

Variabele vloeistofflensen

Benno H.W. Hendriks, Stein Kuiper, Marco A.J. van As en Teus W. Tukker
Philips Research, Prof. Holstlaan 4, 5656 AA Eindhoven

In dit artikel worden het ontwerp, het maakproces en toepassingen van een variabele vloeistoffens besproken. De lens, die gevormd wordt door het grensvlak tussen twee niet mengbare vloeistoffen, kan door het aanbrengen van een spanning van vorm veranderen. Resultaten worden gepresenteerd van toepassing in miniatuur autofocus en zoom camera's, in optische recording en in verlichtingssystemen. Kernwoorden: Vloeistoffens, elektrische benutting, camera, optische recording, verlichtingssystemen.

1. INLEIDING

Allerlei optische producten, zoals camera's, CD en DVD recorders en verlichtingssystemen, bevatten verplaatsbare lenzen. De verplaatsing wordt gewoonlijk gerealiseerd met elektromotoren. Voor geminiaturiseerde producten, zoals camera's voor mobiele telefoons, zijn dergelijke mechanisch aangedreven systemen minder geschikt omdat ze moeilijk te maken zijn, aan slijtage onderhevig zijn en ze belemmerd worden door wrijving (oppervlaktekrachten). Bij miniaturisatie worden oppervlaktekrachten relatief groter. In tegenstelling tot mechanisch verplaatsbare lenzen, hebben vloeistofflensen, die van vorm veranderen onder invloed van elektrische benutting [1-5], deze problemen niet omdat ze juist gebruik maken van oppervlaktekrachten. In deze bijdrage zullen we de werking van de lens op basis van elektrische benutting uitleggen en ingaan op verschillende toepassingsmogelijkheden ervan.

2. VLOEISTOFFLENS

De vloeistoffens [3,4] is opgebouwd uit twee verschillende niet mengbare vloeistoffen, waarvan de een elektrisch geleidend (bijvoorbeeld gezouten water) en de ander isolerend (bijvoorbeeld olie) is. Deze vloeistoffen zijn opgesloten in een cilindrische behuizing. De binnenwand van de cilinder is van een geleidende laag voorzien die zelf weer bedekt is met een isolerende laag en daarbovenop ten slotte een waterafstotende laag. Een van

de transparante afdekplaatjes van de cilinder is ook bedekt met deze waterafstotende laag, terwijl de ander gedeeltelijk bedekt is met een geleidende laag die geïsoleerd is van de geleidende laag op de cilinder. De vloeistoffen hebben verschillende brekingsindices, met als gevolg dat de grenslaag tussen de twee vloeistoffen een sferische lens vormt. Als we een potentiaalverschil aanbrengen tussen de twee geleidende lagen (elektrodes), bouwt zich een lading op in de geleidende vloeistof, aan de binnenzijde van de cilinder. Deze oppervlaktelading, die evenredig is met het aangelegde spanningsverschil, geeft aanleiding tot een extra kracht die de geleidende vloeistof verder laat uitspreiden langs de cilinderwand (=elektrische benutting). Omdat de vloeistofhoeveelheid hetzelfde gebleven is, moet de vorm van het grensvlak tussen de twee vloeistoffen ook veranderen. Om de oppervlakte-energie te minimaliseren zal het grensvlak sferisch blijven, echter met een andere kromtestraal. Daar een andere kromtestraal resulteert in een andere optische sterkte, hebben we een variabele vloeistoffens gemaakt. Dit wordt geïllustreerd in figuur 1, dat zowel een schematische tekening van de lens laat zien als ook foto's van zo'n vloeistoffens. De cilindergeometrie en de positie van de waterafstotende laag maken dat de grenslaag goed gecentreerd blijft en uitermate stabiel is. Bovendien wordt de lens ongevoelig voor schokken en trillingen door de twee vloeistoffen een gelijke



Benno Hendriks (1962)



Stein Kuiper (1969)



Marco van As (1974)



Teus Tukker (1968)

dichtheid te geven (dit kan bijvoorbeeld door een mengsel van oliën te nemen) We hebben de lens onderworpen aan schokken ter grootte van meer dan 1000x het aardgravitatieveld zonder blijvende gevolgen. Om bevroering tot -40 °C tegen te gaan kan aan het water bijvoorbeeld extra substanties toegevoegd worden. De vloeistoflens vormt een condensator met een capaciteit van ongeveer 0.1 nF. Dit betekent dat alleen tijdens het schakelen (opladen van de condensator) er gedurende zeer korte tijd stroom loopt. Hierdoor is de benodigde schakelenergie bijzonder laag (circa 0,5 µJ per schakeling van een lens met een diameter van 3 mm). De schakelsnelheid is beduidend lager dan 30 ms voor een 3mm lens (ter vergelijking: het menselijk oog heeft een schakeltijd van ongeveer 200 ms). De benodigde spanning (typisch enkele tientallen volts) is acceptabel voor

