

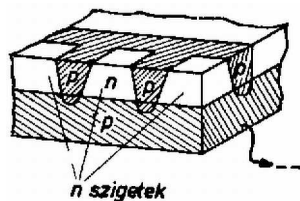
A szakemberek harmadik generációnak nevezik az elektronika jelenét és közeljövőjét lényegében meghatározó áramkörü egységet: az *integrált áramkört*. Ha figyelembe vesszük, hogy az elektronika a kiindulópontja ma a kibernetikai gyakorlatnak, a számítástechnikának, a híradástechnikának, mérés technikának, és ezeken keresztül jelentősen befolyásol még egy sereg tudományágat, így a fizikát is, akkor megérthetjük azt, hogy miért oly jelentős ez a kis technikai „trükk”, amit integrált áramkörnek (IC-nek) neveznek.

Lerombolt először is egy szemléletmódot, ami az elektrotechnika minden korábbi korszakának vezérelve volt. Ma már nem cél az, hogy lehetőleg minél kevesebb aktív elemmel (elektroncső, tranzisztor, négyrétegű eszközök stb.) oldjunk meg egy problémát. Valamikor a „lámpák” száma határozta meg egy rádió tudását, később azzal jellemezték egy számítógépet, hogy hány tízezer vagy százezer tranzisztor van benne. Az integrált technikával egyesített áramkörü elemek rendszerében a legolcsóbb eszköz a tranzisztor, azután jön a dióda, és ezeknél sokkal drágább egy ellenállás, a reaktáns elemekről (kondenzátor, tekercs) nem is beszélve. Ha lehet, mindent tranzisztorral oldunk meg még akkor is, ha egy kondenzátor szimulálásához történetesen öt tranzisztor kell. Egy olyan integrált áramkör, amiben csak tranzisztorok vannak, fele annyiba kerül, mint egy olyan, amiben kevesebb az aktív elem, de van benne három ellenállás. Így azután elterjedt gyakorlat, hogy egy 20–30 tranzisztort tartalmazó IC-ben csak öt–hat ellenállás számolható össze. Az integrált áramkörök ára sem attól függ, hogy hány áramkörü elem található benne, hanem attól, hogy hány különböző funkcióban alkalmazható.

Az integrált áramkör elsősorban szellemi termék, tehát egy típus megtervezése óriási munkát és költséget jelent. Így ellentétben a korábbi gyakorlattal, amikor minden cég igyekezett kialakítani a saját kínálatát oly módon, hogy abban minden célra legyen megfelelő tranzisztor, elektroncső – az IC gyártás területén nagyfokú specializálódás megy végbe. Már nagyon kevés átfedés található a különféle gyárak termékei között, mindegyik egy – egy család gyártásával foglalkozik.

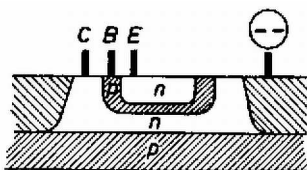
Az út a szigetelő alapanyagú megoldáson keresztül vezetett a ma korszerűnek tekinthető félvezető alapú (monolit) eljárásához. Mi csak ezen utóbbi típust mutatjuk be, az érdeklődésfelkeltés igényével. A félvezetők fizikája a kvantummechanikán alapszik, így minden klasszikus fizikán alapuló ismertetés szükségszerűen sok homályos problémát hagy megválaszolatlanul. A továbbiakban ezért inkább az integrált áramkörü eljárások érdekességeiről esik szó, mintsem valami komoly magyarázatról. A következők megértéséhez elegendő a középiskolás tankönyv anyagát ismerni.

