

Az integrált áramkörök technológiájának gyakorlati oktatása a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén

TÍMÁRNÉ HORVÁTH VERONIKA —
HARSÁNYI JÓZSEF — DR. MIZSEI JÁNOS
BME Elektronikus Eszközök Tanszéke



ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkünkben egy 25 órás félvezető technológiai laboratóriumi gyakorlatot, és a laboratóriumban folyó ún. „önálló laboratóriumi feladatokat” ismertetjük. Tapasztalataink alapján elemezzük a laboratóriumi oktatás szükségességét és a benne rejlő pedagógiai lehetőségeket. (▲)

Bevezetés

Az elmúlt 12 évben tanszékünkön létrehoztunk az ipar hathatós támogatásával (EIVRT, HIKI) egy félvezető technológiai laboratóriumot, amely rendelkezik a hagyományos planár technológia alapvető berendezéseivel.

Gyakorlati foglalkozásaink során lehetőséget adunk hallgatóinknak az elméletben oktatott tananyag gyakorlatban való elmélyítésére. Laboratóriumunkban nem bemutató jelleggel oktatunk, hanem teljes technológiai kísérletsorozatokat elvégzésével, vagy technológiai, illetve eszközfejlesztési feladatokkal bízunk meg hallgatóinkat.

Természetesen ezáltal még nem tesszük feleslegessé a korszerűbb üzemi technológiák megismerését. Ehhez továbbra is igénybe vesszük az üzemlátogatások lehetőségét, amelyek során félvezető technika ágazatos hallgatóink betekintést nyernek a magyar mikroelektronikai ipar tevékenységébe.

Laboratóriumunkban évente mintegy 20–25 fő kétféle oktatási formában vesz részt: negyedéves korokban egy alapfokú gyakorlat sorozaton az IC gyártástechnológia alapjaival ismerkednek meg, és bizonyos laborjártasságot szereznek (pl. berendezések kezelése, maszkillesztési technika elsajátítása, technológiaközi minősítő mérések megismerése stb.).

A félvezető technológia után továbbra is érdeklődők ötödévből ún. „önálló laboratóriumi feladat” keretében heti 8–10 órában konkrét kutatási-fejlesztési feladatot kapnak. A legeredményesebb hallgatók (évente 8–10 fő) megkezdett témájukat diplomatervvé fejleszthetik tovább, sőt született néhány egyetemi doktori értekezés is e többéves folyamat eredményeképpen.

A laboratóriumi munkák csak kiscsoportos, vagy egyéni foglalkozás keretében képzelhetők el, ezért a hallgatókkal foglalkozó 4–5 oktató és 4 fő technikai munkatárs a szokványos óraterhelést lényegesen meghaladó mértékben végzi munkáját.

A továbbiakban vázlatosan ismertetjük az eddig bevezetett oktatási formákat:

TÍMÁRNÉ
HORVÁTH
VERONIKA

1971-ben végzett a BME Villamosmérnöki Karának Híradás- és Műszeripari Technológia Szakán. Kutatási területe:

az integrált áramköri technológia egyes részterületei, mint pl. a RF katódporlasztás, CVD leválasztás, diffúziós technológia stb., valamint eszközfejlesztések, mint pl. az ionérzékeny félvezetők.