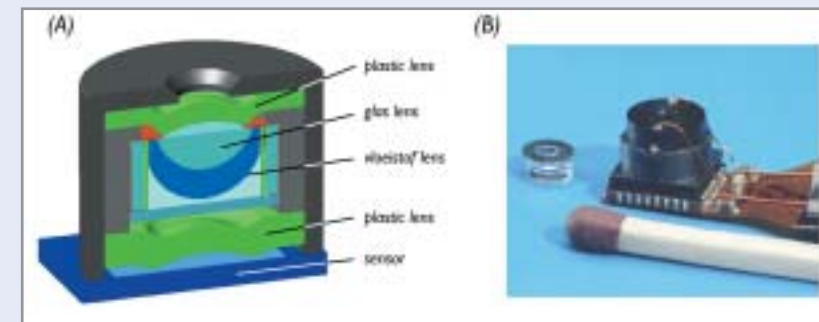
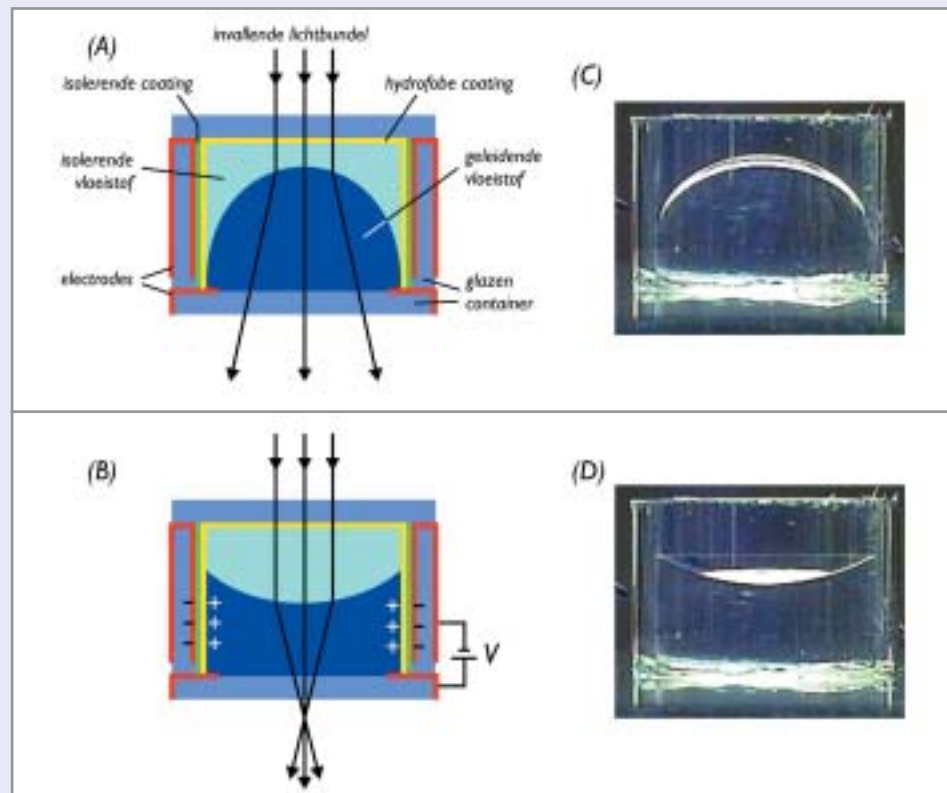
bijvoorbeeld toepassingen in mobiele telefoon en kan via opconversie gemaakt worden vanuit een batterijspanning. We hebben al vermeld dat het grensvlak van een ideale vloeistoflens een perfecte bolvorm heeft. De vraag is in hoeverre dit in werkelijkheid bereikt kan worden. Om deze vraag te beantwoorden, hebben we het grensvlak van de lens vlak geschakeld en vervolgens de vlakheid gemeten in een interferometer. Het resultaat hiervan is dat het golffront, gemeten over een diameter van 4 mm bij een 6 mm diameter lens, bij een golflengte van 633 nm een fout vertoonde van "root mean square" optisch weglengte verschil van 0,031 golflengtes. Dit is kleiner dan de buigingsgrenswaarde die op 0,07 golflengtes ligt. Met andere woorden: de spotgrootte wordt bepaald door buigingseffecten en niet door misvormingen van het grensvlak.

3. TOEPASSINGEN

3.1. Autofocus camera

Een toepassing waarvoor de vloeistoflens uitermate geschikt is, is de mobiele telefoon camera. Camera's waarin hoge resolutie sensoren (megapixel) gebruikt worden, leveren zonder te focuseren niet voor alle voorwerpsafstanden een scherp plaatje. Een focuseersysteem is daarom onontbeerlijk voor toekomstige camera-telefoons. Kijken we naar mogelijke systemen die dit focuseren kunnen bewerkstelligen, dan volgt dat op het gebied van robuustheid, schakelsnelheid, afmeting, schakelenergie en kostprijs, de vloeistoflens gunstig scoort. Om aan te tonen dat een vloeistoflens geschikt is voor toepassing in een camera-telefoon hebben we een prototype camera ontworpen en gebouwd [3,4] op basis van een VGA CMOS sensor (640 x 480 pixels, pixelgrootte 5,0 x 5,0 µm²). Het ontwerp is te zien in figuur 2 en bestaat uit een vloeistoflens omgeven door twee afzonderlijke plastic lenzen. De vloeistoflens heeft een buitendiameter van 4 mm, een binnendiameter van 3 mm en een hoogte van 2,2 mm. De cilinder is aan een zijde afgesloten door een afgeknot glazen kogeltje, gemonteerd op een metalen membraan, en aan de andere zijde door een glasplaatje. De totale lensopbouw heeft een hoogte van 5,5 mm, gemeten van sensor tot aan intrede lensvlak van de bovenste lens. Het ontwerp vertoont veel overeenkomsten met het menselijk oog. De bovenste plastic lens van de camera heeft eenzelfde werking als het hoornvlies en de vloeistoflens is vergelijkbaar met de vervormbare ooglens. De lens tussen vloeistoflens en sensor is nodig om met name de beeldveldkromming op te vangen. Deze lens is in het menselijk oog niet nodig door het bolvormige oppervlak van het netvlies. Het samengestelde onderzoeksprototype is te zien in figuur 2(B), waarbij de twee extra lensaanstuurelektrodes te zien zijn aan de bovenzijde van de camera. In figuur 3 zijn foto's genomen met de camera scherp gesteld op een voorwerp

