

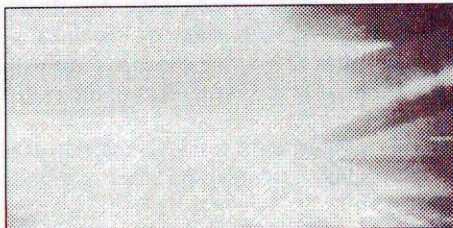


# CCD technika

## CCD alapismeretek I.

### Bevezetés

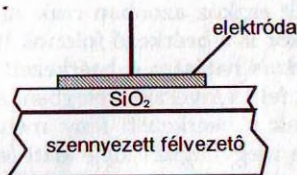
Lehet, hogy már, el is késett ez a sorozat? Hogy miért? A Photonics Spectra c. magazin (amely különféle, optikához kapcsolódó szakterületekről közöl cikkeket) februári számában két cikk is foglalkozik az immár „hagyományos” CCD-kenél megszokottól eltérő technikai megoldásokat alkalmazó kamerákkal. Ezek már tisztán CMOS technikával készülnek, s így elérhető az, hogy egyetlen chip tartalmazza az érzékelőt, az analóg–digitál konvertert, a jelerősítőt, a kamera vezérlő funkcióit ellátó elektronikai egységeket. S nem csak a kis méret jelent előnyt, hiszen több más kedvező tulajdonsággal is rendelkeznek ezek az eszközök. Például a dinamikai tartományuk 200-szor akkora, mint egy átlagos CCD-é. Ezekkel a kamerákkal igen nagy fényességkülbségek jeleníthetők meg intenzitáshelyesen, s pl. egy hegesztési eljárás, vagy egy lézeres interferenciakép esetében a fényes részek „beégés” nélkül tanulmányozhatók a halványabb struktúrákkal együtt. Az alábbi két kép hegesztésről készült, a bal oldali CCD-vel, míg a jobb oldali HDRC-vel (High Dynamic Range C-MOS, széles dinamikai tartományú C-MOS technikával készült érzékelő).



Az alapelv azonban megegyezik mindkét eszköznél, amit még 1970 táján fejlesztettek ki a Bell Laboratóriumokban. A kutatás eredményeként olyan eszközöket készítettek, melyek ún. MOS (Metal Oxide Semi-conductor, Fém-Oxid Félvezető) alapú kondenzátorokat használtak föl analóg jelek, különböző nagyságú töltéscsomagok tárolására. Ezekből a kis tárolókból több ezer darabot tudtak elhelyezni egy parányi félvezető-lapocskán, s ezeket egy kiolvasó áramkörrel összekötve memóriaegységeket, optikai érzékelőket alkottak. Utóbbiak működési elvével, felépítésével, különböző tulajdonságaival (a hagyományos fotóanyagokéval összehasonlítva), s a képek utólagos számítógépes feldolgozásának lehetőségeivel ismerkedhet meg az Olvasó a CCD rovat elkövetkezendő részeiben.

## A MOS tárolóegység

Egy ilyen kis tároló három alapvető részből áll: *szennyezett félvezető alapréteg, szigetelő zóna* (általában szilícium-dioxid), *elektróda* (1. ábra).



1. ábra. Egy MOS tárolóegység szerkezete

A szilícium alapréteg vezetési tulajdonságát a tiszta Si kristály szennyezésével lehet befolyásolni. A szilícium négy vegyérték-elektronnal rendelkezik, melyek a kristályrácsba épülve kötéseként létesítenek a szomszédos atomok szabad elektronjaival. Így minden atom négy másikkal kapcsolódik össze, s a kötést 2-2 elektrontól álló párok alkotják. Ha a kristály kialakításakor három vegyérték-elektronnal rendelkező atomokat (pl. gallium) juttatunk a **szilíciumok közé**, akkor ezek kapcsolódásakor csak három teljes értékű kötés alakul ki. A szabadon maradt elektron mellett egy, a környezethez képest „*pozitív töltésű lyuk*” jelenik meg. Ekkor beszélünk P-típusú, pozitívan szennyezett kristályról. Ha nem három, hanem öt külső elektronnal rendelkező atomokkal szennyezzük a kristályt (pl. arzén), akkor kialakul mind a négy teljes értékű kötés, de marad egy szabad, „*fölösleges*” elektron. Ekkor N-típusú, negatív szennyezésről beszélünk. A szennyezésre azért van szükség, hogy a kristályrácson belül elektromos vezetés jöhessen léter. Egy P-típusú félvezetőben egy elektron áramlása (megfelelő mozgató erő, pl. elektromos mező hatására) valahogy úgy képzelhető el, hogy „*helyet cserélget*” a pozitív lyukakkal.

