FYS 2150.ØVELSE 12

LEDER OG HALVLEDER

Fysisk institutt, UiO

12.1 Energitransport

12.1.1 Seebeck-effekten

Vi betrakter en krets sammensatt av to forskjellige metaller eller halvledere a og b ("termoelement"). Når kontaktstedenes temperaturer er forskjellige, vil det gå en elektrisk strøm i kretsen (Seebeck-effekten). Hvis kretsen åpnes, oppstår det en elektrisk spenning E_{ab} mellom terminalene. Positiv retning for E_{ab} er fra stoff a til stoff b i det kalde kontaktsted. Seebeck-koeffisienten for stoffene a og b er definert ved

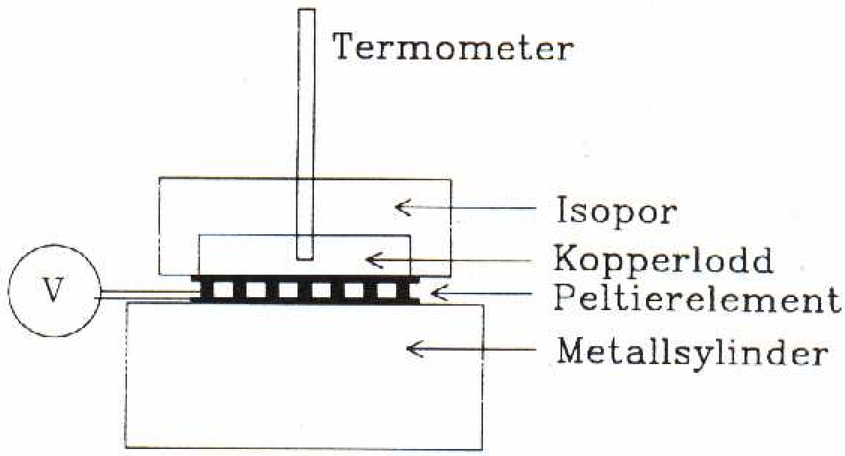
$$S_{ab} = \frac{dE_{ab}}{dT},$$

hvor T er temperaturen i det varme kontaktsted.

Oppgave 1. Ladningsbærernes bevegelsesretning

En terningformet prøve av et halvledermateriale plasseres mellom to metallplater som koples til et voltmeter. Den ene metallplaten varmes opp noen få grader. Voltmeteret viser en spenning av størrelsesorden 1 mV. Spenningens fortegn avhenger av om halvlederen er av type p med positive ladningsbærere eller type n med negative ladningsbærere. Bestem hvilken prøve som er av type p og hvilken som er av type n. Begrunn svaret.

Beskriv hvordan terninger av type p- og n-materiale kan koples sammen til en termogenerator (Peltier-element).



Figur 12.1: *Termoelement og varmereservoar for bestemmelse av Seebeck-koeffisienten.*

Oppgave 2. Bestemmelse av Seebeck-koeffisienten

Benytt apparaturen som er vist på Fig. 12.1. Varm opp kopperloddet noen grader. Mål sammenhørende verdier av kopperloddets temperatur T og den termoelektriske spenning E_{ab} *mens kopperloddet avkjøles.* Temperaturen til den store metallsylinderen som Peltier-elementet ligger på, holder seg tilnærmet konstant. Fremstill måleresultatene grafisk. Bestem Seebeck-koeffisienten S_{ab}.

12.1.2 Varmeledning gjennom Peltier-elementet

Vi benytter den apparaturen som er vist i Fig. 12.1. Kopperloddets temperatur betegnes med $T_1(t)$ der t er tiden. Den store metallsylinderens temperatur T_2 betraktes som konstant. Den termoeleketriske spenning $U(t)$ er gitt ved

$$U(t) = S\,[T_1(t) - T_2]\,.$$

La kopperloddet ha varmekapasitet C. Når kopperloddet avkjøles, vil det avgi effekten

$$\dot{Q} = -C\frac{dT_1}{dt}.$$

I følge Fouriers lov har vi at

$$\dot{Q} = \lambda A\frac{T_1(t) - T_2}{d},$$

der A er Peltier-elementets areal, d dets tykkelse og λ dets varmekonduktivitet. Overstående tre ligninger innebærer at

$$\frac{dU}{dt} = -\frac{\lambda A}{Cd} U(t).$$

Ved integrasjon får vi

$$\ln \frac{U(t_2)}{U(t_1)} = -\frac{\lambda A}{Cd}(t_2 - t_1).$$

Varmekonduktiviteten λ angis i W/(m · K).