Figuur 1: (A) Schematische doorsnede van de vloeistoflens in een cilindrische behuizing. (B) Onder toepassing van een spanning bouwt zich wandlading op aan het grensvlak tussen geleidende vloeistof en de wand van de behuizing, hetgeen de vorm van het grensvlak tussen de twee vloeistoffen doet veranderen. (C) Foto van de lens in ongeschakelde toestand en (D) wanneer een spanning aangebracht is.



Figuur 2: (A) Schematische doorsnede van het camera-ontwerp en (B) een foto van de vloeistoflens en samengestelde camera.



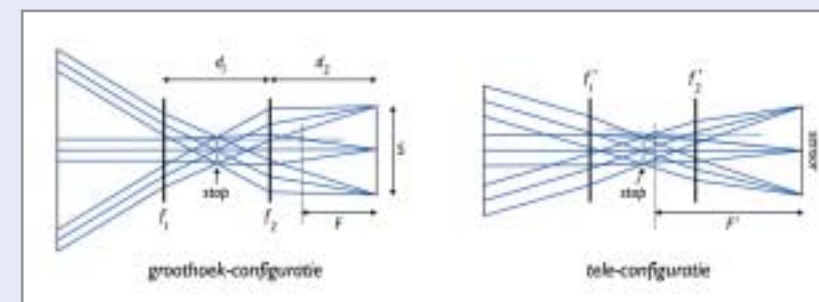
Figuur 3: Foto's genomen met de camera uit figuur 2: (links) gefocuseerd op een voorwerp op 2 cm en (rechts) gefocuseerd op een voorwerp op een meter afstand.

op 2 cm afstand en op een halve meter afstand. Hoewel het hier om een prototype gaat, gemaakt door Philips Research, is thans door Philips Applied Technologies een industrieel product-

concept ontwikkeld dat geschikt is voor massaproductie.

3.2. Zoom camera

Het is ook mogelijk om een zoom camera



Figuur 4: Zoomlens bestaande uit twee dunne variabele vloeistoflenzen gebaseerd op paraxiale berekeningen in de groothoek-configuratie en in de tele-configuratie.

Parameters	Groothoekstand			Telestand						
	H	d ₁	d ₂	B	F	f ₁	f ₂	F'	f ₁ '	f ₂ '
10 mm	5 mm	5 mm	2	4,0 mm	-20,0 mm	4,17 mm		8,0 mm	13,33 mm	12,50 mm
10 mm	5 mm	5 mm	1,5	6,0 mm	30,0 mm	6,25 mm		8,0 mm	13,33 mm	12,50 mm
14 mm	7 mm	7 mm	2	4,0 mm	-9,33 mm	4,90 mm		8,0 mm	56,00 mm	8,17 mm

Tabel 1: Lijst van lens parameters en de bijbehorende zoomfactoren

te maken op basis van vloeistoflenzen. In dit geval zijn twee vloeistoflenzen nodig: een om de focuslengte van het lensstelsel te veranderen en de ander om te zorgen dat de afbeelding in focus op de sensor wordt geprojecteerd. Om dit te illustreren is in figuur 4 een zoomlens systeem weergegeven, gebaseerd op twee variabele lenzen, voor zowel de groothoek-configuratie als de tele-configuratie (paraxiale benadering). De twee variabele lenzen hebben brandpuntsafstanden f₁, f₂ voor de groothoekstand en f₁', f₂' voor de telestand, terwijl de totale brandpuntsafstand van de zoomlens respectievelijk F voor de groothoek- en F' voor de telestand is. De zoomfactor β is voor dit systeem β = F'/F. Op basis van paraxiale berekeningen kunnen we afleiden dat de brandpuntsafstanden van de afzonderlijke lenzen moeten voldoen aan

$$\text{groothoekstand: } f_1 = \frac{d_1}{1 - \frac{d_2}{F}} \text{ en } f_2 = \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2 - F} \quad (1)$$

$$\text{telestand: } f_1' = \frac{d_1}{1 - \frac{d_2}{F'}} \text{ en } f_2' = \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2 - F'} \quad (2)$$

waarbij d₁ de afstand is tussen de twee vloeistoflenzen en d₂ de afstand tussen de tweede vloeistoflens en de beeldsensor. In Tabel 1 zijn verscheidene waarden voor f₁, f₂ en f₁', f₂' gepresenteerd. Vanwege het feit dat de kromtestraal r van het grensvlak tussen de twee vloeistoffen samenhangt met de brandpuntsafstand van de lens f en het brekingsindexverschil tussen de twee vloeistoffen Δn volgens de relatie r = fΔn (3), vereist een kleine brandpuntsafstand een sterke lens. Daar de haalbare sterkte van een vloeistoflens begrensd wordt door het brekingsindexverschil en de maximaal haalbare kromtestraalverandering, zal dit ook een grens stellen aan de maximaal haalbare zoomfactor. Thans hebben we een prototype zoomlens op basis van twee vloeistoflenzen ontworpen met een zoomfactor dichtbij twee en zijn we ver gevorderd met de realisatie ervan.