Ha egy P-típusú egységet veszünk, s az elektródára pozitív feszültséget kapcsolunk, akkor a félvezető rétegben a Si-SiO<sub>2</sub> határreteg közeléből eltávolodnak a pozitív lyukak az elektródára kapcsolt pozitív feszültség taszítása miatt. Ezt a kb. 3-6  $\mu\text{m}$  vastagságú zónát nevezzük *pozitív lyuk kiürülési régió*nak (2. ábra).



2. ábra. A pozitív lyuk kiürülési régió elhelyezkedése a félvezető alaprétegben és a feszültség „*eloszlása*” az elektróda alatt

A kristály kovalens kötésben lévő elektronjai ugyanis szabadabbá válhatnak az egymással való ütközéseik közben szerzett plusz energiával. (Ez természetesen nagyobb hőmérsékleten valószínűbb, hiszen akkor több ütközés zajlik le.) Ilyenkor elektron-lyuk párok keletkeznek, amelyek szétválasztódnak az elektromos mező hatására, s az elektronok fölgyülemlenek közvetlenül az elektróda „*alatt*”, az ún. *inverziós*

rétegben. Ez előbb-utóbb egyensúlyi állapotot eredményez. Az ezt kialakító effektust *sötétáramnak* nevezzük, amely néhány másodperc vagy néhányszor tíz másodperc alatt zajlik le. A *kiegyenlítődési idő* erősen függ a hőmérséklettől és a félvezető anyagi minőségétől.

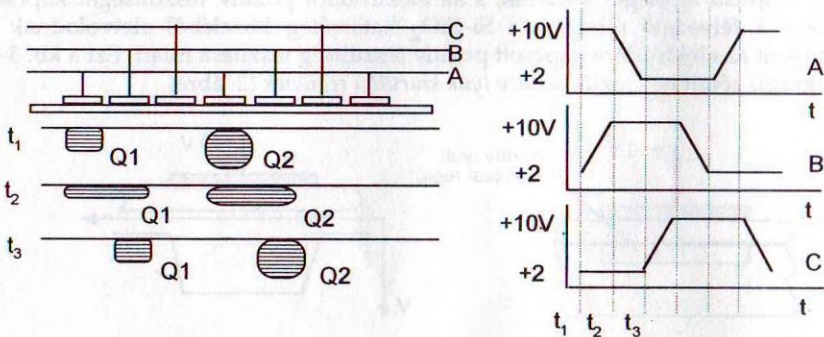
A fényérzékelésre használt eszköz azonban csak az „*egyensúlytalan*” állapotban képes ellátni feladatát, amikor is a beérkező fotonok hatására szakadnak fel a kötések a kristályban. A *fotoeffektus* hatására a beérkezett fény mennyiségével arányos nagyságú töltés halmozódik fel az inverziós rétegben. Az összegyűlt töltés nagyságát megmérve következtethetünk a beérkezett fény mennyiségére. Azonban a mérés csak akkor lesz pontos, ha a megvilágítás ideje alatt (ez az ún. *integrációs idő*, ami a hagyományos expozíció megfelelője) a töltéscsomaghoz hozzáadódó sötétáram-elektronok száma elhanyagolható. Ezért szükséges a kiegyenlítődési idő elnyújtása, azaz a sötétáram csökkentése, melynek legjobb módja a hűtés.