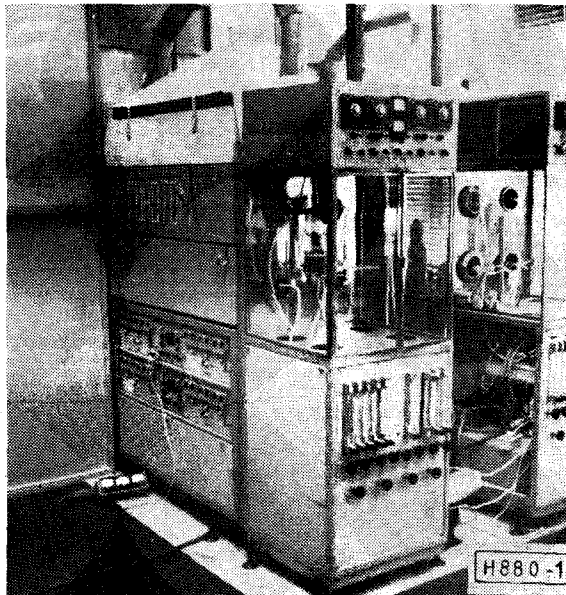
1. Az integrált áramkörök gyártástechnológiájának alapjai gyakorlatsorozat — kisbonyolultságú MOS-IC készítése

A gyakorlatra a 8. szemeszterben kerül sor, és a Híradástechnika Szak Félvezető Technika Ágazat, valamint az Elektronikai Technológia Szak egyes hallgatói a résztvevők.

A gyakorlat célkitűzése: a hallgatók készítsenek saját kezűleg a rendelkezésükre bocsátott szilícium szeleteken a technológiai leírás alapján, adott maszk-sorozat felhasználásával SSI szintű p-csatornás MOS integrált áramköröket, melyeket tokozás után minősítenek. A maszkokat szintén hallgatók tervezték egy korábbi Tudományos Diákköri munka kapcsán.

1.1. Az áramkörök ismertetése

Valamennyi chip tartalmaz 2 db. 4 bemenetű NOR-kaput különböző geometriájú aktív terheléssel és



1. ábra. Laboratóriumunk egyik diffúziós kályhája



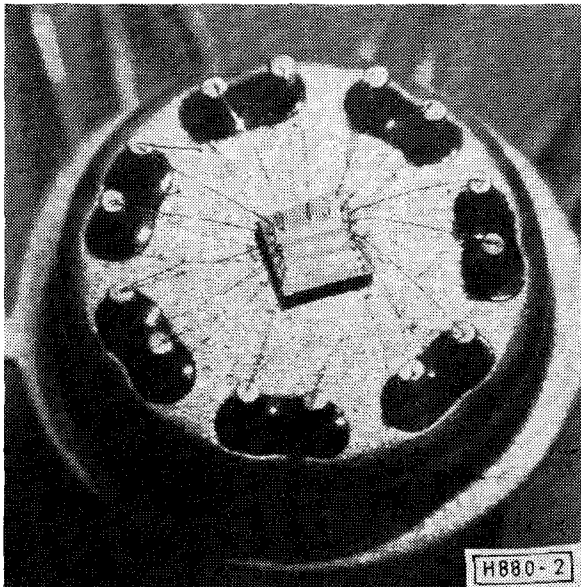
HARSÁNYI JÓZSEF

1976-ban szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának Híradástechnika Szakán. Azóta a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén dolgozik, mint tanszéki mérnök. Tématerülete: polikristályos szilícium diffúziós tulajdonságainak vizsgálata, kémiai érzékelők félvezetőtechnikai megvalósítása, és a félvezető technológiájának gyakorlati oktatása.

DR. MIZSEI JÁNOS

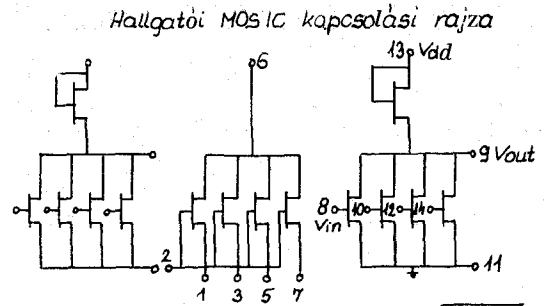
1976-ban szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának Elektronikai Technológia Szakán. Tanulmányait nappali tagozatos szakmérnök hallgatóként folytatta, 1977-ben kutató-fejlesztő szakmérnöki diplomát, 1979-ben egyetemi doktori fokozatot szerzett. 1977 óta a BME Elektronikus Eszközök Tanszékén dolgozik, jelenleg mint adjunktus. Tématerülete: félvezetők technológiája, fémoxid-félvezető alapú gáz szenzorok fejlesztése, félvezető vékonyrétegek vizsgálata.

egy tranzisztorcsoportot, melyek elektromos bekötése változtatható, így az elektromos karakterisztikák és a geometria közötti összefüggések vizsgálhatók (2. és 3. ábrák).