Topológiai szempontból minden hálózat több pont villamosan szigetelt és összekötött elrendezésének fogható fel. Ami vonalakkal össze van kötve, az villamosan is együvé tartozik, ahol nincsenek vonalak, azok a pontok villamosan el vannak szigetelve. Ha egy ilyen áramkört kivitelezünk a valóságban is (a rajzhoz hasonlóan egy síkban) és letesszük az asztalra – föltéve, hogy mindent jól csináltunk és nincs hibás alkatrész –, az működni fog. Ha az asztal történetesen jól vezető fémből van, akkor az asztal lapja felé szigeteletlen áramkörü elemek összekapcsolódnak, és így megváltozik a hálózat topológiája. Ezt egyszerűen elkerülhetjük, ha az alkatrészeket elszigeteljük az asztaltól. Amikor szigetelést mondunk, sokan valami igen nagy ellenállású anyagra gondolnak, az integrált áramkörrel foglalkozók azonban nem. Mint láttuk, itt lényegesen olcsóbb és egyszerűbb a szigetelés helyett záróirányban előfeszített  $pn$  átmenetet alkalmazni. (Diszkrét elemeknél persze ostobaság lenne az előbb említett hálózat elemeit diódákkal elszigetelni az asztaltól.) Minden IC alapja egy ilyen diódasziget rendszer. E diódáknak az egyik elektródja közös, ez képezi egyben az áramkör mechanikai alapját, a másik elektródák kis szigetecskéket alkotnak az előbbinek a felületén. Gyakorlati szempontok miatt a közös elektróda mindig a  $p$  típusú réteg. Az  $n$  szigeteket a következőképpen állítják elő: először összefüggő  $n$  réteget növesztenek a  $p$  rétegre, majd ebbe a megfelelő helyeken  $p$  típusú árkokat diffundáltak olyan mélyen, hogy elérjék az összefüggő  $p$  réteget. A  $p$  árkok ilyen rendszere kimetszi az áramkörü elrendezésnek megfelelő szigeteket az  $n$  rétegből. A szigetek jó elzárásához a  $p$  típusú alapot kell mindig az áramkör legnegatívabb pontjára kötni (1. ábra).



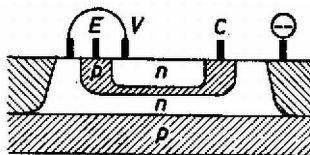
1. ábra

Ezzel kialakítottuk mindazt, ami az áramkör rajzán rajta sincs, ti. a fehér papír által elszigetelt mezőket. Hogy milyen jelentős ez a lépés, megérthetjük akkor, ha megpróbálunk fekete papírra fekete ceruzával felrajzolni egy áramkört. A következő lépés az  $n$  típusúra szennyezett kristályszigetekben kialakítani az áramkörü elemeket. A legalapvetőbb elem az  $npn$  tranzisztor. A kollektor lehet mindjárt az  $n$  sziget, ennek egy részét átszennyezik  $p$  típusú bázissá, majd ebben újabb diffúzióval  $n$  típusú emittert alakítanak ki. Ez a diffúziós planártechnológia adja – mai ismereteink szerint – a legjobb tranzisztort. (A planár jelző a nagy párhuzamos  $pn$  átmenetekre utal.) Az egyes rétegekhez kivezető csücsöket forrasztanak (mindez a 2. ábrán követhető).



