

VLOEIBARE KRISTALLEN



Bijzonder beeld

We gebruiken ze dagelijks: laptops, smartphones, digitale horloges en rekenmachines met een *liquid crystal display* (lcd). Die beeldschermen kunnen niet zonder vloeibaar kristal, een bijzondere stoffase die een Oostenrijkse botanicus per toeval ontdekte.

Het materiaal gedraagt zich als een vloeistof, maar verstrooit ook licht. En net als kristallen is het beïnvloedbaar door elektrische velden. Dat betekent dat de moleculen, in tegenstelling tot in een normale vloeistof, enigszins geordend zijn zoals in een kristal. De moleculen in het vloeibare kristal hebben een stijf middenstuk, een staaf bijvoorbeeld, voorzien van flexibele zijarmen. De staven ordenen zich op allerlei manieren, in laagjes, kolommen of zelfs wenteltrappen.

De ordening geeft bijzondere eigenschappen die ook nog eens afhangen van de richting waarin je door het materiaal kijkt. Zo is de breking van licht anders van voor naar achter

dan van links naar rechts. Dit verschil in brekingsindex zorgt onder meer voor de karakteristieke plaatjes vergelijkbaar met die van zeepbellen. De werking van een lcd draait volledig om de unieke eigenschap om licht af te buigen of te draaien. Onderzoekers ontwikkelen nog steeds nieuwe materialen om beeldschermen scherper en sneller te maken of voor toepassing als sensor om temperatuur of vocht te meten of chemicaliën te detecteren.

In deze Chemische Feitelijkerheid

- De Context: Hoe kan een materiaal tegelijk vloeibaar en kristal zijn? En wat hebben we daaraan?
- De Basis: Hoe ontstaat de ordening die zorgt voor het bijzondere gedrag? Welke moleculen doen dat?
- De Diepte: Lcd-schermen zijn inmiddels wel uitontwikkeld. Of niet? Wat kun je nog meer met vloeibare kristallen?

Het is geen gewone vloeistof, maar ook geen kristal.
Vloeibare kristallen bezitten eigenschappen van beide.
Dat maakt ze geschikt voor veel **toepassingen**.

De vierde fase

Op school leren we dat er drie fasen zijn waarin stoffen zich kunnen bevinden: vast, vloeibaar of gas. Maar al in 1888 noteert de Oostenrijkse botanicus Friedrich Reinitzer dat een cholesterolachtige stof zich vreemd gedraagt rondom het smeltpunt, de overgang van vast naar vloeibaar. Eerst vormt zich een melkachtige vloeistof die pas na verder verwarmen helder wordt.

Die melkachtige tussenfase, een fase tussen vloeistof en vaste stof in met eigenschappen van beide, is later vloeibaar kristallijn gaan heten. Een belangrijk kenmerk van die fase is dat ze zich gedraagt als een vloeistof, maar lichtstralen kan verstrooien en elektrische velden kan beïnvloeden als een kristal. Dat komt doordat de moleculen toch enigszins geordend zijn.

SPEELGOED

Lange tijd waren vloeibare kristallen vooral leuk speelgoed voor academiëci. Reinitzer wist geen verklaring voor zijn ontdekking en consulteerde zijn collega's, onder wie Otto Lehmann, een



Onder een polarisatiemicroscopie kun je een zogenoemde Schlieren-textuur zien (Duits voor 'slierten'). Die textuur is een gevolg van het verschil in brekingsindex van een vloeibaar kristal loodrecht op de richting van ordening en parallel daaraan.



Zeepbellen zijn eigenlijk ook vloeibare kristallen.

Duitse fysisch chemicus. Die bevestigde de observaties van Reinitzer en noemde de verbindingen *fliessende Krystalle*.

In de jaren die volgden, bogen veel wetenschappers zich over het fenomeen. In het begin van de twintigste eeuw ontwikkelden ze een groot deel van de theoretische kennis over vloeibare kristallen, zoals de synthese van allerlei verschillende materialen, de ontdekking van de verschillende fasen en statistische theorieën over het gedrag van de moleculen. Na de Tweede Wereldoorlog dachten wetenschappers dat ze alles wel zo'n beetje wisten en daalde de interesse voor het vakgebied, omdat er ogenschijnlijk geen commerciële toepassing voor te bedenken viel.

Totdat fysisch chemicus Richard Williams van het Amerikaanse bedrijf RCA Laboratories begin jaren zestig ontdekte dat er in een bepaald type vloeibaar kristal, para-azoxy-anisool, patronen ontstaan onder invloed van een elektrisch veld. Verder onderzoek wees uit dat je de lichtdoorlatende eigenschappen van die materialen ook kunt schakelen met een elektrisch veld. Door een stipje vloeibaar kristal te schakelen van licht naar donker kun je een beeldpunt van een beeldscherm maken dat aan of uit kan. Een heel vlak vol van die pixels is een *liquid*

crystal display, inmiddels volledig ingeburgerd als lcd-scherm.

Para-azoxy-anisool vertoont die eigenschap enkel boven 118 °C, wat niet zo praktisch is voor een beeldscherm. Maar eind jaren zestig is de stof MBBA (N-(4-methoxybenzylideen)-4-butylaniline) gevonden die deze eigenschap bij kamertemperatuur vertoont. Tegenwoordig zijn er tientallen van dergelijke verbindingen bekend die toepassing vinden in lcd's.

