

OPTIKA ÉS INFORMATIKA

OPTICS AND INFORMATION TECHNOLOGY

Macsuga János

dr. univ. egyetemi adjunktus

Miskolci Egyetem, Fizikai Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros

Abstract: *The “Moore’s Law” dictated development in semiconductor technology changed the relation of pure science and engineering. As a typical example of rapid progress, we will review the role of optics in different fields of information technology. It will be shown the convergence of engineering development and scientific research.*

BEVEZETÉS

Amit ma infokommunikációs technológiának neveznek az az adatok begyűjtése, továbbítása, tárolása, feldolgozása és megjelenítése terén használt eszközök és eljárások pontosan nem körülhatárolható és gyorsan növekvő halmaza. A növekedés meghatározó eleme a félvezetők gyártástechnológiájának exponenciális ütemű fejlődése. A gyors ütemben fejlődő képalakító eszközök robbanásszerűen növekvő mennyiségű információt generálnak. Az adatátvitel területén az optikai szál uralkodóvá vált, már egészen a magánfelhasználókig ér. A rögzített információ tárolására, fogyasztókhoz történő eljuttatására optikai tárolóeszközök kifejlesztésére kerül sor. Az egyre gyorsabb adatfeldolgozó egységek gyártására használt fotolitográfia eszköztára a fizikai alapkutatásokéval vetekszik. Az információ vizuális megjelenítése mindennapi igény és feladat. A nyomtatás fogalma jelentésváltozáson megy át.

FÉNYKÉPEZÉS, SZKENNELÉS, TÉRBELI LEKÉPEZÉS

Elektronikus képátalakítók: CCD és CMOS

A CCD-t 1969-ben Willard Boyle és George Smith fejlesztette ki a AT&T Bell Labs-nál. Az eszköz három alapvető egységre bontható:

- A fényt elektromos töltéssé alakító egység (a fotonok akár 95% hasznosul)
- A töltéseket tároló „vödörlánc”
- A töltések egyik vödörből a másikba történő mozgatását szabályzó egység.

A töltéstároló vödörláncot lényegében egy félvezető felületén mozgatható töltésbuborék sor. [1] A vödörlánc memóriaeszközként kezdte pályafutását, és egyetlen bemeneti elemen keresztül kapott töltést. A felismerés, hogy a „vödörök” fotoeffektussal is feltölthetők alkalmassá tette az eszközt képek elektromos jelekké történő átalakítására. 1970-re a Bell kutatói egyszerű lineáris eszközökben képesek voltak kép létrehozni: megszületett a CCD. 1974-ben a Fairchild Semiconductor International, Inc. volt az első gyártó: egy lineáris, 500 elemes és egy kétdimenziós, 100 x 100 elemes eszközzel. 2009. október 6-án a CCD feltalálásáért Boyle és Smith megosztott fizikai Nobel-díjat kapott.

Szinte CCD megalkotásával egy időben – annak alternatívájaként – egy érzékelőnként erősítővel ellátott leképező eszköz fejlesztése is elkezdődött. Ennek eredményeként született meg, és vált uralkodóvá a kereskedelmi forgalomban kapható képátalakítók esetében az aktív pixeles CMOS érzékelő. A mobiltelefonokban, webkamerákban, digitális fényképezőgépekben 2010-től ezt az olcsón, nagy tömegben előállított eszközt alkalmazzák.

3d leképezés: A repülési idő mérésén alapuló módszer.

Egy nagyon rövid 5-10 ns időtartamú megvilágítás után megmérjük a tárgy egyes pontjairól visszaverődő fény futási idejét, azt az időt, melyből meghatározható a visszaverő pont távolsága. Az irány és a távolság együtt egyértelműen meghatározza a pont térbeli helyzetét. A módszer a másodperc milliomod része alatt elektronikusan rögzített térbeli képet képes alkotni a látószögébe eső akár több száz méter távolságon belül elhelyezkedő tárgyakról.

Ez a fajta elrendezés nagysebességű működést tesz lehetővé, és nagy távolságra – akár kilométerekre – lévő objektumok esetében is használható. Kamera-szerűen működtetve másodpercenként akár 160 szor is leképezhetik a megfigyelt környezetet, így ideálisak valós idejű alkalmazások esetében.

3d leképezés: Konoszkopikus holográfia

Az előzőekben bemutatott módszerek a digitális 3D kép létrehozására a geometriai optika fogalmait és elveit használják. Lényegében a hagyományos fényképezés 2D-s képeit és megfelelő algoritmusokat használnak a harmadik dimenzió adatainak rekonstruálására. Létezik azonban egy módszer, amivel már a kémiai eljárásokon alapuló fényképezés korszakában is lehetőség volt 3D képek rögzítésére: a holográfia. A hologram a fény erősségén és színén kívül rögzíti a fázisfelület torzulásokat is. A fáziseltolódás ismeretében rekonstruálható a visszaverő pontok – a tárgy felületi pontjainak – térbeli helyzete.

