

光位相変調器による Pound-Drever-Hall 共振器安定化法の残留周波数雑音低減 Residual frequency noise reduction for Pound-Drever-Hall cavity stabilization with an electro-optical modulator

◦(P)Mamoru Endo¹, and Thomas R. Schibli^{1,2}

1. Dept. of Phys., Univ. of Colorado, 2. NIST, JILA

E-mail: mamoru.endo@colorado.edu

高安定共振器に安定化された連続波(cw)レーザーは、光周波数コム、光格子時計を始めとした最先端の計量標準分野をはじめ、広い分野で使われている[1]。cw レーザーを共振器に安定させる際、Pound-Drever-Hall 法などの手法によりエラーシグナルを得て、それをレーザー共振器にフィードバックすることで光周波数の安定化を行う。このとき、フィードバック先として、励起光源の強度やピエゾ素子による共振器長変調などが主に使われる。如何に安定なロックを行うことができるかは（つまり、どれだけ狭線幅なレーザーを得られるかは）、フリーランの線幅の他に、これらのフィードバック帯域に依存する。しかし、励起光源の強度変調の帯域は、レーザー媒質における、熱的・電氣的に生成したキャリア間の競合によって最大 MHz に制限され、振幅雑音の増加も課題である。またピエゾによる共振器変調においては機械共振のため数 kHz に制限されることが多い。特に市販のレーザー光源を用いる場合、これらの帯域を拡張することは困難・もしくは不可能であるため、音響光学素子 (AOM)などの外部変調器を使うことが多い。しかし、AOM を用いたとしても、AO 結晶の一次位相遅れによってフィードバック帯域は MHz に制限される。また、AOM を駆動するために発振器や増幅器が必要な点、それらから発生する雑音、またセットアップが複雑になり効率が低いという課題も残る。対して導波路型電気光学素子 (EOM)を使用する手法では、フィードバック帯域の制限が無視できる（導波路型 EOM は一般的に GHz 以上の帯域を持つ）点や、PDH 法の変調信号も同じ EOM で印加できるため、追加の光学素子が不必要でありロスがないという利点がある[2]。しかし、位相変調器で周波数変調を行うためにはゼロダイン変調と呼ばれる基本周波数 100 MHz 以上の鋸刃状の信号を用意する必要があり、この不完全性に由来する雑音の増加やサイドバンドの影響がある。本講演では、帯域の遅いピエゾ素子によって、予め共振器に“ゆるく”ロックしておき、一般的なループフィルタによって作られたフィードバック信号を EOM に印加することで、残留する AC 成分の周波数雑音を抑制する手法を紹介する。

本実験では市販の狭線幅ファイバーレーザー (Koheras BASIK MIKRO, NKT Photonics) を、フィネス 400,000、FSR が 3 GHz の高フィネス共振器 (Stable Laser Systems)に安定化した。セットアップは Fig. 1 (a)の通りである。周波数雑音は Fig. 1 (b)であり、レーザー内のピエゾ素子を用いた場合と比較して 30 dB 以上雑音が抑制されていることがわかる。

本手法を用いることで、追加の光学素子を使用することなく PDH 法によって安定化したレーザーの残留周波数雑音を効率的に抑制することができる。導波路型 EOM の場合、MHz 以上のフィードバック帯域を容易に得ることができ、追加のロスもない。特に、市販の光源を使用する場合に有用な手法であり、ほぼすべてのタイプの PDH 法に適用可能である。

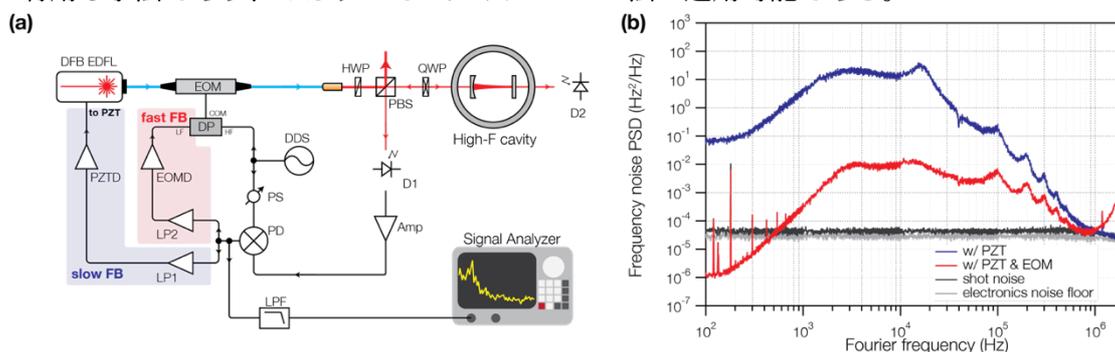


Fig. 1 (a) Experimental apparatus. (b) Residual frequency noises. Blue: only with PZT feedback, Red: the proposed method, Black: shot noise, Grey: electronics noise.

References

- [1] W. Zhang et al, "Ultrastable Silicon Cavity in a Continuously Operating Closed-Cycle Cryostat at 4 K," Phys. Rev. Lett. **119**(24), (2017)
- [2] R. Kohlhaas et al, "Robust laser frequency stabilization by serrodyne modulation," Opt. Express **37**(6), (2012)