

Beszámoló a VLSI-áramkörök Anyagainak és Technológiáinak Minősítése Nemzetközi Konferenciáról (ICMPC'88, Sanghaj)

KORMÁNY TERÉZ

BME Elektronikus Eszközök Tanszók

ERLAKY GYÖRGY

REMIX Rádiótechnikai Vállalat

A Híradástechnikai Tudományos Egyesület, az Országos Tudományos Kutatási Alap és a Remix Rádiótechnikai Vállalat támogatása révén 1988. október 24-29 között résztvehattünk az ICMPC'88-on, Sanghajban, amiért ezúton is köszönetünket fejezzük ki.

A nemzetközi konferenciát a Fudan Egyetem (Sanghaj), és egy jól ismert amerikai műszergyártó cég a Charles Evans & Associates (Redwood City, California) rendezte. A konferenciát anyagilag és erkölcsileg támogatta:

- a Kínai Nemzeti Tudományos Alap;
- a Kínai Nevelésügyi Állami Bizottság;
- a Kínai Állami Tudományos és Technológiai Bizottság;
- a Kínai Elektronikai Ipari Minisztérium;
- a Kínai Üripari Minisztérium;
- az Általános Fémipari Kutató Intézet (Peking) és
- a Sanghaji Tudományos és Technológiai Bizottság.

A nemzetközi tanácsadó testületben és a programbizottságban az előzőekben felsoroltakon kívül sok más jelentős kínai és külföldi egyetem, ill. kutatóintézet képviselője is résztvett. Ezek közül a legfontosabbak:

- a Shanxi Mikroelektronikai Intézet;
- a Wuxi Mikroelektronikai Kutatócentrum;
- a Hetei Félvezető Kutatóintézet;
- a Kínai Tudományos Akadémia Félvezető Intézete (Peking);
- a Kínai Elektronikai Intézet;
- a Kínai Félvezető és IC-technológiai Társaság (CIE);
- a Pekingi Egyetem;
- a Tsinghua Egyetem;
- a Gakushin Egyetem (Japán);
- a Berkeley Kaliforniai Egyetem (USA)
- az IBM; az INTEL CO.; az AT&T Bell Laboratori-uma és a Lockheed az USA-ból;
- a holland Phillips;
- a Sanghaji 14.sz. Rádiógyár és az 5.sz. Alkatrészgyár, a Wuxi-i Félvezetőgyár; a Sanghaji 2.sz. Metallurgiai Gyár.

A nemzetközi Konferencián kb. 160 fő vett részt, közöttük 40 külföldi (a tajvani küldötkeket nem tekintettük külföldinek), legnépesebb volt az amerikai delegáció, az európai országokat Franciaország, Olaszország, Anglia az NSZK és Ma-

gyarország képviselték, Ázsiát Japán és Szingapúr.

A konferencia előadásai (összesen több mint 130) 2 párhuzamos szekcióban hangzottak el:

1./ Elektronikai anyagok minősítése és diagnosztika.

2./ Technológiai folyamatok minősítése.

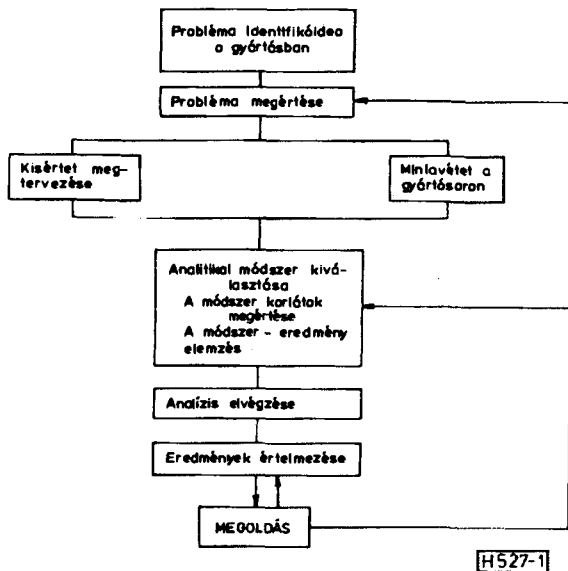
Rendeztek egyik este egy ún. "Joint venture" kerekasztalt is, ahol Sanghaj város állami és pártvezetői - angol nyelven - ismertették új technológiai parkjuk legfontosabb műszaki és infrastruktúrális jellemzőit, valamint a pénzügyi kondíciókat.

A vita nagyon élénk, sőt időnként elég szenvedélyes is volt. A 16 millióos Sanghajban és környékén az elmúlt 2 évben a fejlett ipari országok vállalatai 2 milliárd \$-t ruháztak be (Phillips, M, XMR Inc., stb.). A jelenlévő amerikaiak azonban kifejezték azt az aggodalmukat, hogy a további befektetést gátolja a kétszintű pénzrendszer, az ebből adódó értékesítési nehézségek, a bérezés állami korlátai, (csak 30 %-al lehet magasabb a vegyes vállalatban, mint másutt), és a tisztázatlan tulajdonosi kérdések.

