

蓄積エコーにおける 2 準位系のコヒーレンスおよび伝播効果

Coherent and Propagation Effects on Accumulated Photon Echoes for Two-level System

室工大¹, 久留米高専² °矢野 隆治¹, 篠島 弘幸²Muroran I.T.¹, NIT, Kurume College², °Ryuziu Yano¹, Hiroyuki Shinojima²

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

2 準位系の重ね合わせであるコヒーレント過程は、光領域においては光エコーをはじめとするコヒーレント現象としてよく知られており、コヒーレンスが量子情報でも重要な役割を果たしている。我々は、コヒーレント現象の 1 つである蓄積光エコー[1]において、コヒーレント効果および光パルスの伝播効果について、いくつかの近似を用いて、パルス面積の伝播に関する微分方程式を導出した。そして、パルス面積におけるコヒーレント効果および伝播効果を、適当な近似により解析解を求め、その振る舞いを理解した。

以下に、パルス面積の伝播に関する方程式を示す。ここで $\Delta = 0$ の近似、パルス強度が正方形の近似を用いた。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、 $t_p \ll t_{12}$, $T_2 \ll T_{rep} \ll T_1$ の関係が成り立つとする。伝播方向を z 方向にとると、実効的な吸収係数 α_{eff} および蓄積効果の大きさを表すパラメーター γ (population grating の大きさの指標) を用い、第 1 パルスおよび第 2 パルスのパルス面積 θ_1 , θ_2 について、

$$\begin{aligned}\frac{\partial \theta_1}{\partial z} &= \frac{1}{2} \alpha_{eff} \theta_1 \left\{ \left[1 - \left(1 - \frac{1}{2} \theta_3^2 \right) \left(1 - \frac{1}{2} \theta_2^2 \right) \left(1 - \frac{1}{2} \theta_1^2 \right) - \frac{1}{4} \theta_3 \theta_2^2 \theta_1 \exp(-2t_{12} / T_2) \right] \gamma - 1 \right\} \\ \frac{\partial \theta_2}{\partial z} &= \frac{1}{2} \alpha_{eff} (\gamma - 1) \left(1 - \frac{1}{2} \theta_1^2 \right) \theta_2 \\ &\quad - \frac{1}{2} \alpha_{eff} \gamma \theta_2 \left(1 - \frac{1}{2} \theta_1^2 \right) \left[\left(1 - \frac{1}{2} \theta_3^2 \right) \left(1 - \frac{1}{2} \theta_2^2 \right) \left(1 - \frac{1}{2} \theta_1^2 \right) + \frac{1}{4} \theta_3 \theta_2^2 \theta_1 \exp(-2t_{12} / T_2) \right] \\ &\quad + \frac{1}{2} \alpha_{eff} \gamma \theta_2 \exp(-2t_{12} / T_2) \left[\theta_3 \theta_1 \left(1 - \frac{1}{2} \theta_1^2 \right) + \left(1 - \frac{1}{2} \theta_3^2 \right) \theta_1^2 \right]\end{aligned}$$

となる。 θ_3 は第 3 パルス (孤立エコーパルス) のパルス面積である。ここでパルス面積のより高次の項は省略した。単一パルスのみでの解は、 $\theta_2 = \theta_3 = 0$ と置く事で、以下のように求まる。

$$\theta_1^2(z) = \theta_1^2(0) \frac{\exp(-\alpha_{eff} z)}{a + b \exp(-\alpha_{eff} z)}, \quad a = 1 - \frac{1}{2} \gamma \theta_1^2(0), \quad b = \frac{1}{2} \gamma \theta_1^2(0)$$

ヘテロダイン検出型エコーの場合、 $\theta_1 \gg \theta_2$ が成り立つ。この近似を用いて、最初に $\theta_1(z)$ を求める。その解を $\theta_2(z)$ の式に代入した式がベルヌイの方程式であることから、 $\theta_2(z)$ の形式解が求まる。以下はその解である。

$$\begin{aligned}\theta_2^2(z) &= \theta_2^2(0) \frac{\exp(-\alpha_{eff} z)}{[a + b \exp(-\alpha_{eff} x)]^{L(t_{12})}} \frac{\exp \left[-\frac{1}{2} \theta_1^2(0) \left(\frac{\exp(-\alpha_{eff} x)}{a + b \exp(-\alpha_{eff} x)} - 1 \right) \right]}{1 - \frac{1}{M(t_{12})} \left([a + b \exp(-\alpha_{eff} z)]^{-M(t_{12})} - 1 \right)} \\ L(t_{12}) &\equiv 1 + 2 \exp(-2t_{12} / T_2), \quad M(t_{12}) \equiv \frac{1}{\gamma} + 2 \exp(-2t_{12} / T_2)\end{aligned}$$

θ_3 の伝播方程式およびその解は、紙面の関係で省略する。パルス面積に対する伝播効果およびコヒーレント効果の詳細は、当日に譲る。

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