

量子物性工学 2000 年前期期末テスト 2000.7.17

問題 1 イオン分極による古典的な誘電率を次のような手続きに従って理論的に求めよう。(25 点)

質量 m_1 , 電荷 $+q$ の正イオンと質量 m_2 , 電荷 $-q$ の負イオンとがバネで束縛されているような 1 次元の系を考える。電界 E を加えると正イオンは平衡点から u_1 だけずれ、負イオンは平衡点から u_2 だけずれ、正負の電荷の相対的なずれ $u=u_1-u_2$ によって電気双極子モーメント qu が生じる。単位体積あたり N 個のイオン対があると、電子分極 P は、 $P=Nqu$ で表される。復元力 F はバネ定数を K とし $F=Ku=K(u_1-u_2)$ で表されるとする。次の問に答えよ。(40 点)

- (1) 正負イオンの相対運動は換算質量 M を使って記述される。 M を求めよ。(3 点)
- (2) この系に電界を印加しないときの相対的なずれ u について、自由振動の運動方程式をたてよ。ただし、摩擦力は無視せよ。(5 点)
- (3) 上の運動方程式を解いてこの系の固有角振動数 ω_0 を m と K の式として求めよ。(2 点)
- (4) 次に電界 E を加えたときの u についての運動方程式を書け。ただし、復元力の項には K を使わず(3)で求めた ω_0 を用いよ。ここでは摩擦力(ダンピング)を考慮せよ。摩擦力は相対速度 $\frac{du}{dt}$ に比例すると考え、その比例係数は $\frac{M}{\tau}$ であるとする。ここに M は換算質量、 τ はダンピングの時定数である。(5 点)
- (5) 角振動数 ω の周期的な電界 E が加わったときの電荷の相対変位 u を $m, \omega, \omega_0, q, E$ の関数として表せ。ただし、電界 E は $E=E_0 \exp(i\omega t)$ と表せるものとし、変位 u についても $u=u_0 \exp(i\omega t)$ と表せるものとせよ。(5 点)
- (6) この粒子の運動によって生じた分極 P を $m, \omega, \omega_0, q, E$ の関数として表せ。(5 点)
- (7) $P=\epsilon_0 \chi E$ を用いて、電気感受率 χ を求めよ。(3 点)
- (8) $\epsilon_r=1+\chi$ としての分散式を書け。(2 点)
- (9) 比誘電率の実数部 ϵ'_r と虚数部 ϵ''_r を求めよ。(4 点)
- (10) 比誘電率の実数部 ϵ'_r と虚数部 ϵ''_r を図示せよ。(6 点)

問題 2 半導体の吸収端について次の問に答えよ。(20 点)

- (1) 半導体のバンドギャップにおける光学遷移には、直接遷移と間接遷移とがある。直接遷移と間接遷移とはそれぞれどんな光学遷移かを k 空間におけるバンド構造の違いにより説明せよ。(10 点)
- (2) 窒化ガリウム(GaN)、リン化アルミニウム(AlP)、セレン化カドミウム(CdSe)、リン化インジウム(InP)、ゲルマニウム(Ge)のバンドギャップはそれぞれ、3.39eV, 2.48 eV, 1.74 eV, 1.35 eV, 0.67 eV である。これらの半導体(厚さ 1mm 程度)の透過光は、それぞれどのような色を示すか。また、その理由を述べよ。(10 点)

問題 3 平坦な物体の面に斜めに光が入射したときの反射と偏光について次の質問に答えよ。(20 点)

- (1) 入射面とはどのように定義されているか。図を使ってもよい。(5 点)
- (2) ガラスに斜め入射した場合の反射光は偏光している。ある入射角では p 偏光が消滅し s 偏光のみとなる。p 偏光、s 偏光とはどのような偏光かを入射面との関係で説明せよ。(6 点)
- (3) 反射光が s 偏光のみとなる入射角のことを何と呼ぶか。(4 点)
- (4) ガラスの屈折率を 1.5 としたとき反射光が s 偏光のみとなる入射角を求めよ(5 点)

問題 4 屈折率 n ・消光係数 κ について(20 点)

- (1) 空気中におかれた屈折率 $n=1.5$ 、消光係数 $\kappa=0$ のガラスに空気中から垂直に光が入射したときの反射率 R は何%か。(6 点)
- (2) 上のガラス中において、光速 c' はいくらになっているか。また、ガラス中での波長 λ' はいくらか。真空中の光速を 3×10^8 m/s とせよ。(4 点)
- (3) 波長 500nm におけるシリコンの屈折率は $n=4.298$ 、消光係数は $\kappa=0.073$ である。これより、この波長における吸収係数 $\alpha(\text{cm}^{-1})$ 、比誘電率の実数部 ϵ'_r と虚数部 ϵ''_r を求めよ。(6 点)
- (4) 波長 500nm における銀の比誘電率は $\epsilon=\epsilon'_r+i\epsilon''_r=-9.292+i.628$ であった。比誘電率の実数部が負ということは何を意味するか。(4 点)

問題 5 電子分極の量子論について(20 点)

- (1) 物質に光が入射したときに生じる電子分極について量子論を使って説明せよ(10 点)
- (2) バンドギャップの大きな半導体ほど誘電率が小さいことを量子論で説明せよ(10 点)

量子物性工学解答用紙その1

コース名	学年	学籍番号	氏 名	評 点

枠が狭いときは、裏を使って下さい。その際、何番の解答かが分かるようにして下さい。

問題 1 40 点	(1) 換算質量の式	(2) 自由振動の運動方程式			
	(3) 固有角振動数 ω_0	(4) 電界 E を加えたときの u についての運動方程式			
	(5) 変位 u を m 、 ω 、 ω_0 、 q 、 E の関数として		(6) 分極 P を m 、 ω 、 ω_0 、 q 、 E の関数として		
	(7) 電気感受率		(8) 比誘電率の分散式		
	(9) 比誘電率の実数部 ϵ'_r		比誘電率の虚数部 ϵ''_r		
	(10) 比誘電率の実数部 ϵ'_r と虚数部 ϵ''_r を図示				
問題 2 20 点	(1) 直接遷移と間接遷移				
	(2) 半導体の透過光の色、そう考える理由				
	GaN	AlP	CdSe	InP	Ge
	理由				

量子物性工学解答用紙その2

コース名	学年	学籍番号	氏 名	評 点

枠が狭いときは、裏を使って下さい。その際、何番の解答かが分かるようにして下さい。

問題 3 (20 点)	(1) 入射面の定義	(2) p 偏光、s 偏光
	(3) s 偏光のみとなる入射角	(4) ガラスの反射光が s 偏光のみとなる入射角
問題 4 20 点	(1) 反射率 R	
	(2) ガラス中の光速	ガラス中の波長
	(3) シリコンの ϵ'_r と ϵ''_r	シリコンの ϵ''_r
	(4) 比誘電率の実数部が負ということの物理的意味	
問題 5 20 点	(1) 電子分極の量子論	
	(2) バンドギャップの大きな半導体ほど誘電率が小さいことの量子論的説明	

