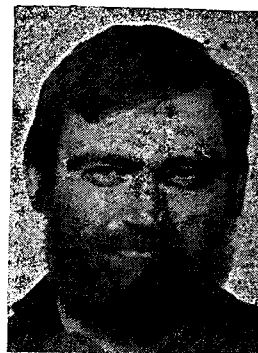


# Alacsony hőmérsékleten leválasztott szigetelő rétegek letörési vizsgálatai

HORVÁTH ZSOLT—STUBNYA GYÖRGY\*—

**NÉMETH TIBOR**—TÜTTŐ PÉTER—PONOMARENKO JURIJ\*

Magyar Tudományos Akadémia  
Műszaki Fizikai Kutató Intézete



## ÖSSZEFOGLALÁS

A dielektrikum rétegeket széleskörűen alkalmazzák a félvezető technológiában. Ezen rétegek letörési tulajdonságai nagymértékben hatnak vagy egyenesen meghatározzák az eszközök gyártási kihozatalát és megbízhatóságát. Alacsony hőmérsékleten leválasztott plazmás  $\text{Si}_3\text{N}_4$  és CVD  $\text{SiO}_2$  rétegek letörési tulajdonságait olyan számítógépezérelt mérési összeállítás segítségével vizsgáltuk, mely lehetővé teszi a rétegek elfáradási tulajdonságainak vizsgálatát is. A kapott letörési eredményeket az extrémérték statisztika integrált eloszlási ábrázolása segítségével értékeltük ki. Ez az ábrázolás kiemeli az eloszlás legfontosabb részét, a kis térerősség értékeknél letörést mutató kondenzátorok hatását, melyek meghatározzák az eszközkihozatalt és a megbízhatóságot. Az eloszlási görbékben meghatározott, a hibahelyekkel kapcsolatos gyenge pontok aránya mind a  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , mind a  $\text{SiO}_2$  rétegek esetében jó korrelációt mutat a leválasztási sebességgel.

## Bevezetés

A dielektrikum rétegeket széleskörűen alkalmazzák a félvezető technológiában. Ezen rétegek letörési tulajdonságai nagymértékben hatnak vagy egyenesen meghatározzák az eszközök gyártási kihozatalát és megbízhatóságát.

Jelen előadás röviden leírja a letörési tulajdonságok mérési technikáját és statisztikus kiértékelési módszerét, valamint ismerteti az alacsony hőmérsékleten leválasztott plazmás  $\text{Si}_3\text{N}_4$  és CVD  $\text{SiO}_2$  rétegek esetében kapott eredmények egy részét.

## Mérési módszer és kiértékelés

A dielektrikum rétegek letörési tulajdonságait kondenzátorok segítségével vizsgáltuk. A mérés alatt 100 V/s sebességű fűrészfeszültséget kapcsoltunk a mintára olyan polaritással, mely a félvezető felületet akkumulációba vitte. Az átfolyó áramot mértük és a letörést úgy definiáltuk, hogy az átfolyó áramnak el kellett érnie egy előre megadott szintet.

A mérési összeállítás az 1. ábrán látható. A mérés kezdetén a két fűrészgenerátor azonos konstans sebességgel indul. Mikor az áram eléri a megadott szintet, az első generátor nullázódik, a második pedig megáll és feszültségértéke regisztrálásra kerül, majd szintén nullázódik. A mintára kapcsolt fűrészfeszültség sebessége 100–10 000 V/s között változtatható.

Ez az összeállítás lehetővé teszi a kondenzátorok kifáradási tulajdonságainak vizsgálatát is. Kifáradás vizsgálat esetén a kapacitásra kapcsolt fűrészjel  $10^5$  V/s sebességgel beáll egy előre megadott szintre. A második generátor adja az adott konstans előfeszítés esetén az előre meghatározott áramerősség eléréséhez szükséges idővel arányos jelet.

\* Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár

Beérkezett: 1985. XI. 6. (Λ)

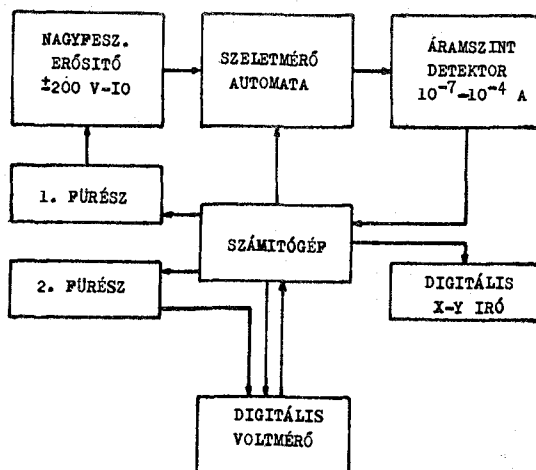
Híradástechnika XXXVII. évfolyam 1986. 8. szám

*HORVÁTH ZSOLT a Kijevi Műszaki Egyetemen szerzett villamosmérnöki oklevelet 1973-ban. Azóta az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetben dolgozik. 1983-ig szilícium alapú rétegszerkezetek kutatásával ill. az ezeken felépülő eszközök fejlesztésével foglalkozott. 1983. óta a GaAs alapú kutatásban és a mikrohullámú eszközök fejlesztésében vesz részt.*

Az adott értékeket az extrémérték statisztika integrált eloszlási ábrázolása segítségével értékeltük ki [1]. A 2. ábra ezen ábrázolás egy példáját mutatja. Az  $y$  tengelyen a kumulatív letörési arány ( $F$ ) van feltüntetve a térerősség ( $E$ ) függvényében egyfajta kettős logaritmikus léptékben:

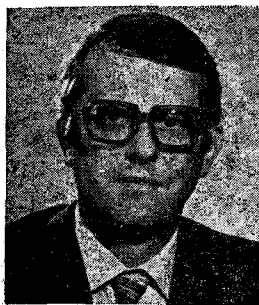
$$y = \ln \{ -\ln[1 - F(E)] \}$$

Ez a statisztikus ábrázolás kiemeli az eloszlás legfontosabb részét, a kis térerősség értékeknél letörést mutató kondenzátorok hatását. Ezek az értékek a legfontosabbak a kiértékelés során, hiszen ezek adnak információt a kihozatalról és megbízhatóságról, továbbá a görbe struktúrája a kis térerősség értékeknél további információt szolgáltat a hibák természetéről. Ezekből az ábrákból könnyű megjósolni a hiba valószínűségét tetszőleges eszközfelület esetén, mert különböző eszközfelületeknél az integrált eloszlási görbe egyszerűen függőlegesen eltolódik az  $\ln(A_1/A_2)$  értékkel, ahol  $A_1$  és  $A_2$  az eszközfelületek.



H 113 - 1

1. ábra. A mérési összeállítás blokkvázlata



**STUBNYA GYÖRGY** 1968-ban a debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetem vegyész szakán végzett. 1983-ig az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetben technológusként dolgozott. Kutatási területei: különböző félvezető hordozókon szigetelő rétegek ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) leválasztása CVD módszerekkel és ezek, valamint az így előállított rétegszerkezetek vizsgálata. 1983-tól az OMIKK-ban dolgozik mint informatikus.



**NÉMETH TIBOR** egyetemi tanulmányait a Kossuth Lajos

Tudományegyetem vegyész szakán fiziko-kémikusként fejezte be 1958-ban. Az MTA MFKI megalakulása óta elsősorban félvezető technológiával: vékony amorf és epitaxiális rétegek előállításával, tulajdonságaik vizsgálatával, korábban speciális félvezető anyagok előállításával és rövidebb ideig a volfram technológia-kémia problémáival foglalkozott. Tudományos tevékenységét közel 50 dolgozat, 10 előadás és több szabadalom társszerzősége jellemzi.