1984-ben Gabriel Sirat és Demetri Psaltis leírt egy eljárást mely során egy visszaverő felület alakjától függő interferencia mintázat hozható létre nem koherens fényforrás fényével. [2] A módszer alapja a fény terjedése kettőtörő kristályban. Nem koherens lézer fényével megvilágítják a tárgy felületét. A felület minden egyes pontja elemi nem polarizált gömbhullám kiindulópontja. Ezen gömbhullámok összegződése egy a visszaverő felület geometriáját tükröző hullámfrontot alkot. Ezt a hullámot egy kettősen törő kristály két részhullámra bontja. A részhullámok egymásra merőlegesen polarizáltak, és a kristályban különböző sebességgel terjednek. Az eredeti hullámfront így két fázisában különböző hullámfrontra válik szét. A kristályból kilépő hullámok polarizáltságát alkalmas eszközzel úgy változtatjuk meg, hogy egymással interferenciaképesé váljanak. A kialakuló interferenciamintázat CCD segítségével detektálható. Az így létrehozott interferenciamintázat vonalainak távolságából meghatározható a reflektáló pont távolsága. A felület alakját ezzel az eljárással 1 mikron pontossággal meghatározhatjuk, úgy hogy a mérési tartomány centméter nagyságrendű.

ADATTOVÁBBÍTÁS

Ma a nagysebességű adattovábbítás legelterjedtebb módja az optikai kommunikáció. Az optikai adatátviteli lánc elemei:

- az adó, mely optikai jelekké alakítja az információt,
- az átviteli csatorna melyen az optikai jelek eljutnak célpontjukhoz,
- a vevő mely az optikai jelekből rekonstruálja az eredeti információt.

A szabadlevegőn történő adattovábbításnak nyilvánvaló hátrányai és korlátai vannak. A teljes visszaverődés jelensége azonban lehetővé teszi, hogy a fényt egy csőbe zárjuk. Ez a cső az optikai szál. A jel továbbításra szánt szálakat három csoportba szokás sorolni a törésmutató keresztmetszeti változása és a belső – nagyobb törésmutatójú – rész átmérője alapján.

Vastag szál

Nagy magátmérőről akkor beszélhetünk, ha nagyobb törésmutatójú rész átmérője 50 mikrométernél nagyobb. Ebben az esetben a terjedés ugyan nem követi mindenben a geometriai optika szabályait, de a megengedett terjedési módok esetében használható a fénysugár modell. A többféle terjedési útvonal lehetősége miatt az ilyen szálakat több modulusúnak nevezik. Vastag szálak esetében a szál belépő végén egy viszonylag szélesebb szögtartományban érkező sugarakra teljesül a teljes visszaverődés feltétele, így az adó és vevő oldalon olcsóbb fényforrások és jelátalakítók használhatók. A leg-egyszerűbb esetben a törésmutató ugrásszerűen változik és az egymást követő teljes visszaverődések között a fény egyenes vonal mentén terjed. A lehetséges többféle útvonal azt eredményezi, hogy az egy időben, de kissé különböző irányban belépő sugarak különböző időpontban érkeznek a szál kilépő végéhez. Az adatok bináris formában történő továbbításakor a jel továbbítás sebességét két állapot közötti változás sebessége határozza meg. A sugarak futásidejének különbözősége miatt a jel terjedése során a meredek felfutás ellaposodik. Ez a torzulás határt szab az adott hosszúságú optikai szálon időegység alatt átvihető információnak.

Törésmutatógradiens

A futási időket közelíteni lehet, ha nem ugrásszerűen változik a törésmutató. Ez az optikai szálak második típusa. A keresztmetszet mentén kifelé haladva folyamatosan csökkenő törésmutató esetén megmarad a nagy befogadó szögtartomány, de a kifelé haladva csökkenő törésmutató következtében a szál tengelyével nagyobb szögben beérkező sugarak a nagyobb sebességű külső tartományban haladva mintegy beérik a rövidebb geometriai úton haladó, a tengellyel kisebb szöget bezáró sugarakat.

