

A MEV Penning-kisüléses katódporlasztó forrásai (PENTRON)

DR. VÁGÓ GYÖRGY, KERTÉSZ GÁBOR
BACKHAUSZ LÁSZLÓ, SZAKÁLY ISTVÁN
GLASER PÉTER
Mikroelektronikai Vállalat



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk a katódporlasztásnak a Penning-kisülésen alapuló változásával foglalkozik, amelyet a szakirodalomban magnetronos porlasztásnak is neveznek. Az első rész a Penning-porlasztás működési elvét és a mikroelektronikában betöltött szerepét mutatja be. A második rész a MEV PENTRON katódporlasztó forrásait ismerteti, kitérve a segédmágnesekkel kiegészített mágneses elrendezés előnyeire. A befejező rész néhány kész technológiát, valamint több további alkalmazási lehetőséget mutat be.

1. Bevezetés: A Penning-porlasztás szerepe a mikroelektronikában

A félvezetőeszközök gyártásának fontos fázisa a szilíciumszeleteken kialakított áramköri elemeket egymással és az áramkör kivezetéseivel (tappancsokkal) összekötő fémhálózat létrehozása. Ez a művelet általában két részből áll: a szelet teljes felületének fémezéséből és a felesleges részek fotolitográfiai úton történő eltávolításával a vezetékhalózat elkészítéséből. A Penning-porlasztás a szeletek fémezésére igen előnyösen alkalmazható vékonyréteg-készítési módszer.

A fémezésre korábban tiszta alumíniumot használtak, melyet vákuumpárolgatással juttattak a szeletekre, elektronsugaras forrásból. (A volfrám-csónakból történő párolgatás erre a célra azért nem alkalmas, mert az olvadt alumínium kioldaná a volfrámhoz — annak gyártásakor — adalékolt nátriumot, amely a fémrétegbe kerülve tönkretenné a MOS eszközöket.)

Az áramköri elemek méreteinek csökkenésével új követelmények merültek fel a fémréteg anyagával szemben, ezért az alumíniumrétegnek bizonyos ötvözőket kell tartalmaznia: egyrészt szilíciumot, megakadályozandó az alumínium és a szilícium egymásba diffundálását, valamint rezet, amely az alumíniumvezetékekben a nagyobb áramsűrűség miatt fellépő hiba, az ún. elektromigráció kialakulását gátolja.

A háromkomponensű ötvözetrétegek előállítása párolgatással igen bonyolult, nehezen szabályozható. Katódporlasztással — melynél a katód ionbombázás hatására porlódik, s az így eltávozó atomok hozzájuk létre a bevonatot — ötvözetrétegek is kényelmesen készíthetők, viszont a gázkisülésből származó nagyenergiájú (1–2 keV) töltéshordozók a MOS eszközöket károsítják. Ezt

DR. VÁGÓ GYÖRGY

1956-ban fejezte be tanulmányait az ELTE fizikus szakán. Fő szakterülete a különböző vékonyréteg-

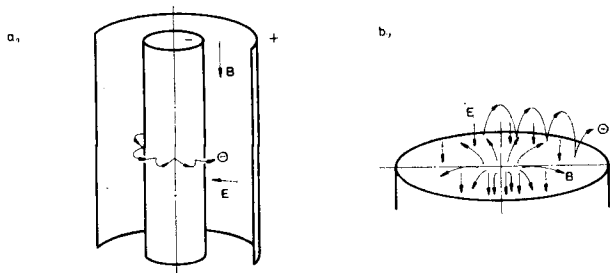
technológiai berendezések fejlesztése. Jelenleg a MEV Vákuumtechnikai Fejlesztési Osztályának vezetője. Több közlemény szerzője. A műszaki tudomány kandidátusa.

az ellentmondást oldja fel a Penningporlasztás alkalmazása: a mágneses tér miatt a gázkisülés kis térrészre korlátozódik, így a bevonandó szeleteket lényegében nem éri töltéshordozók.

2. A Penning-porlasztás elve

A Penning-kisülés létrejöttében igen fontos szerepet játszik az egyidejű, egymásra merőleges villamos és mágneses tér [1]. Mint ismeretes, egymásra merőleges, homogén villamos és mágneses tér jelenlétében a töltéshordozók cikloispályán mozognak, amely mozgás egy haladó és egy körmozgás eredőjeként fogható fel [2]. A haladó mozgás iránya merőleges mind a villamos, mind a mágneses tér irányára.

