



Laboratoriekurs

- 1. Energi og varme**
Energitransport og kalorimetri
- 2. Syntese**
Superlederen $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$
- 3. Funksjonelle egenskaper**
Elektriske og optiske
- 4. Energikonvertering**
Solcelle, elektrolyse,
brenselcelle

Materialer og Energi

Martin Lie, Oddvar Dyrli og Truls Norby

Kurshefte for Laboratoriekurset i
Materialer og energi (MEF 1000)

Det Matematisk-Naturvitenskapelige Fakultet
Universitetet i Oslo

2005

Forord

Velkommen til laboratoriekurset i MEF1000. Kurset er ment å gi en innføring i materialvitenskap og materialer, med fokus på energiaspektet og energianvendelser. I laboratoriekurset har vi forsøkt å illustrere dette ved hjelp av praktiske oppgaver i fysikk og kjemi. Oppgavene vil dels understøtte øvrig pensum, delvis introdusere nye ting. Dere får se og bruke mange forskjellige typer utstyr og få trening i praktisk arbeid på laboratoriet.

Oslo 11/09-2005

GENERELT OM LABORATORIEØVELSENE

Laboratorieøvelsene i MEF 1000 er obligatoriske; dette gjelder fremmøte, gjennomføring og godkjent journal.

Eneste gyldige grunn til fravær ved sykdom er normalt godkjent legeattest.

Ved gyldig fravær kan det pålegges en kompenserende øvelse, for eksempel gjennomføring av samme øvelse ved en senere anledning.

Godkjente laboratorieøvelser etter ovenstående er nødvendig for å få gå opp til eksamen i MEF 1000.

Før første lab-øvelse skal studentene ha lest sikkerhetsreglene som her er vedlagt. Bruk verneutstyr som fremlegges på laboratoriet. Anskaff egen laboratoriefrakk – den beskytter klær og kropp.

Før hver lab-øvelse skal studentene ha lest øvelsesbeskrivelsen og notert spørsmål til denne. Det er viktig å møte i rett tid og å ha forberedt seg for å kunne gjennomføre øvelsen i tide. Gjennomføringen tar normalt 4-5 timer.

Øvelsene gjennomføres i grupper på 2-4 som inndeles av ansvarlig for laboratoriekurset.

Journalene skal innleveres innen én uke etter øvelsen (dersom ikke annet fastsettes for den enkelte øvelsen) og godkjennes individuelt.

Journalen vil normalt kunne skrives på 5-10 sider. Den kan føres for hånd eller ved hjelp av datamaskin. Den kan bygges opp fritt, men bør inneholde alle elementer av vitenskapelig rapportering: Kort innledning, hensikt med oppgaven, eksperimentell(e) beskrivelse(r), resultater og diskusjon(er)/konklusjon(er). Hold en stram stil. Reaksjoner og ligninger, tabeller og figurer skal være nummererte. Gjør gjerne referanser til pensumkompendiet der dette er naturlig.

SIKKERHETSREGLER I LABORATORIET

Beskjeder fra personalet skal etterkommes, og ved skader skal det straks gis beskjed til en av staben, men vent ikke med igangsetting av førstehjelp. Telefonnummer til sykehus er oppslått i laboratoriet.

Alle skal bruke laboratoriefrakk og øyevern tilpasset arbeidets art.

Alle skal vite hvor nærmeste brannsløkker, nød-dusj, øyeskyller og førstehjelpsutstyr befinner seg og hvordan dette benyttes.

Respekter alle varselmerker. Vis forsiktighet ved bruk av elektrisk apparatur.

Påse at gassbrennere fungerer riktig dersom de skal brukes. De må ikke brenne unødige, og de skal være avstengt når laboratoriet forlates.

Spising og drikking er ikke tillatt i laboratoriet.

Private laboratorieforsøk er ikke tillatt. Opphold i laboratoriet utenom kurstiden er forbudt.

Gjør deg kjent med avfallsprosedyrene. Ikke hell i vasken kjemikalier som skader miljøet eller forårsaker lukt i bygningen.

Ved brannalarm skal gassbluss slukkes og bygningen straks evakueres.

Unngå hastverk. Velg et naturlig arbeidstempo. Løp aldri i laboratoriet eller i gangen foran. Følg gjeldende ordensregler og hold arbeidsplassen ryddig.

Uvedkommende har ikke adgang til laboratoriet.

Brudd på sikkerhetsreglene kan føre til fare for din egen og andres helse.

Alvorlige brudd er utvisningsgrunn.

ENKEL FØRSTEHJELP

Kjemikaliesprut i øyet: Vask med kaldt vann fra nærmeste spring eller øyeskylleflaske. Fortsett skylling til lege overtar. Se oppslag "Legehjelp ved ulykker".
Brukere av kontaktlinser: Skyll først. Ta vekk kontaktlinsene. Fortsett skylling.

Brannskader: Skyll skadestedet med kaldt vann fra nærmeste spring. Hold det så neddyppet i vann (15 - 20°C). Fortsett behandlingen også under transport til lege og under eventuell venting på sykehus.

Kjemikaliesøl på huden: Skyll med mye kaldt vann, fjern tilsølte klær og skyll huden, vask med såpe og vann.

Kuttskader: Skyll med kaldt vann fra springen. Stans blødning, legg nødforbinding, bruk "enkeltmannspakke" eller "blodstopper" som finnes i førstehjelpsskapet. Søk evt. lege for sying.

Gassforgiftninger: Frisk luft og fullstendig ro, tilkall lege/ambulanse.

Gift i fordøyelseskanal: Drikk mye kaldt vann. Giftinformasjonssentralen, tlf. 22 59 13 00 kan gi ytterligere opplysninger vedr. aktuelle stoff. Ta kontakt med Ullevål sykehus, Medisinsk avd., akuttmottaket, tlf **22 11 80 80**.

Elektrisk støt: Fjern skadede fra spenningskilden. Ved hjertestans: Sett straks i gang med kunstig åndedrett og hjertemassasje.

Besvimelse: Stabilt sideleie, sjekk puls og åndedrett.

ØVELSE 1: ENERGITRANSPORT OG KALORIMETRI

Fremmøtested: Fysikklab i 2. etg. vest i Fysikkbygningen (ved siden av Lille Fysiske auditorium, der forelesningene går).

I denne øvelsen skal vi illustrere begrepet energi så vel som transport og konvertering av energi. Du vil møte stoff som er kjent fra pensum om varme, stråling, og termodynamikk, men også noen helt nye prinsipper. Du vil få trening hovedsakelig i fysiske målemetoder og rapportering fra disse.

Øvelse 1a: Termoelektrisitet og energitransport

Introduksjon

I denne delen av øvelsen skal vi se nærmere på noen forskjellige måter å konvertere energi på fra en form til en annen. I den første delen blir varme konvertert direkte til elektrisk strøm ved hjelp av et Peltier-element. Direkte konvertering av varme til elektrisk energi eller omvendt kalles termoelektrisitet. Dette er en fellesbetegnelse på flere termoelektriske effekter som kjennetegnes ved at:

1. Det oppstår elektriske strømmer eller spenninger pga. temperaturforskjeller i eller mellom elektriske ledere eller halvledere.
2. Elektriske strømmer leder til oppvarming eller avkjøling avhengig av strømmens retning.

Seebeck-effekten

I lærebokas kapittel 3 har vi lært om materialer i temperaturgradienter – de utvikler en elektrisk spenning hvis fortegn avhenger av om materialet er en n- eller p-leder. Hvor stor spenning vi får per grad temperaturgradient kalles termoelektrisk kraft, eller Seebeck-koeffisienten for materialet. Vi kan imidlertid ikke måle denne direkte, vi må koble materialet sammen med et annet materiale for å kunne gjennomføre målingen. Vi kan altså bare måle spenningen for et par av materialer – et termoelement.

Vi betrakter en krets sammensatt av to forskjellige metaller eller halvledere a og b ("termoelement"). Når kontaktstedenes temperatur er forskjellig vil det gå en elektrisk strøm i kretsen (Seebeck-effekten) fordi materialene setter opp forskjellige spenninger i gradienten. Hvis kretsen åpnes oppstår det en termoelektrisk spenning E_{ab} mellom terminalene. Positiv retning for E_{ab} er fra materialet a til materialet b i det kalde kontaktstedet. Seebeck-koeffisienten for kontakten mellom materialene a og b er definert som

$$S_{ab} = \frac{dE_{ab}}{dT} \quad (1)$$

hvor T er temperaturen i det varme kontaktstedet.

Del 1: Ladningsbærerens bevegelsesretning

En terningformet prøve av et halvledermateriale plasseres mellom to metallplater som kobles til et voltmeter. Den ene metallplaten varmes opp noen få grader med hånden.

Voltmeteret viser en spenning av størrelsesorden 1 mV. Spenningens fortegn avhenger av om halvlederen er p-type med positive ladningsbærere eller n-type med negative ladningsbærere. Undersøk de materialprøvene som er framlagt.

I disse målingene danner metallplatene og måleinstrumentets ledninger ”det andre materialet” som går fra målingens varme side tilbake til romtemperatur. Disse er metaller og har langt mindre termoelektrisk kraft enn halvlederen. Derfor kan vi tolke resultatet i hovedsak som gitt av halvlederens egenskaper.

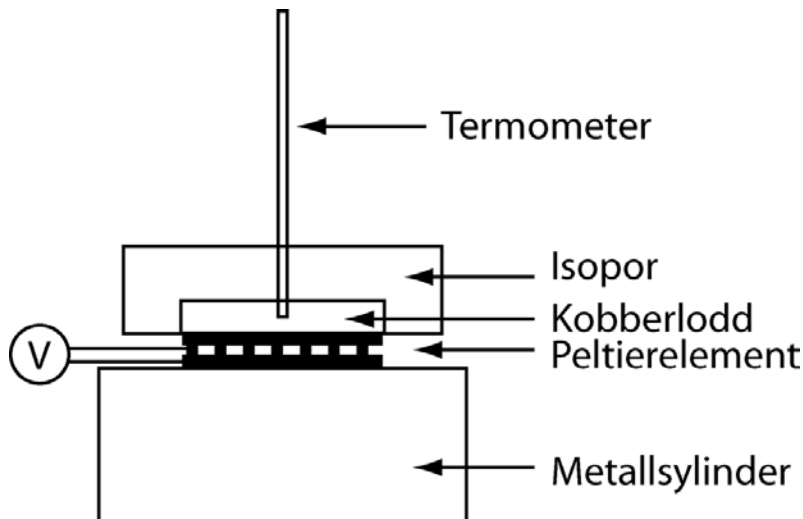
Journal:

Tegn forsøksoppsettet og materialene og temperaturene som inngår skjematisk. Bestem hvilken prøve som er p-type og hvilken som er n-type. Begrunn svaret. Beskriv hvordan terninger av p- og n-type materialer kan kobles sammen i serie til en termogenerator (Peltierelement).

Benytt apparaturen med Peltier-element som er vist i figuren udner. Hold kobberloddet i hånden og varm det opp noen grader. Mål sammenhørende verdier av kobberloddets temperatur og den elektriske spenningen E mens loddet avkjøles. Temperaturen til den store metallsylindren som Peltier-elementet ligger på holder seg tilnærmet konstant.

Journal:

Framstill måleresultatene grafisk med kobberloddets temperatur på x-aksen og spenningen på y-aksen. Bestem Seebeck-koeffisienten $S_{ab} = \frac{dE_{ab}}{dT}$ for Peltierelementet.



Figur 1: Termoelement og varmereservoar for bestemmelse av Seebeck-koeffisienten i Peltier-elementet.

Varmeledning gjennom Peltier-elementet

Bruk apparaturen fra Figur 1. Kobberloddets temperatur betegnes med $T_1(t)$, der t er tiden. Den store metallsylinderens temperatur T_2 betraktes som konstant. Den termoelektriske spenningen $U(t)$ er gitt ved

$$U(t) = S[T_1(t) - T_2] \quad (2)$$

La kobberloddet ha varmekapasiteten C . Når kobberloddet avkjøles vil det avgi effekten

$$P = -C \frac{dT_1}{dt} \quad (3)$$

I følge Fouriers lov har vi at

$$P = \lambda A \frac{T_1(t) - T_2}{d} \quad (4)$$

der A er Peltier-elementets areal, d er tykkelsen og λ er varmekonduktiviteten til elementet.

