

Bandgap

19 okt. 2026, 5 min läsning

UTKAST

#fysik #fasta-tillståndets-fysik #storhet

Kurs: F0005T Förkunskaper: Energiband

Bandgapet är energiavståndet mellan valensbandets topp och ledningsbandets botten, och det ensamt avgör om ett material leder ström. I en isolator, till exempel en oxid, är valensbandet fullt och excitationen kostar över 5 eV, så elektronerna kan inte byta tillstånd. I en halvledare är gapet 1–2 eV, tillräckligt litet för att excitera elektroner. I en ledare finns inget gap att passera — ledningsbandet är redan delvis fyllt, och excitationerna sker inom bandet.

Formeln, symbol för symbol

$$\underbrace{\lambda_{\max}}_{\text{längsta våglängd som absorberas}} = \frac{hc}{\underbrace{E_g}_{\text{bandgapet}}}$$

Fotonen måste ensam lyfta en elektron över hela gapet. Längre våglängd betyder mindre energi per foton, så över $\lambda_{\max}$ passerar ljuset rakt igenom.

1. Absorptionskanten

En foton kan lyfta en elektron från valensbandet till ledningsbandet bara om den har minst gapets energi. Precis som vid fotoelektriska effekten finns en tröskel, men här är den gapet i stället för utträdesarbetet:

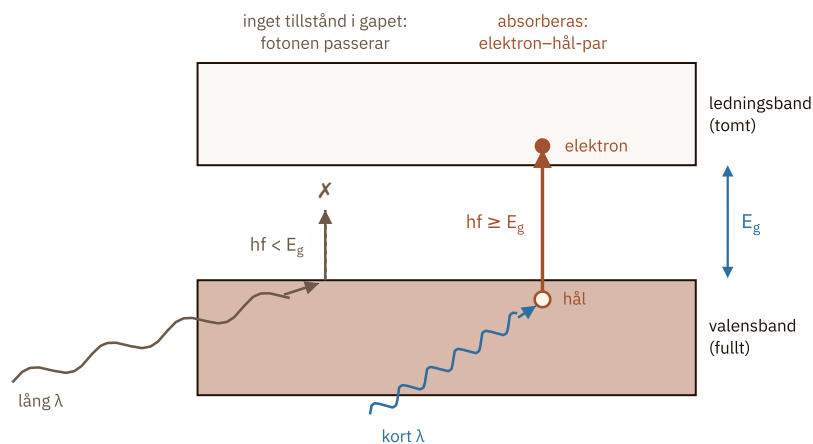
$$hf \geq E_g$$

$$\frac{hc}{\lambda} \geq E_g$$

$$\boxed{\lambda_{\max} = \frac{hc}{E_g}}$$

Fysika: $E = hc/\lambda$

Ljus med längre våglängd än $\lambda_{\max}$ passerar rakt igenom, och ljus med kortare våglängd absorberas. Materialet får en skarp **absorptionskant**, och genom att mäta var den ligger bestämmer vi E_g .



Absorptionskanten. En foton med $hf < E_g$ skulle lyfta elektronen in i gapet, där det inte finns några tillstånd, och passerar därför. Med $hf \geq E_g$ hamnar elektronen i ledningsbandet och lämnar ett hål efter sig.

