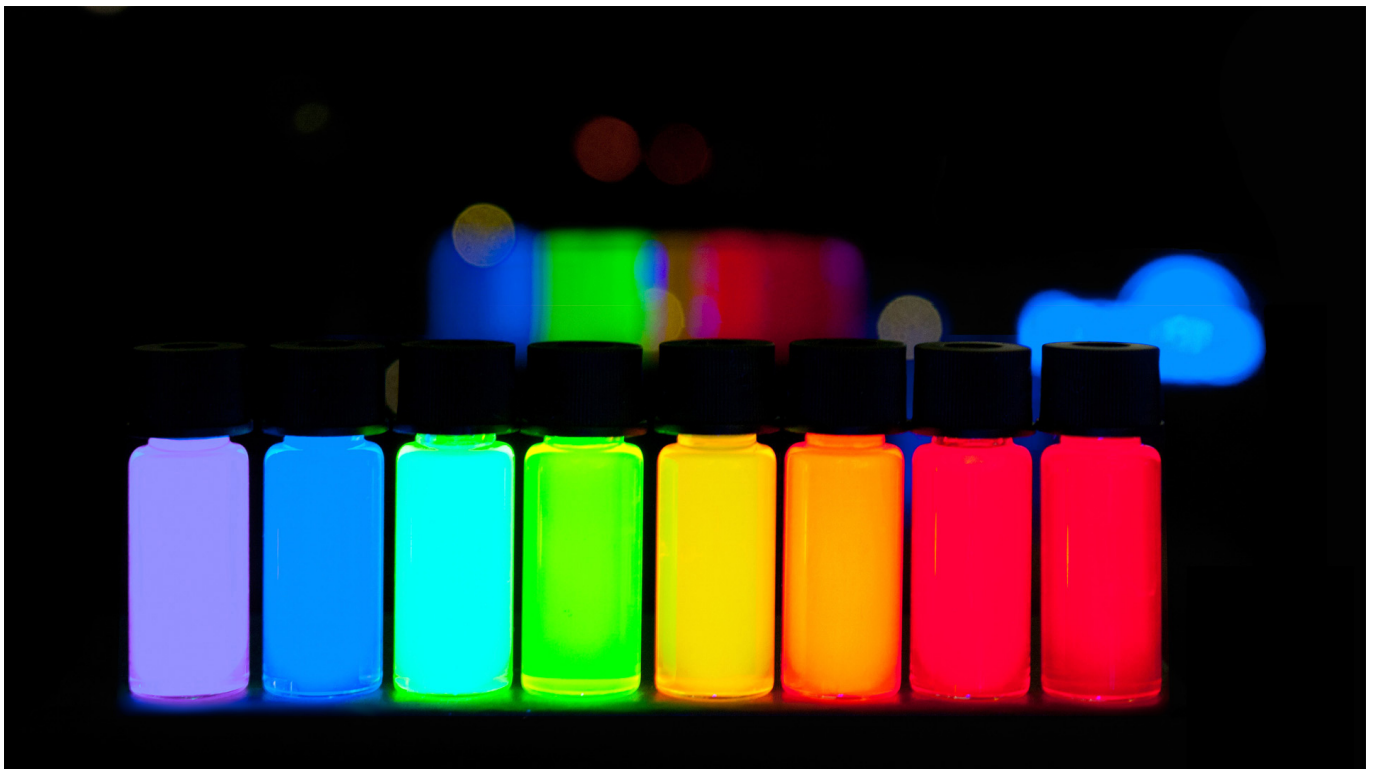


Quantummechanica in je televisie?

*Een maand geleden, tijdens de Consumer Electronics Show, bracht Samsung een nieuwe reeks zogeheten **QLED-televisies** uit. Deze televisies hebben een “quantum dot display”. Nu is de vraag natuurlijk: wat zijn quantumdots, en wat doen ze in tv’s?*

Quantumdots

Quantumdots (ook wel quantumpunten genoemd) zijn kristallen van **halfgeleiders** die zó klein zijn dat quantummechanische effecten een belangrijke rol spelen. Ze zijn normaal maar één tot tien nanometer in breedte: dat is een miljoenste van de lengte van een mier! Die grootte zelf is natuurlijk veel te klein om met het blote oog te kunnen zien, maar zoals te zien is in afbeelding 1 vertonen quantumdots zich graag als je er wat licht op schijnt – met prachtige resultaten!



