

回転 EO 結晶法によるテラヘルツ電場ベクトル計測のロバスト性の検証

Robustness of THz E-field vector measurement by the spinning EO method

慶大理工¹ 安松 直弥¹, 渡邊 紳一¹

Keio Univ.¹, Naoya Yasumatsu¹, Shinichi Watanabe¹

E-mail: yasumatsu@wlab.phys.keio.ac.jp

我々は先日、ある時刻におけるテラヘルツ電場ベクトルの大きさと方向を高速かつ高精度に決定できる回転電気光学(EO)結晶法[1]を報告した。この手法は EO 検出用の結晶を高速回転させることによる変調計測法の一つであり、光源として再生増幅器またはオシレータのどちらの場合でも使用することができる[1,2]。また遅延ステージを用いて時間波形を計測することで、テラヘルツ周波数域での偏光情報を得ることもできる。

一般に、エリブソメトリといった偏光情報をプローブとして物性値を測定する計測では、偏光計測に高い精度や感度が要求される。したがって、計測に使用する光学素子の調節ミスによる計測への影響や、EO 結晶に残存する複屈折(残留複屈折)の影響、さらに結晶表面でのプローブ光の散乱の効果などを数学的に定式化し、定量的に偏光計測の精度を考察することは非常に重要である。

我々はまず、EO 結晶の残留複屈折および表面での散乱の効果がない場合を仮定して、計測系の光学素子の調節角度を一般的に取り扱い、差分信号 $\Delta I(t)$ を導出した。テラヘルツ電場の二次の項まで評価した結果、次のような数式を得ることができた。

$$\begin{aligned} \frac{\Delta I(t)}{I_{\text{tot}}} = & \cos(2\beta) \cos(2\gamma) + \eta \sin(2\gamma) E_T \left[\frac{1}{2} \cos(\omega t + \theta) + \frac{3}{2} \cos(3\omega t - \theta) \right] \\ & - \frac{3}{8} \eta^2 E_T^2 \cos(2\gamma) \left[\cos(2\beta) + \frac{1}{2} \cos(2\omega t - 2\beta - 2\theta) - \frac{1}{2} \cos(2\omega t - 2\beta + 2\theta) \right. \\ & \left. - \frac{3}{2} \cos(2\omega t + 2\beta - 2\theta) - \cos(4\omega t - 2\beta) + \frac{3}{2} \cos(6\omega t - 2\beta - 2\theta) \right] \end{aligned}$$

ここで、 I_{tot} はプローブ光の全強度、 ω は EO 結晶の回転角速度、 t は時間、 β は 1/4 波長板の角度、 γ は 1/4 波長板とウォラストンプリズムの成す角度、 E_T はテラヘルツ電場の大きさ、 θ はテラヘルツ電場の角度、 η は定数である。回転 EO 結晶法では ω および 3ω の周波数成分を解析することで E_T と θ を決定するが、この計算結果により、1/4 波長板およびウォラストンプリズムの角度(β と γ)は、求めたい θ の計測値に影響を与えないことが分かった。さらに、テラヘルツ電場強度が大きく、その二次の項まで考えなければならない場合でも、変調計測によって E_T と θ を精度よく計測できることが分かった。講演当日は、残留複屈折および結晶表面での散乱の効果を検討した場合の解析解およびその検証実験についても述べる。

[1] N. Yasumatsu, and S. Watanabe, Rev. Sci. Instrum. **83**, 023104 (2012).

[2] S. Watanabe, N. Yasumatsu, K. Oguchi, M. Takeda, T. Suzuki, and T. Tachizaki, Sensors **13**, 3299-3312 (2013).