

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
Eiropas Reģionālās
attīstības fonds

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

Pētījums „Augstas pretestības plāno rezistīvo slāņu pēcapstrādes procesu izzināšana”

„Latvijas elektrisko un optisko iekārtu
ražošanas nozares kompetences
centrs”

Pārskata periods
01.06.2016 - 30.11.2018

AKTIVITĀTE №1

Pētījuma uzdevumi

- Rezistīvā materiāla kārtiņas uzputināšana uz divu veidu plāksnēm: pirmā (testa) turpmāk tiek izmantota rezistīvās kārtiņas parametru mērīšanai, otrā (darba) turpmāk tiek izmantota rezistoru parametru mērīšanai.
- Rezistoru izgatavošana uz otrās plākšņu grupas
- Iegūto rezistīvo kārtiņu un iegūto rezistoru parametru mērīšana
- Iegūto rezultātu novērtēšana

Rezistīvā materiāla īpašību izpēte

Pirmā pētījuma gaitā tiks novērtēti 4 dažādi materiāli:

Sakausējuma Nr.1. sastāvs:

- Titāns (Ti) – 23÷26 % no masas,
- Kobalts (Co) – 9÷13 % no masas,
- Silīcijs (Si) – 61÷68 % no masas.

Sakausējuma Nr.2. sastāvs:

- Hroms (Cr) – 22.8÷25,2 % no masas,
- Alumosilikāta stikls – 48÷52 % no masas,
- Silīcijs (Si) – pārējais.

Rezistīvā materiāla īpašību izpēte

Pirmā pētījuma gaitā tiks novērtēti 4 dažādi materiāli:

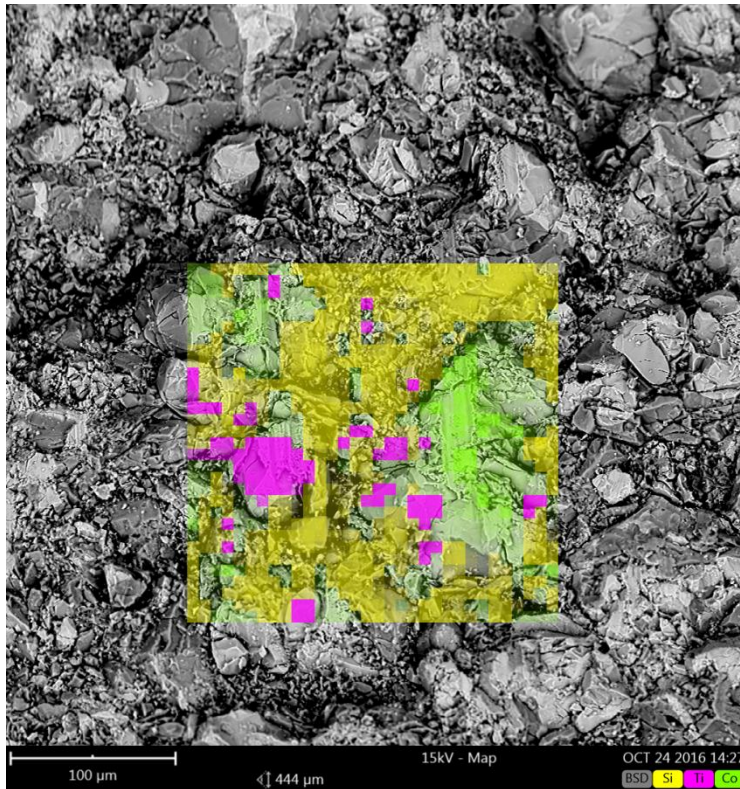
Sakausējuma Nr.3. sastāvs:

- Niķelis (Ni) – 24 % masas,
- Hroms (Cr) – 6 % masas,
- Silīcijs (Si) – 70 % masas.

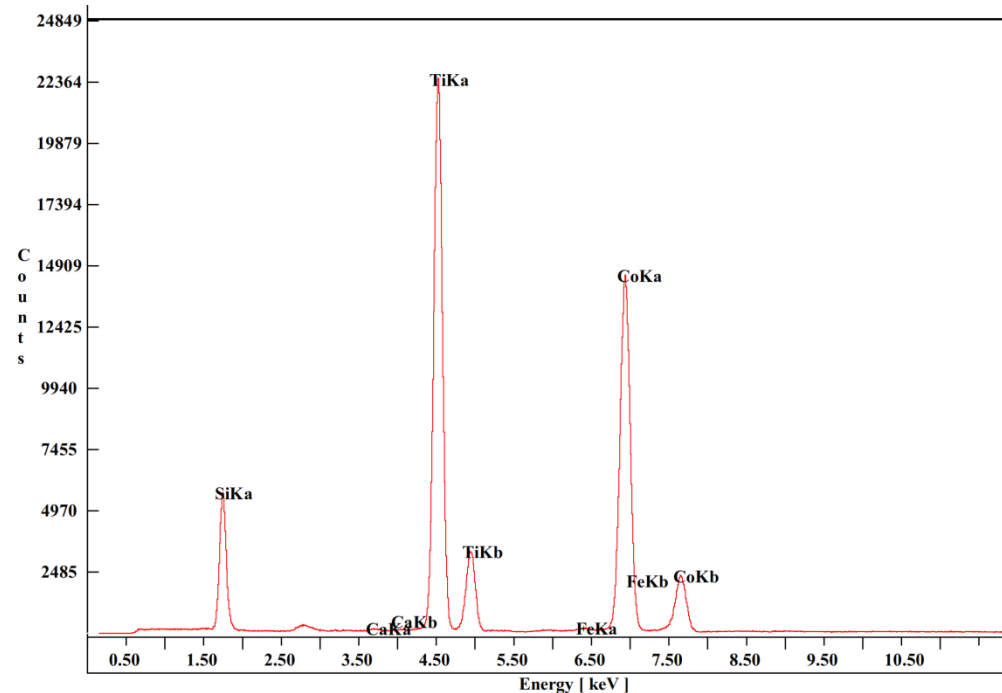
Sakausējuma Nr.4. sastāvs:

- Hroms (Cr) – 32.3÷34.9 % masas,
- Alumosilikāta stikls – 28÷32 % masas,
- Silīcijs (Si) – pārējais.

Rezistīvā materiāla īpašību izpēte

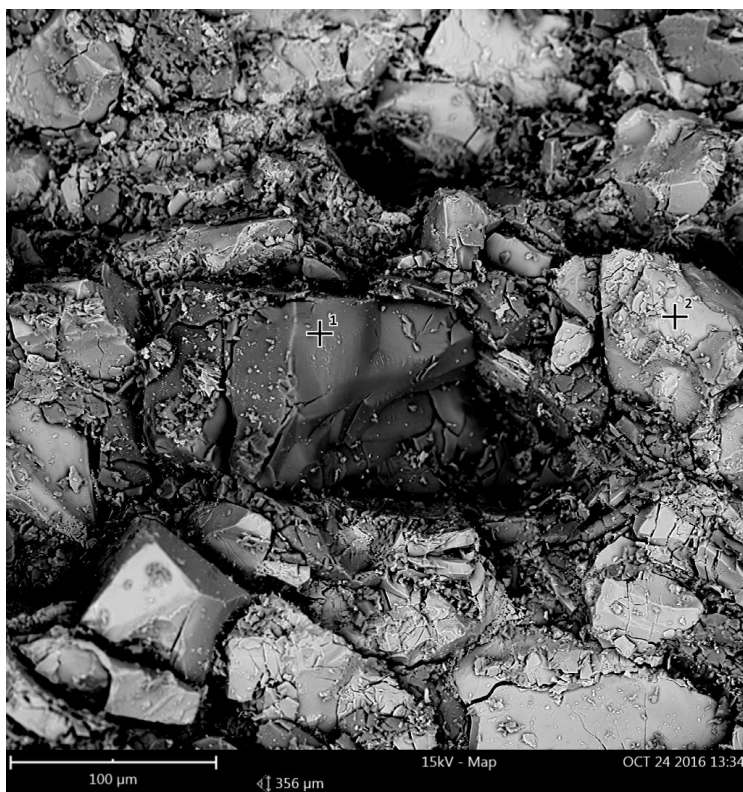


Sakausējuma №1 fotogrāfijas fragments ar elektronisko mikroskopu

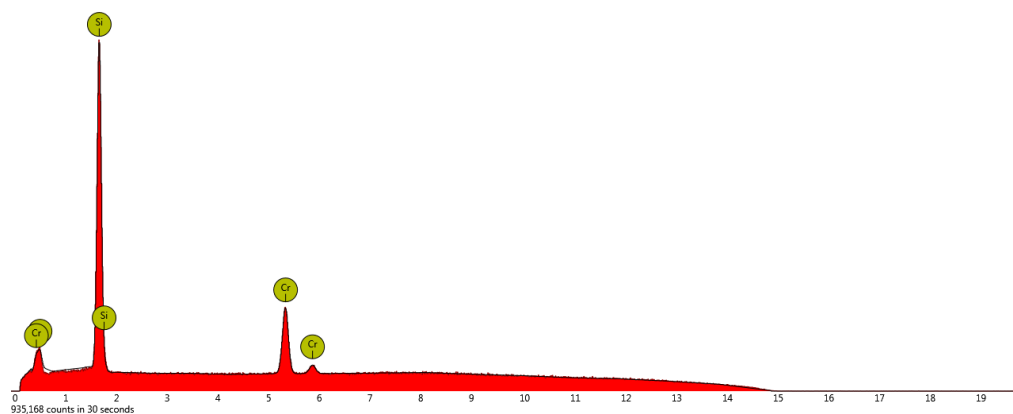
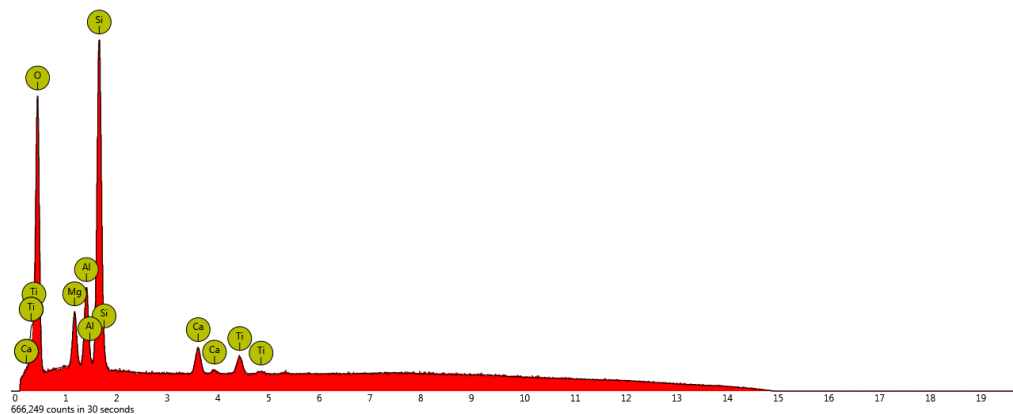


Sakausējuma №1 spektrogramma, kas iegūta ar spektroskopu.

Rezistīvā materiāla īpašību izpēte

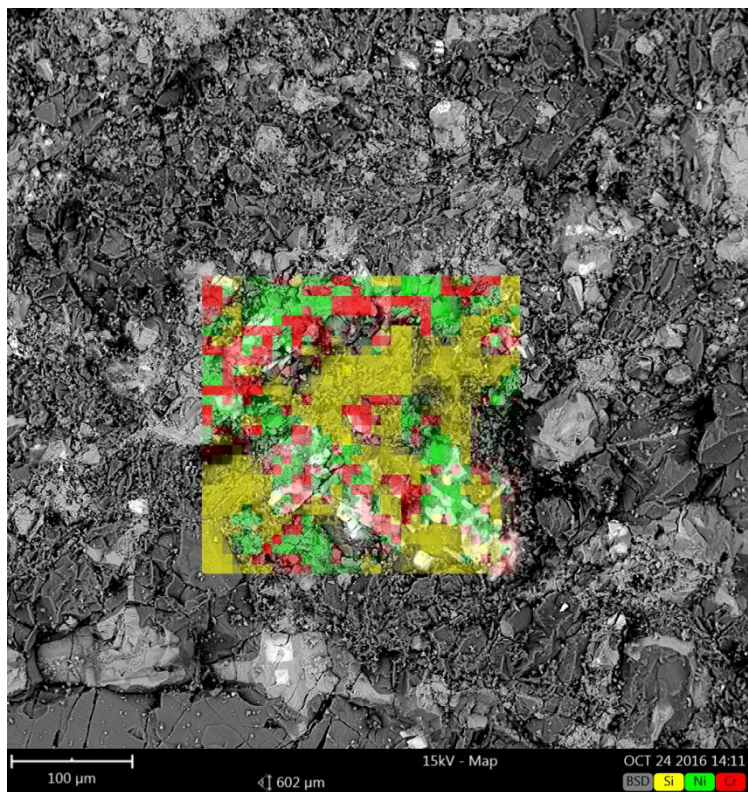


Sakausējuma №2 fotogrāfijas fragments ar elektronisko mikroskopu

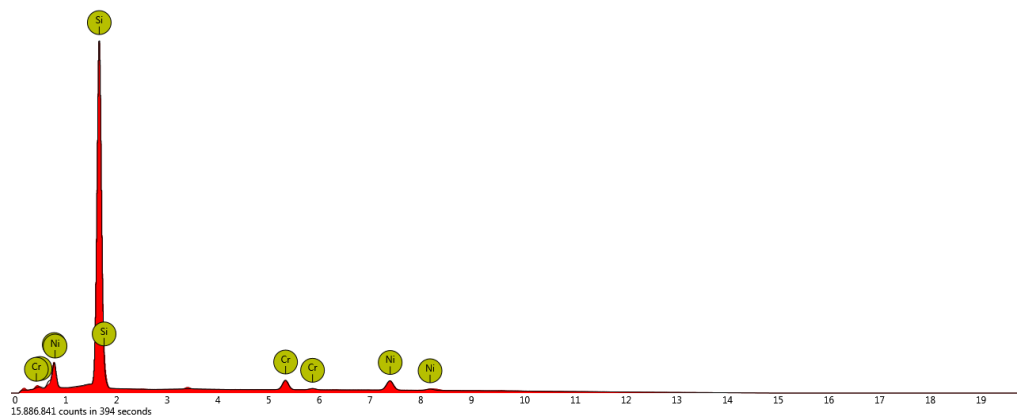


Sakausējuma №2 spektrogramma, kas iegūta ar elektronisko mikroskopu.