A villamos és mágneses tér megfelelő kialakításával elérhető, hogy a haladó mozgás pályája lényegében önmagában záródjon, azaz az elektronok ún. csapda pályákon mozogjanak. (Az ionok nagyobb tömege miatt az ionok mozgását nem befolyásolja lényegesen a mágneses tér.) Két ilyen elrendezés látható az 1. ábrán. Ez a kialakítás a következőképpen módosítja a gázkisülés működését: A katódról vagy közvetlen közeléből induló elektronok a cikloispálya miatt jóval hosszabb utat tesznek meg, amíg elérik az anódot, ezért átlagosan több ütközésben vesznek részt. Így — bár nem minden ütközés jár ionizációval — az egy elektron által keltett ionok — átlagos — száma sokkal nagyobb, mint mágneses tér alkalmazása



H266-1

1. ábra. A Penning-kisülés elve: elektronok mozgása speciális elektromágneses térben. a) hengeres, b) sík katód esetén

Beérkezett: 1986. XII. 3.

nélkül (ugyanakkora anódfeszültség és gáznyomás mellett), mert mágneses tér hiányában az elektronok akár egyetlen ütközés nélkül is eljuthatnak az anódra. A nagy ionizációs valószínűség miatt a gázkiszülés tulajdonságai sok tekintetben különböznek a ködfénykiszülés sajátosságaitól:

— a kiszülés létrejöttéhez szükséges gáznyomás sokkal kisebb (kb. egytizede), mint a ködfénykiszülésnél;

— a gázkiszülés kis térrészre korlátozódik, csak ott alakul ki, ahol a villamos és a mágneses tér elegendően nagy és közel merőleges egymásra, így a kiszülés általában a katód felületének közelében lokalizálódik;

— a töltéshordozó-koncentráció nagyobb, emiatt kisebb az anódesés;

— viszonylag kis feszültséggel (néhány száz volt) igen nagy áram (többször 10 A) tartható fenn;

— nagyobb áramsűrűség és teljesítmény érhető el;

— a kiszülés jól szabályozható, villamos karakterisztikája kedvező:

$$I = c \cdot U^n$$

ahol I az áram, U a feszültség, c és n állandók, n nagyobb egynél.

Ezek a sajátosságok általában előnyként jelentkeznek, amikor a Penning-kiszülést katódporlasztásos vékonyréteggé készítésre alkalmazzák: alacsonyabb gáznyomáson kisebb a maradékgáz-beépülés; a lokalizált gázkiszülés miatt a bevonandó szubsztrátumokat nem éri töltéshordozók; a villamos hatások kedvezőbb; nagyobb a teljesítmény, ezáltal nagyobb réteggépülési sebesség érhető el; a folyamat jól szabályozható, viszonylag egyszerű felépítésű villamos tápegység alkalmazható.

További előnye a Penning-porlasztásnak, hogy — mint a katódporlasztásnál általában — nagyfrekvenciás táplálás is alkalmazható, így szigetelőanyagok is porlaszthatók, valamint mivel — ellentétben a vákuumpárologtatással — a porlódáshoz

nem szükséges a katód felmelegítése, ezért hőre érzékeny anyagokra is készíthető bevonat, ezen kívül ötvözetrétegek készítése is egyszerű.

Penning-porlasztásra az 1.b) ábrán látható, sík katóddal működő elrendezést használják gyakrabban, ennek vázlatos kialakítását a 2. ábra mutatja. A porlasztandó anyagból készült katód, az ún. target alatt helyezkedik el a mágneskör, melyben általában állandó mágnesek gerjesztik a mágneses teret. A hengersizimetrikus kialakításon kívül négyzetes vagy egyéb alakú elrendezés is lehetséges.

A porlasztási folyamat alatt a target hűtést igényel, mert a katódot bombázó ionok (melyek a teljes áram felét szállítják és gyorsító feszültségük a teljes feszültség 90%-a) energiája nagyrészt hővé alakul, a porlódással eltávozó atomok az energia igen kis részét viszik el. A kellő hűtés biztosítására különböző megoldások terjedtek el, így pl. közvetlen hűtésnél a target hátoldala érintkezik a hűtővízzel, míg közvetett hűtés esetén a targetet vízhűtés tömbhöz rögzítik úgy, hogy a kettő között a hőátadás megfelelő legyen.

