



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Elektronikus Eszközök Tanszéke

Dr. Mizsei János, Timárné Horváth Veronika

Integrált áramköri technológia

Segédlet a Mikroelektronika laboratórium 2. méréséhez

Budapest, 2009. szeptember

A. Integrált áramkörök mikroszkópi vizsgálata

Célkitűzés:

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

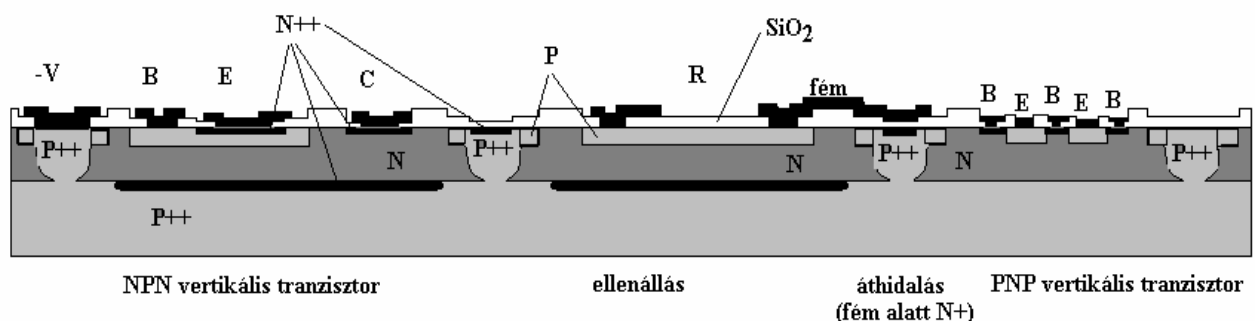
Az áramköri számítások során (modellezés) az egyes alkatrészeket rendszerint viszonylag egyszerű rétegszerkezetekkel veszik figyelembe. Ez általában nem okoz hibát az eszközök fontosabb jellemzőinek (pld. statikus karakterisztika) kiszámításakor, de a pontosabb modellezéshez lényeges lehet a felépítés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

A fentiekben részletezettek mellett a gyakorlat lehetőséget ad a mikroszerkezetek optikai mikroszkópos vizsgálati eljárásának megismerésére.

A méréshez szükséges optikai mikroszkópiai ismeretek:

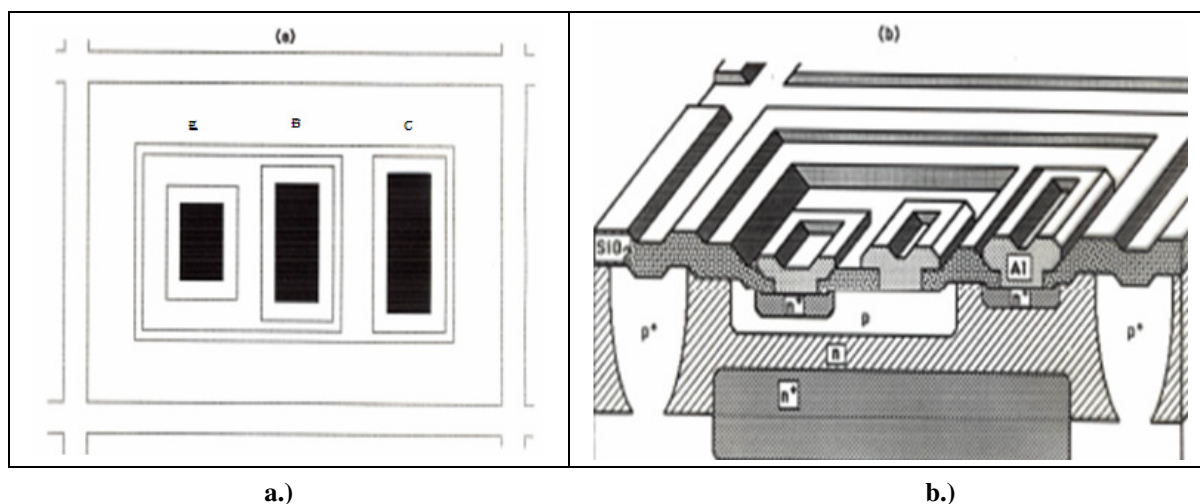
Az egyes áramköri elemek felismerését és azonosítását az optikai mikroszkópos vizsgálat során megkönnyíti az a tény, hogy a planáris technológia során azonos, illetve eltérő kezelést kapott felületelemek azonos, illetve eltérő színűek (az eltérő oxidvastagság különböző interferencia színeket eredményez).