Rezistīvā materiāla īpašību izpēte



Sakausējuma №2 fotogrāfijas fragments ar elektronisko mikroskopu

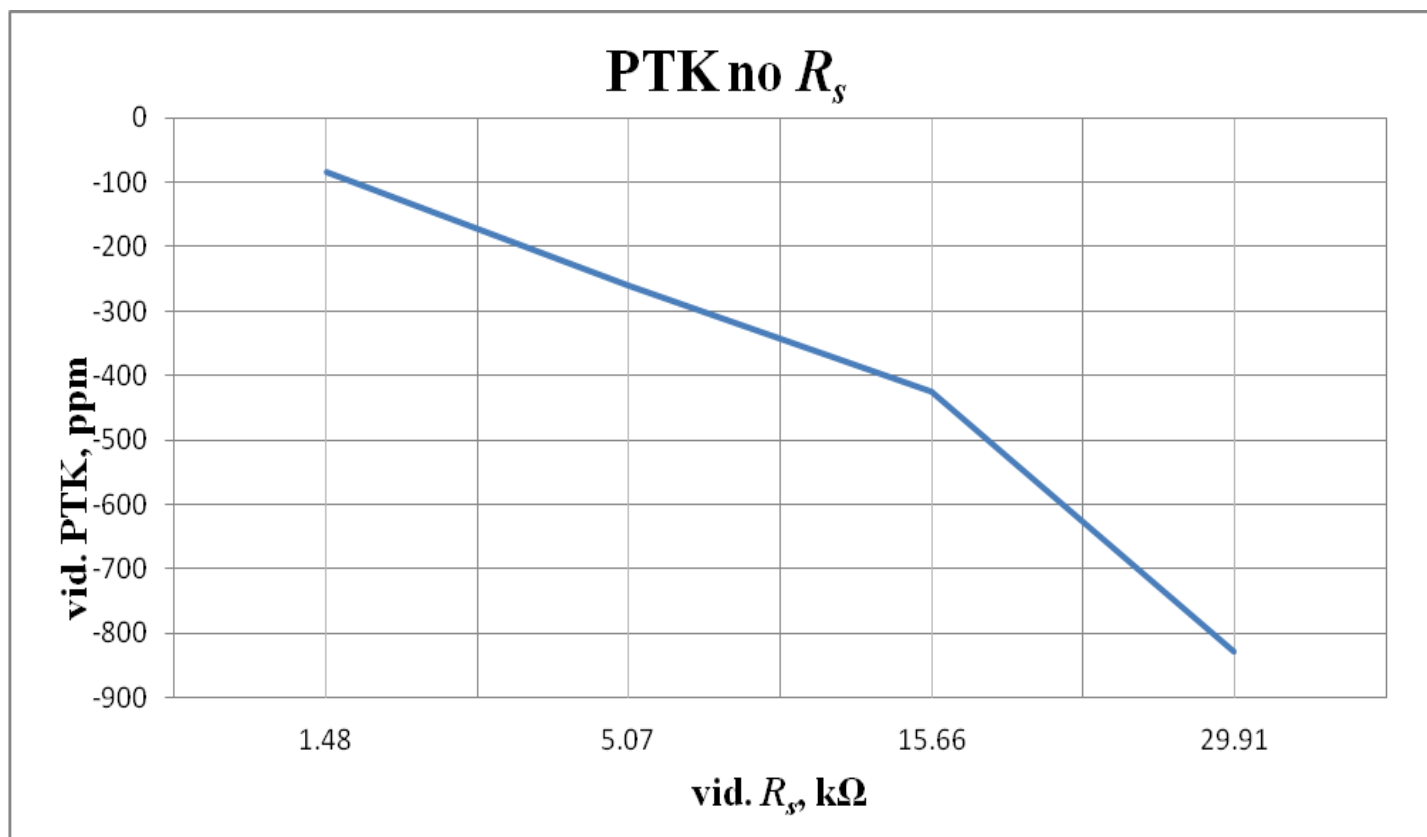


Sakausējuma №3 spektrogramma, kas iegūta ar elektronisko mikroskopu.

Rezistīvā materiāla īpašību izpēte

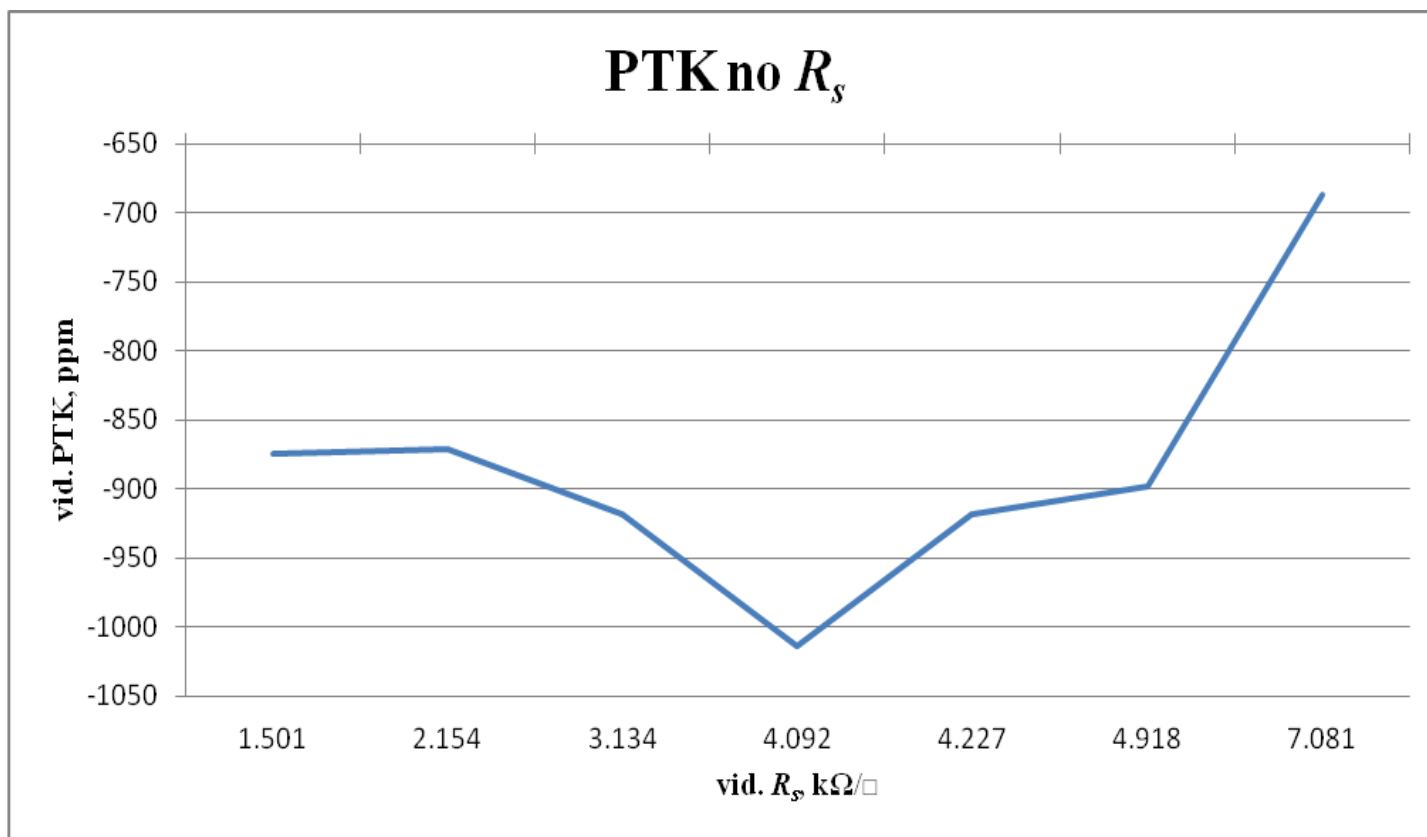
Sakausējumi Nr.2, Nr.3 un Nr.4 uzrādīja tehnisko iespējamību izveidot rezistīvās kārtiņas $5 \text{ k}\Omega/\square$ diapazonā. Tomēr katram no tiem novērotas būtiskas kvalitātes atšķirības vienam no otra.

Rezistīvā materiāla īpašību izpēte



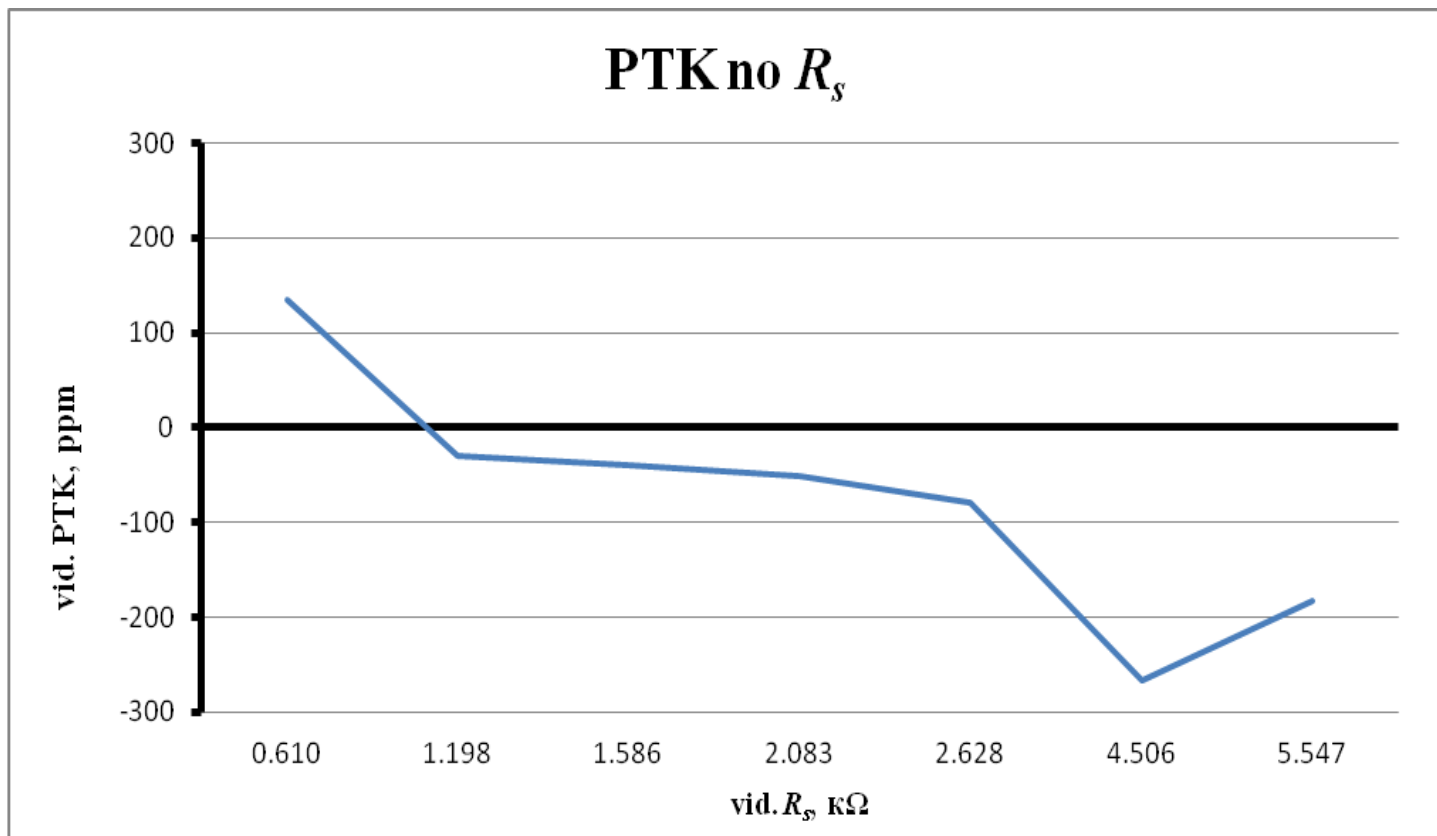
PTK atkarība no R_s vērtībām, sakausējums №2

Rezistīvā materiāla īpašību izpēte



PTK atkarība no R_s vērtībām, sakausējums №3

Rezistīvā materiāla īpašību izpēte



PTK atkarība no R_s vērtībām, sakausējums №4

Rezistīvā materiāla īpašību izpēte

Visi pirmajā pētījuma etapā izvērtētie sakausējumi neatbilst pilnā mērā izvirzītajām prasībām, izmantojot rezistīvo slāņu izveides un apstrādes standarta metodes. Lai sasniegtu uzdotās prasības no vienas puses nepieciešama daudz precīzāka tehnoloģiskā procesa ieregulēšana, no otras puses nepieciešams ieviest jaunus tehnoloģiskos procesus, kas ļautu izmainīt rezistīvās slāņa sastāvu tā izveides procesā.

