

Accumulated Photon Echoes における光パルス伝播効果 Propagation Effects of Optical Pulses on Accumulated Photon Echoes

室工大¹, 久留米高専² ◯矢野 隆治¹, 篠島 弘幸²

Muroran I.T.¹, NIT, Kurume College², ◯Ryuziu Yano¹, Hiroyuki Shinojima²

E-mail: ryiel@mmm.muroran-it.ac.jp

2 準位間のコヒーレンスが介在する光学過程により、光エコーをはじめとするさまざまなコヒーレント過渡現象が生じる。その現象の解釈の多くは伝播を無視した扱いで十分であり、現象の本質を議論する限りにおいては、その扱いは妥当である。例外としては、自己誘導透過がある。

我々は、コヒーレント過渡現象に伝播効果を取り込む事で、該当する現象にどのような変化・効果があるのか調べるため、accumulated photon echoes (APE) [1]を例にとり、考察した。

ヘテロダイン検出方式の APE では、繰り返しパルス対が 2 準位系に入射し、ポンププローブ法と同じ光学配置によりエコー信号を検出する。この場合、第 1 パルスおよび第 2 パルスのパルス面積 θ_1 , θ_2 ($\theta_1 \gg \theta_2$) の伝播に関する方程式は、次のとおりである。

$$\frac{\partial \theta_1}{\partial z} \approx \frac{1}{2} \alpha_{\text{eff}} (1 - \frac{1}{2} \gamma \theta_1^2) \theta_1$$

$$\frac{\partial \theta_2}{\partial z} \approx \frac{1}{2} \alpha_{\text{eff}} \left(-1 + \frac{1}{2} \{1 + \gamma [1 + 2 \exp(-2t_{12}/T_2)]\} \theta_1^2 - \frac{1}{4} \gamma \theta_1^4 \right) \theta_2 + \frac{1}{4} \alpha_{\text{eff}} \gamma (1 - \frac{1}{2} \theta_1^2)^2 \theta_2^3$$

光パルスの伝播方向を z 方向にとる。非共鳴項 $\Delta = 0$ 、およびパルス時間波形は矩形波とした。さらに、光パルス幅 t_p 、パルス対の時間間隔 t_{12} 、位相緩和時間 T_2 、エネルギー緩和時間 T_1 、パルス繰り返し時間 T_{rep} の間には、 $t_p \ll t_{12}$, $T_2 \ll T_{\text{rep}} \ll T_1$ の関係が成り立つとした。 α_{eff} は実効的な吸収係数を表し、蓄積効果の大きさを表すパラメーターは γ (population grating の量的な指標) である。この 2 つの式から、近似的ではあるが、解析解が求まる。

図示はしていないが、単一パルスのみでの解 (#1 パルスの繰り返し) の結果は、population の励起の程度が大きい ($\gamma \theta_1^2(0)/2$ が 1 に近い) 時は、あたかも 2 つの吸収係数がある (伝播の最初は吸収が弱く、ある程度伝播長が長くなると吸収が強くなる) かのような、光強度の吸収・伝播特性を示す。これは、ポピュレーションが励起状態に蓄積されている事で、定性的な理解が出来る。

伝播長 $\alpha_{\text{eff}} z = 4$ におけるヘテロダイン検出型エコー信号の t_{12} 依存性 (縦軸: $\theta_2^2(z, t_{12})$ のエコー成分のみ、横軸: t_{12}/T_2) を、図 1 に示す。Population の蓄積効果が弱い ($\gamma \theta_1^2(0)/2 \sim 0.25$: 赤実線) 場合、エコー緩和曲線は、 T_2 の速さで緩和する様子が見て取れる。一方で population の蓄積効果が大きい ($\gamma \theta_1^2(0)/2 \sim 0.81$: 青実線) 場合、 $0 < t_{12}/T_2 < 1$ において、 T_2 よりも速い緩和が見られる。強励起 ((飽和) により見かけの T_2 が短くなる場合があるが、その場合でもエコー緩和曲線は単一の定数で表される。励起強度によりエコー緩和曲線の形を変えることが出来るため、この現象は光信号処理等への応用に対する新たな可能性を示唆する。

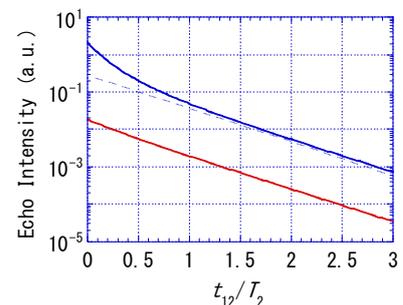


Fig.1 Echo Decay Curve

[1] W. Hesselink and D. A. Wiersma, J. Chem. Phys. **75** (1981) 4192, R. Yano and N. Uesugi, Appl. Phys. Lett. **71** (1997) 1613.