MONOCHROOM

In mei 1973 verscheen de eerste rekenmachine met lcd-scherm, gemaakt door Sharp. In oktober dat jaar volgde het eerste Seiko-horloge met cijfers van vloeibaar kristal. In 1983 verscheen de eerste lcd-televisie ter wereld, de Casio *pocket television*. Het was een klein kastje ter grootte van een hand, met een blauwig, monochroom scherm met ruim 20.000 pixels. De kleurenversie volgde twee jaar later.

Dit lcd-kleurenbeeldscherm is in dertig jaar tijd enorm verbeterd, onder meer door het gebruik van andere vloeibare kristallijne verbindingen. De hedendaagse platte televisies, smartphones, navigatiesystemen, tablets en laptops hebben een helder kleurenbeeld met miljoenen pixels van vloeibaar kristal. Het is een enorme industrie waarin miljarden euro's omgaan. Maar vloeibare kristallen hebben meer toepassingen in thermometers, sensoren, filters, coatings en slim glas (zie kader Toepassingen en De Diepte).

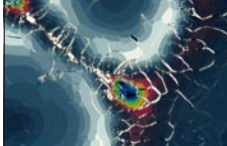
ZEEPBELLEN

De vloeibaar kristallijne verbindingen die in beeldschermen zitten, vertonen hun speciale eigenschappen in een bepaald temperatuurgebied, net als een stof enkel vast is onder het smeltpunt. Dit type heet thermotroop. Een tweede klasse vloeibare kristallen zijn de lyotrope

TOEPASSINGEN



De kleur licht die een cholesterisch vloeibaar kristal reflecteert, hangt af van de temperatuur. Het ene materiaal is bijvoorbeeld rood onder de 35 °C en blauw boven de 37 °C. Door een hele serie verschillende materialen op een rij te zetten, kun je een thermometer maken die een heel temperatuurgebied meet, zoals deze koortsstrip die de lichaamstemperatuur op het voorhoofd aangeeft.



Dit soort vellen van vloeibare kristallen past de industrie toe om warmtestroming in processen, scheuren in materialen (gekleurde plekken op het plaatje) of onzichtbare fouten in halfgeleiders (chips) in kaart te brengen.



De moleculen in zeep zijn lyotrope vloeibaar kristallijne verbindingen. Afhankelijk van de concentratie en het oplosmiddel vertonen de zeepmoleculen vloeibaar kristallijn gedrag



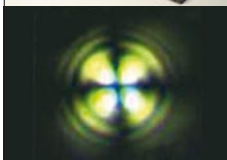
Zonder vloeibare kristallen zouden lcd-televisies niet bestaan. De optische eigenschappen zijn schakelbaar met een elektrische spanning, tussen lichtdoorlatend of niet. Je kunt een pixel van een beeldscherm dus aan- of uitzetten.



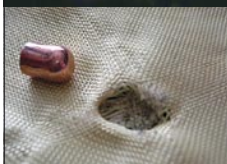
Slim glas is bedekt met een laagje doorzichtig vloeibaar kristal. Schakel je de stroom in, dan wordt dit materiaal donker of ondoorzichtig en heb je minder last van de zon. Toepassingen variëren van auto's en gebouwen tot boten.



Deze biosensoren veranderen van kleur wanneer er een biologisch materiaal, zoals een cel, aan de vloeibaar kristallijne laag bindt. Alternatieven zoals gelabelde sensoren vernietigen meestal de cellen, deze sensor laat ze in tact voor verder onderzoek.



Vloeibare kristallen kunnen endotoxine detecteren. In contact met die stof, die op het celmembran van bacteriën zit, verandert de ordening en daardoor de reflectie van licht door de microdruppels vloeibaar kristal. Daarmee ontwikkelen de onderzoekers nu een endotoxinesensor.



Kevlar is een zogenoemd lyotroop vloeibaar kristallijn polymeer, het vertoont alleen in oplossing vloeibaar kristallijn gedrag. Net als zeep dus eigenlijk. Dupont ontdekte deze ijzersterke supervezel (vijf keer zo sterk als staal) tijdens onderzoek naar vloeibare kristallen, totdat duidelijk werd dat de staafjes een zeer regelmatig en ijzersterk netwerk vormen met waterstofbruggen.

verbindingen. Die laten afhankelijk van het oplosmiddel en de concentratie van de oplossing waarin ze zich bevinden vloeibaar kristallijn gedrag zien. Dit type vind je op grote schaal in de natuur. Het bekendste voorbeeld is zeep. Dat vormt micellen (bolletjes van zeepmoleculen) bij een bepaalde concentratie in water. Die oplossing heeft vloeibaar kristallijne eigenschappen.

Ook in levende organismen stikt het van de vloeibare kristallen. Dat is niet verwonderlijk, want de vloeibaar kristallijne fase vertoont genoeg ordening om biologische functies uit te voeren, terwijl het niet zo hard en stijf is als een vaste stof. Het slijm van slakken is een vloeibaar kristal. En de prachtige iriserende

kleur van sommige kevers komt van een vloeibaar kristallijn materiaal.

De gevouwen structuur die ervoor zorgt dat de dubbele DNA-helix in een celkern past, vertoont vloeibaar kristallijne eigenschappen. Ook celmembranen zoals die van rode bloedcellen zijn vloeibaar kristallijn. Bloed kan onder sommige omstandigheden, bijvoorbeeld door ziekte, vloeibaar kristallijn gedrag vertonen. Dat is gevaarlijk omdat de stroperigheid van het bloed toeneemt, zodat het niet meer goed stroomt. Dat gebeurt bij de ziekte sikkelcelanemie, waarbij het aminozuur glutamine in hemoglobine (het zuurstofbindende eiwit in bloed) is vervangen door valine, waardoor hemoglobine vloeibare kristallen vormt.