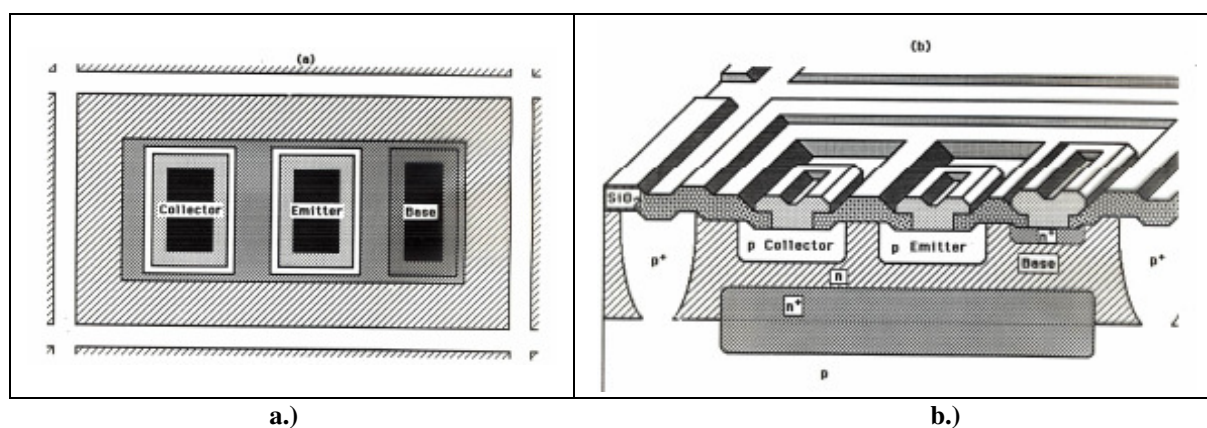
1. ábra. Bipoláris technológiával készített IC keresztmetszete

A bipoláris technológia esetén az ezüstösen csillogó alumínium réteg alatt megtalálható legkisebb alakzat rendszerint a kontaktus ablak. Ennek belsejéből indulva a kontúrok leszámlálásával (lásd 1. és 2. 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.

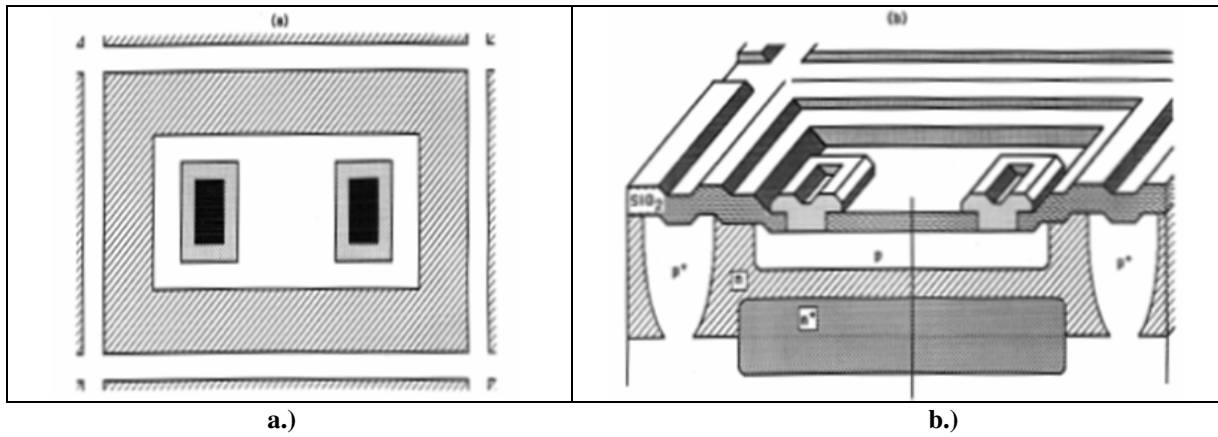
Az alábbiakban a bipoláris integrált áramkörök alkatrészkészletéből pár képes példát mutatunk be a laboratóriumban elvégezendő áramkör-visszafeltő gyakorlat megkönnyebbítésére.



