

電子情報工学科 3 年次 平成 23 年 2 月 9 日 (水) 10:30~12:00
量子エレクトロニクス 試験問題 担当: 栖原, 吉村, 宮永, 西村

問題は担当者ごとに A、B、C、D の区分で出題されている。解答用紙は 4 枚配布する。4 枚の解答用紙各々に必ずコース略称 (シ制電, 電磁, 電子, 情通の何れか)・学籍番号・氏名を記入し、1 枚目解答用紙の科目欄に A と記入し A の解答を、2, 3, 4 枚目解答用紙の科目欄にそれぞれ B, C, D と記入し B, C, D の解答を書いて別々に提出して下さい。指示に従っていない解答は採点されないので十分注意すること。教科書ノート等持込禁止。

問 A

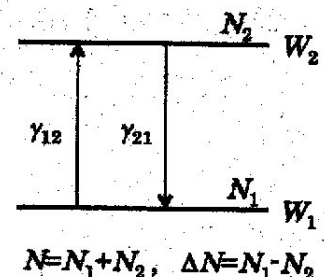
多数の原子からなる媒質を古典的振動子の集まりとみなして、その光学的特性を調べる。入射光の電場 $E(\omega)\exp(i\omega t)$ の中に置かれた 1 個の振動子が固有周波数 ω_0 、減衰定数 γ 、電荷 $-e$ をもつとき、この振動子の振幅 x の時間変化は次の微分方程式に従う。

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\gamma \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = -\frac{e}{m} E(\omega)\exp(i\omega t) \quad (\text{A-1})$$

- (1) 式(A-1)の定常解を $x(t) = x(\omega)\exp(i\omega t)$ とおいて、 $\omega \approx \omega_0$ 、 $\omega^2 - \omega_0^2 \approx 2\omega(\omega - \omega_0)$ の近似を使って $x(\omega)$ を求めよ。
- (2) 媒質の単位体積に含まれる上準位の原子数を N_U 、下準位のそれを N_L とする。この媒質の複素分極を $P(\omega)\exp(i\omega t)$ とするときの $P(\omega)$ を求めよ。
- (3) $P(\omega)$ と電気感受率 $\chi(\omega)$ の間の関係式 $P(\omega) = \epsilon_0 \chi(\omega) E(\omega)$ から、 $\chi(\omega)$ を求めよ。ここで、 ϵ_0 は真空の誘電率である。
- (4) $\chi(\omega)$ の実部と虚部を求め、角周波数を横軸にとって実部と虚部の大まかな形を 1 つのグラフに図示せよ。
- (5) 屈折率 $n(\omega)$ は $\chi(\omega)$ と $n(\omega) = \sqrt{1 + \chi(\omega)}$ で関係づけられる。このことから電気感受率の実部と虚部の物理的意味を各々 2 行程度で説明せよ。

問 B

右に示すような 2 準位系におけるレート方程式を考える。上準位、下準位のエネルギーをそれぞれ W_2 、 W_1 、粒子数を N_2 、 N_1 とし、総粒子数 $N (= N_1 + N_2)$ は一定であるとする。また、下準位から上準位への遷移確率を γ_{12} 、上準位から下準位への遷移確率を γ_{21} とし、誘導遷移は無いものと仮定する。



- (1) N_{10} 、 N_{20} を、それぞれ N_1 、 N_2 の熱平衡状態における値とすると、 N_{10} 、 N_{20} 、 γ_{12} 、 γ_{21} の間にどのような関係があるかを示せ。
- (2) 系の温度を T 、ボルツマン定数を k_B とするとき、 N_{10} 、 N_{20} 、 W_1 、 W_2 、 T 、 k_B の間にどのような関係があるかを示せ。
- (3) N_1 の時間変化率 dN_1/dt を N_1 、 N_2 、 γ_{12} 、 γ_{21} で表せ。同じく、 N_2 の時間変化率 dN_2/dt を N_1 、 N_2 、 γ_{12} 、 γ_{21} で表せ。
- (4) (3)の結果を用いて、 $\Delta N (= N_1 - N_2)$ の時間変化率 $d\Delta N/dt$ を ΔN 、 N 、 γ_{12} 、 γ_{21} を用いて表せ。

- (5) (1), (4)で得た結果をもとに、熱平衡時における粒子数の差を $\Delta N_0 (=N_{10}-N_{20})$ としたとき、 $d\Delta N/dt$ を ΔN 、 ΔN_0 、 γ_{12} 、 γ_{21} を用いて表せ。また、得られた結果より、熱平衡からずれた分布をもつ2準位系が元の熱平衡状態に戻ろうとする場合、どれだけの時間を要するかを論じよ。(ヒント： $N_{10}+N_{20}=N$ である。遷移確率の逆数は時間の次元をもつ。)

問 C1 半導体レーザーに関する次の各問に答えよ。

- (1) 半導体レーザーの活性層のバンドギャップエネルギー E_g と増幅可能な光波長 λ の間の関係について説明せよ。
- (2) 半導体レーザーのための2重ヘテロ構造(DH構造)について、電流注入時のバンド構造とキャリア分布を示す図、および屈折率分布と光強度分布を表す図を描き、DH構造の重要な2つの機能について文章で説明せよ。
- (3) 他の種類のレーザーに比べたときの、半導体レーザーの特徴について述べよ。

問 C2 ファイバレーザー増幅器の基本構成を示す模式図を描き簡単な文章で説明せよ。

問 D1

光学異方性結晶で作られた、 z 軸方向に光を入射する波長板を考える(光は $-z$ 方向から $+z$ 方向に伝搬させる)。電界が x 、 y 軸に平行な偏光に対する屈折率 n_x 、 n_y は、 $n_x < n_y$ なる関係をもつ。

- (1) $1/2$ 波長板に対し、 $+z$ 方向から $-z$ 方向をみて偏光面が $+x$ 方向から反時計回りに 25° 傾いた直線偏光の光を入射した場合、出射光の偏光状態はどのようなになるかを述べよ。
- (2) $1/4$ 波長板に対し、同様に偏光面が $+x$ 方向から反時計回りに 45° 傾いた直線偏光の光を入射した場合、出射光の偏光状態はどのようなになるかを述べよ。

問 D2

石英系光ファイバを用いた光通信において、Cバンド帯域が利用されている。

- (1) Cバンドの具体的な波長を、単位 μm (小数第1位まで)で答えよ。また、ファイバの伝送損失がこの帯域で最低になる理由を述べよ。
- (2) 伝送損失 0.2dB/km のファイバでは、 50km の伝送後に光パワーは何%になるか求めよ。導出式も記載すること。