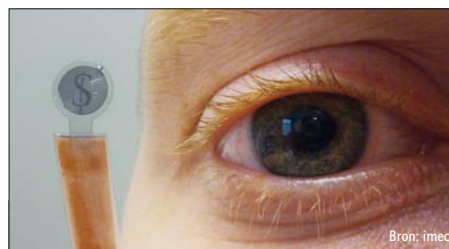
TOUCHSCREEN



Veel lcd-schermen kun je tegenwoordig bedienen door met je vinger erop te toetsen, het zogeheten *touch screen*. Over de lagen van vloeibaar kristal heen, die de pixels van het beeld vormen, ligt dan nog een andere laag, gescheiden van de vloeibare kristallen met een glasplaatje, die de plaats detecteert waar je vinger het scherm raakt. Dat kunnen bijvoorbeeld twee geleidende lagen zijn met wat ruimte ertussen. Zodra je de bovenste zo ver indrukt dat hij de tweede raakt, gaat er een stroom lopen en weet de elektronica waar je vinger zit. Een andere mogelijkheid is een geleidende laag die registreert wanneer iets geleidends zoals je vinger het scherm raakt. Andere opties zijn een rooster van infraroodstralen of ultrageluidstralen. Wanneer je je vinger op het scherm zet, onderbreek je de stralen en weet het scherm waar je vinger staat.

Niet alleen grote organische moleculen vormen een vloeibaar kristallijne fase. Veel minder bekend zijn colloïdale suspensies: microscopisch kleine deeltjes van bijvoorbeeld de mineralen bentoniet, sepioliet of imogoliet, in een oplosmiddel. Sommige van die suspensies vertonen lyotroop vloeibaar kristallijn gedrag. De kleideeltjes ordenen zich in staafjes, plaatjes of buisjes en geven op die manier vloeibaar kristallijne eigenschappen aan de suspensie.

Verder bestuderen wetenschappers vloeibaar kristallijne fasen van nanobuisjes van metalen zoals goud. Die zouden weleens handig kunnen zijn voor toepassing in nieuwe elektronische gadgets. Maar zover is het voorlopig nog niet.



Het Belgische onderzoeksinstituut imec maakte een contactlens met lcd-display.

De eigenschappen van vloeibare kristallen hangen af van de **richting** waarin je kijkt. Bovendien laat het materiaal zich makkelijk richten en ordenen.

Het belang van ordening

Een stof is vloeibaar kristallijn als de moleculen zich ordenen in een bepaalde richting. Ze hebben minder bewegingsvrijheid dan in een vloeistof, maar zijn niet zo plaatsgebonden als in een kristal. Het belangrijkste gevolg van de ordening is dat de fysische eigenschappen van vloeibare kristallen niet in

alle richtingen gelijk zijn. Vergelijk het met een stuk hout: het is makkelijker om dat met de vezels mee door te hakken dan loodrecht erop. Die zogenoemde anisotropie is wat vloeibare kristallen bijzonder maakt.

Het gebruik van deze materialen draait voornamelijk om de breking van licht,

ofwel de optische anisotropie. Het maakt uit hoe je licht door een vloeibaar kristal laat vallen: van links naar rechts of van boven naar beneden, parallel aan de kijkrichting of loodrecht erop. De brekingsindex, die aangeeft hoe sterk een lichtstraal afbuigt op het grensvlak van twee materialen, verschilt voor beide richtingen. Het materiaal is dubbelbrekend. De verschillen in brekingsindex zorgen voor mooie plaatjes die zo karakteristiek zijn voor vloeibare kristallen, de zogenoemde Schlieren-textuur.

Vloeibare kristallen vertonen ook elektrische anisotropie. Een van de effecten daarvan is dat je vloeibare kristallen makkelijk kunt richten door er een elektrische spanning op te zetten. Onder een lichtmicroscop zie je dan de Schlieren-textuur veranderen. Dit effect is essentieel voor de werking van een lcd (zie De Diepte).