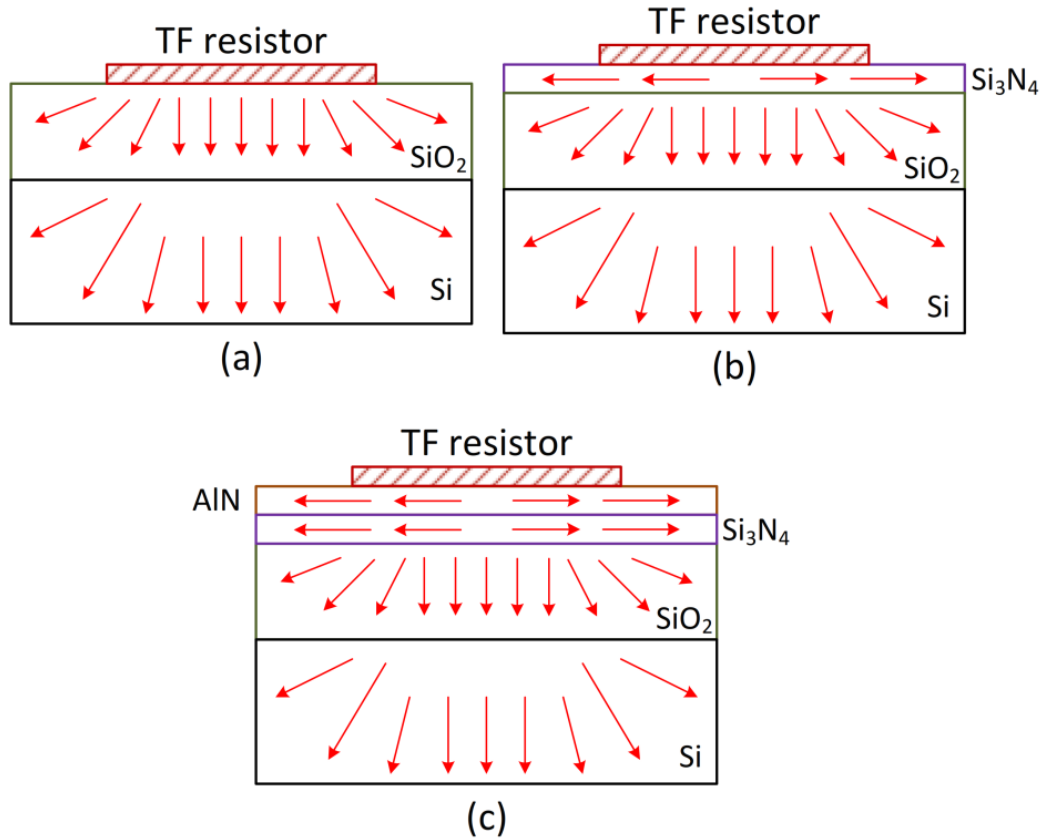
Balstoties uz pētījuma rezultātiem, var secināt, ka visi trīs apskatītie sakausējumi ir perspektīvi un veiktais pētījums un iegūtās zināšanas kalpo kā pamatojums nākamās pētījuma aktivitātes veikšanai.

AKTIVITĀTE №2

Pētījuma uzdevumi

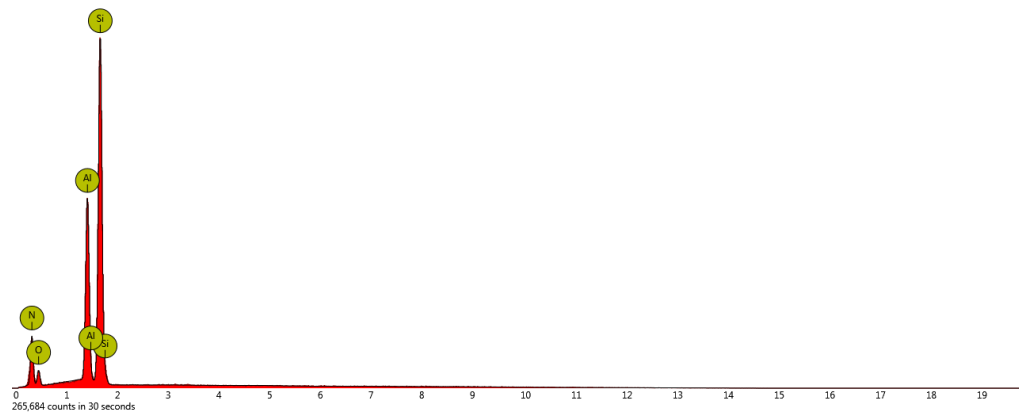
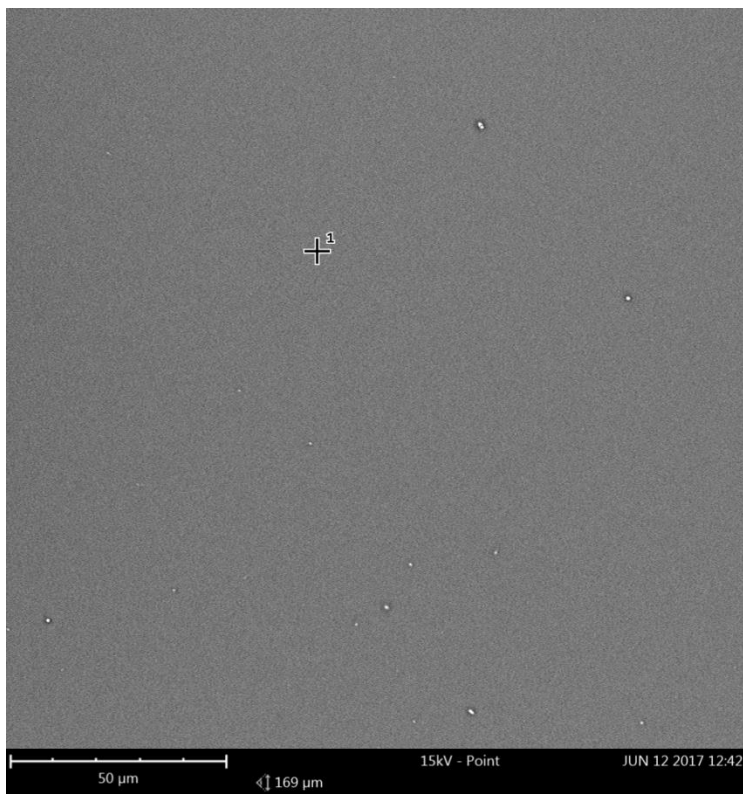
- Kritiski izvērtēt magnetrona uzputināšanas metodi un pieejamo aprīkojumu un iegūt zināšanas tās pilnveidošanai. Tai skaitā:
 - Izvērtēt iespējas ieviest kriogēnās sūkņēšanas sistēmu eļļu garaiņu novēršanai sistēmā;
 - Pamatot magnetrona magnētiskā lauka izkliedi un veikt tās korigēšanu, lai nodrošinātu vienmērību;
- Iegūt zināšanas par plāno kārtiņu rezistoru starpslāņu izveidi;
- Iegūt zināšanas par starpslāņu pēcapstrādes režīmu ietekmi uz plāno kārtiņu rezistoriem.

Pētījuma uzdevumi



Siltuma izkliede starpslāņos

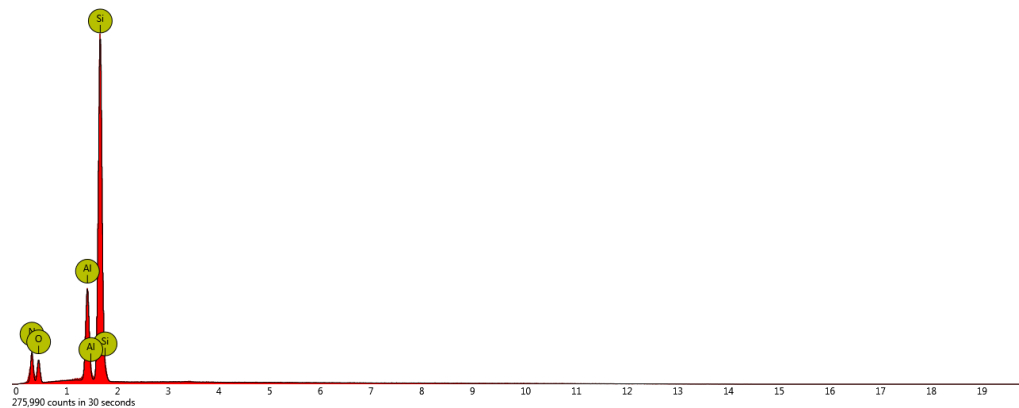
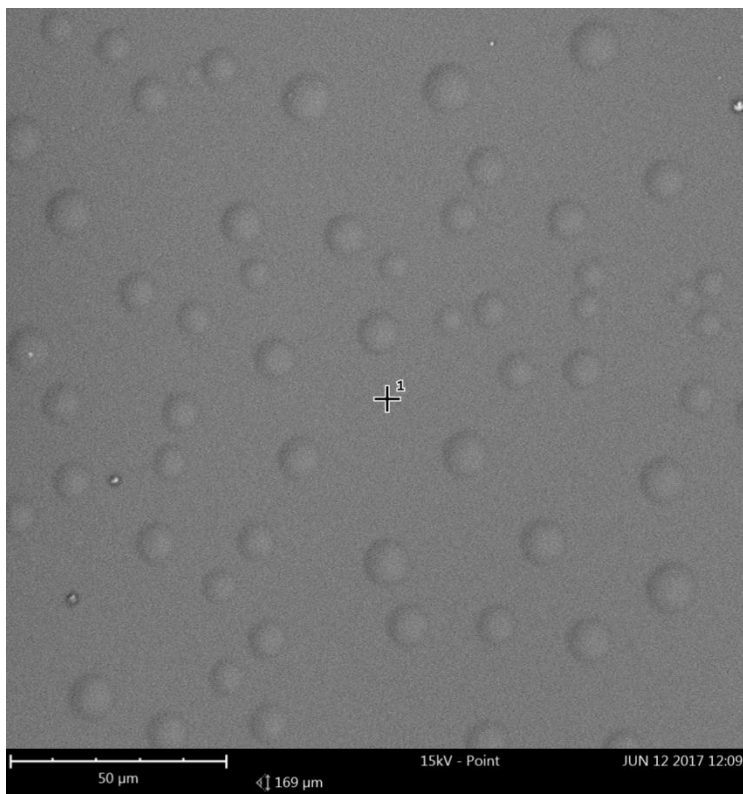
Plāno kārtiņu rezistoru starpslāņu izpēte



Parauga (bez rūdīšanas) spektrs, kas iegūts ar elektronisko mikroskopu

Parauga (bez rūdīšanas) fotogrāfija ar elektronisko mikroskopu

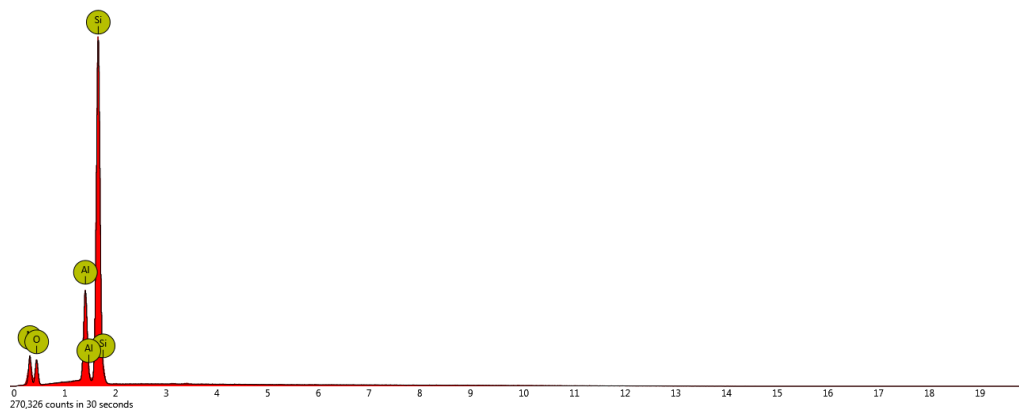
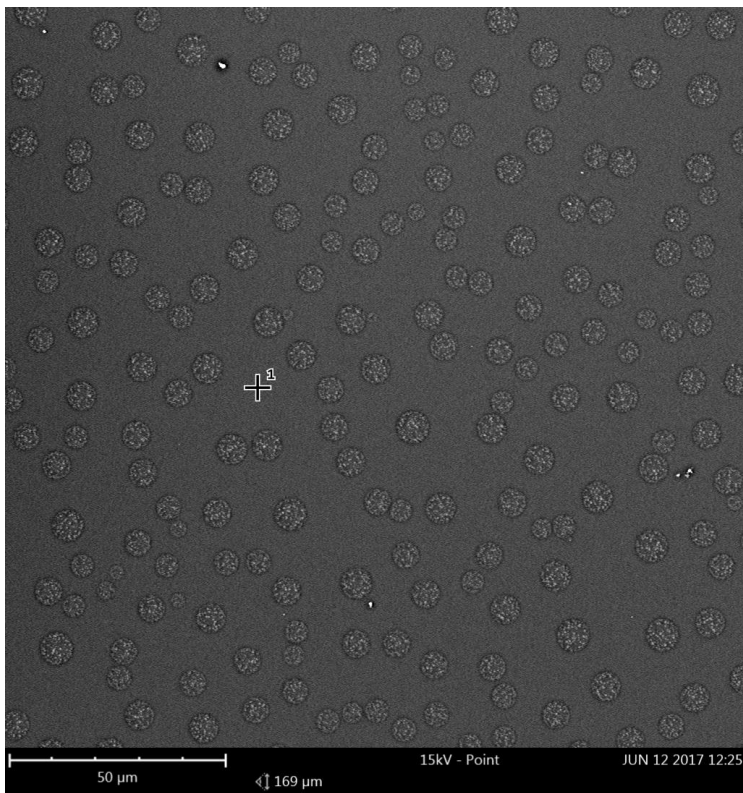
Plāno kārtiņu rezistoru starpslāņu izpēte



Parauga (rūdišana pie 600 °C) spektrs, kas iegūts ar elektronisko mikroskopu

Parauga (rūdišana pie 600 °C) fotogrāfija ar elektronisko mikroskopu

Plāno kārtiņu rezistoru starpslāņu izpēte



Parauga (rūdišana pie 900 °C) spektrs, kas iegūts ar elektronisko mikroskopu

Parauga (rūdišana pie 900 °C) fotogrāfija ar elektronisko mikroskopu

Plāno kārtiņu rezistoru starpslāņu izpēte. Secinājumi.