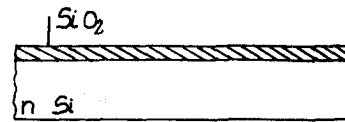
2. ábra. Egy elkészült IC fényképe

H880-2

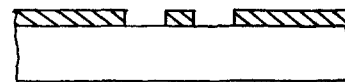


H880-3

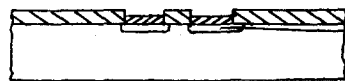
3. ábra. A 2. ábrán látható IC elektromos kapcsolási rajza



A szelet oxidáció után

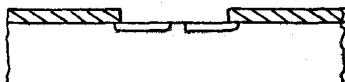


A blok a SiO₂-ben a diffúzió számára

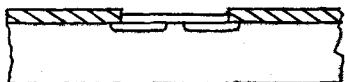


Diffúzió után

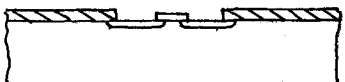
p típusú terület



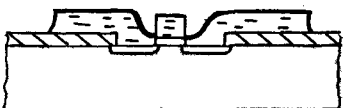
A blok a gate oxidáció számára



Gate oxidáció után



A gate oxidban ablak a Source és Drain kontaktusok számára



A fémezett eszköz

H880-4

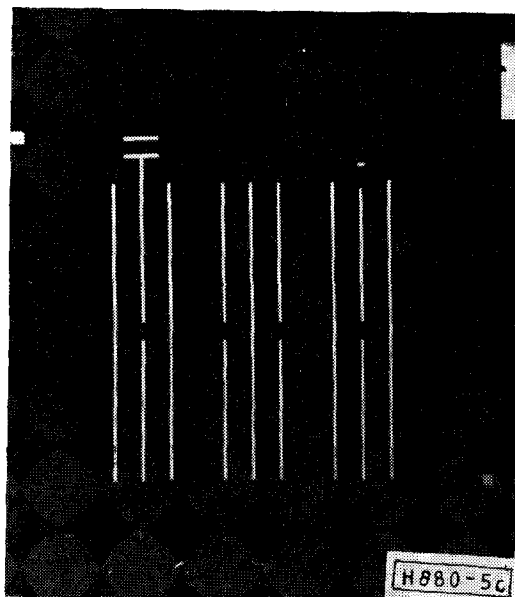
4. ábra. A MOS IC készítésének vázlatos menete

1.2. A technológiai lépések ismertetése

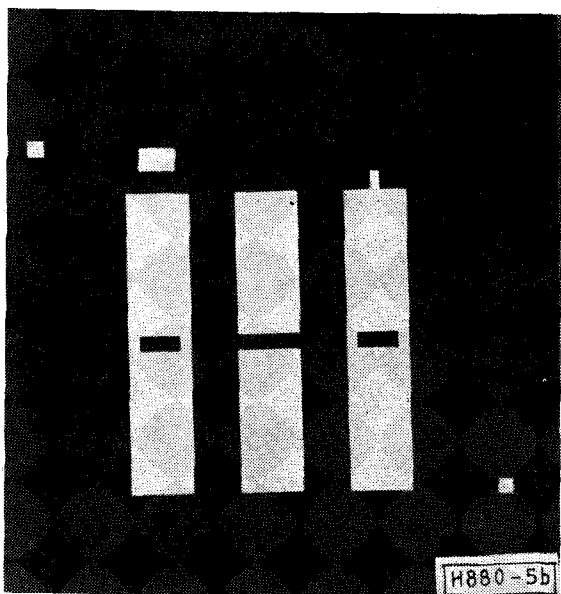
A p-csatornás MOS IC készítésének menete a 4. ábrán látható. A teljes ciklus mintegy 25 órát vesz igénybe, amit 5 gyakorlatra bontottunk.