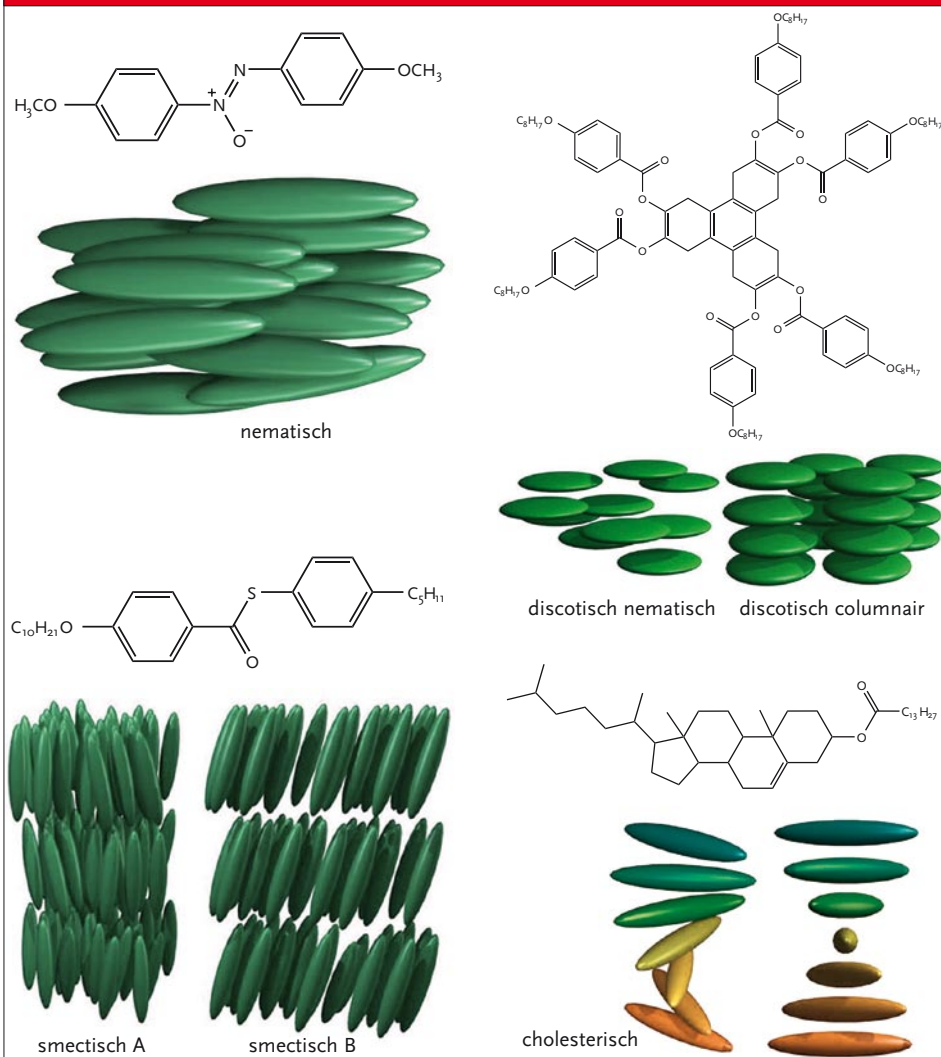
EIGENSCHAPPEN ONTWERPEN

De moleculen waaruit vloeibare kristallen bestaan, hebben een unieke structuur. Ze bevatten allemaal een stijf (rigide) deel, vaak in de vorm van een staaf of een schijf. Daaraan verbonden zitten bewegelijke zijketens. Die moleculen, basisbouwstenen van het polymeer, heten ook wel mesogenen.

Omdat de zijketens van het vloeibaar kristallijne molecuul vergeleken met een vaste stof wel veel bewegingsvrijheid hebben, gedragen die zich als een vloeistof. Zo kan het gebeuren dat de stof zowel eigenschappen van een vloeistof als van een vaste stof heeft. Door aan de molecuulstructuur van het vloeibare kristal te knutselen, kun je het materiaal speciale en gewenste eigenschappen meegeven.

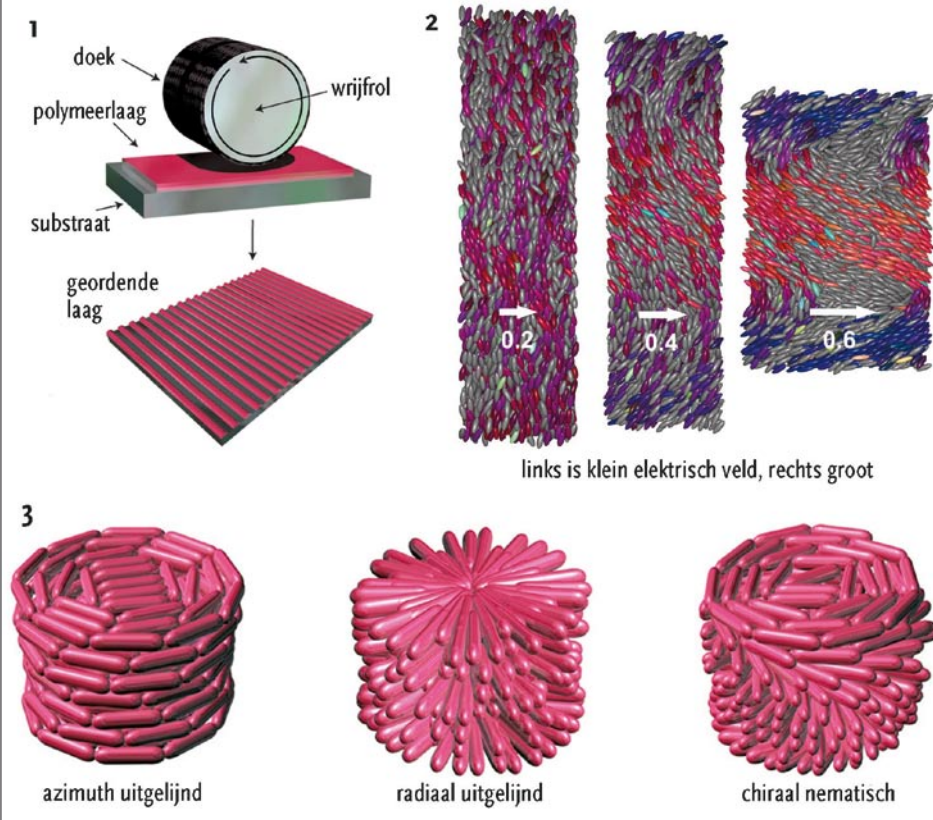
Onderzoekers kunnen tot op zekere hoogte voorspellen of een molecuul dat

