

## De opvolger van LED staat al te trappelen

# OLED

*Waren de laatste decennia van de vorige eeuw het "silicon" tijdperk, nu is het tijdperk van de plastic elektronica aangebroken. De vierde internationale editie van de Plastic Electronics Conference 2008 in Berlijn gaf een recent overzicht van het onderzoek, en waar de wetenschappers mee bezig zijn om de vooruitgang te bevorderen.*

*-door prof.ir. W. Zeiler\**

**V**olgens Sir Richard Friend, die de conferentie opende, is de plastic elektronica veel beter geworden dan ooit gedacht. Sir Richard Friend is hoogleraar aan de Universiteit van Cambridge en geldt als pionier op het gebied van moleculaire halfgeleidende materialen. Hij heeft gezorgd voor revolutionaire nieuwe inzichten in de elektronische eigenschappen van deze materialen en heeft de basis gelegd voor de ontwikkeling van onder andere polymere LED's, transistoren en zonnecellen. Hij is tevens oprichter van de bedrijven Cambridge Display Technologies en Plastic Logic. Wegens zijn verdiensten op het gebied van de plastic elektronica ontvangt hij in 2004 de Holst-award van de TU/e. Als ondernemer richtte hij Plastic Logic op dat in september vorig jaar zijn productiefaciliteit in Dresden in bedrijf nam om flexibele schermen op bijna A4-formaat te maken. De eerste producten worden medio dit jaar op de markt verwacht. Het is de combinatie van een zoekende markt in wording in combinatie met wetenschap die plastic elektronica fascinerend maakt. Speciaal de nieuwe mogelijkheden die door geprinte plastic elektronica ontstaan zijn ongekend.

De micro-elektronica maakt sinds de jaren zestig vooral gebruik van anorganische materialen, zoals silicium, germanium, galliumarsenide, aluminium en koper. Er is echter ook onderzoek gedaan naar eigenschappen van orga-

nische materialen voor toepassingen in de elektronica, zoals het geleidend vermogen en de lichtemissie. Een concreet gevolg van dit onderzoek zijn OLED's (organic light-emitting diode, in het Nederlands: organische licht emitterende diode), bestaand uit een organisch materiaal dat, afgesloten voor lucht en water, ingeklemd zit tussen twee laagjes, een anode en een kathode [1]. Het organisch materiaal in OLED's licht op wanneer er spanning op de twee buitenste laagjes wordt gezet. Het grote voordeel is dat elk molecuul van deze laagjes licht kan geven [2]. Een OLED is een lichtbron in de familie van de halfgeleiderlichtbronnen. Deze familie bestaat daarnaast uit onder meer anorganische LED's en lasers [3]. Terwijl een LED een relatief felle puntbron is, is een OLED juist een grotevlakken straler. Lichtgevende polymeren, plastic zonnecellen en flexibele beeldschermen zijn hierdoor mogelijk als product en in middelen zijn er de eerste commerciële toepassingen OLED-beeldschermen alweer enkele jaren op de markt.

### **POLYLED VERSUS SMOLED**

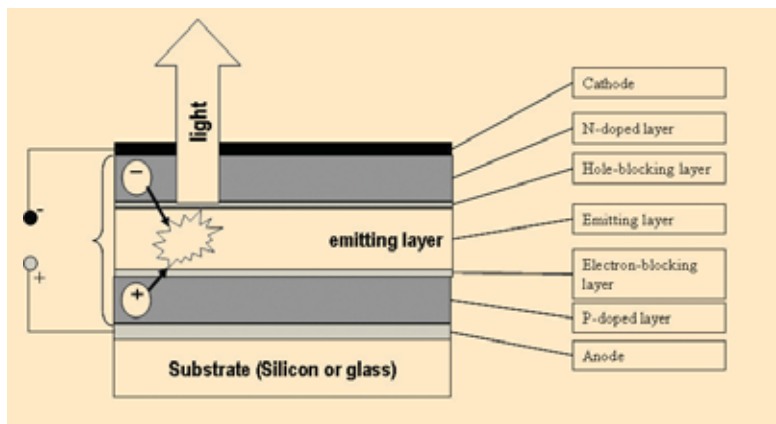
De emitterende laag van een OLED bestaat uit een speciaal type polymeer of kleine moleculen, op basis van koolwaterstofverbindingen. Wereldwijd vindt veel onderzoek plaats naar de verdere ontwikkeling van organische halfgeleidende materialen, hun elektronische eigenschappen en aantrekkelijke toepassingen [3].



