導波路型 PPLN から発生する広帯域光コムのオフセット周波数計測

Measurement of the offset frequency of a broadband frequency comb generated in a waveguide-type periodically poled lithium niobate crystal

横浜国大理工 [1]，JST，ERATO 美濃島知的光シンセサイザ [2]
○吉井 一倫 [1,2]，野邑 寿仁亜 [1,2]，田口 佳穂 [1]，久井 裕介 [1,2]，洪 鋒雷 [1,2]
Dep. Phys. YNU [1], JST, ERATO MINOSHIMA IOS [2]
°Kazumichi Yoshii[1,2], Junia Nomura[1,2], Kaho Taguchi[1], Yusuke Hisai[1,2], Fen-Lei Hong[1,3]
E-mail: yoshii-kazumichi-mn@ynu.ac.jp

1. はじめに

可視の波長域で発生する光周波数コム(光コム)は，様々な安定化レーザーの周波数計測に必須であるだけでなく，天文コムの研究にも有用である．1.55 μm 中心で発振するモード同期エルビウム(Er)ファイバーレーザーを基にした Er ファイバーコムは小型かつ堅牢であり，メンテナンスフリーで数週間の連続運用が可能である．そのため，Er ファイバーコムをベースとした可視域光コムの開発が注目されている[1,2].

最近，岩国らは 1 μm から 2.4 μm まで広帯域化された Er ファイバーコムの光を導波路型周期分極反転ニオブ酸リチウム(WG-PPLN)結晶に入射することで，350 nm から 4.4 μm にわたる超広帯域スペクトルを有する光コムの発生に成功した[3]．可視域コム成分の発生過程について WG-PPLN 結晶中での(i)四光波混合等の 3 次の非線形効果($\chi^{(3)}$)と，(ii)第 2 高調波発生等の 2 次の非線形効果($\chi^{(2)}$)の 2 通りの可能性が指摘されているが，まだ解明に至っていない．可視域コムのキャリアエンベロープオフセット(CEO)周波数は，(i)の場合には基本波の光コムの CEO 周波数(f_{ceo})と同じになり，(ii)の場合には 2 f_{ceo} の値を持つ．本研究で我々は，上記研究と同型の WG-PPLN 結晶から発生させた可視域コム成分に対して，絶対周波数が既知の安定化レーザーとのビート周波数を測定することにより CEO 周波数を決定した．その結果から可視域コム成分の発生メカニズムを議論する．

2. 実験

繰り返し周波数 f_{rep} が約 107 MHz, f_{ceo} が約 10.7 MHz の Er ファイバーレーザーを使用する．共振器からの出力光は増幅された後，高非線形ファイバーにより広帯域化され，WG-PPLN に結合される．導波路は 24 mm × 13.1 μm × 16.1 μm (長さ×高さ×幅)であり，分極反転周期は 28.60 μm である．一方，可視域コム成分と周波数安定化 Nd:YAG レーザー(波長 532 nm)とのビート周波数を RF スペクトルアナライザーと周波数カウンターを用いて測定する．

3. 結果

WG-PPLN 結晶から発生した波長 350 nm ~ 1.7 μm (上限下限は測定器の限界)にわたる超広帯域光コムを観測した．観測された可視域コム成分と周波数安定化 Nd:YAG レーザーとのビート周波数を図 1 (a)に示す．図 1 (b)に Nd:YAG レーザー周波数 f_{cw} と可視域コムの CEO 周波数との関係を示す．f_{cw} は $f_{cw} = n \times f_{rep} \pm f_{beat} \pm m \times f_{ceo}$ と表わされる．f_{cw} をヨウ素に安定化し絶対値を決定した後 f_{beat} を測定することで上式より整数 m が求まる．測定の結果，$m = 2$ と決定された．この結果から，可視域コム成分は 2 f_{ceo} 成分により構成されていることが明らかになった．このことは，可視域コム発生の非線形過程において $\chi^{(2)}$ の効果が主に寄与していることを示す．

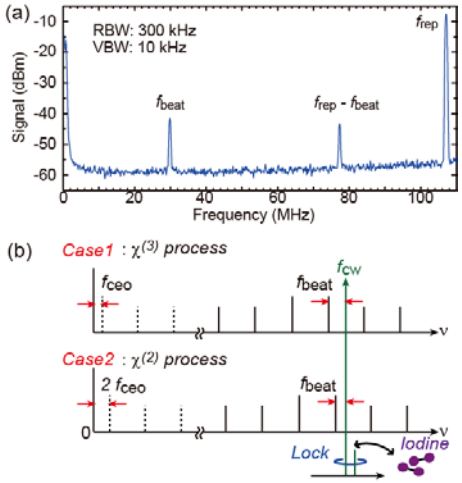

Fig. 1. (a) Spectrum of beat signal between the Nd:YAG laser and the optical frequency comb components in the visible region. (b) Frequency relationship between the Nd:YAG laser and the optical frequency comb with the offset frequency of $m \times f_{ceo}$ (m integer). The integer m is determined by measuring the beat frequency, f_{beat}.

参考文献
[1] N. Nishizawa, *et al.*, J. Opt. Soc. Am. B, **26**, 426 (2009).
[2] D. D. Hickstein, *et al.*, arXive:1704.03908v1 (2017).
[3] K. Iwakuni, *et al.*, Opt. Lett., **41**, 3980 (2016).

© 2018年 応用物理学会