

Polarizációs holografikus adattároló rendszer kísérleti megvalósítása

PhD téziszfüzet

Ujhelyi Ferenc

Témavezető: Dr. Lőrincz Emőke



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Atomfizika Tanszék

2006

Bevezetés

A számítástechnika fejlődésével az egyre növekvő adatmennyiség tárolásának megoldása folyamatos kihívás az adattárolási módszerek fejlesztőinek és a készülékek gyártóinak.

A holográfiának az adattárolás szempontjából számos előnyös tulajdonsága van:

- Az információt jelentő fényhullámok rögzítése redundáns,
- Térfogati adattárolás miatt az elérhető adatkapacitás nagyobb,
- Párhuzamos adatkezelés lehetséges a tárgynyaláb adatfüggő térbeli modulációjával,
- Adott térfogatban tárolt adat mennyisége növelhető multiplexeléssel,
- A tárolt információ fizikai titkosítása lehetséges.

1963 óta, amikor van Heerden [1] megállapította, hogy az interferencia mintázatok tárolásával az elméletileg elérhető térfogati adatsűrűség $1/\lambda^3$, számos rendszer született ennek elérésre. A holografikus adattárolási módszerek jelentős fejlődésen mentek át, aminek legtöbbször a módszerek alapjául szolgáló újabb tároló anyagok kifejlesztése volt az oka [2].

Ebben a dolgozatban ismertetésre kerülnek a polarizációs holográfián alapuló adattárolásban elért eredményeim. Munkámat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Atomfizika Tanszéke és az Optilink Rt. között létrejött együttműködés keretében végeztem, aminek a célja egy új, polarizációs holográfiát alkalmazó adattárolási módszer kifejlesztése volt azobenzol oldalláncos poliészter tárolóanyaggal ellátott memória kártyához.

A kutatások előzménye

Az elméleti megoldás a fény lokális polarizációjának rögzítésével készített hologramok írásához és rekonstruálásához már a 70-es évek közepén megszületett [3]. Az új holografikus technológia - a polarizációs holográfia - alapja a fotoindukált anizotrópia. Ortogonálisan cirkuláris polarizációjú nyalábokkal létre hozott vékony hologram esetén a hologram kiolvasásakor csak egy diffraktált rend alakul ki, aminek a diffrakciós határfoka elméletileg akár 100% is lehet [4]. Ezek a tulajdonságok előnyösek a módszer adattárolásban való felhasználása esetén.

A korábban említett együttműködés a dán Risoe Laboratórium által kifejlesztett azobenzol oldalláncos poliészter tárolóanyag alkalmazására épült. A tárolóanyag kísérleti és

elméleti vizsgálatából is készült PhD disszertáció [5, 6]. Egy Fourier transzformációs elven alapuló modell is készült, amelyik lehetővé teszi polarizációs hologramok írására alkalmas tároló anyagok viselkedésének szimulációját különböző optikai rendszerben. A modellel kapcsolatosan is készült egy PhD disszertáció [7].

Célkitűzések

A munkám célja a polarizációs hologramok, különösképpen az azobenzol oldalláncos poliészterekben létrehozhatók, adattárolásra való felhasználhatóságának vizsgálata. Az optimális minta kialakítás és a hozzá kapcsolódó optikai rendszer meghatározása. A holográfia korábban említett előnyös tulajdonságainak kihasználásával olyan módszerek kidolgozása, amelyekkel megvalósítható adattárolásra alkalmas polarizációs hologramok írása. Továbbá a hologramok nem törlő kiolvashatóságának és fizikai titkosításának vizsgálata.

