

# 電子遷移を伴う利得媒質における 光増幅の数値シミュレーション

C-15

Numerical Simulation of Light Amplification in Gain Media

with Electron Transition

上村 凌平<sup>†</sup> 大貫 進一郎<sup>†</sup>Ryohei UEMURA<sup>†</sup> Shinichiro OHNUKI<sup>†</sup><sup>†</sup> 日本大学理工学部<sup>†</sup> College of Science and Technology, Nihon University

## 1. はじめに

近年, 光デバイスの小型化に向け, ナノメートルサイズの光増幅器, 光導波路等の研究が注目されている. 本報告では, これらのナノ光能動素子の構造設計に向け, 4 準位系の利得媒質における光増幅のシミュレーションを行い, 媒質中の電界の周波数特性を解析する.

## 2. 解析手法

分散性媒質における電磁波の影響は, 媒質中の分極の応答を次式に示す Maxwell 方程式に加えることにより表すことができる.

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t}$$

分極  $\mathbf{P}$  は次式に示す Lorentz モデルを想定した電子の運動方程式により計算する.

$$\frac{d^2 \mathbf{P}}{dt^2} + \Delta \omega_a \frac{d\mathbf{P}}{dt} + \omega_a^2 \mathbf{P} = \frac{\gamma_r}{\gamma_{\text{ceo}}} \frac{e^2}{m} \Delta N \mathbf{E} \quad (2)$$

ここで,  $\omega_a$  は媒質の共鳴角周波数,  $\Delta \omega_a$  は実際の遷移幅,  $\gamma_{\text{ceo}}$  は固有振動の緩和レート,  $\gamma_r$  は放射遷移レート,  $e$  は電荷素量,  $m$  は電子の質量である.

4 準位系のエネルギー構造においてレーザ遷移は準位 1, 2 間で起こり, その準位間における電子数の差  $N_1 - N_2$  を  $\Delta N$  とすると, 各エネルギー準位の電子数は次式に示す 4 準位系のレート方程式により求められる.

$$\begin{aligned} \frac{dN_3}{dt} &= W_p - \frac{N_3}{\tau_3} \\ \frac{dN_2}{dt} &= \frac{N_3}{\tau_{32}} + \frac{1}{\hbar \omega_a} \mathbf{E} \cdot \frac{d\mathbf{P}}{dt} - \frac{N_2}{\tau_2} \\ \frac{dN_1}{dt} &= \frac{N_3}{\tau_{31}} - \frac{1}{\hbar \omega_a} \mathbf{E} \cdot \frac{d\mathbf{P}}{dt} + \frac{N_2}{\tau_{21}} - \frac{N_1}{\tau_{10}} \end{aligned} \quad (3)$$

ここで,  $\hbar$  はディラック定数,  $\tau_{ij}$  は準位  $i, j$  間の緩和時間,  $\tau_i$  は準位  $i$  から全ての下準位への緩和時間,  $W_p$  はポンピングレートである.

## 3. 解析結果

Fig. 1 に解析モデルを示す. 真空中から媒質に共鳴する周波数  $f_a = 1 \times 10^{14} \text{ Hz}$  で変調したガウスパルス (1 V/m) を入射し, 媒質の境界から距離  $l = 3 \mu\text{m}$  の地点を観測点とした. また,  $W_p = 1 \times 10^{29} \text{ m}^{-3}$  一定とし, 反転分布を形成している状態から解析を行った.

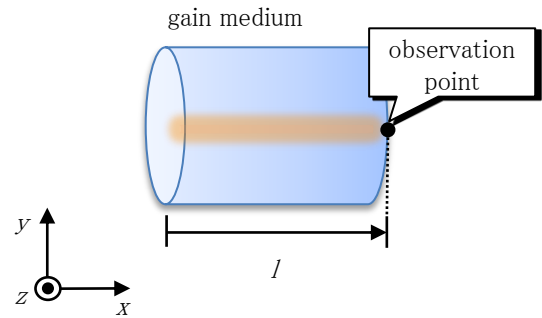


Fig. 1. Computational model of the gain medium

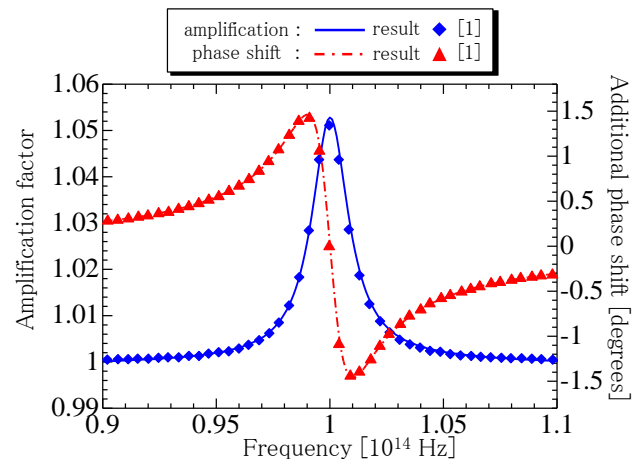


Fig. 2. Frequency response of the electric field in the media

Fig. 2 に電界の周波数応答を示す. 増幅率については共鳴周波数をピークに持つ分布となり, 位相シフトについてはその周波数付近で異常分散となっている. また, 文献[1]の結果と完全に一致していることを確認した.

## 4. 今後の課題

今後は利得媒質中に金属を考慮し, 回折限界を超えたナノ構造における光増幅器の設計を行う.

## 参考文献

- [1] Amit S. Nagra and Robert A. York, IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol. 46, No.3, MARCH 1998.
- [2] A. E. Siegman and M. Valley, "Lasers", Univ. Sci. Books, 1986.
- [3] 宇野亨, "FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析", コロナ社, 1998.