重散乱透過が右ビームによる多重反射と右界面で破壊的に干渉し、左界面ではその逆が起きる。正確なCPA条件で、これは、結局のところ放射がSi中間帯吸収過程によって完全に散逸されるような、2ビームに対する理想的な干渉「トラップ」となる。すなわち、2ビームの相対的な入力位相を変えるとき、キャビティは最大出力強度を通過して2ビームの消去(または完全な吸収)を完了するまでを繰り返す(図1)。

(Gail Overton)

参考文献

- (1) Y.D. Chong et al., Physical Rev. Lett., 105,053901 (July 2010).
- (2) W. Wan et al., Science, 331, 889-892 (February 2011).

LFWJ