

KÉPÉRZÉKELŐK 2.

A CMOS szenzorok

Szabó Zsolt



Sorozatunk első részében a fotoelektromos jelenség alapjaival és a CCD-vel ismerkedtünk meg. Most a CMOS-rendszerű képerzékelőket mutatjuk be, és kitérünk a CCD- és CMOS-technológia közötti különbségekre is.

Ennek a típusnak a kifejlesztése és ipari szintű bevezetése a CMOS-technológia (lásd *keretes írásunkat*) kiforrottá válása után (1980-90-es évek) gyorsult fel. A CMOS félvezető-technológia nagyfokú integrációt tesz lehetővé. Az 1990-es évek közepétől a technológia és annak továbbfejlesztett változatai általánossá váltak a nagy bonyolultságú digitális áramkörök gyártásában. A képerzékelők fejlődése során a CMOS-technológia tette lehetővé, hogy a képerzékelő lapkán közvetlenül a fényérzékelő és töltéstároló fotodiódák mellé integrálják a pixelenkénti törlő, töltés/feszültség átalakító, jelerősítő, A/D átalakító, zajsűrítő, kiolvasó stb. áramköröket. A CMOS képerzékelő kimeneti pontjain már részben a feldolgozott kép digitális jeleit találjuk. A digitális kép kiolvasása a számítógépek félvezető memóriáinak kiolvasásához hasonlóan történik rendkívül nagy sebességgel, közvetlenül a töltéstároló mátrixból. A sebességnövekedés a CCD-rendszerhez képest akár tízszeres is lehet. Mindez ráadásul olcsóbb gyártást, egyszerűbb gépkonstrukciót és nagyobb sebességű jelfeldolgozást jelent. Ezeket az előnyös tulajdonságokat a CMOS egyik igen fontos sajátja, a lényegesen kisebb teljesítményfelvétel teszi teljessé.

A CMOS-ok működése

A CMOS képerzékelőknél az elektronikus zárfunkció megoldásához pixelenként további tranzisztorok kellenek (törlés, nyitás, zárás). A CCD-nél is alkalmazott klasszikus mechanikus zármegoldás mellé a CMOS érzékelőkhöz is többféle elektronikus zárat fejlesztettek ki. Ezek közül kiemeljük a legjobb eredményt hozó full frame megvilágítást, amelynél a mátrixelemek egyidejű megvilágítása történik. (Az itt használt, a megvilágítás egyidejűségére utaló full frame kifejezés nem

tévesztendő össze az érzékelők méretére utaló full frame összetétellel.) Az elektronikus full frame zármegoldás gyors, bemozdulásmentes expozíciót tesz lehetővé, kicsi késéssel, sorozatfelvételtre is alkalmas paraméterekkel. E rendszer egyedi negatívuma, hogy a szükséges plusztranzisztorok miatt kisebb a hasznos felület, ami a jel/zaj viszonyt valamennyire rontja. Meg kell említenünk, hogy a full frame rendszer sikeres volta ellenére a klasszikus digitális tükörreflexes gépeknél a még nagyobb felvételi gyorsaságot biztosító mechanikus zárat részesítik előnyben a zajsínt és például az akciófotográfia megnövekedett követelményei miatt.

A CMOS szenzorokhoz alkalmazott technológia az utóbbi években olyan magas fokra jutott, hogy a CMOS típusú képerzékelők méltó versenytársai lettek a CCD-rendszerűeknek. A CCD korábbi előnyei: a kisebb zaj, a nagyobb érzékenység, nagyfokú pixel- és áramköri azonosság, jobb pixelszám/felületegység mutatók stb. mára a CCD-vel közel azonos értékekre javultak. A CMOS egyéb előnyös tulajdonságait is figyelembe véve talán napjainkra kimondhatnánk, hogy a CMOS-é a jövő?

