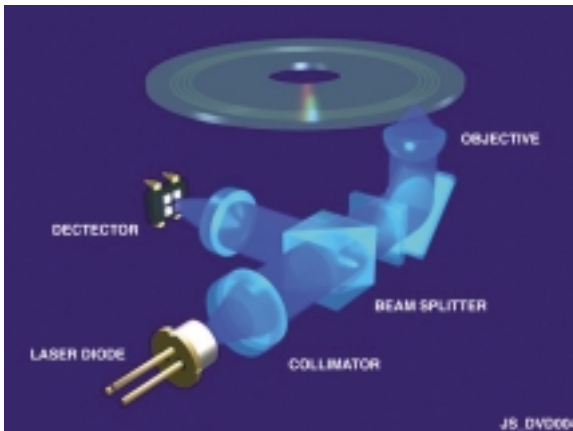


# De derde dimensie van optische schijven

Sjoerd Stallinga • Philips Research • sjoerd.stallinga@philips.com

Het gebruik van optische schijven is wijd verbreid. De modale Nederlander heeft enkele tientallen tot zelfs honderden CDs in huis, en de laatste jaren is ook de DVD in opmars. Op een CD past 650 MByte aan informatie, wat het geschikt maakt als drager van audio-informatie. De DVD heeft een ruim 7 maal zo grote capaciteit van 4.7 GByte, waardoor het voldoet als drager van video-informatie. Binnen het onderzoek naar nieuwe vormen van optische data-opslag neemt de race naar een steeds grotere capaciteit een belangrijke plaats in. De meest recente stap in deze race is de Blu-ray Disc, of kortweg BD. De BD kan zo'n 25 GByte aan informatie bevatten. Toepassingen zijn te vinden in high-definition video, en archivering en backup op de PC.



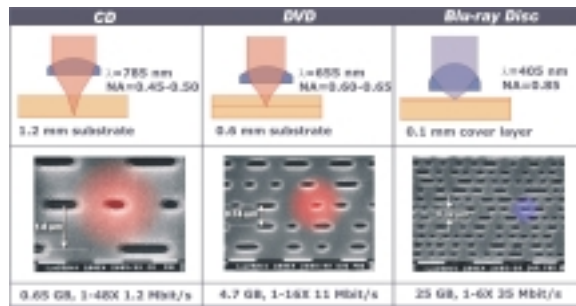
Figuur 1. Overzicht van de optiek van een optische speler. De laser diode zendt licht uit wat tot een parallelle bundel gecollimeerd wordt door de collimator lens. Via een bundelsplitser ("beam splitter") en nog enkele andere componenten komt het licht bij de objectief-lens ("objective"), die het licht focuseert op het data-spoor op de schijf. Het gereflecteerde licht wordt opgevangen door de objectief-lens en gaat bij de bundel-splitser richting de detector.

Deze stappen in capaciteit zijn mogelijk gemaakt door veranderingen in de optiek. De belangrijkste componenten in een speler zijn de laser en een objectief-lens die de lichtstralen die uit de laser komen focuseert in het brandpunt van de lens (Figuur 1). Door het draaien van de schijf wordt het brandpunt langs het spoor van putjes op de schijf, "de nullen en enen", gescand. Het brandpunt is niet daadwerkelijk een punt maar heeft een zekere uitgebreidheid ten gevolge van buiging aan de apertuur

van de lens. De grootte van het licht-vlekje is ruwweg gelijk aan de golflengte van het laserlicht gedeeld door de numerieke apertuur van de objectief-lens. De numerieke apertuur van een lens is een maat voor de hoek tussen de optische as van de lens en de buitenste stralen van de bundel die door de lens gefocuseerd wordt (om precies te zijn is de numerieke apertuur de sinus van deze hoek). Bij een constante lensdiameter correspondeert een hoge numerieke apertuur dus met een kleine



De auteur heeft in Nijmegen theoretische natuurkunde gestudeerd en is daar ook gepromoveerd, op het gebied van vloeibare kristallen. Sinds 1995 is hij werkzaam als onderzoeker bij Philips Research in Eindhoven. Daar heeft hij gewerkt aan optische aspecten van LCDs en sinds 1999 aan optische data-opslag. De laatste jaren met name aan de optica van de nieuwe BD-standaard.