- Novērtēšanas metode ar nolasošo mikroskopu nav pilnībā apmierinoša, jo vienlaikus ar interesējošā slāņa pētīšanu tiek novēroti arī īpašības un izmaiņas citos slāņos (šajā gadījumā Si un SiO₂).

Plāno kārtiņu rezistoru starpslāņu izpēte. Secinājumi.

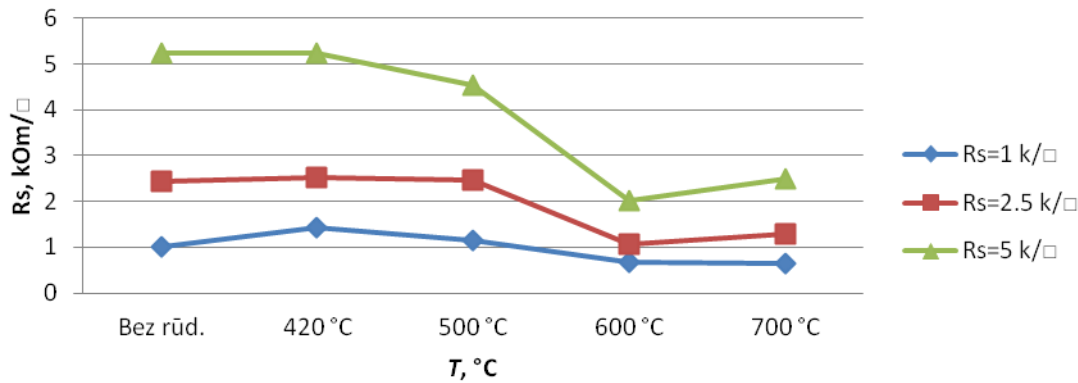
- Uz plānās kārtiņas virsmas pie paaugstinātas temperatūras parādījās apaļi veidojumi. Tiek izvirzīts pieņēmums, ka pie paaugstinātas temperatūras turpinās silīcija un alumīnija sasaistīšanās process. Tas tiek apstiprināts, samazinot alumīnija koncentrāciju, jo pie temperatūras, kas augstāka par 420°C, alumīnijs aktīvi izšķīdina silīciju un pārvietojas savienojuma dziļumā, tādējādi novirzoties no mikroskopa novērojumu zonas.

Novērtējums par pēcapstrādes režīmu ietekmi uz rezistīvajiem slāņiem.

- Saskaņā ar iepriekš aprakstīto tehnoloģisko procesu tika izveidotas plašu partijas ar uzputinātiem rezistīvajiem slāņiem
 - Si-SiO₂-Si₃N₄ (starplika Nr.1),
 - Si-SiO₂-Si₃N₄-AlN (starplika Nr.2).
- Daļai paraugu tika veikta termoapstrāde ar aprīkojumu *AccuThermo AW610 RTP* pie uzstādītajām temperatūrām: 420⁰C, 500⁰C, 600⁰C, 700⁰C.

Novērtējums par pēcapstrādes režīmu ietekmi uz rezistīvajiem slāņiem.

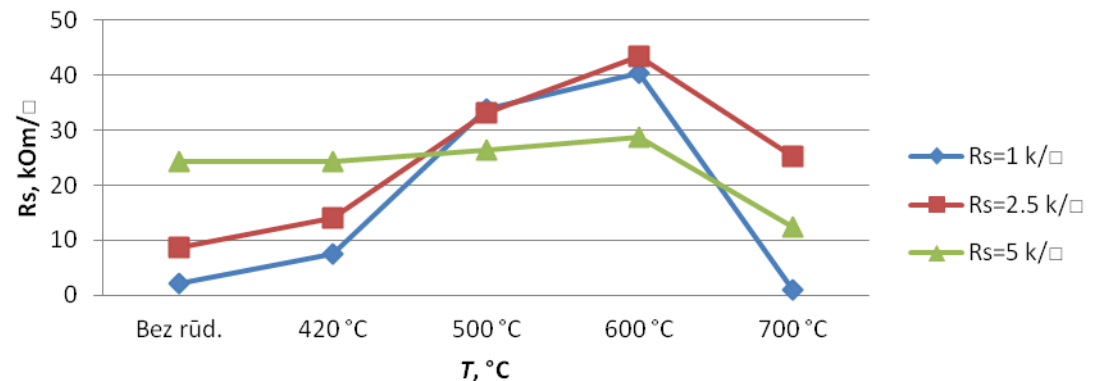
R_s vērtību izmaiņas pēc ātrās rūdišanas paraugiem uz starplikas Nr.1, mērķis Nr.3



Mērķis Nr.3

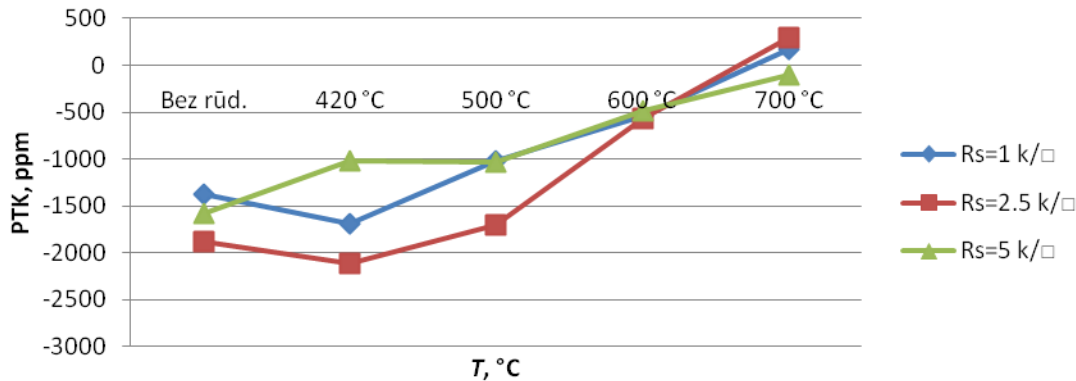
R_s vērtību izmaiņu grafiki atkarībā no rūdišanas temperatūras

R_s vērtību izmaiņas pēc ātrās rūdišanas paraugiem uz starplikas Nr.2, mērķis Nr.3



Novērtējums par pēcapstrādes režīmu ietekmi uz rezistīvajiem slāņiem.

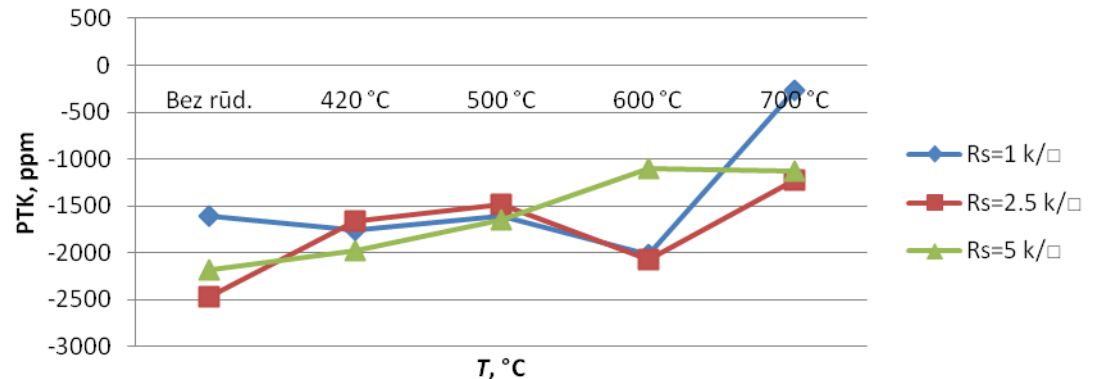
PTK izmaiņas pēc ātrās rūdišanas paraugiem uz starplikas Nr.1, mērķis Nr.3



Mērķis Nr.3

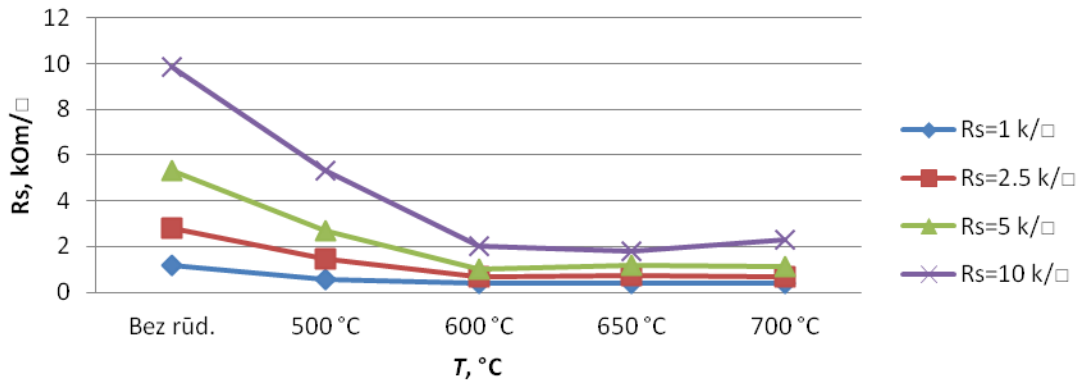
PTK vērtību izmaiņu grafiki atkarībā no rūdišanas temperatūras

PTK izmaiņas pēc ātrās rūdišanas paraugiem uz starplikas Nr.2, mērķis Nr.3



Novērtējums par pēcapstrādes režīmu ietekmi uz rezistīvajiem slāņiem.

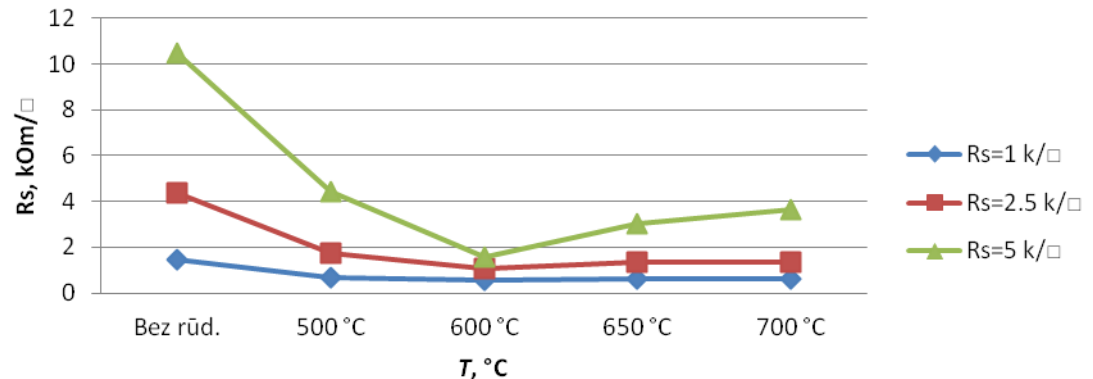
R_s vērtību izmaiņas pēc ātrās rūdišanas paraugiem uz starplikas Nr.1, mērķis Nr.4



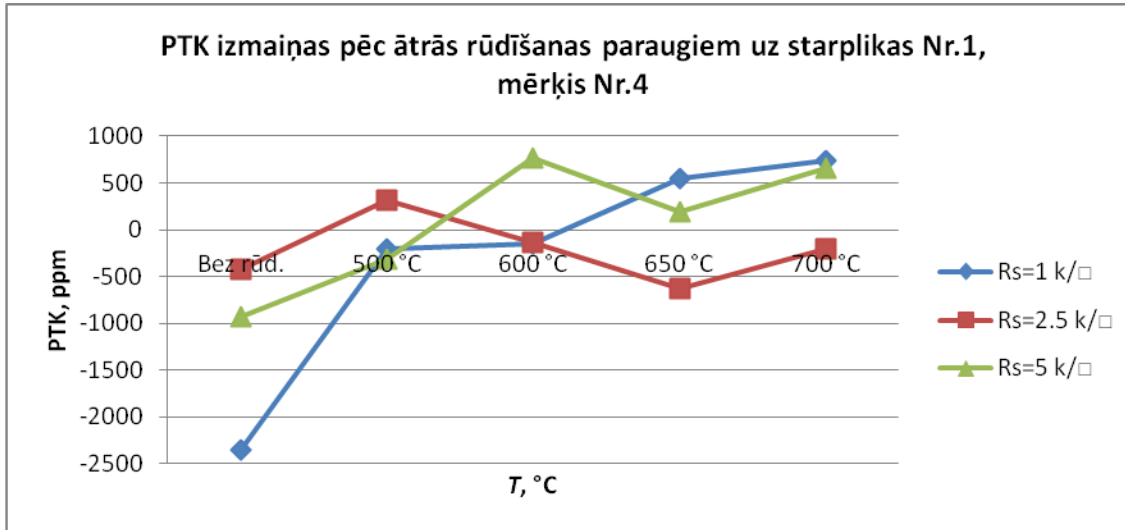
Mērķis Nr.4

R_s vērtību izmaiņu grafiki atkarībā no rūdišanas temperatūras

R_s vērtību izmaiņas pēc ātrās rūdišanas paraugiem uz starplikas Nr.2, mērķis Nr.4

