

# LEDS / OLEDs

## Lichtgevende diodes

**L**ED-technologie bestaat al jaren, maar toch is de opmars van LED-lampen pas recent echt op gang gekomen. De afkorting LED staat voor Light Emitting Diode en verwijst naar een technologie die via halfgeleiders licht maakt uit stroom. Die manier van licht produceren verspilt minder energie dan oudere vormen van verlichting.

Sinds een paar jaar is LED-verlichting bovendien fors in prijs gedaald en daarmee is ze een logische opvolger geworden van ouderwetse gloeilampen, TL-buizen en spaarlampen. Nieuwe generaties LED-lampen blijken steeds beter te presteren qua levensduur en lichtopbrengst, zonder dat het stroomverbruik toeneemt. De ontwikkeling van LED-technologie gaat daarnaast verder met verlichting met organische

LEDs ofwel OLEDs. Daarmee kunnen grote lichtgevende oppervlakken en zelfs buigzame folies worden gemaakt. Mogelijk gaan OLEDs in de toekomst een plek veroveren naast LED-lampen.

### In deze Chemische Feitelijkheid

- De Context: Wanneer werden LEDs ontdekt en waarom liet LED-verlichting lang op zich wachten?
- De Basis: Hoe maak je met halfgeleiders licht uit stroom en hoe krijg je alle kleuren van de regenboog?
- De Diepte: Hoe bouw je met superdunne laagjes halfgeleidende organische moleculen een lichtgevend paneel?

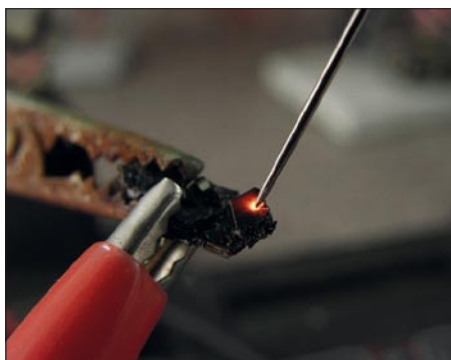
De eerste LEDjes gaven zwak rood licht. Het duurde lang voordat uit **halfgeleidermateriaal** ook fel blauw en daarmee witte LED-verlichting kon worden gemaakt.

# Lamp uit, LED aan

Verlichting vreet stroom. Naar schatting zijn lampen in huizen en kantoren, en stads- en snelwegverlichting verantwoordelijk voor 20 procent van het wereldwijde energieverbruik. En dan te bedenken dat veel lichtbronnen niet erg efficiënt zijn. Ze produceren meestal meer warmte dan licht. Bij de gloeilamp is dat het duidelijkst: die gloeit in hoofdzaak infrarode straling (warmte); slechts 5 procent van de verbruikte energie wordt omgezet in zichtbaar licht.

LEDs en OLEDs gloeien niet, ze zetten stroom direct om in licht, via zogenaamde halfgeleidertechnologie. Er zijn tegenwoordig LED-lampen te koop van rond de 8 W die evenveel licht produceren als een ouderwetse gloeilamp van 60 W. Ondanks dat LED-technologie al decennia bestaat, is de opmars van de LED-lamp pas recentelijk op gang gekomen. De laatste tien jaar zijn LEDs doorlopend efficiënter, feller en goedkoper geworden, en die trend is nog niet ten einde.

Tussen ontdekking en toepassing zit soms veel tijd. Zo is er inmiddels al een eeuw verstreken sinds de Amerikaan Henry Joseph Round (1881-1966) een piepklein stukje siliciumcarbide geel liet oplichten door er via een stalen draadje



Demonstratie van elektroluminescentie met een siliciumcarbide-kristal.



LEDs in verschillende kleuren.

een stroompje doorheen te sturen. In z'n publicatie uit 1907 van nauwelijks driehonderd woorden zocht de onderzoeker vooral naar meer informatie om het fenomeen te verklaren. De publicatie trok weinig aandacht en werd vergeten.

## KOUD LICHT

De Russische natuurkundige Oleg Losev (1903-1942) zag met experimenten aan siliciumcarbide precies hetzelfde lichtverschijnsel, maar hij deed vervolgens meer moeite om het beter te begrijpen. Net als Round vermoedde Losev in eerste instantie dat het licht net als in een gloeilamp ontstond door het opwarmen van het materiaal. Toch kon dat niet de verklaring zijn, ontdekte Losev, want uit zijn experimenten met verdamping van benzine bleek dat het lichtbronnetje 'koud' was.

Tussen 1924 en 1930 schreef Losev zestien wetenschappelijke publicaties waarin dit hij het lichtfenomeen in detail onderzoekt en verklaart, gebruikmakend van de in die tijd net gelanceerde kwantumtheorie van Albert Einstein. Losev voorzag zelfs toepassingen, bijvoorbeeld in tele-

communicatie, waarvoor hij een patent registreerde. Het werk van Losev is lange tijd niet echt op waarde geschat, maar hij wordt tegenwoordig gezien als de vader van de LED, al heeft hij die drie-letterige term zelf nooit gebruikt.

LED is de afkorting van Light Emitting Diode, een term die pas in zwang kwam na de geboorte van halfgeleidertechnologie eind jaren vijftig. Halfgeleiders – zoals silicium, gallium en indium – hebben bijzondere eigenschappen en staan aan de basis van de miniaturisering van alle elektronica, van computer tot telefoon. Een van die halfgeleidercomponenten is de diode, die in z'n simpelste vorm elektrische stroom in de ene richting doorlaat maar in de andere richting blokkeert.