Egymódusú szál

A helyzet alapvetően akkor változik meg, ha a nagyobb törésmutatójú tartomány átmérőjét 10 mikrométerre csökkentjük. Ebben az esetben már nem alkalmazható geometriai optikai leírás, az üvegszál hullámvezető csatornaként csak a tengellyel párhuzamos irányú terjedést tesz lehetővé, éppen ezért ezeket a szálakat egy modulusúnak nevezik. [3] Ebben az esetben a többféle lehetséges útvonal híján nem lép fel jelalak

torzulás. A hullámterjedés sajátosságai azonban itt is csillapodást és jeltorzulást eredményeznek, de a jelregenerálás nélkül áthidalható távolság megnő, 10-100 km-re.

Fényerősítő szál

Az optikai kábelekbe meghatározott hosszúságú kvarcszál-szakaszonként erbiummal adalékolt szakaszokat iktatnak be. A megfelelő anyagból készült erbiummal adalékolt optikai szál az indukált emisszió jelenségét kihasználva jelerősítésre használható. Az optikai kábelbe a jelet hordozó impulzusokon kívül rövidebb hullámhosszú nagyenergiájú impulzusokat vezetnek. A nem jelhordozó nagyenergiájú impulzusok az adalékolt szakaszokban az erbiumatomokat metastabil állapotba gerjesztik, és a jelimpulzusok hatására indukált emisszió következik be. Lényegében fénnel táplált fényerősítőként működnek ezek a részek.

2009. október 6-án Charles Kuan Kao az optikai szálakon keresztül történő fénytovábbítás területén elért eredményeiért fizikai Nobel-díjat kapott. Az optikai szálakon történő adatátvitel rendkívül sikeres megoldás. A ma használatos szálak alkalmasak 1,6 Tbit/s adatátviteli sebességre, 3.000.000 egyidejű kétirányú telefonbeszélgetés, vagy 90.000 TV csatorna átvitelére. Az adatátvitel szempontjából kritikus a végfelhasználóhoz vezető utolsó kilométeren is megjelent az optikai kábel.

OPTIKAI ADATTÁROLÁS

Az, amit ma adattárolásnak szokás nevezni, nem pusztán az adatok rögzítése, hanem olyan módszer, mellyel az adatok később könnyen elővehetők, esetleg rendezhetők is. Az ilyenfajta adattárolás és feldolgozás látványos sikere az 1890-es amerikai népszámlálás. Az 1880-as népszámlálás adatainak feldolgozása nyolc évet vett igénybe. Az 1890-es népszámlálási adatok feldolgozásával a Herman Hollerith által szabadalmaztatott lyukkártyákra alapuló módszerrel egy év alatt végeztek.

CD, DVD

Az adattárolás és visszakeresés következő lépcsőfokát a mágneses adattárolás megjelenése jelentette. Nagyszámítógépes környezetben ez nem is jelentett problémát, de a személyi számítógépek laikus felhasználói számára nem volt kielégítő megoldás. Már a 1960-as 70-es években is folytak kutatások az optikai hordozón alapuló adattárolás kifejlesztésére. Az áttörést az 1980-ban megjelenő CD jelentette. A kompakt diszket hangfelvételek digitális tárolására szánták. Megbízhatóságának alapja a redundáns adattárolás és az alkalmazott hibajavítási eljárás. 1985-ben megjelent az CD-ROM mint az akkori személyi számítógépek merevlemez kapacitását jóval felülmúló, csak olvasható adattároló, majd 1990-ben az írható és 1997-ben a törölhető és írható változat is forgalomba került.

1995-ben jelent meg a DVD szabvány, 4,7 GB adat egy lemezen. Az igényt a digitális mozgókép rögzítés megjelenése és elterjedése szülte. Az ekkorra már nagyon elterjedt házi video-lejátszók mágneses adattárolásával szemben a DVD sok előnnyel járt, így viszonylag gyorsan elterjedt. Az írható változat piaci megjelenése 1997-re tehető. A 2000-es évek elején számos írható és újraírható változat jelent meg és a DVD rendkívül széles körben elterjedté vált archiválási és adattovábbítási célokra.

Blue-Ray

Az 1970-es évek óta napirenden volt a TV kép felbontásának növelése a HD TV. Végül a 2000-es évek elejére létrejött a megfelelő technikai háttér és megegyezés született a szabványosítási kérdésekben is. A HD taralom a DVD-nél nagyságrenddel nagyobb tárolási kapacitást, tároló eszközt igényel. 2008-ban a Werner Brothers döntését követően a Blue-Ray név alatt futó technológia lett a DVD utóda.