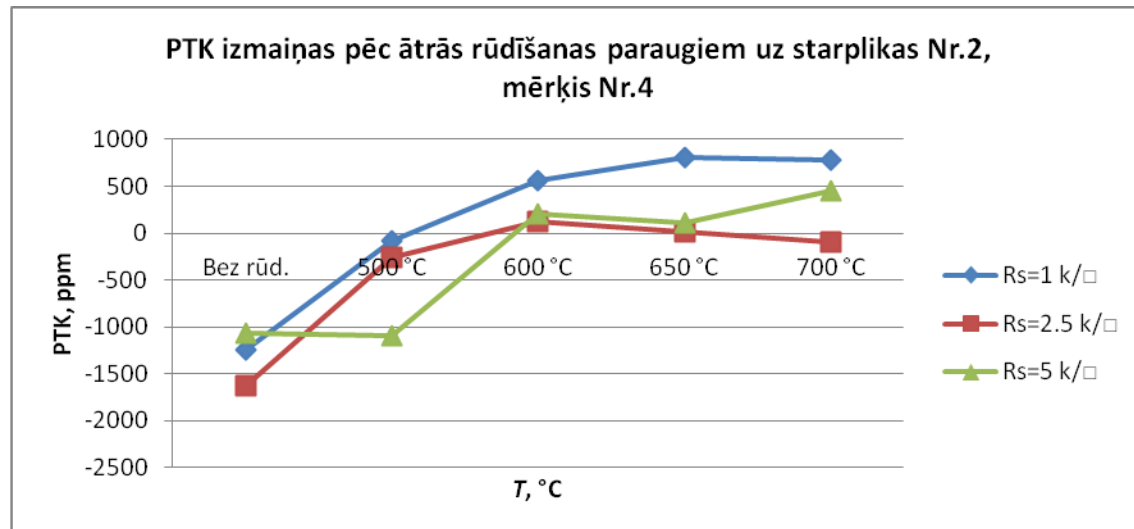


Novērtējums par pēcapstrādes režīmu ietekmi uz rezistīvajiem slāņiem.



Mērķis Nr.4

PTK vērtību izmaiņu grafiki atkarībā no rūdišanas temperatūras



Novērtējums par pēcapstrādes režīmu ietekmi uz rezistīvajiem slāņiem.

Pētījuma ietvaros veikto kārtiņu mērījumu rezultātā noskaidrots, ka:

- Materiāla tips Nr.4. uz abu veidu starplikām ātri zaudē rezistivitāti, turklāt PTK tuvojas nullei pie apstrādes temperatūras 600-650⁰C;
- Materiāla tips Nr.3 pie temperatūras līdz 420⁰C ar otrā veida starplikām tik ātri nezaudē rezistivitāti, turklāt izmaiņām ir gadījuma “kupra” raksturs. Tomēr vislabāko termostabilitāti tas sasniedz pie pēcapstrādes temperatūras 650-700⁰C

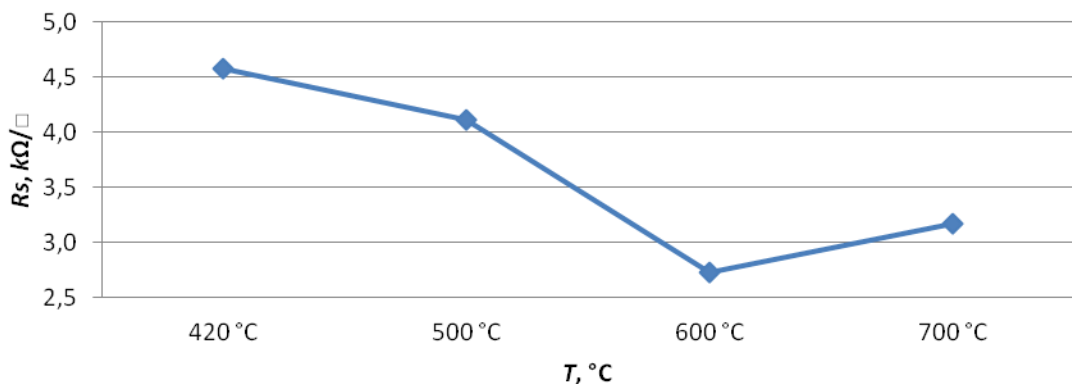
Novērtējums par pēcapstrādes režīmu ietekmi uz testa struktūrām.

Tika izgatavota testa rezistīvo struktūru partija ar uzputinātiem rezistīvajiem slāņiem ar mērķiem Nr.3 un Nr.4 ($R_s = 5k\Omega/\square$) un uz silīcija nitrīda starplikas un alumīnija nitrīda starplikas (nerūdītas).

Tika veikts ātrās rūdīšanas process pie temperatūrām: 420°C, 500°C, 600°C, 700°C. Tad kontaktu izveidošanai tika uzklāts alumīnijs un aizsardzība. Alumīnijs tika rūdīts 20 minūtes 450°C temperatūrā, pēc tam tika veikta termoapstrāde 300°C temperatūrā.

Novērtējums par pēcapstrādes režīmu ietekmi uz testa struktūrām.

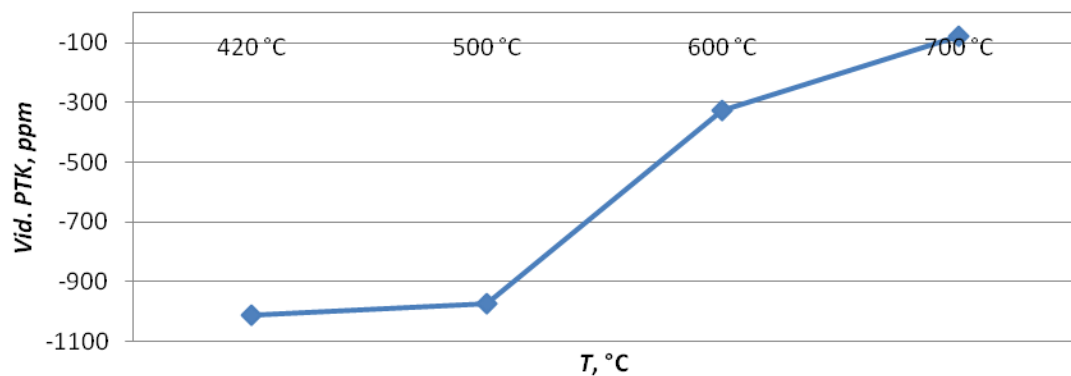
R_s vērtību izmaiņas pēc ātrās rūdišanas paraugiem uz starplikas Nr.1, mērķis Nr.3



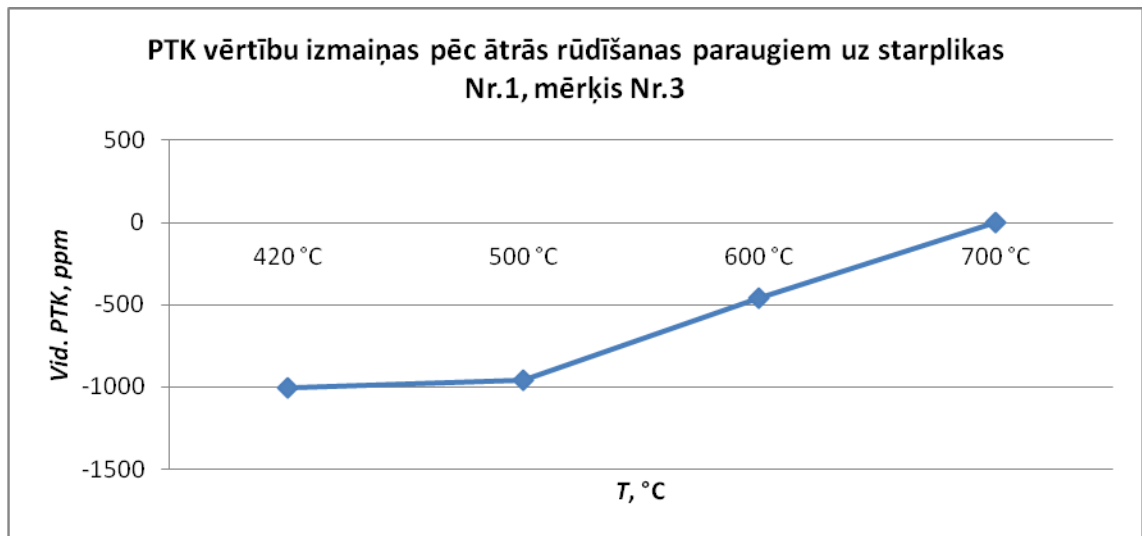
Mērķis Nr.3

Testa rezistīvo struktūru R_s vērtību izmaiņu grafiki atkarībā no rūdišanas temperatūras

PTK vērtību izmaiņas pēc ātrās rūdišanas paraugiem uz starplikas Nr.2, mērķis Nr.3

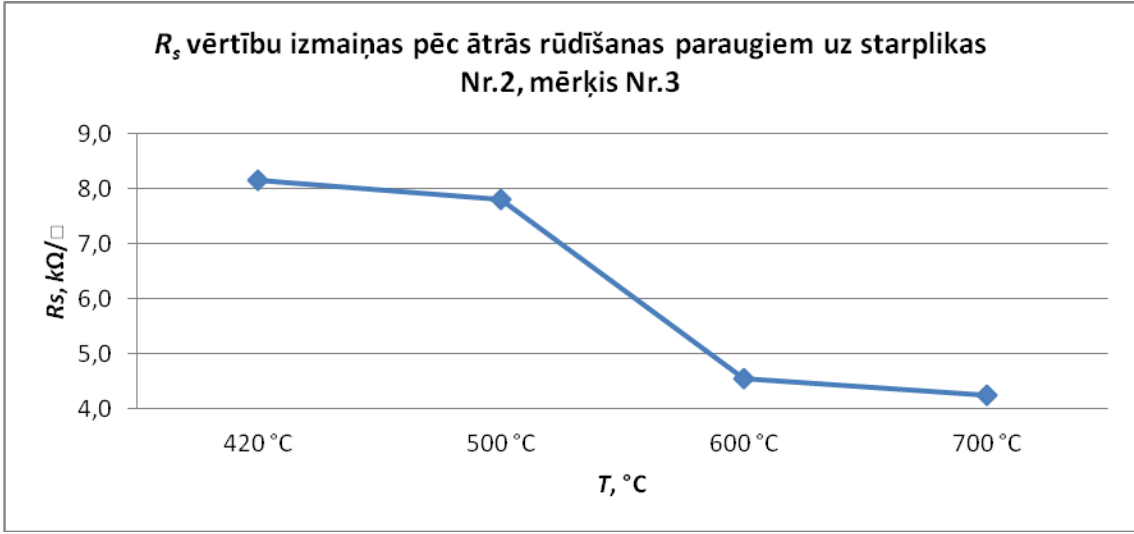


Novērtējums par pēcapstrādes režīmu ietekmi uz testa struktūrām.

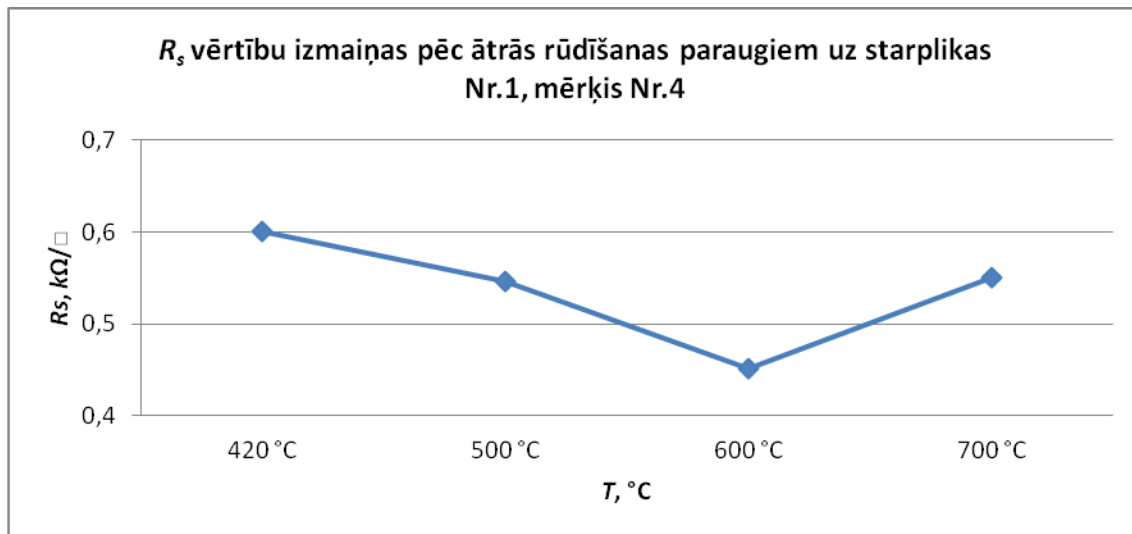


Mērķis Nr.3

Testa rezistīvo struktūru **PTK** vērtību izmaiņu grafiki atkarībā no rūdišanas temperatūras

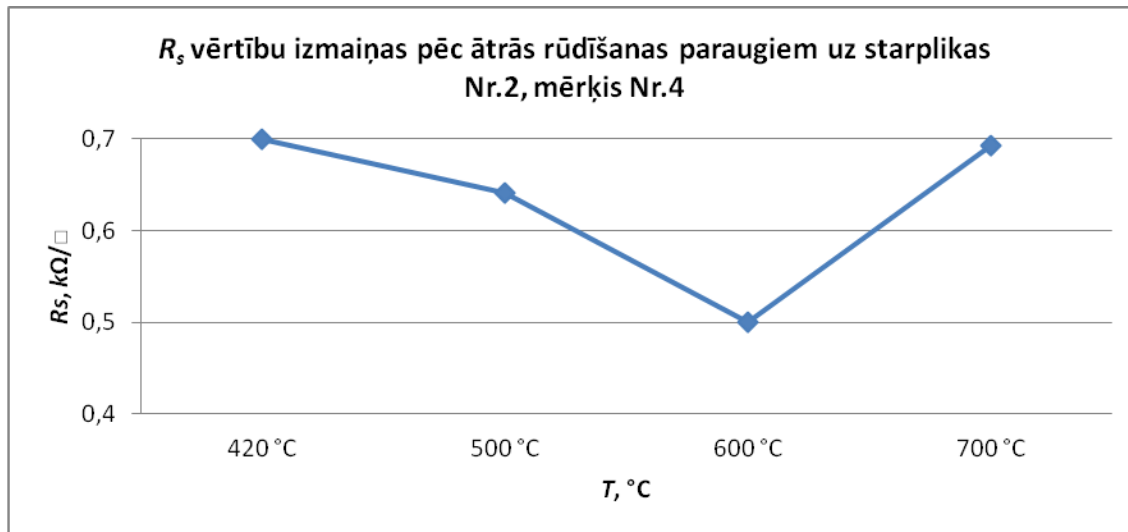


Novērtējums par pēcapstrādes režīmu ietekmi uz rezistīvajiem slāņiem.