Diodes kunnen stroom ook omzetten in straling, een proces dat elektrolumi-



Rekenmachine met 7-LED cijferdisplay uit 1975.



## ENERGIEBESPARING

Hoewel krachtiger gloeilampen niet meer worden verkocht, hebben Nederlandse huishoudens nog circa vijftien van zulke lichtbronnen in huis, stelt Milieucentraal. Vervanging door LED-lampen levert een besparing van gemiddeld 60 euro per jaar op de energierekening. Het Department of Energy heeft berekend dat als in 2030 huis- en straatverlichting in de Verenigde Staten door LEDs wordt verzorgd, het land jaarlijks evenveel energie kan besparen als 36 miljoen huishoudens verbruiken; dat is een energierekening van 40 miljard dollar. In de VS wordt die vervanging stevig gestimuleerd. Tussen 2008 en 2012 verving de stad Los Angeles 150.000 natriumlampen langs wegen door LEDs. Dat bespaart 63 % op de energierekening, goed voor 8 miljoen dollar per jaar.

nescentie wordt genoemd. Halverwege de jaren vijftig werden de eerste diodes die infrarode straling afgeven ontwikkeld. Vanaf de jaren zestig zijn ze te koop en ze worden nog altijd in afstandsbedieningen toegepast: als je van zender wilt wisselen, druk je op een knop en straalt een LEDje het signaal als een bundeltje infrarood licht naar de ontvanger in de televisie.

## RODE CIJFERS

Begin jaren zestig bereikte het eerste LEDje dat zichtbaar rood licht uitzendt de markt. Deze LED was niet heel efficiënt en gaf geen fel licht. De eerste toepassingen lagen in het vervangen van kleine aan/uit indicatorlampjes in de displays van allerlei apparaten. Een andere toepassing volgde iets later in de eerste generaties rekenmachines en digitale klokken. Zeven eenvoudige platte LEDs kunnen namelijk in verschillende combinaties cijfers uitbeelden. Die klassieke rode zevenssegmentendisplays worden nog altijd toegepast in radioweekers.

Na de komst van de rode LED vinden er geleidelijk allerlei innovaties en verbeteringen plaats. In de jaren zeventig komen oranje, gele en groene LEDs beschikbaar en de lichtopbrengst van rode LEDs verbetert met een factor tien. Ook de prijs gaat snel omlaag: de allereerste LEDs kostten nog tientallen tot honderden euro's per stuk. Bovendien was de levensduur soms teleurstellend.

Ondanks alle verbeteringen is de LED als lamp om een huiskamer te verlichten dan nog erg ver weg. Dat heeft aan de ene kant te maken met een te geringe

lichtopbrengst: LEDs zijn door hun intensiteit in de jaren zeventig en tachtig geen partij voor de gloeilamp en de TL-buis. Een andere beperking lag in het beschikbare kleurenpalet. Om voor het mensenoog prettig wit licht te maken is een mix nodig van rood, groen en blauw. Maar blauw bleek niet te produceren met de bestaande LED-halfgeleidermaterialen (tot dan toe een wisselende combinatie van gallium, indium, aluminium, arseen en fosfor).

## INDIUMGALLIUMNITRIDE

De oplossing kwam uiteindelijk begin jaren negentig, toen Japanse wetenschappers met vallen en opstaan slaagden om met galliumnitride en indium een LED te maken die wél fel blauw licht uitzendt. De verbeterde opvolgers van die blauwe indiumgalliumnitride LEDs zijn inmiddels in alle LED-lampen terug te vinden.

LED-fabrikanten werken doorlopend aan de verbetering van de lichtopbrengst, wat je kunt uitdrukken in lumen per watt. Op dat gebied zijn er de voorbije jaren gestage vorderingen gemaakt. Met hetzelfde stroomverbruik produceren nieuwe generaties LEDs veel meer licht. Ze worden kortom steeds efficiënter en de grens van wat mogelijk is, is nog niet bereikt. Op onderzoeksafdelingen zijn al prototype LED-lampen ontwikkeld die per watt drie keer meer licht produceren dan de lampen die nu in de winkel te koop zijn.

Tegelijkertijd werken onderzoeksinstituten en bedrijven al geruime tijd aan verlichting met OLEDs. OLEDs gebruiken geen elementen als gallium en indium maar halfgeleidende organische moleculen. De eerste observaties van elektroluminescentie met organische moleculen