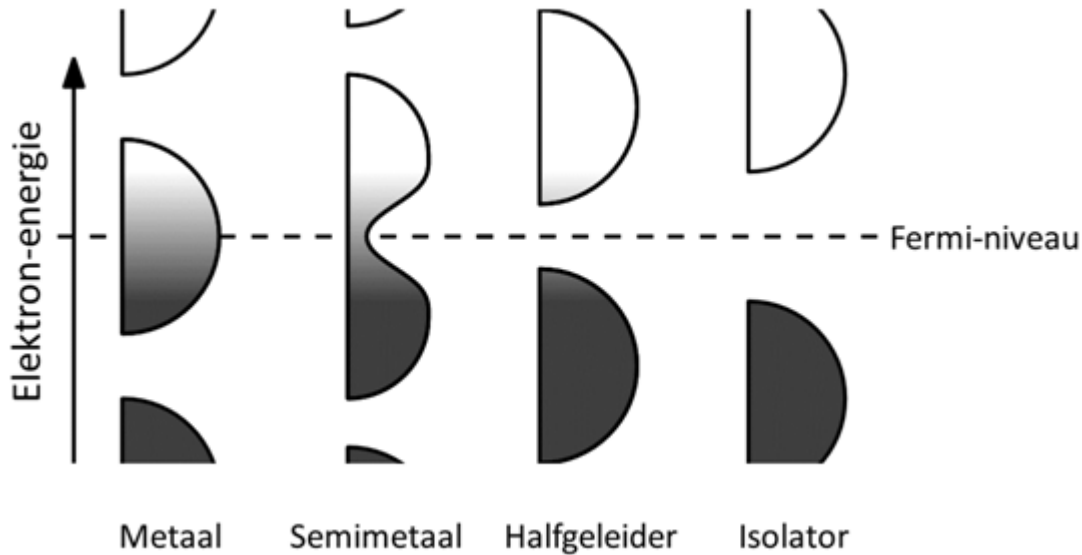
Afbeelding 1. Lichtgevende quantumdots. Afbeelding: Wikipediagebruiker [Antipoff](#).

Hoe werkt een quantumdot?

Om dat te begrijpen moeten we bandentheorie gebruiken. In ons dossier over quantumtoepassingen is besproken hoe het ionenrooster in een geleidend materiaal leidt tot goedgedefinieerde **energiebanden**: voor elke snelheid (oftewel: **impuls**) van een elektron zijn bepaalde energieën toegestaan, maar andere niet. In de praktijk kunnen materialen wel honderden energiebanden hebben, die allemaal door elkaar heen lopen.

Soms is het zo dat er een reeks van energieën bestaat waar geen enkele band doorheen loopt; in dit geval is er sprake van een zogeheten *bandkloof*. Elektronen kunnen energieën binnen de bandkloof niet bezitten, en moeten dus een sprong in energie maken om in een band aan de andere kant van de kloof te komen. Hoe meer elektronen er in het materiaal zitten, hoe hoger de energie die ze moeten hebben; elektronen zijn nu eenmaal **fermionen**, die zich volgens het **uitsluitingsprincipe van Pauli** niet allemaal in dezelfde toestand kunnen bevinden. De elektronen vullen dus de energiebanden van lage naar hoge energie op. Daarbij komt ook nog kijken dat materialen bij temperaturen boven het absolute nulpunt (nul Kelvin, oftewel $-273,15^{\circ}\text{C}$) nooit helemaal in de toestand van allerlaagste energie zijn, omdat ze warmte-energie hebben.

Om stroom te kunnen geleiden moeten elektronen rond kunnen bewegen in de banden zonder dat dat extra energie kost. Als we naar de energiebanden in een materiaal kijken kunnen we bepalen wat voor een materiaal het is. Dat hangt namelijk af van de energie tot waar de banden zijn gevuld (het *Fermi-niveau*), en de vraag of er bij deze energie een (grote) bandkloof is tot de volgende lege band. Dit is afgebeeld in afbeelding 2.



Afbeelding 2. Vulling van energiebanden en het gedrag van een materiaal. De verticale richting geeft de energie van de elektronen aan; de breedte vanaf de verticale lijnen de hoeveelheid banden rond een bepaalde energie. Zwarte delen zijn gevuld met elektronen, grijze delen zijn gedeeltelijk gevuld, en witte delen zijn leeg. In geleidende materialen zijn er gedeeltelijk gevulde banden waardoor elektronen zich vrij rond kunnen bewegen. Afbeelding van Wikipediagebruiker [Nanite](#), aangepast.