Tézisek:

1. Megmutattam, hogy az azobenzol oldalláncos polimerekben polarizált fény hatására létrejövő indukált anizotrópia, ami a polarizációs hologramok alapja, alkalmas kiterjedt tárgy hologramjának rögzítésére és ilyen módon digitális adatok tárolására is. Meghatároztam a rendelkezésre álló azobenzol oldalláncos polimerekben az adattároláshoz szükséges polarizációs hologramok elkészítésének optimális paramétereit, az elérhető felbontást, a minta optimális vastagságát, beállítottam a Fourier sík intenzitás modulációjának csökkentését a tárolóanyag dinamikai tartományához. Így megalapoztam egy optikai rendszer kifejlesztését, amely képes kétdimenziós bináris intenzitás eloszlásba kódolt információ tárolására.[8]

2. Megmutattam, hogy vékony ($\sim 1\mu\text{m}$) azobenzol oldalláncos polimer tárolóanyaggal bevont holografikus minta azonos területére polarizációs holográfiával több hologram is írható, azaz multiplexelhető. A Bragg szelektivitás hiánya miatt, ha a tárgynyalábok egymással nem átfedő térszögekből érkeznek, akkor az egyes kiolvasott hologramok szelektíven detektálhatóak. Az azobenzol polimerekbe írt polarizációs hologramok multiplexeléséhez megfelelő írási stratégiát dolgoztam ki. Az egyes hologramokat időben egymást követően, egyre csökkenő expozíciós idővel beírva, a hologramok azonos diffrakciós határfokúak és minőségűek lesznek. Tízszeres multiplexelést valósítottam meg. [9]

3. Kidolgoztam az ún. reflektált-transzmissziós holografikus elrendezést, amely felhasználja a transzmissziós és reflexiós holográfia előnyeit és alkalmas azobenzol oldalláncos polimerekhez. A tárolóanyag mögött egy reflektáló réteg van, ami a tárolóanyagon áthaladó nyalábokat visszatükrözi, így az író, rekonstruáló és rekonstruált nyalábok a tárolóanyag ugyanazon oldalán vannak. Ily módon a teljes optikai rendszer a tároló anyag (pl.: kártya) egyik oldalán helyezkedik el, ami lehetővé teszi a rétegrendszer alatti hordozó optikailag tetszőleges megválasztását. A rekonstruált és referencia nyalábok szétválasztásra olyan módszert javasoltam, mely az igen nagy intenzitás arány (10^{-6}) ellenére jó jel/zaj viszonytal (>100) lehetővé teszi a rekonstruált nyaláb érzékelését. [10, 11, 12, 13, 14]

4. Megmutattam, hogy a vékony holografikus mintába írt polarizációs hologram kiolvasható a beíró nyalábtól eltérő hullámhosszú kiolvasó nyalábbal, így kihasználható a tároló anyag abszorpciójának változása hullámhossz függvényében, ami lehetőséget ad a hologram nem törlő kiolvasására. Továbbá kiszámoltam és kísérletileg igazoltam a diffraktált nyaláb terjedési irányának hullámhossz eltéréseiből eredő megváltozását, ami lehetővé teszi, hogy a széles szögspektrumú, kiterjedt tárgy rekonstruálásakor keletkező szögnagyítás megfelelően korrigálható legyen. Ilyen elven működő 532nm hullámhosszon beírt hologramokat 670 nm-en kiolvasó prototípussal igazoltam a számítások eredményét. [15, 16]

5. A referencia nyaláb térbeli fázismodulációját alkalmaztam a vékony hologramban tárolt információ kódolásához. A Bragg szelektivitás hiánya miatt olyan referencia nyalábot alkalmaztam, amelynek a hullámfrontja mindenütt sík, így a parazita nyalábok nem jelennek meg. A kódolást a referencia nyalábon belüli meghatározott méretű véletlenszerűen elhelyezkedő területek fázistolásával valósítottam meg. Különböző elemméretű fáziskóddal modulált referencia nyalábbal rögzítettem reflektált transzmissziós hologramokat, amelyekkel különböző számú kódkombinációt lehet előállítani (2^9 , 2^{21} , 2^{49}). Megmutattam, hogy a kiolvasáshoz szükséges kódolt referencia pozícionálási pontosság az alkalmazott elemmérettől és a pozícionálási hiba irányára merőleges fázishatárok számától függ. [15, 16]