Figuur 2. Overzicht van de CD, DVD, en BD-standaarden.

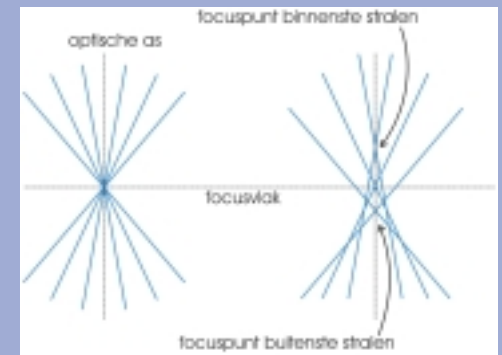
brandpuntsafstand. Voor elke stap, van CD naar DVD, en van DVD naar BD, is de golflengte kleiner geworden en de numerieke apertuur groter. Zo werkt CD met infrarood licht, DVD met rood licht en BD met blauw licht (vandaar ook het "blu" van Blu-ray Disc, waarvan de "e" is weggevallen om copyright-technische redenen). In feite is het beschikbaar komen van lasers met een kleinere golflengte steeds de reden geweest om een nieuwe optische schijf standaard te beginnen. De toename in numerieke apertuur heeft vergaande gevolgen voor het optische systeem, waarover later meer. Naast de veranderingen in optiek hebben ook de voortschrijdende mogelijkheden van signaalbewerking voor de toegenomen capaciteit gezorgd. Slimmere algoritmes en grotere rekenkracht van ICs hebben het mogelijk gemaakt om de correcte bits te destilleren uit een steeds kleiner en ruiziger signaal. Een belangrijke factor hierin is de elektronische ruis gerelateerd aan de stappen in bitrate (bandbreedte) van CD naar DVD en van DVD naar BD. Figuur 2 geeft een overzicht van de relevante parameters van CD, DVD, en BD.

Een andere manier om het aantal bits op een schijfje te vergroten is de derde dimensie van de schijf te benutten. Standaard CDs, DVDs en BDs hebben één enkele laag waarop de bits staan. Door een tweede laag in de schijf aan te

brenge passen er uiteraard meer bits op (zie Figuur 3). Dubbellaags DVDs zijn enige tijd na de enkellaags DVDs geïntroduceerd, en vrij recent zijn er ook schrijfbaar dubbellaags DVDs. Deze schijfjes hebben een capaciteit van 8.5 GByte, iets minder dan twee keer de capaciteit van een enkellaags DVD, omdat de bits op een dubbellaags DVD iets verder van elkaar af staan. Bij BD worden de zaken van meet af aan ambitieuzer aangepakt. Dubbellaags schijfjes zijn vanaf het begin van de standaard mogelijk en bevatten precies twee keer zoveel bits als de enkellaags schijfjes (50 GByte dus). De twee lagen van de

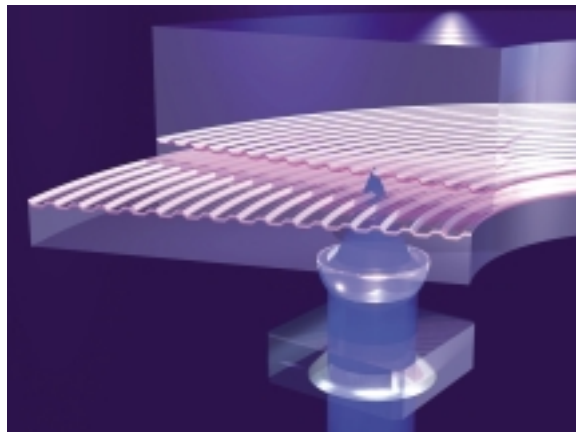
dubbellaags BD worden gescheiden door een tussenlaag die 0,025 mm dik is. Als de objectieflens naar de schijf toe wordt verplaatst verschuift het brandpunt van de bovenste informatielaag (d.w.z. de laag het dichtste bij het oppervlak waar het licht de schijf in gaat) naar de onderste. Hierbij doet zich het probleem voor dat het brandpunt onscherp wordt. De binnenste stralen van de bundel, die stralen die slechts een kleine hoek maken met de optische as, komen bij elkaar in een punt vlak achter de onderste informatielaag, terwijl de buitenste stralen, die stralen die een grote hoek maken met de optische as, juist bij elkaar komen in een punt vlak voor de onderste informatielaag (zie Figuur 4). Deze manier van onscherp worden van het brandpunt heet sferische aberratie. De afstand tussen het brandpunt van de binnenste stralen en dat van de buitenste stralen is een maat voor de hoeveelheid sferische aberratie. Het blijkt dat deze afstand sterk toeneemt met de numerieke apertuur van de gebruikte objectief-lens. Voor BD is de numerieke apertuur zo groot dat dit een ernstig probleem is. Zo bijt de grote numerieke apertuur, die we nodig hadden om meer bits op een

