
PHYS-C0240 Materiaalifysiikka (osatentti ja kokotentti) / Tfy-0.3233 Materiaalifysiikka I tentti 25.5.2015

Merkitse selvästi tenttipaperisi ensimmäiselle sivulle, haluatko suorittaa kurssin pelkästään tämän tentin perusteella (100% arvosanasta) vai osatenttinä (40% arvosanasta). Jälkimmäisessä tapauksessa kevään 2015 kurssin harjoitus- ja kotitehtävät pisteet lasketaan yhteen tenttipisteiden kanssa arvosanan määrittämiseksi kevään kurssin pisterajojen mukaisesti.

Ylioppilaskirjoituksissa hyväksytyt laskin on sallittu, taulukkokirjat eivät ole sallittuja.

Huom! Muista, että vastaamalla kurssin palautekyselyyn 28.5. mennessä saat yhden laskuharjoituspisteen.

Perustele kaikki vastauksesi selkeästi.

Tehtävä 1. (6p)

- Kuvaile NaCl-kiteen rakennetta piirroksen avulla (vihje: koordinaatioluku on kuusi). (1p)
- Kuvataan NaCl-kidehilaa yksinkertaisena kuutiollisena (SC) hilana. Kuinka monta atomia on tällöin kannassa, ja mitkä ovat niiden paikkavektorit SC-hilan alkeisvektoreiden avulla lausuttuna? (Aseta Cl-atomi origoon) (2p)
- Laske edellisissä kohdassa määrittämäsi kannan muototekijä yksinkertaisen kuutiollisen kiteen Millerin indekseille (hkl). Oleta, että Na-atomin muototekijä on häviävän pieni, eikä sitä tarvitse ottaa huomioon kannan muototekijää laskettaessa. (2p)
- Selitä tuloksesi avulla Kuvan 1 pulverinäytemittauksen diffraktiospektriä. Onko Na-atomin muototekijän häviäminen hyvä approksimaatio? (1p)

Tehtävä 2. (6p) Kuvassa 2 on esitetty neljän kiteisen aineen valenssielektronien miehitettyjen ja alimpien miehittämättömien tilojen vyörakenteet. Mahdollisia aineita ovat C(timantti), Al, Si, Cu, GaAs ja GaN. Näiden aineiden atomeilla on valenssielektroneita seuraavat määrät: C 4 kpl, N 5 kpl, Al 3 kpl, Si 4 kpl, Cu 11 kpl, Ga 3 kpl ja As 5 kpl.

- Mitkä kaksi yllämainituista aineista eivät ole mukana kuvissa? Perustele päätelmäsi. (2p)
- Tunnista eri kuvien aineet. Mihin yksityiskohtiin tunnistamisesi perustuu? (4p)

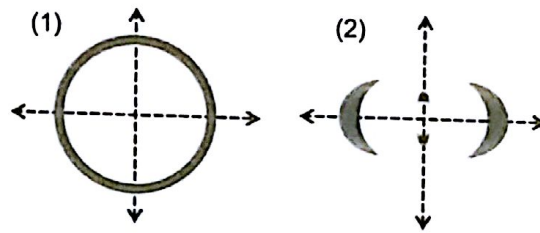
Vihje: Kiinnitä huomiota energiavöiden yksityiskohtien lisäksi myös kuvien vaaka- ja pystyakseliin merkintöihin.

Tehtävä 3. (16p)

- Kuvaile kvanttimekaanisin termein metallisidoksen muodostumista. Mitkä ilmiöt alentavat ja mitkä nostavat kokonaisenergiaa, kun vapaat metalliatomit lähestyvät toisiaan? (2p)
- Millaisia kiinteitä aineita voidaan kuvata vapaiden elektronien mallilla? Mitä suureita ja ilmiötä voidaan tällöin selittää? (2p)
- Mitkä ovat Blochin aaltofunktion ominaisuudet paikka- ja aaltovektoriavaruuksissa? (2p)

KÄÄNNÄ

- d. Mikä on ensimmäinen Brillouinin vyöhyke ja mikä on sen merkitys sirontakokeille, elektronirakenteille ja hilavärähtelyille? (4p)
- e. Määrittele käsite *fononi*. Mitä fysikaalisia ominaisuuksia fononilla on, ja mikä on näiden ominaisuuksien välinen yhteys? Mainitse ja selitä ainakin kaksi mittausta perustuvaa havaintoa, joiden mukaan fononi on fysikaalisesti perusteltu käsite. (4p)
- f. Alla on kaksi 2D-röntgendiffraaktiokuvaajaa. Mitä voit päätellä mitatuista rakenteista, kun tiedetään, että kummassakin tapauksessa (1) ja (2) tutkittu materiaali koostui vain yhdentyypisistä molekyyleistä? Mikäli kuvaajat on mitattu *samalle* materiaalille, ja säteilytys suunnat (1) ja (2) ovat kohtisuoraan toisiaan vastaan, minkä tyyppinen materiaali on kyseessä? (2p)



Tehtävä 4. (6p) Laservaloa (aallonpituus on 532 nm) kohdistetaan kiinteään materiaaliin, jonka taitekerroin on 2,1 ja jossa äänen nopeus on $v_0 = 5000$ m/s. Pieni osa fotonista Brillouin-siroaa materiaalissa sirontakulmassa $2\theta = 90^\circ$. Sironneet fotonit menettävät hieman energiaa prosessissa syntyville fononeille.