A Penning-porlasztók kialakításakor gondoskodni kell a katód villamos szigeteléséről is. Anódként általában a katódporlasztó forrás külső burkolata, vagy a vákuumkamra fala szerepel, egyes esetekben külön anódot is alkalmaznak, amely pl. a tárcsa alakú target központi furatában helyezkedik el.

A Penning-katódporlasztók alacsony nyomású gázban működnek, ezért a vákuumtömörséget is biztosítani kell. A porlasztóforrások működésének és konstrukciójának részletesebb leírását ld. [3], [4], [5].

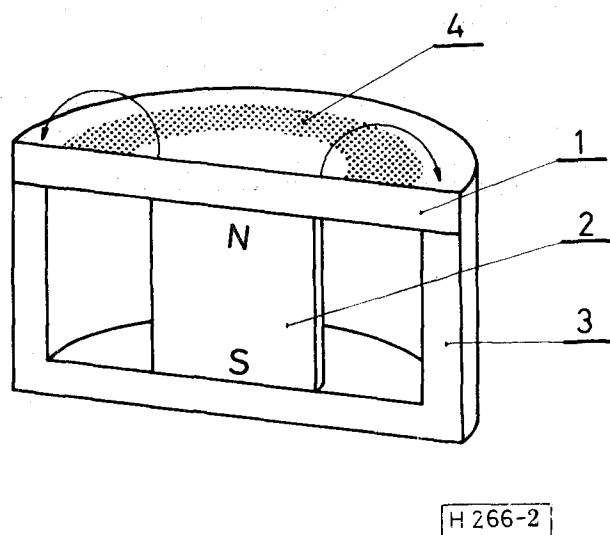
3. A MEV PENTRON katódporlasztó forrásai

Mágneses elrendezés

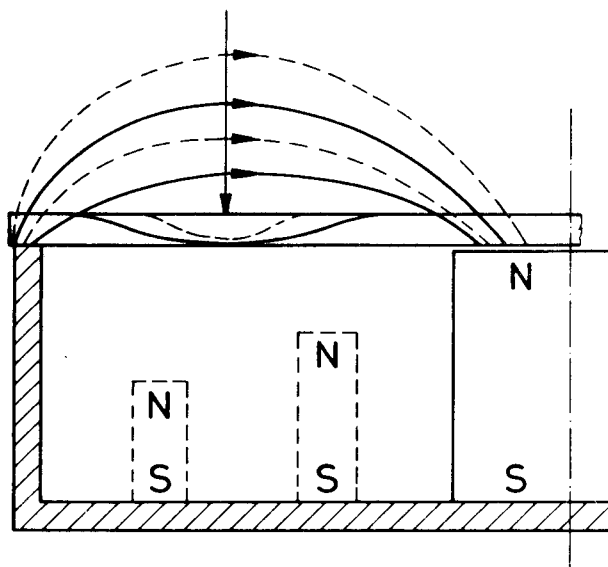
A PENTRON katódporlasztókban a mágneses teret SmCo ötvözetből készült állandó mágnesek keltik. A mágneskörben a főmágnes mellett segédmágnesek is vannak ((szabadalmaztatott megoldás [6]), ennek a különleges elrendezésnek köszönhető, hogy mind a működési tulajdonságok, mind a gazdaságossági jellemzők jobbak a szokásosnál. Ez az alábbiakkal magyarázható (3. ábra):

A Penning-kiszülés feltételei ott a legjobbak, ahol a villamos és a mágneses tér merőleges egymásra, azaz — mivel a katód közelében a villamos tér merőleges a katód felületére, mert a felette elhelyezkedő plazma ekvipotenciális, virtuális anódnak tekinthető — ahol a mágneses tér a target felületével párhuzamos. Segédmágnesek nélkül ez a feltétel csak egy szűk tartományban teljesül, ezért a gázkiszülés és ezzel együtt a porlódás is csak vékony körgyűrű mentén megy végbe, emiatt a kopási profil igen keskeny. A segédmágnesekkel a mágneses tér úgy módosítható, hogy szélesebb tartományban legyen közel párhuzamos a target felületével és a mágneses tér iránya, így jóval szélesebb kopási profil keletkezik.