Az integráció alatt összegyűlt töltés megméréséhez az elektronokat el kell juttatni egy megfelelő kiolvasó-egységhez. Ha azonban az elektródára kapcsolt feszültséget megszüntetjük, akkor az elektronok rekombinálnak a pozitív lyukakkal. Ezt a problémát oldja meg a *töltéscsatolás*.

### Töltéscsatolás és kiolvasás

A CCD rövidítés mögött is ennek a folyamatnak az angol elnevezése bújk meg. CCD = *Charge Coupled Device*, azaz töltéscsatolt eszköz. Ha egymás mellé több elektródát helyezünk el, s megfelelően változtatjuk az ezekre kapcsolt feszültséget, úgy a töltéscsomag mozgathatóvá válik. Ezt technikailag több módon is megoldható, s így megkülönböztetünk *kettős-, három- és négyfázisú* eszközöket.

**Háromfázisú töltéscsatolás.** Ennél a megoldásnál minden harmadik elektróda van összekötve, s ezeken a feszültségeket a 3. ábra jobboldali diagramja szerint változtatva az egyes töltéscsomagok balról jobbra mozognak.



3. ábra. A töltéscsomagok mozgása egy háromfázisú eszközben, és az egyes fázisok feszültség-idő grafikonja

$t_1$  időpillanatban a töltések csak az A jelű elektródák alatt találhatók, mivel mellettük, B és C elektródák alacsonyabb feszültség van.  $t_2$  időpont eléréséig B-re is fokozatosan a magasabb feszültséget kapcsoljuk. Így az elektronokat tartalmazó „potenciálgödör” kiszélesedik, majd A-n csökkentve a feszültséget ismét csak egy

elektródányi területen helyezkednek el a töltések, de ekkor már  $B$  alatt ( $t_3$ ). Ezt a folyamatot ismételve a töltések elléptethetőek a kiolvasó egységig, lépésenként 99,9990%-os határfokkal.

(Itt most részletesen nem térek ki a két- és négyfázisú megoldásokra. Csak annyit említek meg, hogy előbbinek egyszerűbb a technikai megvalósítása, de kisebb biztonsággal továbbítja a töltéseket gyors kiolvasáskor. Utóbbi azonban a 10 MHz-es tartományban is jó hatékonysággal alkalmazható.)

A kiolvasás úgy történik, hogy egy nagyon pontos referencias feszültséggel kalibrált kondenzátorra léptetnek egy töltéscsomagot, majd az annak kisütése során mért feszültségből levonva a referencias feszültséget megkapják az analóg jelet, mely arányos a beérkezett fotonok számával. Gyakran alkalmazzák az „*egybeolvasást*” (*binning*), amikor is 2–5 töltéscsomagot léptetnek föl egymás után a kiolvasó kondenzátorra, s azok együttes töltésmennyiségét mérik. Ennek hasznáról a későbbiekben lesz szó.

Innen már csak egy lépés, s a fent megismert működésű egységekből, a MOS tárolócellákhoz kapcsolt töltésléptető, illetve kiolvasó rendszerből elkészíthető egy CCD-chip. Ezek technikai megvalósításával, fizikai jellemzőivel s a fényérzékenységek tulajdonságaival foglalkozunk a következő részben!

FŰRÉSZ GÁBOR

THE EUROPEAN WEEK FOR SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL CULTURE 1996

# ASTRONOMY ON-LINE

Az **Astronomy On-Line** az eddigi legnagyobb csillagászati esemény a World-Wide-Weben. Az „eseményt” az ESO szervezi, az 1996. évi Európai Tudományos és Technológiai Héthez kapcsolódóan. Az **Astronomy On-Line** október elején kezdődött, de csúcspontja november 18–22. között lesz. Ebben a programban diákok, tanárok, továbbá hivatásos és amatőr csillagászok vesznek részt, kihasználva a World-Wide-Web szinte korlátlan lehetőségeit.

Az **Astronomy On-Line** home page-ek a következő címenek érhetőek el:

<http://www.eso.org/astronomyonline/> és  
<http://www.algonet.se/~sirius/eaae.htm>

A magyar **Astronomy On-Line** honlap címe:

<http://www.innin.elte.hu>