Az CD a DVD és a BD nagyon hasonlóak az alapelvek szintjén. Az adatokat egy 12cm átmérőjű korong fényvisszaverő felületének mintázata tartalmazza. A mintázat elrendezése, struktúrája is hasonló: egy spirál mentén elhelyezett gödröcskék sorozata a visszaverő felületben. Az adatok kiolvasására a forgó lemezt fókuszált fénynyalábbal világítják meg, és a visszavert fény intenzitásának változását alakítják át bináris jelekké. Az adatokat tartalmazó sáv követéséről kifinomult mechanikai és optikai rendszer gondoskodik. Az adatok ugyan sorban egymás után helyezkednek el, de a kiolvasáskor a lemez tetszőleges részének információtartalma gyorsan elérhető. Lényegi különbséget az alkalmazott fény hullámhosszában, illetve a sávkövetést segítő technológiai megoldásokban találhatunk. A hullámhossz csökkentése kisebb felületre fókuszálható nyalábot eredményez. A kisebb fényfolt sűrűbben elhelyezhető, kisebb gödröket tesz lehetővé, mely nagyobb adatsűrűséget és adatkiolvasási sebességet jelent.

Holografikus tárolás

A holografikus adattárolás olyan terület, ahol nagyon hosszú ideje igen nagy erőfeszítéseket tesznek a fejlesztésben résztvevők listája alapján igen tökeerős vállalatok. Nagyon sok jelentősnek mondható kutatási eredmény is született ezen a területen, de ilyen eszközök ipari léptékű előállítására még nem került sor. Az általános célú holografikus diszk (Holographic Versatile Disc – HVD) került talán legközelebb ehhez a szinthez. [4]

A HVD három kulcseleme az optikailag érzékeny, hologram tárolására alkalmas polimer, a kollineáris holográfiának nevezett módszer és a hullámhossz szelektív visszaverődést felhasználó önálló sávkövető rendszer. A rendszer több száz szabadalmat eredményező fejlesztése 2008 közepe óta tart. Az eljárás igen nagy adatsűrűséget képes kezelni, és nem egy-egy bitnyi, hanem egy kétdimenziós tartományban tárolt lapnyi információ egyidejű kiolvasását teszi lehetővé. Az elérhető kapacitás terabyte, az olvasási sebesség gigabyte per másodperc nagyságrendű. Egy lemez kb. egy évnyi időtartamú videofelvétel tárolását tenné lehetővé.

A FÉLVEZETŐGYÁRTÁS

A félvezető gyártás fejlődésének ütemét megjósoló Moore szabályt az e területen a kutatás-fejlesztésben dolgozók természeti törvényként tisztelik. A felületegységre eső tranzisztorszám kétévenkénti megkétszereződése ötven év óta töretlen trend. E mögött – sok más technológia újítás mellett – a fotolitográfiának nevezett módszer fejlődése áll.

Diffrakció

Egy szilícium hengerből lézeres vágással szeletek készülnek melyekre fényérzékeny polimert permeteznek, mely tipikusan 0,5 - 1 mikrométer vastag bevonatot képez. Kvarcüvegre párologtatott krómbevonatból árnyékoló maszkot alakítanak ki. A megvilágításhoz használt fény hullámhossza az elérhető elemsűrűség szempontjából döntő fontosságú: távoli ultraibolya fényt használnak, 248 illetve 193 nm hullámhosszú kripton- illetve argonfluorid excimer lézer fényét. A lézerek 4kHz körüli frekvencián, 10ns-os impulzusokat bocsátanak ki 100W nagyságrendű teljesítménnyel. A maszk a használt fény hullámhosszánál is finomabb részleteket tartalmaz: a maszk a megvilágítás során nem egyszerűen árnyékot vet, hisz az egymáshoz közeli keskeny réseken áthaladó fény diffrakciót szenved, a maszk mögött interferenciakép keletkezik, ezért a félvezetőeszköz kialakításához szükséges mintázatból kiindulva határozzák meg a maszk mintázatát. Az így kialakított maszk mintázata megdöbbenően különbözik a megvilágított felületen létrejövő mintázattól.

Extrém ultraibolya litográfia

A mérnöki tudományok fejlődésére jellemző a már bevált módszerek finomítása, fokozatos javítása: a jelenleg használatos technológia (anyagok, tervezési elvek és be rendezések) minden lehetőségét kihasználva jutottak el 14nm-es csíkszélesséig. A Moore törvény diktálta következő lépcsőfokra lépéshez a 10nm alatti – kevesebb, mint 200 rácshálós – csíkszélesség elérése szükséges. Ehhez például extrém ultraibolya fényre van szükség. Olyan eszközöket és eljárásokat kell átvenni, amik egy-két évtizede még az élvonalbeli fizikai alapkutatás eszköztárához tartoztak: szabad-elektron lézer illetve lézer gerjesztette plazma sugárzás. [6]

