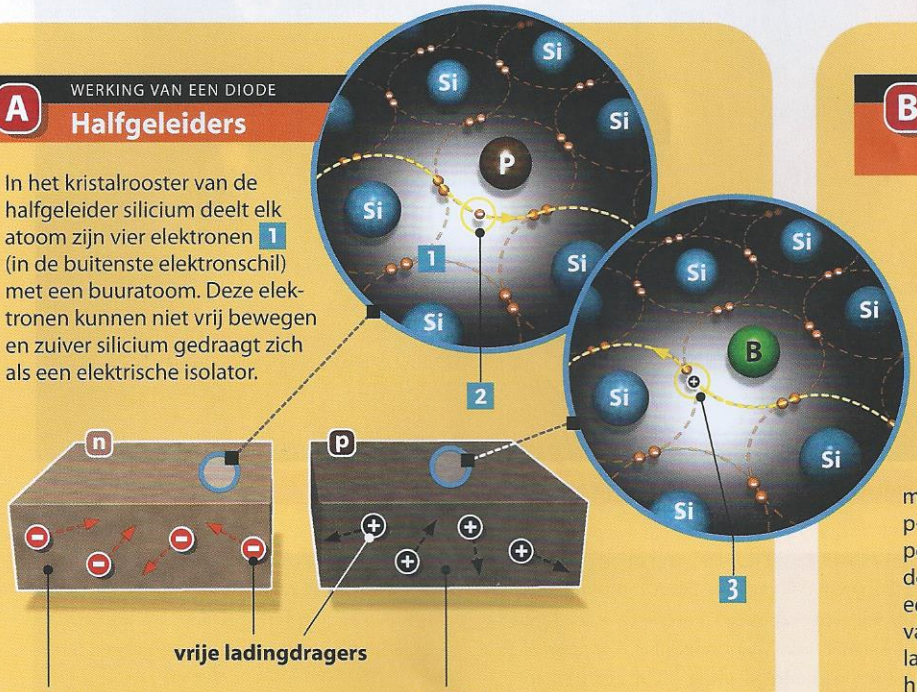
Hoe werkt een ledlamp?

A WERKING VAN EEN DIODE
Halfgeleiders

In het kristalrooster van de halfgeleider silicium deelt elk atoom zijn vier elektronen 1 (in de buitenste elektronschil) met een buuratoom. Deze elektronen kunnen niet vrij bewegen en zuiver silicium gedraagt zich als een elektrische isolator.



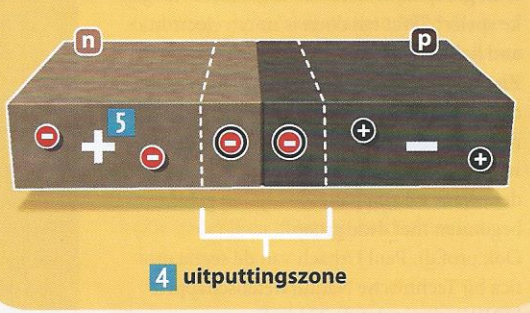
N-silicium
Als fosforatomen (vijf elektronen in de buitenste schil) worden toegevoegd aan het siliciumrooster, blijft het vijfde elektron 2 ongebonden en kan het vrij door het rooster bewegen. Dit n-silicium heeft een overschot aan negatief geladen vrije ladingsdragers. N-silicium gedraagt zich als een elektrische geleider.

P-silicium
Door booratomen (drie elektronen) aan silicium toe te voegen ontstaat een tekort aan elektronen (= een overschot aan positieve gaten 3). Omdat elektronen in dit p-silicium van gat naar gat kunnen springen, neemt de geleiding toe. Ook p-silicium is een elektrische geleider.

B WERKING VAN EEN DIODE
Scheiding van elektronen en gaten

1. Een diode bestaat uit een laagje n- en p-silicium (of n- en p-germanium, n- en p-galliumnitride etc.). Op het grensvlak van de twee lagen stromen vrije elektronen uit de n-laag naar de p-laag waar ze in een positief gat worden gebonden. Er ontstaat een zone zonder vrije ladingsdragers: de uitputtingszone 4.

2. Het n-laagje was elektrisch neutraal, maar naarmate er meer elektronen naar de p-laag diffunderen, ontstaat er in de n-laag een positieve lading 5 (en een negatieve lading in de p-laag). Zo ontstaat rondom de pn-overgang een intern elektrisch veld dat verdere diffusie van vrije ladingsdragers blokkeert. De vrije ladingdragers, electronen en gaten, blijven hierdoor gescheiden.