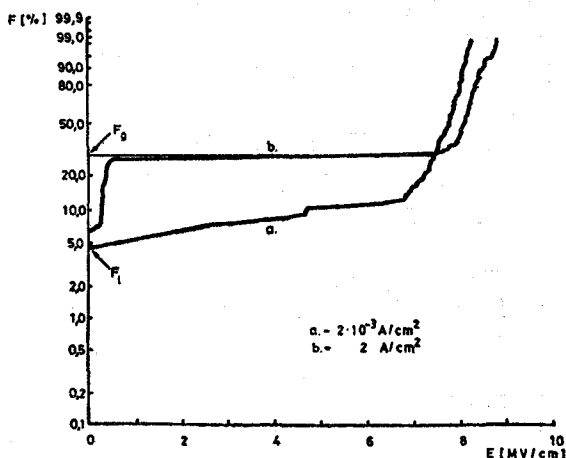


**TÚTTÓ PÉTER** 1971-ben végzett az ELTE TTK. fizikus szakán, azóta az MTA

MFKI-ban dolgozik. Az eltelt időszakban főbb kutatási területei a szilícium alapú félvezető-szigetelő határfelület-közeli tartományok generációs-rekombinációs jelenségeinek, az MNOS struktúrák kettős dielektrikum rétegeiben lejátszódó fizikai folyamatoknak a vizsgálata és méréstechnikáinak fejlesztése. Ezenkívül közreműködött a magnetorezisztor, a CCD és az MNOS típusú áramkörök fejlesztésében. Jelenleg vegyületfélvezetőkkel — többek között félvezető lézerek méréstechnikai problémáival — foglalkozik.



**PONOMARENKO JURIJ** 1976-ban félvezető fizikusként végzett az Ogyesszai Állami Egyetemen. Kezdetben a Híradásipari Kutató Intézetben, majd 1978-tól az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetében MOS eszközök minősítésével foglalkozott. Részt vett a FAMOS elvű nem illékony memória kifejlesztésében. Jelenleg az Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár dolgozójaként az online hozzáférésű információs adatbázisokkal foglalkozik.



H 113-2

2. ábra. 100 db kondenzátor letörési térerősségének tipikus kumulatív eloszlása CVD  $\text{SiO}_2$  esetén (a — első, b — második mérési sorozat)

Az elektronsugarasan párologtatott Al rétegekből fotolitográfia és kémiai marás segítségével előállított kondenzátorok felülete  $10^{-4} \text{ cm}^2$  volt. Egy mérési sorozat 100 kondenzátor letörési méréséből állt. Két mérési sorozatot végeztünk minden 100 kondenzátorból álló csoporton: az első 200 nA megadott áramszintnél, a második 100  $\mu\text{A}$ -nél. Minden szeleten 2–5 kondenzátorcsoportot vizsgáltunk.

A 2. ábrán a 200 nA-es első mérési sorozatra kapott a görbe két részből áll: a kevésbé meredek rész a lokalizált szemcsékkel, üregekkel, szennyezőkkel, repedésekkel, feszültségekkel és erőtertorzulásokkal kapcsolatos gyenge pontoknak felel meg. A meredek rész az intrinsic letörési tartomány, melynek egyik lehetséges mechanizmusa a Fowler-Nordheim tunnelezés. A hibák okozta letörés nem reverzibilis, míg az intrinsic letörés kis áramszinteknél reverzibilis, amint a 2. ábrán is látható. A második sorozatra kapott b görbe nem függ a második sorozatra megadott áramszinttől, ugyanaz más áramértékek esetén is, csak az első sorozat áramszintjétől függ. A második mérési sorozat közben a nagy áramsűrűség miatt gyakorlatilag az összes kondenzátor tönkremegy, miközben látható fényt sugároz ki.