ORDENING IN VLOEIBARE KRISTALLEN

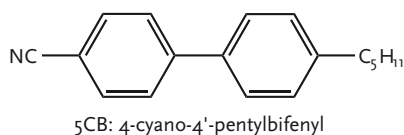


MOLECULEN RICHTEN

Het is ook mogelijk om de richting waarin de moleculen in vloeibare kristallen zich ordenen van buitenaf te beïnvloeden door 1. ze op een geribbeld oppervlak te brengen of 2. door een elektrisch veld aan te brengen. Daarmee krijgen onderzoekers controle over de ordening van de moleculen in bijzondere fasen. 3. Deze ordening beïnvloedt het al dan niet doorlaten van licht, de kleur van het materiaal of de elektrische eigenschappen. (Bron: zie literatuur pagina 8)



ze op de tekentafel hebben ontworpen daadwerkelijk vloeibaar kristallijn gedrag vertoont. Het onbuigzame deel kan een staaf zijn, zoals een aantal fenylingen aan elkaar, of een schijf zoals een porfyriene, ftalocyanine of een pyreenachtige verbinding. Een van de meest bekende vloeibare kristallen die bestaat uit een staafvormig molecuul is de modelverbinding 5CB, ofwel 4-cyano-4'-pentylbifenyl. De staarten zijn meestal alkylketens.



Voor veel toepassingen is het nodig om materialen te vinden die vloeibaar kristallijn zijn binnen een groter temperatuurbereik dan met een enkele verbinding mogelijk is. Een voorbeeld is een beeldscherm, dat moet functioneren bij $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ tot $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Als je de lengte van de zijketens wijzigt, kun je het temperatuur-

bereik beïnvloeden. Door meerdere verbindingen te mengen die bij een verschillende temperatuur vloeibaar kristallijn zijn, ontstaat het zogenoemde E7-mengsel. Dat bestaat uit cyanobifenylverbindingen met zijketens van vijf, zeven en negen koolstofatomen. Door te variëren met de moleculaire samenstelling van het rigide deel ontstaan de verschillende fasen of hebben de verbindingen verschillende kleuren.

WENTELTRAP

De rigide delen van de moleculen ordenen zich doorgaans spontaan in één richting (uniaxiaal), rond de zogenoemde draai-as, en zitten daardoor dicht opeengepakt net als de moleculen in een vaste stof. Net als lucifers in een doosje altijd redelijk netjes in dezelfde richting liggen.

De talloze soorten kristallijne fasen verschillen in de manier waarop de moleculen zich ordenen (zie ook kader Ordening). Wanneer bijvoorbeeld staafvormige mole-

culen met hun lengte-as allemaal in één richting staan, maar de moleculen nog wel van onder naar boven of van links naar rechts kunnen bewegen, ontstaat de zogenoemde nematische fase. Dit type vloeibaar kristal is het minst geordend. Als de staven zich ook in lagen ordenen, dan ontstaat de smectische fase.

Schijfvormige moleculen kunnen een vloeibaar kristallijne fase vertonen wanneer de schijven allemaal plat op elkaar liggen. De beweeglijke zijketens vormen een soort mantel om de rigide stapel heen die net als in de nematische fase (staafvormige mesogenen) de vloeibare eigenschappen aan het vloeibare kristal geven.

Bovendien kunnen de gestapelde schijven of staafjes ten opzichte van elkaar draaien, zodat een helix ontstaat. Die fase heet chiraal nematisch omdat het gaat om staafjes of schijfjes die een helix vormen. Die helix, ofwel een wenteltrap, kan links- of rechtsom draaien. Dit is de zogenoemde cholesterische fase, naar de fase die – naar later is ontdekt – het cholesterol-derivat vertoont waarvan Reinitzer in 1888 vaststelde dat het een bijzondere fase vertoonde. Zo'n helix van vloeibaar kristallijne mesogenen heeft een niet identiek spiegelbeeld, vergelijkbaar met je linker- en je rechterhand.

BANANEN

Het rigide deel van het molecuul hoeft overigens niet recht of plat te zijn. Een relatief nieuwe, bijzondere vorm is het zogenoemde banaanvormige vloeibaar kristal met een gebogen onbuigzaam deel. Soms vormen ze een zogenoemde biaxiale fase, die niet één draai-as bezit, maar twee. De biaxiale moleculen zijn interessant omdat ze zowel een lange als een korte as bezitten. Schakelen door om de korte as te draaien duurt vrij lang omdat het hele staafje moet ronddraaien als een molenwiek. Dat is normaal gesproken de manier waarop een uniaxiaal vloeibaar kristal schakelt in bijvoorbeeld beeldschermen. Schakelen door om de tweede, lange as (als een heel langwerpige tol) te draaien, zou veel sneller gaan, waarmee dit een geschikt materiaal zou zijn voor snelle beeldschermen.

Biaxiale moleculen krijgen weleens de naam de Heilige Graal te zijn van vloeibaar kristalonderzoek. Er verschijnt verschillende publicaties over het bestaan van dergelijke moleculen die later als onjuist zijn ontmaskerd (zie ook De Diepte).

Eén uitvinding die helemaal te danken is aan vloeibare kristallen is het platte **beeldscherm**. Maar er kan nog veel meer mee.

Materialen

voor futuristische elektronica

Lcd-beeldschermen zijn veel dunner en lichter dan de traditionele buizen-televisie en maken alle vormen van mobiele elektronica mogelijk. De werking van een lcd berust op een belangrijke eigenschap van met name nematische vloeibare kristallen (zie de Basis). De optische eigenschappen zijn schakelbaar met een elektrische spanning tussen lichtdoorlatend of niet. Je kunt een pixel van een beeldscherm dus aan- of uitzetten.