Oppgave 3. Bestemmelse av varmekonduktiviteten

Varm opp kopperloddet noen grader. Bryt deretter forbindelsen med strømforsyningen. Mål den termoelektriske spenningen $U(t)$ hvert 20. sekund i 500 sekunder. Fremstill måleresultatene grafisk på enkeltlogaritmisk papir med $U(t)$ langs den logaritmiske aksen. Benytt grafen til å bestemme Peltier-elementets varmekonduktivitet λ.

12.1.3 Peltier-effekten

Vi betrakter igjen en krets sammensatt av to forskjellige metaller eller halvledere. Anta at kontaktstedene til å begynne med har samme temperatur. Så koples en strømkilde til kretsen. Kontaktstedenes temperaturer vil nå forandre seg, men på en måte som ikke helt og holdent kan tilskrives Joule-effekten. Den del av temperaturforandringen (i et kontaktsted) som ikke skyldes Joule-effekten, tilskrives den såkalte Peltier-effekten, som er reversibel.

Oppgave 4. Peltier kjøling

Benytt apparaturen som er vist i Fig. 12.1. Send en strøm på maksimalt 0,5 A gjennom Peltier-elementet. Kopperloddets temperatur vil stige eller avta avhengig av strømretningen. Velg strømretning slik at temperaturen avtar. Mål temperaturen for eksempel hvert 20. sekund til temperaturen begynner å flate ut (etter få minutter).

12.2 Ladningstransport i leder og halvleder

12.2.1 Måling av konduktivitet

Materialprøven har lengden L og rektangulært tverrsnitt $b \cdot d$ (se Fig. 12.2). Vi sender en strøm I gjennom prøven og leser av potensialforskjellen U som oppstår mellom prøvens endepunkter. Konduktiviteten σ er definert ved relasjonen

$$J = \sigma E,$$

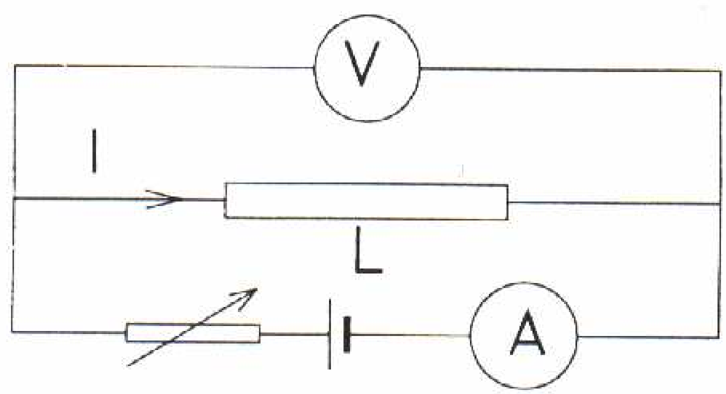
der J er strømtettheten og E er det elektriske felt i materialet. Herav følger

$$\sigma = \frac{I}{U}\frac{L}{bd}.$$

Prøvens temperatur kan heves ved hjelp av et varmeelement. Temperaturen T registreres ved hjelp av et termoelement. Vi har

$$T = T_0 + aU_T,$$

der T_0 er romtemperaturen, U_T er termospenningen og a er en konstant med oppgitt verdi. **NB! De oppgitte maksimalverdier for strøm og temperatur må aldri overskrides.**



Figur 12.2: *Apparatur for måling av konduktivitet.*

Oppgave 5. Konduktiviteten til kopper

Vi benytter en koppertråd med oppgitt lengde og tverrsnitt. Mål sammenhørende verdier av strømmen I gjennom tråden, potensialforskjellen U mellom trådens endepunkter og termospenningen U_T i temperaturområdet fra ca. 20°C til ca. 45°C. Lag en grafisk fremstilling av trådens resistans som funksjon av temperaturen. Bestem verdien av $d\rho/dT$ der ρ er kopperets resistivitet. Anslå verdien av elektronets midlere frie veilengde L_m ved rom-temeratur ved hjelp av formelen

$$\sigma = \frac{ne^2 L_m}{m_e V_F},$$

der n er antall elektroner pr. m^3 og V_F er den hastighet som svarer til Fermienergien (7,05 eV for Cu). Sammenlign L_m med avstanden mellom ionene i gitteret.

Oppgave 6. Konduktiviteten til Ge

Bestem σ som funksjon av temperaturen i området fra ca. 20°C til ca. 100°C. Prøvens dimensjoner er oppgitt. Måleresultatene fremstilles grafisk på enkeltlogaritmisk papir med σ i logaritmisk skala og $1/T$ langs den lineære akse. Når temperaturen er høy nok, er σ proporsjonal med

$$\exp^{-\frac{E_g}{2k_B T}},$$

der E_g er energigapet mellom valensbåndet og ledningsbåndet ("intrinsic conduction"). Benytt grafen til å bestemme E_g (i eV).