

## Apvaliųjų tiristorių elektrinių parametrų tyrimas

A. Marcinkevičius, E. Višniakov, V. Jasonis

Kompiuterių inžinerijos katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,  
Naugarduko g. 41, LT-03227 Vilnius, Lietuva, tel. +370 5 2744772, el. p. a.marcinkevicius@el.vtu.lt;

### Įvadas

Tiristoriais vadinami keturių sluoksnių *pnpn* sandaros puslaidininkiniai įtaisai. Praktikoje dažniausiai taikomi katodinio arba anodinio valdymo vienkrypčio laidumo tiristoriai, kurie gali būti laidūs arba nelaidūs. Iš vienos būsenos į kitą tiristoriai persijungia šuoliu, veikiami išorinės įtampos.

Aukštosios įtampos tiristoriaus perėjimai išeina į darinio paviršius visoje periferijoje. Taigi elektrinio lauko stipris *pn* sandūrų atsiradimo vietoje daug didesnis nei tūryje. Elektrinio lauko stipriui paviršiuje sumažinti naudojami apsauginių žiedų, duobučių išėsdinimo ir mechaninio kraštinių kampų sudarymo metodai. Mažiau literatūroje išnagrinėtas kraštinių kampų metodas.

Pagrindiniai elektriniai parametrai, kurių vertės priklauso nuo tiristoriaus lusto kraštinių kampų dydžio:

$V_{rm}$  – didžiausia impulsinė atgalinė įtampa, kuriai esant tiristorius dar nepramušamas, ir

$V_{drm}$  – didžiausia tiesioginė impulsinė įtampa esant uždarai būsenai, kai tiristorius dar neįsijungia.

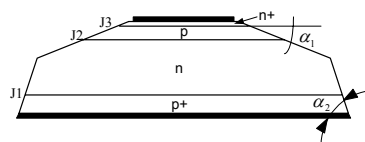
Tiesioginė ir atgalinė įtampos priklauso nuo tiristoriaus temperatūros. Tiesioginė pramušimo įtampa, esant bet kokiai temperatūrai, yra mažesnė už atgalinę pramušimo įtampą. Šios įtampos priklauso nuo antrosios *n* srities pločio. Kuo ši sritis didesnė, tuo didesnės tiesioginė ir atgalinė pramušimo įtampos, o kartu geresnės ir tiristoriaus charakteristikos.

Darbo tikslas – ištirti apvalaus aukštosios įtampos tiristoriaus pramušimo įtampų priklausomybę nuo pirmojo ir antrojo kraštinių kampų dydžio ir jų sudarymo technologijos.

### Tiristoriaus kampų įtakos elektriniams parametrams analizė

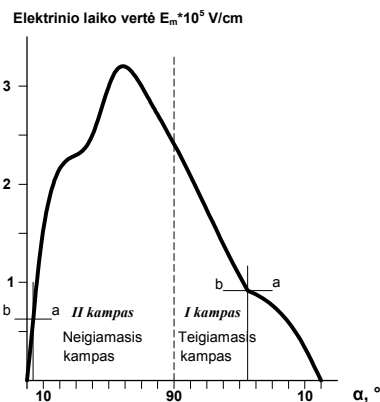
Kad tiristorių pramušimo įtampa būtų didžiausia, reikia daryti kuo plokštesnes ir lėkštesnes jų *pn* sandūras, nes didžiausias krūvininkų kiekis susikaupia tiristoriaus pakraščiuose. Sudarius tinkamos formos paviršius su tam tikru nuolydžiu, galima gerokai padidinti tiristorių pramušimo įtampas tiek pirmojoje, tiek antrojoje sandūrose. Kontūro kampas  $\alpha$  gali būti teigiamas arba neigiamas. Teigiamas kampas reiškia ploto mažėjimą nuo labai legiruotos srities į mažai legiruotą sritį. Neigiamas kampas, priešingai, reiškia ploto didėjimą ta pačia

kryptimi. Kokius kampus – teigiamus ar neigiamus galima sudaryti, parodyta 1 pav. Tiristorius turi neigiamus kampus  $\alpha_1$  sandūroms J2 ir J3 ir teigiamą kampą  $\alpha_2$  – sandūrai J1.



1 pav. Tiristorių kampų pavyzdžiai

Neigiamas kampas  $\alpha_1$  skirtas sandūros J2 tiesioginei įtampai blokuoti, teigiamas kampas  $\alpha_2$  – sandūros J1 atgalinei įtampai blokuoti. Sandūros J2 pramušimo įtampa gali būti gerokai mažesnė už J1. Kai įtampa didesnė nei 1000V, reikia daryti kampą  $\alpha < 6^\circ$ , todėl prarandama tiristoriaus naudingojo ploto dalis.