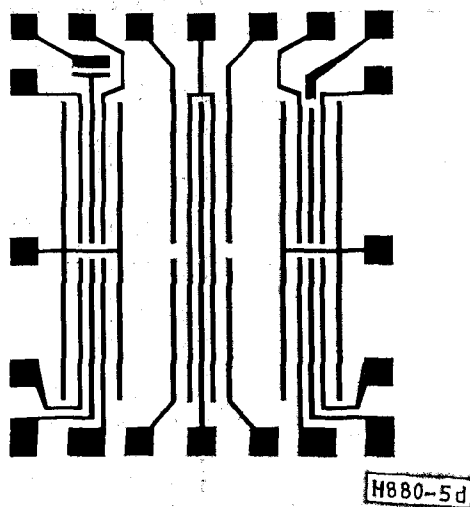
5. ábra. Maszksorozat
5a ábra. Diffúziós ablak



5c ábra. Kontaktus ablak



5b ábra. Gate-oxid ablak



5d ábra. Fémmező ábra

1.2.1. Első gyakorlat

Célja: Ismerkedés az alapanyaggal (típus és fajlagos ellenállás mérése), valamint az első kémiai tisztítás után 500 nm mező-oxid növesztése. (Oxidvastagság mérése.)

1.2.2. Második gyakorlat

Célja: Source és drain kialakítása bór diffúzióval. A hallgatók fotolitográfiai eljárással ablakot nyitnak a mező-oxidban a S-D helyi diffúzió számára (5a ábra).

Bór kétlépcsés diffúziója (BN forrásból).

A bór diffúzió minősítése (rétegellenállás, behatolási mélység mérése).

1.2.3. Harmadik gyakorlat

Célja: MOS-oxid létrehozása (90 nm).

Újabb fotolitográfiai lépéssel ablaknyitás MOS-oxid számára (5b ábra). Felülettisztítás után MOS-oxid növesztés HCl-val tisztított kvarccsőben. 1100 °C hőmérsékletű hőkezelés. Kísérő szeleten készített MOS kapacitás C-V görbéinek felvétele. A görbék kiértékelése U_{FB} , U_T , C_{OX} , C_{inv} , d_{OX} , N_{SS} , és a szilícium adalékkoncentrációjának meghatározása.

1.2.4. Negyedik gyakorlat

Célja: fémzés kialakítása.

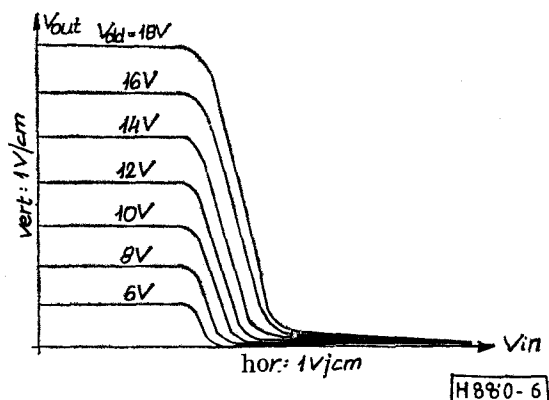
Fotolitográfia útján kontaktus ablakok nyitása (5c ábra).

Alumínium vákuumgőzölése.
Fémzési ábra maratása (5d ábra).
Alacsony hőmérsékletű hőkezelés.

1.2.5. Ötödik gyakorlat

Célja: kész eszközök minősítése.
Szeleten való tranzisztor mérés és szeletminősítés.
Darabolás, tokozás, IC-karakterisztikák mérése (6. ábra).