A különlegesen széles porlódási zóna az alábbi előnyökkel jár:



2. ábra. Sík katóddal működő Penning-katódporlasztó forrás sematikus rajza. 1 — target (katód); 2 — mágnes; 3 — pólus; 4 — plazma



H 266-3

3. ábra. A mágneses tér és a kopási profil segéd-mágnesek nélkül (szaggatott) és segéd-mágnesekkel (folytonos vonal)

— a *targetkihasználás* jóval nagyobb a szokásosnál, eléri a 60%-ot, azaz a target anyagának több, mint a fele elporlasztható, mire a kopási zóna mélysége eléri a target vastagságát.

— kiváló a *lépcsőfedés*, ami különösen a mikroelektronikai alkalmazásoknál lényeges;

— az előállított vékonyrétegek *vastagságeloszlása* kedvező, így egyenletes bevonat készíthető viszonylag nagyméretű tárgyakra is, azok — rétegtézítés közbeni — mozgatása nélkül.

A PENTRON katódporlasztók konstrukciója

A PENTRON katódporlasztók vázlatos felépítése a 4. ábrán látható. A target — típustól függően — kerek vagy négyzetes alakú.

A target hűtése az összes típusnál közvetett (azaz a target a vízzel hűtött tömbbel érintkezve adja le az ionbombázás keltette hőt), viszont a target rögzítésének módja szerint három csoportba sorolhatók a típusok. Kisméretű porlasztóforrásoknál a targetet a pereménél szorítja a hűtőtömbhöz a csavarokkal rögzített leszorító gyűrű. Néhány típusnál a targetet központi leszorítócsavar rögzíti a hűtőhöz és a jó hűtést az biztosítja, hogy a target a hőtágulás miatt a hűtőtömbben lévő mélyedés oldalához szorul. A nagyméretű típusoknál a targetet lágyforrasztással kötik a hűtőtömbhöz.

A hűtőtömb alatt helyezkednek el a mágnesek.

A katódporlasztó források tetszőleges helyzetben (alulra, felülre, oldalt) szerelhetők a vákuumrendszerbe. A kamra belsejében működő források szinte minden meglévő vákuumrendszerbe beépíthetők, a kisebb típusok (MC—2, MC—5) egyetlen $\varnothing 25$ mm furatba szerelhetők, melyben a forrás rögzítőcsomója egyben áram- és vízbevezetőként

is szolgál, míg az M—10 típus beszereléséhez csak áram- és vízbevezetőkre van szükség.

A kamrafalra szerelhető változatoknál a target a kamrafal megfelelően kialakított nyílásában helyezkedik el, míg a forrás többi része, a csatlakozások kívül vannak. Így jobb a helykihasználás, könnyebb a karbantartás. (Ilyen típust ábrázol a 4. ábra.) Szintén kamrafalra, Conflat csatlakozóra szerelhető az MC—5U típus, amely kifűthető, így ultra-nagyvákuumrendszerekben is alkalmazható.

A PENTRON katódporlasztók legfontosabb jellemzőit foglalja össze az I. táblázat.

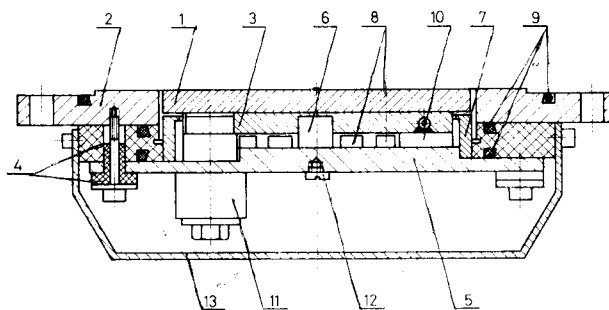
Rétegvastagságeloszlás

A katódporlasztó források fontos jellemzői a rétegvastagság-eloszlásgörbék, melyeket a katódal párhuzamosan, különböző távolságokra elhelyezett sík szubsztrátumokra készített rétegeken, a vastagságot a szimmetriatengelyen áthaladó egyenes mentén mérve vesznek fel.

