

4. Az integrált áramkörök gyártástechnológiája III. - Integrált áramkörök mikroszkópi vizsgálata

Szerző: Dr. Földváry-Bándy Enikő, Dr. Juhász László, Dr. Neumann Péter

4.1. Célkitűzés

A továbbiakban az integrált áramkörök belső felépítésének megismerésével foglalkozunk. Fontos lehet ugyanis az alkalmazás során, hogy a teljes áramkörről legyenek ismereteink, s az IC ezekben ne csak mint egy fekete doboz szerepeljen.

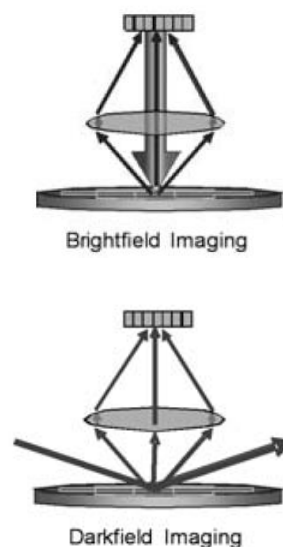
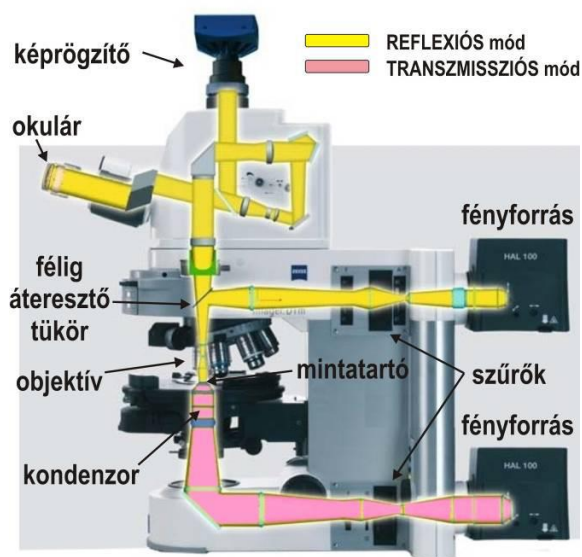
Az áramköri számítások során (modellezés) az egyes alkatrészeket rendszerint viszonylag egyszerű rétegszerkezetekkel veszik figyelembe. Ez általában nem okoz hibát az eszközök fontosabb jellemzőinek (pld. statikus karakterisztika) kiszámításakor, de a pontosabb modellezéshez lényeges lehet a felépítés pontosabb ismerete.

A belső felépítés, a technológia ismeretében megalapozottabb döntések születhetnek a legmegfelelőbb alkatrészek kiválasztásával kapcsolatban, a szokásostól eltérő alkalmazás pedig szinte minden esetben lényegessé teszi legalább a kimeneti és bemeneti fokozatok bizonyos fokú ismeretét. Ugyanakkor lényeges lehet a belső felépítés megismerése egy hibaanalízis során is.

A fentiekben részletezettek mellett a fejezet lehetőséget ad a mikroszerkezetek mikroszkópos vizsgálati eljárásának és minősítésének megismerésére is.

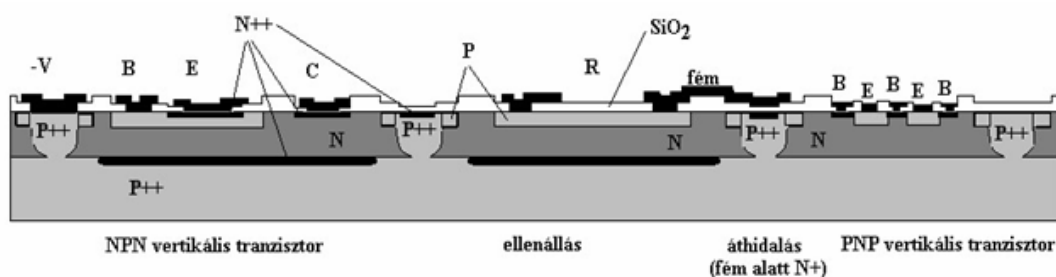
4.2. A méréshez szükséges optikai mikroszkópiai ismeretek