2 pav. Paviršiaus elektrinio lauko stiprio pasiskirstymas

Elektrinio lauko stiprio *E* darinio paviršiuje priklausomybė nuo kampo  $\alpha$  pateikta 2 paveiksle. Iš grafiko matyti, kad kuo didesnis kampas  $\alpha$ , tuo didesnis elektrinio lauko stipris *E* ir tuo didesnė tikimybė, kad sandūra bus pramušta. Pirmąjį ir antrąjį kampus parinkti sunku. Praktiškai didesnės negu 1000 V įtampos prietaisams antrąjį kampą reikia daryti mažą ( $\alpha_2 < 10^\circ$ ), o pirmąjį – didelį ( $\alpha_1 > 40^\circ$ ).

Pirmasis kampas sudaromas smėlio srovėje. Pagrindinis smėlio srovės operacijos tikslas – smėlio srove pašalinant silicio perteklių, suformuoti nustatyto dydžio

pirmąjį kampą ant silicio kristalo krašto. Šios operacijos metu silicis pašalinamas iki molibdeno ir sudaromas tam tikro nuolydžio kampas. Šis kampas didžiausią įtaką turi atgalinei pramušimo įtampai  $V_{drm}$ .

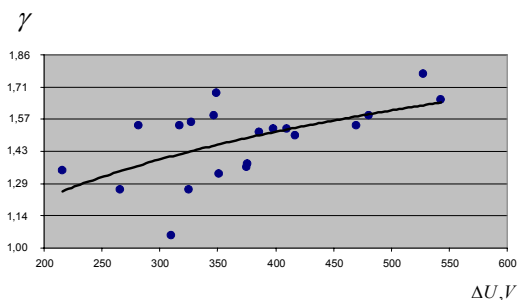
Antrasis kampas šlifuojamas ant sferų. Tiristoriaus lustas nušlifuojamas taip, kad jo sandūra J2 būtų tam tikru atstumu nuo pirmojo kampo krašto. Tai priklauso nuo  $pn$  sandūros gylio. Todėl šlifavimo trukmė nustatoma, atsižvelgiant į Ga arba GaAl difuzijos gylį. Antrasis kampas turi įtakos tiesioginei pramušimo įtampai  $V_{rrm}$ .

Esant teigiamam kampui, legiruotos  $p^+$  sritys erdvinio krūvio riba artėja prie  $pn$  sandūros. Todėl šios sritys plotis sumažėja. Mažai legiruotos  $n$  nuskurdintos sritys ribos tolsta nuo  $pn$  sandūros, todėl tos sritys plotis paviršiuje gerokai padidėja. Taigi elektrinio lauko stipris  $E$  paviršiuje tampa mažesnis nei tūryje. Reikia pažymėti, kad didžiausia  $E$  vertė kampo paviršiuje yra ne  $pn$  sandūros vietoje, o pasislenka mažai legiruotos sritys vidurio link. Kuo mažesnis daromas kampas, tuo didesnis poslinkis ir tuo mažesnis didžiausias elektrinio lauko stipris. Taigi  $E_{max}$  tūryje visada didesnė ir pramušimai galimi tik jame. Pavyzdžiui, įtaise su teigiamu  $45^\circ$  kampu elektrinio lauko įtampa paviršiuje griūtinio pramušimo atveju gauname 45% tūryje susidarančios didžiausios įtampos vertės. Didžiausia  $E$  vertė  $E_{max}$  nukrypsta nuo  $pn$  sandūros vietos paviršiuje apie  $0,7 x_n$  (čia  $x_n$  – nuskurdinto sluoksnio storis pramušimo atveju).

### Pirmojo kampo įtaka tiristoriaus pramušimo įtampoms

Pirmojo kampo įtakai tiristoriaus pramušimo įtampoms nustatyti buvo išmatuotos tiristorių su skirtingais kraštinių kampais  $\alpha_1$  atgalinės pramušimo įtampos  $V_{rrm}$ .

Sudarant didesnę ar mažesnę pirmąjį kampą, atgalinė pramušimo įtampa normaliomis sąlygomis nesikeičia. Pirmojo kampo įtaka didesnė esant aukštesnėms temperatūroms. Statistiškai suvidurkinus matavimo rezultatus, gauta grafinė kampų santykio  $\gamma = \alpha_1 / \alpha_{10}$  priklausomybė nuo įtampų skirtumo  $\Delta U$ :



3 pav. Pirmojo kampo įtaka atgalinei pramušimo įtampai:

$$\gamma = \frac{\alpha_1}{\alpha_{10}}; \quad (1)$$

čia  $\alpha_{10}$  – pradinė pirmojo kampo  $\alpha_1$  vertė;  $\alpha_1$  – pirmasis kampas

$$\Delta U = U_0 - U_T; \quad (2)$$

čia  $U_0$  – pramušimo įtampa esant normaliai temperatūrai;  $U_T$  – pramušimo įtampa esant temperatūrai  $T$ .