De tre ovenstående likninger innebærer at

$$\frac{dU}{dt} = -\frac{\lambda A}{Cd} U(t) \quad (5)$$

Ved integrasjon får vi

$$\ln \frac{U(t_2)}{U(t_1)} = -\frac{\lambda A}{Cd} (t_2 - t_1) \quad (6)$$

Varmekonduktiviteten λ angis i $\frac{W}{m \cdot K}$.

Del 3: Bestemmelse av varmekonduktiviteten

Varm opp kobberloddet noen grader med hånden. (Alternativt kunne du ha sendt strøm gjennom Peltier-elementet (og så brutt strømforyningen), men det er mindre effektivt. Mål den termoelektriske spenningen $U(t)$ hvert 20. sekund i 500 sekunder.

Journal:

Framstill måleresultatene grafisk på enkeltlogaritmisk papir med $U(t)$ langs den logaritmiske akse. Bruk grafen til å bestemme Peltier-elementets varmekonduktivitet λ .

Peltier-effekten

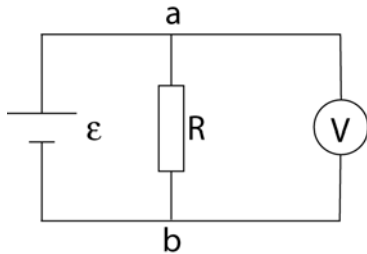
Vi betrakter igjen en krets sammensatt av to forskjellige metaller eller halvledere. Anta at kontaktstedene til å begynne med har samme temperatur. Så kobles en strømkilde til kretsen. Kontaktens temperatur vil nå forandre seg. En del av dette kan tilskrives motstands-oppvarming (Joule-effekten). Resten skyldes tilskrives Peltier-effekten. Sistnevnte kan reverseres slik at den kan forårsake oppvarming eller avkjøling.

Peltiereffekten skyldes at ladningsbærerne som går gjennom kontaktflaten, passerer et potensialsprang og derfor mottar eller avgir energi. Avgitt energi finnes igjen som varme og mottatt energi vil medføre nedkjøling av omgivelsene. Varmemengden er lik produktet av strømmen som går fra stoff A til B og en størrelse π_{AB} , som kalles Peltierkoeffisienten. Denne er avhengig av de to stoffene og av temperaturen i kontaktstedet. Når strømmen skifter retning, skifter Peltierkoeffisienten fortegn $\pi_{AB} = -\pi_{BA}$, og man får oppvarming der man før hadde avkjøling og omvendt. Siden strøm også gir oppvarming pga. resistans, og denne oppvarmingen øker proporsjonalt med kvadratet av strømmen, mens oppvarming pga. Peltiereffekten øker proporsjonalt med strømmen, blir peltiereffekten særlig merkbar ved små strømmer.

Del 4: Peltier-kjøling

Bruk apparaturen fra Figur 1. Send en strøm på maksimalt 0,5 A gjennom Peltier-elementet. Kobberloddets 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 (noen få minutter).

Del 5: Indre resistans i en termogenerator (Peltier element)



Figur 2: Krets for måling av indre resistans i termogenerator (peltier-element) med spenning ε ved hjelp av en motstandsboks med valgbar motstand R og et voltmeter V .

En metallkopp fylles med varmt vann fra springen og settes forsiktig oppå Peltier-elementet som er plassert oppå kobbersylindere. Peltier-elementet kobles til en motstandsboks (R på Figur 2). Vi velger $R = 1, 1,5, 2,5, 4$ og 10Ω . For hvert valg av resistansen R måles potensialforskjellen U_{ab} med et voltmeter V som har stor indre resistans. Strømmen I_R gjennom motstandsboksen er gitt ved:

$$I_R = \frac{U_{ab}}{R} \quad (7)$$

Strømmen I gjennom generatoren er gitt ved:

$$I = I_R + I_V \quad (8)$$

der I_V er strømmen gjennom voltmeteret. Da voltmeterets indre resistans er $10 \text{ M}\Omega$ blir $I_V \ll I_R$, slik at vi med god tilnærming kan skrive:

$$I = I_R = \frac{U_{ab}}{R} \quad (9)$$

Potensialforskjellen U_{ab} framstilles grafisk som funksjon av strømmen I på millimeterpapir. Punktene forventes da å ligge på en rett linje som kan skrives som:

$$U_{ab} = \varepsilon - r_i I \quad (10)$$

der ε er Peltier-elementets elektromotoriske spenning og r_i er dets indre resistans.

Journal:

Tegn grafen og bruk denne til å bestemme r_i .

Øvelse 1b: Strålingskube og varmestrålingsdetektor

Introduksjon

Strålingskuben er en aluminiumsboks som inneholder en 100 W lyspære. Kuben har en svart, en hvit, en matt og en blank sideflate. Kubens temperatur registreres ved hjelp av en termistor (temperaturavhengig elektrisk motstand). En utlagt tabell viser sammenhengen mellom kubens temperatur og termistorens resistans. Strålingskubens temperatur kan varieres.

Vi benytter en strålingsdetektor som inneholder en termosøyle (kombinasjon av flere termoelementer). Detektoren gir en termospenning som er proporsjonal med varmestrålingens intensitet. Den spektrale responsen er (i følge produsenten) tilnærmet konstant i området av bølgelengder fra 0,5 μm til 40 μm .

Del 1: Stefan-Bolzmanns lov

Detektoren plasseres 30-40 mm fra kubens svarte sideflate. Sett varmeskjoldet mellom kuben og detektoren. Lampen i kuben tennes. Mens kubens varmes opp måles sammenhørende verdier av kubens temperatur og detektorens termospenning. Varmeskjoldet fjernes i noen få sekunder mens målingen foretas. Da kan vi regne med at detektorens temperatur er lik romtemperaturen T_0 .

Journal:

Vi venter at termospenningen U fra detektoren vil være tilnærmet proporsjonal med $(T^4 - T_0^4)$ der T er kubens temperatur. Undersøk om dette stemmer. (NB! T og T_0 måles i kelvin).

Del 2: Stråling fra forskjellige flater

Journal:

Sammenlikn strålingseksitasene til den svarte flaten og den blanke flaten ved samme temperatur.

Del 3: Absorpsjon av varmestråling i glass

Hold detektoren ca. 50 mm fra den svarte flaten. Les av termospenningen. Sett en glassplate mellom kubens og detektoren. Les av termospenningen igjen.

Journal:

Blokkerer glasset varmestrålingen?

Øvelse 1c: Kalorimetri

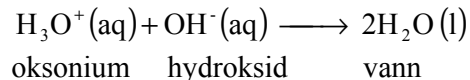
I denne øvelsen skal dere bruke vernebriller (deles ut) og labfrakk (medbringes).

Kalorimetri er å måle varmemengde. Et kalorimeter er en innretning der man gjør denne målingen. Som regel er hovedprinsippet at det må være godt isolert (for å holde på varmen) og at det har noe som kan måle temperaturen, for eksempel et termometer.

Reaksjonsentalpi for en reaksjon; nøytraliseringsvarme

Nøytralisering av en syre med en base er en eksoterm reaksjon. Derfor vil vi observere en temperaturøkning i blandingen etter hvert som basen tilsettes. Hvis temperaturendringen i blandingen logges med en datalogger, kan man se nøytralisasjonspunktet som et temperaturmaksimum. Man ser også et fargeomslag med en passende indikator.

Reaksjonen kan gjøres i et isoporbeholder som er et enkelt kalorimeter. Hvis man kjenner temperaturendringen vi har fått når alt har reagert, mengde syre og base dette stammer fra, samt mengden og varmekapasiteten til løsningene som blandes, kan man bestemme standard reaksjonsentalpi, ΔH_N^0 , for reaksjonen:



og dette skal vi gjøre i denne oppgaven.

Utstyr

2,0 M HCl
 2,0 M NaOH
 (løsningene bør ha samme temperatur)
 Isoporbeholder (kalorimeter)
 Plastsprøyte, 50 mL
 Fenolftaleinløsning
 Dataloggingsutstyr med temperaturføler
 Magnetrøreverk
 Termometer

Framgangsmåte og observasjoner

- 1) Rigg opp utstyret for datalogging med temperaturføler. Mål ut 50,0 mL saltsyre og overfør til isoporbeholderet. Sett beholderet til røring og plasser en temperatursensor i løsningen. Ha i to dråper indikatorløsning (fenolftalein).
- 2) Overfør ca. 60 mL natronlut i et begerglass. Mål temperaturen i syren og luten og notér.
- 3) Start loggingen. Sug opp 50 ml lut med plastsprøyten og tilsett ganske raskt, ca. 1 mL i sekundet. Når du nærmer deg nøytralisasjonspunktet (ofte kalt endepunktet, 50,0 mL), følg godt med: Notér tilsatt volum lut i det *indikatoren*

slår om, og notér også ved hvilket volum temperaturen når et maksimum. Fortsett å sette til litt mer lut etter endepunktet

- 4) Lagre grafen fra dataloggingen som en bitmap-fil.

Journal:

Legg ved grafen fra dataloggingen.
 Ved hvilket volum tilsatt lut skal endepunktet for titreringen nås? Overensstemmer endepunkt og ekvivalenspunkt?
 Ved hvilket volum tilsatt lut når du temperaturmaksimum?
 Forklar hvorfor temperaturkurven har et maksimum og at kurven er slakkere når temperaturen avtar igjen.
 Bestem standard nøytralisasjonsentalpi, ΔH_N^0 , for reaksjonen når løsnings tetthet settes til 1,00 g/mL og løsnings spesifikke varmekapasitet, c , til 4,2 J/(gK).

Øvelse 1d: ”Termodynamikk”

I denne oppgaven skal vi bruke en latex gummistrikk – for eksempel en uoppblåst ballong. Arbeid to og to sammen.

a) Hold gummien i normal lengde (ikke strukket) en kort tid mot pannen på kollegaen. Legg merke til hvordan temperaturen i materialet (= romtemperatur) føles. Strekk et par cm av gummien raskt ut til ca 3 ganger lengden og hold den slik idet du igjen legger den mot huden. Hva har skjedd med materialets temperatur? Tror du endringen skyldes termodynamikk eller kinetikk (friksjon)?

b) Hold gummien utstrukket i 3 ganger lengden i 10-20 sekunder, slik at den får romtemperatur. Slipp den raskt sammen til opprinnelig lengde og hold den så raskt mot huden. Hva har skjedd med materialets temperatur nå? Hva sier dette om spørsmålet om termodynamikk vs kinetikk (friksjon)?

Anta at gummien er et system. Den utveksler ikke masse med omgivelsene og vi lar den ikke rekke å utveksle varme før vi ”måler” dens temperatur, så den kan sees som et isolert system. Vi (en del av omgivelsene) gjør arbeid på gummien ved å strekke den. Strekkingen av gummien fører til en *ordning* av polymerkjedene. Prøv utfra dette å bedømme om gummien bør bli varmere eller kaldere ved strekkingen. Stemmer det med observasjonene?

Bruk evt. andre betraktningmåter for prosessen eller systemet for å forklare det som observeres.

Tenk deg at du henger en relativt tung gjenstand opp i den samme gummien og at du varmer opp gummien (for eksempel med en hårføner). Bør den trekke seg sammen (og løfte gjenstanden) eller forlenges ytterligere, ut fra det du kom frem til over? Bruk gjerne Le Chatelier’s prinsipp.

ØVELSE 2: SYNTSE AV SUPERLEDEREN YBa₂Cu₃O₇ ("YBCO")

Fremmøte: ØU14 i Kjemibygningen. Husk labfrakk og vernebriller.

Innledning

I denne laboratorieøvelsen skal vi se eksempel på syntese av et avansert keramisk funksjonelt materiale¹. Det er avansert fordi det har en bemerkelsesverdig fysikalsk egenskap (superledning), fordi det er komplisert oppbygd både med hensyn på struktur og sammensetning, og fordi det må lages helt rent og med velkontrollert støkiometri for at de superledende egenskapene skal være tilstede som forventet.