A Nemzetközi Konferencián igen magas színvonalú előadások hangzottak el. Az anyag és technológiaminősítés filozófiáját talán legjobban McDonald (Intel, USA) fogalmazta meg plenáris előadásában, aki szerint (és szerintünk is) "IC-t gyártani csak ismert tulajdonságú anyagokkal lehet olyan folyamatellenőrzést végezve, amely segít megérteni és verifikálni a tervezett gyártási technológiát. Az anyagminősítés és technológiaminősítés értéke abban rejlik, hogy a gyártási problémákra megoldást ad és megmutatja a követendő fejlesztési irányt." Nagyon tanulságos volt az általa bemutatott ún. problémamegoldási ábra /1. ábra/.

Az 1. szekció előadásaiból a "Milyen elektronikai anyagokat vizsgálnak, és mivel vizsgálnak az IC-gyártásban, kutatásban?" kérdésre kaphattunk választ.

A Si-egyikristályok minősítése változatlanul igen fontos. Az Integráltsági fok növekedésével olyan eddig elhanyagolható tulajdonságok válnak ugyanis meghatározóvá, mint a ponthibakoncentráció és eloszlás (Si, O₁, C_s, átmeneti fémek) és ezek befolyása a technológiai folyamatokban keletkező termikus donorokra, precipitátumokra. A nagytisztaságú víz analízisében többé nem elha-



nyagolható a $\leq 0,2 \mu\text{m}$ átmérőjű részecskék koncentrációjának megállapítása, az elhalt baktériumok kimutatása, a klórozott szénhidrogén- a cink-, króm-, nikkel- tartalom mérése. A kontaktusfém III. az összekötő fémmezés anyagának változásával - nemcsak a poli-Si, de a szilícidok, közülük is elsősorban a TaSi₂ - szemcseméretének, a fázisátalakításoknak, a sztöchiometriai összetételnek, az oxid- szilícid határfelületnek a belső feszültségeknek a vizsgálata került előtérbe.

Az integráltságl fok növekedése megköveteli, hogy egyre komplexebb s ennek megfelelően egyre drágább mikroelektronikai berendezéseket alkalmazzanak még rutin feladatok megoldására is és természetesen "on-line" azaz a gyártósorra beépítve.

Az ellenőrzés klasszikus tesztábról kiegészülnek olyan áramkör elemekkel, amelyek lehetővé teszik az elektronsugár-indukált feszültségkontraszt vizsgálatot pásztázó elektronmikroszkóppal, a kisebbségi töltéshordozók élettartamának mérését, zajméréseket, a fonyemisszió meghatározását, stb. Ezeket a vizsgálatokat azért végzik mert, nagyon érzékenyen jelzik az áramkörgyártás során esetleg létrejövő kristályhibákat, hibastruktúrákat, szennyezőelemeket.

A szigetelő hordozón kialakított egykristályrétegek (SOI- struktúra) elterjedése a VLSI-áramkörökben is új módszereket, elsősorban rétegvizsgálatokat (kristályos állapot meghatározás, poli-kristályos göcképződés okainak feltárása, stb) igényelt.

Az előadásokból és a közvetlen konzultációkból azt a következtetést lehetett levonni, hogy az IC-gyártás és kutatás a VLSI-korszakban (1,2 μm -es, III. szubmikrométeres vonalszélesség) az alábbi fizikai-kémiai analízismódszereket igényli:

- röntgendiffrakció és topográfia (kristályos állapot, belső feszültségek, kristályhibák meghatározása, fázisazonosítás, stb.)

- pásztázó elektronmikroszkópia (nagy mólýsógélességű és felbontású felvételek a felület morfológljáról, a kritikus méretek meghatározása, stb.)
- elektronsugaras mikroanalízis (vékonyrétegek összetételének és vastagságának meghatározása, szennyezések azonosítása, stb.)
- szekunder ion tömegspektroszkópia (adalékprofil meghatározás egykristályos Si-ban és poli-Si-ban, szennyezők felületi- és mélységben azonosítása, oxigén-tartalom mélységi analízise, stb.)
- Infravörös spektroszkópia (bór- és foszforüvegek B- III. P- tartalmának mérése, rétegvastagságmérés, O- és C-tartalom III. precipitátum meghatározása, stb.)
- Rutherford visszaszórásos spektroszkópia (kvantitatív, roncsolásmentes mélységi analízis vékonyrétegekben)
- Auger - elektronspektroszkópia (felületi szennyezők azonosítása, vékonyrétegek mélységi analízise, kötőviszonyok felderítése, adhézió mérése, stb.)
- transzmissziós elektronmikroszkópia (nanómeter-nagyságrendű kristályhibák azonosítása, szemcse- és fázisátalakítások vizsgálata, stb.)
- elektronspektroszkópia kémiai analízis céljára (elemazonosítás, kötőviszonyok meghatározása)
- mólýnívó spektroszkópia, fotolumineszcencia spektroszkópia (a tiltott sávban mólýnívókat létrehozó szennyezők kimutatása, szennyező-beépülés felderítése)