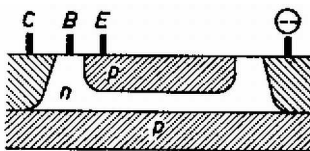
2. ábra

A második legfontosabb kapcsolási elem a FET tranzisztor (ismeretes még térvezérlésű tranzisztor néven is). Az ilyen aktív elem nem más, mint egy  $n$  vagy  $p$  típusú csatorna, ami ellenkező típusú rétegek között halad. A csatorna ellenállását szabályozhatjuk oly módon, hogy annak keresztmetszetét csökkentjük. Ezt úgy érhetjük el, hogy a körülvevő réteg irányában kialakult  $pn$  átmenetre zárófeszültséget kapcsolunk, minek következtében a kialakuló kiürített zóna csökkenti a csatorna hasznos keresztmetszetét. Ilyen módon a körülvevő réteg (vezérlő elektróda) feszültségével vezérelhető a csatorna ellenállása, azaz a két végére kapcsolt kivezetések közti áram is. A csatorna két kivezetését továbbra is emitternek és kollektornak nevezik, holott ezek működése nem is emlékeztet a normális tranzisztorok hasonló nevű elektródáinak működésére. Érdekes, hogy ezt az erősítő elemet jóval a tranzisztor felfedezése után vezették be, holott működése jóval egyszerűbb annál. (A kísérletek ilyen irányban is folytak a tranzisztor feltalálása idején, de bizonyos nehézségek hátráltatták a sikeres befejezést.) Mint látható, FET-et egyszerűen kialakíthatunk egy  $npn$  típusú tranzisztor geometriájából, ha összekötjük a kollektorréteget az emittorréteggel. Így ezek lesznek a vezérlőelektróda részei, a bázis – két végére erősített kimenettel ellátva – pedig a  $p$  típusú csatornát szolgáltatja. Hangsúlyozzuk, hogy itt csak geometriai kialakításról volt szó, a rétegek részletesebb struktúráját másként kell beállítani egy FET-nél, mint egy közöséges tranzisztornál. FET tranzisztort azért szoktak csinálni, mert bemenőellenállása sok nagyságrenddel nagyobb, mint a közöséges tranzisztoré, ezen kívül a vezérelt áram nem hőmérsékletfüggő, hisz többségi töltéshordozókön alapszik. Az elmondottak a 3. ábrán láthatók.



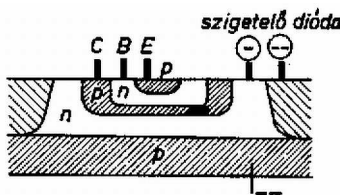
3. ábra

A  $pnp$  tranzisztorral már sokkal több baj van. Csinálhatnánk azt is, hogy a közös  $p$  réteg lesz a tranzisztor kollektora, az  $n$  sziget a bázis, és ebbe bediffundáltatunk még egy  $p$  réteget emitternek (4. ábra).



4. ábra

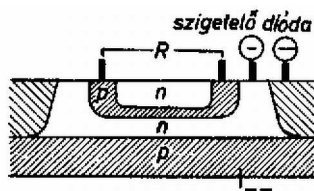
Itt az a baj, hogy a tranzisztor kollektora kerül az áramkör legnegatívabb pontjára, és ez csak kevés hálózatban engedhető meg. A legtisztábbnak az a megoldás látszik, amely szerint hagyjuk meg az  $n$  szigetet pusztán a szigetelő  $pn$  átmenet céljára, és alakítsunk ki ebben egy teljes  $pnp$  tranzisztort. Ekkor azonban kialakul egy második parazita tranzisztor a  $pnp$  tranzisztor kollektorából, az  $n$  szigetből és a közös elektródából. Ha megfelelően vastagra tudnánk csinálni az  $n$  szigetet, és így a  $pnp$  tranzisztor alatt elég vastag  $n$  réteg maradna, akkor – mivel ez a parazita tranzisztor bázisa – megfelelően leronthatnánk e nemkívánatos tranzisztor hatását. Ez azonban diffúziós eljárással rendkívül körülményes (5. ábra).



5. ábra

*pnp* tranzisztorok kialakítására még számos eljárás ismeretes.

Ellenállásokat készíthetünk úgy, hogy egy tranzisztor egyes rétegeire két kivezetést kötünk, és a hosszról, keresztmetszetről és szennyezéstől függő nagyságú ellenállásként használjuk (6. ábra).



6. ábra

(A gyengébben szennyezett bázisrétegből nagy, az erősen szennyezett kollektor és emitter rétegekből kis ellenállásokat szoktak kialakítani.) Így azonban nem lehet  $10^5$  ohmnál nagyobb ellenállást készíteni. A másik, talán még ennél is lényegesebb hiba az, hogy a félvezető ellenállások igen pontatlanok. Nem találtak még olyan eljárást, amellyel precíziós félvezető ellenállást lehetne előállítani.

