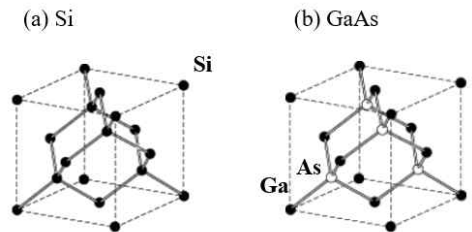


고체물리 중간고사-1 (총 200점)

1. (30점) 아래의 질문에 대한 답은 간단히 써라 (단답형) 사용하는 파동의 알맞은 에너지 조건이 필요하다.

- (a) (10) bcc 격자를 가진 결정이 있다 (정육면체의 각 변의 길이는 a 이다). 이 결정의 역격자에서의 primitive unit cell의 부피를 적어라.
- (b) (10) 고체의 phonon dispersion에 대한 Debye 모델과 Einstein 모델이 무엇인지 비교, 설명하라.
- (c) (10) X선 회절 실험을 할 때 (입사 모멘텀 k_i , 산란 모멘텀 k_s), 회절이 일어날 수 있는 (산란 빔의 세기가 0이 아닐 수 있는) 조건 (Bragg condition)을 적어라.

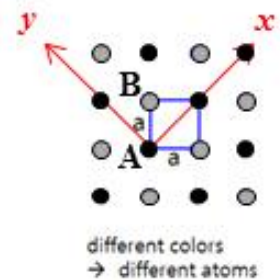
2. (20점) 옆 그림의 (a) Si (diamond 결정구조)와 (b) GaAs (cubic ZnS 결정구조)에 대해 각각 (1) 격자구조를 쓰고 (그림으로 그려 표시해도 됨) (2) 하나의 primitive cell 안에 어떤 원자가 몇 개씩 있는지를 적어라.



3. (50점) (2차원 결정) 그림과 같이 2 개의 basis 원자 A (검은 색)와 B (회색)를 가지는 square lattice가 있다. 원자의 atomic form factor는 각각 f_A 와 f_B 이다.

(그림의 정사각형의 한 변 길이는 a).

- (a) (10) 이 격자의 primitive unit cell을 그림 그리고 그 안에 있는 basis 원자(들)의 위치 좌표를 적어라 (basis 원자는 몇 개 있는가?).
- (b) (10) 이 격자의 reciprocal lattice를 그림 그리고 reciprocal lattice vector를 표시하라 (크기도 적어야 함)



(주의: 실공간 lattice에 겹쳐 그리면 안되고 따로 그려야 함).

% 이 2차원 결정에 X선 회절 실험을 할 때 그 회절 세기는 (결정 시료에서의 primitive lattice unit cell의 개수와 structure factor S_G 의 곱)의 제곱에 비례한다.

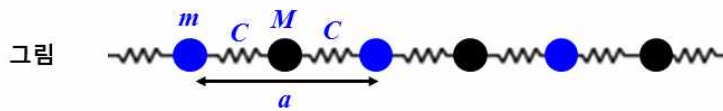
- (c) (10) reciprocal lattice points G 에 대해 structure factor S_G 를 적어라.

* structure factor $S_G = \sum_j f_j \exp(-iG \cdot r_j)$ (j : primitive unit cell 안의 모든 basis 원자)

- (d) (10) 만약 A와 B가 같은 원소의 원자라면 $f_A = f_B = f$ 이다. 이 때, S_G 가 0이 되지 않는 G 의 조건을 찾아 이들 역격자점 G 들을 모두 그려라.
- (e) (10) (d)의 경우의 실공간 격자와 역공간 격자에서의 primitive lattice vector와 unit cell을 각각 표시하라 (lattice constant를 적어야 함).

4. (20점) 불활성기체 원자들 사이에 작용하는 상호작용을 흔히 **Lennard-Johns potential**로 나타낸다.
 (a) (10) Lennard-Johns potential 형태를 적어라
 (b) (10) 이 potential은 인력 부분과 척력부분으로 나뉘는데 각각 어디에서 연유하는지 기술하라.

5. (30점) 질량이 각각 m, M 인 두 원자를 basis로 가지는 1 차원 고체 격자가 있다 (격자상수 = a). 원자들 사이의 상호작용은 서로 인접한 원자들만 작용하며 그 결합힘 계수는 C 라 하자 (그림).
 (a) (10) **Brillouin zone**과 대강의 **phonon dispersion $\omega=\omega(K)$** 을 그림으로 그리고, 각각의 **phonon branch**의 명칭을 써라.
 (b) (10) $K= \pi/a$ 일 때, **normal mode 에너지**를 적고 이때 인접한 원자들의 상대적 운동이 어떻게 되는지 논하라.
 (c) (10) 만약에 두 원자가 같은 종류의 원자라고 할 때 ($m = M$), **Brillouin zone**과 **phonon dispersion $\omega=\omega(K)$** 를 그림으로 그려라.



6. (30점) 비금속 고체의 비열은 대부분 포논에 의해 결정된다. 온도 T 에서 비금속이 가지는 전체 포논 에너지를 $U(T)$ 라고 하자. 이 때 비열은 $C_V(T) = dU(T)/dT$ 로 계산된다. $U(T)$ 는 그 고체 계가 가지는 모든 normal mode (K , polarization)에 대하여 각각의 진동주파수 ω 를 갖는 진동자의 양자역학적 에너지(E_n)의 열 평균값을 구하여 다 합하면 된다. 이 때 normal mode 진동수를 연속적인 값으로 취급하면 포논 상태밀도 (density of states: **DOS** 또는 density of normal modes) $D(\omega)$ 와 열 평균 에너지 $\langle E(\omega) \rangle$ 의 곱을 진동수에 대하여 적분하면 된다.
 (a) (10) 진동수 ω 를 갖는 진동자의 양자역학적 에너지의 온도 T 에서의 열 평균 값 $\langle E(\omega) \rangle$ 를 적어라 (Hint: 조화진동자의 양자역학적 에너지와 플랑크 분포를 기억해야 함).
 (b) (20) 원자들의 등방성 층상 구조를 갖는 유전성 결정체에서 같은 층에 있는 원자들 결합에 비해 층들의 사이에 결합이 매우 약하다. 온도가 충분히 낮은 영역에서 **Debye 모형**을 쓸 수 있다.
 (i) (10) 포논 상태밀도 $D(\omega)$ (또는 $D(E)$)를 적고 그림으로 그려라 (에너지 의존성만 적음).
 (ii) (10) 전체 포논에너지 $U(T)$ 의 온도의존성을 구하고, 비열 $C_V(T)$ 의 온도의존성을 구하라. (구체적 계산과정이 없어도 어떻게 그 온도의존성이 나오는지 보여주면 됨.)

7. (20점) 고체는 온도가 올라가면 길이 또는 부피가 팽창한다. 즉, 고체를 이루는 원자들의 간격(격자 상수)이 증가한다는 사실을 실험적으로 알고 있다.
 (a) (10) 고체격자가 정확히 Hook's law를 따르는 용수철로 연결된 것처럼 **simple harmonic potential**을 따른다고 가정하면, 이러한 고체의 열팽창을 설명할 수 있는가? 그 이유는?
 (b) (10) 실험 상황에 맞게 온도가 올라가면 길이가 늘어나도록 potential ($U=U(x)$)을 그려라.