Az egyszerű, kevés és nagyméretű elemet tartalmazó áramkörök esetén lehetőség nyílik az integrált áramkör optikai mikroszkópos vizsgálatára, esetleges áramköri megoldások analízisére (*reverse engineering*). A 3-1. ábrán látható egy általánosan használt optikai mikroszkóp felépítése és a fény lehetséges útjai (*reflexió* → felületről visszaverődő és *transzmisszió* → felületen áthaladó mód). Általánosan a mikroelektronikai alkalmazásoknál a reflexió üzemmodot lehet alkalmazni, mivel a látható fénytartományú megvilágítással az integrált áramköröknél alkalmazott Si hordozót nem tudjuk átvilágítani. (Ehhez infra tartományú fényforrásra lenne szükség, hogy „átlátszó” legyen a Si hordozó.) Az optikai vizsgálati módtól függetlenül két megvilágítási eljárást alkalmazható, amelyek információtartalma különböző a vizsgált mintáról: világos látóterű (pl. szín, réteg alatti szerkezetek, stb.) és sötét látóterű (pl. topológiai információk) megvilágítás. Világos látóterű megvilágításnál a mintára merőleges a megvilágító fény útja, míg a sötét látóterű megvilágításnál a megvilágító fény oldalról, kis szögben világítja meg a vizsgálandó mintát.



4-1. ábra Optikai mikroszkóp (oldalnézet) felépítése, feltüntetve az optikai utakat (balra). Világos (BF - bright filed illumination) és sötét (DF - dark filed illumination) látóterű megvilágítási lehetőségek.

Általában az optikai vizsgálatokat az áramkör-visszafejtő vagy a hibaanalízishez köthető módszereknél alkalmazzák a gyakorlatban. A vizsgálatot megkönnyíti az a tény, hogy a planáris technológia során azonos, illetve eltérő kezelést kapott felületelemek azonos, illetve eltérő színűek (az eltérő oxidvastagság különböző interferencia színeket eredményez). Amennyiben az áramkör felületét vastag passzíváló üvegréteg borítja, akkor az interferenciaszínek gyengülhetnek, vagy teljesen eltűnhetnek. Az optikai vizsgálat során jól elkülöníthetőek a diszkrét alkotóelemek, illetve meghatározható a környező elemekhez való elektromos kontaktus csíkok útvonala is.