schijfje te persen ons in de staart nu we nog meer bits willen door een tweede laag aan het schijfje toe te voegen! Gelukkig kan het probleem van sferische aberratie goed opgelost worden. Hiertoe komt een andere component te hulp: de collimator-lens. De divergent lichtstralen uit de laser worden door deze lens gefocuseerd tot een gecollimeerde bundel, d.w.z. een bundel waarin de stralen parallel lopen (zie Figuur 1). Deze gecollimeerde bundel wordt door de objectieflens gefocuseerd op de informatielaag van de plaat. Dit twee-staps proces om het licht van laser naar plaat te focuseren biedt ruimte om het effect van sferische aberratie op te heffen. Door de collimator-lens een kleine afstand naar de laser tussen collimator-lens en objectief-lens een klein beetje divergent. Hierdoor komt het brandpunt na de objectief-lens iets dieper in de schijf te liggen. Ook door deze manier van verplaatsen van het brandpunt van de bovenste naar de onderste informatielaag ontstaat een sferisch aberratie-effect, alleen opvallend genoeg van het tegengestelde teken. Door nu beide manieren van brandpunt verplaatsen (de objectief-lens dichtbij de schijf brengen en de parallelle bundel tussen collimator en objectief-lens divergent te maken) in de juiste verhouding te combineren kan de sferische aberratie geëlimineerd worden. Het schuiven van de collimator-lens kan eenvoudig worden bewerkstelligd door de lens op een motoretje te monteren wat de lens enkele millimeters heen en weer kan bewegen. Er zijn ook alternatieven voor deze methode. Een mogelijkheid om op een compacte manier de bundel tussen collimator en objectief-lens tussen convergent en divergent te laten kwispelen wordt gegeven door de vloeibare lens. Een vloeibare lens bestaat uit een klein cilindervormig reservoir met doorzichtige dekglazen aan de boven en onderkant, gevuld met twee vloeistoffen, bijvoorbeeld olie en water. De twee vloeistoffen zijn zo gekozen dat ze niet men-



Figuur 4. Stralengang door het focuspunt in het ideale geval (links) en in het geval van sferische aberratie (rechts). De stralen gaan niet langer meer door één punt.

Figuur 3. Dwarsdoorsnede van een dubbellaags optische schijf.



gen en door de oppervlaktenspanning zal het grensvlak tussen de twee vloeistoffen krom trekken en zo wordt dus een lens gevormd. Door nu een elektrische spanning aan te brengen op het oppervlak van het reservoir kan de oppervlaktenspanning beïnvloed worden, en dus ook de kromming van het grensvlak. Dit betekent dat de sterkte van de vloeibare lens te controleren is door de elektrische spanning die op de wanden van het reservoir wordt gezet. Er zijn verschillende toepassingen mogelijk van zo'n lens met variabele sterkte. Hierbij valt te denken aan miniatuur-camera's in mobiele telefoons met auto-focus of zelfs zoom-functie, en natuurlijk ook aan ons probleem van sferische aberratie gerelateerd aan dubbellaags schijven. De lezer vraagt zich misschien af, waarom geen drie lagen? Of vier? Of nog meer? Er zijn verschillende redenen aan te wijzen waarom dat vrij moeilijk is. Ten eerste betekent het stapelen van al die informatielagen dat het productieproces van een schijf gecompliceerder wordt dan van eenvoudige enkel of dubbellaags schijven. Of de productiekosten per schijfje in dat geval voldoende klein kunnen worden is nog niet duidelijk. Ook wordt het probleem van