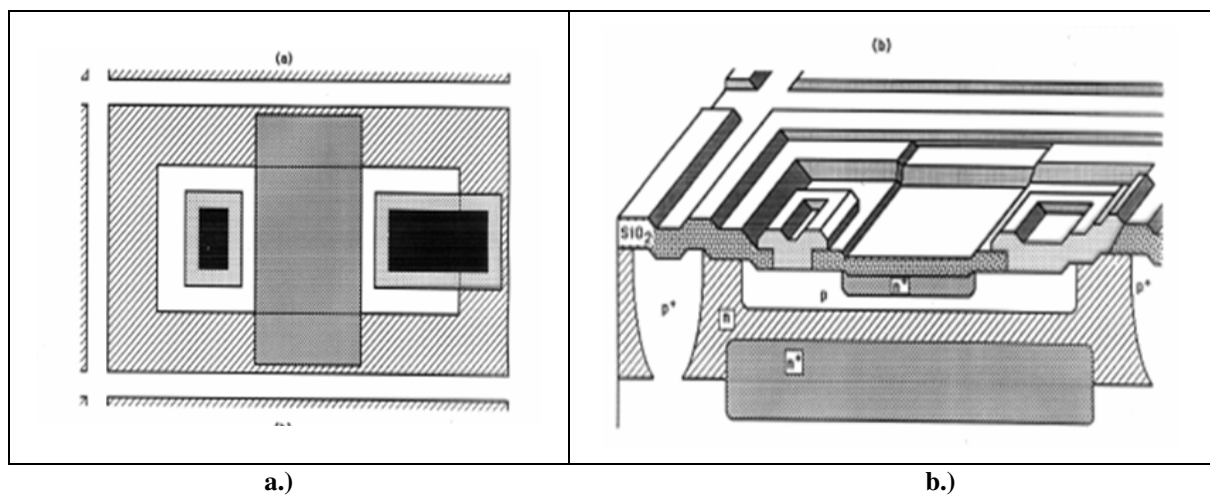
a.)
b.)
2.ábra. Vertikális NPN tranzisztor: a.) felülnézeti kép, b.) keresztmetszeti rajz



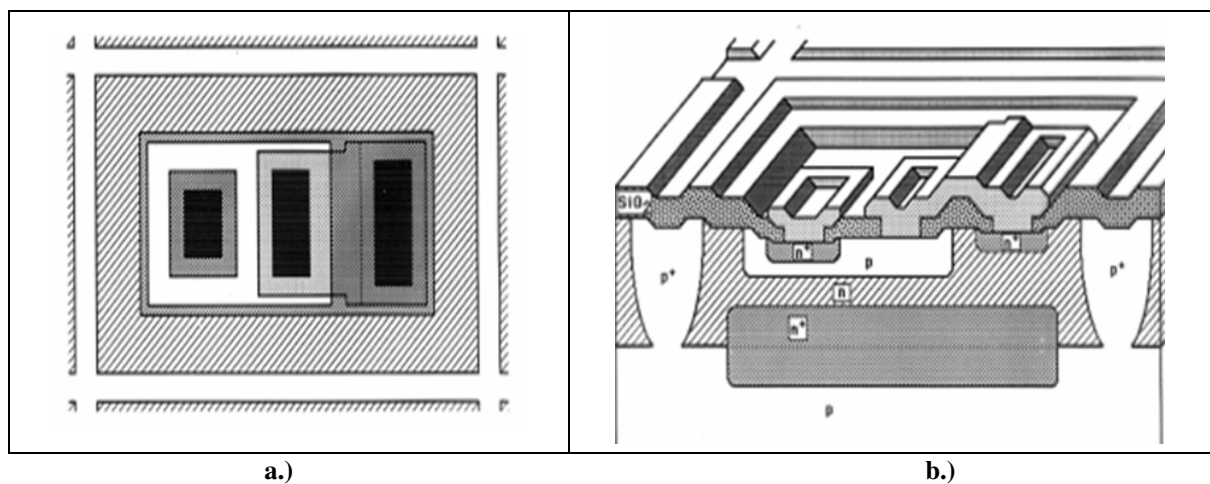
a.)
b.)
3.ábra. Laterális PNP tranzisztor: a.) felülnézeti kép, b.) keresztmetszeti rajz