A Penning-katódporlasztók működési elvéből következik, hogy a target csak a gyűrű alakú porlódási zónában kopik, ezért ha a target és a szubsztrátum távolsága kicsi, a rétegvastagság-eloszlásgörbében két maximum lesz, közepén pedig — ahol a target általában nem kopik — helyi minimum. A távolságot növelve ez a hatás eltűnik és a görbe a más forrásoknál is megszokott alakú lesz, egy maximummal. Az M—10 típusú katódporlasztóval mért tipikus rétegvastagság-eloszlásgörbét mutat az 5. ábra.

A rétegvastagságeloszlás kismértékben függ a porlasztott anyagtól, a gáznomástól és a katódáramtól is, ezért amennyiben fontos a réteg egyenletessége, az optimális technológiai jellemzőket kísérleti úton kell meghatározni, bár vannak a számítógépes modellezésre irányuló kezdeményezések [7].

A különlegesen egyenletes fémbevonatok készítésére kifejlesztett típusok segítségével 150 (M—15K) ill. 200 (M—20K) mm átmérőjű szubsztrátumok (pl. szilíciumszeletek) fémezése is lehetséges a rétegvastagság $\pm 5\%$ túrése mellett úgy, hogy nincs szükség a szubsztrátumok rétegtézítés közbeni mozgatására.



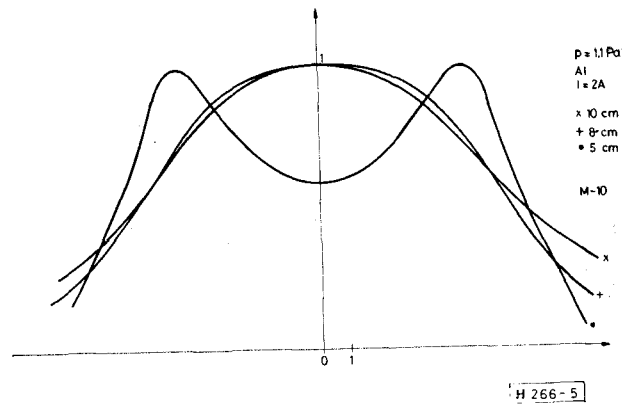
H 266-2

4. ábra. A PENTRON katódporlasztók felépítése (kamrafalra szerelhető változat). 1 — target; 2 — anód; 3 — hűtő; 4 — szigetelő; 5 — alaplap; 6 — főmágnes; 7 — pólus; 8 — segéd-mágnesek; 9 — „0”-gyűrűs tömítés; 10 — hűtővízesatorna; 11 — hűtővízbevezető; 12 — villamos csatlakozó; 13 — burkolat



KERTÉSZ GÁBOR

1954-ben végzett a Buda-pesti Műszaki Egyetemen, erőáramú gépészmérnökként. Korábban a lokátoros berendezések erőátviteli részeivel foglalkozott, később a permanens mágnesekkel gerjesztett mágneskörök tervezése és kivitelezése lett a fős szakterülete. Jelenleg MEV Vákuumtechnikai Fejlesztési Osztályán dolgozik, a párolgató- és porlasztó források mágnesköreit tervezi.



5. ábra. Különböző target-szubsztrát távolságoknál felvett rétegvastagság-eloszlás görbék

1. táblázat

Típus	Maximális teljesítmény (kW)	Target méret (mm)			Szerelés			Alkalmazás				Megjegyzés
		perem leszorítás	központi rögzítés	forrasztás	kamrán belülre	kamrafalra	Kamrafalon szükséges nyílás (mm)	általános célra	ferromágneses anyaghoz	ultrahang-vákuumrendszerhez		
MC-2	0,6	∅51×3	×		×		∅25	×				
MC-5	2	∅76×4	×		×		∅25	×				
MC-5U	1	∅76×4	×			×	Conflat ∅152,4 (külső átmérő)				×	
M-10	10	∅162×16		×	×		áram- és vízbevezetés	×				
M-10K	10	∅162×16		×		×	∅213	×				
M-15K	15	∅210×18		×		×	∅261	×				
MF-15K	15	∅210×3...9			×	×	∅400		×			
M-20K	20	∅279×10		×		×	∅318	×				
M-8N... ..M-30N	10... ...30	203...762× ×127×10		×		×	209...768× ×133	×				7-féle hossz méretben
MF-8N.. .MF-20N	10... ...20	203...508× ×140×3...9		×		×	209...514× ×152		×			4-féle hossz méretben

A nagyméretű, négyszögletes források esetében ha a szubsztrátumot a bevonás alatt keresztirányban, egyenletes sebességgel mozgatják, elvileg tökéletesen egyenletes réteg készíthető (6. ábra). Ez a módszer igen nagy méretű lapok egyenletes bevonására is alkalmas, a lapok hossza megfelelő vákuumrendszer esetén szinte tetszőleges, a szélességet csak a target hossza korlátozza.