3.3. Optische recording

Een Blu-ray Disc (BD) optisch data opslagsysteem [6] is in staat om 25 GB aan informatie op te slaan. Dit is ruim 5 keer meer dan op de welbekende DVD plaat. Om dit te bereiken wordt in zo'n BD systeem gebruik gemaakt van een blauwe laser met een golflengte van 405 nm en een objectieflens met een numerieke apertuur van 0,85. De informatielaag bevindt zich op een diepte van 0,1 mm onder het plaatoppervlak. Om de opslagcapaciteit te vergroten naar 50 GB, is er een tweede informatielaag in de plaat aanwezig die ongeveer 0,025 mm minder diep onder het oppervlak ligt. Om dubbellaags uitlezing mogelijk te maken moet in een BD systeem, naast de mogelijkheid om te herfocuseren op de andere laag, ook een voorziening aangebracht worden om sferische aberratie te compenseren. Deze aberratie ontstaat door het verschil in laagdikte boven de informatielaag. Een typische root mean square waarde voor de optische weglengte fout (OPD_{rms}) is 0,235 golflengtes. Een goede compensatie vereist het verlagen van de OPD_{rms} tot beneden de diffractielimiet $<0,07$ golflengtes. Een methode die thans toegepast wordt is het veranderen van de vergentie van de op het objectief invallende bundel. Dit gebeurt tot dusver door een lens (collimatorlens) die zich voor de objectieflens bevindt mechanisch te verplaatsen. Een nieuwe methode om deze sferische aberratie te compenseren is het veranderen van de vergentie van de bundel met een vloeistoflens.

Deze divergentieverandering kan op de volgende wijze bereikt worden.

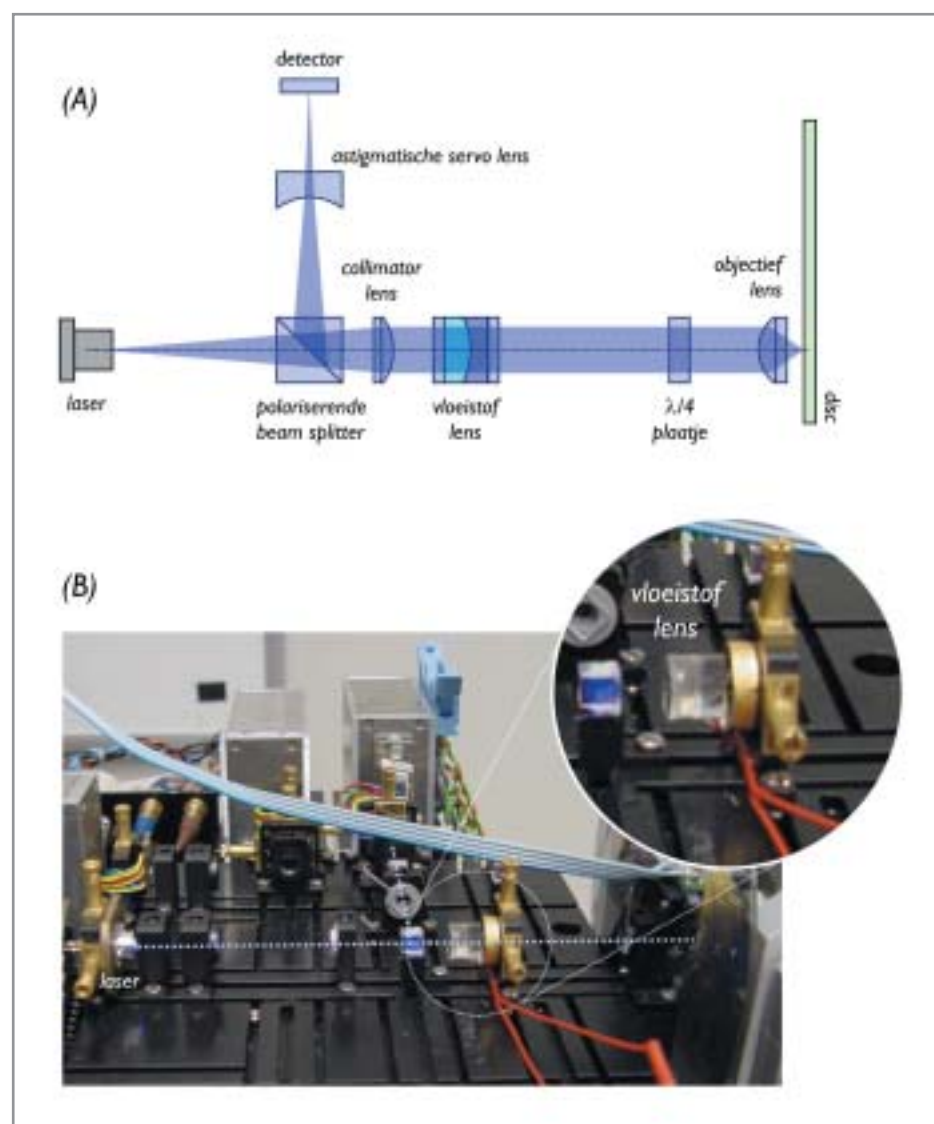
Beschouw een objectieflens, ontworpen om een parallelle bundel zonder aberratie af te beelden op de informatielaag op 0,1 mm diepte. Plaatsen we een vloeistoflens met een vlak geschakeld grensvlak in de parallelle bundel, dan verandert er optisch gezien niets en kan de laag op 0,1 mm nog steeds uitgelezen worden. Om de informatie op 0,075 mm diepte uit te lezen, herfocuseren we op