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



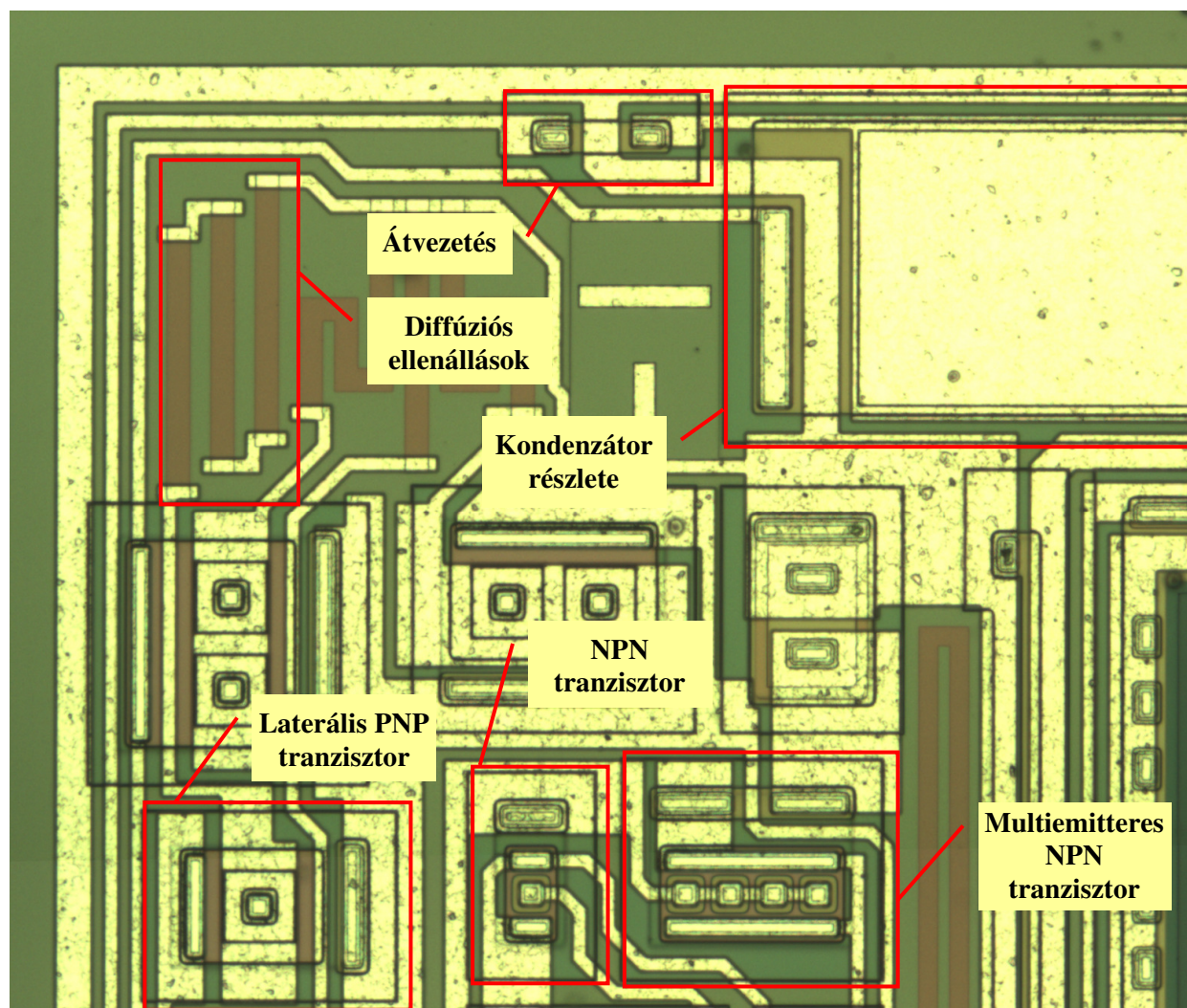
5.ábra. Megnyomott ellenállás: a.) felülnézeti kép, b.) keresztmetszeti rajz