A hallgatók által készített inverter
karakterisztikája



6. ábra. Inverter karakterisztikák

2. Önálló laboratóriumi feladatok

Amint az előbbieken már utaltunk rá, az órarendbe illesztett laborgyakorlatok során kellő jártasságot szerzett hallgatók a későbbiekben nagyobb önállóságot igénylő feladatokat kapnak, melyeket az „Önálló laboratórium” elnevezésű tárgy keretében, de viszonylag szabad időbeosztással és igen sok önálló munkával oldanak meg. Ezek a feladatok kapcsolódnak az Elektronikus Eszközök Tanszék ipari, vagy állami megbízás keretében végzett tevékenységéhez, valamint az ezeken túlmenő tanszéki kutatómunkákhoz. A feladatok jellegük szerint két nagy csoportra oszthatók: a technológiai eljárások és berendezések fejlesztésére, valamint különleges elektronikus eszközök fejlesztésére. Természetesen ez a felosztás nem jelent elválasztást is egyben, mert a két terület kapcsolata igen szoros: a technológiai fejlesztések rendszerint az eszközfejlesztés céljait szolgálják:

2.1. Technológiai eljárások fejlesztése

Ebben a témakörben dolgozó hallgatók feladata egy technológiai folyamat valamelyik részének elmélyültebb megismerése. A megismerésben olyan szintig kell eljutniuk, hogy az egyes technológiai paraméterek változtatásának hatásait tisztázhassák, s így a lehető legjobb eljárást megtalálják. Ezzel kapcsolatban gyakorlati ismereteket kell hogy szerezzenek azokról az eljárásokról, melyekkel eldönthetik, hogy az általuk kifejlesztett résztechnológiák hogyan minősíthetők és illeszkednek-e az előttiük és utánuk következő technológiai lépések közé.

A teljesség igénye nélkül felsorolunk néhány jelentősebb hallgatói munkát a technológiai fejlesztés területéről: szilícium oxidációjának vizsgálata (sósavas és triklóretilénis közegben is), diffúziós források vizsgálata, kémiailag lecsapatott vékonyrétegek előállítása (CVD SiO_2 , SnO_2 , Al_2O_3), diffúzió polikristályos szilíciumban, vékonyrétegek előállítása katódporlasztás segítségével (SiO_2 , Al_2O_3 , SnO_2 , Pt, Pd stb.).

A technológiai fejlesztés fogalmát szélesen értelmezzük. Ide sorolhatjuk azokat a modellkísérleteket is, melyek a tanszéken fejlesztés alatt álló technológiai eljárások számítógépes szimulációját megvalósító program ellenőrzését célozták, és azokat a technológiákkal kapcsolatos szilárdtestfizikai és kémiai vizsgálatokat (Si– SiO_2 határfelületi állapotok, Si alapanyag hibastruktúráinak és egyéb tulajdonságainak kutatása), amelyekkel az adott technológiákhoz (bipoláris, nMOS, CMOS stb.) leginkább illeszkedő anyagtulajdonságokat kívánjuk felderíteni.

2.2. Eszközfejlesztési feladatok

Az eszközök fejlesztési területén dolgozó hallgatók elé valamilyen működő eszköz előállítását tűzzük ki elérendő célként. A munka során a hallgatók konstrukciós és technológiai ismereteket szereznek, de elősegíti ez a tevékenységük az általában használt elektronikus eszközök (bipoláris tranzisztorok, diódák, FET-ek) fizikájának jobb megértését is, hiszen az általuk előállított speciális eszközök működése valamilyen formában visszavezethető a korábban már megismert „közönséges” eszközöknél szereplő alapvető elvekre. Az önálló laboratóriumi munkák keretében a következő eszközök fejlesztésében vettek részt hallgatóink: különleges MOS eszközök (Pd vezérlő-elektrodás MOST gázérzékelő, PH-érzékelő, ISFET, alagút effektuson alapuló MISS és MAOS struktúrák), SnO_2 félvezető vékonyréteg gázdetektorok, Pt vékonyréteg hőmérő, Schottky dióda, nyomásérzékelő tranzisztor.