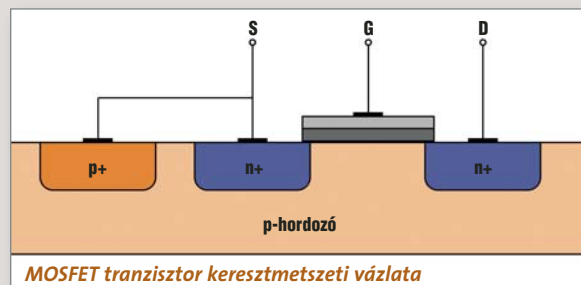


MOS és CMOS

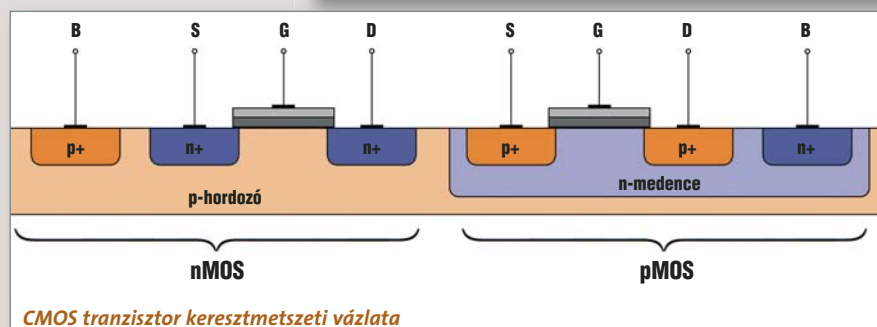
Az első MOSFET (Metal Oxid Semiconductor Field Effect Transistor) tranzisztorokat J. Atalla és D. Khang (Bell Labs) készítette el 1959-ben egy 1926-ból származó (Lilienfeld), később többek által (Heil, Shockley) is javasolt teória és szabadalmak alapján. Ennek lényege arról szólt, hogyan lehet térfeszültséggel elektronok, illetve töltések áramlását szabályozni félvezető anyagban. A Bell Labs két kutatója szilícium-félvezető felületre SiO₂ szigetelő- és vékony fémréteggel olyan szendvics-szerkezetet készített, amellyel a javasolt tervezérlést kapacitív csatolással meg tudták valósítani. A félvezető anyag (szilícium) felületén kialakított MOSFET tranzisztornak három fegyverzete van, a forrás (source), a nyelő (drain) és a kettőt összekötő csatorna feletti, szigetelt kapacitív fémfegyverzet, a kapu (gate). A forrás és a nyelő között az elektronok vagy a töltések áramlását a kapura kötött feszültséggel tudjuk szabályozni. Azt a technológiát, amellyel a MOSFET tranzisztorokat, és az ebből készített integrált áramköröket előállítják, MOS-technológiának nevezzük. A MOS tranzisztorok lehetnek analóg erősítő eszközök, vagy két állapotot (0 és 1) kapcsoló digitális áramkörök. Függően attól,

hogy a forrás, a nyelő és a csatorna milyen szennyezésű, beszélünk n-csatornás és p-csatornás MOS áramkörökről (nMOS, pMOS). Az első, kereskedelmi forgalomba került MOS-technológiájú integrált áramköröket 1964-ben hozták forgalomba (General Microelectronics).

1963-ban Frank Wanlass (Fairchild R & D Laboratory) egy konferencián bemutatott egy áramkört, amely egy nMOS és egy pMOS digitális kapu párhuzamos összekapcsolásából állt. A két tranzisztor egymás működését egészítette ki, emiatt a kapcsolást Complementary Metal Oxid Semiconductornak (CMOS) nevezték el. A CMOS kapuk működésükből adódóan a 0 és az 1-es nyugvó (stand-by) állapotban semmilyen teljesítményfelvételt nem igényelnek. A MOS áramkörök állandó fogyasztásával szemben a CMOS-nak csak a kapcsolási funkció alatt van áramfelvétele. A CMOS szerkezetet Wanlass 1967-ben szabadalmaztatta. Tekintettel a CMOS áramkörök nagyon alacsony fogyasztására és rendkívüli integrálhatóságára, a találmány jelentőségét nagyon hamar felismerték. Mára a nagy bonyolultságú digitális áramkörök (pl. processzorok) gyártásánál döntően ezt a technológiát alkalmazzák.