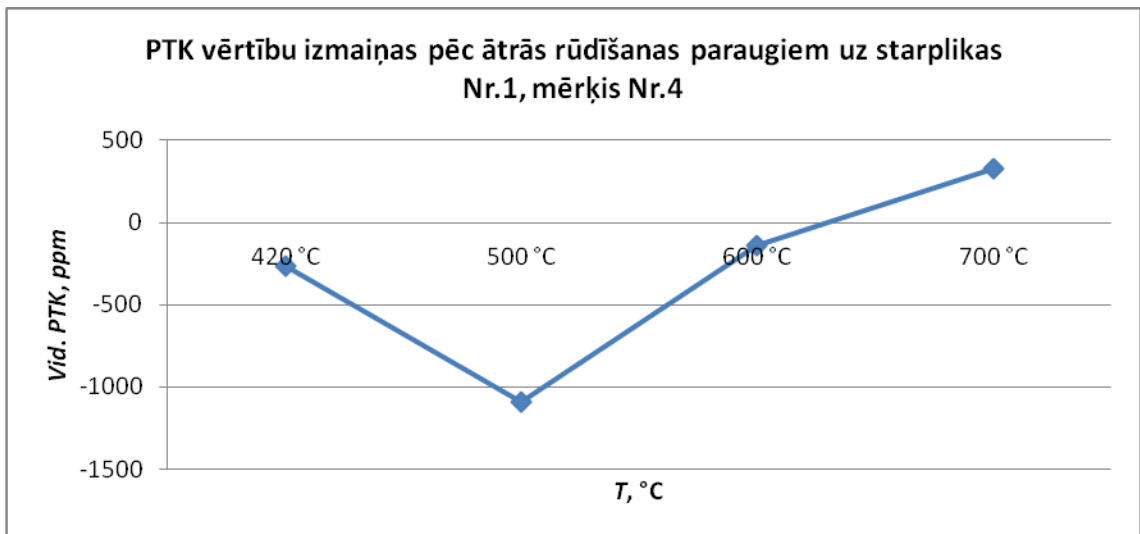


Mērķis Nr.4

Testa rezistīvo struktūru R_s vērtību izmaiņu grafiki atkarībā no rūdišanas temperatūras

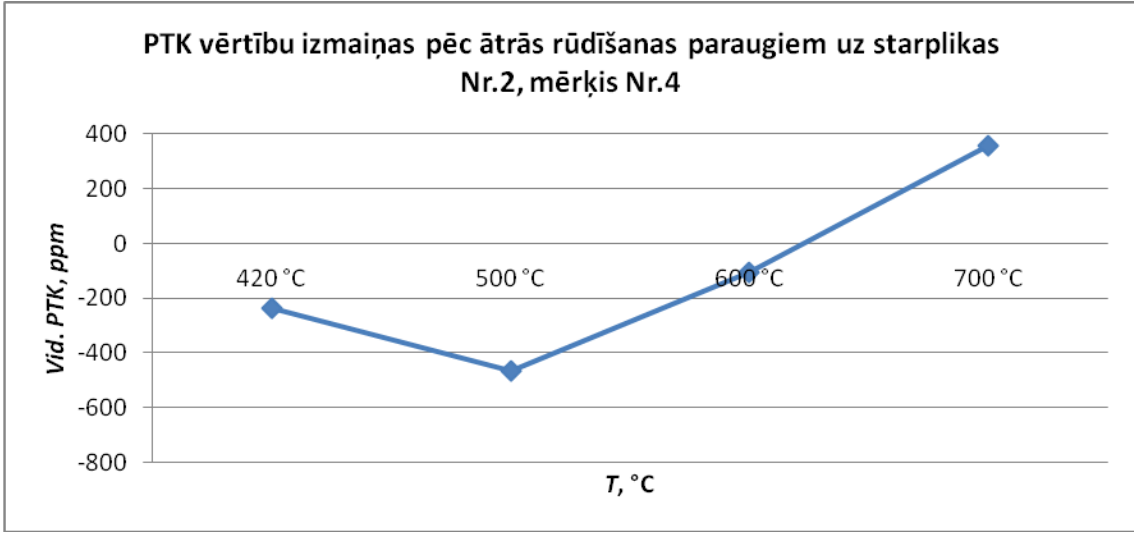


Novērtējums par pēcapstrādes režīmu ietekmi uz rezistīvajiem slāņiem.



Mērķis Nr.4

Testa rezistīvo struktūru **PTK** vērtību izmaiņu grafiki atkarībā no rūdišanas temperatūras



Novērtējums par pēcapstrādes režīmu ietekmi uz rezistīvajiem slāņiem.

Secinājumi par mērķi №3:

- starplikai Si-SiO₂-Si₃N₄ pie pieaugošas temperatūras samazinās PTK, zemākā PTK vērtība novērojama pie rūdīšanas temperatūras 700°C. Savukārt R_s pie temperatūras 700°C ir samazinājies 1,5 reizes. Optimālā ātrās rūdīšanas temperatūra ir 675°C .

Novērtējums par pēcapstrādes režīmu ietekmi uz rezistīvajiem slāņiem.

Secinājumi par mērķi №3:

- starplikai Si-SiO₂-Si₃N₄-AlN pie zemas rūdīšanas temperatūras R_s ir paaugstināts, bet pie augstākām temperatūrām R_s atgriežas pie nominālās vērtības. Zemākā PTK vērtība novērojama pie rūdīšanas temperatūras 700°C, līdz ar to sagaidāms, ka PTK būs 0 pie temperatūras (750–800)°C.

Novērtējums par pēcapstrādes režīmu ietekmi uz rezistīvajiem slāņiem.

Secinājumi par mērķi №4:

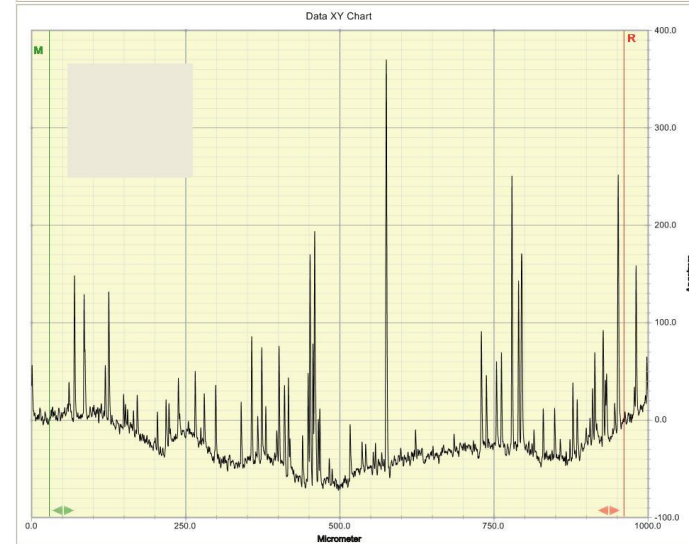
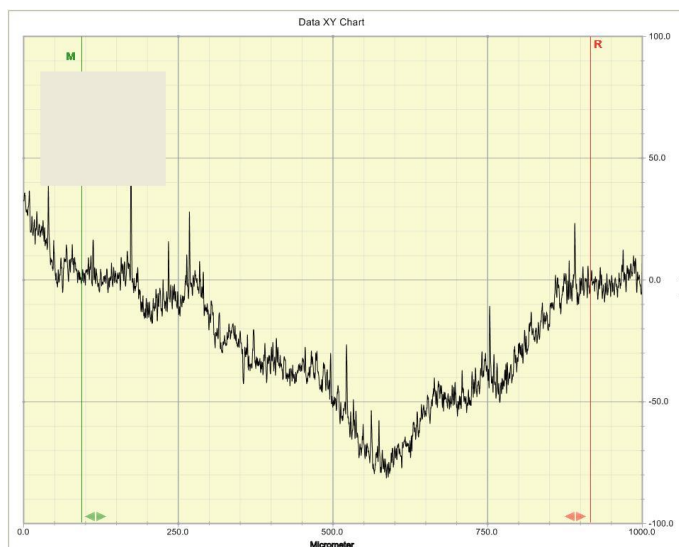
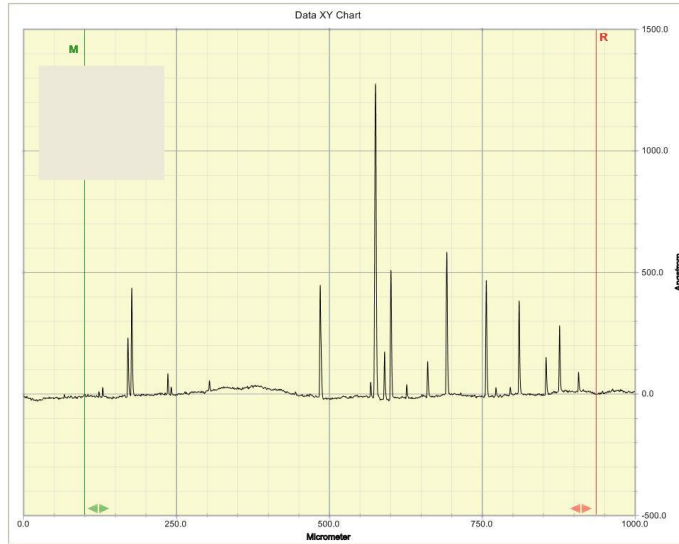
- starplikai $\text{Si-SiO}_2\text{-Si}_3\text{N}_4\text{-AlN}$ pie zemas rūdišanas temperatūras R_s ir paaugstināts, bet pie augstākām temperatūrām R_s atgriežas pie nominālās vērtības. Zemākā PTK vērtība novērojama pie rūdišanas temperatūras 700°C , līdz ar to sagaidāms, ka PTK būs 0 pie temperatūras $(750\text{--}800)^\circ\text{C}$.
- Ar starpliku $\text{Si-SiO}_2\text{-Si}_3\text{N}_4\text{-AlN}$ izdarāmi tādi paši secinājumi kā rezistoriem ar starpliku $\text{Si-SiO}_2\text{-Si}_3\text{N}_4$

AKTIVITĀTE №3

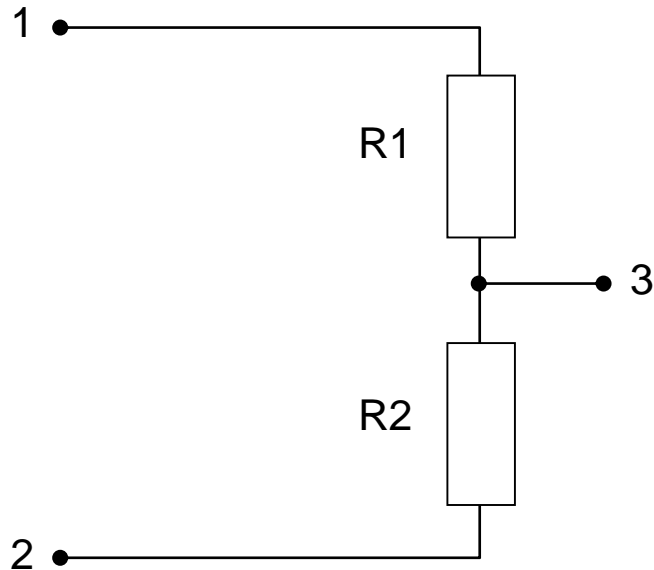
Pētījuma uzdevumi

- Si virsmas morfoloģijas ietekmes novērtēšana uz plāno rezistīvo kārtiņu kvalitāti
- Testa struktūru āzer tūnings.
- Testa struktūru montāža korpusā pēc lāzermontāžas
- Atkārtotu darbības stabilitātes testu veikšana, datu apkopošana
- Pētījuma datu analīze, secinājumu sagatavošana, zināšanu apkopošana.