A kumulatív eloszlásgörbékből a lyukas pontok arányát ( $F_1$ ), a gyenge pontok arányát ( $F_2$ ) és az intrinsic letörési térerősséget ( $E_B$ ) értékeltük ki. A gyenge pontok arányából kiszámítottuk a hibásúrúséget a következő kifejezés alapján [2].

$$N_g = - \frac{\ln(1 - F_g)}{A}$$

#### Rétegleválasztás

A szilíciumnitrid rétegek Si és GaAs hordozóra lettek leválasztva egy párhuzamos elektródos alacsonyfrekvenciás (30 kHz) plazma reaktorban 3%  $\text{SiH}_4$  + 97%  $\text{N}_2$ -t tartalmazó gázkeverék felhasználásával és kb. ugyanilyen mennyiségű  $\text{N}_2$  vagy  $\text{NH}_3$  hozzáadásával. Néhány esetben Ar hozzáadása is történt. A leválasztás alatt a gáznyomást 0,005–0,013 Pa között tar-

tottuk. A generátor kimenőteljesítményét a lehetséges legoptimálisabb vastagsághomogenitás szerint választottuk ki. A szeletek hőmérséklete 275–325 °C között változott. A szeleteket kémiailag vagy kémiailag és in situ plazmamarással tisztítottuk leválasztás előtt.

A CVD SiO<sub>2</sub> rétegeket 375 és 450 °C-on választottuk le egy 684 cm<sup>3</sup>/perc áramlási sebességű 0,5% SiH<sub>4</sub>-t, 1,7% O<sub>2</sub>-t és 97,8% N<sub>2</sub>-t tartalmazó gázkeverékből. Vivőgázként 12 180 cm<sup>3</sup>/perc áramlási sebességű N<sub>2</sub>-t használtunk. Esetenként plusz oxigént adtunk hozzá, és a Si szubsztrátok egy részét HNO<sub>3</sub>-ban történő forralással passziváltuk leválasztás előtt.

A rétegeket részlegesen hőkezeltük leválasztás után 500 °C-on N<sub>2</sub>-ben 20 percig.

## Eredmények

### Szilíciumnitrid rétegek

A gázkeverék hatását a 300 °C-on Si hordozóra plazmában leválasztott Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> rétegek letörési viselkedésére az 1. táblázat szemlélteti. Látszik, hogy NH<sub>3</sub> reaktív gázadalék esetén a hibás pontok száma kisebb és a letörési télerősség nagyobb, mint N<sub>2</sub> esetén. Az argon hozzáadása szintén javítja a letörési tulajdonságokat. A tömörebb rétegek kialakulása ezekben az esetekben valószínűleg a nagyobb leválasztási sebességek (v) következménye, melyeket szintén megadtunk az 1. táblázatban. Az NH<sub>3</sub> hatása kapcsolatban állhat még a szilíciumnitrid rétegbe történő nagyobb mértékű hidrogénbeépüléssel, lekötve a szabad szilíciumvegyértékeket, melyek mindig jelen vannak a Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> rétegekben [3]. A többi hőmérsékleten is hasonló hatást találtunk.

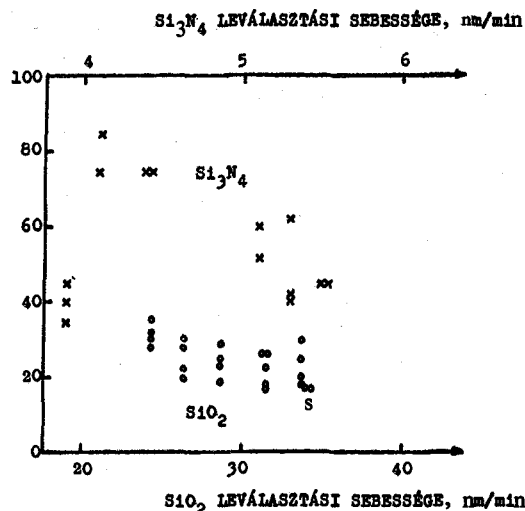
A szubsztrátum hőmérséklet oly módon hatott a letörési tulajdonságokra, hogy azok a hőmérséklet növelésével javultak. Ez a hatás, amint a (SiH<sub>4</sub> + N<sub>2</sub>) + NH<sub>3</sub> + Ar gázkeverékre (Si szubsztrátum) kapott eredményeket tartalmazó 2. táblázat mutatja, bizonyára nemcsak a nagyobb leválási sebességekkel kapcsolatos.