Prof. ir. W. Zeiler

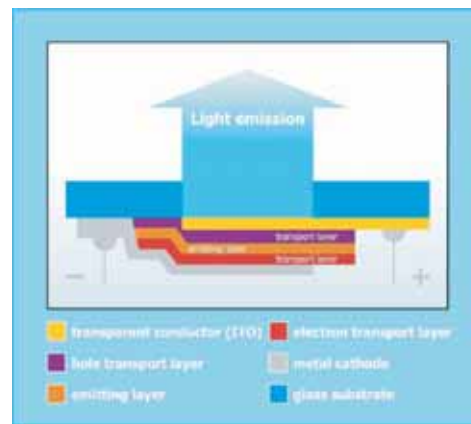
Er bestaan twee typen OLED's: polymere en sm (small molecule) OLED's. De verschillen tussen smOLED en PolyLED zit vooral in de manier waarop de organische moleculen worden verwerkt. smOLED's zijn kleine organische moleculen (moleculair gewicht is typisch 100): small molecule OLED [4]. Het smOLED bestaat uit kleine, speciaal ontwikkelde molecuul structuren op basis van iridium of andere metalen. Deze materialen moeten onder vacuüm bij hoge temperaturen worden opgedampt om OLED's te kunnen maken [1] omdat een oplossing met smOLED moleculen te waterig is om te kunnen inktjetten [4]. De eenvoudigste versie van een smOLED-display bestaat uit aantal organische lagen (2 tot 4) tussen een metaal laag (aluminium) en een doorzichtige elektrode: ITO (Indium Tin Oxide). Het lagenpakket vormt een diode dat naar voren licht genereert door recombinatie van elektronen en gaten. PolyLED's zijn langere organische ketens met een grotere moleculaire gewicht (typisch 100.000). De Polymere OLED's bestaan uit lange polymeer ketens waaraan verschillende kleuren chromoforen zijn gekoppeld. Ze zijn oplosbaar en daardoor met natte

\*Voorzitter afdeling Elektrotechniek TVVL, TU/e, Kropman Installatietechniek



Schematisch weergave stack van een OLED-lamp met een geleidingslaag tussen de emissie laag en de anode [5].

- FIGUUR 1 -



Het licht emitterende principe van LED-verlichting, Source: Novaled AG[6].

- FIGUUR 2 -

methoden (spincoating, inkjets of zelfs (zeef)drukprocessen onder atmosferische druk te gebruiken. Een ander verschil tussen PolyLED en smOLED is de stack. Bij een smOLED bestaat deze uit een gaten injectie, een gaten transport, een emissie en een elektronen injectie laag [4]. Een 'standaard' OLED-stack van kleine moleculen bestaat meestal uit meerdere lagen van organische verbindingen gesandwichd tussen twee elektrodes, de anode en de kathode, zie figuur 1 [5].

De kathode injecteert elektronen in de emissie laag, terwijl de anode die juist afvangt. Een andere manier om de functie van de anode te beschrijven is dat de anode elektrongaten in het materiaal achterlaat en dus als het ware gaten injecteert. Dat lukt niet in dezelfde laag als de emissie laag en daarom zit er meestal een aparte geleiderlaag tussen de anode en de emissie laag. In sommige OLED-typen zit er ook een geleiderlaag tussen de kathode en de emissie laag, om de injectie van elektronen te vergemakkelijken [5].

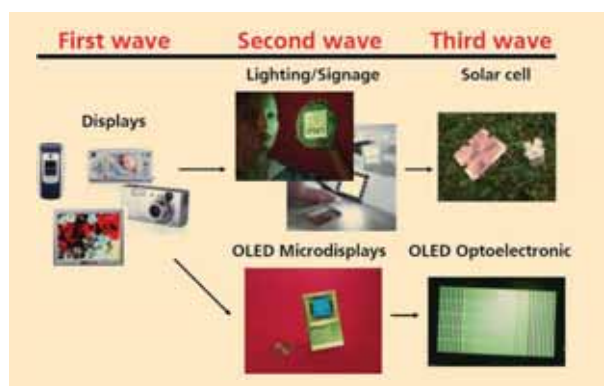
Wanneer er een spanning tussen anode en kathode wordt aangebracht, beginnen de gaten in de richting van de negatief geladen kathode te bewegen en de elektronen juist in de richting van de positieve anode. Ze komen elkaar meestal tegen in de emissie laag, omdat gaten in organische stoffen veel mobieler zijn dan elektronen. Als een elektron een gat tegenkomt, vult hij de elektrondeficiënte plek op. Daarbij komt energie vrij, in veel gevallen als een foton – licht dus, zie figuur 2.

De kleur van het geproduceerde licht hangt voor een belangrijk deel af van de intrinsieke eigenschappen van de gebruikte verbindingen. Voor iedere kleurschakering zijn er verschillende organische stoffen beschikbaar. Voor wit licht is een mix van verschillende kleuren materiaal nodig [5]. Bij een PolyLED vindt het elektrische transport plaats binnen de emissie laag en is er alleen een gateninjectie laag nodig. Voordeel hiervan is dat men minder hoge spanningen nodig heeft voor een PolyLED (lager energiegebruik) en

men het product met minder processtappen kan maken. Nadeel is dat voor de emissie laag meer parameters moet worden geoptimaliseerd. Dit verklaart deels waarom smOLED verder is in de ontwikkeling van materialen [4].

