

Lysdioder i gymnasiefysiken

Halvledarfysik och atomfysik

På gymnasiet kan man inte diskutera fysiken bakom lysdioderna i alltför stor detalj; man har inte de förkunskaper som behövs för att förstå att band och bandgap, som är viktiga egenskaper hos halvledare, kan uppkomma. I kursen ingår ju dock lite atomfysik och man kan baserat på elektronskalen hos atomerna argumentera att något liknande, fast lite annorlunda, uppkommer när många atomer sitter tillsammans i ett fast ämne. Har eleverna kunskap om absorptions- och emissionsspektra för atomer är det en bra bakgrund till försök med lysdioder.

Vi tror dock att en enkel energibandmodell med band/bandgap/band är nödvändig. Det undre bandet är nästan fullt av elektroner och det övre bandet är nästan tomt. Lysdioden sänder ut ljus genom att elektroner i det övre bandet faller ner till tomma tillstånd i det undre. Olika material har olika bandgap och genom noggrann kontroll över materialet i dioden kan man tillverka dioder med olika bandgap och därmed olika färg.

Elektroner i det undre bandet kan exciteras till det övre genom att absorbera fotoner med energi lika med eller större än bandgapet. Om fotonenergin räcker till för att lyfta elektronerna högt upp i det övre bandet tappar de energi genom termiska processer och faller till energinivåer strax ovanför bandgapskanten.

Man kan, om man vill, prata om varför (lys)dioder fungerar som likriktare, men det kräver att man diskuterar dopning i halvledare. För en enkel bakgrund, läs t.ex. på <http://www.howstuffworks.com/>.

Försöken berör två aspekter av lysdioder:

- Undersökningar av *(lys)diodernas elektriska egenskaper* med fokus på begrepp som ström, spänning och resistans. Samtidigt tränar man färdigheter i kretskoppling och användning av elektriska mätinstrument.
- Undersökningar av *emission från och absorption i lysdioderna*. Här krävs begrepp om atomfysik och elektromagnetiska vågor - fotoners energi, frekvens och våglängd, färg, spektroskopi, emission/absorption m.m.

Våra förslag till försök utgör inte någon färdig labhandledning, utan det står dig som lärare fritt att kombinera ihop delarna på det vis som passar dig och din undervisning. Du är mycket välkommen att kontakta oss (maila carina.fasth@ftf.lth.se) om du har frågor eller kommentarer.

Material

- Spänningskälla och potentiometer (vridmotstånd) så att ni kan justera spänningen i små steg (mV). Det är lätt att man råkar bränna dioderna om man inte har god kontroll över spänningen – å andra sidan kostar de ju nästan inget...
- Två digitala multimetrar som klarar mV-spänningar och strömmar under 1 mA (det lägsta mätområdet är ofta 200 μ A).
- 500 Ω resistor.
- Lysdioder - Vi rekommenderar starkt att ni använder dioder *utan* färgade höljen. ELFA har ett mycket stort urval av dioder. Köp t.ex. IR (infraröda), röda, gula och gröna dioder. IR-dioder med 880 eller 940 nm våglängd är lämpliga.
- Liten stark vit lampa eller stark vit lysdiodslampa
- En röd och en grön laserpekare.
- Ett kopplingsdäck (kallas ibland kopplingsplint) om ni vill koppla ihop flera lysdioder. Finns t.ex. hos ELFA eller <http://www.electrokit.se/>. Det behövs också lite tunn ledning ("bygelsladdar") att koppla med inom däcket eller att koppla hela däcket till krokodilklämmor med om ni inte har (dyrare) däck med banankontaktsuttag.
- Filter för att filtrera bort grönt ljus. Vi har testat en billig filteruppättning från Alega (artikelnummer OP31). För att få bort tillräckligt med grönt ljus fick vi kombinera det röda och magenta filtrena från OP31.