1. táblázat. A gázkeverék hatása a Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> rétegek letörési tulajdonságaira

| Gázkeverék  | F <sub>g</sub> , % | N <sub>g</sub> , cm <sup>-2</sup> | 1. táblázat            |           |
|---|--------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------|
|   |                    |                                   | E <sub>B</sub> , MV/cm | v, nm/min |
| (SiH <sub>4</sub> + N <sub>2</sub> ) + N <sub>2</sub>       | 75                 | 13 900                            | 8,2                    | 4,4       |
| (SiH <sub>4</sub> + N <sub>2</sub> ) + NH <sub>3</sub>      | 40–62              | 5100–9700                         | 10,3                   | 5,3       |
| (SiH <sub>4</sub> + N <sub>2</sub> ) + N <sub>2</sub> + Ar  | 52–60              | 7300–9200                         | 8,2                    | 5,1       |
| (SiH <sub>4</sub> + N <sub>2</sub> ) + NH <sub>3</sub> + Ar | 45                 | 6000                              | 10,2                   | 5,5       |

2. táblázat. A leválasztási hőmérséklet hatása a Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> rétegek letörési viselkedésére

| T, °C | F <sub>g</sub> , % | N <sub>g</sub> , cm <sup>-2</sup> | 2. táblázat            |           |
|-------|--------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------|
|       |                    |                                   | E <sub>B</sub> , MV/cm | v, nm/min |
| 275   | 75–85              | 13 900–19 000                     | 7,8                    | 4,1       |
| 300   | 52–60              | 7 300–9 200                       | 8,2                    | 5,1       |
| 325   | 35–45              | 4 300–6 000                       | 8,9                    | 3,9       |



3. ábra. A leválasztási sebesség és a gyenge pontok aránya közötti korreláció

3. táblázat. Az oxigéntartalom hatása a CVD SiO<sub>2</sub> rétegek letörési tulajdonságaira

| O <sub>2</sub> tartalom cm <sup>3</sup> /min | F <sub>1</sub> , % | F <sub>g</sub> , % | N <sub>g</sub> , cm <sup>-2</sup> | v, nm/min | 3. táblázat |
|--|--------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------|-------------|
| 11,5   | 0–2                | 28–35              | 3300–4300                         | 24,4      |             |
| 16,5   | 5–8                | 20–30              | 2200–3600                         | 26,4      |             |
| 19,3   | 0–2                | 19–29              | 2100–3400                         | 28,8      |             |
| 24,5   | 0–1                | 17–26              | 1900–3000                         | 31,5      |             |
| 31,5   | 1–17               | 18–30              | 2000–3600                         | 33,7      |             |
| 39,0   | 0–1                | 7–17               | 700–1900                          | 34,2      |             |
| 11,5*  | 1–4                | 20–28              | 2200–3300                         | 24,4      |             |
| 31,5*  | 0–1                | 3–8                | 300–800                           | 33,7      |             |

\* HNO<sub>3</sub> passzivált

A GaAs hordozók insitu plazma marása nagyon jó eredményeket adott: a gyenge pontok számát 10%-ra sikerült csökkentenünk, azaz a hibásűrűséget kb. 1000 cm<sup>-2</sup>-re. Ezek az eredmények azt sugalmazzák, hogy a szubsztrátum felülete fontos szerepet játszik a rétegválasztás folyamatában, ill. a letörési mechanizmusban. Si szubsztrátumok esetén a plazmamarás nem mutatott számottevő hatást.

A leválasztás utáni hőkezelés hatása pozitív volt, de nem jelentős.

A Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> rétegek lyukas pontjainak aránya 0–5% között volt.

### Szilíciumdioxid rétegek

A CVD szilíciumdioxid rétegek esetén a hordozó-hőmérséklet gyakorlatilag nem hatott a letörési viselkedésre sem Si, sem GaAs esetében. A leválasztás utáni hőkezelés Si szubsztrátum esetén javította a 375 °C-on leválasztott rétegek letörési tulajdonságait, amíg a 450 °C-on leválasztottak esetében rontotta őket.