deze laag door de objectieflens mechanisch te verplaatsen door middel van een actuator. Daarnaast veranderen we ook de vergentie van de invallende bundel (van vlak naar enigszins divergent) door het grensvlak van de vloeistoflens te krommen. Door het verschil in vergentie van de invallende bundel, genereert de objectieflens een extra hoeveelheid sferische aberratie die, bij goede keuze van de vergentie, precies tegengesteld is aan de hoeveelheid die ontstaat door het laagdikte verschil van de twee informatielagen. Op deze wijze wordt

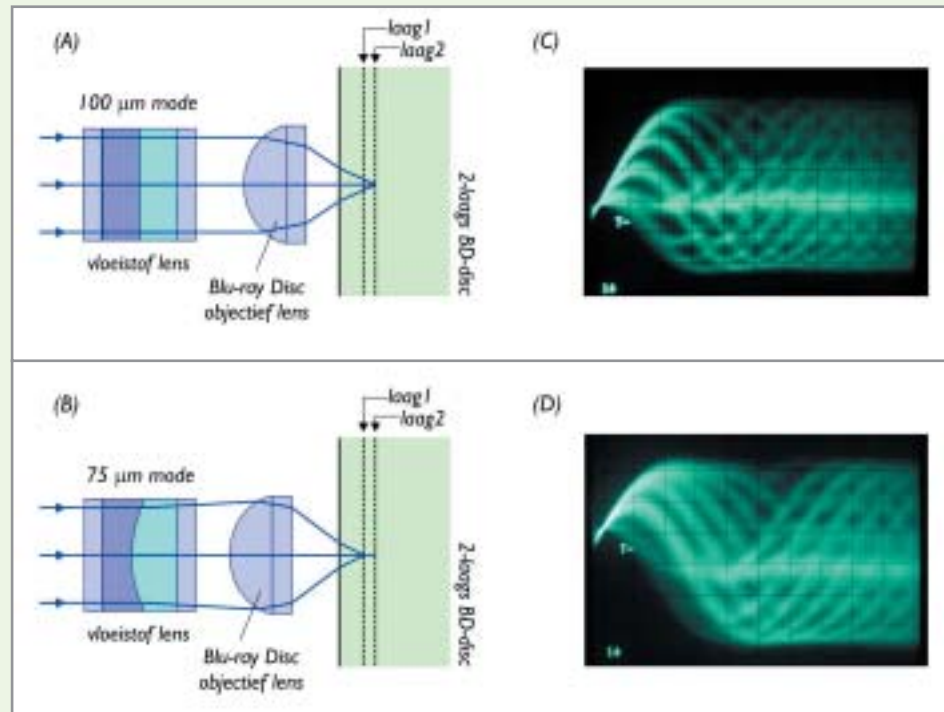
uitlezing van de tweede laag mogelijk.

Om dit te demonstreren hebben we een dubbellaag BD opstelling gebouwd die weergegeven is in figuur 5(A). In figuur 5(B) is een foto van de opstelling te zien. Een laser produceert een lineair gepolariseerde divergente bundel die na passage door een polarisatiegevoelige bundelsplitter door een collimatie lens in een vlakke bundel wordt omgezet.

Vervolgens wordt de bundel na passage door de vloeistoflens door een $\lambda/4$ -golfplaatje omgezet in een circulair gepolariseerde bundel. Deze bundel wordt door



Figuur 5: (A) Schematische weergave van een Blu-ray Disc optisch recording systeem geschikt gemaakt voor dubbellaags uitlezing door middel van een vloeistoflens, en (B) foto van de experimentele BD opstelling. In de uitvergroting is de vloeistoflens te zien.