Ezek a módszerek s a módszer műveléséhez szükséges - 100000 - 1 millió \$ értékű műszerek Kínában több kutatóhelyen is rendelkezésre állnak.

A gyártásban is általános Kínában a pásztázó elektronmikroszkópia (PEM), az elektronsugaras mikroanalízis (EPMA-EDX III. EPMA-WDX), az optikai mikroszkópia infravörös, lézarsugaras fajtái és a szekunder-ion tömegspektroszkópia. (SIMS)

2. Technológiai műveletek

A VLSI technológiában a következő műveleteket használják:

- Ionimplantáció
 - p-n átmenetek kialakítására,
 - szigetelő rétegek kialakítására (SOI),
 - MOS tranzisztorok nyitófeszültség beállításra, getterezéshez
- Kémiai gőzfázisú leválasztás (CVD)
 - szilícium rétegek leválasztása (epitaxiális és poli-kristályos)
 - dielektrikum rétegek leválasztása
 - fémrétegek leválasztása
- Hőkezelések
 - oxidáció
 - implantáció utáni a sugárkárosodást megszüntető hőkezelés
- Fotolitográfia

- Marási műveletek
- Vezető rétegek kialakítása.

Mindezen technológiával műveletek során rendkívül nagy gondot fordítanak arra, hogy a lehető legtökéletesebb kristálystruktúra megmaradjon, a kialakult felület illetve a felületi réteg ne károsodjon vagy ne szennyeződjön.

Az egyes műveletekről változó súllyal tartottak előadásokat, viszonylag kevés előadás volt lonimplantációról és azt követő hőkezelésről. A kristályminősítések során felhozott példák tartalmaztak információkat ezekről a műveletekről. Jelenleg a 10-160 keV energiatartományú lonimplantációt használják adalékolásra összekapcsolva vagy alacsony hőmérsékletű vagy magas hőmérsékletű, de gyors hőkezeléssel.

Az lonimplantációt megelőzheti egy amorfizálás is. A kontakt ellenállás csökkentésére kísérleteznek olyan módszerekkel amelyeknél az implantálást tiltánszilicid rétegen keresztül végzik. Az áramkörli elemek elszigetelésére eltemetett szilíciumnitrid réteget lehet kialakítani 190 keV nitrogén implantálással, és azt követő hőkezeléssel.

A kémiai leválasztás (CVD) módszereknél a kémiai elvek lényegében változatlanok maradnak a VLSI áramkörök technológiájában is, de csökkennie kell a hőmérsékletnek javítani kell a lépcsők fedését, csökkenteni kell a hőtágulási együtthatóból következő mechanikai feszültségeket, javítani kell a rétegek egyenletességét és csökkenteni kell a szeletkezeléssel járó szennyeződéseket. A fenti feltételeknek az LPCVD (alacsony nyomású kémiai leválasztás) a plazmás és fotonos CVD felel meg. A plazmás és fotonos CVD módszereknél a reakcióhoz szükséges energiát a gáztörrel plazmakisülés illetve foton abszorpció útján közöljük. A fotonabszorpcióhoz a gáztérbe abszorbeáló anyagot kell juttatni ez nem minden esetben felel meg a tisztasági követelményeknek.

A CVD módszerrel leválasztott rétegek közül legérdekesebb a szilíciumnitrid. A technológiailag paraméterek módosításával az LPCVD módszerrel előállított szilíciumnitrid optimalizálható a memória áramkörökben való alkalmazásra. Azt tapasztalták, hogy a nitridben lévő oxigén mennyisége befolyásolja a töltéscsapdák számát, viszont túl nagy oxigéntartalomnál a csapdák gyorsan kiürülnek.

Döntő szerepe van a fotolitográfiának a VLSI áramkörökben. A maszkkészítésre elektronsugaras berendezéseket használnak, az általunk meglátogatott Wuxi-I Félvezető gyárban NDK gyártmányú ZBA 20 maszkkészítő van. A maszkkészítésnél lényeges szempont a villantások számának csökkentése, ennek érdekében negatív elektron reziszt anyagot is használnak, így a fémezés maszkját nem kell körbevillantani. A szeletre az ábrát 1:1 vagy 5x kicsinyítéssel direkt léptetéssel vizslik át. A Wuxi-I gyárban erre is NDK gyártmányú berendezés volt.