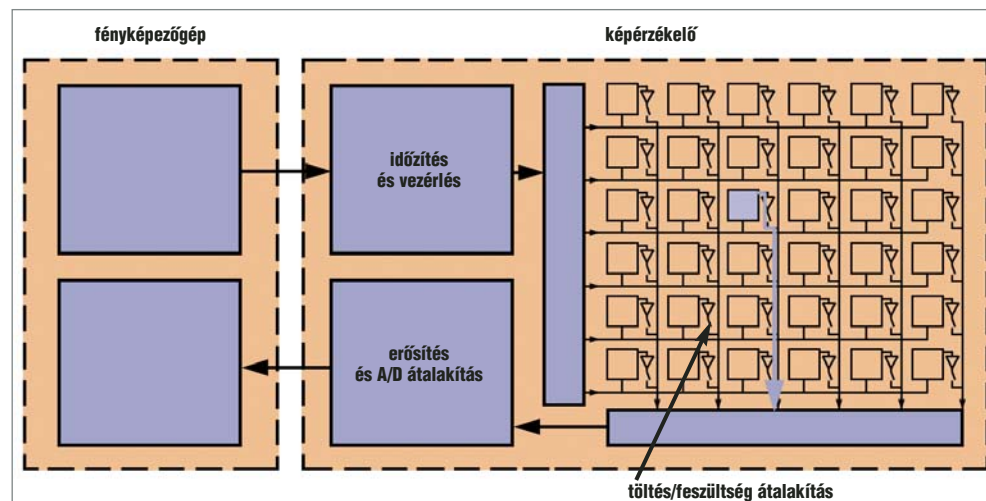
MOSFET tranzisztor keresztmetszeti vázlata



CMOS tranzisztor keresztmetszeti vázlata

Azt gondolnánk, a CMOS-technológia elképesztő felbontása (40-50 nm) a speciális felépítésű CMOS érzékelők felbontását is egyértelműen javítja. Sajnos egyelőre nem így van. Az eredetileg digitális áramkörökre kifejlesztett CMOS-technológia óriási litográfiai felbontása az analóg elemeknél korlátokba ütközött, mivel az ugyanazon a közös soron futó analóg és digitális elemek egyidejű gyártástechnológiája egyelőre nem teszi lehetővé, hogy a pixelenkénti paraméterek pontosan azonosak legyenek (erősítési tényező, merekség, érzékenység), mint tudjuk, a digitális elemekkel szembeni ilyen típusú követelmények általában kisebbek. Emiatt a CMOS képérzékelők fajlagos pixel/felület felbontása nehezebben növelhető a kép minőségének romlása nélkül. A nagyobb felbontások eléréséhez az analóg részek technológiai korlátai miatt nagyobb méretű érzékelőlapka szükséges, amennyiben jó képminőséget is akarunk. A CCD érzékelőknél ebből a szempontból jobb a helyzet. Ezeket az érzékelőket CCD-re specializált sorokon a CCD-re kifejlesztett, célorientáltan analóg elemekre optimalizált technológiával gyártják,

továbbá a lapkán levő analóg áramköri elemek kisebb száma miatt a technológia biztosítani tudja, hogy a gyártás során a pixelek paramétertérései rendkívül szűk tartományban maradjanak nagyobb fajlagos pixel/terület adatok mellett is. Emiatt a CCD képminősége elvileg jobb, főleg a kisebb méretű, igen nagy felbontású lapkáknál. Ez tette lehetővé, hogy a kompaktokhoz és a bridge kamerákhoz, bár kompromisszumos zaj-



A CMOS-rendszerű képérzékelők működésének elvi vázlata. Az ábrán egy kitüntetett pixel kiolvasási folyamata látható. Minden egyes pixelhez tartozik egy töltés-feszültség átalakító és egy helyi erősítő. Az erősítés és az analóg-digitális átalakítás magán a szenzorra történik, ahogy a pixelek vezérléséhez szükséges áramkörök is szenzorra vannak integrálva.