Figuur 6: Schematische tekening van de vloeistoflens geplaatst voor de objectieflens voor uitlezing van de informatielaag op 0,1 mm diepte (A) en voor 0,075 mm diepte (B). In (C) is het oogpatroon van het uitleessignaal van de detector te zien voor de situatie weergegeven in (A), en in (D) voor de situatie in (B). De $\lambda/4$ -golfplaat is voor de eenvoud in de tekeningen (A) en (B) niet weergegeven.

de objectieflens op de informatielaag van de plaat afgebeeld. Na reflectie aan deze laag verandert de polarisatie van linkshandig naar rechtshandig, met als gevolg dat de bundel na passage door de objectieflens en $\lambda/4$ -golfplaatje weer een vlakke lineair gepolariseerde bundel wordt. Echter, nu staat de polarisatie haaks op die van de door de laser uitgezonden bundel. Als de bundel nu op de polarisatiegevoelige bundelsplitser valt wordt deze niet naar de laser terug gestuurd, maar gereflecteerd naar de detectortank van de opstelling. De bundel wordt tenslotte door de servolens afgebeeld op de detector, waar de modulatie in de bundel ten gevolge van de in de plaat opgeslagen informatie wordt gedetecteerd. De vloeistoflens, waarin de vloeistoffen nauwkeurig in dichtheid op elkaar afgestemd zijn, is horizontaal in de opstelling gemonteerd (zie figuur 5(B)). De golffrontfout OPD_{rms} die door de vloeistoflens geïntroduceerd wordt

tengevolge van onvolkomenheden is gemeten over een entree pupil diameter van 3 mm en bedraagt 0,031 golflengtes hetgeen voldoende onder de diffractielimiet van 0,07 golflengtes ligt om uitlezing van de plaat mogelijk te maken. De kwaliteit van de uitgelezen bundel kan beoordeeld worden op basis van de data-naar-klok spreiding (jitter). Dit is een maat voor de spreiding in nuldoorgangen in het uitleessignaal ten opzichte van een meelopende klok. Bij een perfect systeem vallen deze precies samen. Een optisch opneemsysteem kan fouten van de kloklenge corrigeren zolang deze spreiding kleiner blijft dan 15%. Daarboven is uitlezing niet meer mogelijk. In onze opstelling meten we bij uitlezing van de laag op 0,1 mm diepte van de 50GB ROM plaat zonder de vloeistoflens een jitter van 7,8%. De laag op 0,075 mm kan dan niet uitgelezen worden. Plaatsen we de vloeistoflens in de bundel met een vlakgeschakeld grensvlak, dan kunnen

we de laag op 0,1 mm uitlezen met een iets hogere jitter van 10,6%. De verhoging wordt veroorzaakt door de golffrontaberraties tengevolge van onvolkomenheden van de vloeistoflens. Schakelen we de vloeistoflens zodanig dat het grensvlak iets gekromd is wordt uitlezing van de tweede laag op 0,075 mm nu wel mogelijk en wel met een jitter waarde van 11,6%. Dit experiment laat dus inderdaad zien dat met een vloeistoflens dubbellaags uitlezing in BD mogelijk gemaakt kan worden. Om de robuustheid van het systeem te vergroten moet de vloeistoflens in optische kwaliteit nog verder verbeterd worden.

3.4. Verlichtingssystemen

Licht emitterende diodes (LEDs) worden in toenemende mate toegepast in verlichtingssystemen. De voordelen van LEDs ten opzichte van conventionele gloeilampen zijn hun compactheid en hoge rendement. Daarbij kunnen ze diverse kleuren produceren, zelfs wit licht, bij een hoge intensiteit. Een manier om de integratie van LEDs in verlichtingssystemen te stimuleren, is het actief veranderen van hun lichtdistributie. Door hun compactheid zijn ze hiervoor bij uitstek geschikt.

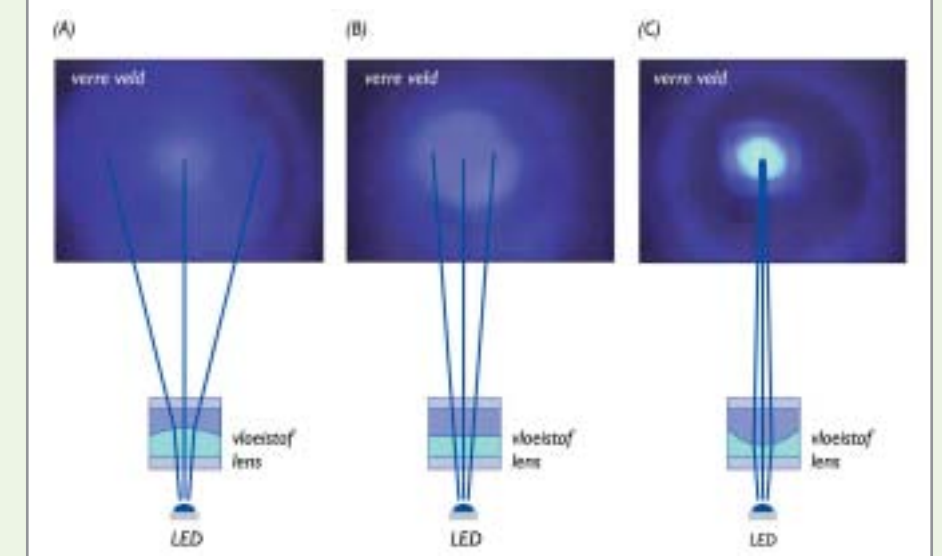
Variabele verdeling van lichtintensiteit

Een eenvoudige manier om de verdeling van lichtintensiteit aan te passen, is het plaatsen van een vloeistoflens voor de LED. De opstelling is schematisch weergegeven in figuur 7. Een blauwe LED is op 5 mm afstand van een vloeistoflens geplaatst. De vloeistofbehuizing heeft een binnendiameter van 6 mm, een buitendiameter van 8 mm en een hoogte van 10 mm. De eerste vloeistof is zout water met brekingsindex 1,33 en de tweede (isolerende) vloeistof is een siliconenolie met brekingsindex 1,50. In de uittoestand gedraagt het grensvlak zich als een negatieve lens die de divergentie van de lichtbundel vergroot, hetgeen leidt tot een grote vlek op een

scherm op 0,5 m afstand (zie figuur 7(A)). Als het grensvlak omklapt, gedraagt deze zich als een positieve lens, met op het scherm een kleine vlek tot gevolg (zie figuur 7(C)).