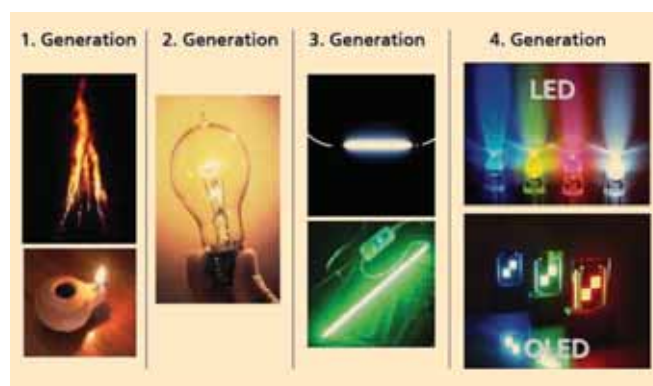
OLED is een jonge technologie. Het eerste lichtgevende organische LED (OLED) is aangetoond in 1987 door Kodak. Twee jaar later kwam er voor het eerst licht uit een Polymeren LED. In 1997 zette Pioneer het eerste product op de markt: een autoradio met een monochroom OLED scherm. Tussen de ontdekking en het eerste commerciële product zat dus maar tien jaar [4]! De eerste golf van toepassing betrof displays, de tweede toepassingsgolf betrof verlichting en de huidige derde golf van toepassingen gaat richting zonnecellen en OLED opto-electrische toepassingen, zie figuur 3 [6].

De ontwikkeling van LED en OLED worden ook wel de vierde generatie verlichtingsystemen genoemd, zie figuur 4 [6].



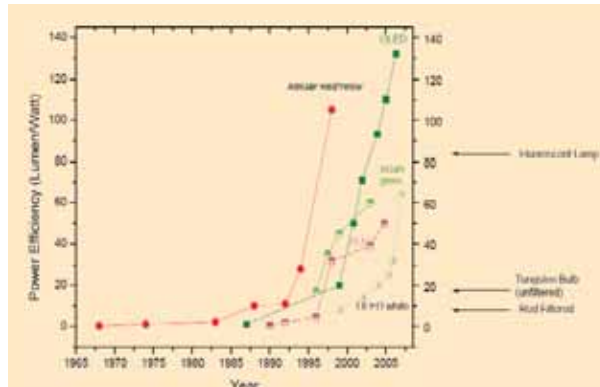
De ontwikkeling van de toepassingsgebieden van OLED-technologie Source: Samsung, Kodak, GE, Philips Lighting[6].

- FIGUUR 3 -



De ontwikkeling van het kunstlicht, nu de vierde generatie systemen [6].

- FIGUUR 4 -



**Ontwikkeling van de efficiency van de verschillende verlichtingssystemen en OLED efficiency (R&D)[6].**

- FIGUUR 5 -



**Roadmap OLED Lighting [6].**

- FIGUUR 6 -

Het rendement van de lampen neemt door de technologische ontwikkelingen meer en meer toe, zie figuur 5 [6].

De combinatie van ontwikkeling van nieuwe verbeterde productie methodes en hogere rendementen van de lampen zelf zorgt er voor dat er steeds andere gebruiksmogelijkheden ontstaan. De roadmap voor de ontwikkeling van OLED-verlichting geeft dit dan ook aan. De komende vier tot vijf jaar ontstaan er een hele reeks aan nieuwe applicaties, zie figuur 6 [6].

Hierdoor zal natuurlijk ook de markt flink groeien, de verwachtingen zijn niet gering een groei van ongeveer 30 tot 50 % in de komende jaren, met pas na 2013 een mogelijk te verwachten stabilisatie op een omzet niveau van 6 miljard dollar. Het is duidelijk dat hoewel deze doelstellingen iets verlaat kunnen worden bereikt het marktpotentieel enorm is, zie figuur 7.

OLEDs hebben heeft zeer interessante mechanische eigenschappen. Er is

slechts een dun laagje organische stof nodig om een beeldscherm te vormen. Een beeldscherm hoeft hierdoor niet dikker te zijn dan enkele millimeters. Indien men dit laagje inklemt tussen twee flexibele lagen kan men ook een buigzaam of oprolbaar beeldscherm maken. Niet alleen de flexibiliteit is van belang, maar door het lage gewicht kan men ook draagbare of juist extreem grote beeldschermen maken [2]. Op dit moment worden OLED-schermen vooral nog in kleinere apparaten toegepast, maar naarmate de productiekosten zullen verminderen, wordt de weg geplaveid voor steeds grotere en dunnere OLED-monitoren of bijvoorbeeld flexibele elektronische kranten [7], zie figuur 8. Deze laatste heten FOLED (Flexibele OLED)-beeldschermen. Door het gebruik van dunne flexibele materialen kan het gewicht van beeldschermen sterk reduceren. Bovendien kunnen de beeldschermen in allerlei gewenste vormen gebogen worden. Ook zal het gebruik van deze flexibele materialen de massaproductie van

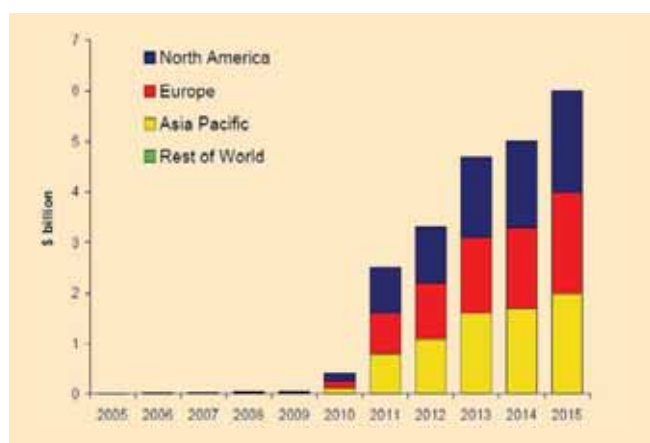
beeldschermen mogelijk kunnen maken door middel van een continu rolproces (vergelijkbaar met bijvoorbeeld het drukken van een krant), wat de kosten beduidend lager zal maken.