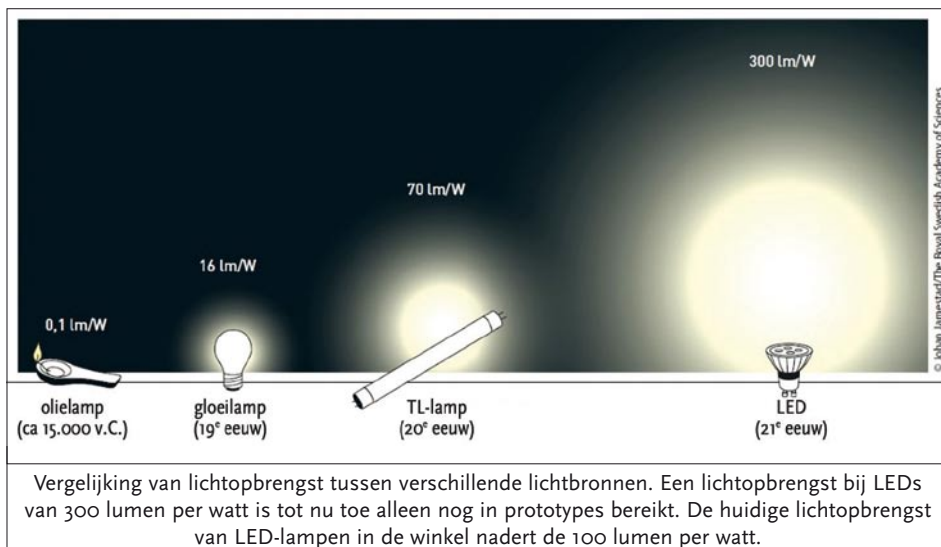
## LED-SIGNALLEN LI-FI



Veel moderne apparaten communiceren met elkaar en het internet via Wi-Fi, maar in plaats van datatransport via radiogolven kunnen LEDs ook gegevens overbrengen met lichtsignalen. Zulke optische, draadloze communicatie is nog niet te koop, maar met prototypes is al data-overdracht gerealiseerd die vele malen hoger is dan de huidige breedband-internetverbindingen. LEDs kunnen dit bereiken door met tussenpozen van nanoseconden aan en uit te schakelen. De stroom lichtpulsjes zorgt voor de gegevensoverdracht naar een ontvanger (fotodetector), terwijl het knippen veel te snel gaat voor het oog om waar te nemen. Li-Fi heeft het voordeel dat er veel meer frequenties beschikbaar heeft dan Wi-Fi en het geen interferentie geeft met elektrische systemen in bijvoorbeeld vliegtuigen.

dateren van begin jaren zestig aan kristallen van antracene, een aromatisch molecuul uit teer dat licht geeft als er flink veel stroom doorheen wordt gejaagd.

Onderzoekers Ching Tang en Steven Van Slyke van Eastman Kodak maakten in 1987 als eerste een echte OLED door met twee dunne lagen organische moleculen groen licht te produceren. Die eerste stap vormde het begin van een jarenlange, gestage ontwikkeling van OLEDs. Het resultaat is op dit moment vooral terug te vinden in de beeldschermen van sommige merken smartphones. Een paar fabrikanten produceren op beperkte schaal grotere OLED-panelen voor nieuwe vormen van verlichting, reclame of televisie.



Met de juiste mix van elementen is het tegenwoordig mogelijk om met LEDs vrijwel het hele **kleurenspectrum** aan licht te maken.

# Stralende halfgeleiders

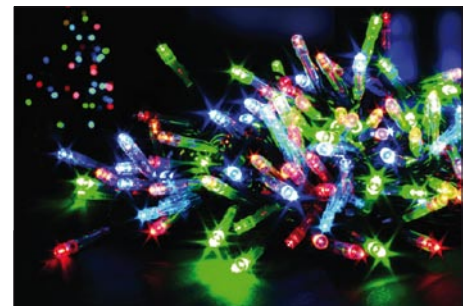
Een LED geeft licht door elektriciteit direct om te zetten in lichtdeeltjes (fotonen). Een LED dankt die eigenschap aan een doordachte opbouw van afwisselende dunne laagjes halfgeleider. In z'n simpelste vorm bestaat zo'n halfgeleidersandwich uit drie lagen, maar in de praktijk zijn het er meestal meer.

De eerste laag heeft een overschot aan elektronen (n-type laag). De tweede laag heeft juist een tekort aan elektronen (p-type laag), die ook wel positieve 'gaten' worden genoemd. Tussen die twee lagen zit een 'actieve' laag waar de elektronen en de gaten met elkaar kunnen recombineren. Dit gebeurt zodra er een stroompje door de laagjes loopt. Als de elektro-

nen en de gaten elkaar tegenkomen in de actieve laag, vallen de elektronen in de gaten. Ze gaan daarbij van een hoger naar een lager energieniveau en dat energieverval komt vrij in de vorm van een foton. Er ontstaat licht: elektroluminescentie.

Hoe groter het energieverval, hoe meer energie het elektron verliest, hoe energierijker het foton. Dat is te zien aan de kleur van het licht. Kleine energieverval resulteert in onzichtbaar infrarood of zichtbaar rood licht, terwijl grote energieverval resulteert in blauw of violet licht.

Het uitbreiden van het kleurenspectrum van LEDs heeft onderzoekers sinds de



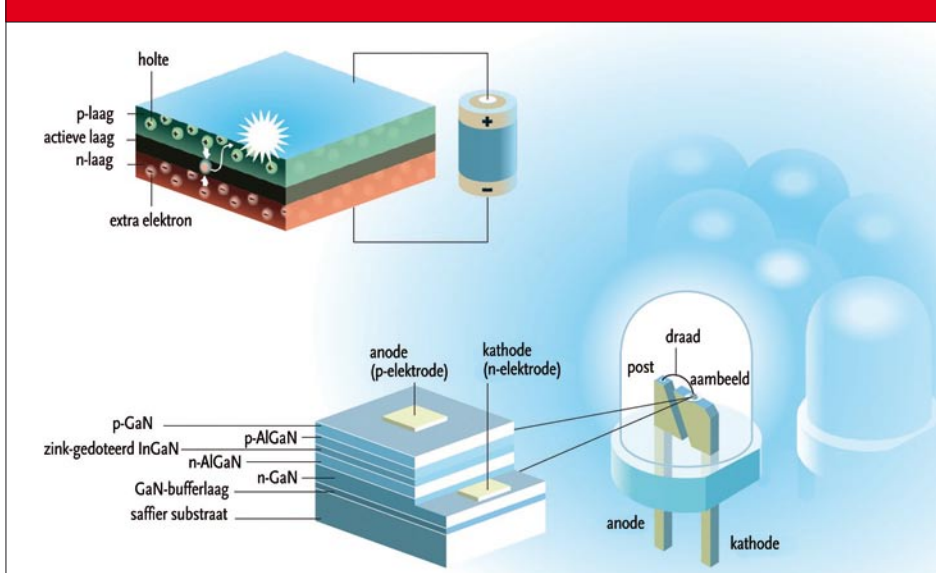
LEDs worden ook toegepast bij kerstverlichting.