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

Egy bipoláris integrált áramkör alkatrészeinek megnevezése, szerepe:

A 7. ábra egy bipoláris integrált fényérzékelő áramkör egy kis részének fényképe. A fenti ábrák útmutatást adnak az egyes alkatemek 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.



7. 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 (lásd pl. a bekeretezett multiemitteres tranzisztor keretén belül), melyekben az alkatemek elhelyezkednek. Egy zsebben

természetesen több alkatrész is elhelyezhető, de akkor ezek alulról, az „n” zseben keresztül rövide vannak zárva. (Rövidzárat, összeköttetést speciális esetekben tehát a felületen megfigyelhető fémezés nélkül is meg lehet oldani.) Az ábrán bekeretezve, 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.

A teljes bipoláris fényérzékelő áramkör vizsgálata a gyakorlaton történik, a fenti példák segítségével az alkatrészek önállóan felismerhetők, az áramkör „visszafejthető”.

Ha az áramkör felületét vastag passzíváló üvegréteg borítja, akkor az interferenciaszínék gyengülhetnek, vagy teljesen eltűnhetnek. Ha pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgálunk, nem kapunk színinformációt. Ekkor a különböző felületek a domborzat, valamint a topológia alapján, többé-kevésbé egyszerű szabályok alapján azonosíthatók.

Útmutató a felkészüléshez:

- A gyakorlatra ismerni kell a monolit IC gyártás alaplépéseit, a monolit IC alkatrészkészletét (bipoláris és MOS), az alkatrészek felépítését (az áramkört alkotó rétegek elhelyezkedését). Dr. Mojzes Imre szerk., „Mikroelektronika és technológia”, Műegyetem kiadó, 2005, ISBN 9634208479 (85-116.old.) alapján.
- Mikrorendszerek (IC-k) képei a hálózaton:
http://www.eet.bme.hu/publications/e_books/mikroszkop/mikro.html

Ellenőrző kérdések:

1. Milyen alkatelemek jellemzőek a bipoláris, és milyenek a MOS integrált áramkörökre?
2. Adja meg a következő IC alkatelemek felülnézeti képét (layout) és keresztmetszeti rajzát:
NPN tranzisztor, vertikális PNP tranzisztor, laterális PNP tranzisztor, ellenállás (bázisdiffúziós, megnyomott), nagyobb teljesítményű tranzisztor, kapacitás, dióda, multiemitteres tranzisztor!
3. Mi az eltemetett réteg, és mi a szerepe a fenti alkatelemek működése szempontjából?
4. Milyen jellemző elektromos tulajdonságai vannak a fenti alkatelemeknek?

Feladatok:

1. Különböző technológiákkal készült monolitikus integrált áramkörök szemrevételezése mikroszkópon keresztül, az eltérő gyártási technológiákhoz (bipoláris, MOS) kapcsolódó jellegzetes vonások felismerése.
2. Egy adott IC, vagy IC részlet megfejtése a kapcsolási elemek szintjéig. Keressen kisteljesítményű NPN, nagyteljesítményű NPN tranzisztort, diódát, PNP tranzisztort, ellenállást, megnyomott ellenállást, kapacitást! Rajzolja fel az IC elektromos kapcsolásának egy részletét!