Heel belangrijk voor de echte doorbraak van OLED is dus de ontwikkeling van nieuwe productie technieken. In figuur 9 wordt de te verwachten ontwikkeling van productiemethoden voor OLED weergegeven.

Deze nieuwe ontwikkeling dienen enerzijds te leiden tot een sterke reductie van de kosten van OLED's, zie figuur 10 en anderzijds ook weer nieuwe toepassingen mogelijk te maken. Te denken valt hierbij in eerste instantie aan grote OLED tv-schermen en displays, zie figuur 11 waarin de stapsgewijze product vergroting is aangegeven.

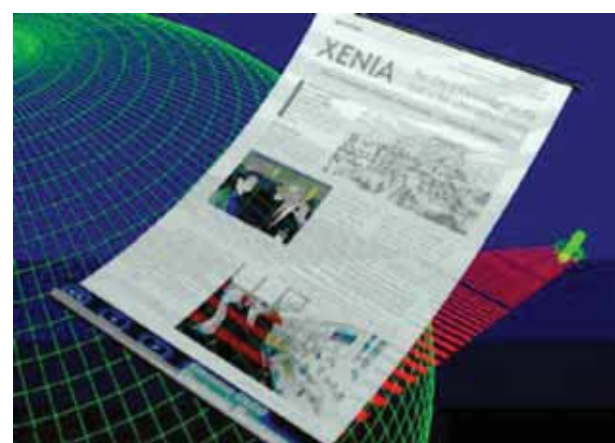
#### Levensduur

Zoals bij alle nieuwe ontwikkelingen zijn er natuurlijk nog wel een aantal problemen die dienen te worden opge-



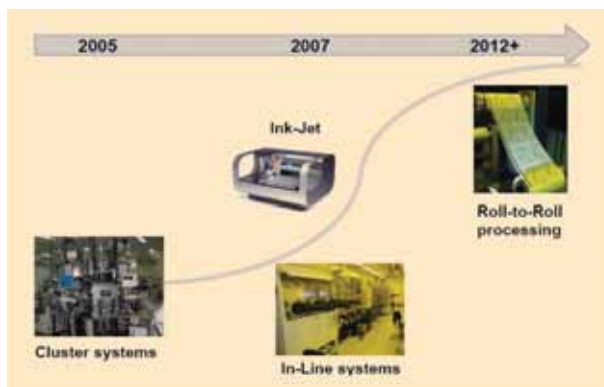
**Markt verwachting OLED-signalering en verlichting, source: IDTechEx [6].**

- FIGUUR 7 -



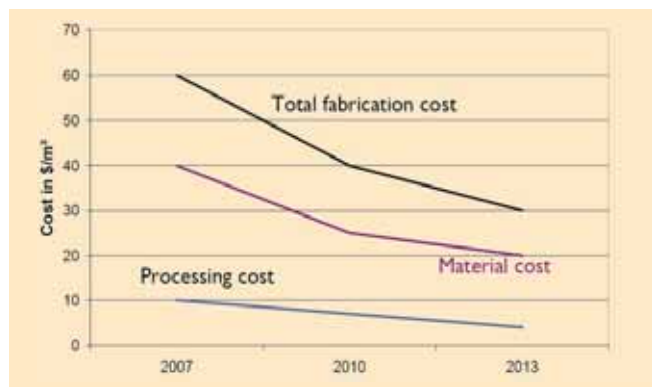
**Flexibel OLED als de elektronische krant van de toekomst [7].**

- FIGUUR 8 -



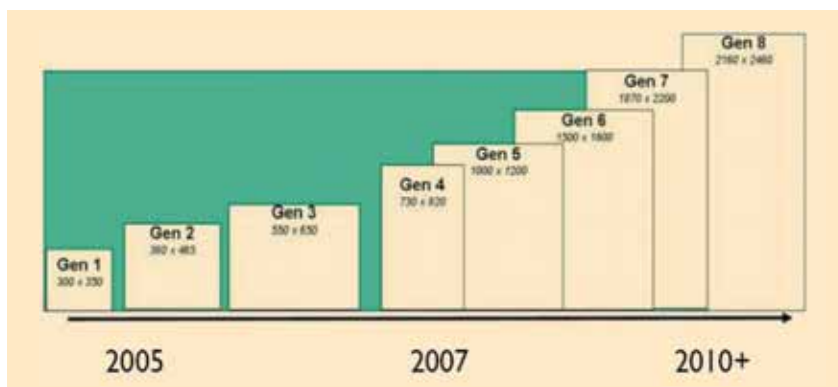
Roadmap ontwikkeling productie proces OLED [6].