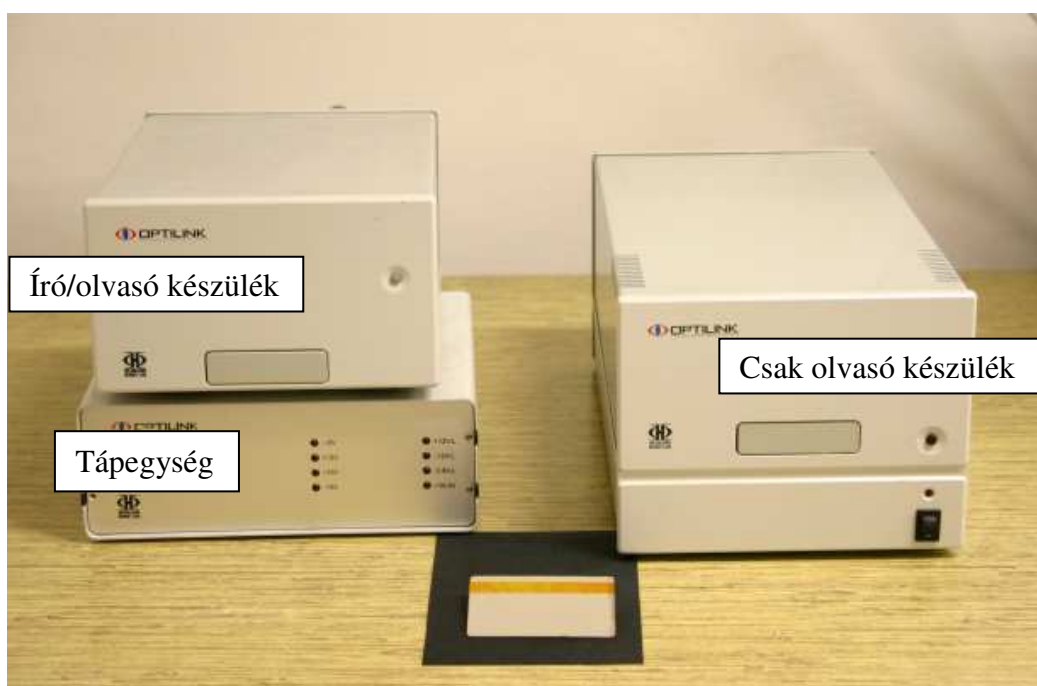
Irodalmi hivatkozások listája:

- [1] P. J. van Heerden, „*Theory of Optical Information Storage in Solids*”, Appl. Opt. **2**, (1963) 393-400.
- [2] H. J. Coufal, D. Psaltis, and G. T. Sincerbox, „*Holographic Data Storage*”, Springer-Verlag Berlin, (2000)

- [3] Sh. D. Kakichashvili, „*Method for phase polarization recording of holograms*”, Sov. J. Quant. Electron., **4**, (1975) 795.
- [4] T. Todorova, L. Nikolova és N. Tomova, “Polarization Holography. 1: A new high-efficiency organic material with reversible photoinduced birefringence”, App. Opt. **23** (1984) 4309-4312.
- [5] Sajti Szilárd, “Azo-benzol tartalmú fotoanizotróp anyagok elméleti jellemzése különös tekintettel a polarizációs holográfiára” PhD értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdasági Egyetem (2002)
- [6] Kerekes Árpád “Holografikus memória tároló anyagának kísérleti vizsgálata” PhD értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (2003)
- [7] Várhegyi Péter, ”Új modellek és eszközök a holografikus adattároló rendszerek kutatásában”, PhD értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (2005)

Az eredmények hasznosítása

A doktori munkám eredményeinek felhasználásával elkészült egy demonstrátor készülék család. Az író/olvasó készülékek bankkártya méterű adathordozó adott területére hologramokat írnak. Ugyanabban és másik író/olvasó készülékben is visszaállítható a holografikusan tárolt információ. A csak olvasó típusú készülékek megvalósítják a hologramok törlés nélküli, egyszerű felépítésű rendszerben történő kiolvasását.