Ferromágneses anyagok porlasztása

A ferromágneses anyagok Penning-porlasztásakor általában nem alkalmazhatók a szokásos vastagságú targetek, mert a target anyaga rövidrezárná (söntölné) a mágneskört és így nem alakulna ki a Penning-kisüléshez szükséges erősségű mágneses tér.

Ezért általában igen vékony, vagy — ami pl. a target élettartama szempontjából ugyanazt jelenti — több helyen elvékonyított, felhasított targetet alkalmaznak. Így a target mágnesesen telítődik,

nem képes rövidrezárni a mágneskört, tehát a target felett létrejön a kellő mágneses tér.

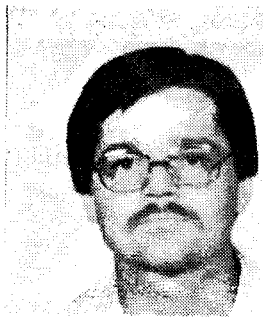
A ferromágneses anyagok porlasztására készült PENTRON típusok a különleges mágneses elren-



BACKHAUSZ LÁSZLÓ

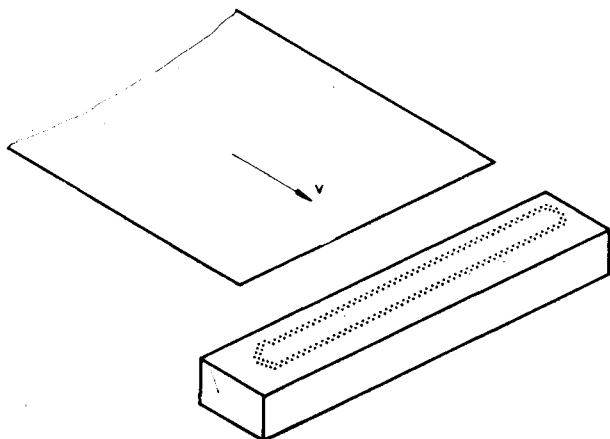
1983-ban végzett a BME villamosmérnöki karának

elektronikai technológiai szakán. Ezután a Mikroelektronikai Vállalat dolgozójaként nappali tagozatú szakmérnöki tanfolyamon vett részt, melynek során a vékonyrétegek mechanikai vizsgálati módszerével foglalkozott, majd 1985-ben elektronikai technológiai szakmérnöki oklevelet szerzett. 1984-ben Felsőoktatási Tanulmányi Érdemérem kitüntetésben részesült. Jelenleg a MEV Vákuumtechnikai Fejlesztési Osztályán dolgozik, technológusként.



SZAKÁLY ISTVÁN

1977-ben végzett a Gép-
ipari Automatizálási Mű-
szaki Főiskolán, majd a
Budapesti Rádiótechni-
kai Gyárban dolgozott,
célgéptervezőként. 1982-
től a Mikroelektronikai
Vállalatnál a Vákuum-
technikai Fejlesztési Osztá-
lyon különböző vákuum-
technikai eszközök (elek-
tronsugaras párologtató-
források, katódporlasztó
berendezések) gépészeti
tervezésével foglalkozik.
1980 óta a BME gépész-
mérnöki karának hallgatója.



H 266-6

6. ábra. Nagyméretű lemez bevonása négyzetletes katódporlasztó forrás segítségével

dezésnek köszönhetően 3—9 mm vastag targettel működnek, szemben a szokásos 1—2 mm-es targetvastagsággal. A megfelelő targetvastagság anyagként változik, durván fordítva arányos a target anyag telítési indukciójával.