- FIGUUR 9 -



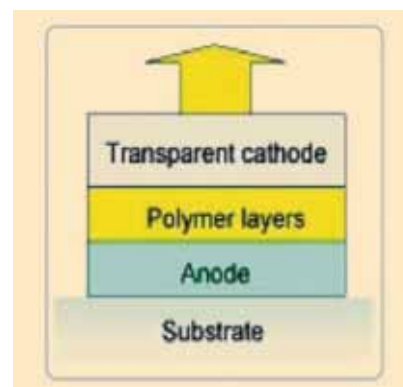
Beoogde kosten reductie van OLED-verlichting volgens USDC (U.S. Display Consortium) 2001 [6].

- FIGUUR 10 -



Verwachte ontwikkeling van de grootte van OLED-elementen [6].

- FIGUUR 11 -



TOLED met een transparante kathode op een glazen substraat. [1]

- FIGUUR 12 -

Technology Roadmap (USDC) (Diffuse lightning)					
Property	Units	2004	2007	2010	2013
Energy efficiency	%	5	12,5	20	30
Efficacy	lm/W	20	50	80	120
Color rendering index	CRI	75	80	85	90
Life from 2.000 cd/m²	hours	10 K	20 K	40 K	50 K
Panel width	in	14	40	40	>40
Panel thickness	mm	2,0	1,0	0,5	0,5
Panel weight	gm/cm²	0,5	0,25	0,1	0,1
Fabrication costs	\$/sq m	120	60	40	30

Roadmap OLED-ontwikkeling [8].

- TABEL 1 -

lost. Een groot nadeel van de huidige stand van zaken in de OLED-technologie is de beperkte levensduur van OLED-producten. Het halfgeleidermateriaal dat wordt gebruikt is gevoelig voor lucht, vocht en stof, die degradatie en donkere vlekken veroorzaken. Zo degraderen OLED's na verloop van

tijd, iets dat overigens bij de meeste lichtbronnen het geval is. Hierdoor neemt de lichtintensiteit af. De levensduur van een LED en een OLED wordt meestal uitgedrukt in de tijd, waarna de lichtintensiteit afgenomen is tot 50 % van de oorspronkelijke uitgangsimpulsintensiteit. Thans worden al

levensduren van meer dan 1.000 uur (voor witte polymere OLED's) en meer dan 10.000 uur (voor witte kleine moleculen OLED's) bereikt in het laboratorium. De levensduur van een OLED-display is met circa vier jaar aanzienlijk minder dan die van een LCD display [2]. Recente ontwikkeling is dat Toshiba en Panasonic een nieuw membraan hebben ontwikkeld, hiermee claimen ze bij OLED-televisies een verdubbelde levensduur tot bijna 60.000 uur. Ter vergelijking; de gemiddelde LCD-televisie heeft een levensduur van 50.000 uur [3]. Als we kijken naar de te verwachten technologische ontwikkeling, zie de in tabel 1 weergegeven technologie roadmap, dan zien we een stapsgewijze verbetering van de levensduur van de marktproducten van 20.000 uur naar 50.000 uur in de komende vier jaar [8].

Het verdere onderzoek voor verbeterde OLED-technologie richt zich op nieuwe technologieën als: *top emitting* OLED's (TOLED's) [2]. Een conventionele OLED heeft een *bottom emitting* structuur waar de elektrische componenten (anode, kathode en polymersubstraat) zich bevinden aan



**De Early Future OLED-lamp [9]**

- FIGUUR 13 -

één kant van de OLED. Hierdoor wordt het licht enkel van één oppervlak uitgezonden. Een *top emitting device* (TOLED) wordt gemaakt met een ondoorzichtige of transparante basis en heeft een relatief transparante elektrode, zodat licht ook door het materiaal aan de andere kant kan schijnen. Voor toepassingen kan men bijvoorbeeld denken aan autoruiten met ingebouwde beeldschermfunctionaliteit [2].

#### **OLED Verlichting**

OSRAM heeft een van de eerste OLED-lamp aan de wereld voorgesteld in april 2008 [9]. De Early Future, zoals de lamp heet, bestaat uit tien losse leds van 132 bij 33 millimeter, zie figuur 13. Die aparte plaatjes zijn bovendien enorm dun. Het bedrijf verwacht ze op termijn te kunnen implementeren in bijvoorbeeld autoruiten of plafonds [9]. Maar ook andere fabrikanten hebben inmiddels lampen op de markt gebracht zoals Konica Minolta, zie figuur 14.

Als het aankomt op innovatieve verlichting dan is er 'cool' en er is 'just plain briljant' [10]. Makoto Tojiki's Archimedes Dream valt onder de laatste categorie. De gloeiende lint kandelaar is verlicht door OLED's en stal zeker de show op menig verlichtingsbeurs in het afgelopen jaar, zie figuur 15.

