

Krystaller som harddiske

Paul Michael Petersen, Carsten Dam-Hansen og Per Michael Johansen, Afdelingen for Optik og Fluid Dynamik, Forskningscenter Risø

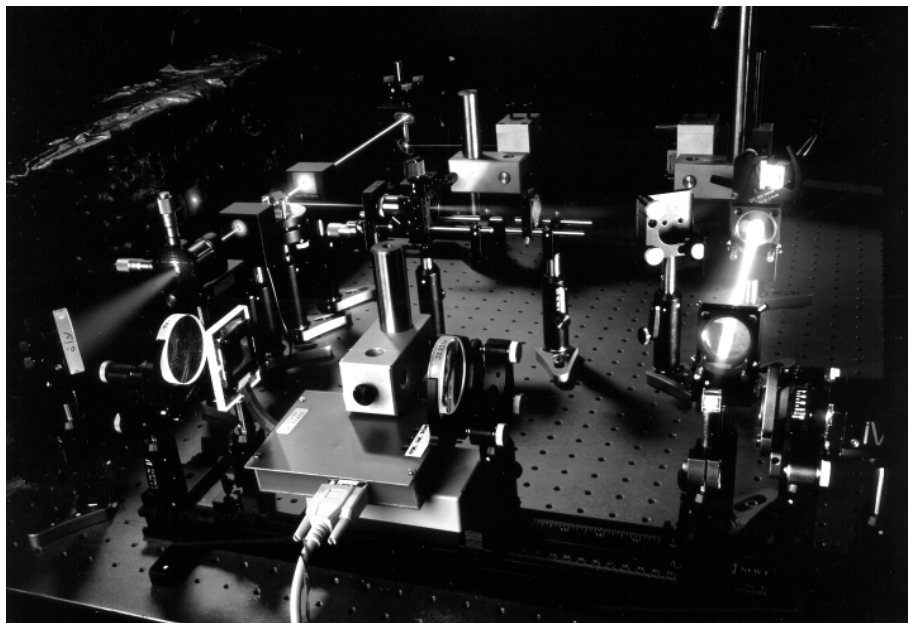
En ny type informationslagring med laserlys er ved at blive udviklet i disse år. På Forskningscenter Risø arbejder forskere med denne form for lagring i krystaller af lithiumniobat tilsat en smule jern. Informationen lagres ved hjælp af hologrammer og forskerne har vist, at denne form for lagring, i sammenligning med konventionelle lagringssystemer, giver meget høje datalagringskapaciteter og hurtige adgangs og overførselstider.

I de kommende år kan man forvente, at der kommer et hastigt stigende behov for lagring af information. Kan de konventionelle lagringssystemer der benyttes i dag tilfredsstille fremtidens informations-samfunds krav til lagring af data?

Konventionelle harddisk lagringssystemer, som anvendes i dag, har kapaciteter der nærmer sig 50 GBytes, og det synes tilstrækkeligt til at dække nutidens behov. Men udviklingen går stærkt, og det forventes, at i starten af det næste århundrede vil der opstå nye og hidtil ukendte behov, som ikke kan klares med disse systemer. Endvidere vil der komme helt nye krav til den hastighed, hvormed man kan overføre information. Nutidens "magnet drives" kan overføre 20 MB/sek med en adgangstid på ca. 10 msek. Også på dette område er der behov for systemer, der langt hurtigere kan overføre information.

Datalagring med laserlys

Holografisk datalagring af information i optisk ulineære materialer (materialer, hvor lysets hastighed i materialet ændre sig med lysets intensitet, hvilket ændre materialets brydningsindeks) er en ny lagringsform med ultra høje lagringskapaciteter, større end 100 GB, samt adgangstider på omkring 10 msek. Tillige giver denne optiske teknologi en hurtig dataoverførsel på omkring 1 GB/sek ved paralleludlæsning af data. Informationen, som skal lagres, bliver indkodet i en laserstråle ved hjælp af en særlig



På Forskningscenter Risø har man selv lavet en opstilling til datalagring i krystaller. (Foto: Udlånt af Paul Michael Petersen)

type skærm, og laserstrålen sendes herefter ind i en ulineær krystal, som f.eks. en krystal af typen lithiumniobat dopet med jern ($\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$).

Inde i krystallen vekselvirker laserlyset med en referencelaserstråle, og herved lagres informationen som et hologram, dvs. et 3-dimensionalt billede. Ofte benyttes kun et 2-dimensionalt billede ved lagringsprocessen. Men muligheden for lagring af 3-dimensionale billeder vil uden tvivl finde mange spændende anvendelser i fremtiden. Når informationen er lagret, kan den senere gendannes ved at referencelaserstrålen, med signalstrålen blokeret, sendes ind i krystallen. Herved udlæses informationen, og den kan, ved hjælp af et videokamera vises på en computer eller et tv.