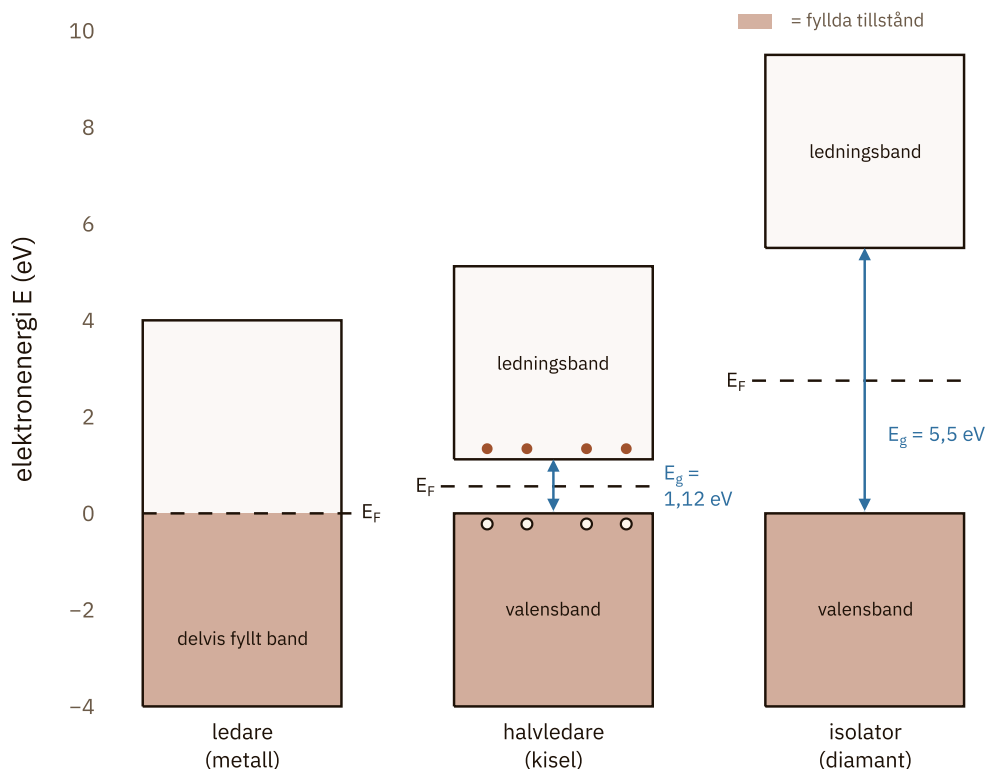
2. Termisk excitation

Värmerörelsen har energiskalan kT , som vid rumstemperatur är

$$kT = 8,617 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K} \cdot 300 \text{ K} = 0,0259 \text{ eV}$$

Fysika: T_e

Det är långt under alla bandgap, men sannolikheten för excitation avtar exponentiellt med kvoten E_g/kT , ungefär som $e^{-E_g/2kT}$ (se [Halvledare](#)). Kvoten är 43 för kisel och 210 för diamant. För kisel blir sannolikheten liten men inte försumbar med omkring $2 \cdot 10^{23}$ valenselektroner per kubikcentimeter att ta av. För diamant är den i praktiken noll. Det är därför gapets storlek skiljer halvledare från isolatorer.



Ledare, halvledare och isolator på samma energiskala. Kislets smala gap räcker för att några elektroner ska exciteras termiskt och lämna hål efter sig; över diamantens gap på 5,5 eV sker det i praktiken aldrig.

3. Lysdioder och direkt eller indirekt gap

Faller en elektron från ledningsbandets botten ner i ett hål i valensbandet kan energin sändas ut som en foton med $hf \approx E_g$. Det är principen för lysdioden. Färgen bestäms av gapet:

$$\lambda \approx \frac{hc}{E_g}$$

Fotonen har nästan ingen rörelsemängd jämfört med elektronerna i kristallen, så övergången måste ske utan att elektronens rörelsemängd ändras. I ett material med **direkt bandgap**, som GaAs, ligger ledningsbandets botten och valensbandets topp vid samma rörelsemängd, och elektronen kan falla rakt ner. I ett material med **indirekt bandgap**, som kisel, ligger de vid olika rörelsemängd. Då måste också en gittervibration ta upp skillnaden, vilket är mycket mindre sannolikt. Därför görs lysdioder och halvledarlasrar av material med direkt gap, medan kisel lyser dåligt.