#### **VERDERE ONTWIKKELINGEN**

Osram Opto Semiconductors maakte half maart 2008 een nieuw record door de demonstratie van een OLED-lamp die zowel efficiënter is als langer meegaat dan zijn voorgangers. Het is vooral de combinatie van die twee eigenschappen die de prestatie bijzonder maakt. Meestal betekende een verlenging van de levensduur namelijk een lagere efficiëntie en vice versa. De lamp haalt 46 lumen uit een watt, bij een initiële helderheid van duizend candela per vierkante meter. Dit bij een levensduur van vijfduizend uur en



**KONICA MINOLTA 'OLED' lamp, Efficiency: 64 lm/w.**

- FIGUUR 14 -

dan begint een OLED-lamp te concurreren met de gloeilamp of de iets modernere en betere halogeenlamp. Ter vergelijking de levensduur van de gloeilamp is zo'n duizend uur, de efficiëntie varieert met het wattage van ongeveer 12 tot 14 lumen per watt. De halogeenlamp doet het zo'n tweeduizend uur met een efficiëntie van circa 25 lumen per watt, zie figuur 16 [5].

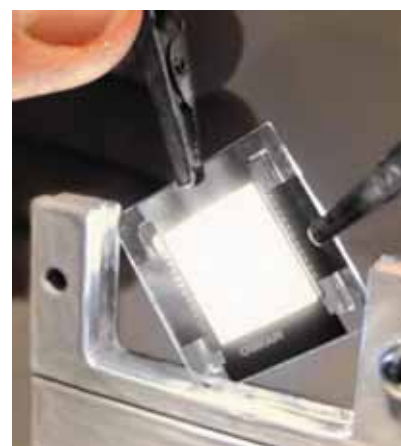
#### **Verder onderzoek**

Het belangrijkste aspect bij het onderzoek zijn foliesystemen zogenaamde flexibele OLED's. Dit moet leiden naar lichtgevende folies die gewoon op een rol kunnen worden gemaakt. Deze lichtgevende folies kunnen vervolgens op wanden en plafonds worden gebruikt voor de verlichting. Alleen is het beschermen van de lichtgevende lagen, die gevoelig zijn voor vocht inwerking nog een probleem. Toch bestaan dergelijke benodigde barrièrelagen al, bijvoorbeeld in de voedings-



**Makoto Tojiki's OLED-lamp 'Archimedes Dream'.**

- FIGUUR 15 -



**Osram OLED record lamp.**

- FIGUUR 16 -

industrie waar het onder andere wordt gebruikt voor bijvoorbeeld een chipszak. Maar voor de OLED's zijn lagen nodig die nog een factor duizend minder vocht doorlaten dan de huidige barrièrelagen. Een tweede uitdaging betreft de verdere reductie van productiekosten van OLED-verlichting. Wanneer men OLED's als verlichtingsproduct op rol op de markt wil brengen, zal dit tegen een veel lagere prijs dienen te gebeuren. De ontwikkeling richt zich daarom daarbij op kostenefficiëntere productieconcepten, zoals die van het drukken van een krant. Een grote rol OLED's die door een machine gaat waardoor het in de toekomst lukt om veel meer meters te verkopen dan met de productie processen van displays.

OLED's zijn bij diverse bedrijven en universiteiten op diverse plaatsen in de wereld in ontwikkeling [1]. In China, Japan en de VS zijn ook al grootschalige onderzoeksprojecten opgestart. Bijna alles aan de OLED moet nog nader worden onderzocht, getest en verder ontwikkeld. Men staat nog aan de basis en is bezig uit te vinden wat de beste materialen zijn om OLED's mee te maken, wat het langste meegaat en hoe je het mooiste licht krijgt. Verder kijkt men naar de applicatiemogelijkheden en naar de elektrische aansturing. Ook de energie-efficiëntie kan nog verder omhoog. Onderzoekers van de universiteit van Michigan zijn er in geslaagd het rendement te verhogen door gebruik te maken van een rasterlaag geëitst in siliciumdioxide die, in combinatie met uit polymeren vervaardigde microlenzen, het gevangen licht uit de OLED geleiden. De lichtopbrengst kan hierdoor worden verhoogd tot ongeveer 78 lumen per watt. Momenteel wordt deze techniek geïmplementeerd door het in New Jersey gevestigde bedrijf Universal Display. Zij verwachten de lichtopbrengst binnen afzienbare tijd te kunnen verdubbelen tot ruim 150 lumen per watt [1].

Het door de EU mede-gefinancierde project OLLA (Organic LED's for Lighting Applications) is hier een voorbeeld van. Gezocht wordt naar diepblauwe of breedbandig-witte OLED-materialen die een langere levensduur hebben, een hoge efficiëntie hebben en dat met een lage prijs

combineren. Commercieel verkrijgbare witte LED's hebben een rendement van ca. 50 lm/W. Witte LED's hebben in de laboratoria thans het rendement van een spaarlamp (ongeveer 50 lm/W). Daarmee is het rendement van de gloeilamp (ca. 12 lm/W) en de halogeenlamp (ca. 20 lm/W) met OLED-lichtbronnen al ruimschoots gepasseerd [1]. Verwacht wordt dat OLED's voor verlichting al rond 2010 op de markt zullen verschijnen [1]. Ongeveer 60 % van de lichtopbrengst gaat verloren in de organische laag van de OLED door terugkaatsing in het transparante omhulsel.