I løpet av øvelsen vil du bruke en del kjemisk apparatur og kjemiske arbeidsmetoder. Videre vil du bruke eksemplene som øvelse i beregninger, særlig i forbindelse med innveiing og likevekter. Du skal så sintre det syntetiserte materialet ved høy temperatur til en håndterbar prøve. I en senere oppgave i kurset skal du karakterisere prøven din med fysikalske målemetoder. Vi skal også vise hvordan stoffet og dets struktur kan karakteriseres med avanserte instrumenter som benyttes i materialforskningen ved Universitetet i Oslo.

Bakgrunn og teori

Litt om superledere

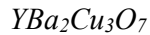
En superleder er et materiale som leder elektrisk strøm uten motstand. Denne egenskapen ble først oppdaget i kvikksølv ved temperaturer nær det absolutte nullpunkt - flytende helium måtte benyttes som kjølemiddel. Oppdagelsen ble gjort av Onnes i 1911, bare tre år etter at flytende helium ble fremstilt for første gang. Senere er superledning funnet i mange metaller og enkelte ikke-metalliske stoffer, men alltid ved svært lave temperaturer. I 1986-87 oppdaget Müller og Bednorz at YBa₂Cu₃O₇ ("YBCO") ble superledende over temperaturen til flytende nitrogen, 77 K – et stort hopp oppover i temperatur fra de hittil kjente superledere. At flytende nitrogen kan brukes som kjølemedium i stedet for helium er et tilsvarende stort sprang ned i kostnad ved å bruke en slik superleder.

Superledere har en del parametere som viktige for praktiske anvendelser. Den mest åpenbare er den kritiske temperaturen (T_c), som er den høyeste temperaturen der materialet er superledende. I tillegg er det også et kritisk magnetfelt (H_c) og en kritisk strømtetthet (J_c). Det vil si at selv om temperaturen er lav nok vil den superledende egenskapen brytes ned om prøven blir utsatt for en for sterk strømstyrke eller et for sterkt magnetfelt. Disse parametrene er avhengige av hverandre slik at for eksempel vil den kritiske temperaturen være lavere jo sterkere magnetfelt materialet utsettes for.

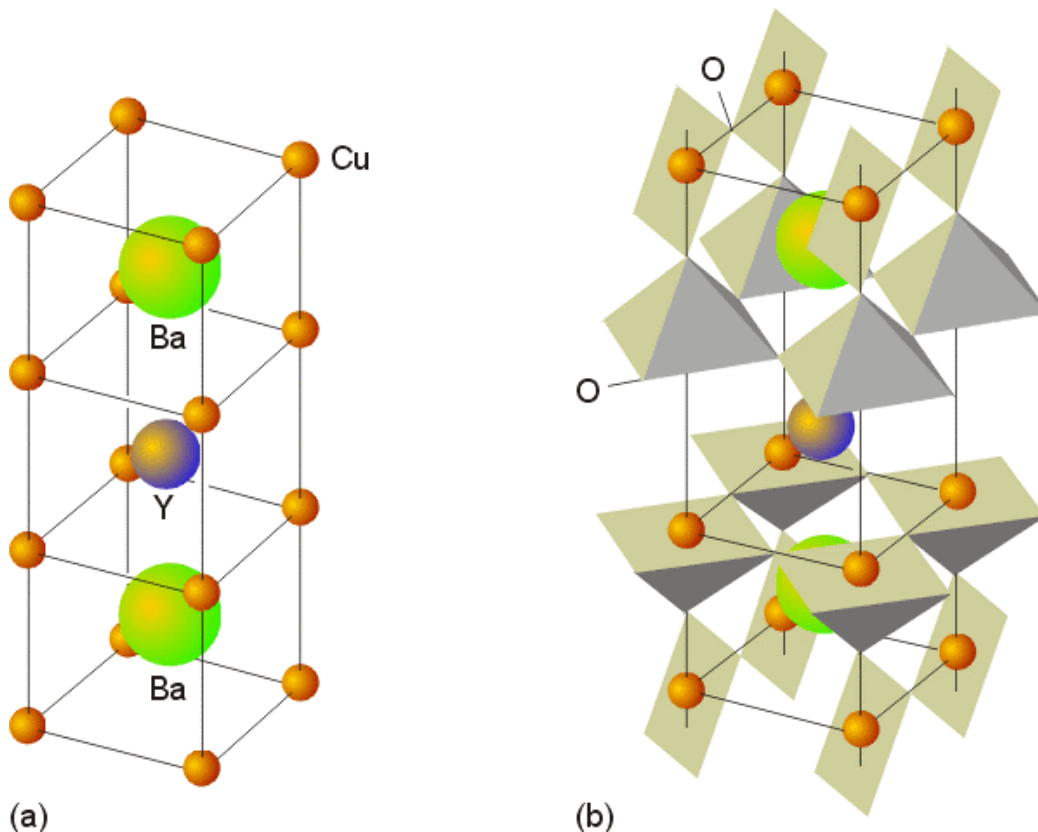
¹ R.S. Liu, C.T. Chang, P.T. Wu, "Homogeneous Coprecipitation as a Means toward High- T_c and Sharp-Transition YBa₂Cu₃O_{7-x} Superconducting Oxides", *Inorg. Chem.* **28** (1989) 154-56.

En spesiell egenskap ved superledende materialer er at de vil støte fra seg magnetiske felt. Dette kalles Meissner-effekten. Dette gjør at det er mulig å få en liten permanent magnet til å sveve over en superledende prøve.

Vi skal kontrollere om materialet vi lager er superledende nettopp ved å prøve Meissner-effekten, i tillegg til å måle den elektriske ledningsevnen.



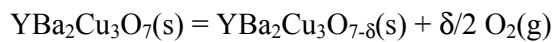
YBCO har en struktur – en romlig organisering av atomene – som kan utledes fra perovskitt-strukturen, ABO_3 . Tilnærmelesvis kan vi si at Y og Ba sitter på A-plassene, mens Cu sitter på B-plassene. Vi ser at $YBa_2Cu_3O_7$ bare har besatt 7 av 9 mulige oksygen-plasser i perovskittstrukturen. Derfor er mange av CuO_6 -oktaedrene i strukturen redusert til plane CuO_4 -enheter og kvadratiske pyramider. Y- og Ba-atomene er ordnet i plan og det samme er oksygenatomene; YBCO har mao. en lagdelt perovskitt-relatert struktur.



Figur 3. Strukturen til $YBa_2Cu_3O_7$. (a) viser bare metallatomene. (b) viser oksygen som hjørner i polyedre; kvadratisk pyramidale og plankvadratiske.

YBCO er metallisk ved romtemperatur; delokaliserte elektroner befinner seg i halvfylte bånd i spesielle plan i strukturen.

Oksidasjonstallet til kobberatomene i YBCO er uvanlig. Oftest har kobberioner oksidasjonstrinnet +2, enkelte ganger +1 under reduserende betingelser eller høy temperatur. Hvis vi antar vanlige oksidasjonstrinn for yttrium, barium og oksygen (henholdsvis +3, +2 og -2) får kobber gjennomsnittlig +2,33 som formelt oksidasjonstall i $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$. Mekanismen for superledning ser ut til å innebære bevegelse av elektroner mellom to- og treverdige kobber og det er derfor viktig at prøven er oksidert, dvs at oksygeninnholdet er nær 7. Som alle oksider har YBCO den egenskapen at oksygeninnholdet kan forandre seg avhengig av temperatur og oksygeninnholdet i atmosfæren rundt prøven – i YBCO er muligheten for endring relativt stor. Vi kan generelt skrive formelen som $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, der vi altså ønsker at δ er så liten som mulig slik at $7-\delta$ er nærmest mulig 7. Når $7-\delta$ avtar vil også den kritiske temperaturen avta og for $7-\delta < 6,4$ blir superledningsevnen helt borte. Reaksjonen der oksidert avgir oksygen kan skrives

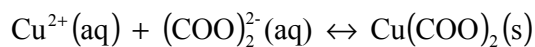
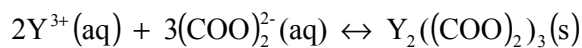
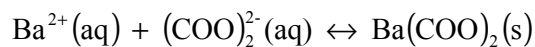


Oppgaver (for journalen):

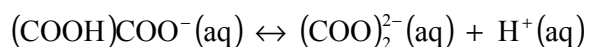
- Vurder likevekten for reaksjonen: Bør vi varmebehandle prøvene i høyt eller lavt oksygenpartialtrykk for å oppnå den ønskede støkiometrien?
- Tror du entropiendringen for reaksjonen over er positiv eller negativ?
- Diskuter hvordan likevekten og derved $7-\delta$ forskyves som funksjon av temperaturen.
- Ved hvilket oksygeninnhold i materialet har Cu formelt oksidasjonstall +2?

Synteseprosessen

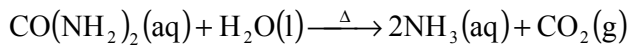
I denne syntesen skal vi felle kationer som oksalater – vi utnytter at alle oksalatene er uløselige i vann. Hver for seg kan fellingene skrives:



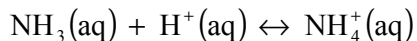
Vi tilsetter imidlertid ikke oksalationer direkte, men starter med oksalsyre, $(\text{COOH})_2$, dvs. løsningen er sur. Så øker vi pH ved hjelp av ammoniakk. Når pH i løsningen øker vil likevekten mellom oksalsyre og oksalationer gradvis forskyves mot høyre fordi H^+ -ioner kontinuerlig fjernes fra løsningen:



Men i stedet for å tilsette ammoniakk direkte skal vi produsere ammoniakk i løsningen ved å hydrolysere urea, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Å hydrolysere betyr å reagere med vann. Hydrolyse av urea skjer ved oppvarming:



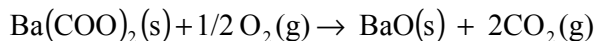
Reaksjonen finner sted mellom 80 og 100°C under utvikling av ammoniakk og karbondioksid og dette fører til en svak, kontinuerlig økning i pH, fordi ammoniakk er en svak base:



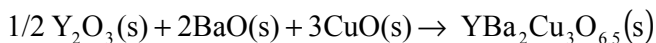
CO_2 drives ut av løsningen, og denne gassutviklingen vil også røre løsningen og forhindre støtkoking. Reaksjonen kan stoppes når løsningen har den ønskede pH ved å avkjøle løsningen til romtemperatur.

Den gradvise økningen i pH gir langsom vekst av barium- og yttriumoksalat på kobberoksalatet som blir utfelt som svært små partikler allerede i mer sur løsning. Kornstørrelsen til det utfelte produktet vil på grunn av dette være svært liten. Dette må vi ta hensyn til ved filtreringen og vi bruker derfor et svært finmasket filter.

Vi brenner oksalatene ved høy temperatur for å overføre dem til oksider, for eksempel



Oksidene reagerer så til sluttproduktet:



Avgivelsen av CO_2 under avbrenningen gjør at oksidene blir svært reaktive slik at de i stor grad reagerer med hverandre som en del av spaltingen av oksalatene. Dette er nettopp et av poengene med denne syntesen. Det er viktig å oppnå atomær blanding av kationene for å få riktig sammensetning og struktur overalt, og derfor er det nødvendig med liten kornstørrelse, god blanding i utgangspunktet og høy temperatur..

Alternative syntesemetoder

Metoden vi bruker her er en våtkjemisk metode, der vi starter med å bringe alle kationene i løsning og så mer eller mindre samfelle dem.

Et alternativ er den tradisjonelle kerammetoden, der oksider og karbonater blandes mekanisk i en mølle og så varmes til høy temperatur for å få reaksjon til sluttproduktet.