de sferische aberratie groter omdat de afstand tussen de bovenste en onderste laag in een meer-laags schijf groter is dan tussen de twee lagen van een dubbellaags schijf. Tenslotte is er nog het probleem dat bij het uitlezen van één van de lagen ook licht dat gereflecteerd wordt van de andere lagen op de detector terecht komt. Het relatieve aandeel van deze stoorsignalen op de detector neemt uiteraard toe met het aantal lagen per schijfje, zodat het steeds moeilijker wordt om de stroom van bits foutloos uit het gemeten signaal te halen. Aan oplossingen voor deze problemen wordt door verschillende partijen gewerkt en wie weet zijn over enkele jaren vier, zes of acht-laags schijven te koop in de winkel met een capaciteit van meer dan 100 Gbyte.

Er is ook nog een andere methode om de derde dimensie van optische schijven te benutten, namelijk holografie. Hierbij wordt een totaal andere manier gebruikt om de informatie op te slaan. In plaats van het stapelen van in essentie tweedimensionale informatielagen, wordt nu één enkele laag met een dikte van enkele tienden mm gebruikt. In dit driedimensionale volume kunnen vele hologrammen worden ingebrand, waar-

bij elk hologram veel bits codeert. Hiermee kunnen in principe enkele honderden GBytes op een schijf met 12 cm diameter, d.w.z. net zo groot als CDs, DVDs, en BDs, worden gezet. De principes van holografische data-opslag zijn al zo'n 40 jaar bekend, maar geschikte materialen zijn pas enkele jaren beschikbaar, hetgeen de reden is voor een hernieuwde belangstelling voor deze technologie. De materialen die nu worden onderzocht zijn alleen "recordable", waarmee bedoeld wordt dat informatie één keer kan worden ingeschreven, maar niet meer worden gewist en overschreven met andere informatie. Het schrijven gaat als volgt (zie Figuur 5). Het licht uit een laser wordt in twee bundels gesplitst, de referentiebundel en de sig-

naalbundel. De signaalbundel wordt door een zgn. Spatial Light Modulator (SLM) gevoerd. Deze SLM bestaat uit een matrix van pixels, waarbij de transmissie van elk pixel apart kan worden ingesteld. De transmissie wordt of op de minimale of op de maximale waarde gezet. De SLM lijkt dus op een display zoals een LCD waarbij de grijswaarden niet gebruikt worden. Het schakbordpatroon wat zo als het ware op de signaalbundel gedrukt wordt representeert de informatie van het hologram. Aangezien er typische een miljoen pixels zijn, bevat elk hologram dus typisch een Mbit data. De SLM heeft een oppervlak van enkele cm<sup>2</sup>. Met een lens wordt dit verkleind tot enkele tienden mm ter plekke van het holografische medium. Daar overlapt de signaal-