4. Genomskinligt, färgat eller ogenomskinligt

Synligt ljus sträcker sig från 400 till 700 nm, alltså fotonenergier från 1,77 till 3,10 eV. Gapet avgör hur materialet ser ut:

Gap	Synligt ljus	Utseende	Exempel
$E_g > 3,10 \text{ eV}$	inget absorberas	genomskinligt	diamant, glas, de flesta oxider
$1,77 < E_g < 3,10 \text{ eV}$	den blå änden absorberas	färgat, gult till rött	CdS
$E_g < 1,77 \text{ eV}$	allt absorberas	ogenomskinligt, grått	kisel, germanium, GaAs

⚠ Vanliga fel

- **Största och minsta våglängden förväxlas.** hc/E_g är den *längsta* våglängd som absorberas. Kortare våglängd har mer energi och absorberas också.
- **" kT räcker inte, alltså ingen excitation."** kT är alltid mycket mindre än E_g . Excitationen sker ändå, med sannolikheten $e^{-E_g/2kT}$, och det är den exponentiella känsligheten som gör skillnaden.
- **Bandgap i en metall.** En metall har ett delvis fyllt band, och det finns inget gap att passera vid Fermivå. Metallens gap mellan två *andra* band påverkar inte ledningen.
- **eV och J blandas.** Med $hc = 1240 \text{ eV}\cdot\text{nm}$ och E_g i eV blir λ direkt i nm.

5. Lösta exempel

☰ Exempel – Absorptionskanten för tre material

Bestäm den längsta våglängd som absorberas i kisel ($E_g = 1,12 \text{ eV}$), GaAs ($1,42 \text{ eV}$) och diamant ($5,5 \text{ eV}$). Vilka av dem är genomskinliga för synligt ljus? Kan en solcell av kisel utnyttja ljus med våglängden $1,5 \mu\text{m}$?

✍ Lösning

Gränsvåglängderna. $\lambda_{\max} = hc/E_g$ med $hc = 1240 \text{ eV}\cdot\text{nm}$:

$$\text{Si: } \lambda_{\max} = \frac{1240}{1,12} \text{ nm} = \boxed{1,11 \mu\text{m}}$$

$$\text{GaAs: } \lambda_{\max} = \frac{1240}{1,42} \text{ nm} = \boxed{873 \text{ nm}}$$

$$\text{diamant: } \lambda_{\max} = \frac{1240}{5,5} \text{ nm} = \boxed{225 \text{ nm}}$$

Genomskinlighet. Kisel och GaAs absorberar allt under $1,11 \mu\text{m}$ respektive 873 nm , alltså hela det synliga området. Diamant absorberar bara under 225 nm , i UV, och är **genomskinlig**.

Solcellen. $1,5 \mu\text{m} > 1,11 \mu\text{m}$, så fotonerna har för lite energi, $1240/1500 = 0,83 \text{ eV}$. Kisel är genomskinligt för det ljuset, och solcellen kan **inte** utnyttja det.

Ej kontrollerat mot facit – två oberoende lösningar stämmer överens.

≡ Exempel – Bandgap för en röd och en blå lysdiod

En röd lysdiod lyser vid 650 nm och en blå vid 450 nm . Ungefär hur stort bandgap måste halvledaren ha i var och en? Kan någon av dem göras av GaAs ($1,42 \text{ eV}$)?

Lösning

Gapen. $E_g \approx hc/\lambda$:

$$\text{röd: } E_g = \frac{1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{650 \text{ nm}} = \boxed{1,91 \text{ eV}}$$

$$\text{blå: } E_g = \frac{1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{450 \text{ nm}} = \boxed{2,76 \text{ eV}}$$

GaAs. Gapet $1,42 \text{ eV}$ ger 873 nm , i nära IR. Ingen av lysdioderna kan göras av ren GaAs. GaAs används i stället för IR-dioder, till exempel i fjärrkontroller, och röda dioder görs av legeringar med större gap.

Ej kontrollerat mot facit – två oberoende lösningar stämmer överens.

Läsning

- 42.4 Energy Bands