Grafikas sudarytas iš įtampų, išmatuotų normaliomis sąlygomis ir aukštoje temperatūroje, skirtumų  $\Delta U$  ir pirmojo kampo dydžių duomenų. Akivaizdu, kad mažesnio kampo tiristorių įtampų skirtumas yra mažesnis. Taigi, mažindami pirmąjį kampą, užtikriname mažesnes atgalines nuotėkių sroves, padidiname atgalines pramušimų įtampos aukštoje temperatūroje ir gauname stabilesnes tiristorių charakteristikas. Gauti rezultatai sutampa su teoriniais teiginiais, kad lauko stiprumas mažėja kampo paviršiuje, jį mažinant. Tačiau mažinant pirmąjį kampą, susiduriama su technologinėmis problemomis.

Grafike, pateiktame 3 pav., nubrėžta linija yra taškų vidurkio kreivė, aproksimuota laipsnine funkcija. Excel paketu gauname šios kreivės lygtį:

$$\alpha_1 = 8,9722 \cdot \Delta U^{0,2956}. \quad (3)$$

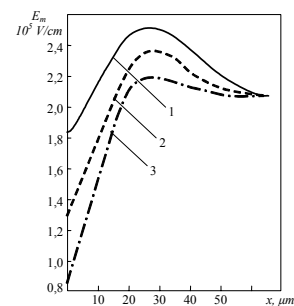
Panašus rezultatas gaunamas, kai kreivė aproksimuojama logaritmine funkcija:

$$\alpha_1^* = 14,944 \ln(\Delta U) - 36,504. \quad (4)$$

### Antrojo kampo įtaka tiristoriaus pramušimo įtampoms

Antrasis kampas taip pat labai svarbus ir turi įtakos tiristorių pramušimų įtampoms normaliomis sąlygomis ir aukštoje temperatūroje. Kampas sudaromas šlifuojant silicio lustą, sulydytą su molibdeno disku. Formuojant antrąjį kampą, svarbu nepažeisti užgarinto metalo sluoksnio.

Puasono lygties sprendinys, aproksimuotas eksponentine funkcija, leidžia pavaizduoti erdvinio krūvio ribas, kaip parodyta 4 paveiksle. Mažiausias atstumas tarp šios sritys ribų yra silicio tūryje netoli neigiamo kampo paviršiaus. Didžiausia lauko stiprumo vertė esant neigiamam kampui yra pasislinkusi gilyn nuo prietaiso paviršiaus. Taškas, kuriame išsidėsto didžiausias stiprumas, visada yra labai legiruotoje  $pn$  sandūros srityje.



4 pav. Elektrinio lauko didžiausio stiprio atstumo nuo neigiamo kampo paviršiaus funkcija esant skirtingoms  $\alpha_2$  kampų vertėms:  $\alpha_{20}(1)$ ,  $2\alpha_{20}(2)$  ir  $4\alpha_{20}(3)$

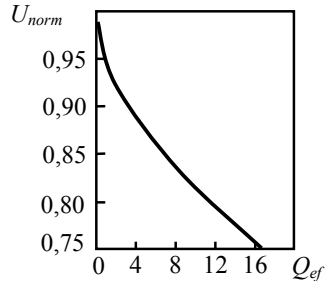
Parinkus erdvinę konstantą  $\lambda = 8 - 10 \mu\text{m}$  ir silicio plokštelę su donorinių priemaišų koncentracija  $N_D \approx 10^{14} \text{cm}^{-3}$ , pramušimo įtampa gali siekti 1,8 – 2,2 kV. Tiek tūryje, tiek paviršiuje elektrinio lauko įtampa mažėja, mažinant neigiamą kampą. Didžiausia elektrinio lauko įtampa atsiranda maždaug  $25 \mu\text{m}$  nuo paviršiaus gylyje ir būtent šioje vietoje įvyksta griūtinis pramušimas.