Er is natuurlijk een reden dat quantumdots van halgeleiders gemaakt worden. Als je zo'n soort materiaal belicht met fotonen van een energie die hoger is dan de grootte van de bandkloof, kunnen (meer) elektronen aan de bovenkant van de volle valentieband deze fotonen absorberen en de kloof overspringen naar de geleidingsband. Het materiaal bevindt zich dan in een aangeslagen toestand, en wil die extra energie het liefst weer kwijt. In zonnecellen proberen we deze aangeslagen elektronen op te vangen en te gebruiken als stroom. Als de elektronen echter nergens heen kunnen (zoals in - je raadt het al - quantumdots), dan raken ze graag de energie kwijt door een foton van precies de energie van de bandkloof uit te zenden. De foton-energie bepaalt de golflengte van het licht, dus zo geven quantumdots een hele specifieke kleur licht af.

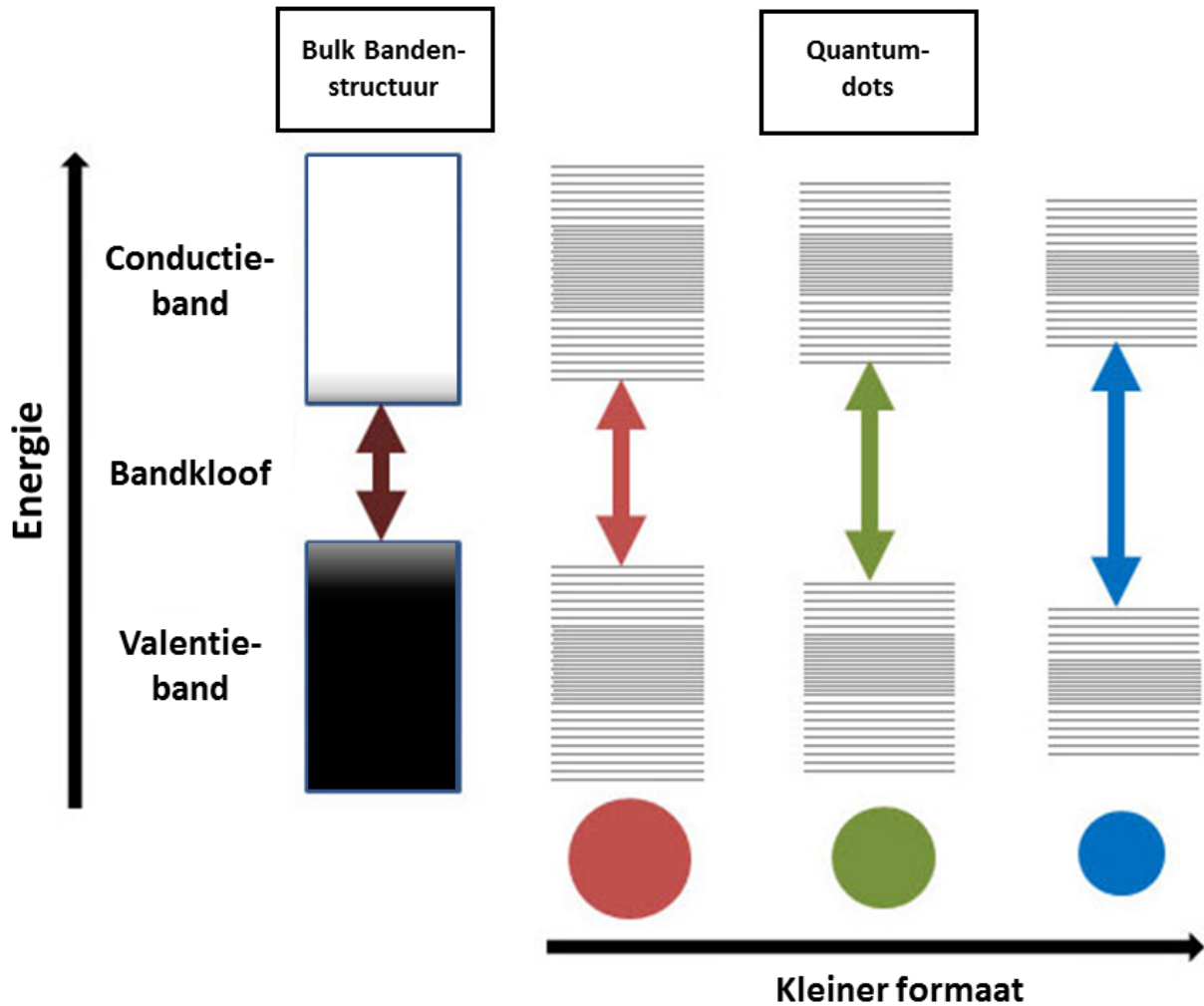
Klinkt dat bekend in de oren? Het lijkt natuurlijk op wat er gebeurt in individuele atomen zoals [beschreven door Niels Bohr](#). Ook daar kunnen elektronen van een hogere energie naar