Lysdioden som likriktare

Dioder kallas ibland likriktare - det innebär att de bara släpper igenom ström på ena hållet eller, ekvivalent, bara är ledande när spänningen har en viss polaritet. Dioden har alltså en inbyggd asymmetri. Dioder har ett långt och ett kort ben - vilket ska man koppla till + på spänningskällan för att dioden ska vara ledande? Hur vet man att dioden leder? Man kan koppla in en ampèremeter i kretsen och se om det går ström, eller helt enkelt se om dioden börjar lysa.

Lysdiodens resistans

Diodströmmen beror exponentiellt på spänningen och ökar därför mycket snabbt när man ökar spänningen. För lysdioder gäller att de ofta tål ungefär upptill 20 mA men att de sedan går sönder. För att begränsa strömmen i kretsen seriekopplar man ofta dioden med ett motstånd (500 Ω eller liknande).

Mät strömmen som funktion av spänningen för en diod med och utan extra motstånd och plotta ström som funktion av spänning. Om ni har satt in ett extra motstånd i kretsen blir kurvan linjär vid höga spänningar. Beskriv kvalitativt (baserat på din mätning) hur kretsens resistans varierar med spänningen. Vid höga spänningar är resistansen lika med den hos det extra motståndet och vid låga spänningar är diodens resistans dominerande. Hela tiden gäller att $R_{total} = R_{diod} + R_{resistans}$, men där R_{diod} ändras med spänningen.

Lysdiodernas tröskelspänning

Det finns inget exakt förhållande mellan tröskelspänning och ljusets våglängd hos lysdioder. Det finns dock en tydlig trend som innebär att om dioden emitterar fotoner med mer energi så har den högre tröskelspänning. Tröskelspänning är ett odefinierat begrepp – det bestäms ju av när betraktaren tycker att dioden tänds. På diodförpackningarna anges ofta en viss typisk spänning – det är den spänning som ger en viss given ström (ofta 1 eller 5 mA) genom dioden.

Mät upp vid vilka spänningar dioder av olika färg tänds (använd vilken definition ni vill av "tänds"). Observera att när ni ökar spänningen så lyser dioden starkare, men med samma färg. IR-dioden kan vi inte se, använd mobilkameran! Mobilkameran registrerar ljus med hjälp av en kiseldetektor. Kisels bandgap är ungefär 1,1 eV (motsvarar en våglängd på 1100 nm) så allt synligt ljus såväl som en del IR-ljus kan excitera elektroner i detektorn. Det finns filter i kameran som begränsar absorptionen till fotoner inom det synliga området, men de släpper igenom viss inte alltför långvågig IR-strålning. IR-dioder finns bl.a. i fjärrkontroller - titta på en sådan med mobilkameran.

Våra ögon är mycket känsliga för ljus. Undersök först i ett normalljus rum vid vilken spänning ni tycker att dioden lyser. Luta dioden lite hit och dit för att ta reda på hur ljuset syns bäst. Plasthöljet är inte bara ett hölje utan en lins som riktar ljuset i en speciell riktning. Gör sedan om försöket i så totalt mörker ni kan åstadkomma. Vänta i mörkret några minuter så att ögat ställer om till mörkerseende. Antagligen kommer ni nu att tycka att dioden tänds vid en annan, lägre, spänning.

Ljusets våglängd

Ta reda på vid vilka våglängder era olika dioder emitterar. Har ni någon form av spektrometrar som ni kan få ut ett värde av är det förstås jättebra, annars får ni väl tjuvtitta på förpackningen... Vad säger resultatet om bandgapet hos de olika dioderna? Se till att eleverna förstår skillnaden mellan våglängd och frekvens och kan gå mellan de två.

Lysdioden som solcell eller fotodetektor

Lysdioder och solceller är i princip likadant uppbyggda men används på omvänt sätt (det finns även lysdioder som är baserade på andra principer). Lysdioden emitterar fotoner och solceller absorberar dem. Man kan alltså köra sin lysdiod "baklänges" så att den fungerar som foto(n)detektor eller solcell - dock ganska ineffektivt eftersom den är optimerad för att sända ut ljus, inte för att absorbera. Ni gjorde detta redan genom att betrakta IR-dioden med mobilkamerans kiseldetektor - detektorn är i princip en diod som fångar in fotoner istället för att emittera dem.