4. Alkalmazások, technológiák

Félvezetőfémzés

Mint arról a bevezetőben szó volt, a Penningporlasztást a félvezetőfémzés fejlődése hozta létre, így a legfontosabb alkalmazási terület is ez. A speciális feladatokról eltekintve, itt alumínium,



GLASER PÉTER

1966-ban fejezte be tanulmányait a BME Vegyész-
mérnöki Karán. 1970-
ben került a HIKI Fél-
vezető Főosztályára, ahol
félvezető fémzési techno-
lógia fejlesztésével fog-
lalkozott. Emellett részt
vett az elektronsugaras
párologtató források és
Penning porlasztó források
fejlesztési munkáiban.
Több közlemény szerzője.

illetve alumínium-ötvözetréteg kialakítása a cél. A tiszta és ötvözött alumínium porlasztása ma már rutintechnológiának számít, és a hazai targetgyártás eredményeként semmilyen problémát nem jelent.

Mint említettük, az alumínium ötvözésével mindkét, az áramkörök méretcsökkentése miatt jelentkező hiba elkerülhető [8]. Az alumínium-szilícium interdiffúzió megakadályozására 1—1,5% szilíciumot tartalmaz az alumínium réteg (a szilárd oldékonyság 400 °C-on kb. 0,8%), az elektromigráció visszaszorítására pedig 4—5% rézet. A target ilyen koncentrációban tartalmazza egyik vagy mindkét ötvöző fémét.

Az N-csatornás, szilícium vezérlő elektródás MOS integrált áramkörök technológiájának fejlesztése során a következő tapasztalatokat szereztük a porlasztott AlSi rétegekkel (a mai PENTRON típusok egyik elődjével, a HIM-10 porlasztó forrással):

- Mind a szilícium adalékolás, mind a porlasztás a réteg *fajlagos ellenállásának* növekedését okozta. A porlasztott AlSi réteg fajlagos ellenállása mintegy kétszerese volt a párologtatott tiszta alumínium(referencia) rétegének, de ez az ellenállásnövekedés az IC-k belső összekötő fémzése céljára még elfogadható volt.
- A porlasztott Al és AlSi rétegek *szemcsemérete* 10—22 nm között volt, míg az azonos hőmérsékleten, elektronsugaras forrásból párologtatott Al-rétegé 120—150 nm és az AlSi-rétegé 40—50 nm (a réteg Si-tartalma a mérési hibán belül nem befolyásolta a szemcseméretet).
- A fém-félvezető *kontaktusellenállás* a szilícium adalék hatására kismértékben megnőtt, a porlasztás a párologtatáshoz képest nem jelentett ilyen szempontból különbséget.
- A *p-n átmenetek szivárgását* a fémzési módszer nem befolyásolta, a szilícium adalék viszont magasabb hőmérsékletű és/vagy hosszabb idejű hőkezeléseket tett lehetővé a szivárgás növekedése (vagy extrém esetben zárlat keletkezése) nélkül.
- A MOS struktúrát jellemző *oxidöltés* meghatározására szolgáló CV/BT vizsgálatokban a flatband feszültség csúszása a mérési hibával azonos mértékű volt az összes minta esetén, károsodást nem tapasztaltunk.
- A porlasztott Al és AlSi rétegek *lépcsőfedése* olyan tökéletes volt, hogy a sík SiO₂ felületen, illetve 600 vastagoxid ($d \approx 0,8 \mu\text{m}$) és 560 poli-Si ($d \approx 0,5 \mu\text{m}$) lépcsőn átmenő fémcsíkok ellenállása a mérési hibán belül azonos volt.

Fenti tapasztalatainkról, ill. vizsgálatainkról korábban már részletesen beszámoltunk különböző hazai és nemzetközi fórumokon [pl. 9, 10, 11].

Átlátszó vezetőrétegek

Néhány fém oxidja nem szigetelő, hanem kisebb-nagyobb mértékben vezető, ugyanakkor — vékony rétegben — fényáteresztő. Ilyen pl. az ón és az indium.

Ezen anyagok oxidjaiból átlátszó vezetőréteg alakítható ki. E rétegek felhasználása rendkívül

széles körűvé vált. Két példa: a folyadékkristályos kijelzők felső elektródája és a fűthető pilótakabinablak. A réteg előállítására számos eljárás ismert, ezek közül egyet vázolunk.