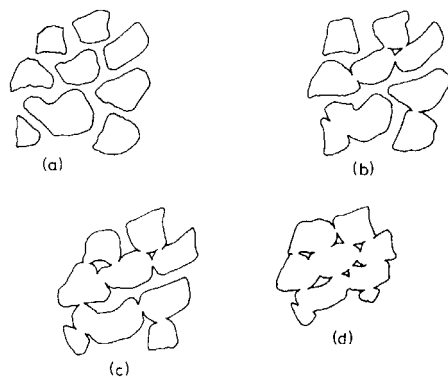
En annen våtkjemisk rute er utviklet av forskere ved Universitetet i Oslo. I denne brukes sitronsyre i stedet for oksalsyre – noe som har den fordel at ingen kationer felles ut som separat fase før andre. Vi har derved atomær blanding av kationene hele veien. Dette muliggjøres bl.a. ved at sitronsyre er en treprotisk syre, mens oksalysyren er

toprotisk. Du får anledning til å prøve denne metoden på et senere kurs i synteseteknikker.

Sintring

Sintring er en prosess der små partikler i direkte kontakt med hverandre danner et fast legeme. Drivkraften for sintring i et homogent krystallinsk materiale er reduksjonen i den frie energien på grunn av reduksjonen i overflateareal når partiklene vokser sammen. Det er derfor viktig å ha små partikler. I tillegg er det viktig å ha en riktig partikkelstørrelse-distribusjon for å kunne presse en tablett med minst mulig hulrom i utgangspunktet. I krystallinske materialer skjer diffusjonen (bevegelsen av atomene) langs korngrenser, på overflater og inni kornene (bulk).

Sintringsprosessen kan deles inn i tre hovedstadier. Det første stadiet er begynnende sintring, der vi får nakkedannelse, men kornene fremdeles er atskillbare. I det andre stadiet vokser nakkene og det dannes et porøst tredimensjonalt nettverk av sammenkoplete partikler. I det tredje og avsluttende stadiet dannes et fast materiale med isolerte porer. Alternativt kan porene transporteres til overflaten og forsvinne avhengig av utgangsmaterialets tetthet og formen på kornene. De ulike stadiene i sintringen er illustrert i figuren under.



Figur 4: Illustrasjon av de ulike stadiene i sintringsprosessen. Fra løst pakket pulver (a), gjennom nakke-dannelse (b), og porøst tredimensjonalt nettverk (c) til et fast materiale med isolerte porer (d).

Beskrivelse av enkelte apparaturenheter og metoder

Veing

Når vi skal lage YBCO og andre sammensatte forbindelser må vi ofte måle ut utgangsstoffene med stor nøyaktighet. I denne øvelsen, som ofte i industrien, skal vi bruke vekter til å måle ut utgangsstoffene.

Vi skal bruke to ulike vekter i denne oppgaven. De har omtrent samme virkemåte, men ulik nøyaktighet. Vekter med måleusikkerhet på mindre enn 1 mg kalles *analysevekter*. De har et glassbur rundt seg for å dempe vibrasjoner og luftstrømmer og redusere

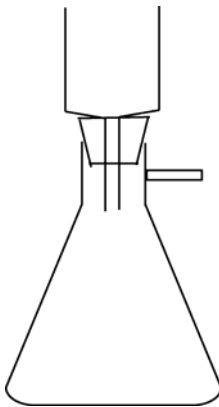
støvmengden. Analysevekten er et dyrt og følsomt instrument og det er viktig å behandle den riktig. Ta den tiden du trenger og bruk rolige bevegelser. Unngå søl av kjemikalier på vekta. Kjemikalier veies alltid i et veieskip eller liknende, aldri rett på vekta. Lukk døra til vekta når du skal lese av det endelige resultatet.

Når vi skal veie inn stoffene til denne oppgaven bruker vi *kvantitativ overføring*. Dette vil si at vi setter veieskipet på vekta og nullstiller den. Deretter fyller vi veieskipet med riktig mengde stoff og overfører alt til bestemmelsesstedet og skyller så ut av veieskipet med et egnet løsnings- eller skyllemiddelmiddel.

Grovvekten brukes til veiinger som krever mindre nøyaktighet. Disse vektene har ikke et glassbur rundt seg. Veiingene gjøres i vår øvelse på tilsvarende måte som for analysevektene.

Filtrering

Det finns flere mer eller mindre avanserte oppsett for filtrering. I denne oppgaven skal vi bruke et oppsett med et veldig finmasket filter på grunn av den lille kornstørrelsen produktet vårt har når vi filtrerer. Filteret, som er plassert i bunnen av en trakt støttes av en plate laget av en polymer. Vi bruker også en filtrerkolbe og vannstrålepumpe. Filtreringen tar litt tid, men det er viktig å være tålmodig og ikke suge for hardt på kolben da støtteplaten til filteret kan bli ødelagt og filtreringen vil gå enda tregere. Oppsettet ser omtrent ut som skissen i figuren under.



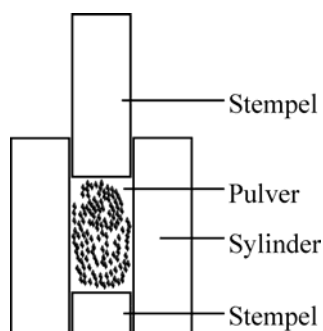
Figur 5: Skisse av filtrerkolbe og filtertrakt.

Vasking av bunnfallet skal gjøres i trakten. Det gjøres ved å tilsette det du skal vaske med (i dette tilfellet vann eller isopropanol), røre forsiktig slik at alt produktet kommer i kontakt med vannet eller isopropanolen, men uten å være borti filteret. Det er best å ikke suge bunnfallet helt tørt før man begynner å vaske.

Pressing av tabletter

For at kornene i pulveret skal komme i best mulig kontakt med hverandre under reaksjonen og for at sintringen skal ha et best mulig utgangspunkt for å danne en tett

prøve uten for mye porer presser vi pulveret sammen til en tablett. Dette gjøres i en tablettpresse som illustrert i figuren under.



Figur 6: Skisse av tablettpresse med pulver

Tablettpressen består av en metallsylinder og to stempler. Pulveret plasseres mellom stemplene og presses sammen til en tablett ved hjelp av en hydraulisk presse eller liknende. Veileder vil forklare mer om rutinene for dette under øvelsen.

Praktisk utførelse av syntesen (første dag)

Regn på forhånd ut de nødvendige tall for syntesen og fyll inn i tabell 1 (under). Sammenlign og diskuter med andre, og søk eventuelt hjelp, f.eks. under kollokvium.

Molforholdet mellom yttrium-, barium- og kobber-ioner skal være 1:2:3, konsentrasjonen av Y^{3+} skal være 0,068 M, og den totale løsningsmengden skal være 65 mL.

Regn også ut mengdene av oksalsyre og urea slik at de får konsentrasjoner 0,5 og 10 M i den totale løsningsmengden (65 ml). Husk at oksalsyren inneholder krystallvann når du beregner dens molmasse.

Tabell 1: Beregning av stoffmengder

Løsningens totale volum i mL: 65				
Reagens	Konsentrasjon (M)	Antall mol	Molmasse (g/mol)	Masse (g)
Yttriumoksid Y_2O_3	$[Y^{3+}] = 0,068$			
Bariumkarbonat $BaCO_3$				
Kobberhydroksidkarbonat $Cu(OH)_2 \cdot CuCO_3$				
Oksalsyre (-dihydrat) $(COOH)_2 \cdot 2H_2O$	0,5			
Urea $CO(NH_2)_2$	10,0			

Yttriumoksid (Y_2O_3), bariumkarbonat ($BaCO_3$) og kobberhydroksidkarbonat ($Cu(OH)_2 \cdot CuCO_3$) veies inn på analysevekt. Ikke bland stoffene sammen.

Urea og oksalsyre veies inn på grovvekt.

Det skal lages to løsninger (1 og 2) som skal blandes sammen senere. *Her skal det arbeides i avtrekk.*

Løsning 1 skal når den er ferdig inneholde yttrium, barium, kobber og urea. Løsningen lages ved å først løse yttriumoksidet i 11 mL 6 M salpetersyre (HNO₃). Dette gjøres i en 100 mL erlenmeyerkolbe under forsiktig oppvarming. Når alt er løst kjøles løsningen under springen. Bariumkarbonat og kobberhydroksykarbonat tilsettes. Skyll ned resten av saltet med 10 mL ionebyttet vann. Rør løsningen godt for å unngå klumper, og varm opp løsningen igjen. Sett et merke på kolben som markerer væskemengden og etterfyll om nødvendig med vann etter hvert. Når alt saltet er løst vil løsningen være klar blå og uten partikler. Kok ut overskudd av HNO₃, fortynn med vann til merket og varm opp til ca. 50°C (kolben kjennes varm). Denne temperaturen gjør at urea kan løses samtidig som det ikke er så varmt at det dekomponerer.

Løsning 2 lages ved å løse den innveide oksalsyren i 5 ml vann under oppvarming..

Oksalsyreløsningen (løsning 2) varmes nesten til koking og settes til løsning 1. Blandingen fortynnes med ionebyttet vann til omtrent 65 ml. Blandingen skal nå varmes på et kokende vannbad. Gassutvikling av CO₂ vil røre tilstrekkelig i løsningen slik at annen røring ikke skal være nødvendig. Hvis det likevel legger seg en utfelling på bunnen, ta kolben opp etter 5 minutter og rist forsiktig.

Kobber vil felles ut som kobberoksalat (Cu(COO)₂) med en gang reaktantene er blandet. Etter hvert som reaksjonen går og pH stiger vil også yttrium- og bariumokslatene felles ut. Etter hvert vil litt av kobberoksalatet løses igjen som et kompleks, [Cu(NH₃)₄]²⁺. Dette har en sterkt mørkblå farge.

Det å avslutte ved omlag riktig pH er viktig: Dersom pH kommer for nær opp mot 7 og løsningen blir for mørkt blå, har vi mistet for mye kobber til løsningen, og materialet vil ikke bli en superleder. Dersom vi avslutter ved pH < 4 vil det utfelte materialet være for finkornet og vil lett gå gjennom eller tette filteret.

Reaksjonen tar oftest 30-60 minutter. Sjekk løsningen etter ca 30 minutter: Reaksjonen er ferdig dersom det blir mørkblått rundt boblene eller pH > 4. (En dråpe av væsken tas ut med en plastspatel for å sjekke pH.)

Mens reaksjonen over går skal dere gjøre noen forsøk med kobberforbindelser. Framgangsmåten for disse er beskrevet på slutten av oppgaveteksten.

Etter at reaksjonen er ferdig tar dere erlenmeyerkolben vekk fra vannbadet. I kolben skal det være et bunnfall med lys blå farge. Blandingen tilsettes ionebyttet vann til omtrent 100 mL. Rør om. Blandingen filtreres i lunken tilstand ved hjelp av en filtertrakt og sugokolbe med filterpapir på nylon-nett. Filtrér først 2 minutter uten sug. Sett så på et svakt sug. Når filtreringen er ferdig vaskes bunnfallet to ganger med 50 mL vann to ganger, deretter med 50 ml isopropanol. Rør forsiktig med en plastikkpipette-spiss under vaskingen uten å ripe opp filteret. Pass på at dere ikke suger filteret helt tørt før dere er ferdige med siste vasking.

Filterkaken skal nå tørkes. Den overføres til en aluminadigel og får tørke ved 120°C over natten.

Forsøk med kobberforbindelser

(mens man venter under syntesen av YBCO)

Lag en 0.05 M løsning av kobber(II)nitrat i vann. Tilsett dråpevis *litt* 1 M NH₃-løsning. Hva skjer?

Tilsett mer NH₃. Hva skjer? Hvilken farge har løsningen?

Tilsett 1 M salpetersyre (HNO₃) inntil alt er løst. Hva skjer?

Tilsett oksalsyre-løsning. Hva skjer?

Beskriv det du observerer og skriv reaksjonsligninger for alle reaksjonene.

Journalen for Øvelse 2:

Beskriv først de separate forsøkene med kobberforbindelser ved hjelp av reaksjonsligninger og farger for alle stegene i forsøket.

Beskriv helt kort materialet YBCO (maks. 1/2 side).

Besvar oppgavene a-d.

Beskriv kort og konsist syntesen av YBCO dere gjorde. Inkluder reaksjonslikning for utfelling av ett av oksalatene under hydrolysen av urea og forklar hvorfor oksalatene av yttrium og barium dannes gradvis mens kobberoksalat felles ut med en gang. Forklar hvorfor noe av kobberet løses igjen etter hvert som pH øker.