5 paveiksle pateikta normuotosios pramušimo įtampos priklausomybės nuo efektyviojo kampo charakteristika. Efektyvusis kampas randamas iš formulės

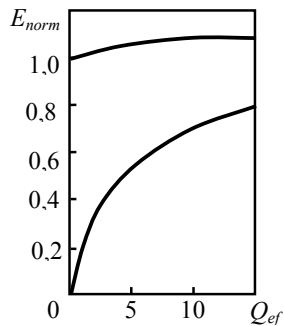
$$Q_{ef} = 4 \cdot 10^{-2} \left( \frac{W_n}{W_p} \right)^2 \alpha; \quad (5)$$

čia  $\alpha$  – tikrasis neigiamas kampas;  $w_n$  – erdvinio krūvio srities plotis mažai legiruotame sluoksnyje;  $w_p$  – erdvinio krūvio srities plotis labai legiruotame sluoksnyje.

Efektinio kampo sąvoka įvesta tam, kad duomenis, gautus skirtingiems įtaisams, galima būtų atvaizduoti viena kreive. Iš 6 pav. matyti, kad, didinant neigiamąjį kampą, elektrinio lauko stipris tūryje didėja gerokai lėčiau nei paviršiuje. Lauko stipris paviršiuje greitai keičiasi, keičiant efektyvųjį kampą  $Q_{ef}$ , ir siekia 80 % lauko stiprio tūryje, kai  $Q_{ef} = 15^\circ$ .

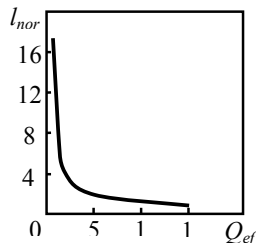


5 pav. Normuotosios pramušimo įtampos priklausomybė nuo efektyviojo neigiamojo kampo



6 pav. Normuotųjų didžiausiųjų elektrinio lauko stiprumo verčių priklausomybės (1 – tūryje, 2 – kampo paviršiuje) nuo efektyviojo neigiamojo kampo

7 paveiksle pavaizduota lauko stiprumo didžiausiosios vertės vieta (normuotasis atstumas nuo  $pn$  sandūros kaip efektyviojo kampo funkcija). Didžiausiojo lauko stiprumo taškas labai greitai keičiasi, kai efektyvusis kampas mažesnis nei  $2^\circ$ .



7 pav. Normuotasis stipriausio lauko atstumas nuo  $pn$  sandūros kaip efektyviojo neigiamojo kampo funkcija

## Kampo šlifavimo ir silicio ėsdinimo įtaka pramušimo įtampoms

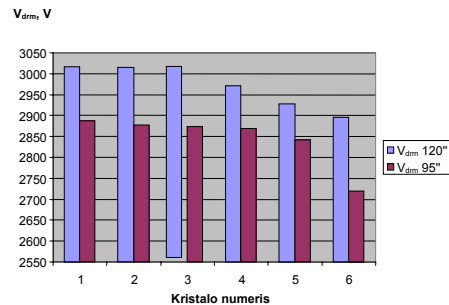
Kaip jau buvo minėta, tiristoriaus antrasis kampas turi įtakos tiesioginei pramušimo įtampai.

Antrasis kampas sudaromas šlifuojant tiristoriaus darinio paviršių specialiomis pastomis. Taigi antrojo kampo dydis priklauso nuo šlifavimo trukmės. Didesnės antrojo kampo šlifavimo trukmės keičia kampo dydį, padidina pramušimo įtampą ir sumažina nuotėkio srovę. Didelio skersmens tiristoriai turi labai platų krašto paviršių, o tai leidžia prailginti šlifavimo trukmę ir nušlifuoti paviršių nuo pirmo kampo iki pat metalo.

1 lentelė. Tiesioginės įtampos matavimų rezultatai

Imties Nr.	$V_{drm}$ (V), kai $\tau_1 = 120t_0$	$V_{drm}$ (V), kai $\tau_2 = 95t_0$
1	3016	2888
2	3015	2878
3	3006	2874
4	2971	2868
5	2928	2842
6	2896	2719

1 lentelėje pateikti šešių tiristorių imčių tiesioginių įtampų  $V_{drm}$  suvidurkinti matavimo rezultatai, kai šlifavimo trukmė  $120 t_0$  ir  $95 t_0$  ( $t_0$  – pradinė šlifavimo trukmė). Pirmasis kampas buvo daromas vienodas visiems tiristoriams. Rūgšties srovės parametrai, gaminant tiristorius, taip pat nesiskiria. Taigi galima įvertinti vieno kintamojo – antrojo kampo šlifavimo trukmės – įtaką tiristorių savybėms. Kaip matyti, 95 sekundžių pakanka, kad tiristoriaus pramušimo įtampa  $V_{drm}$  viršytų 2700 V.