Hvis man ændrer referencestråleens indfaldsvinkel med ca. $0,1^\circ$, kan der indlæses et nyt billede, som så kun kan udlæses ved denne nye indstilling af referencestrålen. Selvom billederne er lagret i samme volumen, kan de udlæses hver for sig. Det er den store nøjagtighed, man er i stand til at måle vinklen med, der gør det muligt at skrive mange hologrammer i den ulineære krystal. Metoden hedder vinkel-multipleksing, og det er muligt på denne måde at lagre mere end 10.000 hologrammer i det samme volumen af krystallen.

Hvert hologram indeholder information svarende til mere end 100 Mbytes. Da det er muligt at gemme mere end 10.000 hologrammer i 1 cm^3 lithiumniobat (LiNbO_3) krystal, kan man opnå lagringskapaciteter, som langt overstiger lagringskapaciteten i konventionelle harddiske og CD-ROM systemer. Informationen er imidlertid nu lagret på en ny form (et hologram), og det vil være nødvendigt at udvikle nye systemer, der kan bearbejde data lagret på denne form.

Ved elektronisk styring af laserstrålerne og brug af et videokamera til udlæsning af data opnås systemer med meget hurtige adgangstider og overførselstider. Fordelen ved holografisk datalagring i forhold til konventionelle lagringssystemer er netop det forhold, at man kan kombinere en meget høj datalagringskapacitet med hurtige adgangstider og overførselstider.

Mekanismen i krystallen

Den fysiske mekanisme, der gør at man kan lagre hologrammer i de ulineære krystaller, er, at lyset påvirker krystallens brydningsindeks (den fotorefraktive effekt). Effekten er relativ kompliceret, og den er endnu ikke forstået i alle detaljer. Fænomenet opstår i materialer, hvor elektrisk spænding ændre materialets

brydningsindeks (elektro-optiske materialer), og som samtidig har den egenskab, at de kan lede en strøm, når de belyses. Når informationen indlæses i krystallen med laserlys, vil elektronerne exciteres fra nogle urenhedscentre, som f.eks. jern i LiNbO_3 . Herefter vil elektronerne være frie til at bevæge sig under indflydelse af drift, diffusion samt lysinduceret strøm (den fotovoltaiske effekt).

De ioniserede urenhedscentre er fastsidende, og man vil derfor opnå en adskillelse af ladninger i krystallen. Den dannede ladningsgradient bevirker, at der dannes en elektrisk feltvariation, som via den elektro-optiske effekt, forårsager en variation i krystallens brydningsindeks. Herved er hologrammet blevet lagret som en brydningsindeks-variation (et fasehologram) inde i krystallen.

Risø datalagringsystem

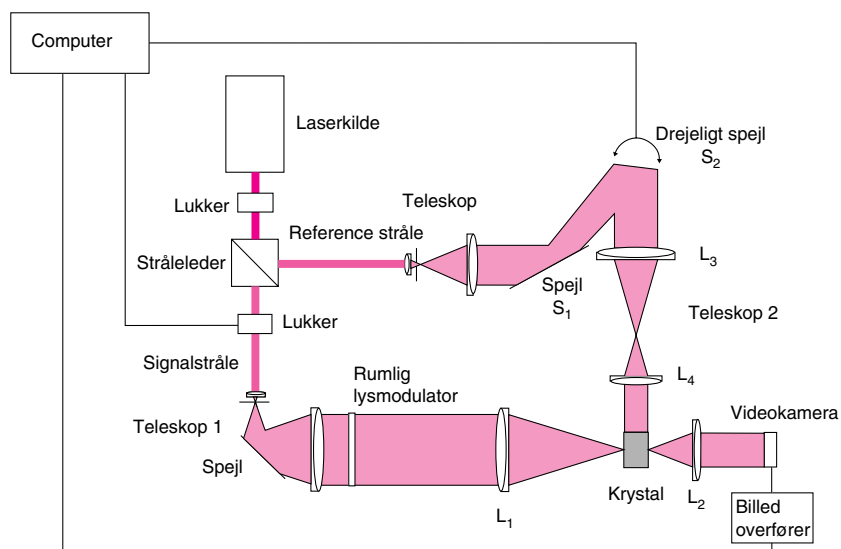
På Forskningscenter Risø har vi lavet en opstilling, hvor data kan indlæses i forskellige typer af fotorefraktive krystaller. I opstillingen, som er vist på billedet, undersøges de fundamentale mekanismer ved lagring af optisk information i disse krystaller. Figuren viser et diagram for opstillingen.