jaren vijftig de nodige moeite gekost. De eerste rode en oranje LEDs maakten gebruik van relatief kleine energieverval, en waren vrij makkelijk te produceren. Vooral het vinden van de juiste halfgeleidermaterialen voor het ontwikkelen van felle, blauwe LEDs bleek een uitdaging.

## SAMENGESTELD

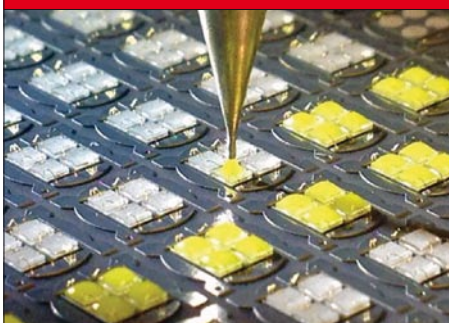
Voor het maken van LEDs putten onderzoekers sinds jaar en dag uit een combinatie van een beperkt aantal elementen uit het periodiek systeem. Het gaat bij LEDs om zogenaamde samengestelde halfgeleiders: een combinatie van elementen uit hoofdgroep III (aluminium, gallium, indium) en hoofdgroep V (stikstof, fosfor, arsen en antimoon). Er zijn veel verschillende combinaties mogelijk om III-V halfgeleiders te maken, maar de meest gebruikte zijn InGaN, AlInGaP en AlGaAs. Door het variëren van de onderlinge verhoudingen is het mogelijk om met deze halfgeleiders vrijwel het hele zichtbare licht spectrum te maken.

## LED-OPBOUW



Opbouw van een blauwe LED, plus de rol van de p- en n-laag.

## COATEN



Coaten van galliumnitride-LEDs met fosforescerende laag.

Samengestelde halfgeleiders zijn in zui-  
vere vorm nog niet geschikt om LEDs te  
maken. Ze hebben niet de juiste eigen-  
schappen. Die ontstaan pas als er sporen  
van andere elementen aanwezig zijn, waar-  
door er een overschot of juist een tekort  
aan elektronen ontstaat: een n-type of p-  
type. Dit zogenaamde doperen komt neer  
op het 'gecontroleerd verontreinigen' van  
de halfgeleider met andere elementen.

Zo wordt galliumnitride (GaN), dat  
geschikt is om blauwe LEDs te maken,  
verontreinigd met een beetje silicium of  
germanium om een n-type galliumni-  
tride te maken. Toevoeging van een beetje  
magnesium geeft p-type galliumnitride.  
In de actieve laag wordt het galliumni-  
tride gecombineerd met indiumnitride,  
gedoteerd met zink. Voor het vinden  
en optimaliseren van de juiste opeen-  
volgende laagjes zijn veel experimenten  
nodig geweest. Vanaf het eerste blauwe  
schijnsel afkomstig van galliumnitride  
eind jaren tachtig, tot een commercieel  
bruikbare, felblauwe LED verstreken tien  
jaar.

## LAAGJES

Wat heeft voor een deel te maken met  
de complexe productietechnologie. Mo-  
derne LEDs bestaan uit laagjes halfge-  
leiders van ieder slechts enkele tientallen  
nanometers dik. Zulke laagjes groeien  
geleidelijk en gecontroleerd op een onder-  
grond van saffier of siliciumcarbide. Het  
lijkt op atomen stapelen. Alleen zo kan  
de gewenste kristalstructuur te laten ont-  
staan, waarin elektroluminescentie opti-  
maal kan optreden.

Het aangroeien gebeurt in enorme  
machines door middel van organische  
metaalverbindingen als trimethylgallium  
of trimethylaluminium. Die stoffen die-  
nen als transporteurs in een proces van  
*metal organic vapor deposition* om zo gal-  
lium, indium en alle andere ingrediënten

in dampvorm naar een reactiekamer te  
leiden, waar verhitting zorgt dat de gas-  
sen ontbinden en de gallium en indium-  
atomen landen op de ondergrond. De  
samenstelling van het gasmengsel bepaalt  
daarbij de eigenschappen van de nieu-  
bakken halfgeleider. Daarnaast worden  
er ook dunne contactpunten aangebracht  
om de LED later van stroom te kunnen  
voorzien.

## FOSFORESCENTIE

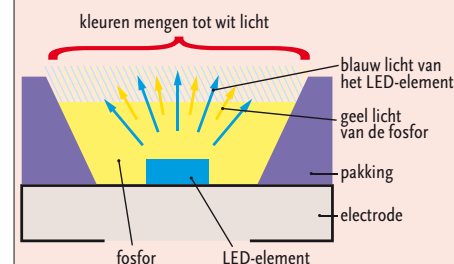
De productietechniek heeft veel weg  
van het maken van computerchips.  
Het begint met een ronde wafel van saf-  
fier of siliciumcarbide, die afhankelijk van  
het formaat uiteindelijk enkele duizen-  
den tot tienduizenden individuele LEDjes  
oplevert. Deze LEDjes worden vervolgens  
in een behuizing gemonteerd, op een  
structuur die overtollige warmte afvoert  
en zorgt voor de stroomtoevoer. Een witte  
of transparante kap op de bovenkant  
maakt de lamp compleet.