8 pav. Antrojo kampo šlifavimo trukmės palyginimas

8 paveikslas sudarytas pagal 1 lentelę. Visos tiesioginės pramušimo įtampos vertės, kai antrajam kampui sudaryti buvo šlifauta 120 sekundžių, yra didesnės. Tai matyti iš diagramos, pateiktos 8 pav. Tiristorių su skirtingais antraisiais kampais pramušimo įtampų skirtumas siekia net 128 V. Toliau pramušimo įtampos didinti antrojo kampo sąskaita negalima, nes nušlifotas žiedas kai kur pasiekia metalo sluoksnį.

Griūtinio pramušimo įtampą bet kurioje  $pn$  sandūroje dar galima padidinti, ją chemiškai ėsdinant. Tokia metodika labai padeda gerinti elektrinius parametrus ir yra

naudinga ekonomiškai. Todėl tai yra viena iš pagrindinių tiristorių gamybos technologijų. Ėsdinimo procesu, kaip ir kampų sudarymo procesu, siekiama praplėsti pn sandūrų nuskurdintą sritį.

Siliciui ėsdinti dažniausiai naudojami dviejų tipų rūgštiniai ėsdikliai: skirtingos koncentracijos azoto ir fluoro rūgščių mišiniai. Dviejų reaguojančių medžiagų reakcijos greitis tiesiai proporcingas jų koncentracijų sandaugai. Proporcingumo koeficientas yra reakcijos greičio konstanta, kuri eksponentiškai priklauso nuo temperatūros. Todėl šildant ėsdinimo greitis staigiai padidėja ir darosi sunkiau kontroliuoti ėsdinimo gylį.

Rūgštis tiesiogiai pilama tik ant antrojo kampo, o ant pirmojo kampo patenka nutekėjusios rūgšties srovės dalis. Todėl galima teigti, kad pirmasis ir antrasis kampai apdorojami skirtingai. Vadinasi, ir *pn* sandūros pramušimo įtampos kampų paviršiuose bus skirtingos.

Didesnio skersmens kristalus reikia ėsdinti ilgiau, kadangi skirtingo skersmens tiristoriams per vienodą laiko intervalą tiekiamas vienodas rūgšties kiekis. Tarkime, kad didelio skersmens tiristoriai rūgšties srove ėsdinami ne mažiau kaip *x* sekundžių. To visiškai pakanka reikiamai kristalo pramušimo įtampai pasiekti, jei pirmasis ir antrasis kampai sudaryti gerai.

2 ir 3 lentelėse pateikti šio tyrimo duomenys, gauti analizuojant didelio skersmens tiristorius. Tam buvo sudarytas standartinio dydžio pirmasis kampas pašalinus apie 1 mm silicio kraštą ir prailginus antrojo kampo ėsdinimo trukmę, norint užtikrinti viso silicio paviršiaus apdirbimą iki pat metalo sluoksnio.

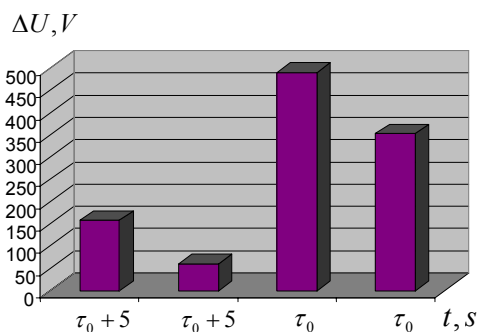
2 lentelė. Skirtingai ėsdinamų tiristorių pramušimo įtampos

Ėsdinimo trukmė	Matavimai normaliomis sąlygomis		Matavimai aukštoje temperatūroje (+τ)	
	$V_{dm}, V$	$V_{rm}, V$	$V_{dm}, V$	$V_{rm}, V$
x+5	2928	3163	2627	3006
x+5	2896	3137	2676	3077
x	2971	3142	2742	2653
x	3015	3175	2747	2823

3 lentelė. Skirtingai ėsdinamų tiristorių pramušimo įtampų skirtumai

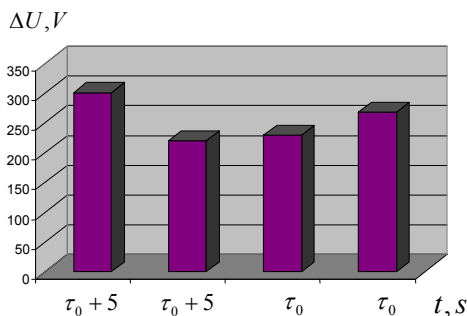
Ėsdinimo trukmė	Pramušimų įtampų skirtumai	
	$V_{dm}(n.s.) - V_{dm}(+T)$	$V_{rm}(n.s.) - V_{rm}(+T)$
x+5	301	157
x+5	220	60
x	229	489
x	268	352

Matuojant normaliomis sąlygomis, atgalinė pramušimo įtampa yra didesnė už tiesioginę pramušimo įtampą. Tačiau tai nėra skirtingų ėsdinimo trukmių priežastis. Esminių skirtumų galima pastebėti, matuojant aukštoje temperatūroje. Šie skirtumai nustatomi, apskaičiavus kiekvienos pramušimo įtampos vertės normaliomis sąlygomis ir aukštoje temperatūroje skirtumą. Pagal apskaičiuotas vertes nubraižyti 9 ir 10 pav.