CCD és CMOS érzékelők összehasonlítása

Jellemző	CCD	CMOS
Félvezető-technológia	CCD-re optimalizált speciális MOS	általános CMOS
Fotoaktív elemek technológiája	analóg MOS	analóg MOS
Áramkörök lapkán belül	analóg	analóg és digitális
Kimeneti jelek	analóg	digitális
Legkisebb pixelméret (2010)	1,4x1,4 μm^2	1,6x1,6 μm^2
Litográfiai felbontás	< 1 μm	analógnál: < 1 μm , digitális áramköröknél: < 0,1 μm
Analóg gyártási pontosság	kiváló	közepes
Kiolvasási sebesség	full frame: közepes, interline: gyors	full frame: rendkívül gyors
Legnagyobb pixelsűrűség (2010)	50 MP/cm ²	37 MP/cm ²
Képmínőség, < 10 MP/cm ²	nagyon jó+	kiváló
Képmínőség, 10–25 MP/cm ²	kiváló	nagyon jó
Képmínőség, > 25 MP/cm ²	nagyon jó	jó
Blooming	közepes	minimális vagy nulla
Zaj és dinamika, < 10 MP/cm ²	nagyon jó	kiváló
Zaj és dinamika, 10–25 MP/cm ²	jó+	jó
Zaj és dinamika, > 25 MP/cm ²	jó	közepes+
Előállítási költség nagy sorozatnál	közepes	alacsony
Előállítási költség kis szenzorméreteknél	közepes	alacsony
Előállítási költség nagyméretű szenzoroknál	magas	közepes
Tervezési ráfordítások	alacsonyak	magasak
Teljesítményfelvétel	közepes	nagyon alacsony (3–10x kisebb)
Frame-kiolvasás, tipikus, kép/s	12	60
Folyamatos expozíció, kép/s	0,8–8	4–12
Gyártás gazdaságossága	már közepes sorozattól	nagy sorozattól

Megjegyzés: zöld a jobb jellemző!

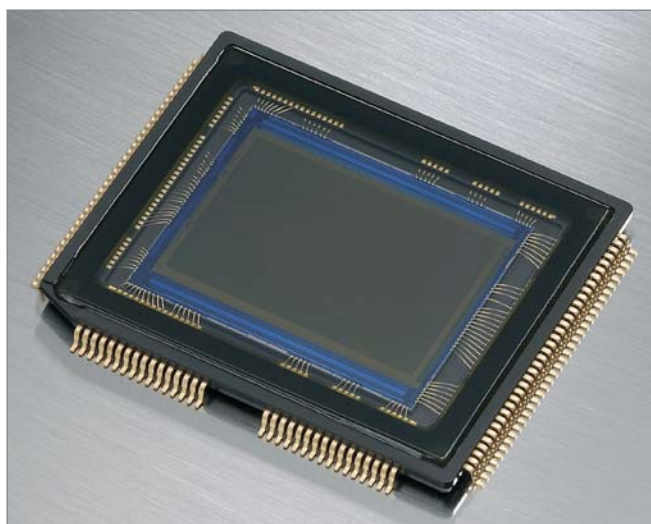
és dinamikaparaméterekkel, nagy felbontású, elfogadható sebességű, kiváló képmínőségű pixelmátrixokat is forgalomba tudjanak hozni. Kimondható azonban az is, hogy nagyobb méretű szenzoroknál a CMOS képmínősége és zajszintje a CCD-vel közel azonos, sebessége lényegesen nagyobb, olcsóbban gyártható és sokkal kisebb a teljesítményigénye. Ezek miatt a CMOS-technológia az APS-C és full frame szenzoros gépeknél egyre nagyobb teret nyert. Sőt mára, korlátai ellenére CMOS érzékelőkkel épített kompaktok is

megjelentek a piacon, elsősorban gazdaságossági okok miatt. A jobb áttekinthetőség érdekében a CCD- és a CMOS-rendszerű érzékelők főbb jellemzőit egy összehasonlító táblázatban foglaltuk össze.

Hogyan készülnek a szenzorok?