Si virsmas morfoloģijas

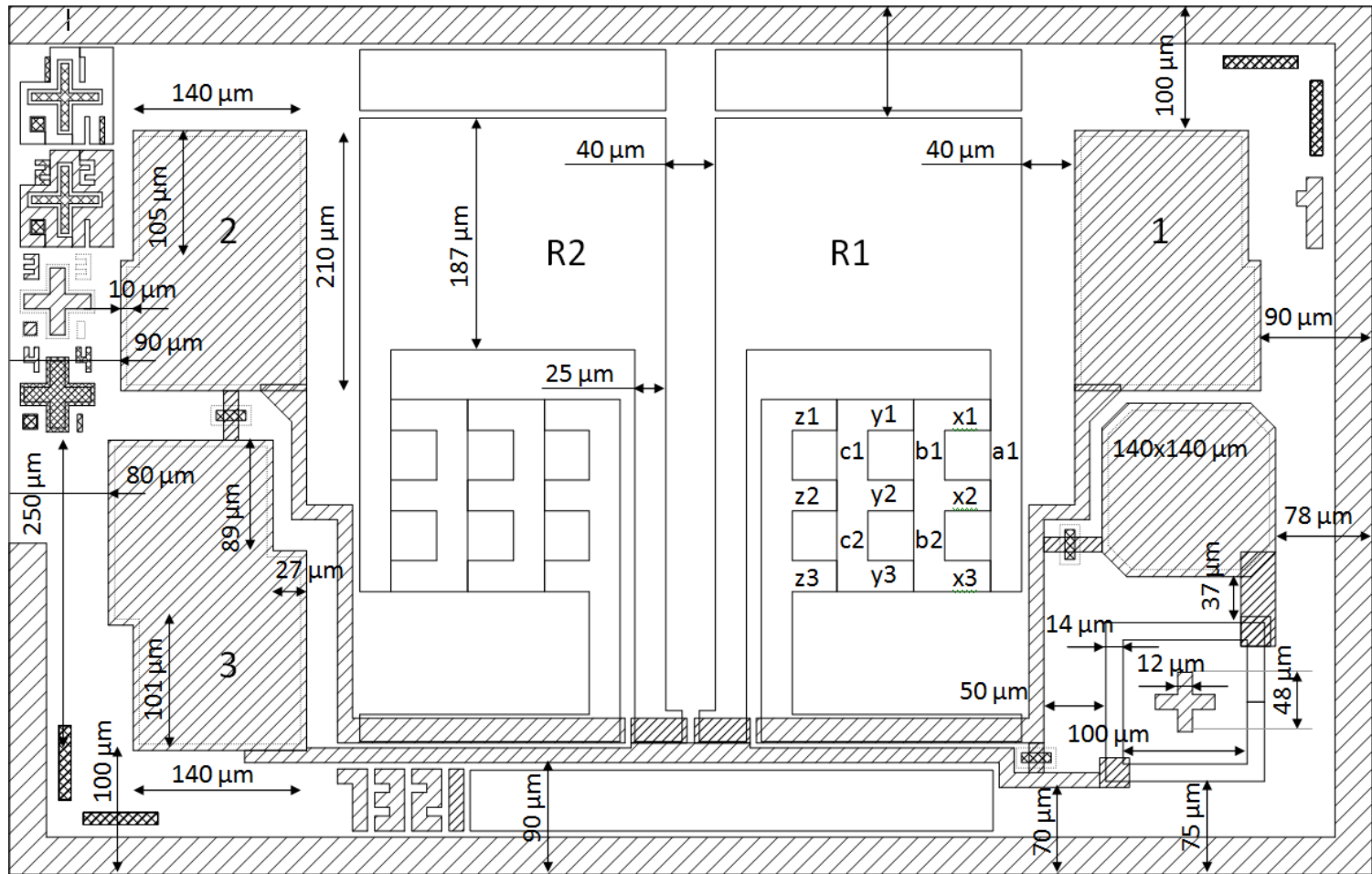


Testa struktūra



Testa struktūra tiek veidota kā rezistīva matrica-dalītājs, ko var kalibrēt ar lāzera palīdzību.

Testa struktūru topoloģija



Atkārtotu darbības stabilitātes testu veikšana

Grupas Nr.	Paliktnis	nom. Rs, kΩ/□	Dedzināšanas T	Rs pēc Dedzināšanas, kΩ/□	PTK min., ppm	PTK vid., ppm	PTK maks., ppm	Rezistora nomināls pēc iestatījuma, R_{nom}
4-47	Si-SiO ₂ -Si ₃ N ₄	5	700 °C	3.171	-23	0	32	100kΩ
5-64	Si-SiO ₂ -Si ₃ N ₄ -AlN	4	600 °C	1.749	-55	-35	-23	50kΩ

$$\delta_1 = \frac{\Delta_1}{R_{nom}} \cdot 100\%,$$

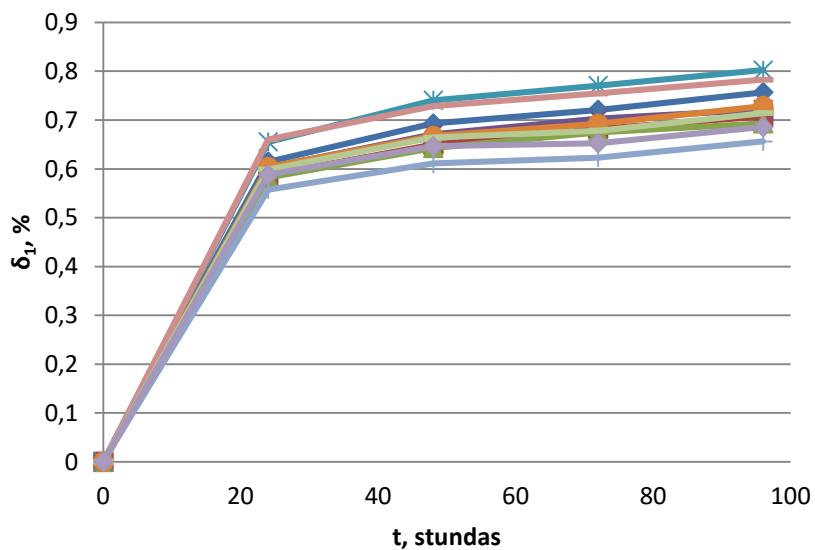
$$\delta_2 = \frac{\Delta_2}{R_{nom}} \cdot 100\%$$

$$\delta_{12} = \left(\frac{R1}{R2} - 1 \right) \cdot 10^6$$

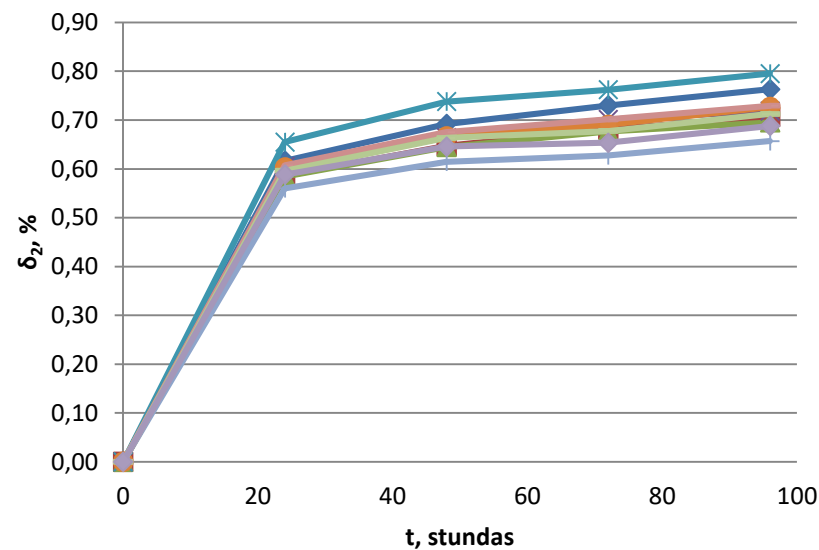
Atkārtotu darbības stabilitātes testu veikšana

Grupa 4-47.

R1 izmaiņu relatīvā kļūda



R2 izmaiņu relatīvā kļūda



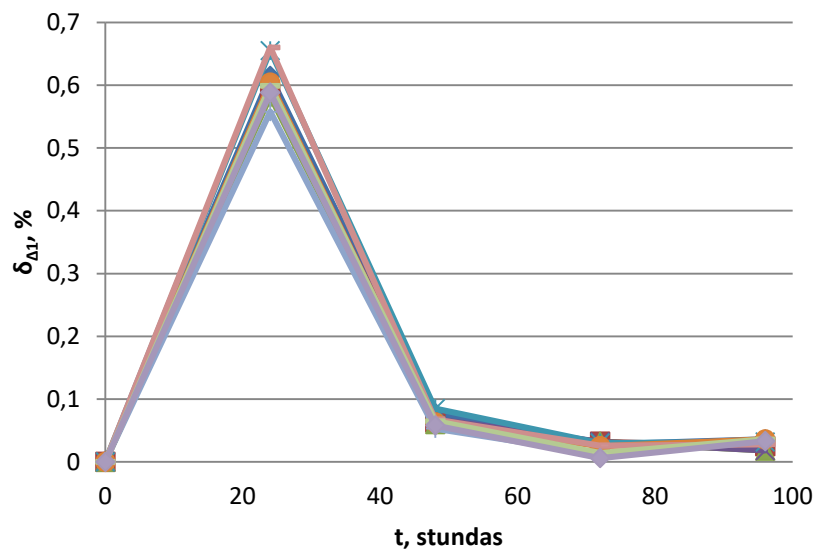
$$\delta_1(T) = \frac{R1(0) - R1(T)}{R1(0)} \cdot 100\%,$$

$$\delta_2(T) = \frac{R2(0) - R2(T)}{R2(0)} \cdot 100\%$$

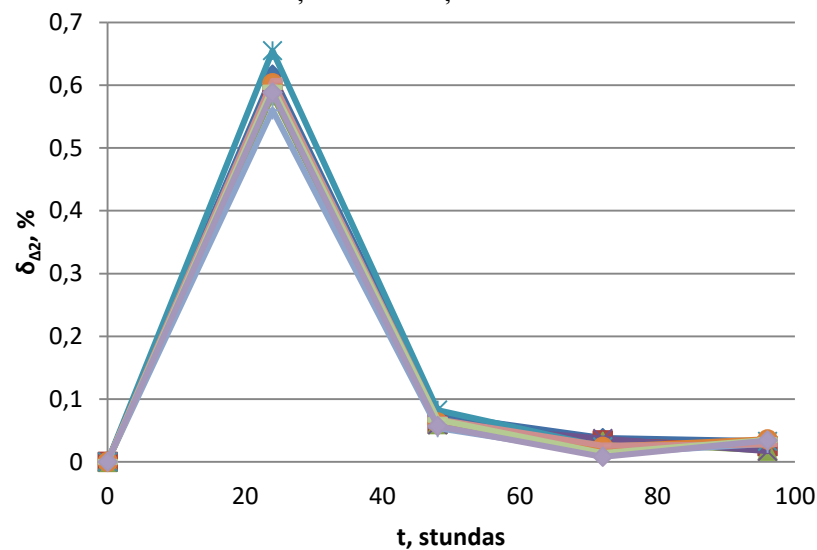
Atkārtotu darbības stabilitātes testu veikšana

Grupa 4-47.

Absolūtās kļūdas izmaiņas rezistoram R1



Absolūtās kļūdas izmaiņas rezistoram R2

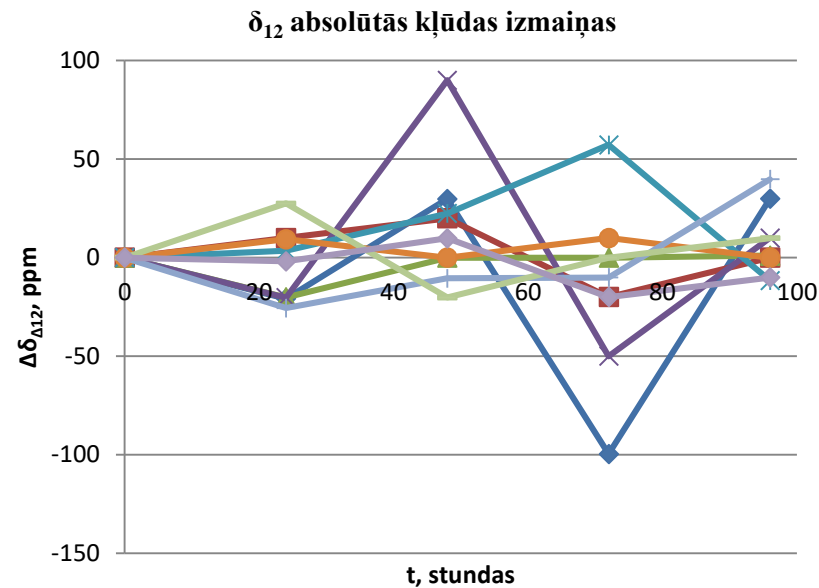
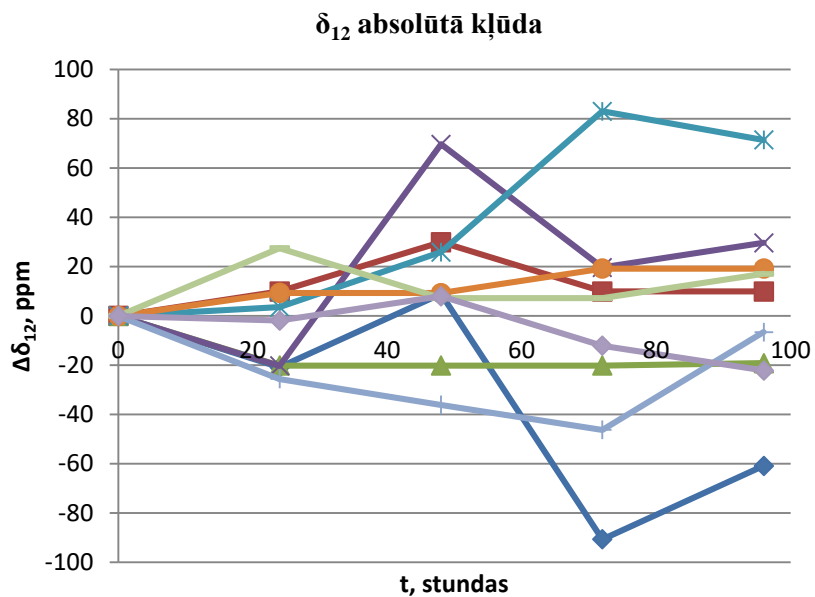


$$\delta_{\Delta_1}(T) = \frac{\Delta_1(T_k) - \Delta_1(T_{k-1})}{R_1(T_{k-1})} \cdot 100\%,$$

$$\delta_{\Delta_2}(T) = \frac{\Delta_2(T_k) - \Delta_2(T_{k-1})}{R_2(T_{k-1})} \cdot 100\%$$

Atkārtotu darbības stabilitātes testu veikšana

Grupa 4-47.