9 pav. Rūgšties srovės poveikio įtaka atgalinei įtampai

Kaip matyti iš 9 pav. grafiko, rūgšties srovės poveikio trukmė turi didelę įtaką atgalinei pramušimo įtampai  $V_{rm}$ . Padidinus ėsdinimo trukmę 5 sekundėmis, pramušimo įtampų skirtumas sumažėjo apie 2 – 3 kartus. Gamyboje toks skirtumas didelės reikšmės neturi, nes tiristoriuje nesiekama gauti didžiausių pramušimo įtampų. Aukštoje temperatūroje galima pagerinti atgalinę pramušimo įtampą, padidinus pirmojo kampo ėsdinimo trukmę.



10 pav. Rūgšties srovės poveikio įtaka tiesioginei įtampai

Tiesioginei pramušimo įtampai ėsdinimo trukmės ilginimas įtakos beveik neturi (10 pav.). Ir  $\tau_0$ , ir  $\tau_0 + 5$  sekundžių rūgšties srovės poveikis duoda panašų rezultatą. Esant vienodoms nuotėkio srovėms, pramušimo įtampos yra apytiksliai lygios. Taigi galima teigti, kad *pn* sandūrai antrajame kampe apdirbti visiškai pakanka  $\tau_0$  sekundžių ėsdinimo. Per  $\tau_0$  sekundžių rūgšties srovė nuėsdina apie 30 – 40  $\mu m$  silicio paviršiaus. Tai antrojo kampo paviršius, į kurį rūgšties srovė patenka tiesiogiai. Pirmajame kampe nuėsdinamas kur kas plonesnis paviršiaus sluoksnis. Kai tiristoriai apvalūs, jo storį nustatyti labai sunku. Todėl, norint spręsti apie ėsdinimo kokybę iš tiristoriaus sandaros, rūgšties srovėje reikia nuėsdinti 30  $\mu m$  paviršiaus sluoksnį.

#### Atviro tiristoriaus įtampos įvertinimas

Normuoti atviro tiristoriaus įtampa gali būti išreikšta lygtimi

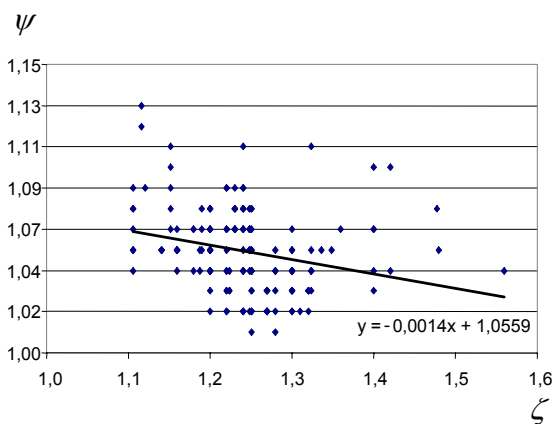
$$\psi_1 = \frac{V_{tm}}{V_{tm0}} = f\left(\frac{X_j}{X_{j0}}\right); \quad (6)$$

čia  $X_{j0}$  – normuotasis difuzijos gylis;  $V_{tm0}$  – atviro tiristoriaus įtampa, esant difuzijos gyliui  $X_{j0}$ .

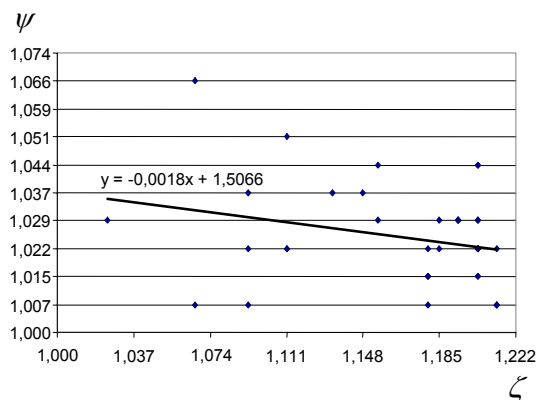
Įvedame normuotąją  $X_j$  vertę:

$$\zeta_1 = \frac{X_j}{X_{j0}}. \quad (7)$$

Mažesnės įtampos tiristoriams galioja sąlyga, kad atviro tiristoriaus įtampa tiesiai proporcinga difuzijos Ga arba GaAl gyliui  $X_j$ . Tada, esant seklesnei difuzijai,  $nI$  sritis lieka storesnė ir  $V_{tm}$  (o kartu ir pramušimo įtampos) padidėja. Ir atvirkščiai, gilesnė difuzija mažina atviro tiristoriaus įtampą. Šias priklausomybes parodo 11 – 12 pav.

