

HOLOGRAFIKUS MEMÓRIA RENDSZER
TÁROLÓ ANYAGÁNAK KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA

PhD értekezés tézisei

KEREKES ÁRPÁD

TÉMAVEZETŐ: DR. LŐRINCZ EMŐKE DOCENS

BME, TTK, Atomfizika Tanszék, 2003

Bevezetés

Doktori értekezésem tárgya a holografikus adattárolás évtizedek óta a kutatások homlokterében van éppen a benne rejlő távlatok miatt. A tároló anyag 3 dimenziós tulajdonságát kiaknázza egy speciális rögzítési módszer, a multiplexelés, mellyel lehetőség van ugyanabba a térfogatelembe több hologramot beírni, így növelvén a kapacitást, vagy akár hardveresen titkosítani is. Ám a komplex, több bonyolult eszközt igénylő technika eddig rendre a laborok tesztpéldányainál megrekedt. Mindenki egyetértett abban, hogy az elgondolás jó, de amíg nem csökken az igényelt optikai és optoelektronikai alkatrészek ára és nincs megfelelő tároló anyag, addig nehéz a továbblépés. A XXI. század elejére azonban az optoelektronika és az anyagtudomány kezd olyan eredményeket szolgáltatni, amik reménnyel kecsegtetnek a jövőt illetően.

A Budapesti Műszaki Egyetem Atomfizika Tanszékén már több éve folyik az Optilink céggel közösen egy optikai memória kártya rendszer kutatása és fejlesztése [1,2,3,4]. Az adattárolás alapja a dániai RISØ kutatóintézet által gyártott azobenzol oldalláncú poliészter anyag [5], amelyben megfelelő hullámhosszú lineárisan poláros fény abszorpciója következtében anizotrópia jön létre (fotoanizotrópia). Ilyen tulajdonsággal rendelkező anyag alkalmas polarizációs hologram rögzítésére [6]. A polarizációs holográfia sok tekintetben különbözik a hagyományos holográfiától. A leglényegesebb eltérés, hogy a polarizációs hologram a közönséges intenzitás moduláción kívül a polarizációs irány szerinti modulációt is rögzíti, ami a fotoanizotróp tároló anyag tulajdonságaiból adódik.

Előzmények

Holme és társai korábban kísérletileg és elméletileg is vizsgálták az azobenzol oldalláncú poliészterben létrejövő holografikus diffrakciót [7,8]. Polarizációs holografikus beírás során azt tapasztalták, hogy anizotróp rácson kívül felületi rács is kialakulhat. Ezt atomerő mikroszkópos mérésekkel is igazolták [9]. Alkottak egy modellt, mely jól leírta a kis határfokú, kis szögű beíró nyalábokkal létrehozott holografikus diffrakciót. Ennek segítségével sikerült meghatározni az anizotróp és a felületi rács következtében létrejövő fázistolást és a belőlük eredő diffrakciós hatásfokot. A felületi rácson való diffrakció azonban érzéketlen a kiolvasó nyaláb polarizációjára, ami polarizációs holográfiát felhasználó adattároló rendszer esetén nem kívánatos. A modell megalkotói azonban még nem vizsgálták, milyen effektus tapasztalható akkor, ha kemény védőréteges mintát alkalmaznak. A védőréteg használata mindenképpen célszerű, mert fizikailag és kémiaiilag is védi a tároló réteget. Fontos kérdés tehát, hogyan és milyen mértékben alakul ki ilyenkor a felületi rács?

Az optikai adattárolók esetén a tároló anyag fényszóró képessége komoly korlátozó tényező [10]. Ez a tulajdonság még nagyobb jelentőséggel bír a holografikus adattároló anyagok esetén [11], ahol a diffrakciós hatásfok meg kell haladja a szórt fény hatásfokát a megfelelő jel-zaj viszony érdekében. Polarizációs holografikus optikai adattárolóknál még a szórt fény polarizációja is kardinális szempont. Ellentétes irányba forgó cirkulárisan polarizált tárgy és referencia

nyalábokkal történt hologram rögzítés esetén a diffraktált hologram polarizációja ellentétes a kiolvasó referencia nyaláb polarizációjához képest. Lényeges szempont tehát, mennyire szórja az amorf és folyadékkristályos polimer a fényt? Mi a fényszórás abszolút nagysága, polarizációs viszonya, esetleges összefüggése az anyag összetételével, szerkezetével?

