

全 4 問 (2 枚のうち 1 枚目)

[1] 半導体の光吸収過程に関する以下の各問に答えよ。

1) 光吸収と格子振動の吸収に伴い、図中の破線矢印で示すような電子状態の間接遷移が生じたとする。このときの運動量保存則とエネルギー保存則を各々式で表せ。ただし、図中の E_i, k_i ($i = 1, 2, c, v$) は各々電子系のエネルギー、波数を表わし、光の振動数は ν 、格子振動 (フォノン) のエネルギーおよび波数は各々 E_p, k_p する。また、光の運動量は電子系の運動量に対して無視できるものとする。

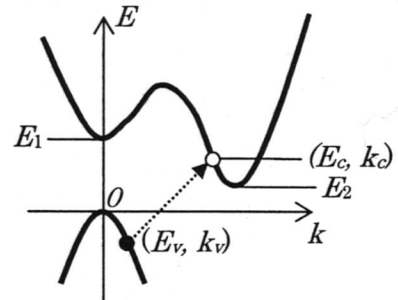


図 1

- 2) 図に示すようなバンド構造を有する物質において、光吸収にかかわる格子振動のエネルギーが E_p であるとき、光吸収が生じる最小の光振動数を式で表せ。
- 3) 直接遷移型光吸収を生じる半導体のバンド構造の概略図を描き、間接遷移型光吸収との違いについて述べよ。

[2] 磁気異方性エネルギーが $K_u \sin^2 \theta$ で表される強磁性体の回転型磁化過程、及びその検出に関する以下の各問に答えよ。

1) 図 2(b) のように磁界 H を磁気異方性容易軸と直交する向きに印加したときのエネルギー平衡条件を式で表し、その解より磁化の安定方向 θ を求めよ。ただし、 θ は磁化 M と磁気異方性容易軸とのなす角度であり、 M と H との相互作用エネルギーは $-MH \cos \beta = -MH \cos(\pi/2 - \theta)$ で表されるとする。

2) 図 2(b) の方向に磁界を印加するとき、磁化 M を磁界 H の方向に向かせるのに必要な磁界 H の最小値を求めよ。

3) 磁化 M の磁界方向成分 M_H と磁界 H との比 (M_H/H) を磁化率という。図 2(b) の方向に磁界を印加するときの磁化率を M, K_u を用いて表せ。

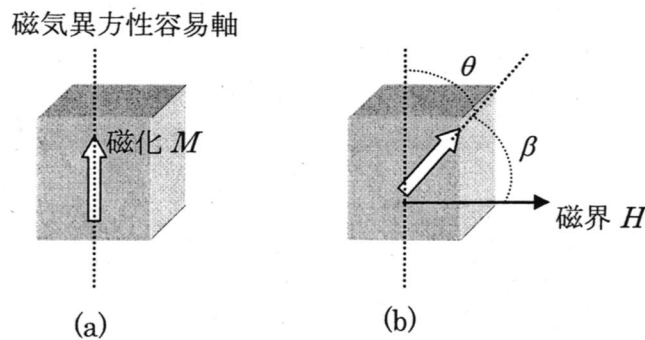


図 2

全 4 問 (2 枚のうち 2 枚目)

[3] 超伝導体の電子状態とジョセフソン効果に関する以下の各問に答えよ。

1) 超伝導体の波動関数 ψ は、超伝導電子数密度 n と電子波の位相 θ により一般に次式のように表される。フェルミ粒子であるため本来は同一状態を複数の電子が占有できないはずの電子が、超伝導状態では次式のように一つの波動関数で記述できる理由を説明せよ。

$$\psi = n^{1/2} e^{i\theta}$$

2) リング状超伝導体を貫く磁束が満たす条件について述べよ。

3) 2 つの超伝導体が薄い絶縁体層を介して接続されているとき、各超伝導体の波動関数 ψ_1, ψ_2 は次式のように表される。ただし、 T は絶縁体層を通した超伝導体間の相互作用を表す定数である。

$$\psi_1 = n^{1/2} e^{i\theta_1}, \quad \psi_2 = n^{1/2} e^{i\theta_2}$$

$$i\hbar \frac{\partial \psi_1}{\partial t} = \hbar T \psi_2, \quad i\hbar \frac{\partial \psi_2}{\partial t} = \hbar T \psi_1$$

これらの式から、絶縁体層を通して流れる電流を表す式を導出せよ。

[4] 固体中における電子のエネルギーに関する以下の各問に答えよ。

1) 運動量演算子が $-i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$ で表されることに着目し、波動関数 $\psi = e^{ikx} (1 + e^{iqx})$ で表される

電子の運動エネルギーを求めよ。

2) 一方向のみの運動が可能な長さ L の一次元電気伝導体における自由電子の最大運動エネルギーを求めよ。ただし全電子数を N とし、up スピン電子数と down スピン電子数は等しいものとする。

3) 図 3(a),(b) に、隣接する 2 原子に緩く拘束された 2 電子の電子分布状態を、各電子のスピンの同じ場合 (up スピン, up スピン) と異なる場合 (up スピン, down スピン) の各々について模型的に示している。波動関数の反対称性に起因して生じる (a),(b) 各電子状態の違いについて述べ、両者の運動エネルギー及び静電エネルギーを比較せよ。

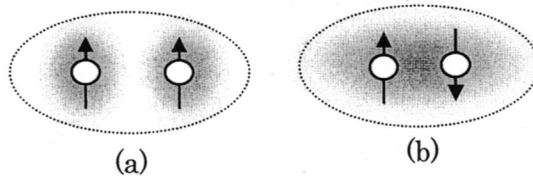


図 3