Er is een variëteit aan principes waarop lcd-schermen werken. Een van de belang-

rijkste en oudste maakt gebruik van een zogenoemde *twisted nematic* (TN), een gedraaide nematische fase waarin de staafvormige moleculen een helix vormen. Met een elektrische spanning kun je de draai uit de helix halen. Ingeklemd tussen de juiste polarisatiefilters laat dit materiaal geen licht door wanneer er geen draai in de stapel moleculen zit. Zonder spanning draaien de moleculen zich weer op tot een helix en laat het wel licht door. De pixel is dus zwart of wit, zoals in een oude rekenmachine, de eenvoudigste vorm van een beeldscherm (zie kader 'Hoe werkt een lcd-scherm?').

Deze mogelijkheid tot schakelen werd al in 1927 beschreven, maar het duurde nog tot 1970 voordat er een octrooi werd aangevraagd op dit zogenoemde *twisted nematic field effect* door Hoffmann-LaRoche in Zwitserland. De eerste Zwitserse horloges met een digitaal display zijn gemaakt met een licentie van dit octrooi. Al snel volgde het verre oosten met de zakjapanners en andere elektronica.

BIBLIOTHEEK

De originele lcd heeft bij toepassing in televisie nogal wat nadelen als het gaat om scherp, helder en contrastrijk beeld. Het materiaal is te viskeus, de pixels schakelen te langzaam van aan naar uit en omgekeerd. Zo lijkt een voetbal een streep te trekken bij een schot. De ordening van de helix gaat simpelweg niet snel genoeg.

De huidige generatie beeldschermen zijn van het type tft (*thin film transistor*), ook wel *active matrix* lcd's genoemd. Deze klasse kan wel snel genoeg schakelen door snellere elektronica. Dat we inmiddels lcd-televisie hebben, is te danken aan onderzoekers van met name che-

miebedrijf Merck. Die ontwikkelden het sneller schakelende vloeibaar kristallijn materiaal.

Om de gewenste beeldeigenschappen te krijgen, worden soms twintig of meer stoffen uit een bibliotheek gemengd, zoals voor de stof E7 (zie Basis). Die mengsels worden speciaal ontwikkeld voor beeldschermproducenten zoals Samsung. Die krijgen een kant-en-klaar mengsel in handen op basis van hun specificaties. De samenstelling blijft geheim.

Een van de nieuwste ontwikkelingen is de ontdekking van de zogenoemde *blue phase* die in opmars is voor het gebruik in nog snellere, energiezuiniger beeldschermen. Het eerste vloeibare kristal dat die fase vertoonde, reflecteerde alleen blauw-violet licht, vandaar de naam blauwe fase. Die bijzondere reflectie ontstaat door een driedimensionale kubische ordening van de moleculen in plaats van de tweedimensionale ordening in de nematische of smectische fase.

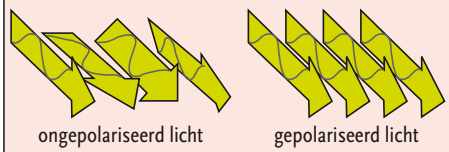
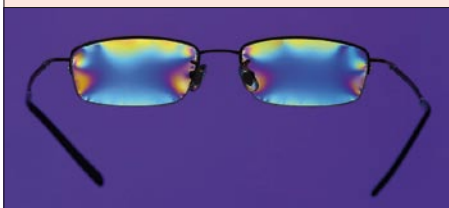
De eerste experimenten wijzen uit dat met blue phase zeer snel schakelende pixels zijn te maken. Bovendien is het niet nodig het vloeibaar kristal speciaal uit te lijnen op een drager, wat het productieproces in theorie goedkoper zou kunnen maken. In 2008 creëerde Samsung een lcd-scherm met deze technologie. Maar het is nog steeds niet commercieel verkrijgbaar.

VERANKERD IN EEN POLYMEER

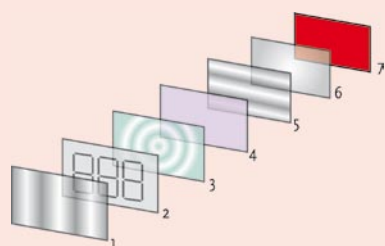
Vloeibare kristallen zijn ook heel geschikt voor diverse andere toepassingen. De eersten hiervan komen nu langzamerhand op de markt, zoals temperatuursensoren en slim vensterglas voor bijvoorbeeld kantoren dat meekleurt onder invloed van zonlicht. De meeste

ZONNEBRILEFFECT

Licht bestaat uit fotonen die trillen. De richting van die trilling is normaal gesproken willekeurig. Bij gepolariseerd licht trillen de fotonen maar één kant uit. Een polarisatiefilter, bijvoorbeeld die van een polaroid-zonnebril, zorgt ervoor dat ongepolariseerd licht wordt gepolariseerd. De filter laat namelijk alleen fotonen door die een bepaalde kant uit trillen. Laat je dit licht nogmaals op een polarisatiefilter vallen, maar dan eentje die een kwart slag is gedraaid, dan komt er helemaal geen licht meer door. Dat effect kun je zien wanneer je twee polaroidzonnebrillen gekruist achter elkaar houdt.



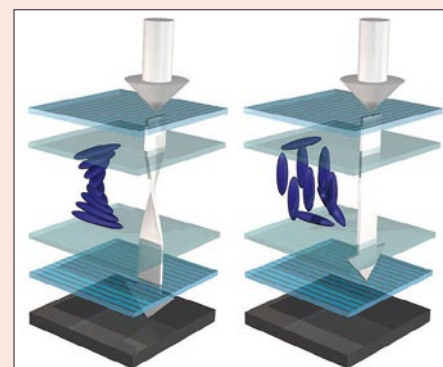
HOE WERKT EEN LCD-SCHERM?