Az optikai adattárolásban az adatsűrűség növelésének egyik lehetősége az alkalmazott hullámhossz csökkentése, hiszen ez csökkenti a fénydiffrakció korlátozó szerepét, így kisebb az optikai bitméret. A holografikus optikai adattárolásban egy további kapacitásnövelő módszer a multiplexelés [12], amely egy területre hologramok többszörös rögzítését jelenti. A holografikus adattároló anyag multiplexelhetőségét az $M\#$ (M -szám) adja meg, ez azt határozza meg, hogy adott hologram hatásfok esetén hányszor lehet multiplexelni. A kapacitásnövelés érdekében célszerű megvizsgálni az általunk használt adattároló polimer érzékenységet és multiplexelhetőségét a jelenleg alkalmazottnál (532 nm) kisebb hullámhosszon (407 nm).

Holografikus adattárolásban a hologram méretének csökkentésére gyakran alkalmazzák a Fourier holografikus beírást [13], tehát az adathordozó tárgy optikai Fourier transzformáltját rögzítik a tároló anyagban. Ennek az a hátránya, hogy a Fourier tér 0. és magasabb rendjeiben éles intenzitás csúcsok jelennek meg, amik telítésbe viszik az anyagot, lerontva annak rögzítési képességét. Ennek elkerülése érdekében véletlen fázisú maszkot tesznek a tárgynyaláb útjába [13], mely megzavarván a tárgy pixelekről jövő sugarak interferenciáját, csökkenti a csúcs intenzitását a Fourier síkban. Másik módszer a telítés elkerülésére a tároló anyag kimozdítása a Fourier síkból [13], ez azonban azzal a következménnyel jár, hogy nő a hologram mérete, így csökken az adatsűrűség. A beíró rendszer optimalizálható a tároló anyag telítődési viselkedésének ismeretében. A telítődés figyelembevételének elméleti leírásához célszerű kísérleteket végezni nagy intenzitásarányú tárgy és referencia síkhullámok segítségével, melyek alapján az elméleti modell igazolható. .

Eredmények

Doktori munkám célja az Optilink - BME Atomfizika tanszék által kifejlesztett holografikus memória kártya rendszer tároló anyagának kísérleti vizsgálata volt. Ennek keretében az előzményekben említett kérdésekre kerestem és adtam választ elvégezve a javasolt kísérleti vizsgálatokat. Az eredmények 4 tézispontban foglalhatók össze:

1. A Holme és társai által alkotott és kísérletileg igazolt modell felhasználásával megmutattam, hogy amorf azobenzol polimerben a holografikus expozíció során keletkező anizotrop rács gyorsabban alakul ki, mint a felületi rács. A védőréteges mintákon elhanyagolható mértékben alakul ki felületi rács, mert a védőréteg nagyrészt megakadályozza annak kialakulását. Bebizonyítottam, hogy amennyiben csak anizotrop rács jön létre, akkor a tároló anyag újraírható, illetve a referencia nyalábbal törölhető.[14, 15]
2. Vizsgáltam az amorf illetve folyadékkristályos adattároló polimer vékonyrétegek fényszórását és a szórt fény polarizációját a szórási szög

függvényében. Az amorf polimerek több nagyságrenddel kevesebb fényt szórnak, mint folyadékkristályos társaik. Utóbbiaknál a fő szóró centrumok a folyadékkristály doménei. A domének méretét meghatároztam polarizációs mikroszkóppal, illetve a fényszórásból indirekt módon visszszámolva. A doméneket réseknek tekintettem, a rajtuk diffraktálódó fény hozza létre a szórási szög spektrum jellegzetes képét a $\pm 10-80^0$ -os tartományban. A modell a kísérletekkel jó egyezést mutatott, tapasztalatok szerint a fényszórási mérésekből meghatározható a domének méreteinek alsó tartománya. Megmutattam, hogy amorf polimereknél a cirkuláris polarizációjú kiolvasó nyalábbal ellentétes polarizációjú szórt fény hatásfoka elhanyagolható a vele megegyező polarizációjú szórt fény hatásfokához képest, folyadékkristályos polimerek esetén az ellentétes polarizációjú szórt fény hatása olyan nagy mértékű, hogy az ellentétes polarizációjú hologram hatásfokát meghaladhatja. [16, 17]