Blauw was de ontbrekende kleur die  
nodig was om samen met rode en groene  
LEDs wit licht te produceren. Toch zitten  
in de meeste witte LED-lampen die tegen-  
woordig te koop zijn alleen blauwe LEDs  
voorzien van een coating. Die bevat fos-  
forescerende stoffen die het blauwe licht  
grotendeels omzetten in gelige tinten.

Blauwe LEDs met een coating worden  
tegenwoordig in enorme aantallen gefa-  
briceerd. Wie een eenvoudige LED-lamp  
koopt met een transparantie behuizing  
kan kleine, geeloranje vlakjes zien zitten,  
vaak tussen de tien en twintig: galliumni-

## GEEL + BLAUW = WIT

De meeste LED-lampen die op dit moment  
voor huishoudelijk gebruik te koop zijn,  
bevatten indiumgalliumnitride-LEDs die van  
zichzelf blauw licht uitzenden met een golf-  
lengte van 450 à 470 nanometer. Een laag-  
je kunststof met daarin een fijn poeder van  
synthetisch yttrium-aluminium-granaat (YAG;  
Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>) gedoteerd met cerium absorbeert dit  
blauwe licht en zet het deels om in geel licht  
met een golflengte van circa 560 nanometer.  
Het resultaat is een mix van geel en blauw licht  
die het oog op dezelfde manier stimuleert als  
een mengsel van groen, rood en blauw licht.  
We zien dus wit licht. Met de keuze van de  
samenstelling en dikte van de coating kunnen  
lampenfabrikanten variëren met de kleur van  
het witte licht: van koel wit tot warmgeel.



tride LEDjes bedekt met een dun laagje  
fosforescerende coating. Massaproductie  
heeft de kosten inmiddels flink doen  
dalen. Voor een paar euro beschik je over  
een lamp die minder stroom verbruikt en  
veel langer meegaat dan een gloeilamp of  
spaarlamp.

## COMMERCIEEL VERKRIJGBARE LEDS

Golflengte bereik (nm)	Kleur	Halfgeleidend materiaal
< 400	ultraviolet	aluminiumnitride (AlN) aluminiumgalliumnitride (AlGaIn) aluminiumgalliumindiumnitride (AlGaInN)
400 – 450	violet	indiumgalliumnitride (InGaIn)
450 – 500	blauw	indiumgalliumnitride (InGaIn) siliciumcarbide (SiC)
500 – 570	groen	galliumfosfide (GaP) aluminiumgalliumindiumfosfide (AlGaInP) aluminiumgalliumfosfide (AlGaP)
570 – 590	geel	galliumarsenidefosfide (GaAsP) aluminiumgalliumindiumfosfide (AlGaInP) gallium fosfide (GaP)
590 – 610	oranje/amber	galliumarsenidefosfide (GaAsP) aluminiumgalliumindiumfosfide (AlGaInP) galliumfosfide (GaP)
610 – 760	rood	aluminiumgalliumarsenide (AlGaAs) galliumarsenidefosfide (GaAsP) aluminiumgalliumindiumfosfide (AlGaInP) galliumfosfide (GaP)
> 760	infrarood	galliumarsenide (GaAs) aluminiumgalliumarsenide (AlGaAs)

Met dunne laagjes geleidende organische moleculen kunnen technici zuinige lichtpanelen maken. Vormt dit de toekomst van verlichting?

# Lichtgevende nanolaagjes

LED-lampen met anorganische halfgeleiders zoals indiumgalliumnitride vervangen in hoog tempo oude lichtbronnen. Toch is de vraag of de hedendaagse LED-technologie over twintig jaar nog steeds de overhand zal hebben. Er wordt namelijk hard gewerkt aan lichtbronnen op basis van organische moleculen (de O in OLED). Die OLED-technologie is al praktisch toepasbaar, getuige de OLED-beeldschermjes van een groeiend aantal smartphones en de voorzichtige opkomst van OLED-televisies.

In plaats van een computer en televisieschermen kun je met OLEDs ook extreem dunne, diffuus verlichte vlakken maken. Er zijn sinds 2009 al zulke panelen op de markt, voor een prijs van enkele honderden euro's per stuk. De

bekendste zijn OLED Light van LG Chem en Lumiblade van OLEDWorks (voorheen Philips Lighting). Op dit moment passen vooral architecten ze toe in experimentele lichtontwerpen van nieuwe gebouwen. In meubelwinkels en bouwmarkten zijn nog geen OLED-panelen of complete OLED-lampen te koop.

## STOFFEN STAPELEN

Voordat OLED-verlichting grootschalige intrede doet, moet nog één en ander verbeteren aan de prijs, efficiëntie en levensduur. OLED-licht moet heel simpel gesteld nog een groot gedeelte van het ontwikkeltraject afleggen dat LED-verlichting in de voorbije vijftien jaar heeft doorgemaakt.

