
PHYS-C0240 Materiaalifysiikka, tentti 9.12.2022
Taulukot tai muut muistiinpanot eivät ole sallittuja.
Ylioppilaskokeessa hyväksytyt laskin on sallittu.
Perustele vastauksesi ellei tehtävässä anneta muuta ohjetta.

1. Tarkastellaan yksiulotteista atomiketjua, jossa on vuorotellen kahdenlaisia atomeja. Atomien massat ovat erisuuret m_1 ja m_2 siten että $m_1 > m_2$. Kahden vierekkäisen atomin välistä vuorovaikutusta kuvaava jousivakio on kaikissa tapauksissa yhtäsuuri κ .

(a) Osoita, että atomiketjun värähtelyjen dispersiorelaatio on

$$\omega^2 = \frac{\kappa}{m_1 m_2} \left(m_1 + m_2 \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + 2m_1 m_2 \cos(ka)} \right)$$

missä a on ketjun alkeiskopin koko. (4 p.)

(b) Kuinka suuri on optisen ja akustisen moodin välinen vyöaukko? (4 p.)

2. Tarkastellaan kaksiulotteista neliöhilaa, jonka sivun pituus on a . Kussakin hilan alkeiskopissa on yksi atomi, jolla on yksi valenssielektroni.

(a) Piirrä vastauspaperiisi hilaa vastaava käänneishila. (2 p.)

(b) Merkitse käänneishilaan 1. Brillouinin vyöhyke ja tilat, joihin vapaat elektronit sijoittuvat. (2 p.)

(c) Esitä elektronien vyörakenne käänneishilan symmetriapisteen ja origon väleillä. Merkitse kuvaan Fermi-energia. (2 p.)

3. Oheisissa kuvissa 1 ja 2 on esitetty kuparin ja piin elektronien vyörakenteet (A ja B). Energian nollataso on asetettu kuvissa materiaalin Fermi-energian tasolle ja pystyakselin yksikkö on elektronivoltti. Vastaa perustellen seuraaviin kysymyksiin.

(a) Kumpi vyörakenteista on piin ja kumpi kuparin? (2 p.)

(b) Mitä voit sanoa kiteisen piin ja kuparin ominaisuuksista vyörakenteiden perusteella? (3 p.)

(c) Mitä voit sanoa kiteisen piin ja kuparin elektronirakenteesta vyörakenteiden perusteella? (3 p.)

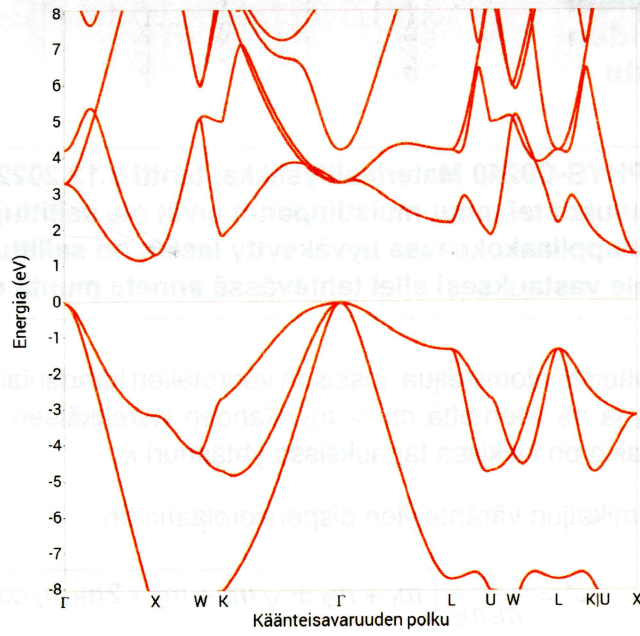
Piin kiderakenne on sama kuin timantin ja kuparin kiderakenne on fcc. Kupariatomin elektronirakenne on $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^1$ ja piiatomin $[\text{Ne}] 3s^2 3p^2$.

4. Tarkastellaan kiteistä piitä, johon on seostettu pieni määrä fosforia. Mitattaessa varauksenkuljettajien tiheyttä kiteessä lämpötilan funktiona saadaan kuvan 3 mukainen tulos. Kuvaajan akseleilla ei ole skaalaa, joten vastaa seuraaviin kysymyksiin kvalitatiivisesti.

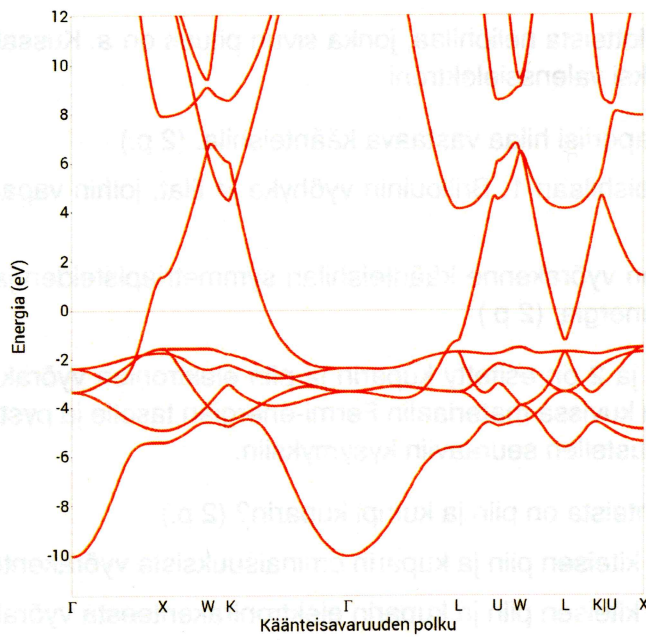
(a) Selitä kuvaajaan muotoon vaikuttavat tekijät. (4 p.)

(b) Miten voisit määrittää kuvaajasta fosforiatomien määrän piikiteessä? (2 p.)

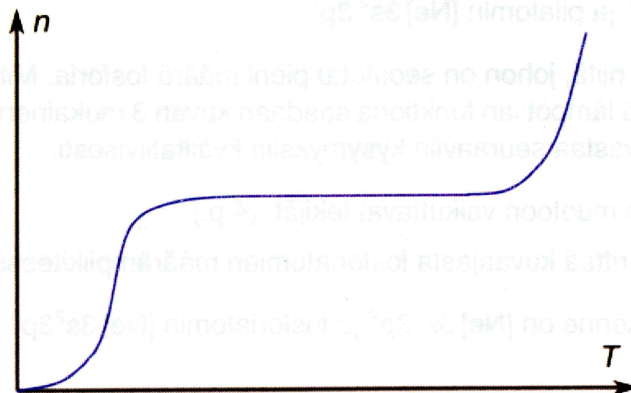
Piiatomin elektronirakenne on $[\text{Ne}] 3s^2 3p^2$ ja fosforiatomin $[\text{Ne}] 3s^2 3p^3$.



Kuva 1: Vyörakenne A.



Kuva 2: Vyörakenne B.



Kuva 3: Varauksenkuljettajien tiheys n lämpötilan T funktiona.