De eerste lcd's voor onder andere rekenmachines maken gebruik van zogenoemde *twisted nematic* vloeibare kristallen (TN). Met hulp van elektrodes en polarisatiefilters en, voor kleurenbeeld, een kleurfilter, wordt er een pixel van gemaakt.

- 1 Polarisatiefilter met een verticale as polariseert het licht verticaal wanneer het binnenkomt.
- 2 Glasplaatje met transparante elektrodes van ITO (indiumtinoxide). De vorm van de elektrodes bepaalt de figuur die je ziet wanneer de lcd aanstaat. Bij een tv zijn het rijen en kolom-

- men van elektrodes, waarbij het kruispunt van een rij en een kolom precies één pixel is.
- 3 Een laag (ongeveer vijf micrometer dik) van gedraaid nematisch vloeibaar kristal. De staafvormige moleculen vormen een helix die een kwart slag draait (90°) tussen de elektrodes wanneer de stroom uit staat. Daardoor wordt het verticaal gepolariseerde inkomende licht ook een kwart slag gedraaid.
- 4 Glasplaatje met transparante elektrodes van ITO.
- 5 Polarisatiefilter met een horizontale film. Het gedraaide, dus nu horizontaal gepolariseerde licht wordt in deze toestand doorgelaten: de pixel is wit. Staat de stroom aan, dan wordt het licht niet gedraaid en wordt het verticaal gepolariseerde licht door de filter tegengehouden. De pixel is zwart.
- 6 Lichtbron (zoals led) of reflecterend oppervlak dat het licht naar de kijker zendt.
- 7 Kleurfilter



Wanneer de stroom uit staat op een pixel is het nematisch vloeibaar kristal uitgelijnd in een helix en wordt het gepolariseerde licht door beide polarisatiefilters doorgelaten (links). De pixel is wit. Schakel je de stroom in (rechts) dan richten de staafjes zich naar de stroom en vormen geen helix meer. Het gepolariseerde licht wordt door de tweede filter niet meer doorgelaten. De pixel is zwart.

van die toepassingen maken gebruik van vloeibaar kristallijne materialen die, nadat ze hun bijzondere configuratie zoals een helix hebben aangenomen, in die positie worden verankerd door middel van polymerisatie.

De flexibele zijketens bevatten in dit geval polymeriseerbare uiteinden zoals acrylaat-groepen, die onder invloed van uv-licht een polymeer vormen. Zo ontstaat een plasticachtig materiaal dat zelfs met een inkjetprinter op een oppervlak is te drukken, een makkelijke en goedkope manier van productie. Onder meer Merck en Philips doen onderzoek aan die materialen. Beide bedrijven hebben een grote bibliotheek met vloeibare kristallen aangelegd.

Polymere chirale vloeibare kristallen zijn goed te gebruiken als temperatuursensor die werkt zonder batterij. De heli-

ces reflecteren namelijk licht, afhankelijk van hoe strak ze gedraaid zijn. De afstand die nodig is voor de wenteltrap om een hele draai van 360° te maken heet een spoed. Het materiaal absorbeert al het licht, behalve het licht met de exacte de golflengte van deze spoed (Bragg-reflectie). Is de spoed bijvoorbeeld 650 nanometer, dan wordt rood licht gereflecteerd. Draait de helix wat strakker op en wordt de spoed 550 nanometer, dan is het materiaal groen.

De lengte van de spoed hangt af van de temperatuur. Dus de kleur van het materiaal verandert afhankelijk van de temperatuur, waardoor je er een thermometer of temperatuursensor van kunt maken. Andere materialen reageren op de zuurgraad van de omgeving of op water. De spoed van de helix verandert in dat geval door het beïnvloeden van waterstofbrug-

gen tussen de eenheden van de gepolymeriseerde vloeibaar kristallen.

Voeg je aan het polymeer een lichtgevoelig molecuul toe, zoals azobenzeen, dan ontstaat een lichtgevoelig materiaal of een materiaal dat infrarood weerkaatst en zichtbaar licht niet. Daarvan zijn slimme ramen te maken. Die zijn volledig doorschijnend, totdat er zonlicht op valt. Dan kleuren ze donker, of je kunt zorgen dat er wel licht, maar geen warmte (infraroodstraling) door het glas komt. De airco kan daardoor een tandje lager. Met name de auto-industrie past dit soort materialen graag toe.

ROBOTHAND

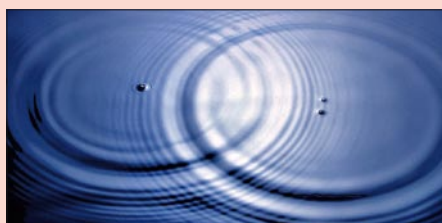
Je kunt ook bewegende materialen, ofwel actuators, van vloeibare kristallen maken. Dat zijn stukjes plastic die door een impuls van buitenaf gaan bewegen. Ze rollen bijvoorbeeld op, of vormen rimpels door licht, vocht of een elektrische spanning. Een voorbeeld is een materiaal voor robotvingers dat de TU/e ontwikkelt samen met Philips. Dat zou er voor moeten zorgen dat de hand spullen los kan laten.

Het normaal gesproken gladde kunststof krijgt een kleine elektrische puls waardoor kleine rimpels ontstaan. Gladde robotvingers zijn soms lastig omdat spullen zoals blikjes of papier eraan blijven kleven. Door ze even te rimpelen, zou de robothand de spullen netjes los moeten laten.