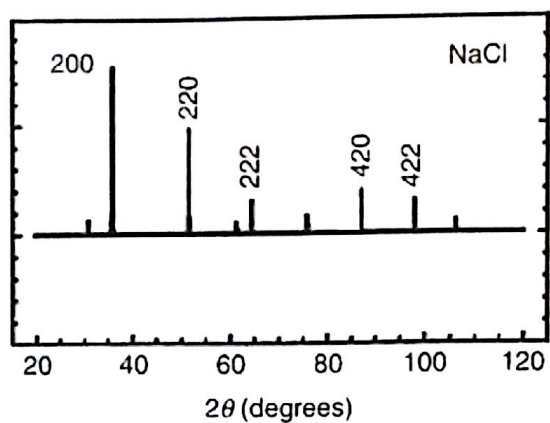
- a) Mihin suuntaan syntyneet fononit kulkevat? (2p)
- b) Mikä on näiden fononien energia? (2p)
- c) Mikä on sironneen valon aallonpituuden suhteellinen muutos alkuperäiseen aallonpituuteen verrattuna? (2p)
- Huom: $\hbar = 6,626 \times 10^{-34}$ J·s ja $c = 3,0 \times 10^8$ m/s.

Tehtävä 5. (6p) Debyen mallissa välillä $(\omega, \omega + d\omega)$ olevien hilavärähtelyn normaalimoodien lukumäärä on

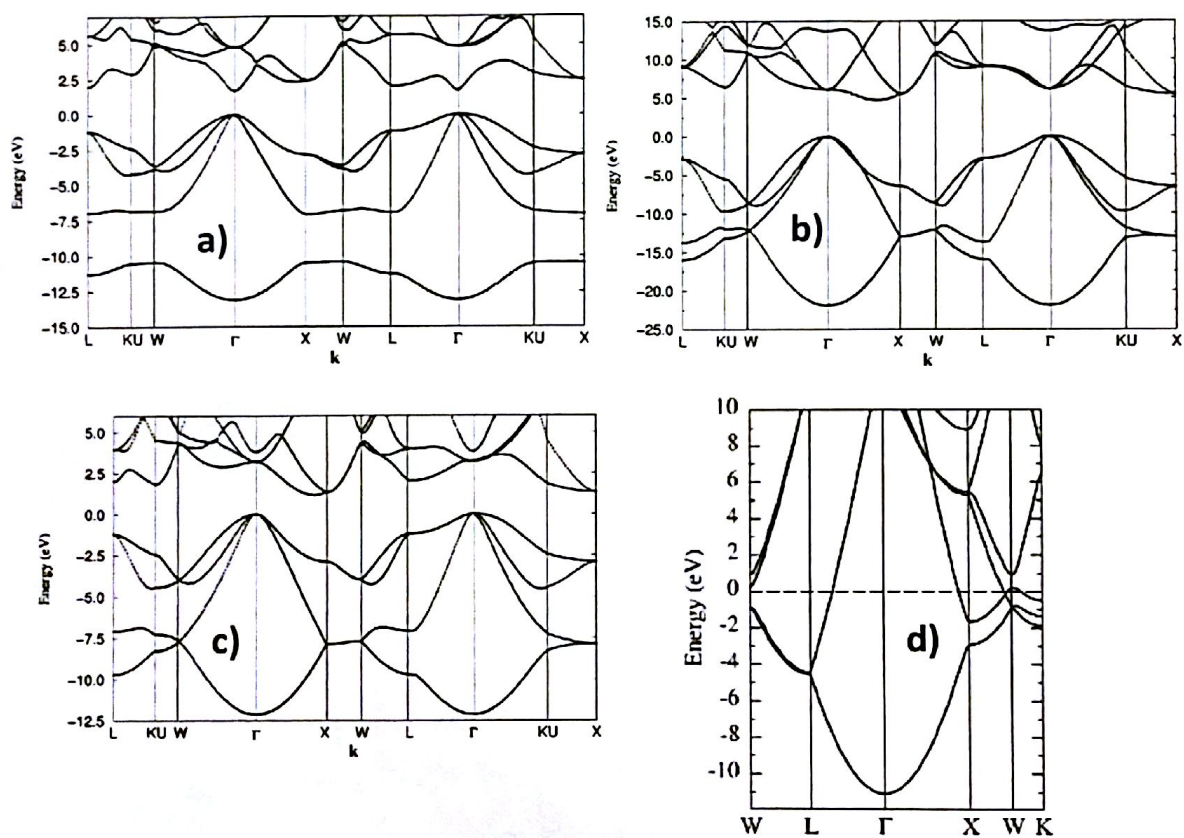
$$g(\omega)d\omega = \frac{3V\omega^2}{2\pi^2v_0^3}d\omega,$$

jossa v_0 on dispersiorelaation kyseistä haaraa vastaava äänennopeus. Kirjoita lauseke fononien (keskimääräiselle) kokonaislukumäärälle $N(T)$. Mikä on $N(T)$:n lämpötilariippuvuus hyvin korkeilla ($T \gg \Theta_D$) ja toisaalta hyvin matalilla lämpötiloilla ($T \ll \Theta_D$)?

Huom: $\int_0^\infty \frac{x^n dx}{e^x - 1} = n! \zeta(n+1)$ ja $\zeta(s) = \sum_{k=1}^\infty k^{-s}$.



Kuva 1: NaCl pulverinäyttemittauksen diffraktiospektri.



Kuva 2: Vyörakenteita.