Af buigen van bundels

Een andere mogelijke toepassing van vloeistoflens is het afbuigen van bundels, eventueel in combinatie met focuseren. Om afbuigen mogelijk te maken, moet het grensvlak scheefgezet worden. Een manier om dit te bereiken is het opsplitsen van de cilindrische elektrode in parallelle verticale elektrodes. Zo kan het grensvlak scheefgezet worden, zoals geïllustreerd in figuur 8. Het grensvlak kan zelfs bundels afbuigen en focuseren tegelijk. De lens in figuur 8 is een eenvoudig demonstratiemodel en bestaat uit een vierkante buis met op alle vier wanden een aparte elektrode. De voor- en achterelektrode worden zodanig aangestuurd dat het grensvlak een contacthoek van 90 graden maakt met de wand. De linker en rechter



Figuur 7: Foto's van de intensiteitsverdeling van een blauwe LED afgebeeld op een scherm op 50 cm afstand voor het geval de lens (A) in de uittoestand verkeert, (B) een vlak grensvlak heeft en (C) een omgeklapt grensvlak heeft.

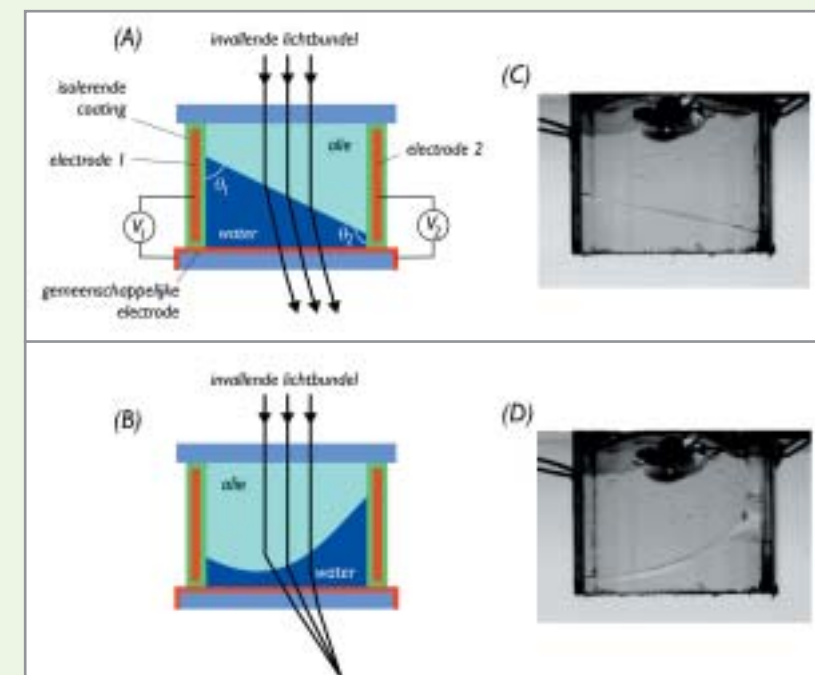
elektrode worden met verschillende spanningen aangestuurd, waardoor het grensvlak gekanteld wordt. Als de som van de contacthoeken op de linker- en rechterwand 180 graden bedraagt, dan zal het grensvlak vlak zijn (zie figuur 8(A) en (C)).

Dynamische bundeleffecten

Als de spanning op de lens verandert, verandert de contacthoek en na een

korte relaxatietijd bereikt het grensvlak zijn nieuwe vorm. Als de lens met een wisselspanning aangestuurd wordt, kunnen, afhankelijk van de frequentie, staande golven geproduceerd worden in het grensvlak. Het plaatsen van een LED voor een dergelijke lens leidt tot diverse patronen op het scherm, afhankelijk van de hoogte en frequentie van de spanning. Voor een lens met een binnendiameter van 6 mm zien we dergelijke patronen tot een frequentie van ongeveer 50 Hz. Voor hogere frequenties worden de effecten klein, maar kunnen nog wel met een interferometer waargenomen worden. Voor frequenties hoger dan ongeveer 1kHz worden geen trillingen meer waargenomen en vormt het grensvlak een sferische lens, waarbij de sterkte van de lens bepaald wordt door de effectieve hoogte van de spanning. Om de dynamische effecten te laten zien, schijnen we een parallelle monochromatische bundel met een golflengte van 633 nm door de lens. Figuur 9 laat foto's zien van het verlichtingspatroon op een scherm dat voor de lens gehouden wordt. De staande golf patronen zijn duidelijk zichtbaar op het scherm. Naast de simpele cilindergeometrie kunnen meer gestructureerde patronen gemaakt worden met gecompliceerdere

Figuur 8: Schematische weergave van een vloeistoflens waarvan het grensvlak scheefgezet kan worden. De lens kan (A) bundels afbuigen en (B) bundels afbuigen en focuseren.



geometrieën. Met deze methode kunnen op eenvoudige wijze instelbare verlichtingspatronen gecreëerd worden.