3. Megvizsgáltam az adattároló anyag érzékenységét és multiplexelhetőségét a jelenleg alkalmazottnál (532 nm) kisebb hullámhosszon (407 nm). Megmutattam, hogy az anyag érzékenysége a polimer fajta függvényében 3-14-szer nagyobb alacsonyabb hullámhosszon, a multiplexelhetősége azonban egyforma mindkét hullámhosszon, ami azt jelenti, hogy kisebb hullámhosszon ugyan gyorsabban írható az anyag, de hamarabb is törölhető a referencia nyalábbal. Az $M\#$ értékének maximuma 0,32 volt, ami 0,1% hologram hatásfok esetén 10^* multiplexelést jelent. [18]
4. Vizsgáltam az adattároló anyag viselkedését a Fourier holografikus beírás során létrejövő szélsőséges intenzitásarányok esetén. A jelenség kísérleti modellezésére nagy intenzitásarányú ($I_{\text{árgy}}/I_{\text{referencia}} \leq 500$) síkhullámokkal hoztam létre hologramokat. Bebizonyítottam, hogy növekvő intenzitásarány esetén az anyag egy optimális arányon túl már nem címezhető meg, telítődik, mely a diffrakciós hatásfok csökkenését eredményezi. Ez az optimális intenzitásarány fordítottan arányos a referencia nyaláb intenzitásával. Kollégáim a mérési eredményeket elméletileg közvetlenül alátámasztották, és a holografikus memória kártya rendszer modellel kibővített szimulációjával közvetett módon is igazolták a kísérletek eredményeit. [17, 18, 19, 20, 21, 22]

Hivatkozások

A saját publikációkat dőlt betűs szöveg jelöli.

1. *E. Lőrincz, F. Ujhelyi, P. Koppa, A. Kerekes, G. Szarvas, G. Erdei, J. Fodor, Sz. Mike, A. Sütő, P. Várhegyi, P.S. Ramanujam, S. Hvilsted*, "Read/write demonstrator of rewritable holographic memory card system", in *Optical Data Storage 2001*, Terril Hurst, Seiji Kobayashi, Editors, Proc. of SPIE Vol. 4342, pp. 566-573 (2001)
2. *E. Lőrincz, G. Szarvas, P. Koppa, F. Ujhelyi, G. Erdei, Sz. Mike, A. Sütő, P. Várhegyi, Sz. Sajti, Á. Kerekes és P.S. Ramanujam* „Different solutions of high density holographic data storage”. Meghívott előadás a „Kick Off Meeting of the COST Action P8”: Materials and Systems for Optical Data Storage and Processing konferencián, Berlin (2002)

-
3. E. Lőrincz, G. Szarvas, F. Ujhelyi, P. Koppa, G. Erdei, A. Sütő, P. Várhegyi, Sz. Sajti, P.I. Richter, P.S. Ramanujam, "Polarisation holographic data storage system", appears in *Springer series of Optical Sciences* (2004)
 4. E. Lőrincz, G. Szarvas, P. Koppa, F. Ujhelyi, G. Erdei, A. Sütő, P. Várhegyi, Sz. Sajti, Á. Kerekes, T. Ujvári, P. S. Ramanujam, "Polarization holographic data storage using azobenzene polyester as storage material", invited paper at *Photonic West, Optoelectronics 2003*, 25-31 January 2003. San Jose, California, USA, published in *Proc. of SPIE 4991 Organic Photonic Materials and Devices VI.*, J. G. Grote, T. Kaino editors, pp. 34-44 (2003)
 5. S.Hvilsted, F.Andruzzo, P. S. Ramanujam, „Side-chain liquid-crystalline polyesters for optical information storage” *Opt. Lett.* 17, pp. 1234-1236 (1992)
 6. Sh.D. Kakichashvili „Method for phase polarization recording of holograms” *Sov. J. Quant. Electron.* 4. p795 (1974)
 7. N. C. Romer Holme: *Photoinduced Anisotropy, Holographic Gratings and Near Field Optical Microscopy in Side-Chain Azobenzene Polyesters*, Ph.D. Thesis, Part 3. Risoe National Laboratory, Roskilde, Denmark (1997)
 8. N. C. R. Holme, L. Nikolova and P.S. Ramanujam, S. Hvilsted, “An analysis of the anisotropic and topographic gratings in side-chain liquid crystalline azobenzene polyester” *Appl. Phys. Lett.* 70. 12 , pp. 1518-1520 (1997)
 9. P.S. Ramanujam, N. C. R. Holme, “Atomic force and optical near-field microscopic investigations of polarization holographic grating in a liquid crystalline azobenzene side-chain polyester” *Appl. Phys. Lett.* 68. 10 (1996)
 10. Ch. Peng, M. Mansuripur „Sources of Noise in Erasable Optical Disk Data Storage” *App. Opt.*, 37., 5 pp. 921-928 (1998)
 11. M. Lundquist, C. Poga, R. G. DeVoe, Y. Jia, W. E. Moerner, M.-P. Bernal, H. Coufal, R. K. Grygier, J. A. Hoffnagle, C. M. Jefferson, R. M. MacFarlane, R. M. Shelby, G. T. Sincerbox, „Holographic digital data storage in a photorefractive polymer” *Opt. Lett.* 21 pp. 890-892 (1996)
 12. H. J. Coufal, D. Psaltis, G. T. Sincerbox (Eds.), *Holographic Data Storage, Part I, Volume Holographic Multiplexing Methods*, pp.21-63, Springer (2000)
 13. M. P. Bernal, G. W. Burr, H. Coufal, “Experimental study of the effects of a six-level phase mask on a digital holographic storage system” *Appl. Opt.* 37. 11 (1998)