A tézisekhez kapcsolódó tudományos közlemények

- [8] F. Ujhelyi, Á. Kerekes, "Polarization holographic data storage", PeH 99 European conference for PhD students in physics, poster, Oleron, France, 20-25 June, (1999).
- [9] P. Koppa, T. Ujvari, G. Erdei, F. Ujhelyi, E. Lőrincz, G. Szarvas, P. Richter, "Holographic data storage with organic polymer films", oral presentation at NATO Workshop on Multiphoton and Light Driven Multielectron Processes In Organics, Menton (France), August 1999, published in NATO Science Series, 3. High Technology – Vol. 79, Kluwer Academic Publishers, (2000) 467-474,
- [10] Ramanujam, S. Hvilsted, F. Ujhelyi, P. Koppa, E. Lőrincz, G. Szarvas, "Physics and technology of optical storage in polymer thin films", E-MRS – IUMRS – ICEM 2000, Symp. H, Strasbourg, France, May 30 – June 2, 2000, Synthetic Metals, 124, pp. 145-150, (2001).
- [11] F. Ujhelyi, E. Lőrincz, G. Szarvas, J. Fodor, A. Sütő, P.I. Richter, S. Hvilsted, P.S. Ramanujam, "Rewritable optical storage by polarization holography", Nonlinear Optics for the Information Society, ed. Alfred Driessen, pp. 91-96, ISBN 1-4020-0132-0, Kluwer Academic Publisher, (2001).
- [12] Holographic chip and optical system for the holographic chip, Register No.: P 98 02755, PCT/HU99/00088 (Koppa P., Lőrincz E., Richter P., Szarvas G., Toth P., Ujhelyi F.)
- [13] Method for the distribution of data marks on a medium, and method and apparatus for the holographic recording and readout of data [2004/53], HU20000000518 PCT/HU01/00011, WO0157859 04-02-2000 (Szarvas G., Lőrincz E., Richter P., Koppa P., Erdei G., Fodor J., Kalló P., Sütő A., Domján L., Ujhelyi F.),
- [14] Lőrincz E., Koppa P., Erdei G., Ujhelyi F., Richter P.: "Holografikus memóriakártya", *Magyar Tudomány tematikus szám*, 2005/12, 1521-1524.
- [15] E. Lőrincz, P. Koppa, G. Erdei, A. Sütő, F. Ujhelyi, P. Várhegyi, P.S. Ramanujam, P. Richter: "Azobenzene Polyesters for Polarization Holographic Storage: Part II. Technology and System", Handbook of Organic Electronics and Photonics, ed. H.S. Nalwa, Szeptember 2005
- [16] F. Ujhelyi, M. Lovász, Z. Göröcs, A. Sütő, P. Koppa, G. Erdei, E. Lőrincz, "Phase coded polarization holographic system demonstration", Holography 2005, International Conference on Holography, Varna, Bulgaria, 21-25 May 2005, Congress Center Frederic Joliot-Curie", Proc. of SPIE **6252** (2006) 209-213 Holography 2005: International Conference on Holography, Optical Recording, and Processing of Information, Editor(s): Yury Denisyuk, Ventseslav Sainov, Elena Stoykova,