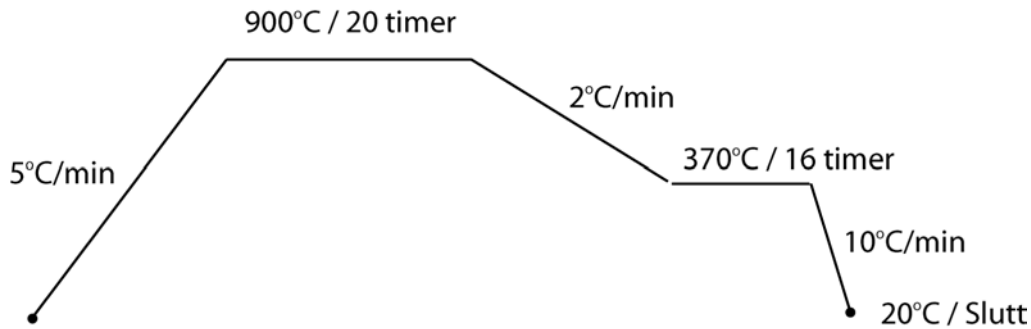
Resten av syntesen, utbyttet, samt karakterisering av materialet (under) skal først beskrives i journalen til Øvelse 3.

Videre behandling av det syntetiserte YBCO-materialet

Den tørkede filterkaken skal nå kalsineres (varmebehandles). Dette gjøres for å dekomponere oksalatene slik at vi ender opp med et oksid. Ved høy temperatur brenner vi vekk karbonet som CO₂. Temperaturbehandlingen vil også gi oss et mer homogent produkt. Kalsineringen gjøres i en muffelovn ved 900°C i 16 timer sammen med prøvene fra de andre gruppene. Veileder vil forklare mer om ovnen og programmeringen av denne.

Under kollokviet uken etter knuses prøven i en morter og pulveret presses til en tablett. Denne tabletten settes i et aluminaskip og sintres i oksygenatmosfære med temperaturprogrammet som er vist i figuren under. Dette steget har to funksjoner. Det

første er å få laget en tett tablett som vi kan gjøre forsøk med og det andre er å øke oksygeninnholdet i prøven.



Figur 7 Temperaturprogram for sintring i oksygenatmosfære.

Veiting av prøven

Etter sintring (i forbindelse med lab-oppgave 3) skal du veie prøven. Regn ut utbyttet av hele prosessen (syntesen og prøvefremstillingen) som mengde produkt i forhold til beregnet mengde produkt, i %. Dette oppgis i journalen til Øvelse 3.

Test av superledende egenskaper (del av Øvelse 3)

Til slutt skal vi se om prøvene er superledende. Til dette trenger vi flytende nitrogen, en passende beholder og en liten, sterk magnet. Dersom magneten svever over prøven når prøven ligger i flytende nitrogen, er den superledende ved 77 K!

Videre karakterisering

Vi skal om mulig gjøre en eller flere av følgende undersøkelser av prøvene. Ta med kopier av materiale fra undersøkelsene i journalen for øvelse 3, kommenter resultatet kort, og besvar spørsmålene under der det er mulig.

Ved røntgendiffraksjon på en del fra en prøve får vi et diffraktogram som viser 2θ for krystallplanene i strukturen. Identifiser den kraftigste refleksjonen. Hvilken gitteravstand tilsvarer denne?

Ved undersøkelse i et sveipelektronmikroskop (SEM) skal vi se på mikrostrukturen i prøven. Den fremkommer fordi korn grensene i overflaten er termisk etset under sintringen. Anslå porøsiteten og gjennomsnittlig kornstørrelse i prøven ut fra et SEM-bilde.

Ved undersøkelse i et transmisjonselektronmikroskop (TEM) skal vi gjøre høyoppløsnings-opptak der vi får en avbildning av strukturen i materialet. Anslå avstanden på den repeterende enheten du ser. Hvordan passer den med informasjonen i XRD-opptaket? Ser du noen defekter i bildet?

ØVELSE 3: FUNKSJONELLE EGENSKAPER

LADNINGSTRANSPORT OG OPTISKE EGENSKAPER

Fremmøte: MEF1000-lab'en i 2. etasje vest i fysikkbygningen (der første lab var, ved siden av forelesningsauditoriet Lille Fysiske Auditorium).

Innledning

Materialers evne til å lede elektrisk strøm og hva slags mekanisme ladningstransporten skjer ved, er viktige egenskaper ved et materiale i mange sammenhenger. Dette er ting vi bevisst eller ubevisst gjør nytte av hver eneste dag, for eksempel når vi bruker en pc, en varmeovn eller skrur på en lysbryter.

Grovt sett deler vi materialer inn i metalliske ledere, halvledere og isolatorer. Som kjent har metaller den beste ledningsevnen av disse og isolatorer den dårligste. I tillegg kommer superledere, som har uendelig høy ledningsevne. I første del av denne øvelsen skal vi se litt nærmere på forskjellene mellom de ulike typene ledere.

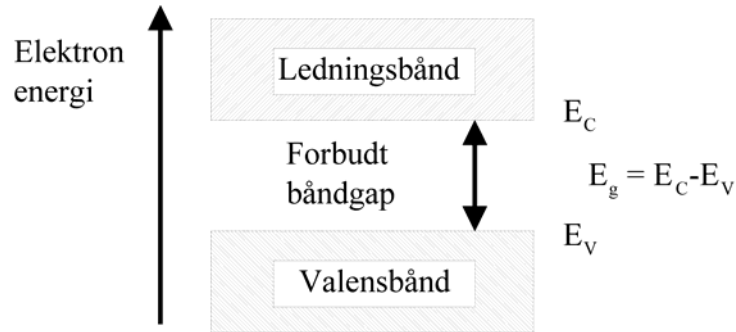
I den siste delen av øvelsen skal vi undersøke noen optiske fenomener der vi ser hvordan lys kan bli påvirket av å bevege seg gjennom en krystall og et magnetfelt.

Båndteori for udopede materialer

I et fritt atom beveger elektronene seg i atomorbitaler. Orbitalene sier blant annet noe om hvilke energier elektronene kan ha. I krystallinske faste stoffer er orbitalene samlet i *energibånd*. Båndene kan overlappes hverandre, eller de kan være separert av et båndgap uten tillatte energinivåer.

For å minimere energien fyller elektronene de laveste energinivåene først. Det høyeste okkuperte energinivået ved 0 K kalles Fermi nivået, E_F . Det høyeste energibåndet som inneholder elektroner ved 0 K representerer valenselektronene. Det kalles derfor gjerne valensbåndet, og det øverste energinivået i dette båndet noteres E_V . Det neste båndet kalles ledningsbåndet (laveste energinivå i dette noteres E_C) og det er fordelingen av elektroner mellom disse som avgjør stoffets elektriske egenskaper. Dersom valensbåndet ikke er fullt eller overlapper med ledningsbåndet vil stoffet ha metallisk ledningsevne.

Hvis valensbåndet er fullt og atskilt fra ledningsbåndet med et båndgap vil forbindelsen enten være en halvleder eller en isolator (se Figur 8). Dette er avhengig av båndgapet og hvis det er mellom 0,5 og 3 eV karakteriseres stoffet vanligvis som en halvleder.



Figur 8: Skjematisk illustrasjon av båndgapet i en halvleder eller isolator.

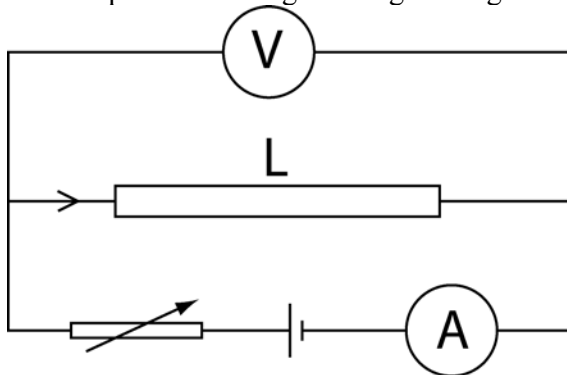
Ved temperaturer over det absolutte nullpunkt vil elektronene kunne eksiteres termisk fra valensbåndet til ledningsbåndet. Det blir da dannet frie elektroner i ledningsbåndet og elektronhull i valensbåndet. Disse er ladningsbærerne i materialet og sørger for den elektroniske ledningsevnen. Konsentrasjonen av ladningsbærere i en isolator eller halvleder er kun avhengig av temperaturen og størrelsen på båndgapet.

Metaller og halvleder/isolatorer vil oppføre seg forskjellig som funksjon av temperatur. I metaller har vi svært mange elektroner som kan bevege seg uten at de trenger å få tilført noe særlig energi. Valenselektronene kan bevege seg i det båndet de er siden det ikke er fullt og derfor er mange plasser og hoppe til. Dersom vi øker temperaturen i metallet vil atomene få mer energi og derfor bevege seg mer. Dette skaper større vibrasjoner i gitteret av metallatomene. Elektronene vil da bli hindret litt i sine bevegelser og ledningsevnen vil bli litt mindre.

For isolatorer/halvledere er situasjonen annerledes. Her er ledningsevnen blant annet bestemt av hvor mange elektroner som har nok energi til å hoppe fra valensbåndet til ledningsbåndet (eksiteres) slik at det kan dannes mobile ladningsbærere. Når temperaturen øker vil flere elektroner eksiteres og ledningsevnen vil øke. Gittervibrasjonene er en mindre effekt og spiller her liten rolle.

Måling av konduktivitet

Materialprøven har lengden L og rektangulært tverrsnitt $b \cdot d$.



Figur 9: Koblingsskjema for måling av konduktivitet i en leder eller halvleder.

3. Funksjonelle egenskaper

Vi sender en strøm I (enhet ampere, A) gjennom prøven og leser av potensialforskjellen U (enhet volt, V) som oppstår mellom prøvens endepunkter. Den spesifikke konduktiviteten σ er definert ved relasjonen

$$i = \sigma \cdot E \quad (11)$$

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

$$\sigma = \frac{I}{U} \frac{L}{b \cdot d} \quad (12)$$

der L , b og d er prøvens lengde, bredde og dybde. Tverrsnittsarealet er altså bd .

Benevnningen til σ er S/cm. En Siemens (S) er en invers Ohm ($S = \frac{1}{\Omega}$).

Midlere fri veilengde for elektroner er et mål for hvor fritt elektronene kan bevege seg og kan bestemmes fra formelen (se f.eks. Læreboka Kap. 7)

$$\sigma = ne u_e = \frac{ne^2 L_m}{m_e v_F} \quad (13)$$

der e er elektronets ladning (elementærladningen), n er antall ledningselektroner per m^3 , u_e er elektronets mobilitet og v_F er den hastighet som tilsvarer Fermienergien (7,05 eV for Cu). m_e er elektronets hvilemasse. Vi antar ofte at antall ledningselektroner i et metall tilsvarer antall atomer (dvs at ett elektron i hvert atom bidrar til ledning).

Prøvens temperatur kan heves ved hjelp av et varmeelement. (NB: De oppgitte maksimalverdier for strøm og spenning i elementet må ikke overskrides!)

Temperaturen T registreres ved hjelp av et termoelement. Vi har

$$T = T_0 + a U_T \quad (14)$$

der T_0 er romtemperaturen, U_T er termospenningen og a er en konstant med oppgitt verdi for hvert termoelement.

Journal:

Beskriv funksjonaliteten til et varmeelement. (Hvordan er det konstruert, hva er materialegenskapen vi utnytter, hva tilfører vi og hva får vi ut? Bruk ohms lov.)

Beskriv funksjonaliteten til et termoelement. (Hvordan er det konstruert, hva er materialegenskapene vi utnytter, hva måler vi?)

Oppgave 3-1: Konduktiviteten til kobber, Cu

Vi bruker oppsettet i Figur 9 og benytter som prøve en kobbertråd med oppgitt lengde og tverrsnitt montert på et kretskort. Mål sammenhengende 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.