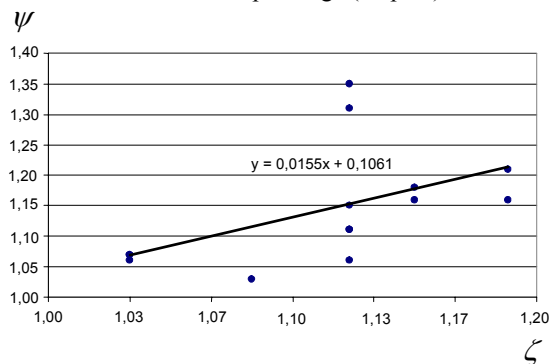


11 pav.  $\psi$  priklausomybė nuo  $\zeta$  silicyje Si 1



12 pav.  $\psi$  priklausomybė nuo  $\zeta$  silicyje Si 2

Si 3 charakteristika visai priešinga (13 pav.)



13 pav.  $\psi$  priklausomybė nuo  $\zeta$  silicyje Si 3

Apskaičiuojame teorinę didžiausią pramušimo įtampą, kurią gali turėti šis silicis. Žinant savitąją varžą, iš eksperimentiškai gautų kreivių galima nustatyti srities  $nI$  (tai yra nelegiruotos plokštelės) priemaišų koncentraciją. Įtampą  $V_{tm}$  galima apskaičiuoti pagal tokią formulę:

$$V_{tm} = 5,34 \cdot 10^{13} (N_{nl})^{-0,75}. \quad (8)$$

## Išvados

1. Nustatyta, kad smėlio srovėje sudaromas pirmasis kampas turi įtakos atgalinei pramušimo įtampai. Ši įtaka ypač ryški, matuojant tiristorius aukštoje temperatūroje. Eksperimentiškai patvirtinta, kad, norint sumažinti elektrinio lauko stiprumą paviršiuje ir padidinti pramušimo įtampą, kampą reikia mažinti.

2. Parinktas antrojo kampo sudarymo kriterijus –  $pn$  sandūros atstumas nuo pirmojo kampo: šlifavimo trukmės pasirinkimas priklauso nuo Ga arba GaAl difuzijos gylio. Nustatyta, kad sudaromas antrasis kampas turi įtakos tiesioginei pramušimo įtampai. Išanalizuotos tiesioginės pramušimo įtampos kitimo tendencijos, keičiant antrojo kampo šlifavimo trukmę. Pateiktos pramušimo įtampų voltamperinės charakteristikos, pamatuotos normaliomis sąlygomis ir aukštoje temperatūroje.

3. Ištirta tiristoriaus paviršiaus ęsdinimo trukmės įtaka pramušimo įtampoms. Nustatyta, kad rūgštis srovės poveikio trukmė didesnė įtaką elektriniams parametrams turi aukštoje temperatūroje. Rūgštis skirtingai veikia pirmąjį ir antrąjį kampą, todėl taikant vieno rūgštis srauto technologiją, neįmanoma gauti vienodų tiesioginės ir atgalinės įtampų. Taip pat nustatyta, kad atgalinę pramušimo įtampą galima padidinti, padidinus pirmojo kampo ęsdinimo trukmę.

4. Statistiškai apdorojus matavimų rezultatus, gauta atviro tiristoriaus įtampos  $V_{tm}$  priklausomybė nuo trijų skirtingų tipų silicio difuzijos gylio.

## Literatūra

1. **Зи С.** Физика полупроводниковых приборов: В 2–х книгах. Кн. 1: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 456 с.
2. **Vasile V. N., Obreja, Cecilia Podaru.** Reduced Time High Temperature Processing for Thyristor Silicon Wafers // 9<sup>th</sup> Int. Conference on Advanced Thermal Processing of Semiconductors – RTP. – 2001. – P. 265 – 269.
3. **Kim A. D., Zhang C. L., Kim. S. C. and others.** Design of High – Power Reverse – Conducting Gate – Commutated Thyristors // Proc. 23rd International Conference on Microelectronics. – 2002. – Vol. 1, No. 3. – P. 147 – 150.