További tudományos közlemények

- [17] P. Várhegyi, P. Koppa, F. Ujhelyi, E. Lőrincz, "System modeling and optimization of Fourier holographic memory", *Applied Optics* **44** (2004) 3024-3031.
- [18] 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** (2003) 397-402.
- [19] Ujvári T., Várhegyi P., Koppa P., Szarvas G., Lőrincz E., Ujhelyi F., Kerekes Á., Domján L., Kalló P., Richter P., „Holografikus adattárolás”, előadás, rendezvény: Perspektívák és eredmények az optikai kutatások hazai és nemzetközi projektjeiben, Magyar Regula, (2000). szept. 7.
- [20] A. Sütő, G. Szarvas, F. Ujhelyi, "Data recovery algorithm for page-organized high-density holographic memory card RW system", *Optical Holography and its Applications*, International Conference, 28 September- 2 October (2000), Kiev, Ukraine.
- [21] E. Lőrincz, P. Koppa, F. Ujhelyi, P.I. Richter, G. Szarvas, G. Erdei, P.S. Ramanujam, "Rewritable holographic memory card system", WA 0005, oral presentation at Optical Data Storage Topical Meeting to be held 14 - 17 May 2000 at the Chateau Whistler Resort, Whistler, BC, Canada , Proc. of SPIE, Vol. **4090** (2000) 185-190.
- [22] P. Koppa, G. Erdei, F. Ujhelyi, P. Várhegyi, T. Ujvári, E. Lőrincz, G. Szarvas, S. Hvilsted, P. S. Ramanujam and P. Richter, "Data storage on holographic memory card", in *Holography 2000*, Tung H. Jeong, Werner K. Sobotka, Editors, Proc. of SPIE Vol. **4149**, (2000) 309-314.
- [23] G. Erdei, G. Szarvas, E. Lőrincz, J. Fodor, F. Ujhelyi, P. Koppa, P. Várhegyi, P. Richter, "Optical system of Holographic Memory Card writing/reading equipment", Proc. SPIE, Vol. **4092** (2000) 109-118, *Novel Optical System Design and Optimization III*, Ed. Jose M. Sasian.
- [24] G. Erdei, J. Fodor, P. Kalló, G. Szarvas, F. Ujhelyi, "Design of high numerical aperture Fourier objectives for Holographic Memory Card writing/reading equipment", Proc. SPIE, Vol. **4093** (2000), 464-473, *Lens and Optical System Design and Engineering*, Eds. Robert E. Fischer, Warren J. Smith, R. Barry Johnson, William H. Swantner.
- [25] E. Lőrincz, F. Ujhelyi, G. Szarvas, P. Koppa, G. Erdei, F. Józsu, Sz. Mike, A. Sütő, P. Várhegyi, P. S. Ramanujam, S. Hvilsted, P. I. Richter, "Polarization holographic data storage system", invited lecture at the Fourth Annual Meeting of the COST Action P2, 16-19 May (2001), Budapest, published in a special issue.
- [26] 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", WA 0005, poster presentation at Optical Data Storage Topical Meeting, 14 - 17 April 2001 in Santa Fe, New Mexico, USA, in *Optical Data Storage 2001*, Terril Hurst, Seiji Kobayashi, Editors, Proc. of SPIE ,Vol. **4342**, (2002) 566-573.

- [27] 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, Proc. of SPIE **4991** (2003) 34-44 Organic Photonic Materials and Devices VI., J. G. Grote, T. Kaino editors
- [28] P. Koppa, G. Szarvas, F. Ujhelyi, G. Erdei, A. Sütő, P. Várhegyi, T. Ujvári, Sz. Sajti, P. S. Ramanujam, E. Lőrincz, "*Holographic data storage with organic polymer films*", invited paper at SPIE Annual Meeting, 3–8 August 2003, San Diego, California, USA, Conference AM436, Proc. of SPIE **5216**, Organic Holographic Materials and Applications, ed. Klaus Meerholz, (2003) 165-177.
- [29] G. Erdei, A. Sütő, P. Koppa, E. Lőrincz, F. Ujhelyi, T. Ujvári, G. Szarvas, P.S. Ramanujam, "*Application of thin-film holography in optical data storage and data security*", presentation and demonstration in the ERASMUS Intensive programme "Thin films and multilayers as seen by local probes", Budapest, 9 - 14 May, 2004.
- [30] E. Lőrincz, P. Koppa, M. Lovász, F. Ujhelyi, G. Erdei, A. Sütő, "*New results in holographic data storage with organic polymer films*", lecture at the SPIE's 49th Annual Meeting (5 August 2004, Colorado Convention Center, Denver, CO, USA), in Organic Holographic Materials and Applications II., edited by K. Meerholz, Proc. SPIE **5521**, (2004) 46-54.
- [31] P. Koppa, P. Várhegyi, T. Ujvári, M. Lovász, G. Szarvas, F. Ujhelyi, G. Erdei, J. Reményi, Domján, A. Sütő, E. Lőrincz, "*Application of polarization holography for data storage*", COST P8 Workshop in Paris, 16-17 September, 2004.