Laseren udsender grønt lys ved en bølgelængde på 532 nm. Udviklingen af denne type laser går imod mindre og mindre enheder, der vil tillade meget kompakte og robuste systemer. Ved laserstrålens passage gennem en stråledeler, deles strålen op i de to stråler, der vekselvirker i krystallen. Den ene stråle, signalstrålen, udvides til en diameter på ca. 40 mm i et teleskop (1).

Den information, der ønskes lagret i krystallen, påtrykkes signalstrålen ved en rumlig variation i intensiteten. Analog information kan påtrykkes ved at sende strålen igennem et lysbillede. Digital information i form af et 2-dimensionalt billede kan påtrykkes ved at sende strålen igennem en rumlig lysmodulator, der består af mange små enheder, som elektrisk kan styres til kontrol af den transmitterede intensitet. Information udlæses på den rumlige lysmodulator fra computeren med en almindelig skærm.

En linse (L_1) benyttes herefter til at fokusere strålen, der indeholder den optiske information, i krystallen. En linse (L_2) på den anden side af krystallen benyttes til afbildning over på et videokamera.

Den anden stråle, referencetrålen, udvides til en diameter på ca. 15 mm i teleskop 2 og sendes via et spejl (S_1) over på et computerstyret bevægeligt spejl (S_2). Strålen afbildes derefter igennem teleskopet, der udgøres af linserne L_3 og L_4 . På denne måde rammer referencetrålen krystallen på det samme sted, selv om kipspejlet drejes. Ved hjælp af de computerstyrede lukkere kontrolleres belsningen af krystallen.



Princippet i opstillingen på billedet. (Grafik: SL)

Skrivning foregår ved, at begge stråler er tændt og referencetrålen indstillet til en bestemt indfaldsvinkel på krystallen. Her vil de to stråler vekselvirke og danne et hologram af billedet indlæst på den rumlige lysmodulator. Når strålerne slukkes, forbliver hologrammet lagret i krystallen. Ved udlæsning benyttes kun referencetrålen. Denne vil vekselvirke med hologrammet i krystallen og rekonstruere signalstrålen med billedinformation over på videokameraet. Herfra overfører en såkaldt frame grabber informationen til computeren.

Sammenligner man nu data fra det udlæste hologram med de oprindelige data fra den rumlige lysmodulator, kan vi bestemme fundamentale egenskaber, som f.eks. antallet af fejl i de holografisk lagrede data. Det er vigtigt, at referencetrålen har nøjagtig den samme indfaldsvinkel, som den havde under indlæsningen. Blev indfaldsvinklen ændret med bare 0.05° , er udlæsning af lagret data ikke muligt.

Det holografiske lagringssystem kontrolleres fuldstændigt af et windows-baseret styringsprogram, som er udviklet på Forskningscenter Risø. Fra computeren kan informationen indlæses i den ulineære krystal, og et givent billede kan lokaliseres og udlæses af krystallen. Endvidere er opstillingen i stand til at indspille og afspille filmsekvenser.

International initiativer

Der er store internationale initiativer i gang inden for holografisk datalagring. I Frankrig, England og Tyskland er der nationale aktiviteter, og i Japan er flere store firmaer ved at udvikle nye lagringssystemer til holografisk lagring. I USA har man sammenlagt to store konsortier med dette formål. Det ene hedder "PRISM" (Photorefractive Information Storage Materials) og har et budget på ca. 75 millioner kr. over $2\frac{1}{2}$ år. Programmet er støttet af de multinationale koncerner Kodak og IBM. Det andet konsortium hedder "HDSS" (Holographic Data Storage Systems) og er støttet med ca. 200

Ring og hør om:

- 💧 Hydrogeologiske undersøgelser
- 💧 Geofysik (TEM, MEP, slæb m.m.)
- 💧 Geokemiske undersøgelser
- 💧 Grundvandsmodeller
- 💧 Forureningsundersøgelser
- 💧 Afværgeprojekter

Kemp & Lauritzen

Vand & Miljø

Michael Drewsens Vej 23 - 8270 Højbjerg - Tlf.: 8629 1266 - Fax: 8629 9372
Roskildevej 12 - 2620 Albertslund - Tlf.: 4366 8500 - Fax: 43668510

millioner kr over 5 år. Heraf kommer 50% fra industrien og 50% fra de nationale forskningsråd. IBM regner med inden år 2000 at have lanceret et kommercielt holografisk PC-datalagringsssystem med 128 Gbytes hukommelse og overførings-hastigheder på 1 Gbit pr. sekund.