Journal:

Lag en grafisk framstilling av trådens resistans som funksjon av temperaturen. Bestem verdien av $\frac{d\rho}{dT}$ der ρ er kobbertrådens resistans. Anslå verdien av elektronets midlere frie veilengde L_m . Sammenlikn L_m med avstanden mellom ionene i gitteret. (Anta ett ledningselektron per kobberatom når du skal finne n).

Oppgave 3-2: Konduktiviteten til germanium, Ge

Bruk også her oppsettet fra Figur 9. Bestem σ som funksjon av temperaturen i området fra ca. 20 °C til ca. 100 °C. Prøvens dimensjoner er oppgitt.

Når temperaturen er høy nok er σ proporsjonal med

$$e^{\frac{-E_g}{2kT}} \tag{15}$$

der E_g er energigapet mellom valensbåndet og ledningsbåndet, k er Boltzmanns konstant og T er temperaturen i Kelvin. Måleresultatene framstilles i et plott av $\ln \sigma$ mot $1/T$. Finn E_g fra plottet.

Journal:

Legg grafen av måleresultatene ved journalen. Anta at $n = p$. Hva mener vi med dette? Vis at ligningen over stemmer. Benytt grafen til å bestemme E_g (i eV).

Oppgave 3-3: Konduktiviteten til YBCO

Til denne oppgaven skal vi bruke tablettene dere lagde i den forrige øvelsen i tillegg til noen ferdig monterte prøver til målinger av ledningsevnen. Dere skal også veie tablettene deres for å bestemme hvor godt utbyttet av reaksjonen var. Vekter er utplassert i laboratoriet.

Del 1: Meissner-effekten

I denne oppgaven skal vi kontrollere om prøvene dere lagde under forrige øvelse er superledende. Til dette trenger vi en beholder med flytende nitrogen (kokepunkt 77 K) og en magnet som er sterk og lett. Vi legger tablettene ned i flytende nitrogen og lar den kjøle seg ned en liten stund. Deretter prøver vi å balansere magneten over prøven.

3. Funksjonelle egenskaper

Dersom magneten svever over prøven er den superledende og jo høyere den svever, jo ”bedre” er prøven.

Journal:

Var prøven din superledende?

Hvis ikke: Nevn kort mulige årsaker, for eksempel om du mistenker at den kan ha fått feil forhold Y:Ba:Cu. Kan utseendet si noe om dette? Bruk evt. YBCO-fasediagrammet i Kap. 9 i pensum.

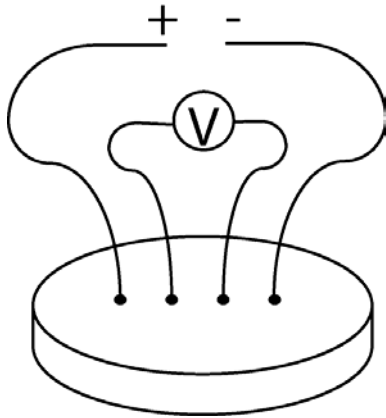
Beregn utbyttet av syntesen av YBCO-prøven (oppgis i % av teoretisk uttbytte).

Ta med eventuelle andre resultater fra karakteriseringen av prøvene og en kort diskusjon om disse, som nevnt i Øvelse 2.

Del 2: Ledningsevneforsøk med YBCO

I denne oppgaven skal vi først måle ledningsevnen i en YBCO-tablett ved romtemperatur. Dette skal gjøres på en litt annen måte enn for kobber og germanium. Prøvene har påmontert fire kontakter som er plassert på linje som vist i Figur 10. Vi sender strøm gjennom de ytterste og måler potensialfallet over de to midterste. Veiledere vil bistå med dette. Deretter skal vi senke tablettene ned i flytende nitrogen og se at ledningsevnen stiger og motstanden nærmer seg null. På grunn av at måleutstyret vårt ikke er bra nok kan vi ikke se at motstanden faktisk blir absolutt null, men vi vil se et markant fall.

Når prøven er senket ned i flytende nitrogen og du har observert at den er superledende skal du prøve å variere strømmen gjennom prøven litt. Hva skjer med spenningen?



Figur 10: Ferdig YBCO-prøve med påmonterte ledninger.

Journal:

Beskriv resultatene av forsøkene.

Hvordan varierer spenningen som funksjon av strømmen gjennom den superledende prøven? Er denne effekten uavhengig av strømstyrken?

Oppgave 3-4: Dobbeltbrytning i kalsitt, CaCO₃*Kalsittkrystallens struktur*

I laboratoriet finnes det en modell som viser kalsittkrystallens struktur. Kalsiumionene er representert ved sølvfargede kuler. Karbon- og oksygenatomene er representert ved henholdsvis svarte og røde kuler. Vi legger merke til at de tre oksygenatomene i hver CO₃-gruppe danner en likesidet trekant. Karbonatomet ligger i senteret av denne trekanten. Vi legger merke til at atomene i samtlige CO₃-grupper ligger i parallelle, ekvidistante plan. Retningen vinkelrett på disse planene kalles krystallens optiske akse.

Journal:

Beskriv CO₃²⁻-ionet med Lewis-elektronstruktur, og forutsi dets geometri ved hjelp av VSEPR-tilnærmelsen.

Del 1:

En kalsittkrystall som er skåret slik at den har to parallelle sider vinkelrett på den optiske aksens legges på en tekstside. Betrakt teksten gjennom krystallen slik at siktelinjen er parallell med den optiske aksens.

Del 2:

Betrakt den samme teksten gjennom en krystall som har sin naturlige form.

Journal:

Beskriv ditt inntrykk av bokstavene i teksten sett gjennom de to krystallene.

Del 3:

Følgende komponenter plasseres på den optiske benken:

- en spektrallampe
- en irisblender
- en konveks linse
- en analysator
- en hvit skjerm

Diameteren på irisblenderens apertur innstilles på noen få millimeter. Avstanden mellom komponentene velges slik at aperturen avbildes skarpt på skjermen. Hold den krystallen du benyttet i del 1 mellom linsen og skjermen slik at den optiske aksens er parallell med linjen fra aperturen til bildet av aperturen på skjermen. Undersøk om lyset som kommer ut fra krystallen er polarisert.

Del 4:

Hold den krystallen du brukte i del 2 mellom linsen og skjermen slik at lysstrålen fra aperturen er vinkelrett på en av krystallens sideflater. Du ser nå to bilder på skjermen. Det ene bildet dannes av den såkalte ordinære strålen gjennom krystallen. Dette bildet ligger på samme sted som det bildet du observerte i punkt c. Strålen som danner det andre bildet kalles ekstraordinær. Du kan også benytte en mindre krystall som er polarisert i en dreibar holder. Finn ut hvordan de to strålene er polarisert. Legg merke til at krystallens optiske akse er parallell med planet gjennom de to strålene som kommer ut av krystallen.

Journal:

Tegn en skisse av apparaturen fra del 3 og 4.
Hvordan er polariseringen av lyset i de to tilfellene?

Oppgave 3-5: Faraday-effekten

Vi benytter en sylinder av flintglass med lengde $L = 30$ mm. Sylindren befinner seg i et magnetfelt rettet langs sylindrens akse (z-aksen). En lineært polarisert lysstråle sendes gjennom sylindren. Inne i glasset vil magnetfeltet påvirke den elektriske feltvektoren til strålen. Dette gjør at polarisasjonsplanet dreies en vinkel θ . Dreiningen er proporsjonal med lengden av mediet strålen går gjennom, styrken på magnetfeltet og en konstant som kalles Verdet-konstanten, $V(\lambda)$.

$$\theta = V(\lambda) L B \quad (16)$$

Verdet-konstanten er en funksjon av bølgelengden til lyset og temperaturen i glasset.

Praktisk del

Oppgaven går ut på å bestemme verdien av Verdet-konstanten for glasset for rødt og blått lys. Polarisatoren innstilles på -45° . Analysatoren innstilles slik at synsfeltet får minimal belysning (nær $+45^\circ$). For magnetstrømmen benyttes verdiene 1,0 A, 1,5 A, 2,0 A, 2,5 A og 3,0 A. En tabell over tilhørende verdier for flukstettheten B finner du ved apparaturen.

NB! Når analysatorvinkelen er avlest ved en bestemt verdi for strømmen, må strømmen reduseres til 0 før strømvenderen benyttes. Så økes strømmen til samme verdi i motsatt retning og analysatorvinkelen leses av igjen. Halvparten av differansen mellom de to avlesningene gir den søkte verdi for θ .

Journal:

Tegn en skisse av apparaturen og beskriv forsøket.
Hvilke verdier fikk du for Verdet-konstantene for rødt og blått lys for materialet som ble undersøkt?

3. Funksjonelle egenskaper

ØVELSE 4: ENERGIKONVERTERING

Solcelle, elektrolysecelle, brenselcelle

Frammøte: MEF1000-lab'en i 2. etasje vest i fysikkbygningen. Tabeller og liknende som skal fylles ut ligger etter oppgaveteksten. Dette blir journalen på denne oppgaven og denne skal være godkjent før dere går for dagen. Tidligere journaler må da også være godkjent.

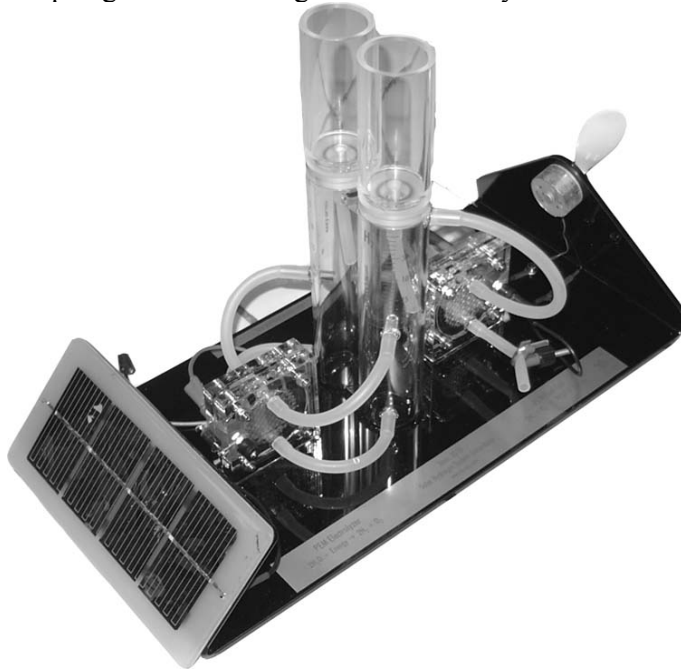
Innledning

I denne øvelsen skal vi se på noen former for energikonvertering og måle hvor effektive de er. Brenselceller og elektriske motorer kan etter hvert bli et godt miljøvennlig alternativ til forbrenningsmotorer som bruker fossilt brensel. En stor fordel er at brenselceller som forbrenner hydrogen bare avgir rent vann som reaksjonsprodukt fra prosessen. Dette er selvfølgelig bare halve sannheten så lenge hydrogenet ofte lages fra fossilt brensel. Likevel vil brenselceller kunne gi en betydelig miljøgevinst siden virkningsgraden er svært høy.

Solceller har i lang tid blitt brukt for å produsere elektrisk strøm til bruk i mange ulike sammenhenger som kalkulatorer, hytter og romstasjoner. I kombinasjon med et batteri eller en annen energilagringseenhet gir solceller stor fleksibilitet for moderate strømforbruk.

Beskrivelse av utstyret og litt teori:

Utstyret som skal brukes i denne øvelsen består av et ferdig oppsett som inneholder en solcelle, en elektrolysecelle, en gasslagringseenhet for hydrogen og oksygen, en brenselcelle og en vifte. I tillegg skal dere bruke en dekademotstand, to multimetre, en lampe og diverse ledninger. Deler av utstyret er avbildet i Figur 11.



Figur 11: Solcelle, elektrolysecelle, gasslager og brenselcelle montert sammen.