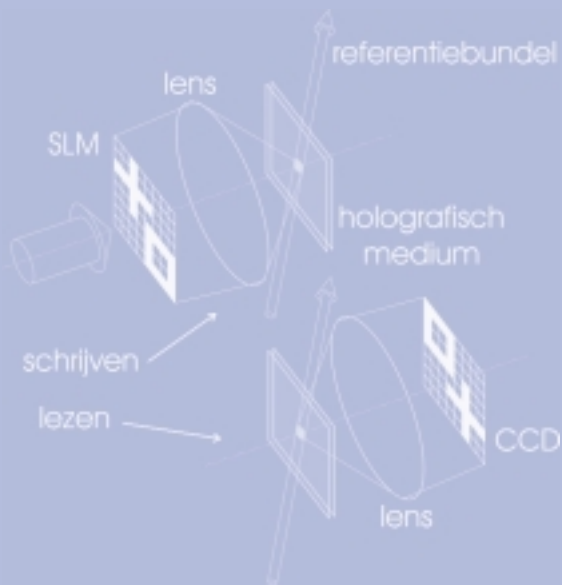
bundel met de referentiebundel en in het overlapgebied ontstaat een interferentiepatroon. Dit interferentiepatroon is een ingewikkelde driedimensionele verdeling van lichte en donkere gebieden. De precieze intensiteitsverdeling hangt af van het schakbordpatroon van de SLM. Het holografische materiaal is een materiaal wat uithardt onder invloed van belichting (een zgn. fotopolymeer), en dat zal in de lichte gebieden dus meer uitharden dan in de donkere. Op deze manier wordt het hologram ingebrand in een volume van enkele tienden mm lang, breed en hoog. Het volgende hologram, met een ander schakbordpatroon op de SLM wordt in dit zelfde kleine volume ingebrand, het daaropvolgende ook, enzovoorts, totdat het holografisch materiaal helemaal is uitgehard. Zo kunnen dus enkele tientallen tot honderden hologrammen opgeslagen worden, waarna het volgende volume aan de beurt is, net zo lang totdat de hele schijf beschreven is. Hierbij wordt voor elk hologram de hoek die de referentiebundel maakt met de optische as van de signaalbundel aangepast zodat de hologrammen gescheiden weggeschreven en uitgelezen kunnen worden. Tijdens de uitleesfase (zie Figuur 5) wordt de tak van de signaalbundel geblokkeerd zodat het holografische medium alleen belicht wordt met de referentiebundel. Door buiging aan het volume raster dat is ingebrand in het medium ontstaat aan de achterkant van het medium de oorspronkelijke signaalbundel. Deze bundel wordt door een lens opgevangen. Achter de lens vertoont het intensiteitsprofiel van de bundel het schakbordpatroon van de signaalbundel tijdens de schrijffase, en dit schakbordpatroon wordt door een CCD opgenomen. Uit het CCD-beeld kunnen dan de bits van het hologram gehaald worden. Door de hoek tussen de referentiebundel en de optische as van de signaalbundel aan te passen kan elk van de oorspronkelijk weggeschreven hologrammen geselecteerd

worden. Als de hele batch aan hologrammen is uitgelezen kan naar het naburige volume gestapt worden en begint het hele proces van voren af aan. Zoals eerder vermeld biedt holografie de mogelijkheid om de capaciteit van optische schijven met een conventioneel formaat sterk te vergroten. De grotere data-dichtheid kan ook worden toegepast om een kleinere schijf met vergelijkbare dichtheid te maken. Ook is het denkbaar dat de informatiedrager geen schijf meer is maar een kaart.

Dankwoord: Jean Schleipen en Frank Schuurmans worden bedankt voor hulp met de figuren. ♦

Samenvattend, de derde dimensie van optische schijven biedt grote mogelijkheden om de opslagcapaciteit te vergroten. De nieuwe dubbel-laags BDs geven al 50 GByte, en iets verder weg bieden meerlaags-technologie en holografie uitzicht op een capaciteit van honderden Gbytes op een schijf, meer dan 200 maal zoveel als een CD!

Figuur 5. Schematische voorstelling van holografische data-opslag.



Nederlandse Vereniging voor Fotonica tevens sectie Fotonica van de NNV en de KNCV  
Fotonica magazine wordt 4x per jaar uitgegeven.

Aanmelden kan op de volgende manieren:

- via de website <http://www.fotonica.nl>

- per e-mail aan [erwindus.dekker@hccnet.nl](mailto:erwindus.dekker@hccnet.nl) o.v.v. de gevraagde gegevens in dit formulier

- door onderstaand formulier te sturen naar NVvF p/a E. Dekker, Koninginneweg 236, 3078GS Rotterdam



A A N M E L D I N G S F O R M U L I E R

Naam: ..... Werkzaam bij: .....

Privé-adres: ..... Adres: .....

Postcode: ..... Postcode: .....

Plaats: ..... Plaats: .....

Telefoon: ..... Telefoon: .....

E-mail: ..... E-mail: .....

Gewenst verzendadres:  Privé  werk

Bezwaar tegen:  opname verzendadres in gepubliceerde ledenlijst

gebruik verzendadres voor mailing e.d. van derden, waarvan NVvF-bestuur denkt dat die in het belang van leden kan zijn

Lid NNV:  ja  nee Lid KNCV:  ja  nee

Wenst lid te worden van de Nederlandse Vereniging voor Fotonica inclusief abonnement op Fotonica Magazine à € 35,- per jaar.

Datum: ..... Handtekening: .....