超小型原子時計に適した駆動電流変調による ラムゼー共鳴のライトシフト評価

Light Shift Characteristics of Ramsey CPT Resonances Excited by Drive Current Modulation Method

首都大学東京　○原口 大輔，福岡 政大，五箇繁善

Tokyo Metropolitan University
○(M2)Daisuke Haraguchi, (M1)Masahiro Fukuoka, Shigeyoshi Goka,
E-mail: goka@tmu.ac.jp

1. はじめに　Coherent Population Trapping(CPT)共鳴を利用した原子時計の周波数安定度を向上させる方法の一つに、励起用レーザをパルス化させ、ラムゼー共鳴を生じさせる手法がある。ラムゼー共鳴は、連続励起による共鳴の場合と比較し、狭い共鳴線幅と高いコントラストを両立させることが可能で、かつライトシフトの抑圧も可能である点で非常に優れた方法である[1]。しかし、励起用レーザのパルス化は音響光学変調器などの外部装置を用いる必要があるため、小型化・低消費電力化が望まれる超小型の CPT 原子時計への適用は困難とされてきた。そこで我々は、超小型原子時計への適用を目指したパルス励起の方法として、面発光レーザ(VCSEL)の駆動電流をパルス化することでパルス励起を行う手法を提案し、ラムゼーCPT 共鳴の観測に成功した[2]。しかし、ライトシフトの計測はまだ行っていなかった。そこで本研究では、VCSEL 駆動電流変調によるパルス励起におけるライトシフトを計測し、連続励起との比較からライトシフト低減が可能であることを検証する。

2.実験方法　図 1 に本研究で行った実験の装置構成を示す。FPGA と DA コンバータにより生成した 2 段パルス電流を用いて VCSEL を制御した。2 段パルス電流の特徴として、オーバードライブ電流により VCSEL 電流印加から波長安定までの時間が早まり、レーザ入射から共鳴線観測までの時間を短縮できる。CPT 共鳴の観測には、バッファガスとして 4.0kPa の Ne ガスを封入した Cs ガスセルにレーザを入射し、透過光をフォトダイオードで検知した。RF 周波数を変更しながら吸収線の透過光をオシロスコープで取得した。本研究では、CPT 共鳴の観測波長が常に一定になるように、吸収線ピーク値の透過光量のみを計測できるようにデータ取得方法を改善した。

3.測定結果　図 2 に CPT 共鳴スペクトルを示す。同図からわかるように、パルス励起によりラムゼーフリンジが観測できていることが確認できる。共鳴線幅は表 1 に示すように、自由発展時間に依存するが、3 倍以上改善している。次に、ライトシフトの測定結果を図 3 に示す。連続励起によるシフトが 39 [Hz/(mW/cm^2)]であるのに対し、パルス励起によるシフトは改善され、18 倍以上低減した。

4.まとめ　駆動電流変調によるパルス励起を用いてライトシフトの評価を行った。測定結果からは、超小型原子時計に適した本手法においても連続励起と比較しライトシフトの大幅な低減が可能であることが示された。本手法を用いることで、小型・省電力を維持しながらも、短期および長期安定度の大幅な改善が可能となる。

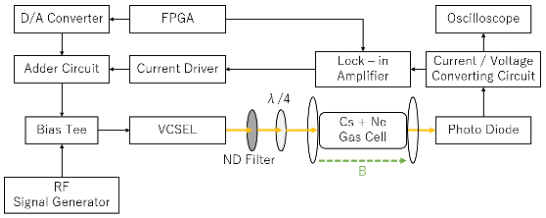

図 1　実験装置構成

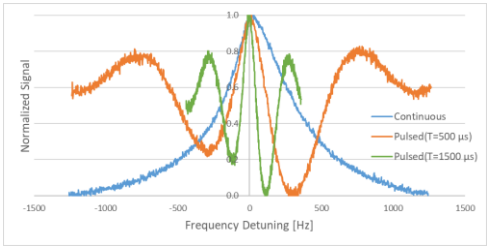

図 2 共鳴スペクトル

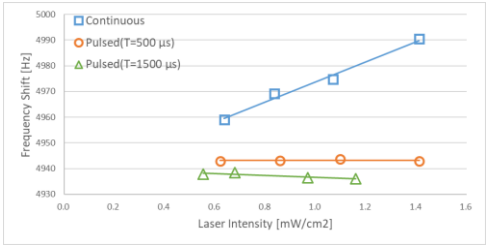

図 3　ライトシフト

表 1　測定結果

Excitation Method	Continuous	Pulsed	
Free Evolution Times [μs]	0	500	1500
Laser Intensity [mW/cm^2]	0.63	0.62	0.55
Linewidth [Hz]	346	178	107
Contrasts [%]	2.77	3.01	2.34

参考文献

[1] Natascia Castagna *et al.*, "Investigations on Continuous and Pulsed Interrogation for a CPT Atomic Clock," *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol. 56, No.2*, 2009.

[2] Ide Takumi *et al.*, "CPT pulse excitation method based on VCSEL current modulation for miniature atomic clocks," *2015 Joint conference of the IEEE International frequency control symposium & European frequency and time forum*, 2015.

© 2018年 応用物理学会