B. Tisztaszobai (tisztatéri) ismeretek és UV-litográfia

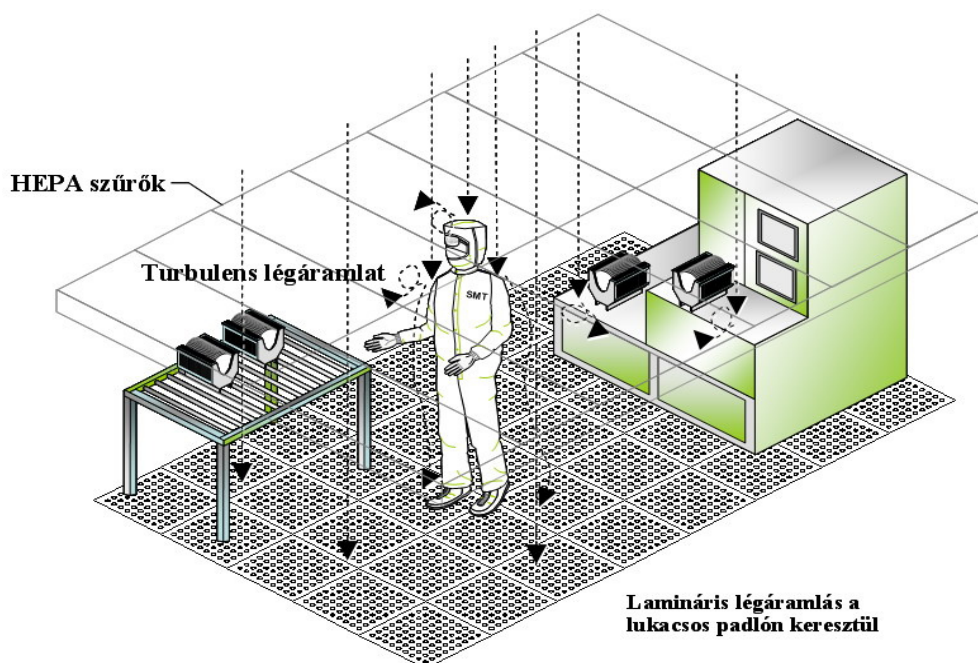
A laboratóriumi gyakorlat felében néhány alapvető technológiai lépés kerül bemutatásra a Félvezető Laboratórium tisztaszobájában. A félvezető technológiában a tisztaság szerepe kulcsfontosságú. Jó példa ennek szemléltetésére egy porszem, amely néhány μm átmérőjű, míg a mai VLSI technológiában a csíkszélesség a nm-es tartományba esik. Ha egy porszem rákerül a szeletre, akkor egy teljes chipet tönkretehet. Az iparban alkalmazott tisztaszobákat – megfelelő szabvány szerint – különböző osztályokba sorolják a tisztaságuknak megfelelően (1. táblázat).

1. táblázat. Tisztatéri szabványok, tisztatéri osztályok

ISO 14644-1 („új” szabvány) maximális lebegő részecskeszám/ m^3							FED STD 209E („rég” szabvány)
Osztály (Class)	$\geq 0,1 \mu\text{m}$	$\geq 0,2 \mu\text{m}$	$\geq 0,3 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}/\text{köbláb}$ Osztály (Class)
1	10^1	2					
2	10^2	24	10	4			
3	10^3	237	102	35	8		1
4	10^4	2 370	1 020	352	83		10
5	10^5	23 700	10 200	3 520	832	29	100
6	10^6	237 000	102 000	35 200	8 320	293	1000
7				352 000	83 200	2 930	10 000
8				3 520 000	832 000	29 300	100 000
9				35 200 000	8 320 000	293 000	(szobalevegő)

Az US FED STD 209E (a „rég”) szabványt 2001. november 29-ével visszavonták, de a gyakorlatban még mindig ez az elterjedt. 1 ft^3 (köbláb) $\approx 28,3 \text{ l}$ (liter); $1 \text{ m}^3 \approx 35,2 \text{ ft}^3$, amely alapján belátható, hogy a duplával keretezett oszlopok nagyjából megfelelnek egymásnak.