Kiindulásként olyan ötvözetargetet használunk, mely 90% indiumot és 10% ónt tartalmaz. Ezt a targetet használjuk a reaktív porlasztáshoz, melynél az argonhoz 10% oxigént keverünk. Az így kialakuló réteg még gyakorlatilag fémes, ezt még 400 °C hőmérsékleten 10 percig hőkezelve alakul ki az átlátszó vezetőréteg (ennek szakirodalmi rövidítése ITO), melynek tipikus tulajdonságai: *négyszetes ellenállás 100 ohm/□, vastagsága 200—500 nm, transzmissziója 80—85%.*

Mágneses adathordozók

A korszerű mágneses információhordozók jelsűrűségének jelentős növekedése változást hozott a hordozó anyagában és a hordozóréteg felvitli technológiájában egyaránt. E változás lényege elsősorban a rétegvastagság csökkenésében nyilvánul meg. Ez azt eredményezi, hogy a hagyományos „felöntéses” eljárás helyett mind nagyobb szerepet játszik a vákuumtechnológiai rétegelőállítás, és ezek közül is elsősorban a katódporlasztás.

Az általunk kidolgozott technológiával diszk tároló réteget készítettünk kobalt-nikkel-volfrám ötvözetből. *A rétegvastagság 200 nm, a koercitív erő 0,5—0,7 T, a négyszögesség 0,7—0,8, a határfrekvencia 5 MHz volt.*

Egyéb felhasználási lehetőségek

A felsorolt példák csak a „honosított” technológiák. A lehetséges alkalmazások felsorolása is reménytelen feladat, azok rendkívül nagy száma miatt. Még megemlítünk három példát, melyek az elektronika területén kívül esnek, de jelentőségük azzal egyenértékű vagy nagyobb:

- forgácsolószerszámok élettartam-növelő kemény réteg bevonatának készítése;
- nagyméretű üveglakok hővisszaverő rétegeinek felvittele;

— csomagolóanyagok alumíniumozása (pl. az ún. Tetrapack csomagolás).

5. Összegezés

Cikkünkkel talán sikerült érzékeltetni a Penningporlasztásban rejlő lehetőségeket. A források oldaláról a jelenlegi helyzetet legjobban a piacon kapható források méretválasztékával jellemezhetjük: a legkisebb forrás 5 cm átmérőjű és 5 cm magas, a legnagyobb 20 cm × 300 cm felületű.

A cikkben vázolt technológiák csak példák, és nem érzékeltetik azt a fejlődést, amit a Penningporlasztás az elmúlt tíz év alatt megtett, és várhatóan még legalább akkora fejlődési lehetőség van előtte, mint amennyin már átment.

IRODALOM

- [1] *Penning, F. M.*: US Patent No. 2. 146. 025 (1039).
- [2] *Simonyi Károly*: Elektronfizika. Tankönyvkiadó, Budapest, 1969.
- [3] *Vossen, J. L.—Kern, W.*: Thin Film Processes. Academic Press, New York, 1978.
- [4] *Thornton, J. A.*: Magnetron sputtering: basic physics and application to cylindrical magnetrons. J. Vac. Sci. Technol. Vol. 15 (1978), No. 2, p. 171.
- [5] *Waits, R. K.*: Planar magnetron sputtering. J. Vac. Sci. Technol. Vol. 15 (1978), No. 2., p. 179.
- [6] *Kertész Gábor—Vágó György*: US Patent No. 4. 232. 083.
- [7] *Gy. Vágó et al.*: Calculation of film thickness at magnetically enhanced (Penning-) sputtering (first approximation). J. Vac. Sci. Technol. (közlés alatt).
- [8] Thin Films — Interdiffusion and Reactions (ed J. M. Poate et al.), John Wiley and Sons, Inc., New York, 1978.
- [9] *Glaser P., Kertész G., Vágó Gy.*: Tapasztalatok a HIM—10 típusú Penning porlasztó forrással, Finommechanika—Mikrotechnika, 20. évf. 12. szám, 353—356. old. (1981).
- [10] *P. Glaser, Gy. Vágó, P. Barna, O. Herkner-Gesztli*: Some physical and technical properties of various aluminium films Proc. 5th Int. Symp. „High purity materials in science and technology”, Dresden, May 1980, p. 347.
- [11] *P. Glaser, D. Sawicka*: Investigations on Al/Si interface, Acta Physica Hungarica, Tom. 56 (1—4), pp—111—118 (1984).