Het maken van een OLED-paneel draait op dit moment om het gecontroleerd sta-



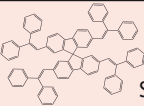
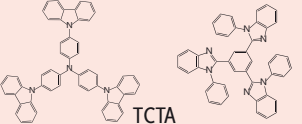
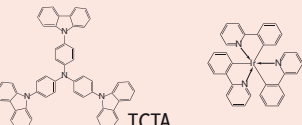
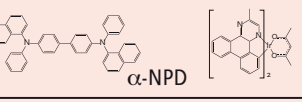
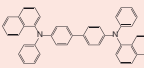
Prototype van flexibel OLED-paneel.

pelen van ultradunne laagjes organische moleculen, door ze in hoog vacuüm te verdampen en te laten neerslaan op een drager van glas of kunststof. De gebruikte organische stoffen zijn allemaal rijk aan geconjugeerde bindingen, die veel vrij bewegende elektronen bevatten. Daardoor kunnen ze de rol van halfgeleider vervullen, en elektronen en gaten transporteren naar een actieve laag die licht uitzendt.

Net als bij een anorganische LED heeft een OLED dus dezelfde globale opbouw met aan weerszijden een anode en een kathode die respectievelijk gaten en elektronen injecteren. Daartussen zitten andere laagjes die het transport en het samenkomen van gaten en elektronen gecontroleerd laten verlopen, tot en met het verval onder het uitzenden van een foton.

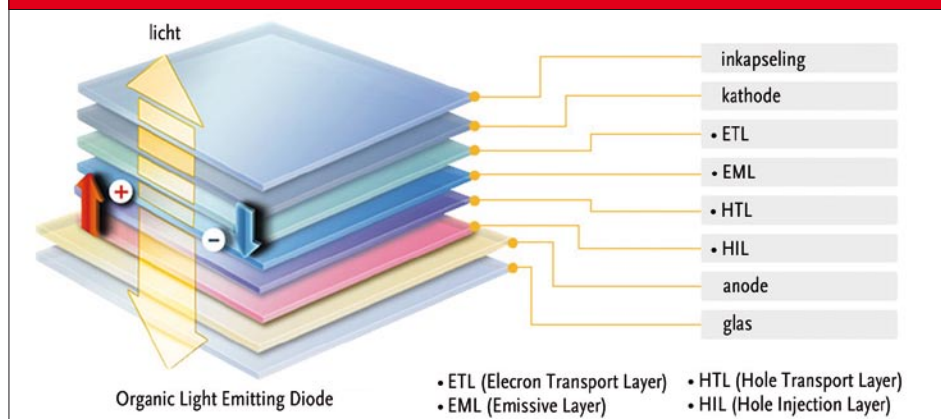
De opbouw van zo'n paneel in de fabriek begint met een dunne drager: een glasplaat van een 0,5 tot 2 millimeter dik. Het glas vormt uiteindelijk de lichtgevende voorkant van het paneel. De anode die daarop komt, moet dus zowel goed stroom geleiden als licht doorlaten; het transparante indiumtinoxide (ITO) voldoet aan die eisen.

## IN DETAIL

	aluminium	100 nm
	NET <sub>5</sub> :NDN <sub>1</sub>	40 nm
	NET <sub>5</sub>	10 nm
	Spiro-DPVBi	10 nm
	TCTA:TPBi	3 nm
	TCTA:Ir(ppy) <sub>3</sub>	3 nm
	a-NDP:Ir(MDQ) <sub>2</sub> (acac)	20 nm
	α-NPD	10 nm
	NHT <sub>5</sub> :NDP <sub>2</sub>	40 nm
	ITO	90 nm
	glas	1,5 mm



## SCHEMATISCHE OPBOUW VAN EEN OLED



Op de anode komen laagjes die gaten goed doorgeleiden naar opeenvolgende actieve lagen die licht uitzenden. Daar bovenop komen weer lagen die elektronen transporteren, en tot slot een kathode van aluminium (die licht reflecteert) en een speciale afsluitende laag (encapsulatie) om elk spoortje vocht en zuurstof buiten te sluiten.

Omdat elektronen en gaten zich niet automatisch aan de grenzen van elke laag houden, brengt men her en der 'blokkeerlaagjes' aan. Sommige laten gaten door en blokkeren elektronen, andere doen juist het omgekeerde. De hele stapel organische laagjes en elektrodes is hooguit 400 nanometer dik, niet meer dan een microscopisch dunne film op de toch al zeer dunne glasplaat.

## EMITTERS

De organische halfgeleiders die de lading transporteren, zijn zelf niet in staat om licht uit te zenden. Daarom worden kleine hoeveelheden fosforescente emitters met iridium of platina door de organische halfgeleiders gemengd. De aanwezigheid van een metaalatoom in emitter-moleculen zorgt ervoor dat vrijwel alle elektron-gat-combinaties uitmonden in zichtbaar licht. Als gaten en elektronen elkaar ontmoeten zijn er namelijk uiteenlopende uitkomsten mogelijk (zogenaamde excitonen met verschillende spintoestanden), die lang niet allemaal zichtbaar licht opleveren. De emitters zorgen ervoor dat in eerste instantie niet-productieve elektron-gat-combinaties toch licht opleveren.

In de OLED-lichtpanelen die op dit moment worden verkocht zitten twee actieve lagen afzonderlijk van elkaar in de stapel: eentje met een mengsel van rode en groene emitters en eentje met blauwe emitters. Als de twee lagen

tegelijkertijd emitteren is het resultaat wit licht.

Omdat de levensduur van fosforescente blauwe emitters nog te wensen overlaat, heeft de blauwe laag emitters zonder zware metalen. Dat is de reden waarom de industrie fluorescente emitters gebruikt om blauw OLED-licht te maken. De blauwe laag is daardoor wel stukken minder efficiënt in het omzetten van stroom in licht, maar op dit moment zijn ze toch geschikt om de eerste generatie OLED-lichtpanelen te maken.

