

第0章 非線形光学とは

1. (線形) 光学とは質的に異なる現象である

重要な2つの要素:

- (1) 光の強度
- (2) 位相のコヒーレンス

レーザーの発明(1960)と
その後の進歩

光学非線形が発生する目安

結晶の内部電場 E_a ($\sim 10^{10}$ V/m) 光の電場 (1)

典型的なパルスレーザーの光電場

パルス当たりのエネルギー (fluence) = 10 mJ

パルス幅 = 10 ns

ビーム半径 = 2 mm



$$\underline{E \sim 10^7 \text{ V/m} \ll E_a}$$

したがって強度だけでは 条件(1)を満たさない

物質内部の各箇所が発生する光高調波が全て同位相の場合

合成光高調波 = 足し算



$$\text{合成光高調波の電場 } E_{\text{total}} = E \times (\text{波の数})$$

$$\text{波の数} = (\text{結晶の厚さ} \div \text{光の波長})$$

$$\sim 1 \text{ cm} / 1 \mu\text{m} = 10^4$$

したがって $\underline{E_{\text{total}} \sim 10^{11} \text{ V/m} \sim E_a}$

光の位相が揃っていること(コヒーレンス)が重要

2. 何が非線形なのか

光の伝播を記述する波動方程式は線形方程式である。

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (0-1)$$

非線形の起因 = 電子が感じるポテンシャルの非線形
光電場によって双極子モーメントを誘起



双極子輻射によって誘起双極子と同じ振動数の光を放射 (双極子輻射)

電子が感じるポテンシャルは、電子の振幅が小さいときは調和的、しかし振幅が大きくなると非調和 (非線形となる)。これが非線形性の原因。

電場 E のもとでの電子の運動方程式

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\Gamma \frac{dx}{dt} + \omega^2 x + (\alpha x^2 + \beta x^3 + \dots) = -\frac{e}{m} E(t) \quad (0-2)$$

非調和ポテンシャル

ここで $E(t) = E_0 \exp(i\omega t)$

(1) 線形 (非調和項を無視する場合) の解

$$x(t) = \left(\frac{e}{m} \right) \frac{1}{(\omega_0^2 - \omega^2) + i\omega\gamma} E(t) \quad (0-3)$$

したがって誘起分極

$$P(t) = Nex = \left(\frac{Ne^2}{m} \right) \frac{1}{(\omega_0^2 - \omega^2) + i\omega\gamma} E(t) \quad (0-4)$$

ここで〔複素〕感受率 は

$$P(t) = \varepsilon_0 \chi E$$
$$\chi = \left(\frac{Ne^2}{\varepsilon_0 m} \right) \frac{1}{(\omega_0^2 - \omega^2) + i\omega\gamma} \quad (0-5)$$

(比)誘電率 と感受率の関係は

$$\varepsilon = 1 + \chi \quad (0-6)$$

屈折率 n とは $n = \sqrt{\varepsilon} \quad (0-7)$

(2) 非調和項を考慮した場合

光電場によって誘起された分極 P を電場 E で展開する。

$$P = \varepsilon_0 (\chi E + dE^2 + \chi^{(3)} E^3 + \dots) \quad (0-8)$$

↓
2 次
の非線形光学効果

↓
3 次
の非線形光学効果

3 . 次の非線形光学効果を使うとなぜ光の波長が半分になるのか

ここでは2次の非線形光学効果のみを考える。

$$P = \varepsilon_0 dE^2 \quad (0 - 9)$$

光電場Eが角振動数 ω をもつ平面波とする。

$$E = E_0 \cos(\omega t) \quad (0 - 10)$$

したがって

$$P^{(2\omega)} = \frac{1}{2} dE_0^2 + \frac{1}{2} \varepsilon_0 dE_0^2 \cos(2\omega t) \quad (0 - 11)$$



光の整流作用

振動数が2倍したがって波長が半分の光が作られる