een lagere energie “vallen” en daarbij licht uitzenden. Niet gek, want we hebben het hier natuurlijk over een collectie van veel atomen!

Alle kleuren van de regenboog

Waarom geven verschillende quantumdots van hetzelfde materiaal verschillende kleuren licht? Zoals je misschien al eerder hebt gelezen, moeten deeltjes op de quantumschaal beschreven worden met een [golffunctie](#). Hoe zo’n golffunctie verandert in de tijd wordt beschreven door de [Schrödingervergelijking](#). Uit die vergelijking blijkt dat, als je een deeltje zoals een elektron opsluit in een klein genoeg doosje, er alleen maar een paar eenvoudige staande golven mogelijk zijn als golffunctie. Dit is wat er gebeurt in een atoom, en ook in een quantumdot.

De staande golven die we hierboven noemden, kunnen geassocieerd worden met de energiebanden van het materiaal. Hoe kleiner het doosje, hoe verder de mogelijke golffuncties in energie uit elkaar worden geduwd. Oftewel: hoe kleiner je een quantum dot maakt, hoe groter de effectieve bandkloof is. Laten we als voorbeeld naar silicium kijken. Een normaal blok van silicium heeft (in het grootste deel van het materiaal, de zogeheten *bulk*) een bandkloof van ongeveer 1,1 elektronvolt. Als we hier een quantumdot van maken van 2,5 nanometer in diameter, is de effectieve bandkloofgrootte meer dan verdubbeld, naar 2,7 elektronvolt! (Voor details, zie referentie [1].) De bandkloof verandert ook nog met de samenstelling van de dots, en als er verschillende soorten moleculen aan hun oppervlakten plakken. Zo hebben we heel veel controle over welke kleur licht de dots afgeven.



Afbeelding 3. Bandkloof en kleuren van het licht. Door quantumopsluiting worden de energiebanden in de geleidingsband en valentieband van de quantumdots uit elkaar geduwd, waardoor de effectieve bandkloof groter wordt dan in de bulk. Hoe kleiner de dot, hoe groter dit effect. De energiebanden zelf (individuele grijze lijnen) worden door de opsluiting ook verder uit elkaar geduwd. Afbeelding van [Sigma Aldrich](#), aangepast.

Waarom quantumdots in een tv-scherm?

De meeste tv-schermen werken tegenwoordig met licht van “[light emitting diodes](#)”, oftewel LEDs. Die geven een blauw licht af, wat door een gele laag van fosfor geschieden wordt zodat het wit wordt. Hierbovenop komt een laag van filters opgedeeld in subpixels die selectief rood, groen, of blauw wegfilteren, en zo het witte licht omtoveren in verschillende kleuren.

Het is de fosforlaag in tv's die vervangen kan worden door quantumdots. Dat heeft twee grote voordelen. In plaats van alleen licht wegfilteren geven quantumdots ook zelf licht, dus gebruiken de schermen minder energie. Ten tweede is dit uitgezonden licht van de dots van heel specifieke golflengtes, waardoor de uiteindelijke kleuren van het scherm veel fijner afgestemd kunnen worden en er veel meer kleurmogelijkheden zijn dan in conventionele schermen.

Om in het kort te laten zien hoe dit werkt plaatsen we hieronder een korte video van CNET (in het Engels) die uitlegt hoe quantumdot-tv's werken:

Referentie

[1] *Study of Single Silicon Quantum Dots' Band Gap and Single-Electron Charging Energies by Room Temperature Scanning Tunneling Microscopy*, B. Zaknoon et al.,
<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/nl080625b>