A kondenzátor a legnagyobb probléma. Egy záróirányú *pn* átmenet kapacitásként használható a kiürített zónában felhalmozott töltéshordozók miatt. Ilyen alapon működik a kapacitás dióda is. Az így készített kondenzátor azonban feszültség- és polaritásfüggő. A másik megoldás szerint egy erősen szennyezett réteg fölé  $\text{SiO}_2$  szigetelő réteget növesztenek dielektrikum gyanánt, majd erre fémgőzölögtetéssel felviszik a második fegyverzetet. Az erősen szennyezett réteg és a fémréteg között kialakul a kondenzátor.

Az ellenállások és a kondenzátorok közös hibája, hogy túl nagy felületet foglalnak el a kristályból. Így gyakran érdemesebb több tranzisztorral imitálni őket.

Integrált áramköröket ma kizárólag szilícium alapanyagra készítenek. Ennek oka a következő: A szilícium kristály felületére olyan oxidréteg növesztendő, amely villamos szigetelő és a szennyezők diffúziójának ellenáll. A germánium oxidja nem ilyen kedvező tulajdonságú.

A fent leírt diffundált rétegek éppen az  $\text{SiO}_2$  tulajdonságainak kihasználásával készülnek. Az elektrolitikusan polírozott kristálylemezre oxidréteget növesztenek. Ebbe hidrogén-fluoriddal lyukakat marnak ott, ahol szennyezőket akarnak diffundáltatni a kristályba. (Ez a maratás fotomaszkolós eljárással<sup>1</sup> készül.) A diffundálás után újabb oxidréteg növesztés és újabb helyen történő marás következik. Így alakíthatók ki a leírt rétegek. A kész áramkört újra bevonják oxidréteggel, hogy elzárják azt a külvilág hatásaitól. Az oxidmaszkos eljárással egyszerre alakíthatók ki az áramkör összes tranzisztorai. Különleges maszkolást, így külön lépést csak a nagy ellenállások és kondenzátorok kívánnak. Sőt nemcsak egy áramkört, hanem sok százat készítenek így, párhuzamosan egyetlen kristálylemezre. Ezt azután szét darabolják kb.  $1 \text{ mm}^2$  felületű kis morzsákká. Egy ilyen morzsa egy IC.

Az oxidrétegből kiálló kis vezetőcsonkok között felgőzölögtetett alumínium sávokkal teremtenek összeköttetést. Ugyancsak felgőzölögtetett réteggel valósítják meg a kondenzátorok második fegyverzetét és a pontos ellenállásokat. Mikroszkóp alatt felforrasztják a kivezetéseket, és tokozzák az integrált áramkört.

Az integrált áramkörökkel való beható megismerkedés feltétele, hogy alapos tudásunk legyen a félvezetők fizikájának terén. Ehhez hasznos segítséget kaphatunk a Műszaki Kiadó „Röviden és tömören” sorozatának *Lehman: Diódák és tranzisztorok* c. kötetéből.

Megjegyezzük, hogy kiskereskedelmi forgalomban is kapható néhány integrált áramkör típus. Ezek főleg digitális logikai funkciókra alkalmas egységek. Ilyen elemek alkalmazását is tárgyalja Kovács Mihály cikksorozat a *Rádiótechnika* 1971/3.–1972/8. számaiban.

<sup>1</sup> A fotomaszkolós eljárás lényege a következő. Az integrált áramkör sokszorosán nagyított tervrajzát lefényképezik. Az IC kristálylemezének felületét fényérzékeny anyaggal vonják be. Ez az anyag a megvilágítás hatására oldhatatlanná válik. A tervrajzról készült „diapozitívakat” a kristálylemez fölé helyezve átvilágítják, így a rajzolatnak megfelelően oldhatatlan védőréteg alakul ki a kristályt borító  $\text{SiO}_2$  réteg felületén. A meg nem világított zónákat leoldják, így itt szabaddá válik az oxidréteg, amit azután lemaratnak.