時間応答を考慮した Coherent Poulation Trapping 共鳴の検出方法の検討

Study of detection method of Coherent Population Trapping resonance considering time response

○ 矢野 雄一郎, 原 基揚, 梶田雅稔, 井戸 哲也 (情報通信研究機構)
○Yuichiro Yano, Motoaki Hara, Masatoshi Kajita, Tetsuya Ido
(National Institute of Information and Communications Technology)
E-mail: y-yano@nict.go.jp

チップスケール原子時計は，Coherent Population Trapping(CPT) 共鳴と呼ばれる量子干渉現象を利用しており，小型かつ省電力でありながら原子の遷移周波数を基準とするため，水晶時計に比べて高い周波数安定度を有することが特徴である．近年では，小型情報端末，センサーネットワークなど体積と消費電力が制約される機器への搭載に向けて，CPT 原子時計の小型化，省電力化，高安定化の研究，開発が進められている．小型ガスセルや低出力の半導体レーザを利用するチップスケール原子時計の場合，CPT 共鳴の S/N 比の確保が重要な課題となる．そこで本研究では，小型かつ低消費電力で S/N 比を改善することを目的とし，CPT 共鳴の位相に着目した共鳴取得方法を検討した．その結果，位相変調法は従来法に比べ大幅な高速応答性が得られることを明らかにした．

本研究ではルビジウム原子 ^{87}Rb の基底準位間 $5^2S_{1/2}$ (F=1 ↔ 2) と励起準位 $6^2P_{1/2}$ における CPT 共鳴を対象とし，Λ 型 3 準位モデルの密度行列解析を行った．一般に CPT 共鳴の検出には周波数変調が用いられ，共鳴周波数近傍で周波数を周期的に変化させて透過光強度変化をロックイン検出する (図 1)．図 2 に周波数変調と位相変調の共鳴振幅の周波数依存性を示す．周波数変調では，Q 値が高くなるほど長い相互作用時間が必要になるために応答速度が低く，数 100 Hz 以上の繰り返し周波数 f_{rep} では透過光強度の変化が小さくなり，S/N 比が低下してしまう．これに対し，位相変調では応答特性が周波数変調と大きく異なり，繰り返し周波数 f_{rep} が小さいと透過光強度変化が小さく，繰り返し周波数 f_{rep} が大きいと透過光強度変化が現れた．得られる共鳴振幅は周波数変調に比べて 0.6 倍になるものの，高い周波数変調の利用はノイズ低減の点で有利であることから，CPT 共鳴の検出には周波数変調よりも位相変調の方がチップスケール原子時計の小型化，高安定化において有利であると考えられる．

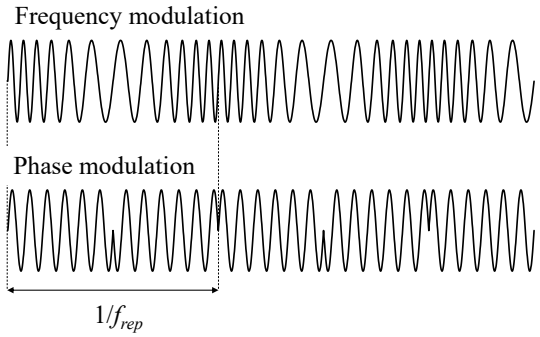

図 1: 変調方式

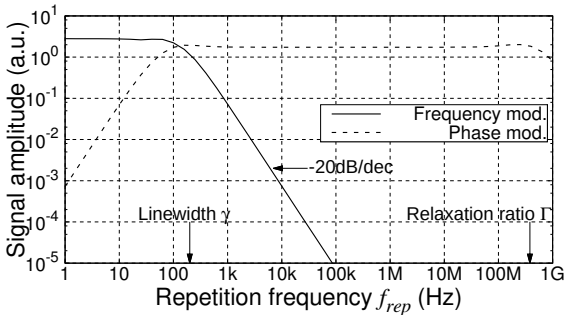

図 2: CPT 共鳴の共鳴振幅の周波数依存性