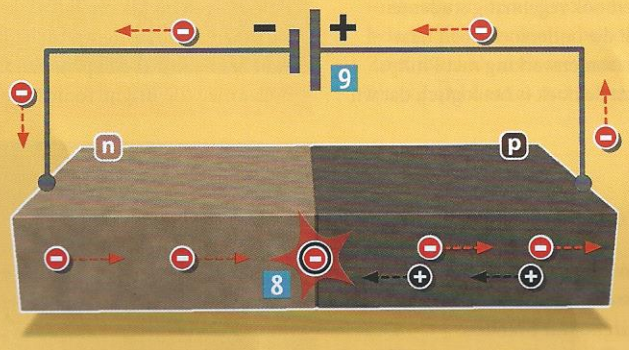
C WERKING VAN EEN DIODE
Stroom loopt in één richting

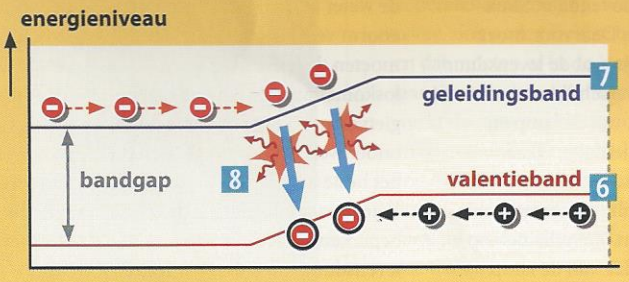
1. Als de diode wordt verbonden met een batterij ontstaat er aan de n-kant een overschot aan elektronen en daarmee een negatieve spanning.

2. Deze externe spanning reduceert het interne elektrische veld. Hierdoor zullen elektronen weer oversteken naar het p-materiaal (en gaten in tegenovergestelde richting). Op dat moment loopt er een elektrische stroom door de diode.

3. **Diode zendt licht uit**
De gaten in de p-laag liggen op een lager energieniveau (de valentieband 6) dan de vrije elektronen (de geleidingsband 7) in de n-laag. Op het np-grensvlak recombineren de vrije electronen en gaten waarbij het energieverschil vrijkomt als warmte of als licht 8 (het elektron zendt een foton uit).

4. Als de batterij andersom wordt aangesloten trekt de positieve pool aan de n-kant elektroden weg van de pn-overgang (de negatieve pool trekt gaten aan) waardoor de uitputtingszone vergroot en niet geleidt. Een diode laat dus in één richting stroom door en in de andere richting niet.





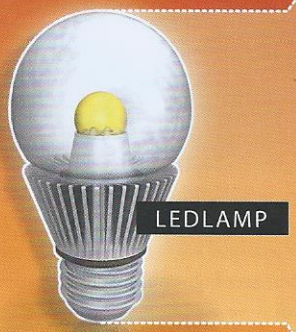
Batterij voedt lichtvorming
De batterij 9 geeft de elektronen die de n-laag instromen een potentiële energie (ter grootte van de bandgap) die bij recombinatie wordt omgezet in licht of warmte. Deze omzetting is afhankelijk van de kristalstructuur: silicium produceert warmte, galliumnitride produceert licht.

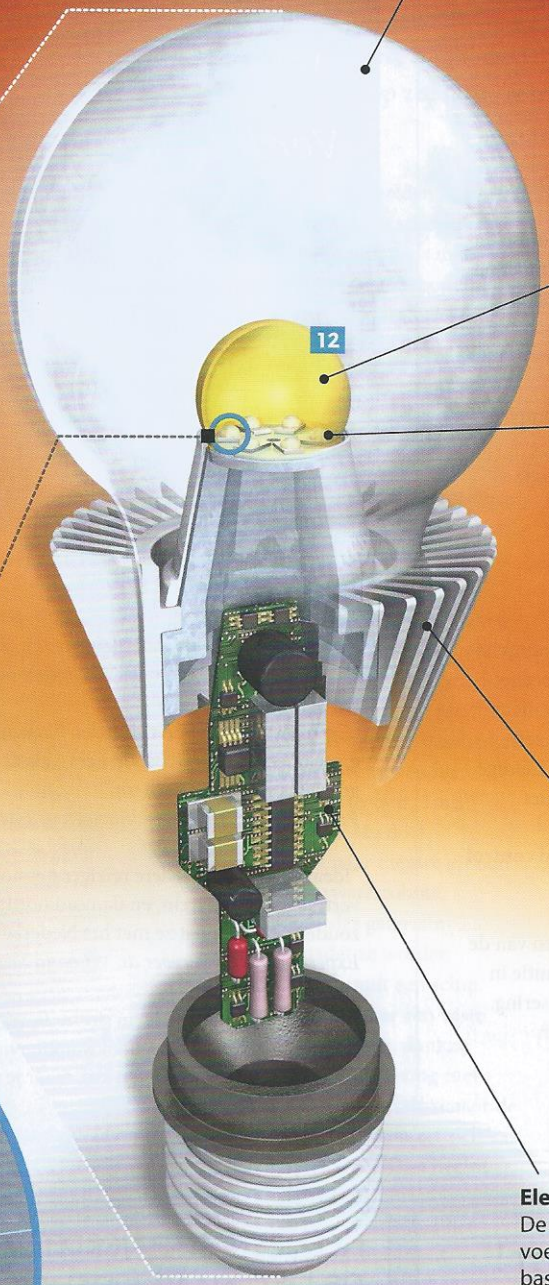
LED: zichtbaar licht

Een led is een diode waarbij het kristalmateriaal licht uitzendt licht wanneer er in de doorlaatrichting stroom doorheen gaat. De kleur van het licht wordt bepaald door de energie die een elektron afgeeft als deze recombineert (de bandgap). Hoe groter de bandgap, hoe groter de energie van een foton (hogere frequentie) en dus hoe blauwer het licht. Een siliciumdiode zendt alleen warmte uit.