MEGJELENÍTŐ ESZKÖZÖK

Nyomtatók, xerográfia

Az úgynevezett xerografikus nyomtatás és másolás, mint technológia megjelenése és elterjedése időben megelőzte a személyi számítógépek elterjedését. Az eljárás lényege, hogy egy felület egyenletes elektrosztatikus feltöltöttségét megvilágítással megváltoztatjuk, majd az így keletkezett elektrosztatikus képet porfesték használatával valamilyen hordozófelületre átvisszük, és azon rögzítjük. A személyi számítógépek elterjedése magával hozta az egyszerűen kezelhető, olcsón üzemeltethető nyomtatók iránti igényt. A xerográfia és Xerox technológiai fejlesztései megteremtették ennek alapját. Leegyszerűsítve, a megvilágítást végezte egy számítógép vezérelte fénysugár, és ezzel létre is jött a lézernyomtató. A megoldás annyira sikeres, hogy a hagyományos nyomdatechnikát bizonyos területekről teljesen kiszorította.

DLP

A félvezetőgyártásban alkalmazott fotolitográfiai eljárás lehetőséget teremt olyan miniatűr eszközök gyártására, melyeket hagyományos megmunkálási módszerekkel nem lehet előállítani. A kivetített képeket megjelenítő eszközök egyik típusa ezt a lehetőséget kihasználó eszközön alapul: ez a DLP. Egy alumíniummal bevont szilíciumlapka felületén bonyolult maratási eljárással mozgatható tükrök hálózatát hozták létre. Az elektrosztatikus térrel mozgatott tükrökről visszaverődő fény hozza létre

a képet. Ma már ez a legelterjedtebb képalkotási módszer a mozifilmek vetítésekor. Ez lehetővé teszi, hogy akár valós időben, tisztán digitális adattovábbítással lehet eseményeket közvetíteni.

3D kivetítés

A digitális képfeldolgozás és képelőállítás lehetőséget ad arra, hogy a ma már mindennapos 2D megjelenítők mellett elterjedjen a 3D megjelenítés. A mozgóképes megjelenítés emberi látás sajátosságait használja ki: állóképek gyors egymás utáni kivetítése a mozgás látszatát kelti. Hasonló módon több irányból készült képeket alkalmas eszközzel a megfelelő irányokba kivetítve tényleges háromdimenziós látásélményt kapunk. A számos módszer a LEIA fantázianevet használja a Csillagok háborúja film Leia hercegnőjéről R2D2 által kivetített 3D jelenet után. A mozgó felületekre történő vetítéstől a ködfüggönyre történő vetítésen át számos technológia létezik már kereskedelmi forgalomban is. Egy nagyon ötletes és ígéretes új módszer a hagyományos LCD megjelenítést továbbfejlesztése: a diffúz háttérvilágítás helyett irányított átvilágítással érik el, hogy más-más irányból nézve más-más kép legyen látható. [6]

3D nyomtatás

Az összefoglalóan 3d nyomtatás alatt említett technológia az elmúl néhány évben került a köztudatba. Valójában azok az eljárások, melyek lassan a magánfelhasználókhoz is eljutnak, több évtizedes múltra tekinthetnek vissza. A fényt használó módszerek összefoglaló neve sztereolitográfia. Az eljárás során alkalmasan választott anyagból, fény közreműködésével rétegről rétegre építik fel a 3D testet. Az alkalmazott anyag lehet valamilyen fotopolimer, de akár fémpor is. Az eljárás bizonyos területeken rendkívül sikeres és felváltja a hagyományos gyártástechnológiákat: a test az alakját nem anyagleválasztás, hanem hozzáadás révén nyeri el.

HIVATKOZÁSOK

- [1] W. S. BOYLE AND G. E. SMITH: **Charge Coupled Semiconductor Devices** Bell Sys. Tech. J49 (4): 587–593. (April 1970)
- [2] GABRIEL SIRAT AND DEMETRI PSALTIS: **Conoscopic holography**, OSA Publishing Optics Letters Vol. 10, Issue 1, pp. 4-6 (1985)
- [3] K. C. KAO ET AL: **Dielectric fibre surface waveguides for optical frequencies** Proceedings of the Institution of Electrical Engineers 113(7):1151 (1966)
- [4] <http://www.tech-faq.com/hvd.html>
- [5] B. LA FONTAINE: **Lasers and Moore's Law**, SPIE Professional, Oct. 2010, p. 20
- [6] MIKE ORCUTT: **Nanotech Converts Conventional LCDs into Glasses-Free 3-D Displays**, MIT TECHNOLOGY REVIEW (25 FEBRUARY 2015).