A legnagyobb mértékben az oxigéntartalom hatott ezen rétegek letörési tulajdonságaira. Hatását Si szubsztrátum és 450 °C esetében a 3. táblázat mutatja. A gyenge pontok aránya csökken növekvő oxigéntartalommal (a 31,5 cm<sup>3</sup>/perc oxigéntartalomnál kapott értékek valószínűleg egy ismeretlen véletlen esemény következményei). A HNO<sub>3</sub> passziválás javította a letörési tulajdonságokat, ami hangsúlyozza a szubsztrátumfelület hatását.

Ezek a letörési eredmények szintén nagyon jól korrelálnak a leválasztási sebességgel. A 3. ábra az 1., 2. és 3. táblázatban megadott gyengepont arányokat összegzi a HNO<sub>3</sub> passziváció kivételével. A korreláció valószínűleg a kristallitméretek hatását tükrözi.

#### Összesítés

Ismertettük az intézetünkben megvalósított statisztikus letörésvizsgáló kísérleti módszert és a mérési adatok kiértékelését.

Az alacsony hőmérsékleten leválasztott plazmás Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> és CVD SiO<sub>2</sub> rétegek letörési eredményei jó korrelációt mutatnak a leválasztási sebességgel.

#### Köszönetnyilvánítás

A szerzők Lendvay Ödönnek, Lőrinczy Andrásnak és Mojzes Imrének támogatásukért, Bácsvány Józsefnek, Csonka Albertnek, Földesi Jánosnak, Lovicska Lászlónak, Németh Tibornak és Szabó Évának a rétegleválasztás és eszközkészítés során nyújtott segítségükért, Nemes Péternek, Tóth Andrásnak és Vitkay Lászlónak a kísérleti berendezés felépítése terén végzett tevékenységükért, Major Jánosnak a gépelési munkák elvégzéséért mondanak köszönetet.

#### IRODALOM

- [1] *D. R. Wolters*: Breakdown and Wearout Phenomena in SiO<sub>2</sub>. INFOS81, Springer Series in Electrophysics, Vol. 7. pp. 180—184
- [2] *P. Solomon, N. Klein, M. Albert*: A Statistical Model for Step and Ramp Voltage Breakdown Tests in Thin Insulators. Thin Solid Films, Vol. 35, 1976 N5, pp. 321—326
- [3] *H. J. Stein*: Ion-bombardment-induced transfer of H from N to Si in amorphous Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Applied Physics Letters, Vol. 32, 1978 N6, pp 379—380



Munkahelyén

új

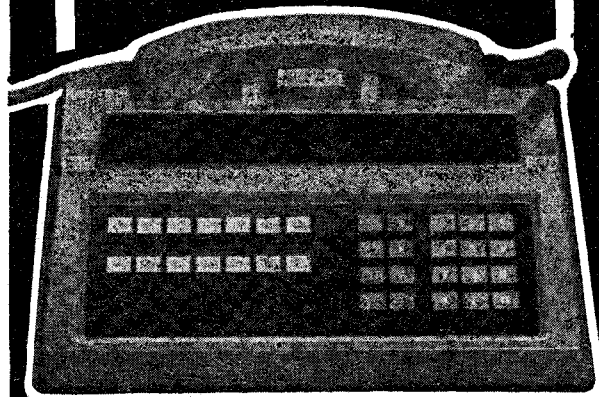
SEGÍTŐTÁRS

a

főnök-titkári  
telefonberendezés

4-12-20  
külső vonal  
fogadására alkalmas.

Biztosítja  
munkatársai gyors  
elérésének lehetőségét.



**BHG**  
Híradástechnikai  
Vállalat

BUDAPEST 1509 POSTAFIÓK 2 - XI, FEHÉRVÁRI ÚT 70.  
TELEFON 458 900 - TELEX 22-5933