För att fotoner ska kunna absorberas måste de ha en energi som är större än bandgapet. I atomer måste fotonenergin precis stämma in på energiskillnaden mellan två elektronnivåer men i fasta ämnen, där energinivåerna är samlade i breda band, kan alla fotoner med energi större än bandgapet absorberas. När fotoner absorberas och exciterar elektroner över bandgapet byggs det upp en spänning över dioden.

Koppla dioderna en efter en till en digital multimeter (ställ den på likspänning). Har ni stark belysning i rummet eller om det är en mycket solig dag kommer det att exciteras elektroner i dioderna hela tiden - släck och/eller mörklägg isåfall. Börja med att lysa på dem med en stark vit ljuskälla, t.ex. en liten ficklampa. Den innehåller alla synliga våglängder och bör excitera elektroner (ge utslag på multimetern) i alla dioderna. Ljusutsläppet ut ur dioden (genom plasthöljet) är mycket riktighetsberoende, detsamma gäller när man vill skicka in fotoner i dioden. Håll dioden tätt intill lampan och prova er fram till i vilken riktning man måste lysa in i dioden. Vilket diodben (kort eller långt) blir pluspol och vilket blir minuspol? Diodens asymmetri är påtaglig här likväl som i likriktarförsöket.

Utslaget på multimetern blir typiskt 1-1,7 V, men spänningen beror (logaritmiskt) på fotonflödet; d.v.s. ljusets *intensitet*. Har fotonerna för låg *energi* blir det dock ingen spänning alls.

Vilket ljus kan absorberas i vilken diod?

Undersök vilket ljus som behövs för att generera elektrisk spänning i de olika dioderna (d.v.s. vilka fotoner kan absorberas i vilken diod). Använd först en röd laserpekare och försök excitera elektroner i dioderna. Håll lasern alldeles intill dioden. Prova sedan med en grön lysdiod och t.ex. med en liten stark vit lysdiodlampa. Fotonerna kommer att kunna absorberas i de lysdioder där bandgapet mindre än de infallande fotonernas energi. Det blir alltså inget utslag på multimetern om man lyser på en grön diod med en röd laser – fotonenergin är för liten för att fotoner ska kunna absorberas i halvledarmaterialet i den gröna dioden. Gör en tabell över vad som absorberas var!

Observera att det nog är nödvändigt med dioder utan färgade höljen för det här försöket. Det gröna laserljuset kommer antagligen inte att transmittas så mycket genom t.ex. ett rött hölje, och fotonerna når aldrig halvledarmaterialet.

Ni kan även prova att tända en lysdiod med hjälp av spänningen som genereras i en annan när man lyser på den. Vi lyste på en grön diod med en grön laserpekare; spänningen över dioden blev ungefär 1,7 V. Vi kopplade då en röd diod till benen på den gröna och kunde få den röda att lysa svagt. Här har ni nytta av kopplingsdäcket för att koppla ihop dioderna. Det hade varit trevligt om man kunde använda solen istället för en laserpekare, men intensiteten är tyvärr för låg.

Man kan även fundera på vad som händer om man håller en icke-ansluten röd lysdiod i handen och lyser på den med en grön laser. Fotoner absorberas och elektroner lyfts över bandgapet. När antalet elektroner med hög energi ökar ökar även sannolikheten för att några ska deexciteras. Innan de deexciteras förlorar elektroner energi genom termiska processer och de fotoner som sänds ut är karakteristiska för diodens bandgap. Tittar man på dioden genom ett filter som tar bort det intensiva gröna laserljuset kan man se att dioden lyser i rött. Det är lite svårt att se den här effekten - man måste lysa i rätt vinkel in i dioden. Prova gärna samma sak med en gul diod, men här är det antagligen svårare att filtrera bort det gröna laserljuset utan att dämpa det gula ljuset från dioden.