3. Következtetések

A mérnöki tevékenység a mikroméreték irányába tört utat. Az általunk képzett mérnökök mikrostruktúrákat terveznek, és azok technológiáját dolgozzák ki. Az említett eljárások újszerűek, és egy új tudományág fejlődésének eredményei. Ez azt is jelenti, hogy minőségileg sem hasonlítható a hagyományos mérnöki tevékenységhez a mikroelektronikai mérnök munkája.

A gyakorlatainkon elvégzett mérési módszerek és vizsgálati eljárások erre a mikrovilágra irányulnak, és lehetőséget adnak a hallgatók számára, hogy a maguk részére ezekből a mérési módszerekből egy fegyvertárat építhessen ki, amely a mikroelektronika komplex világába direkt betekintést adhat. Ettől függetlenül ezek a mérési eljárások a „hasznos” tananyag részét képezik, és a mérnöki munka során alkalmazott ismeretek.

Jelentősnek tartjuk a szigorú értelemben vett félvezető technológiai ismeretek megszerzésén túlmenően a laboratórium működtetésével kapcsolatos is-

meretek megszerzését. (A mérnök munkájának eredményessége nagy részben attól is függ, hogyan tudja megteremteni a munkavégzés feltételeit. Ez részben műszaki, részben gazdasági, ill. szervezési kérdés.)

Nem elhanyagolhatók ezen oktatási formában rejlő pedagógiai lehetőségek sem:

- A hallgatók alaposabb megismerése szorosabb csatolást tesz lehetővé az ismeretátadás és a hallgató ismeretei között. Ez fokozza az oktatás hatékonyságát.
- Az állandó oktatói ellenőrzés és a gyakorlat próbakő jellege a hallgatóban is fejleszti az önkontrollt. A laboratórium oktatói ezt a munkát igyekeznek „fájdalommentesen” elvégezni, hogy az önkontroll elől ne meneküljön a hallgató, hanem a mérnöki tudat e nélkülözhetetlen komponensét erősítse magában.
- A kiscsoportos gyakorlatok során számos alkalom nyílik nevelési tevékenységre, amely a hallgatók felelősségérzetének kiterjesztését (diákból mérnökké válás) és tudatosítást jelent.
- A későbbi önálló laboratóriumi gyakorlatok során lehetőséget adtunk a hallgatóknak, hogy bizonyos irányító-szervező jellegű szerepet

játszhassanak a laboránsokkal együtt végzett munkában.

- Jelentősnek tekintjük, hogy tapasztalatot szerezhetnek a team-munka területéről a közös feladatok csoporton belüli megosztása során.
- A laboratóriumi gyakorlatok igen alkalmasak a tehetséges hallgatók esetében az alkotói képességek csíráztatására, illetve a kevésbé tehetségesek esetében a kezdeti nehézségeken való átsegítésére.

Legkiemelkedőbb pedagógiai lehetőségeink a hallgatók kutatómunkába történő bevonása esetén adódnak. Valódi kutatási tapasztalatokkal távoznak az egyetemről azok a hallgatók, akik asszisztálhattak oktatóik kutatásainál.

Számuk nem nagy, de tapasztalataink alapján állíthatjuk, hogy mérnöki munkájukat eredménnyel végzik.

Végezetül megjegyezzük, hogy a mikroelektronikai iparban elhelyezkedő hallgatóinknak is laboratóriumunk az egyetlen lehetőség a teljes technológiai láncolat áttekintésére, mivel a fokozódó munkahelyi szakosodás miatt ez az iparban már alig lehetséges.