Glasbol
De buitenste glasbel zorgt voor maximale verspreiding van het licht.

Rendement LED
Een complete led inclusief bijv. elektrische contacten en fluorescerend laagje heeft een rendement van circa 40 %.





Gloeilamp 25 W

Lichtopbrengst
375 lumen

Levensduur: 25 x 1.000 uur
(= 25 x 3 maanden, 10 uur/dag)

Aanschaf: € 11,25 (25 x € 0,45)

Stroomkosten: € 131,25
25 W x 25.000 h x € 0,21/kWh

Totale kosten
€ 142,50

Kleurfilter
De binnenste bel bevat een laagje fosforescerend materiaal dat het blauwe ledlicht omzet naar wit licht.

Ledlamp 2 W

Lichtopbrengst
300 lumen

Levensduur: 25.000 uur
(= 7 jaar lang, 10 uur/dag)

Aanschaf: 1 x € 10,00

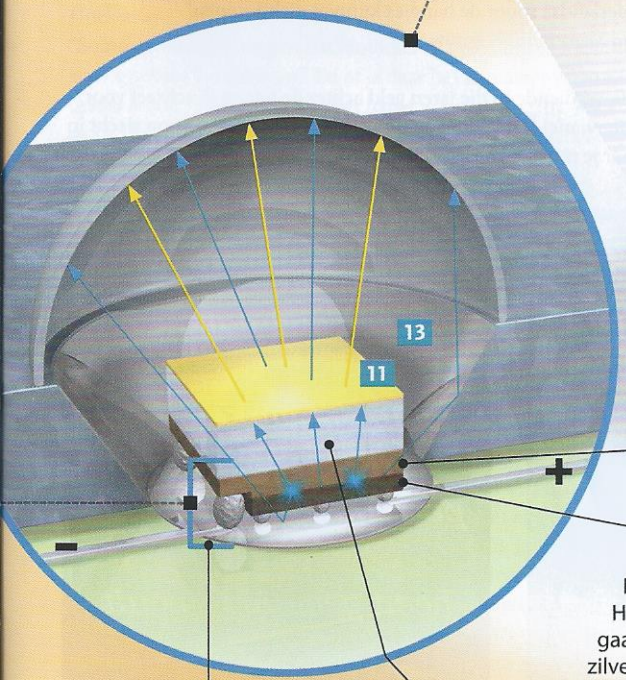
Stroomkosten: € 10,50
2 W x 25.000 h x € 0,21/kWh

Totale kosten
€ 20,50

Rendement kristal 10
Maximaal 70 % van de energie die het kristal in gaat, komt er als foton uit. De rest wordt omgezet in warmte.

Koeling
Als een led warm wordt, dalen rendement en levensduur. Een koelsysteem is daarom essentieel. De kristallen zijn gemonteerd op een aluminium conus die als passief koelsysteem werkt. De koelribben voeren de warmte af door middel van natuurlijke convectie. Een koellichaam maakt een ledlamp groter en zwaarder dan een gloeilamp.

Electronica
De holle metalen kegel biedt ruimte aan voedingselectronica. Omdat een led altijd basiselectronica nodig heeft, is het eenvoudig (en goedkoop) om extra functionaliteit toe te voegen om bijv. de intensiteit, kleur, of aan- en uitschakeling van de led op afstand te regelen via digitale media.



Reflector 13
Het licht in het kristal gaat alle kanten op. Een zilverreflector moet de lichtopbrengst vergroten.

Halfgeleiderkristal galliumnitride
De halfgeleider galliumnitride (GaN) heeft een grote bandgap (3,5 eV) en zendt bij emissie blauw licht uit. Dit kristal is maar een miniscuul onderdeel binnen de complete ledlamp.

Saffier
Galliumnitride wordt vanuit de gasfase op het glasachtige saffier opgedampt. De galliumnitridelaag wordt met aansluitcontacten op een printplaat gesoldeerd.

Wit licht
Een led zendt één kleur licht uit. Door rode, blauwe en groene leds met elkaar te combineren ontstaat wit licht. Omdat het rendement van de omzetting van elektrische energie naar groen licht laag is en van blauw licht juist hoog, wordt vaak alleen een blauwe led gebruikt. In het lichtpad boven de led wordt dan een transparant laagje fluorescent materiaal aangebracht. Dit laagje (direct op het kristal 11 of als bel rondom de leds 12) absorbeert een blauwe foton (hoge energie) en zendt de energie daarna weer uit als een foton met lagere energie (bijv. geel). De combinatie van blauw en geel licht ervaart een gebruiker als wit licht. Bij deze omzetting van hoge naar lage energie gaat energie verloren als warmte.

illustratie & tekst: Eric Verdult, www.kennisinbeeld.nl © 2013