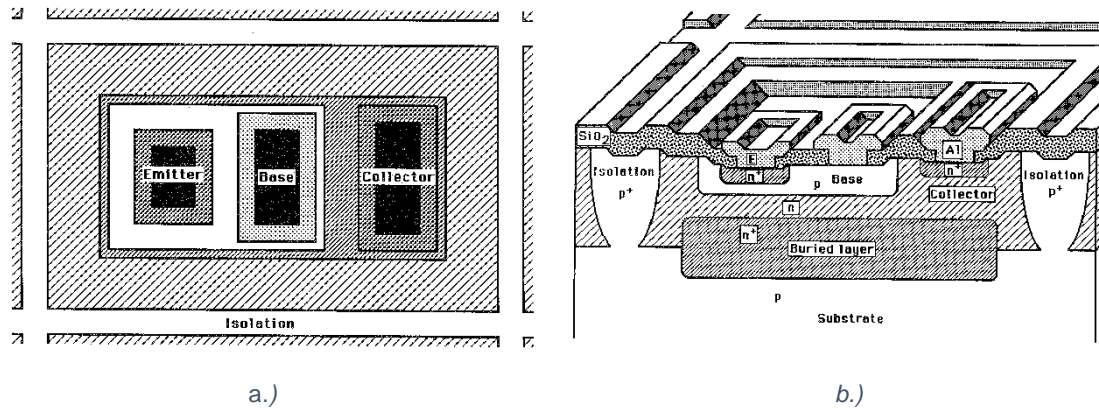


4-2. ábra Bipoláris technológiával készített IC keresztmetszete

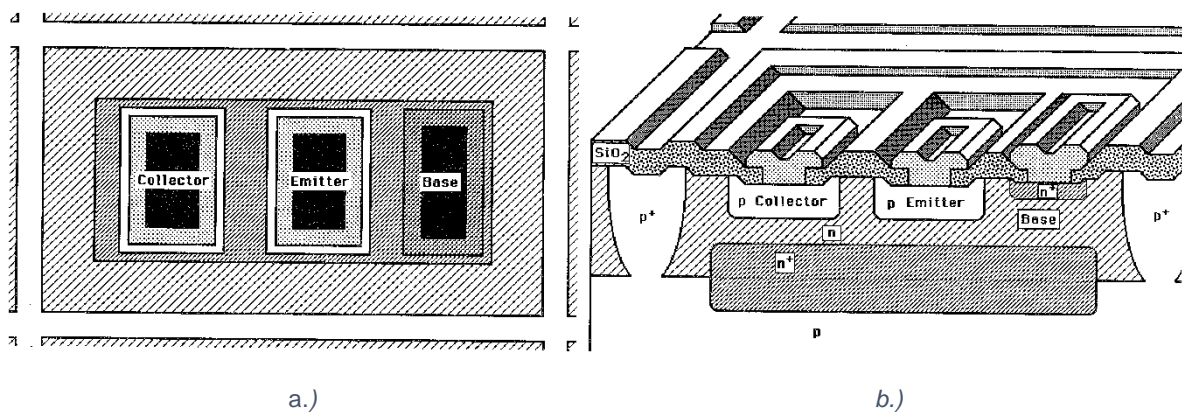
A bipoláris technológia esetén az ezüstösen csillogó alumínium réteg alatt megtalálható legkisebb alakzat rendszerint a kontaktus ablak. Ennek belsejéből indulva a kontúrok leszámrlásával (4-2. és 4-3. ábra) sorban el lehet jutni az n^+ emitter-diffúzió, a bázisdiffúzió és az n sziget határáig. A bázisdiffúzió alatt esetenként az eltemetett réteg kontúrjai is felismerhetők. Ha a kontaktus ablakból indulva kevesebb számolható össze az elszigetelő p^+ területig, akkor a kontaktus ablak nem emitter diffúzióhoz csatlakozik, hanem a bázisdiffúzióhoz, illetve az n szigetbe készített n^+ réteghez.

4.3. Bipoláris technológiával létrehozható alkatrészek

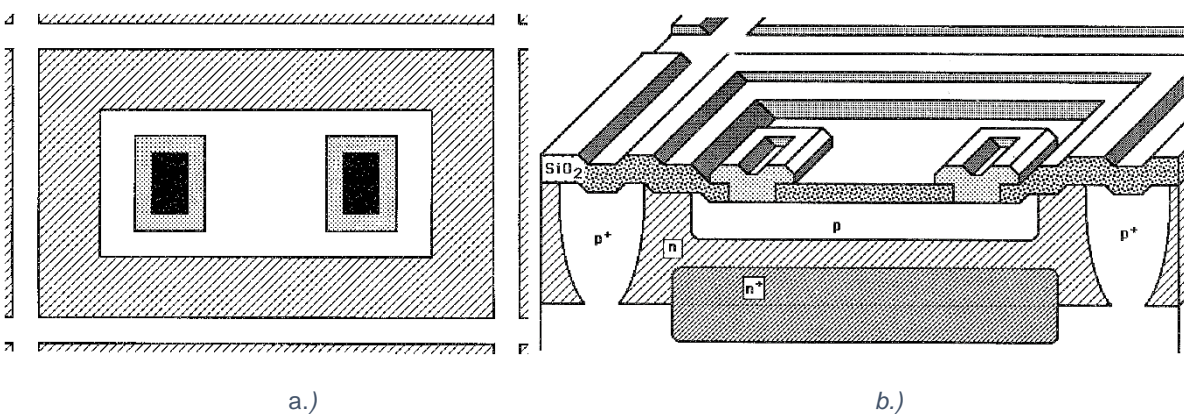
Az alábbiakban a bipoláris integrált áramkörök alkatrészkészletéből pár képes példát mutatunk be a laboratóriumban elvégezhető áramkör-visszafejtő gyakorlat megkönnyebbítésére. [1]