4. CONCLUSIES

In dit artikel beschrijven we een op vloeistof gebaseerde variabele lens. De lens wordt gevormd door het grensvlak tussen twee niet-mengbare vloeistoffen en kan van vorm veranderen door een elektrische spanning. We hebben laten zien dat de lens toegepast kan worden in autofocus- en zoomcamera's, in optische recording systemen en in verlichtings-systemen. De resultaten maken duidelijk dat de lens inzetbaar is in vele gebieden



Figuur 9: Foto's van het verlichtingspatroon op een scherm dat voor een lens gehouden wordt die met verschillende frequenties aangestuurd wordt: (links) 0 Hz, (midden) 25 Hz, (rechts) 50 Hz. De ringen worden veroorzaakt door interferentiepatronen op het grensvlak.

van de optica, variërend van buigings-begrensd systemen (optische recording), beeldvormende systemen (camera's) en niet-beeldvormende systemen (verlichting).

DANKWOORD

We danken C.A.N. van der Vleuten,

H. Derks, W.J. Weekamp, C.A. Renders, I. Helwegen en K. Renkema voor hun technische ondersteuning. J.J.H.B. Schleipen willen we bedanken voor het bewerken van de verschillende figuren gebruikt in dit artikel.♦

Benno Hendriks (1962) studeerde Theoretische Natuurkunde aan de Universiteit van Utrecht. Hij studeerde in 1985 af op het onderwerp supergravity. In 1989 promoveerde hij aan dezelfde Universiteit op het gebied van quantum optica. In 1990 trad hij in dienst van Philips Research Eindhoven, waar hij aan platte beeldschermen, optische recording systemen en aan vloeistoflenszen werkte. Thans leidt hij een project op het gebied van licht en medische toepassingen.

Stein Kuiper (1969) studeerde Technische Natuurkunde aan de Technische Universiteit Eindhoven. Hij studeerde in 1993 af op silicium zonnecellen bij Shell Solar. Daarna ging hij bij het Shell Research and Technology Centre in Amsterdam werken aan het verhinderen van zoutafzettingen in pijpleidingen. In 2000 promoveerde hij aan de Universiteit Twente op het gebied van microzeven. Hij vervolgde zijn loopbaan bij Philips Research Eindhoven, waar hij het vloeistoflensproject startte.

Marco van As (1974) studeerde werktuigbouwkunde aan de Fontys Hogeschool Eindhoven. Hij studeerde in 1997 af op het opto mechanisch ontwerp van een kwartswig polarimeter. In 1997 is hij begonnen bij Philips Lighting. In 1999 heeft hij de overstap gemaakt naar Philips Research waar hij werkte aan hoge precisie bewerken van kunststoffen, interferometrie, optische recording en aan het vloeistoflenszen. Thans is hij werkzaam bij Philips Central Development Lighting.

Teus Tukker (1968) studeerde Technische Natuurkunde aan de Universiteit Twente in Enschede. In 1993 studeerde hij af op het onderwerp niet-lineaire lichtverstrooiing en in 1998 promoveerde hij op het ontwerp en realisatie van een som frequentie vibratie spectrometer. Vanaf 1998 tot 2005 was hij werkzaam bij Philips Research Eindhoven op het gebied van optische recording systemen. Thans is hij werkzaam bij Philips Central Development Lighting.

REFERENTIES

1. C. B. Gorman, H. A. Biebuyk, and G. M. Whitesides, "Control of the shape of liquid lenses on a modified gold surface using an applied electrical potential across a self-assembled monolayer," *Langmuir* 11, pp. 2242-2246, 1995.
2. B. Berge and J. Peseux, "Variable focal lens controlled by an external voltage: an application of electrowetting," *Eur. Phys. J. E.* 3, pp. 159-163, 2000.
3. S. Kuiper and B. H. W. Hendriks, "Variable-focus liquid lens for miniature cameras," *Appl. Phys. Lett.* 85, pp. 1128-1130, 2004.
4. S. Kuiper, B. H. W. Hendriks, L. J. Huibregts, A. M. Hirschberg, C. A. Renders, and M. A. J. van As, "Variable-focus liquid lens for portable applications," *SPIE* 5523, pp. 100-109, 2004.
5. B. H. W. Hendriks, S. Kuiper, M. A. J. van As, C. A. Renders, and T. W. Tukker, "Electrowetting-based variable-focus lens for miniature systems," *Optical Review*, in press.
6. I. Ichimura et al., in Proc. ODS2001, *SPIE* 2342, pp. 168, 2002; M. Kuijper et al., in Proc. ODS2001, *SPIE* 2342, pp. 178, 2002; S. Furumiya et al., in Proc. ODS2001, *SPIE* 2342, pp. 186, 2002.
7. B. Richter, H. Hofmann, J. Knittel, O. Kawakubo, T. Kashiwagi, A. Mijiriskii, and J. Hellmig, "System aspects of dual-layer phase-change recording with high numerical aperture optics and blue laser," *Jap. J. Appl. Phys.* 42, pp. 956-960, 2003.