BEAM ME UP...

Vloeibare kristallen in een polymeer zouden ook geschikt kunnen zijn om data op te slaan, veel meer data dan bijvoorbeeld blue ray-disks. Data op zulke schijfjes wordt uitgelezen met laserlicht en berusten op diffractie (afbuiging) van de lichtstralen. Holografische data wordt uitgelezen op basis van interferentie van de lichtstralen (zoals het patroon van de kringen van watergolven die tegen elkaar botsen wanneer je twee stenen naast elkaar in het water gooit). Deze techniek werkt, maar de data is nog niet herschrijfbaar. Dat kan

wel wanneer je vloeibare kristallen gebruikt. Die kun je namelijk na gebruik met een elektrische spanning ordenen in de oorspronkelijke toestand waarna het schrijfproces opnieuw kan beginnen. |



Meer weten

AANBEVOLEN LITERATUUR

- Dick J. Broer, Cees M. W. Bastiaansen, Michael G. Debije, and Albertus P. H. J. Schenning. 'Functional Organic Materials Based on Polymerized Liquid-Crystal Monomers: Supramolecular Hydrogen-Bonded Systems.' *Angew. Chem. Int. Ed.* 2012, 51, 7102 – 7109
- Jan P.F. Lagerwall a,b,*, Giusy Scalia. 'A new era for liquid crystal research: Applications of liquid crystals in soft matter nano-, bio- and microtechnology.' *Current Applied Physics* 12 (2012) 1387-1412.
- H. N. W. Lekkerkerker and G. J. Vroege. 'Liquid crystal phase transitions in suspensions of mineral colloids: new life from old roots.' *Phil. Trans. R. Soc. A* 2013 371, 20120263.

De figuren uit het kader moleculen richten op pagina 5 komen uit:

- Liquid-crystal polymers: Exotic actuators, Gustavo Fernández, *Nature Materials* 2013, Volume 12, 12-14, doi:10.1038/nmat3526
- Molecular simulations elucidate electric field actuation in swollen liquid crystal elastomers Gregor Skacej and Claudio Zannoni, december 2011 *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (PNAS), vol. 109, no. 2610193-10198, doi: 10.1073/pnas.1121235109, www.pnas.org/content/109/26/10193.figures-only

AANBEVOLEN WEBSITES

- Er zijn meerdere goede tutorials op het web te vinden (meestal in het Engels), waaronder deze:
http://barrett-group.mcgill.ca/tutorials/liquid_crystal/LCoI.htm
<http://lcp.elis.ugent.be/tutorials/lc>
- Na het zien van deze video weet je precies hoe een lcd werkt:
<http://www.youtube.com/watch?v=k7xGQKpQAWw>

VOOR OP SCHOOL

1. Wat is op moleculair/atomair niveau het belangrijkste onderscheid tussen kristallen en vloeibare kristallen?

IN THE MOOD



Een *mood ring* zou je emotie weerspiegelen. Kleurt de ring geel, dan ben je gespannen, zwart geeft een angstig gevoel weer en groen en blauw betekent dat je rustig en ontspannen bent. Het vloeibaar kristal in de ring verandert van kleur wanneer je lichaamstemperatuur verandert. De theorie is dat de lichaamstemperatuur fluctueert met je gemoedstoestand, zodat de ring op die manier je emoties kan meten.

2. Wat betekent thermotroop?
3. Wat is de aanduiding voor de posities van zijgroepen aan een benzeenring?
4. Wat is een micel? Geef een schets van de opbouw van een micel.
5. Hoe zorgt vervanging van glutamine door valine bij sikkelcelanemie voor een andere ruimtelijke vorm van hemoglobine?
6. Wat betekent dubbelbreking?
7. Hoe werkt een polarisatiemicroscop?
8. Wat is de spoed van een helix?
9. Wat is het verband tussen polarisatie van licht en chirale vloeibare kristallen?
10. Hoe houden 'slimme' ramen auto's, kamers en kantoren koel?

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:

Corry van Driel (C2W), Franny Scholte (C2W), Gerard Stout

Redactie en realisatie:

Bèta Publishers, tel. 070-262 91 00
info@betapublishers.nl

Fotoverantwoording:

Foto's zonder bronvermelding zijn afkomstig van www.dreamstime.com

Opmaak: F.Koeman DTP Services
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

Abonnementen:

Abonnementenland, Antwoordnummer 1822
1910 VB Uitgeest
tel. 0900-226 52 63 (€ 0,10/minuut)
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 2014

Voor particulieren:

Online toegang met inlogcode en papieren editie (inclusief verzamelmap): € 83,50*.
Leden van KNCV, KVCV en NVON krijgen € 10,- korting.

Voor bedrijven en (onderwijs)instellingen:

Onbepert toegang tot de digitale edities op basis van IP-adres en papieren editie in drievoud (inclusief verzamelmap): € 250,-*.

Losse nummers: € 9,95* per stuk te bestellen bij Abonnementenland.

*Bij betaling per acceptgiro wordt € 2,95 extra in rekening gebracht.

VLOEIBARE KRISTALLEN

editie 73
nummer 302
april 2014

Met dank aan:

- Dick Broer, TU Eindhoven, D.Broer@tue.nl
- Johan Lub, Philips Research Eindhoven, johan.lub@philips.com
- Albert Schenning, TU Eindhoven, a.p.h.j.schenning@tue.nl

ISSN 0168-3349

KNCV

www.chemischefeitelikheden.nl