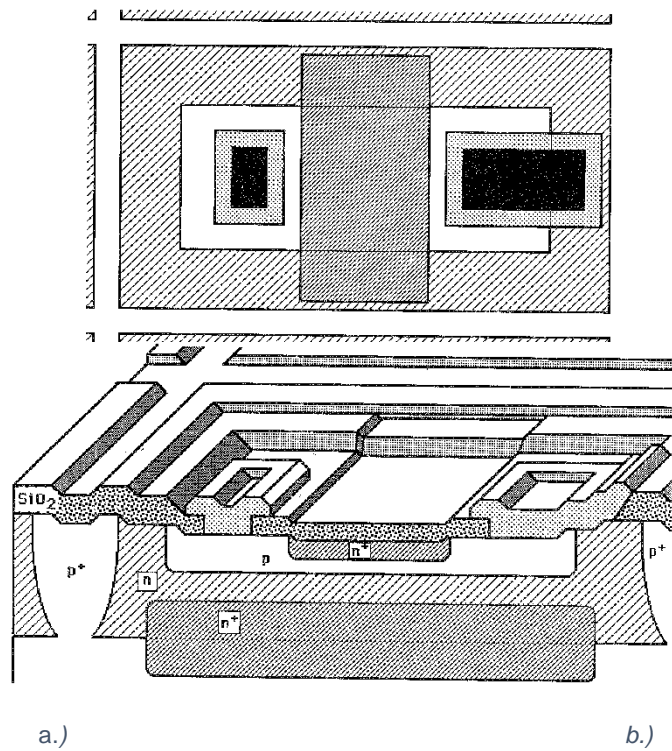
4-3. ábra Vertikális NPN tranzisztor: a.) felülnézeti kép, b.) keresztmetszeti rajz



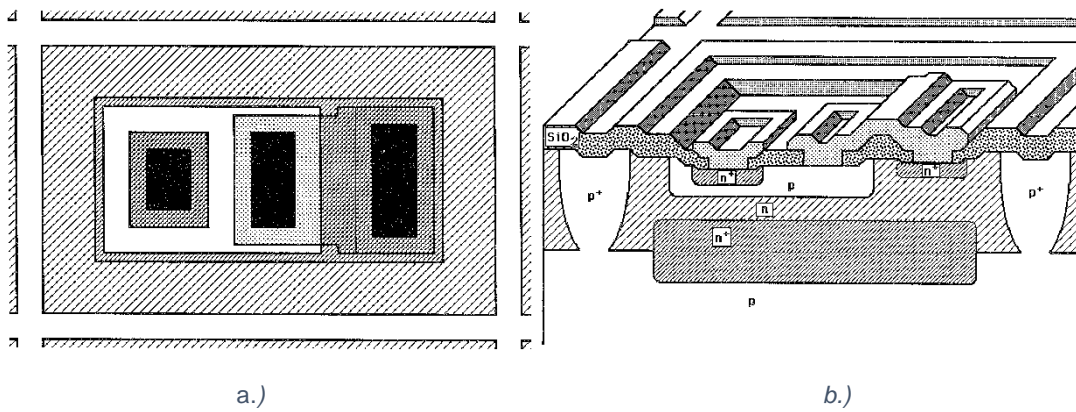
4-4. ábra Laterális PNP tranzisztor: a.) felülnézeti kép, b.) keresztmetszeti rajz



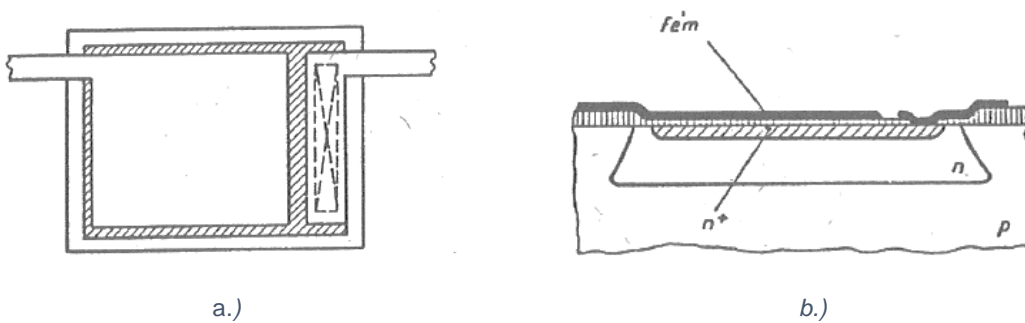
4-5. ábra Bázis ellenállás: a.) felülnézeti kép, b.) keresztmetszeti rajz