Der foregår tillige en intens forskning i nye materialer, som udviser stor lysfølsomhed samtidigt med, at de kan fremstilles med høj optisk kvalitet i store enkeltkrystaller. IBM har de sidste år foretaget en intensiv undersøgelse af forskellige holografiske lagringsmaterialer, der er blevet testet under forskellige operationsbetingelser. Resultatet af denne forskning har været, at man har udvalgt fotorefraktivt LiNbO_3 dopet med små mængder af jern (i størrelsesorden nogle ppm), som det, for nærværende, bedst egnede lagringsmateriale.

På basis af undersøgelser af optisk kvalitet, lagringsstabilitet ved fiksering af hologrammer, samt antallet af fejl i lagret data for forskellige lagringsystemer har man konkluderet, at LiNbO_3 er et unikt materiale til lagring af optisk information. Flere internationalt anerkendte forskere tror i dag, at dette materiale vil kunne komme til at få samme betydningsfulde status inden for optikken, som silicium har haft inden for elektronikken. LiNbO_3 er et materiale vi kender godt på Risø, idet vi har benyttet det til fremstilling af bølglængdefiltre med en meget høj bølglængde-selektivitet (i størrelsesorden 1 Å). Endvidere har vi været de første til at påvise en kraftig indvirken på den fotorefraktive effekt af et ydre påtrykt magnetfelt i dette materiale.

Ulineær krydstale i holografisk lagring

Sammen med en forskningsgruppe på Danmarks Tekniske Universitet har vi opdaget en ny effekt *ulinear krydstale mellem gitre*, som har stor betydning for data-lagringstætheden i fotorefraktive materialer.

Fænomenet betyder, at tilstedeværelsen af ét hologram kan påvirke diffraktions-effektiviteten i et andet hologram op til 50%. Der arbejdes for tiden i Risø-gruppen med at fastlægge de fundamentale egenskaber ved denne nye type af krydstale, og det forventes, at resultaterne af disse undersøgelser kan føre til lagringsystemer med færre fejl i de lagrede data end de hidtil opnåede. Endvidere arbejdes der med at udnytte effekten til at genopfriske lagret information.

Den ikke-lineære krydstale mellem holografisk information undersøges – også teoretisk – ud fra en løsning af det ikke-lineære sæt af ligninger der styrer processen. På grund af kompleksiteten af løsningen er der ikke andre forskningsgrupper, der er kommet frem med en teoretisk løsning af problemet. Vi forventer, at vi inden

projektet udløber i marts 1998, vil have udviklet et teoretisk design program, som vil kunne benyttes til at designe kommercielle holografiske lagringsystemer, hvor krydstale mellem lagret information er minimeret.

Magnetfelt effekter

Gennem samarbejde med forskere fra Institute of Crystallography i Moskva har vi startet nye og lovende undersøgelser af et nyt fotorefraktivt materiale med den kemiske formel $\text{La}_3\text{Ga}_3\text{SiO}_{14}:\text{Pr}^{3+}$. Vi har, som de første, demonstreret skrivning af hologrammer i dette materiale.

Den fotorefraktive følsomhed og diffraktions effektiviteten af hologrammerne i den første krystal er dog for lav til, at materialet umiddelbart kan udkonkurrere LiNbO_3 . Der pågår et videre optimeringsarbejde. Denne nye krystal udviser, ligesom LiNbO_3 , en fotovoltaisk effekt. I modsætning til andre krystaller er vi her i stand til, at adskille de to typer elektron-transport-mekanismer, diffusion og fotovoltaiske effekt. Vi kan således opnå en mere detaljeret forståelse af de fysiske mekanismer, der er ansvarlige for den fotorefraktive effekt. I projektførelsen vil vi undersøge det nye materiales potentiale som lagringsmedium i holografiske data-lagringsystemer.

Lagringsproces med magnetfelter

Under vores arbejde med LiNbO_3 har vi, som de første, påvist, at ved at påtrykke krystallen et ydre magnetfelt er det muligt at påvirke den fotovoltaiske effekt, der er ansvarlig for skrivningen af hologrammer.

Med et moderat magnetfelt på 0.23 T har vi målt en forøgelse af diffraktionseffektiviteten på 60 %. Dette er vist i en speciel skriveopstilling, hvor de to skrivestråler ikke interfererer, men udelukkende vekselvirker igennem den her omtalte fotovoltaiske effekt. Den magnetiske vekselvirkning forekommer, idet elektronerne, der bidrager til den fotovoltaiske effekt, har en meget høj mobilitet og derfor lader sig påvirke kraftigt af magnetfeltet. Sådanne skrivekonfigurationer vil blive undersøgt i det holografiske datalagrings-system omtalt ovenfor og sammenlignet med standard konfigurationer. I den nye skrivekonfiguration vil vi undersøge magnetfeltets påvirkning og formodede forbedring af lagringsprocessen. ■