**A. Marcinkevičius, E. Višniakov, V. Jasonis. Apvalių tiristorių elektrinių parametrų tyrimas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2005. – Nr. 2(58). – P. 37–42.**

Nagrinėjamos apvalių tiristorių tiesioginių ir atgalinių įtampų priklausomybės nuo kraštinių kampų dydžio ir difuzinių sandūrų gylio. Gauti eksperimentinio tyrimo rezultatai patvirtina, kad smėlio srovėje sudaromas pirmasis kampas daugiau įtakos atgalinei tiristoriaus pramušimo įtampai turi aukštoje temperatūroje. Eksperimentiškai patvirtinta, kad, norint sumažinti elektrinio lauko stiprį darinio paviršiuje ir padidinti pramušimo įtampą, reikia mažinti pirmąjį kampą. Parinktas antrojo kampo sudarymo kriterijus – *pn* sandūros atstumas nuo pirmojo kampo. Šlifavimo trukmės pasirinkimas priklauso nuo Ga arba GaAl difuzijos gylio. Nustatyta, kad sudaromas antrasis kampas turi įtakos tiesioginei pramušimo įtampai. Išanalizuotos tiesioginės pramušimo įtampos kitimo tendencijos, keičiant antrojo kampo šlifavimo trukmę. Pateiktos voltamperinės charakteristikos, pamatuotos normaliomis sąlygomis ir aukštoje temperatūroje. Ištirta tiristoriaus paviršiaus ėsdinimo trukmės įtaka pramušimo įtampoms. Nustatyta, kad rūgšties srovės poveikio trukmė didesnę įtaką turi elektriniams parametrams, matuojant aukštoje temperatūroje. Pažymėtina, kad atgalinę pramušimo įtampą galima padidinti, padidinus pirmojo kampo ėsdinimo trukmę. Ištirta atvirojo tiristoriaus įtampos priklausomybė nuo galio difuzijos *pn* sandūros gylio. Il. 13, bibl. 3 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

**A. Marcinkevičius, E. Višniakov, V. Jasonis. Investigation of Electric Parameters of Round Thyristors // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2005. – No. 2(58). – P. 37–42.**

Dependences of forward and backward voltages of round thyristors on the size of boundary angles and the depth of diffusion junctions are considered. The obtained experimental investigation results confirm that the first angle formed in the sandblasting has more influence on the thyristor backward breakdown voltage at high temperature. It is experimentally confirmed that in order to obtain the lower electric field strength on the structure surface and a high breakdown voltage, the first angle should be decreased. The criterion of the second angle formation – the *pn* junction distance from the first angle – is chosen. The choice of the grinding time depends on the Ga or GaAl diffusion depth. It is determined that the formed second angle has influence on the forward breakdown voltage. The tendencies of the breakdown voltage variation by changing the grinding time of the second angle have been analyzed. The volt-ampere characteristics of breakdown voltages measured under normal conditions and at high temperature are presented. The influence of etching time of the thyristor surface on the breakdown voltage has been investigated. It is determined that the etching time has a larger influence on electric parameters during measurements at high temperature. It should be noted that the backward breakdown voltage can be improved by increasing the etching time of the first angle. The dependence of voltage on the open thyristor on the depth of the gallium diffusion *pn* junction has been investigated. Ill. 13, bibl. 3 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English and Russian).

**A. Марцинкявичюс, Е. Вишняков, В. Ясонис. Исследование электрических параметров круглых тиристоров // Электроника и электротехника. – – Каунас: Технология, 2005. – № 2(58). – С. 37–42.**

Рассматриваются зависимости прямых и обратных напряжений тиристоров от геометрии углов и глубины диффузированных переходов. Экспериментальные зависимости показывают, что первый угол в основном влияет на обратное напряжение тиристора с целью нарушения максимального пробивного напряжения, необходимо уменьшить первый угол тиристора. Выбор длительности шлифовки поверхности тиристора зависит от глубины залегания диффузного перехода Ga или GaAl. Установлено влияние второго угла на прямое пробивное напряжение тиристора. Исследованы тенденции изменения прямого пробивного напряжения от времени шлифовки второго угла тиристора. Представлены вольтамперные характеристики пробивного напряжения, измеренные при нормальной и повышенной температурах окружающей среды. Исследовано влияние времени травления поверхности тиристора на пробивное напряжение. Установлено, что время травления поверхности тиристора в основном влияет на электрические параметры при высокой температуре. Обратное пробивное напряжение можно увеличить увеличением времени травления первого угла. Исследовано зависимость напряжения на открытом тиристоре от глубины залегания *pn* перехода диффузии галлия. Ил. 13, библи. 3 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).