

光伝送工学

第4回レポート

濱崎 直紀
(学籍番号 : 28G19096)

令和2年1月22日

4.1

媒質長 = 10m で 信号利得 = 20dB の増幅媒質がある． 1m 当たりの増倍率は線形単位 (x 倍) でいくらか．
但し，反転分布量は媒質長にわたって一様とする．

解答

1m 当たりの増倍率は $\frac{20}{10} = 2.0[\text{dB}]$
線形変換すると

$$\begin{aligned} 2 &= 10 \log_{10} x \\ x &= 10^{\frac{1}{5}} \end{aligned}$$

よって， $x = 10^{\frac{1}{5}}[\text{倍}]$

4.2

二準位媒質（上準位数 N_2 ，下準位数 N_1 ）における光子数 n の時間変化は次式に従う．

$$\frac{dn}{dt} = a(n+1)N_2 - anN_1 \quad \left(\begin{array}{l} anN_1 : \text{吸収確率} \\ anN_2 : \text{誘導放出確率} \\ aN_2 : \text{自然放出確率} \end{array} \right)$$

- (a) 初期値を $n(0)$ として，時刻 $t = T$ における光子数を導け．但し，反転分布は一定とする．
- (b) T を光増幅器の入力端から出力端までの伝播時間とすれば，上記は増幅器への入力光子数が $n(0)$ のときの出力光子数となる．出力光子を信号増幅光子と ASE 光子とに分けて表せ．
- (c) 出力光子数を信号利得 G 及び $\{N_1, N_2\}$ で表せ．
- (d) 以上より，光増幅器から出力される ASE 光強度を $\{G, N_1, N_2, hf\}$ で表せ．

解答

(a)

$$\begin{aligned} \frac{dn}{dt} &= a(N_2 - N_1)n + aN_2 \\ \frac{dn}{a(N_2 - N_1)n + aN_2} &= dt \end{aligned}$$

積分を行うと

$$\frac{1}{a(N_2 - N_1)} \log \{a(N_2 - N_1)n + aN_2\} = t + C$$

ただし， C は積分定数

ここで， $t = 0$ とおくと

$$C = \frac{1}{a(N_2 - N_1)} \log \{a(N_2 - N_1)n(0) + aN_2\}$$

これを代入して

$$\begin{aligned}\frac{1}{a(N_2 - N_1)} \log \{a(N_2 - N_1)n(t) + aN_2\} &= t + \frac{1}{a(N_2 - N_1)} \log \{a(N_2 - N_1)n(0) + aN_2\} \\ \log \{a(N_2 - N_1)n(t) + aN_2\} &= a(N_2 - N_1)t + \log \{a(N_2 - N_1)n(0) + aN_2\} \\ e^{a(N_2 - N_1)t} &= \frac{a(N_2 - N_1)n(t) + aN_2}{a(N_2 - N_1)n(0) + aN_2}\end{aligned}$$

よって

$$\begin{aligned}n(t) &= \frac{1}{a(N_2 - N_1)} \left[e^{a(N_2 - N_1)t} \{a(N_2 - N_1)n(0) + aN_2\} - aN_2 \right] \\ &= \left\{ n(0) + \frac{N_2}{N_2 - N_1} \right\} e^{a(N_2 - N_1)t} - \frac{N_2}{N_2 - N_1}\end{aligned}$$

$t = T$ として

$$n(T) = \left\{ n(0) + \frac{N_2}{N_2 - N_1} \right\} e^{a(N_2 - N_1)T} - \frac{N_2}{N_2 - N_1}$$

(b) (a) より, $n(T) = n(0)e^{a(N_2 - N_1)T} + \frac{N_2}{N_2 - N_1} (e^{a(N_2 - N_1)T} - 1)$

(c) 信号利得 G は, 増幅器の長さを L , 高速を c として

$$G = e^{a(N_2 - N_1)\frac{L}{c}}$$

このとき, $\frac{L}{c} = T$ であるので

$$G = e^{a(N_2 - N_1)T}$$

ゆえに, 出力光子数 $n(T)$ は

$$n(T) = n(0)G + \frac{N_2}{N_2 - N_1}(G - 1)$$

(d) 1 光子あたりのエネルギーが hf であるので

ASE 光パワー P_{ASE} は

$$P_{\text{ASE}} = \frac{N_2}{N_2 - N_1}(G - 1)hf$$

4.3

光増幅器で増幅された信号光を光バンドパスフィルタに通した後, 直接受信して電気信号に変換すると, 受信信号は揺らいでいる.

(a) 揺らぎの要因はいくつかに分類分けできる. 各要因の特徴を述べよ.

(b) どの揺らぎ要因が主となるかは光フィルタの透過帯域幅に依存する. どのように依存するか, 理由を含めて述べよ.

解答

- (a) • 増幅信号光のショット雑音
 • ASE によるショット雑音

光の量子的な揺らぎに起因し，ばらつきはポアソン分布に従う．光子数 N のときショットノイズは \sqrt{N} となる．

- 増幅信号光 — ASE 間のビート雑音

信号光と自然放出光の干渉により生じる雑音．信号光と雑音が同じ帯域にある．

- ASE — ASE 間のビート雑音

自然放出光同士の干渉により生じる雑音．ASE 光の帯域に大きく依存する．

- (b) 信号帯域と光フィルタの透過帯域幅が等しければ，「増幅信号光 — ASE 間のビート雑音」以外の雑音は除去できるため，これが主となる．それ以外の場合は「ASE — ASE 間のビート雑音」が主となる．

4.4

光ファイバ増幅器は，増幅用ファイバと光アイソレータおよび励起光を入射するための波長合波器から構成されている．増幅用ファイバ部での NF が 4dB，入力側の 波長合波器 + 光アイソレータ の信号光透過率が 0.7，出力側の 波長合波器 + 光アイソレータ の信号光透過率が 0.6 であるとき，光増幅器全体の NF はいくらか．

解答

入力側の NF は $10 \log_{10} \frac{10}{7}$

増幅器の NF は 4

出力側の NF は $10 \log_{10} \frac{10}{6}$

よって，全体の NF は

$$10 \log_{10} \frac{10}{7} + 4 + 10 \log_{10} \frac{10}{6} \doteq 7.77[\text{dB}]$$

4.5

光ファイバ増幅器は，ポンプ光パワーが大きいほど利得飽和しにくい．その理由を説明せよ．

解答

ポンプ光により反転分布が大きくなるから．