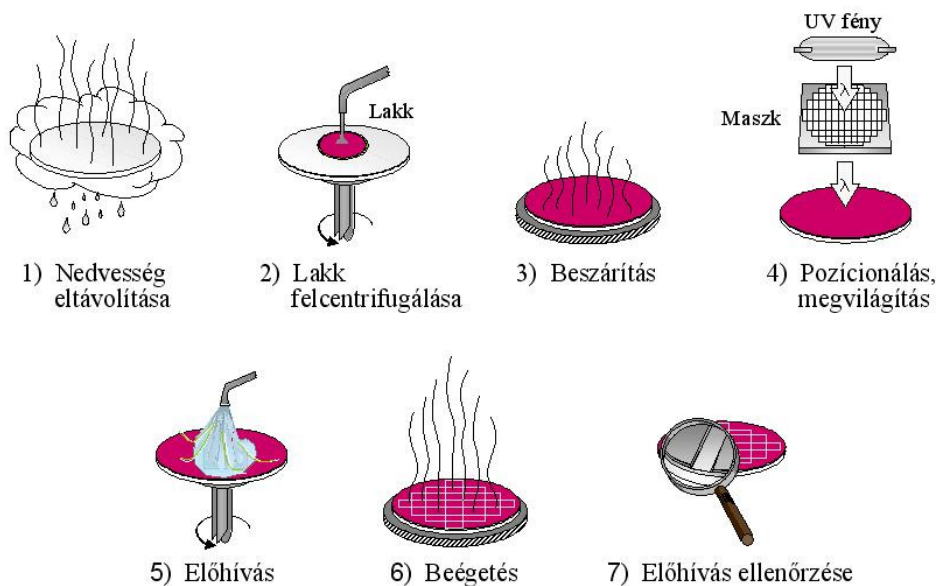
A táblázatban látható szabványok közül jelenleg a régi az elterjedtebb, amely alapján pl.: a 100-as tér (Class 100) azt jelenti, hogy $0,5\mu\text{m}$ -es részecskéből 100 darab lehet egy köbláb (~28,3 liter) levegőben. A normál utcai levegő nagyjából 1 000 000-s osztályba lenne sorolható.



8.ábra. Tisztaszoba felépítése

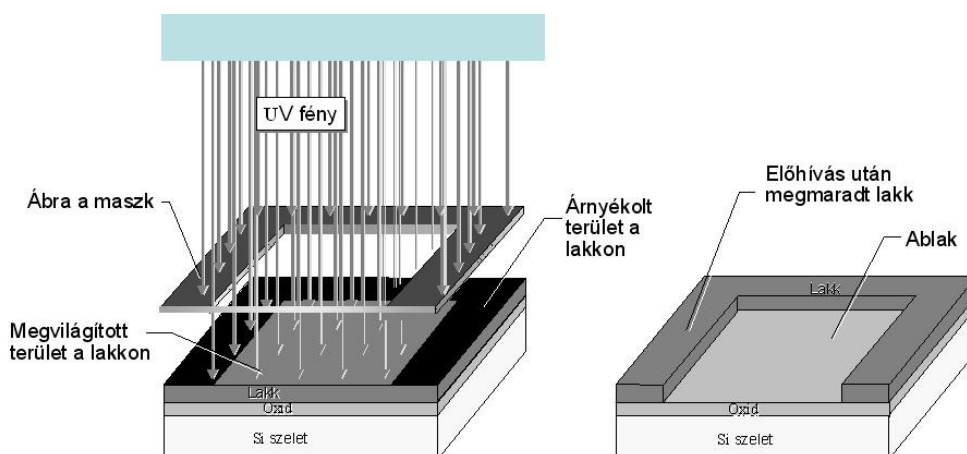
Az iparban alkalmazott tisztaszoba felépítését mutatja be a 8. ábra. Ezeknek a tiszta szobáknak az üzemeltetési költsége nagyon magas, ezért a tanszék félvezető laboratóriumában csak lokális tiszta terek vannak, azaz csak egy adott munkahelyen (lamináris boxban) van szűrt levegő, mely a boxból mindig kifelé áramlik, hogy megakadályozza a levegő szennyező részecskéinek munkadarabra kerülését. A félvezető technológiában a levegő minőségén kívül kulcsfontosságú szerepe van a felhasznált eszközök, vegyszerek, víz, gázok tisztaságának is. A részletes követelményeket a tisztaszoba eszközein, anyagain keresztül mutatjuk be. Mivel a legnagyobb szennyező forrás maga az ember, az ipari tisztaszobai környezetben csak speciális, antisztatikus védőruhában lehet dolgozni és be kell tartani a speciális mozgási szabályokat is a légáramlás minimális megzavarása érdekében.

