

多重反射干渉法の測定限界

Measurement limit of multiple-reflection optical interferometry

浜松ホトニクス(株) 中央研究所¹, 山梨大学²

○滝澤國治^{1,2}, 田中 博¹, 酒井寛人¹, 渡邊 翼¹, 金蓮花²

Central Research Lab., Hamamatsu Photonics K.K.¹, Univ. Yamanashi²

Kuniharu Takizawa, Hiroshi Tanaka, Hiroto Sakai, Tsubasa Watanabe and Lianhua Jin

E-mail: kuniharu.takizawa@crl.hpk.co.jp

まえがき ファブリペロー干渉の反射率 R と光の往復回数 m を極端に減らした多重反射干渉法(MRI)は, 簡単な光学系で電気光学(EO)係数や圧電係数などの光学定数を超高感度で測定できる[1]. 今回, 実験と解析から MRI の測定限界を明らかにした.

測定原理 MRI (Fig.1) では, サンプル結晶に交流電界や交流磁界などを加えて動的位相 θ を計測する. 光学定数は, θ に含まれる. ロックインアンプ(LIA)の基本波成分を I_1 , 低域濾波器(LPF)の出力を I_0 とし, 結晶を y 軸方向に移動して I_1 を最大にすると, θ は次の式で与えられる[2].

$$|\theta| = \frac{I_1}{I_0} \frac{\frac{1}{2} \sum_{k=0}^m R^{2k} + \sum_{\ell=0}^{m-1} \sum_{k=1}^{m-\ell} R^{k+2\ell} \cos(2k\phi_M)}{\sqrt{2} \left| \sum_{\ell=0}^{m-1} \sum_{k=1}^{m-\ell} k R^{k+2\ell} \sin(2k\phi_M) \right|} \quad (1)$$

$$\phi_M = 1.284 \exp(-0.401n) \quad (2)$$

ここで n は結晶の屈折率, ϕ は静的位相, $m < 8$ である. 367 kV の半波長電圧(波長 633 nm)をもつ y カット LiTaO₃ 結晶に 5 mV の交流電圧を加えて, $|\theta| = 3.01 \times 10^{-8}$ rad を得た(図 2). これから求めた低周波の EO 係数は, $|r_{22}| = 0.14$ pm/V であった.

測定限界 光検出器(PD)にフォトダイオードを用いると, 検出限界の動的位相 θ_L は, 下式で与えられる.

$$|\theta_L| = \frac{\sqrt{(3e^2 P \eta / h \nu + 2e i_D + 4k T_e / R_L) \cdot \Delta \nu \cdot \text{SNR}}}{\sqrt{2} I_1(\phi_M) e \eta / h \nu} \quad (3)$$

ここで η , i_D , R_L は, 受光器の量子効率, 暗電流, 負荷抵抗である. h はプランク定数, k はボルツマン定数, e は素電荷, SNR は信号対雑音比である. ν はレーザ光の周波数, $\Delta \nu$ は LIA の等価雑音帯域幅, T_e は絶対温度である.

実験結果(○)と図中のパラメータで計算した θ_L (実線)を Fig. 2 に示す. $P = 1$ mW 付近を超えると計算線の勾配が変化するの, PD の熱雑音と暗電流が省略される量子的検出限界域に移行するためである.

まとめ 大気中での光学干渉計測値として, 今回の結果は, 筆者らの知る限り最も小さい. 解析結果は, P をさらに増大すれば, より微弱な θ を計測できることを示している.

文献 [1] 松本有祐, 吉田瞳, 滝澤國治, Optics & Photonics Japan 講演会予稿集, 5pC1 (2008).

[2] A. Yariv and P. Yeh, *Photonics 6th edition*, Oxford Univ. Press (2007).

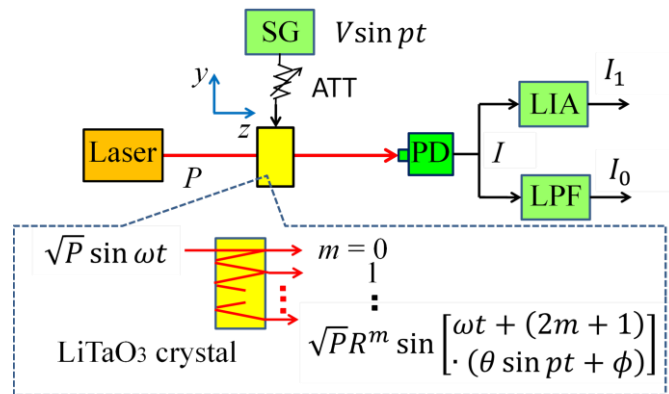


Fig.1 Schematic diagram of the multiple-reflection optical interferometry

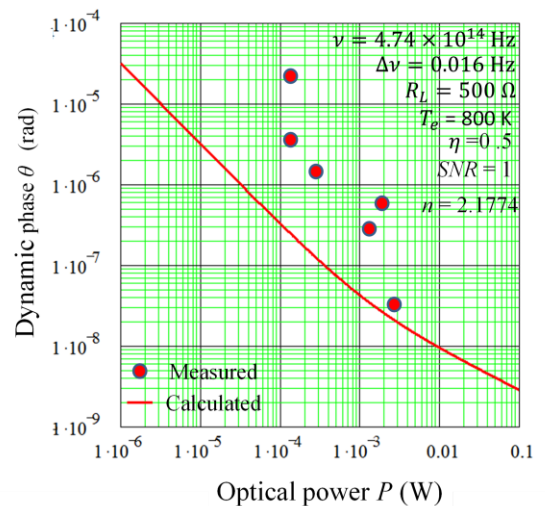


Fig.2 Relationship between dynamic phase θ and optical power P