Tézispontokhoz kapcsolódó saját publikációk

14. Á. Kerekes, Sz. Sajti, E. Lőrincz, S. Hvilsted, P. S. Ramanujam, *Rewritable azobenzene polyester for polarization holographic data storage*, in *Holography 2000*, Editors: Tung H. Jeong, Werner K. Sobotka, *Proc. of SPIE* 4149 pp.324-331 (2000)
15. Sz. Sajti, Á. Kerekes, M. Barabás et al. “Simulation of erasure of photoinduced anisotropy by circularly polarized light”, *Opt. Comm.* 194(4-6), pp.435-442 (2001)

-
16. *Á. Kerekes, E. Lőrincz, P. S. Ramanujam, S. Hvilsted: "Light scatter in azobenzene side-chain polyesters used for holographic data storage", Opt. Comm. 206/1-3, pp.57-65 (2002)*
 17. *P. S. Ramanujam, S. Hvilsted, A. Matharu, L. Nedelchev, A. Kerekes, E. Lőrincz, " Azobenzene polyesters for polarization holographic storage", appears in Springer series of Optical Sciences (2004)*
 18. *Á. Kerekes, E. Lőrincz, Sz. Sajti, P. Várhegyi, P. S. Ramanujam, S. Hvilsted, Dynamic behavior of azobenzene polyester used for holographic data storage, in Applications of Ferromagnetic and Optical Materials, Storage and Magnetolectronics, Editors: M. Wuttig, L. Hesselink, H. J. Borg, MRS Proceedings 674 V3.4 (2001)*
 19. *P. Várhegyi, Á. Kerekes, Sz. Sajti, P. Koppa, E. Lőrincz, G. Szarvas, P.S. Ramanujam, S. Hvilsted and P. Richter "Nonlinear effect in azobenzene polymers used for polarization holography; experiments and theoretical modeling" Poszter a Cost P2 konferencián, Budapest (2001)*
 20. *Sz. Sajti, Á. Kerekes, P. S. Ramanujam, E. Lőrincz „Response function for the characterization of photo-induced anisotropy in azobenzene containing polymers” Appl. Phys. B 75, pp.677-685 (2002)*
 21. *P. Várhegyi, Á. Kerekes, Sz. Sajti, F. Ujhelyi, P. Koppa, G. Szarvas, E. Lőrincz, "Saturation effect in azobenzene polymers used for polarization holography", Applied Physics B, 76 (4), pp. 397-402 (2003)*
 22. *Sz. Sajti, Á. Kerekes, E. Lőrincz, P.S. Ramanujam, "Description of photo-induced anisotropy in azo-benzene side-chain polyesters", oral presentation at the E-MRS Spring Meeting 2002, June 18 - 21, 2002, SYMPOSIUM F, Organic Materials for Device Applications, Synthetic Metals, 138 (1-2), pp. 79-83, JUN 2 (2003)*