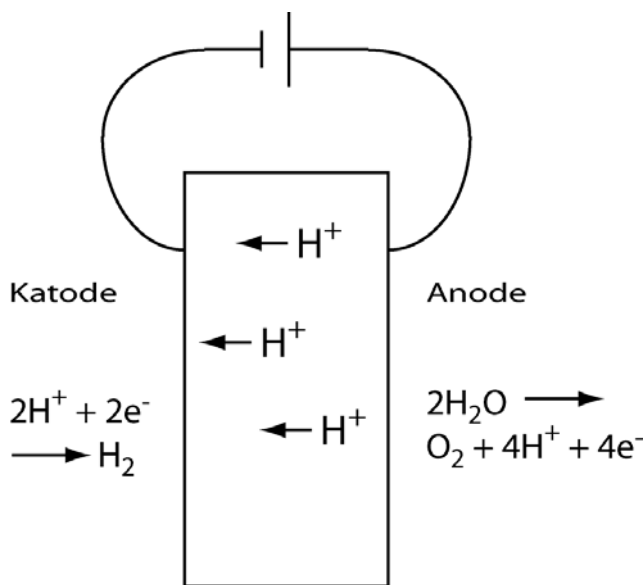
Solcella er laget av silisium. Silisium er egentlig grått, men solcella ser blå ut fordi den er dekket av et antireflekerende belegg. Dette belegget skal hindre at for mye stråling reflekteres og derved går tapt for solcella.

Elektrolysecella og brenselcella er helt identiske. De er av typen PEM, som står for Proton Exchange Membrane. De består grovt sett av to elektroder atskilt av en protonledende elektrolytt (membran). Membranen er laget av en organisk polymer og hver side av denne er dekket med et tynt lag av en katalysator. Elektrodene kan for eksempel være laget av platina eller et annet metall.

Forskjellen mellom de to cellene er at prosessen som skjer går motsatt vei: I elektrolysecellen tilføres energi i form av elektrisk strøm, hydrogenioner (fra vann) trekkes gjennom membranen, og produktet er hydrogen og oksygen. I brenselcellen tilføres hydrogen og oksygen på hver sin side av cellen og hydrogenioner transporteres gjennom membranen. Den kjemiske energien lagret i hydrogen og oksygen blir nå omdannet til elektrisk energi.

I elektrolysecellen er det en elektrisk potensialgradient (elektrisk felt) som trekker hydrogenionene gjennom membranen, og derved skaper en kjemisk gradient (nemlig hydrogen på den ene siden og oksygen på den andre). I brenselcellen er det en kjemisk potensialgradient som trekker hydrogenionene gjennom membranen, og derved skaper en elektrisk potensial (positivt i den elektroden hydrogenionene strømmer til, nemlig oksygenelektroden).

Prinsippet for elektrolysen er vist i Figur 12. Reaksjonen er en redoksreaksjon og totallikningen for reaksjonen er:

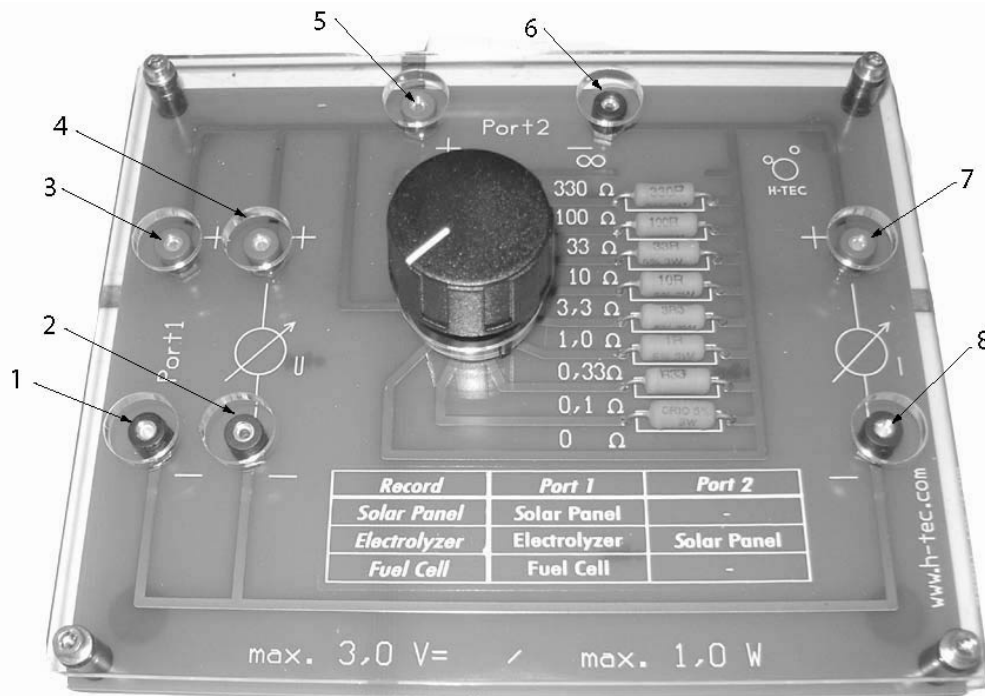


Figur 12: Prinsippkisse av en elektrolysecelle med membran som leder hydrogenioner.

For at reaksjonen skal gå må spenningen over elektrolysecellen være over en grenseverdi. Denne kan beregnes ved hjelp av kjente termodynamiske data eller finnes eksperimentelt. De to resultatene vil ha litt forskjellig betydning. Ved hjelp av termodynamiske beregninger finner vi spenningen som teoretisk skal til for å dekomponere vann til hydrogen og oksygen, eller egentlig for å oppnå 1 atm trykk for de to gassene, slik at det utvikles bobler og reaksjonen kan gå. Denne spenningen er 1,23 V. I praksis trengs det en litt høyere spenning: Vi trenger et overpotensial som avhenger blant annet av elektrodene og elektrolytten. Eksperimentelt finner vi potensialet som trengs i praksis, det vil si summen av det teoretiske potensialet og overpotensialet som trengs i dette tilfellet.

Lagringsenheten for hydrogen og oksygen er i vårt tilfelle bare en tank der gassene lagres ved atmosfærisk trykk. Det finnes andre langt mer plasseffektive måter å lagre hydrogen på. Dette og mer utfyllende stoff om solceller, elektrolyseceller og brenselceller finner dere i læreboka.

Dekademotstanden er avbildet i Figur 13 og fungerer ved at ledningene kan kobles til i kontaktpunktene 1-8 og motstanden varieres ved å vri bryteren til den ønskede motstanden. Den har 8 ulike motstander med verdier fra 0,1 til 330Ω i tillegg til kortslutning ($R = 0$) og åpen krets ($R = \infty$).



Figur 13: Dekademotstand med tilkoblinger for spenningskilde og måleinstrumenter.

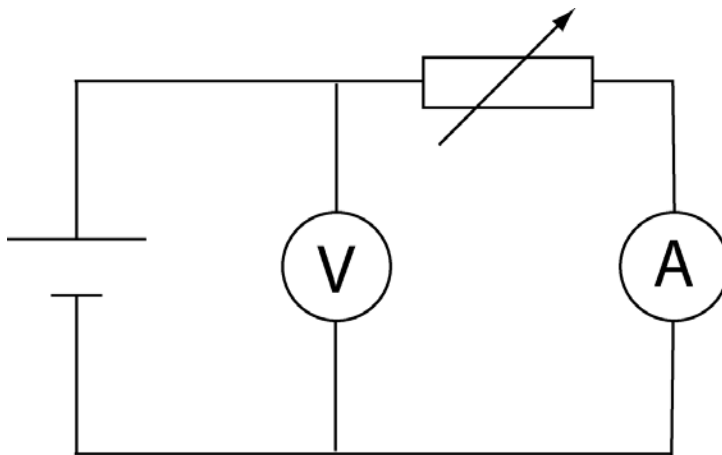
Legg merke til at brettet har anvisning for hvor du måler spenning (U) og strøm (I) samt en tabell som viser hvor (Port 1 og/eller 2) du best kobler til de forskjellige komponentene når du skal måle ("record") hhv. solcelle, elektrolyser og brenselcelle. Bruk dette, så unngår du unødvendig mye ledningsrot.

Oppgaven:Del 1: Solcellen

Strøm-spenning-karakteristikken forteller om energikarakteristikken til solcellen. Dette gjør oss i stand til å finne belastningen der solcellen gir oss maksimal effekt. Effektiviteten (η) av solcellen er gitt ved likningen:

$$\eta = \frac{\text{Elektrisk effekt}}{\text{Effekt av innkommende stråling}} = \frac{P_{ut}}{P_{inn}} \quad (18)$$

Oppsettet for å finne strøm-spenning-karakteristikken er vist i Figur 14.



Figur 14: Oppsett for å bestemme karakteristikken til en solcelle.

Spenningskilden er i dette tilfellet solcella som skal måles på. Koble sammen utstyret og bruk området 20 V DC på multimeteret som måler spenning og 10 eller 20 A DC på det som måler strømmen. Lampen rettes direkte mot solcellen (90° vinkel). *NB: I denne og særlig etterfølgende oppgaver ønsker vi selvsagt maksimal effekt av lyset og kan fristes til å sette lampen nærmere. Imidlertid går solcellens effektivitet ned om vi varmer den opp, slik at maksimal effekt over tid oppnås ved en viss avstand. Bruk den avstanden som labveilederne anviser, og ikke flytt lampen nærmere.* For å unngå feil som følge av temperatursvingninger venter vi et minutt før vi begynner målingene. Begynn med målingen av spenningen ved åpen krets ($R = \infty$) og fortsett med å variere motstanden med dekademotstanden fra større til mindre motstand. For hver måling skal strømmen og spenningen noteres i Tabell 2 og effekten beregnes. Vent omtrent 20 sekunder mellom hver måling. Disse målingene viser den maksimale effekten vi kan trekke ut av solcellen, altså P_{ut} fra likning (18).

For å finne effektiviteten av solcellen trenger vi også å finne effekten av det innkommende lyset, P_{inn} . Dette kan gjøres på flere måter. Vi kan måle effekten direkte med en lysmåler eller vi kan bruke måleutstyret vi allerede har. Vi skal gjøre det siste og utnytte at kortslutningsstrømmen gjennom solcellen er proporsjonal med antallet fotoner som treffer den. For å kunne gjøre dette trengs en konstant som knytter effekten

fra lyset til kortslutningsstrømmen gjennom solcellen. For våre solceller er denne konstanten $F = 2,86 \cdot 10^3 \text{ V/m}^2$. Effekten fra lyset som treffer solcellen blir da gitt ved:

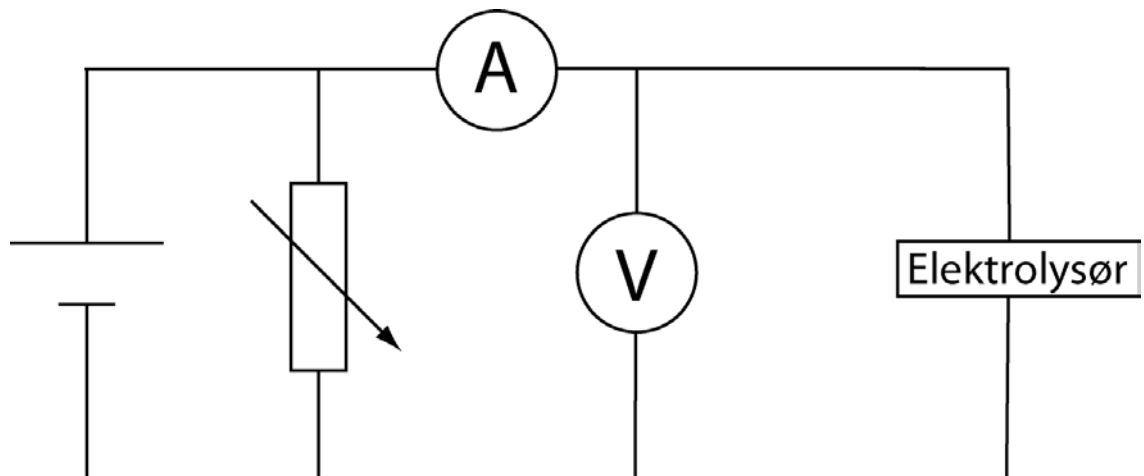
$$P_{\text{inn}} = F \cdot I_s \cdot A \quad (19)$$

der I_s er den målte kortslutningsstrømmen og A er arealet av solcellen.