Az integrált áramkörök, képérzékelők stb. tervezése rendkívül fejlett tervezőprogramokkal, technológiai adatbázisokkal, szimulációk lefuttatásával történik. A tervezés fontos fázisa a képszerkeztúrát hordozó maszkok megtervezése, elkészítése, a direkt leképzési vezérlőprogramok létrehozása. Nemcsak az áramkörök működését, hanem a technológiai műveleteket, a gyártó berendezések beállítandó paramétereit, az ellenőrzési pontokat stb. is lépésről lépésre megtervezik, a műveleteket szimulálják. A gyártósorokat a kapott adatok alapján állítják be. A MOS és a CMOS félvezető technológiák műveletei közel azonosak. Mindkét eljárás a vékony rétegek leválasztási (CVD, PECVD, vákuumgőzölés, katódporlasztás, epitaxiális növesztés stb.), szennyezési (diffúzió, ionimplantáció stb.), fotolitográfiai (maszkkészítés, illesztések, képátviteli technikák, reziszt műveletek, kémiai és plazmás maratások, tisztítások stb.), valamint ellenőrzési technológiákra épül. Az áramkörök háromdi-

A Nikon D5000 fényképezőgép 12,3 megapixeles CMOS-rendszerű képérzékelője



menziós struktúrák, ahol a magasság azonban csak néhány mikron kiterjedésű. Az egymásra épülő, egymáshoz hallatlan precizitással illesztett rétegek száma meghaladja a 15-25-öt, de a műveletek száma több száz is lehet. A rétegrendszer a szilíciumhordozó egykristályszeletre kerül, melynek átmérője ma már 8-12 inch (200-300 mm). A gyártás során ekkora szeletekre akár több ezer nagy bonyolultságú, több millió tranzisztort tartalmazó integrált áramkör is elhelyezhető. A szeleteken levő áramkörök egyszerre készülnek el, amelyeket a szelettechnológiák befejezése után feldarabolnak, az egyedi áramköri lapkákat betokozzák, s elvégzik a végső beméréseket, ellenőrzéseket.

A litográfiai felbontás (feature size, egy alkat elem legkisebb jellemző mérete) a CMOS digitális áramköröknél, memóriáknál ma 32–65 nm

(nanométer) körül van, míg a 10 megapixelnél nagyobb felbontású CCD-k és a CMOS érzékelők analóg, fotoaktív elemei egy nagyságrenddel na-



gyobb, szubmikronos méretekkel készülnek. Az illesztések tűréseinek a jellemző méret 10%-ánál jobbnak kell lenniük. Minden félvezető-technológia szupernagy tisztaságú (FS Class 1 és 10), szigorúan ellenőrzött környezetben történik, ami alapfeltétel a jó kihozatalú gyártáshoz. ■

Az előző részben

- A fotovoltaiikus jelenség
- A CCD képerzékelők
- A CCD-k megvilágítása és kiolvasása
- A CCD-k kifejlesztése

A következő részekben

- A színes képalkotás, avagy a Bayer-mozaik
- A mikrolencsék
- A képzet és az érzékenység
- Dinamika és blooming

Kapcsolódó cikkek

2003. október, 58. oldal – Boncasztal: Tükörreflexes fényképezőgép
 2003. decembertől – Képerzékelők felépítése, működése 1–3.
 2005. november, 42. oldal – CMOS kontra CCD
 2007. július–augusztus 62. oldal – Hogyan keletkezik a képzet?
 2009. jan.–febr., 119. oldal – Felbontás, szenzorméret, nagyíthatóság

Jó kép helyébe jót várj!

Több mint 600
elégedett megrendelőnk
egyikétől idézzük:

„A kép még két évvel ezelőtti Sri Lankai utamon készült, azóta számos hazai és külföldi kiállításon szerepelt a falakon. Ezután döntöttünk úgy hogy a nappalink falára is készíttetnénk belőle egy példányt. Mindenképp valami különlegeset szerettünk volna. Gyors, precíz, hozzáértő csapatot kerestem a megvalósításhoz és így jutottam el a fotóvászonra.hu oldalra. **A végeredmény tökéletes lett.** Biztos vagyok benne, hogy fogok még rendelni Önöktől! (a következő kiállításomra is készíttetek néhány nyomatot).”



Töltse fel a képét on-line...

- ➔ Látványtervet küldünk jóváhagyásra.
- ➔ Fotóminőségű művészi nyomtatóval prémium festővászonra nyomtatjuk.
- ➔ Ékelt fenyő vakrámára feszítjük.
- ➔ Igény szerint csomagoljuk és házhoz szállítjuk.

FotóVászonra.hu

Ügyfélszolgálat:
1145 Budapest, Amerikai út 56.
Telefon: 2233-033
iroda@fotovaszonra.hu