4-6. ábra Megnyomott ellenállás: a.) felülnézeti kép, b.) keresztmetszeti rajz



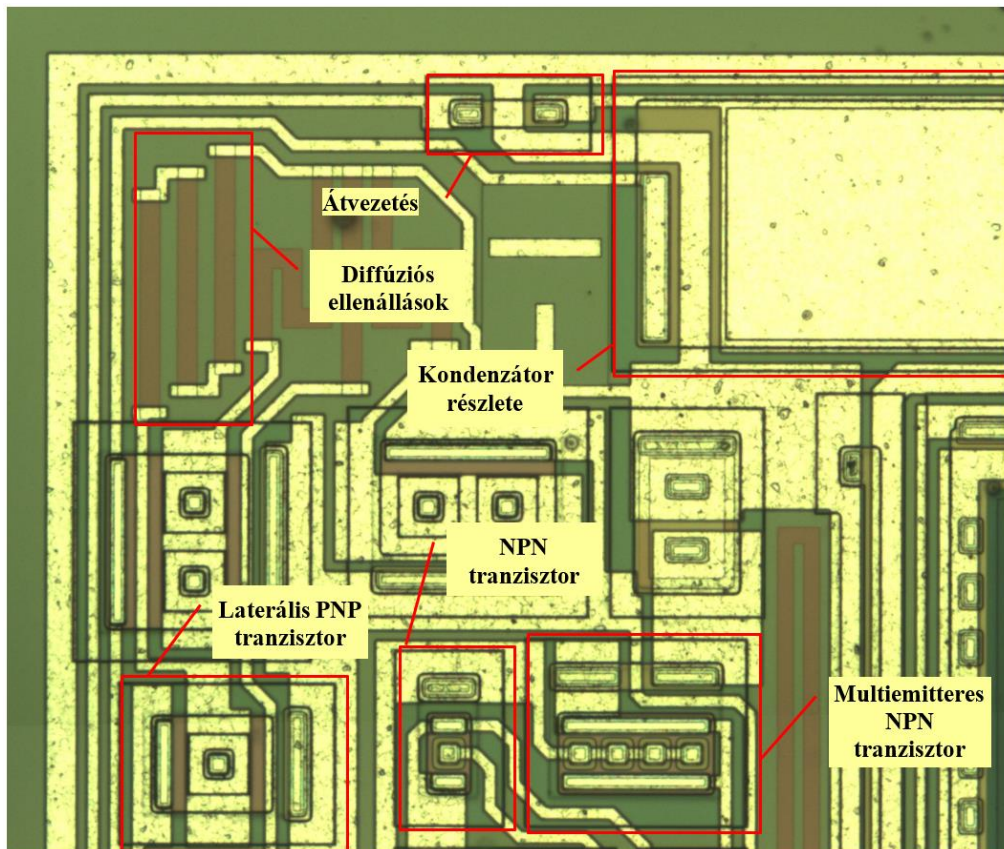
4-7. ábra E-B dióda: a.) felülnézeti kép, b.) keresztmetszeti rajz



4-8. ábra Kondenzátor: a.) felülnézeti kép, b.) keresztmetszeti rajz

4.4. Egy bipoláris integrált áramkör alkatrészeinek felismerése

A 4-9. ábra egy bipoláris integrált fényérzékelő áramkör egy kis részének fényképe. A fenti ábrák útmutatást adnak az egyes alkatелеmek azonosításához. Az emitter diffúziót fedő SiO_2 színe a képen almazöld, a bázisdiffúzióé barna, a zsebek oxidja sötétzöld. Az eltérő színeket a már említett oxidvastagság-különbség okozza.



4-9. ábra Bipoláris fényérzékelő áramkör egy részlete

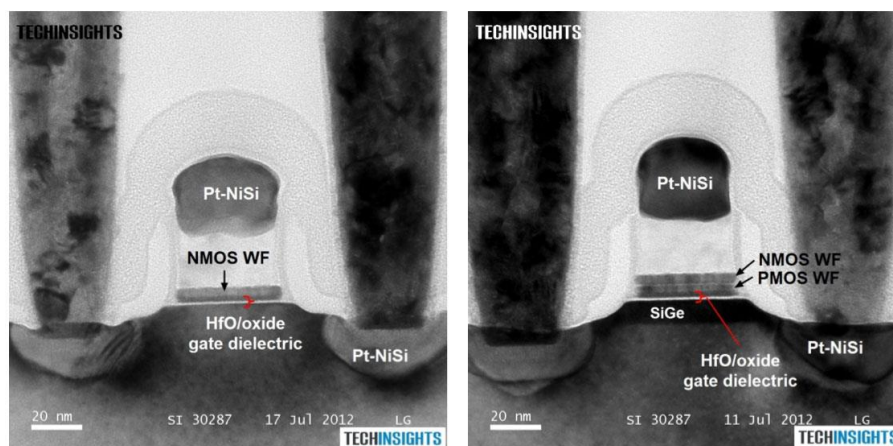
A bal felső sarokban látható egy bázisdiffúzióval készített, meander alakú (nagy értékű) ellenállás. Mellette, a jobb felső sarokban egy nagy felületű kondenzátor egy részletét találjuk. A kettő között megfigyelhető egy bújtatott átvezetés a fémes kereszteződés elkerülése érdekében, melyet kis ellenállású emitter diffúzióval oldották meg.

