

PHYS-C0240 Materiaalifysiikka, tentti 8.12.2023

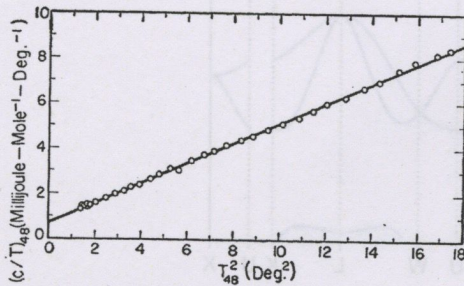
Taulukot tai muut muistiinpanot eivät ole sallittuja.

Ylioppilaskokeessa hyväksyty laskin on sallittu.

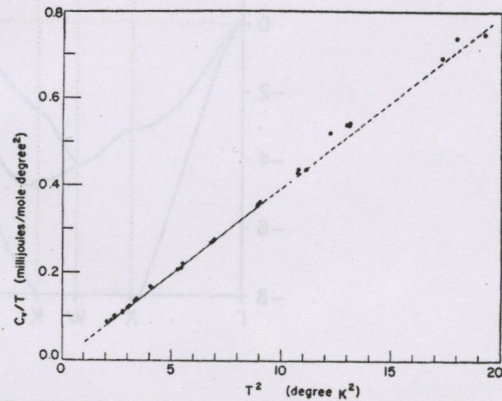
Perustele vastauksesi ellei tehtävässä anneta muuta ohjetta.

1. Oheisissa kuvissa 1 ja 2 on esitetty kullan ja germaniumin mitatut ominaislämpökapasiteetit (T^2 , C/T)-koordinaatistossa hyvin matalissa lämpötiloissa.

- (a) Miksi molemmissa kuvaajissa mittaustulokset asettuvat suoralle? (2p)
(b) Miksi germaniumin tapauksessa suora kulkee origon kautta mutta kullan tapauksessa ei? (3p)



Kuva 1: Kullan ominaislämpökapasiteetti.
Corack et al., PR 98 (1955)



Kuva 2: Germaniumin ominaislämpökapasiteetti.
Keesom et al., PR 91 (1953)

2. Tarkastellaan yksiulotteista tiukan sidoksen mallia atomiketjulle, jossa on N atomia. Hamiltonin operaattori on

$$H_{n,m} = \epsilon_0 \delta_{n,m} - t(\delta_{n+1,m} + \delta_{n-1,m})$$

missä ϵ_0 ja t ovat vakioita.

- (a) Osoita, että ominaisfunktiot ovat

$$\phi_n = \frac{e^{-ikna}}{\sqrt{N}}$$

(2p)

- (b) Määritä energian k -riippuvuus ja piirrä systeemin vyörakenne. (3p)
(c) Oletetaan, että kullakin atomilla on yksi valenssielektroni. Miksi tiukan sidoksen mallin mukaan tällainen materiaali on sähkönjohde? (3p)

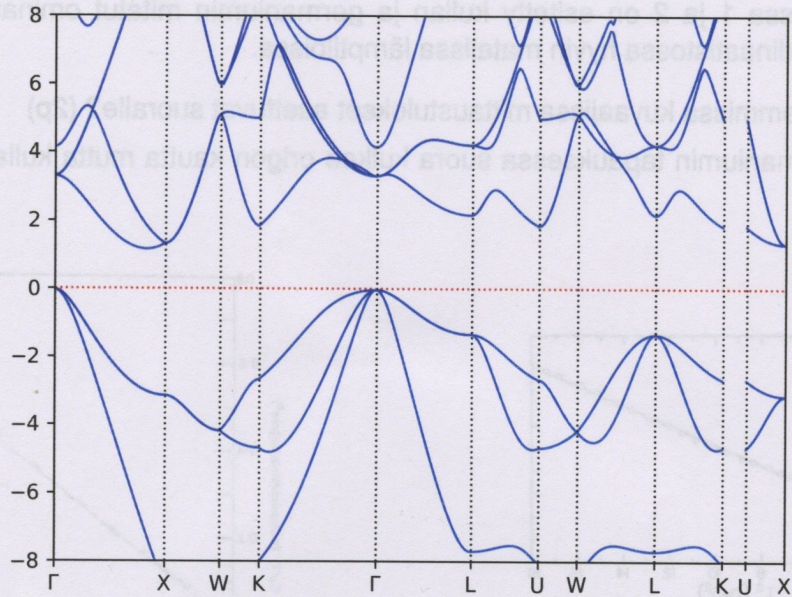
3. Röntgendiffraktiossa kiteisestä aineesta mitatut hilatasojen väliset etäisyydet d saadaan Braggin lain avulla