A rezisztlákk eltávolítását plazmás módszerrel végzik világszerte. A VLSI áramkörökben használt 60 nm vastag oxidréteget a plazma keletke-

zésével járó lonbombázás károsítja. A károsodás eredményeként a nyitófeszültség stabilitása romlik. A plazmás lakkeltávolító átkonstruálásával térben elválasztották a szeleteket és a plazma előállítás, így csökkenthető az oxidréteg károsodása. Króm rétegek felületéről a rezisztlákkot szondioxid lézerral lehet eltávolítani. A króm réteg nem melegszik fel az eltávolítás során és nem oxidálódik.

A nedves kémiai marás helyett használt plazmás és reaktív lonmarók károsítják az oxidréteget, a sekély diffúziót és a fémrétegeket szerencsétlen esetben az elektróda anyaggal, szénnel és fluorral szennyezhetik a felületet.

Megint különös figyelmet érdemel a szilíciumnitrid marása, nagy energiájú ionsugárral (60 keV Xe) XeF₂ gáz bekeverésével maszk nélkül marhatók 0,5 μm méretű struktúrák.

A Al +4 % Cu fémrétegek reaktív lon marásánál korróziós nyomok keletkeznek a felületen.

A gyorsító feszültség és a kamra nyomásának optimalizálásával ezt a jelenséget sikerült eltüntetni.

A VLSI technológiában használt összeköttetéseknek és kontaktusoknak kis fajlagos ellenállásúnak kell lenni. A bonyolult áramkörökben a vezetők hosszúak a csíkszélesség pedig kicsi. A kis vonalszélesség miatt az elfedésnek is tökéletesnek kell lennie. Mindezen feltételeknek a különböző szilicidok (Ti és W) felelnek meg. A leválasztást általában porlasztással valósítják meg. A porlasztás jó ölfedést biztosít de a target bombázására használt nemesgáz beépülhet a rétegbe és gáz-zárványokat okozhat. A jelenség csökkenthető ha az általában használt rádiófrekvenciás porlasztás helyett egyenáramú porlasztásra térnek át.

Fontos probléma az összeköttetések alatti felület milyensége. Minél nagyobb a felület eltérése a síktól annál nagyobb a lépcsők száma - annál nagyobb az összekötő vezeték megszakadásának valószínűsége. A felület planarizálására különböző módszereket ismertettek. Alumínium réteget 308 nm hullámhosszú lézerral megvilágítva az megolvad és sík felület alakul ki. A megolvastás után a rétegben megmaradó lépcsők nagysága kisebb mint 80 nm. A megolvastásos módszer további előnye, hogy a megolvadt fém a legkisebb kontaktusba is befolyik. A kontaktusban az ötvözdést TiW réteg akadályozza meg.

A fotoreziszt réteg felvitelkor is közel sík felület keletkezik, úgy hogy a lépcsős alap felett különböző vastagságú reziszt réteg lesz. A reziszt réteg reaktív lonmaróban úgy marva, hogy a marási sebessége egyenlő legyen az alatta lévő foszforüveg marási sebességével szintén sík felület érhető el.

A lézerral segített CVD módszer lehetőséget ad arra, hogy wolfram réteget válasszunk le az integrált áramkör tetszőleges helyére - így az összeköttetések külön rezisztművelet nélkül megvalósíthatók.

Összefoglalás:

A konferencián elhangzott előadások és magánbeszélgetések alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a VLSI áramkörök fejlesztéséhez feltétlenül szükség van megfelelően modern technológiai géppark mellett hatásos vizsgáló laboratóriumokra is. A VLSI áramkörök technológiája a terméken keresztül csak elektromos paraméterekkel nem minősíthető kielégítően.

Ez a berendezésállomány annyira költséges, hogy egy vállalat önállóan nem tudja megvásárolni és fenntartani, még olyan nagy cégek sem mint pl. a Motorola. A megoldás útja lehet a több vállalat

és szervezet által fenntartott államilag támogatott fejlesztő intézet. Kínában a szükséges berendezések a technológiai alpműveletek fejlesztéséhez és az eredmények értékeléséhez rendelkezésre állnak. Nagyon sok kínai szakember jár hosszabb-rövidebb tanulmányúton fejlett ipari országokban, és megvan az a lehetősége, hogy tapasztalatokat azonnal hasznosítsa.

A konferencia megrendezése lehetőséget adott számunkra, hogy egyszerre sok szakemberük kerüljön kapcsolatba a vezető cégek kutatóival. Jó lenne ha ezt a példát hazánkban is követni lehetne.