A gyakorlat során két alapvető technológiai művelet, egy litográfia (helykijelölő művelet) és egy nedveskémiai marás (rétegeltávolító művelet) kerül bemutatásra. A fotolitográfia során a szilícium szelet felületén egy megadott alakzatot hozunk létre (9.ábra). Az alkalmazott lakkok fényérzékenysége miatt a litográfiát csak sárga fényben szabad végezni (UV komplementer).



9.ábra. Fotolitográfia lépései

A fotolitográfiához használt fényérzékeny lakkoknak két fő típusa van: pozitív és negatív lakkok. Negatív lakk alkalmazása esetén, a szeleten kialakuló ábra ellentétes a maszk ábrájával. A „klasszikus” negatív lakk hátrányos tulajdonsága, hogy a vegyszerek hatására változtatja méretét, valamint a lakk oldószerre mérgező, ezért alkalmazása veszélyes (a modernebb negatív lakkok már kevésbé veszélyesek). A félvezető technológiában nagy felbontó képességük miatt általában pozitív működésű lakkokat alkalmazása terjedt el. Ebben az esetben a szeleten kialakuló ábra megegyezik a maszk ábrájával (10.ábra). A megvilágítás UV fényel történik, ennek hatására előhíváskor a lakk a megvilágított helyeken krakkolódik („eltöredeznek” a lakk fényérzékeny, hosszú láncú, szerves molekulái), oldhatóvá válik.



10.ábra. Pozitív litográfia

A litográfia után pl. szilícium-dioxid réteg kimarása következik. A marószert azokon a helyeken tudja eltávolítani a szilícium-dioxid ahol a lakk nem fedi a szeletet, azaz kioldódott. A fotolakk eltávolítása után az adott fotolitográfiai folyamat befejeződött, a szeleten létrejött a kívánt alakzat. Végül a mintázat ellenőrzése következik, esetünkben optikai mikroszkóppal.

Útmutató a felkészüléshez:

- A gyakorlat elvégzéséhez a Dr. Mojzes Imre szerk., „Mikroelektronika és technológia”, Műegyetem kiadó, 2005, ISBN 9634208479 könyv 3.6. fejezetének ismerete szükséges.

Ellenőrző kérdések:

1. Milyen tisztatéri osztályok vannak? (Soroljon fel legalább három tisztatéri osztályt)
2. Mit jelent a 100-as tér fogalma?
3. Milyen lakkokat használnak a félvezető technológiában?
4. Mit jelent, hogy egy lakk pozitív működésű?
5. Milyen fénnel történik az exponálás?

Feladatok:

1. Ismerje meg a lokális tiszta terek felépítését!
2. Tanulmányozza a HEPA szűrők szerkezetét!
3. Ismerkedjen meg az UV-litográfia eszközeivel (lakkcentrifuga, hot-plate-ek, maszkillesztő és UV megvilágító egység, kémiai boxok)!
4. Alakítson ki egy adott maszkkal mintázatot oxidált Si egykristály szeleten!