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

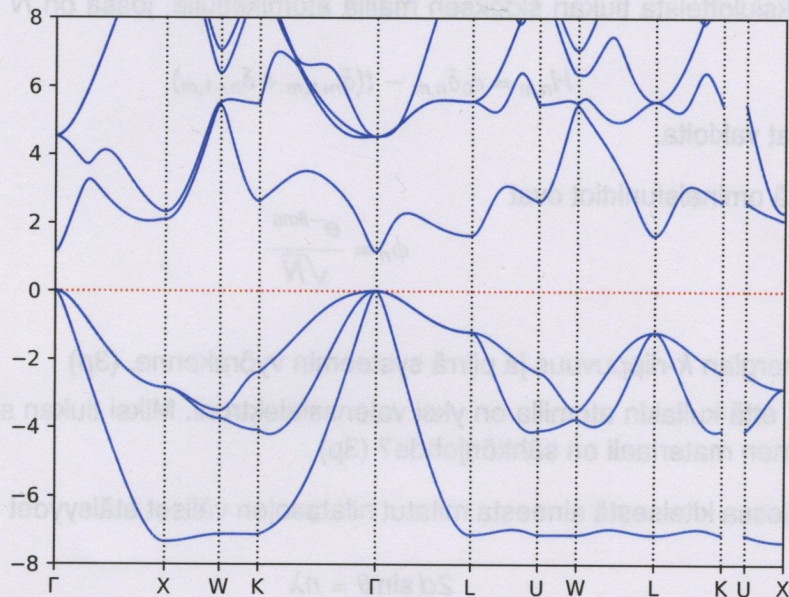
Röntgensäteily diffraktoituu aineesta, jonka kiderakenne on fcc ja kuutiollisen kopin hilavakio $a = 0,404$ nm. Missä kulmissa θ havaitaan kolme ensimmäistä ensimmäisen kertaluvun diffraktiomaksimia? Fcc-hilan valintasääntö on, että kaikkien Millerin indeksien pitää olla parillisia tai parittomia ja röntgensäteilyn aallonpituus on $\lambda = 0,154$ nm. (5p)

4. Oheisissa kuvissa 3 ja 4 on esitetty piin ja galliumarsenidin elektronien vyörakenteet. Energian nollataso on asetettu kuvissa valenssivyön huippuun ja pysty akselin yksikkö on elektronivoltti. Mitä voit sanoa piin ja galliumarsenidin ominaisuuksista niiden vyörakenteiden perusteella? Miten piin vyörakenne muuttuu, kun sitä seostetaan fosforilla?

Piin kiderakenne on sama kuin timantin ja galliumarsenidin kiderakenne on sinkkivälke. Kuu- tiollisen kopin hilavakiot ovat $a_{\text{Si}} = 0,55 \text{ nm}$, $a_{\text{GaAs}} = 0,57 \text{ nm}$. Piiatomin elektronirakenne on $[\text{Ne}] 3s^2 3p^2$ ja fosforiatomin $[\text{Ne}] 3s^2 3p^3$. (10p)



Kuva 3: Piin elektronien vyörakenne.



Kuva 4: Galliumarsenidin elektronien vyörakenne.