Journal:

Plott grafer av strømmen og effekten som funksjon av spenningen i hvert sitt diagram og angi maksimal effekt punktet (MEP). Dette kan finnes fra begge grafene, enten som toppunktet på grafen for effekten eller som det største rektanglet som passer innenfor kurven for strøm.
Ved hvilken last arbeider solcellen mest effektivt?
Hva er effektiviteten av solcellen?

Del 2: Elektrolysecellen



Figur 15 : Oppsett for å bestemme strøm-spenning-karakteristikken til elektrolysecellen.

Begynn med å koble opp utstyret som vist i Figur 15. Solcellen vil også nå fungere som spenningskilde og for å variere spenningen over elektrolysecellen bruker vi dekademotstanden. Begynn uten motstand og øk motstanden steg for steg mot uendelig og noter sammenhengende strømmer og spenninger i Tabell 3. Vent 20 sekunder mellom hver måling for å la systemet stabilisere seg. Noter også ved hvilken motstand cellen begynte å produsere gass. Lag en graf av strømmen som funksjon av spenningen. På grafen tegner dere inn to rette linjer som passer med punktene deres. Noter punktet der linja med det høyeste stigningstallet skjærer x-aksen. Dette er dekomponeringspotensialet for spaltingen av vann til hydrogen og oksygen i cella.

Journal:

Legg ved grafen av karakteristikken til elektrolysecellen. Forklar formen på grafen. Hva er dekomponeringspotensialet i elektrolysecella?

Effektiviteten av elektrolysøren:

Faradays første lov om elektrolyse beskriver sammenhengen mellom strømmen som går gjennom cellen og gassvolumet den produserer. Sammenhengen er basert på at antallet elektroner som trengs for å produsere et gassmolekyl er gitt fra reaksjonslikningen for dannelsen av gassen. Loven kan formuleres som:

$$V = \frac{R \cdot I \cdot T \cdot t}{F \cdot p \cdot z} \quad (20)$$

V: Teoretisk volum av gassen i m³

R: den universelle gasskonstanten, 8,314 J/(mol·K)

p: atmosfæretrykket i Pa

F: Faradays konstant, 96485 C/mol

T: temperaturen i K

I: strømmen i A

t: tiden i sekunder

z: antallet elektroner som trengs for å danne ett gassmolekyl, z(H₂)=2 , z(O₂)=4

Loven kan ses i sammenheng med loven for ideelle gasser, pV=nRT, der n er antallet mol gass. I Faradays lov finnes dette fra strømmen som går gjennom cella. Faradayeffektiviteten til elektrolysecellen er definert som:

$$\eta_{Faraday} = \frac{V_{H_2} (produisert)}{V_{H_2} (beregnet)} \quad (21)$$

Bruk oppsettet fra Figur 15 og la cellen produsere gass i noen minutter før dere begynner eksperimentet. Bryt kontakten mellom solcellen og elektrolysøren. Slipp ut gassen i tankene ved å åpne ventilene på begge sider av brenselcellen. Sørg for at gassnivået er på 0 cm³ i begge tankene.

Koble solcellen til elektrolysøren igjen og ta tiden fra dette tidspunktet. Noter tiden, spenningen og strømmen for hver 5 cm³ hydrogengass som produseres. Beregn den elektriske effekten for hver måling og før resultatene inn i Tabell 4.

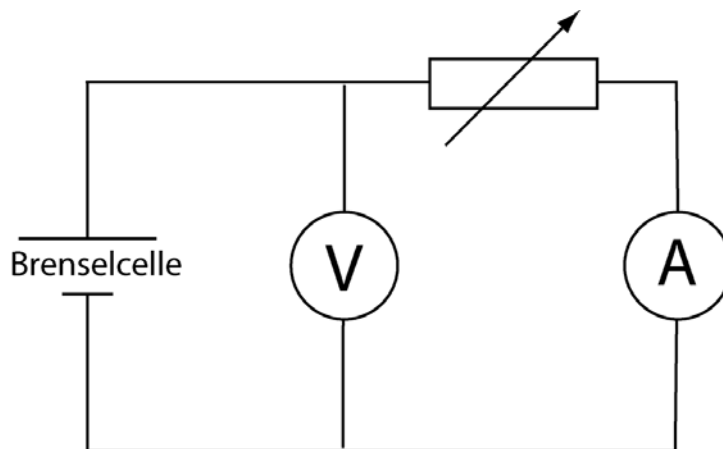
Journal:

Beregn den gjennomsnittlige strømmen gjennom cella i forsøket og finn Faradayeffektiviteten til elektrolysecella. Foreslå årsaker til at cella ikke er 100% effektiv.

Del 3: Brenselcellen

Brenselcellen omdanner kjemisk energi lagret i hydrogen og oksygen til elektrisk energi gjennom en kontrollert reaksjon. Effekten som cella leverer er avhengig av motstanden i den ytre kretsen. Vi skal bestemme hvilken motstand som gjør at cella jobber mest effektivt.

Koble fra alle kontakter på brenselcella. Begynn med å produsere gass. Når det er produsert minst 5 cm^3 hydrogen skal ventilen på utgangen til hydrogensiden åpnes slik at hydrogensiden i cella flushes med hydrogen. Dette fjerner gassrester som kan føre til målefeil. Ventilen stenges når hydrogen tanken er nesten tom. Deretter kobler dere til måleinstrumentene og dekademotstand som vist i Figur 16. Vent litt til det er produsert noen cm^3 hydrogen. Begynn målingene med åpen krets ($R = \infty$) og fortsett med å variere motstanden med dekademotstanden fra større til mindre motstand. For hver måling skal strømmen og spenningen noteres i Tabell 5 og effekten beregnes. Vent omtrent 20 sekunder mellom hver måling for at systemet skal stabiliseres mellom hver måling. Disse målingene viser den maksimale effekten brenselcella kan levere.



Figur 16: Oppsett for å bestemme egenskaper ved en brenselcelle.

Journal:

Plott grafer av spenningen og effekten som funksjon av strømmen. Forklar grafene. Ved hvilken strøm leverer brenselcellen størst effekt?

Effektiviteten til brenselcella:

Vi kan på samme måte som for elektrolysecellen beregne Faradayeffektiviteten til brenselcella. Vi bruker fremdeles likning (20) som nå viser sammenhengen mellom gassvolumet som forbrukes og strømmen cella produserer. Faradayeffektiviteten for brenselcella blir nå:

$$\eta_{Faraday} = \frac{V_{H_2}(\text{beregnet})}{V_{H_2}(\text{forbrukt})} \quad (22)$$

Koble dekademotstanden fra brenselcella og la elektrolysøren produsere hydrogen til det er 20 cm³ i tanken og kobl deretter fra strømmen til elektrolysøren. Sett dekademotstanden på motstanden dere ønsker å måle på, for eksempel den motstanden der brenselcella ga mest effekt. Kobl til motstanden som vist i Figur 16 og ta tiden fra dette tidspunktet. Noter gjenværende volum av hydrogen, tiden, spenningen og strømmen for hver femte cm³ i Tabell 6. Beregn effekten for hvert målepunkt. Beregn også middelverdier for spenningen, strømmen og effekten. Avslutt målingene når det er 10 cm³ hydrogen igjen i tanken.

Journal:

Plott det forbrukte volumet av hydrogen mot tiden og kommenter grafen. Hva er Faradayeffektiviteten til brenselcella? Er den forskjellig fra Faradayeffektiviteten til elektrolysecella? Foreslå grunner til hvorfor de er like eller forskjellige.

Faradayeffektiviteten kan langt på vei sies å tilsvare brenselutnyttelsesgraden u_f som er nevnt i pensum. Ved å multiplisere denne med Gibbs-effektiviteten får vi den totale effektiviteten til cella:

$$\frac{P_e}{P_{in}} = \eta_{Gibbs} \eta_{Faraday} \quad (23)$$

der P_e er elektrisk effekt og P_{in} er effekten som brenselet kan gi ved fullstendig forbrenning. P_{in} kan vi beregne hvis vi kjenner brenselmengden som passerer per tidsenhet, $j_{H_2,in}$. Denne finner vi fra strømmen I , Faradaykonstanten F og Faradayeffektiviteten

$$J_{H_2,in} (\text{mol} / \text{s}) = \frac{I}{2F\eta_{Faraday}} \quad (24)$$

P_{in} er gitt ved denne fluksen multiplisert med den molare energimengden

$$P_{in} = J_{H_2,in} * \Delta H = \frac{I\Delta H}{2F\eta_{Faraday}} \quad (25)$$

P_e er gitt ved $I*V$ og vi kan da finne η_{Gibbs} og P_e/P_{in} :

$$\frac{P_e}{P_{in}} = \frac{IV}{\frac{I\Delta H}{2F\eta_{Faraday}}} = \frac{2VF\eta_{Faraday}}{\Delta H} = \frac{2VF}{\Delta H} \eta_{Faraday} \quad (26)$$

Journal:

Regn ut Gibbs-effektiviteten for cella og fyll ut disse dataene i Tabell 4. Regn tilslutt ut total effektivitet ved en eller flere strømstyrker og kommentér.

Journal til Øvelse 4

Denne delen av journalen skal fylles ut, fremvises og godkjennes før dere går for dagen.

Navn: _____

Del 1: Solcellen

Tabell 2: Solcellens strøm-spenning-karakteristikk.

R [Ω]	V [V]	I [A]	P [W] Beregnet P = V·I
∞			
330			
100			
33			
10			
3,3			
1			
0,33			
0,1			
0			

Plot grafer av strømmen og effekten som funksjon av spenningen i hvert sitt diagram og angi maksimal effekt punktet (MEP) på grafene. Legg grafene ved journalen.

Ved hvilken last arbeider solcellen mest effektivt? Svar: _____ Ω

Hva er effektiviteten av solcellen? Svar: _____ %

Del 2: Elektrolysecellen

Tabell 3: Bestemmelse av karakteristikken til elektrolysecella.

R [Ω]	V [V]	I [A]
0		
0,1		
0,33		
1		
3,3		
10		
33		
100		
330		
∞		

Legg ved grafen av karakteristikken til elektrolysecellen. Forklar formen på grafen:

Hva er dekomponeringspotensialet til vann i elektrolysecella? Svar: _____ V

Tabell 4: Bestemmelse av Faradayeffektiviteten til elektrolysecella.

V_{H_2} [cm ³]	t [s]	V [V]	I [A]	P_e [W] Beregnet $P_e =$ $V \cdot I$
0				
5				
10				
15				
20				

Beregn den gjennomsnittlige strømmen gjennom cella i forsøket og finn Faradayeffektiviteten til elektrolysecella.

Foreslå årsaker til at cella ikke er 100% effektiv.

Del 3: Brenselcellen

Tabell 5: Bestemmelse av maksimal effekt og Gibbs effektivitet for brenselcella.

R [Ω]	V [V]	I [A]	P _e [W] Beregnet P _e = V·I	$\eta_{\text{Gibbs}} =$ 2VF/ Δ H
∞				
330				
100				
33				
10				
3,3				
1				
0,33				
0,1				
0				

Plott grafer av spenningen og effekten som funksjon av strømmen. Forklar grafene.

Ved hvilken strøm leverer brenselcellen størst effekt? Svar: _____ A

Tabell 6: Bestemmelse av Faradayeffektiviteten til brenselcella.

V_{H_2} [cm ³]	t [s]	V [V]	I [A]	P_e [W] Beregnet $P_e = V \cdot I$
20				
15				
10				
Middelverdi				

Plott det forbrukte volumet av hydrogen mot tiden og kommenter grafen. Grafen legges ved journalen.

Hva er Faradayeffektiviteten til brenselcella? Svar: _____ %

Er den forskjellig fra Faradayeffektiviteten til elektrolysecella? Ja/Nei

Foreslå grunner til hvorfor de er like eller forskjellige.

Gi eksempel på verdien på total effektivitet P_e/P_{in} , kommenter denne kort mhp størrelse og hovedfaktor.