De volgende generatie lichtbronnen zal eruit zien als platte, lichtgevende tegels. Een OLED (*Organic Light Emitting Diode*) is bijzonder energie-efficiënt en vrijwel overal toepasbaar. In het Europese KP6 project OLLA worden alle mogelijke aspecten van deze technologie onderzocht, ontwikkeld en getest [11]. OLLA liep van 2004 tot 2008 en telt 24 deelnemers uit acht landen: tien industriële partners, zeven universiteiten en zeven onderzoeksinstituten. Bijzonder is dat twee grote lichtfirma's van Europa, Philips en Osram, hun krachten bundelen. Philips nam zelfs het initiatief tot het project. Anders dan een spaarlamp ziet een OLED eruit als een plat-

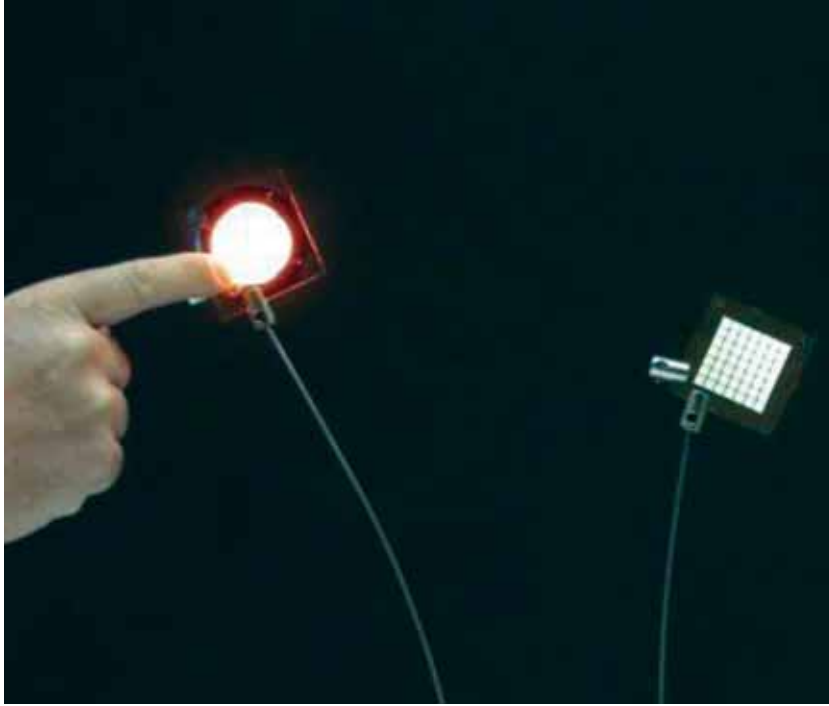
te, lichtgevende tegel. Het licht is zacht en diffuus en kan worden gedimd. Hierdoor kan in de toekomst bij een kantoor, vrij eenvoudig een OLED in het plafond worden geplaatst. Plafondtegels eruit, lichttegels erin. Voor toepassing thuis kan men denken aan systemen waarbij men 's ochtends wakker wordt in fris lichtblauw licht, en 's avonds bijvoorbeeld een wijntje drinkt bij gezelliger geel licht. De partners in OLLA willen de OLED-technologie verder ontwikkelen tot een betaalbaar product dat algemeen kan worden toegepast in verlichting. OLED heeft wat dat betreft een goede uitgangspositie: minstens zo zuinig als een spaarlamp en een tien keer langere levensduur dan een gloeilamp [11].

De eerste mijlpaal die OLLA op zijn naam mocht schrijven was een prototype vrij van indiumtinoxide (ITO). ITO wordt gebruikt als transparante geleidende laag op het glas. Dat is handig omdat de beeldschermindustrie de vraag naar het vrij zeldzame indium sterk heeft opgekrikt, waardoor de prijzen exorbitant zijn gestegen. Het is daarom wenselijk een goedkoper alternatief voorhanden te hebben, in plaats van nog een indiumafhankelijke industrie op te zetten.

Status and Outlook White LED's						
Cost of Ownership Calculation						
	Flux	Eff.	Brightness	CRI	Lifetime Cost	
	[lm]	[lm/W]	[Mcd/m <sup>2</sup> ]		[khrs]	[\$/Mlmh]*
Incandes. 60W	900	15	10	100	1	7,2
Halogen 50W	1.000	20	20	100	2	6,3
TL 54W	4.900	90	0,015	80	24	1,2
CFL 11W	550	50	0,010	80	10	3,1
UHP 200W	7.000	35	1.000	85	5	5,7
Luxeon 2002	125	25	3	75	60	6,0
OLED 2010 [m <sup>2</sup> ]	3.000	50	0,001	80	10	3,0

Prestatie perspectief LED en OLED, Source: Philips Research, Hans Nikol, OLED Asia March 2004 [6].