Jól megfigyelhetők az „n” zsebek kontúrjai, melyekben az alkatелеmek elhelyezkednek. Egy zsebben természetesen több alkatrész is elhelyezhető, de akkor ezek alulról, az „n” zseben keresztül rövidre vannak zárva. (Rövidzárat, azaz összeköttetést speciális esetekben tehát a felületen megfigyelhető fémezés nélkül is meg lehet oldani.) Az ábrán lent középen látható egy NPN tranzisztor, tőle balra egy laterális PNP tranzisztor. Az ábra jobb alsó részén egy multiemitteres NPN tranzisztort találunk (4 emitterrel, melyek itt most össze vannak kötve). Megfigyelhetjük, hogy az NPN tranzisztorok esetében, az egyenletesebb árameloszlás érdekében, a bázis kontaktusa két oldalról vezérli az emitteráramot.

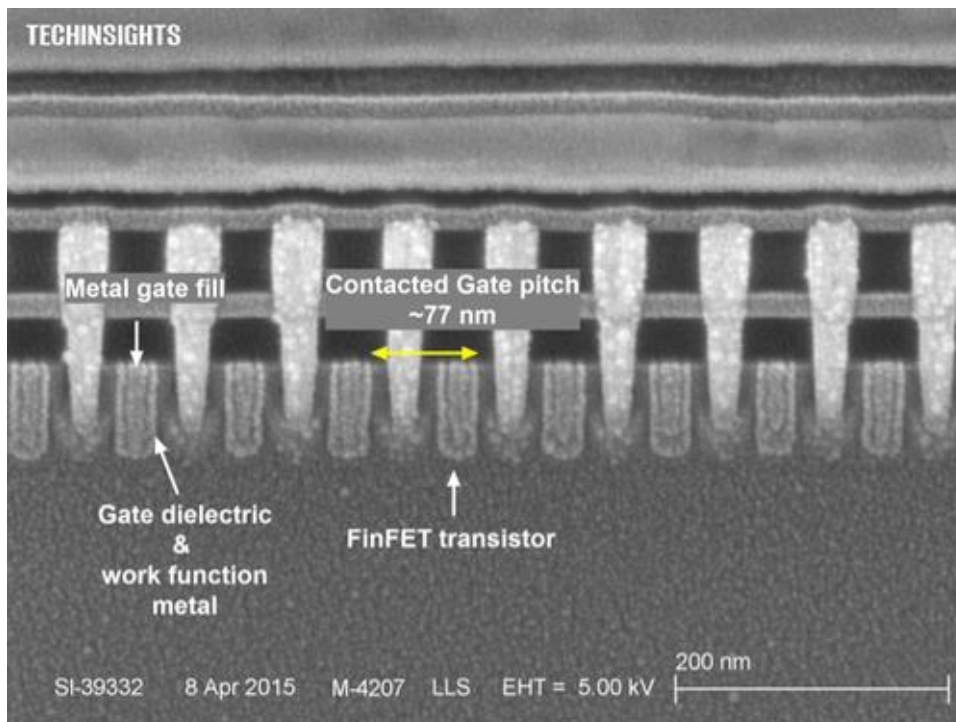
Egy teljes bipoláris áramkör vizsgálata a gyakorlaton történik, a fenti példák segítségével az alkatrészek önállóan felismerhetőek, az áramkör „visszafejthető”.