## EFFICIËNTER

Er is bij OLED-verlichting kortom nog ruimte voor verbetering. Dat geldt op meerdere vlakken. De levensduur kan bijvoorbeeld nog beter. Vooral als het maximale van een paneel wordt gevraagd, loopt de lichtopbrengst na verloop van tijd terug. De moleculaire architectuur van het paneel slijt, bijvoorbeeld doordat bij hoge stroomsterktes de fosforescente emitters beschadigen. Het verhogen van de efficiëntie – meer zichtbaar licht maken met minder elektriciteit – is dus een goed idee.

Verbetering van de efficiëntie zit voor een deel in de efficiënte omzetting van gaten en elektronen in fotonen. Een nog grotere kans ligt bij verbetering van de extractie-efficiëntie: ervoor zorgen dat de

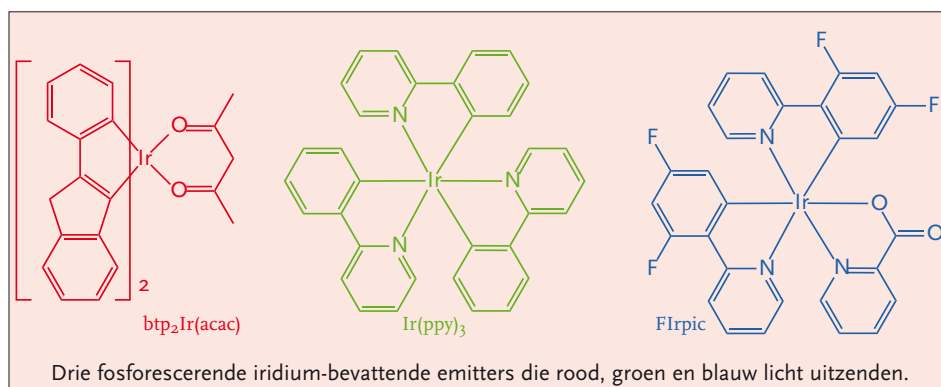
gevormde fotonen via de stapel van organische laagjes de OLED kunnen verlaten. Want ook al zijn de laagjes slechts tientallen nanometers dik, bijna driekwart van de gevormde fotonen kan niet ontsnappen, en draagt niet bij aan de lichtopbrengst. Het verbeteren van de 'ontsnapmogelijkheden' kan worden verbeterd door het inbouwen van microscopisch kleine lenzen en lichtverstrooiende deeltjes.

Tot slot proberen onderzoekers en fabrikanten flexibele OLEDs te ontwikkelen, door gebruik te maken van dragers van flexibel, ultradun glas of kunststoffen als polyimide. Van min of meer flexibele OLEDs zijn al jaren prototypes beschikbaar. We kunnen buigbare OLED-beeldschermen en OLED-lichtpanelen maken, maar het zijn nog demonstratieobjecten. Oprolbare beeldschermen of lichtgevende folies zijn nog niet te koop, omdat ze nog altijd niet betrouwbaar en betaalbaar zijn.

Dat heeft deels te maken met levensduur en het vinden van de juiste afdichtingslagen. OLEDs zijn extreem gevoelig voor binnendringen van vocht en stof, dus de buitenlaag moet flexibel zijn en de binnenkant hermetisch insluiten. Tot slot vergt productie van flexibele OLEDs eigenlijk een andere productietechniek dan de nu gebruikelijke technologie, waarbij met hoge temperatuur de laagjes worden opgedampt.

Meerdere fabrikanten werken aan productietechnologieën om OLEDs te maken met iets dat in de verte lijkt op druktechnologie. De OLED-laagjes worden dan laag na laag op een lange rol folie gerold of geprint. Er zijn al vorderingen gemaakt met flexibele OLEDs, maar de prestaties en levensduur blijven nog ver achter bij OLED-panelen.

Dat OLEDs een plek gaan veroveren naast LED-verlichting lijkt zeker, het is vooral wachten op de eerste OLED-lampen die betaalbaar en gewild genoeg zijn om op grote schaal de huiskamer te veroveren.



# Meer weten

## AANBEVOLEN LITERATUUR

- U.S. Department of Energy (2015) *Solid-State Lighting (SSL) r&d Plan*. DOE/EE-1228.
- N. Zheludev (2007) The life and times of LED – a 100 year history. *Nature photonics* (1): 189-192.
- R. Coehoorn, H. Boerner, (2008). *White Organic Light-emitting Diodes*. Encyclopedia of Materials: Science and Technology: 1-7.
- P.A. Bobbert, R. Coehoorn (2013) Een blik in het binnenste van witte OLEDs, *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde* 79: 384.
- *Chemische Feitelikheden* 218 Geleidende polymeren; 302 Vloeibare kristallen.