- TABEL 2 -



Het Fraunhofer Instituut voor fotonische microsystemen presenteerde op de Plastic Electronics Conference 2008 een OLED-lamp die op aanraking reageert [12].

- FIGUUR 18 -


Het ITO-vervangende polymeer was bovendien goedkoper te verwerken, wat de kostprijs lager maakt [5].

OLLA's tweede prestatie van formaat was een OLED-lichtbron met een efficiëntie van 25 lumen per watt in combinatie met een levensduur van vijfduizend uur. Dat is al twee keer zo efficiënt als de normale gloeilamp. Ter vergelijking: een jaar eerder waren deze cijfers nog 'enkele duizenden uren' en 10 lumen per watt. Het uiteindelijk doel is echter nog een stuk ambitieuzer. Zowel de efficiëntie als de levensduur moeten nog een factor twee hoger, zodat de OLED's met 50 lumen per watt en tienduizend levensuren de spaarlamp benaderen [5].

Op prijs kunnen concurreren is nuttig voor een nieuwkomer op de markt, zie tabel 2, maar de extra *style features* zijn essentieel. En juist daar heeft OLED veel te bieden. Zo is er bijvoorbeeld een 'raamlamp' die als hij uit staat een transparantie heeft van 55 procent en aandoet als rookglas. Maar staat hij aan dan geeft de lamp wit licht af. Dit kan mooi en bijzonder werken voor scheidingswanden, daken of plafonds die overdag nauwelijks te zien zijn, maar 's avonds en 's nachts licht geven. Een andere toekomstbelofte van OLED, zijn lampen op een flexibel

substraat, dus bijna universeel vormbaar biedt bijna oneindige design mogelijkheden [5].

Het Fraunhofer Instituut voor fotonische microsystemen liet een voorbeeld zien van een andere functionele interactie met de mens: een aanraakgevoelige OLED die met handbewegingen kan worden aan- en uitgezet, zie figuur 18 [12]. In de toekomst komen daar mogelijk nog kleurveranderingen-op-indicatie bij.

Een interessante vondst, maar interessanter is hoe deze verder wordt uitgewerkt. Volgens Ed van den Kieboom, de Nederlandse oprichter van de Plastic Electronics Foundation ontbreekt nog de aansluiting met de eindgebruikers in dit veld. Dit terwijl de organische elektronica zoveel toepassingsmogelijkheden heeft; sensoren, batterijen, slim textiel, RFID-labels - je kunt het zo gek niet bedenken [12]. Kortom OLED zijn de toekomst maar die toekomst begint nog niet morgen, de morgen is nog aan LED. 

#### LITERATUUR / REFERENTIES

1. <http://nl.wikipedia.org/wiki/Oled>.
2. Wijngaart A.van, 2005, *Singapore heeft het licht gezien in OLED*, twa net werk, 20-4-2005,

<http://www.twanetwerk.nl/default.ashx?DocumentID=4169>.

3. [http://w3.tue.nl/nl/diensten/cecl/pers\\_en\\_medial/persberichten/2004/20\\_10\\_2004\\_sir\\_richard\\_friend\\_ove\\_r\\_plastic\\_elektronical](http://w3.tue.nl/nl/diensten/cecl/pers_en_medial/persberichten/2004/20_10_2004_sir_richard_friend_ove_r_plastic_elektronical).
4. Rijswijk, T. van, 2005, *PolyLED TV: een (toekomst)droom?* VENI-blad, het verenigingsblad van de Vereniging van Eindhovense Natuurkundig Ingenieurs. Mei 2005, jaargang 12 - nummer 2.
5. Gerven, P. van, 2008, *Oled-technologie niet alleen voor schermmpjes*, 25 april 2008, <http://www.bits-chips.nl/nieuws/bekijk/artikel/oled-technologie-niet-alleen-voor-schermmpjes.html#colmnns>.
6. Amelung J., Scholles M., 2007, *OLED Lighting*, Fraunhofer Institute for Photonic Micro systems, 26 juni 2007, 04-scholles2752.pdf.
7. Kouwenberg B., 2003, *De werking van OLED-beeldschermen nader bekeken*, X-bit Labs, zaterdag 24 mei 2003, <http://tweakers.net/nieuws/27118/de-werking-van-oled-beeldschermen-nader-bekeken.html>.
8. Leo, K., *Organic Light-Emitting Diodes: New Opportunities for Displays and Lighting* Institut für Angewandte Photophysik, TU Dresden und Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme, Dresden, 15.09.2004.
9. <http://www.inhabitat.com/2008/04/21/osram-oled-lamp-ingo-maurer/> April 21, 2008 <http://www.inhabitat.com/2007/05/29/organic-led-lamp-by-makoto-tojikil/>.
10. Pilloton E., 2007, *ORGANIC LED LAMP BY MAKOTO TOJIKI*, May 29, 2007.
11. OLLA: *Werken aan een platte gloeilamp*, <http://www.senternovem.nl/projectengalrij/overzicht/innovatie/olla.asp>.
12. Gerven, P. van 2008, *Organische elektronica mist aansluiting eindgebruiker Bits&Chips*, 12 november 2008.