4.5. Egyéb analitikai eljárások integrált áramkörökhöz

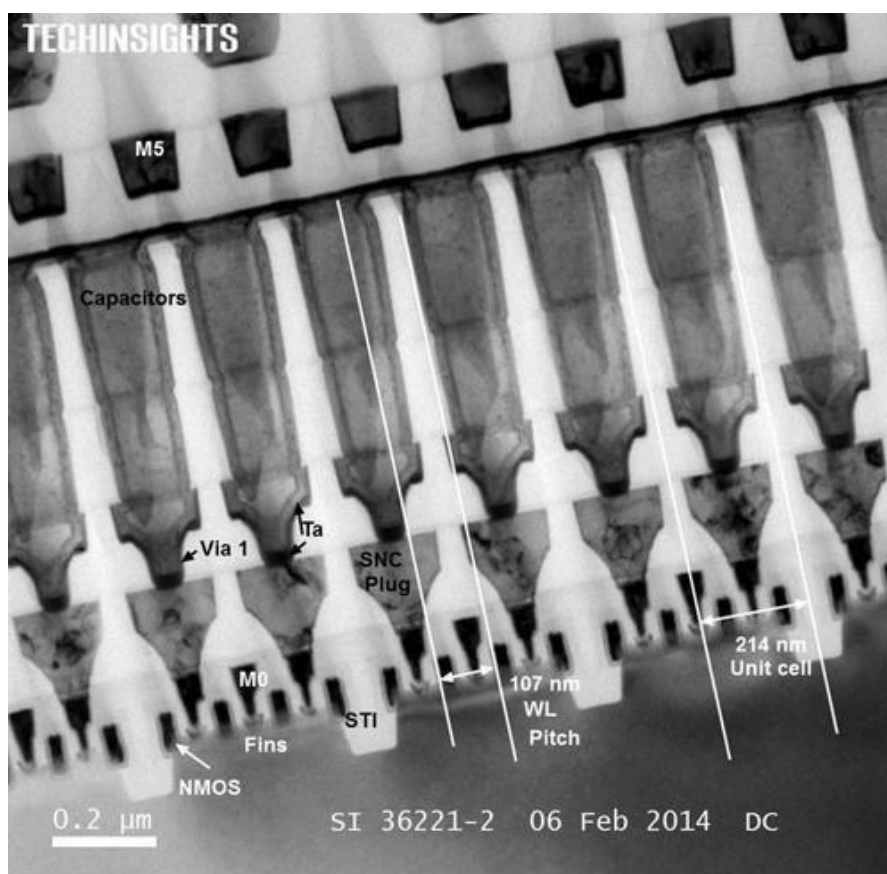
Nagybonyolultságú, kisméretű elemeket tartalmazó áramkörök esetén az optikai mikroszkópos vizsgálatot felváltja az pásztázó elektronmikroszkópos (SEM), transzmissziós elektronmikroszkópos (TEM) vagy atomerőmikroszkópos (AFM) vizsgálat. A felsorolt vizsgálati módszerek alkalmasak a különálló eszközök (pl. tranzisztorok, diódák, kapacitások, ellenállások) azonosításán túl akár komplex struktúrák vagy eszközök minősítésére is. Az eredmények elősegítik a kialakított rétegszerkezet megismerését illetve lehetőség nyílik a félvezető eszközök egyes rétegvastagságainak mérésére is. Az alkalmazható eljárások általában idő- és gépigényesek, ezért a gyakorlatok során ezek alkalmazására nem nyílik lehetőség.



4-10. ábra Samsung gyártmányú 32nm-es technológiával készült NMOS és PMOS tranzisztorok SEM felvételei [2]



4-11. ábra 14 nm technológiával készített FinFET SEM felvétele [3]



4-12. ábra Beágyazott DRAM SEM felvétele [4]

4.6. Feladatok:

1. Különböző technológiákkal készült monolitikus integrált áramkörök szemrevételezése mikroszkópon keresztül, az eltérő gyártási technológiákhoz (bipoláris, MOS) kapcsolódó jellegzetes vonások felismerése.
2. Áramkör visszafejtés (reverse engineering).

4.7. Ajánlott irodalom

- [1] W. Maly, Atlas of IC technologies: An Introduction to VLSI Processes, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1987
- [2] Kevin Gibb, **Tracing Samsung's Road to 14nm**, EETimes, 2015.05.12.
http://www.eetimes.com/author.asp?doc_id=1326397
- [3] Kevin Gibb, **Samsung catches up with Intel, delivers its 14nm**, EETAsia, 2015.04.14
http://m.eetasia.com/ART_8800711554_480200_NT_f67583a1_2.HTM#.VrB5IFlqdl4
- [4] Arabinda Das, **Intel's eDRAM and the new age of cache memory**, 2014.08.25
http://www.eetindia.co.in/ART_8800700545_1800009_TA_7532c78c.HTM