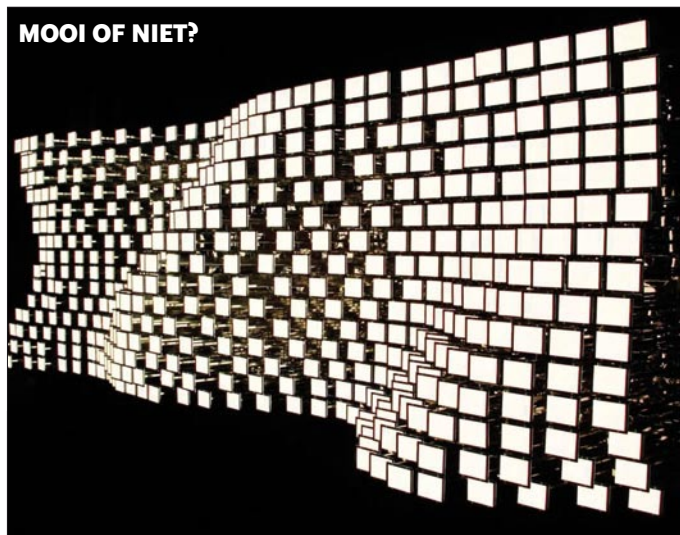
## AANBEVOLEN WEBSITES

- [www.howstuffworks.com](http://www.howstuffworks.com): Uitgebreide site met basisinformatie over LEDs en OLEDs.
- [energy.gov](http://energy.gov): U.S. Department of Energy stimuleert gebruik en onderzoek.
- [www.oled-info.com](http://www.oled-info.com): Nieuw en achtergronden over ontwikkeling van OLEDs.
- [www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/2014](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2014): Nobelprijs voor Natuurkunde 2014 voor blauwe LEDs.
- [www.lumiblade-experience.com](http://www.lumiblade-experience.com) en [www.lgoledlight.com/index.do](http://www.lgoledlight.com/index.do): voorbeelden van commerciële OLED-verlichting.

## VOOR OP SCHOOL

1. Beschrijf het experiment van Losev waarin hij met bezine aantoonde dat SiC koud licht produceerde.
2. Wat is een diode?
3. Infrarood licht kunnen we niet zien. Hoe kunnen we infrarood wel detecteren?

## MOOI OF NIET?



Lichtkunst gemaakt met Lumiblade-panelen van Philips.

4. Wat is het onderscheid tussen radiogolven en infrarood en zichtbaar licht?
5. Leg met de elektronconfiguratie van overgangsmetalen uit wat gallium en indium geschikt maakt voor LED's.
6. Wat betekent doteren?
7. Wat is het verschil tussen WiFi en LiFi?
8. Wat maakt dat trimethylgallium en trimethylaluminium gemakkelijk verdampen?
9. Wat is het doel van fosforescerende stoffen in LED-lampen?
10. Wat betekent in organische chemie: geconjugeerd elektroensysteem?
11. Wat is het onderscheid tussen fluorescentie en fosforescentie?
12. Hoe wordt extractie-efficiëntie van fotonen verhoogd?

## COLOFON

**Chemische Feitelikheden:** actuele encyclopedie over moleculen, mensen, materialen en milieu. Losbladige uitgave van de KNCV, verschijnt driemaal per jaar met in totaal tien onderwerpen.

**Redactie:**  
Erwin Boutsma (C2W), Franny Scholte (C2W), Gerard Stout

**Redactie en realisatie:**  
Bèta Publishers, tel. 070-262 91 00  
[info@betapublishers.nl](mailto:info@betapublishers.nl)

**Fotoverantwoording:**  
Foto's zonder bronvermelding zijn afkomstig van [www.dreamstime.com](http://www.dreamstime.com)

**Opmaak:** F.Koeman DTP Services  
[f.koeman@casema.nl](mailto:f.koeman@casema.nl)

**Basisontwerp:** Menno Landstra

**Uitgever:**  
Sijmen Philips, Bèta Publishers  
Postbus 19949, 2500 CX Den Haag  
tel. 070-26 29 100, [info@betapublishers.nl](mailto:info@betapublishers.nl)

**Abonnementen:**  
Abonnementenland, Antwoordnummer 1822  
1910 VB Uitgeest  
tel. 0900-226 52 63 (€ 0,10/minuut)  
[klantenservice@aboland.nl](mailto:klantenservice@aboland.nl)  
Abonnementen kunnen elk gewenst moment ingaan. Wij hanteren de opzegregels uit het verbintenissenrecht. Wij gaan ervan uit dat Chemische Feitelikheden altijd wordt ontvangen uit hoofde van het beroep. Hierdoor wordt het abonnement automatisch met een jaar verlengd tenzij 2 maanden vóór de einddatum een opzegging is ontvangen.

Een abonnement op Chemische Feitelikheden geeft via de website toegang tot tien nieuwe edities per jaar en het totale online archief. Daarnaast ontvangen abonnees in drie zendingen per jaar de losbladige edities.

**Tarieven vanaf 2015**  
**Voor particulieren:**  
Online toegang met inlogcode en papieren editie (inclusief verzamelmap): € 87,75\*.  
Leden van KNCV, KVVCV en NVON krijgen € 10,- korting.

**Voor bedrijven en (onderwijs)instellingen:**  
Onbepaald toegang tot de digitale edities op basis van IP-adres en papieren editie in drievoud (inclusief verzamelmap): € 262,50\*.  
**Losse nummers:** € 9,95\* per stuk te bestellen bij Abonnementenland.  
\*Bij betaling per acceptgiro wordt € 2,95 extra in rekening gebracht.

## LEDS / OLEDS

editie 78  
nummer 318  
december 2015

### Met dank aan:

- Dr. Jos Haverkort  
TU Eindhoven  
[J.E.M.Haverkort@tue.nl](mailto:J.E.M.Haverkort@tue.nl)
- Dr. Eric Meulenkamp  
OLEDworks, Aken  
[eric.meulenkamp@philips.com](mailto:eric.meulenkamp@philips.com)

ISSN 0168-3349

**KNCV**

[www.chemischefeitelikheden.nl](http://www.chemischefeitelikheden.nl)