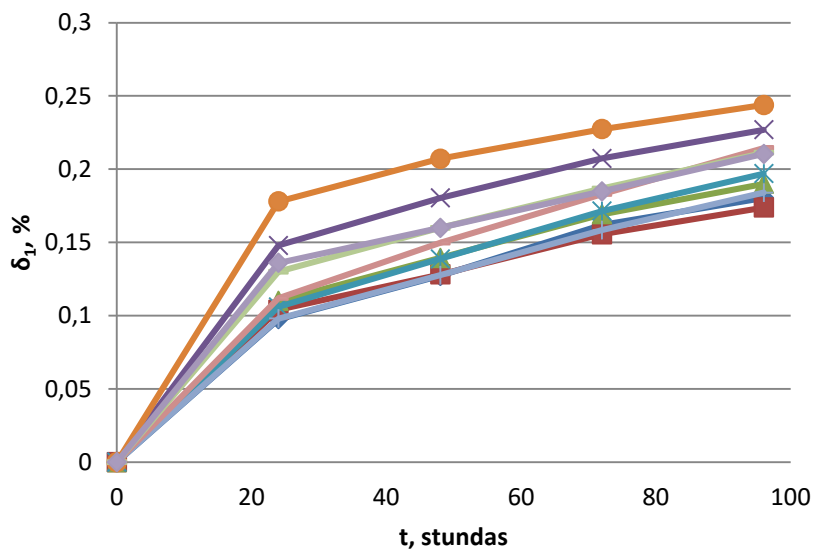
$$\Delta\delta_{12}(T) = \delta_{12}(T) - \delta_{12}(0),$$

$$\Delta\delta_{\Delta 12}(T_k) = \delta_{12}(T_k) - \delta_{12}(T_{k-1})$$

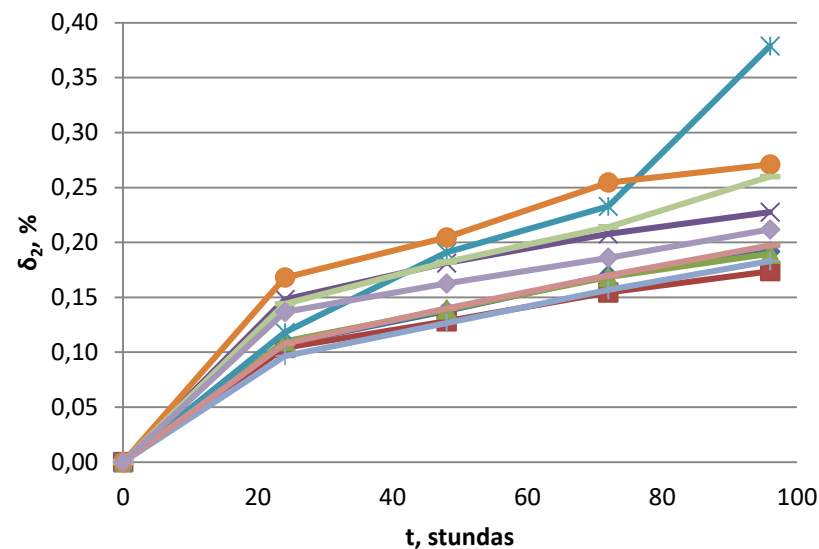
Atkārtotu darbības stabilitātes testu veikšana

Grupa 5-56.

R1 izmaiņu relatīvā kļūda



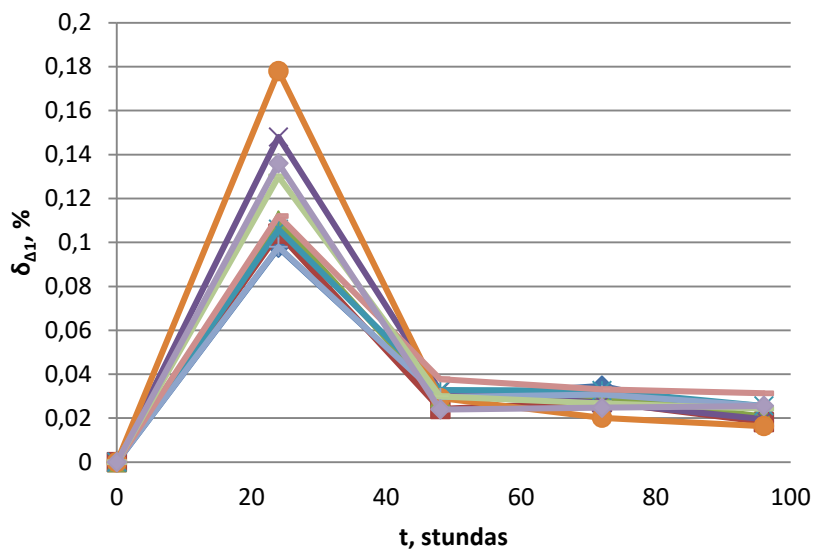
R2 izmaiņu relatīvā kļūda



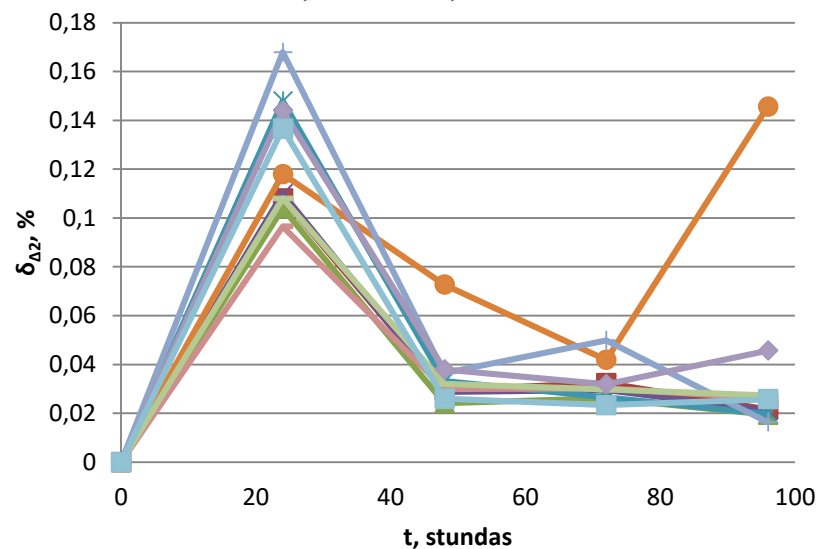
Atkārtotu darbības stabilitātes testu veikšana

Grupa 5-56.

Absolūtās kļūdas izmaiņas rezistoram R1

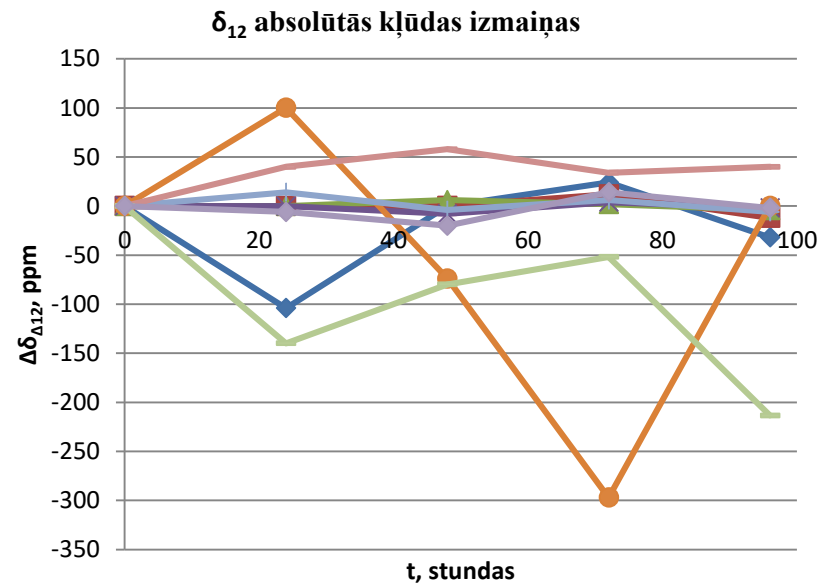
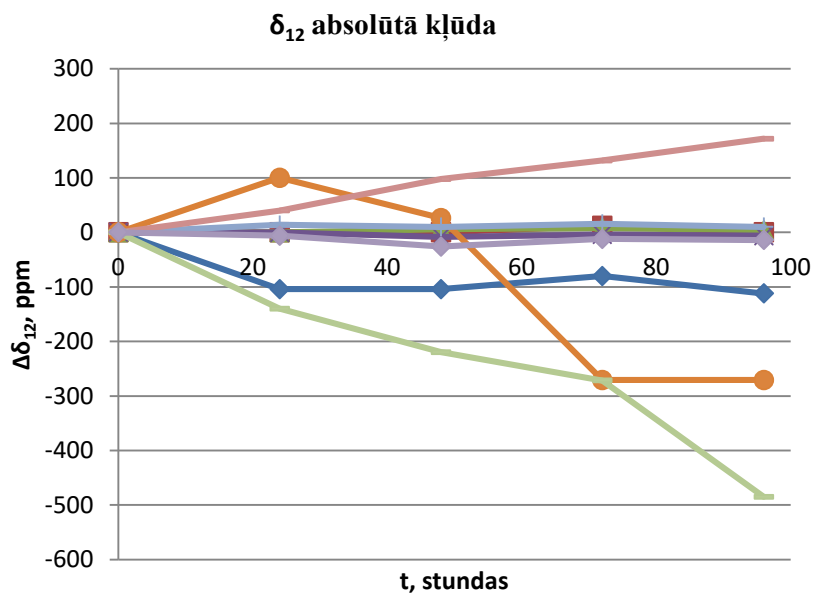


Absolūtās kļūdas izmaiņas rezistoram R2



Atkārtotu darbības stabilitātes testu veikšana

Grupa 5-56.



Atkārtotu darbības stabilitātes testu veikšana

Eksperimenta ietekmes uz PTK rezultāti

	Grupa 4-47			Grupa 5-56		
	PTK, R1	PTK, R1	PTK, Δ_{12}	PTK, R1	PTK, R1	PTK, Δ_{12}
vid, līdz testu veikšanai	17.8	16.7	-0.003	23.08	22.9	-0.003
vid, pēc testu veikšanas	12	11.4	-1.25	24	23.5	0
σ , līdz testu veikšanai	10.98	12.89	0.011	4.33	4.38	0.007
σ , pēc testu veikšanas	12.55	14.12	3.95	4.41	4.52	0.0096

Atkārtotu darbības stabilitātes testu veikšana. Secinājumi.

Analizējot abus eksperimentu rezultātus, var izdarīt šādus secinājumus:

- Iepriekšējā pētījumā izdarītajiem secinājumiem par termovadošās izolējošās kārtas ALN ietekmi tika **gūts apstiprinājums** – būtiska ietekme uz rezistoru parametru stabilitāti (paraugi no grupas **5-56**)

Atkārtotu darbības stabilitātes testu veikšana. Secinājumi.

- Slodzes strāvai ir ietekme uz pretestības dreifēšanu, tomēr tā ir uzdoto normu robežās, mazāka ietekme nekā citiem faktoriem.
- Būtisku ietekmi dod temperatūras iedarbība, kas tika secināts pēc absolūtās kļūdas analīzes.

Atkārtotu darbības stabilitātes testu veikšana. Secinājumi.

- Kārtnas ALN virsmas raupjums būtiski ietekmē rezistoru parametrus. Nepieciešams atrast risinājumus kā samazināt virsmas raupjumu kārtnai ALN. Lai iegūtu šādas zināšanas, jāveic pētījums par izlīdzinošās kārtas ar bāzi LP CVD Si₃N₄ ietekmi, kas ir izraisījis pētījumam Nr.3.

AKTIVITĀTE №4

Pētījuma uzdevumi

- Rezistoru ilgtermiņa stabilitātes izzināšana.
- Dažādu aizsargslāņu ietekmes uz rezistoru parametriem novērtēšana.
- Montāžas procesu ietekmes uz parametru stabilitāti novērtēšana.
- Integrālās shēmas projektēšana, izmantojot plānās kārtiņas rezistorus.
- 18-bitu digitāla-analoga pārveidotāja (DAC) rezistīvās matricas topoloģijas izstrāde.

Stabilitātes testu veikšana

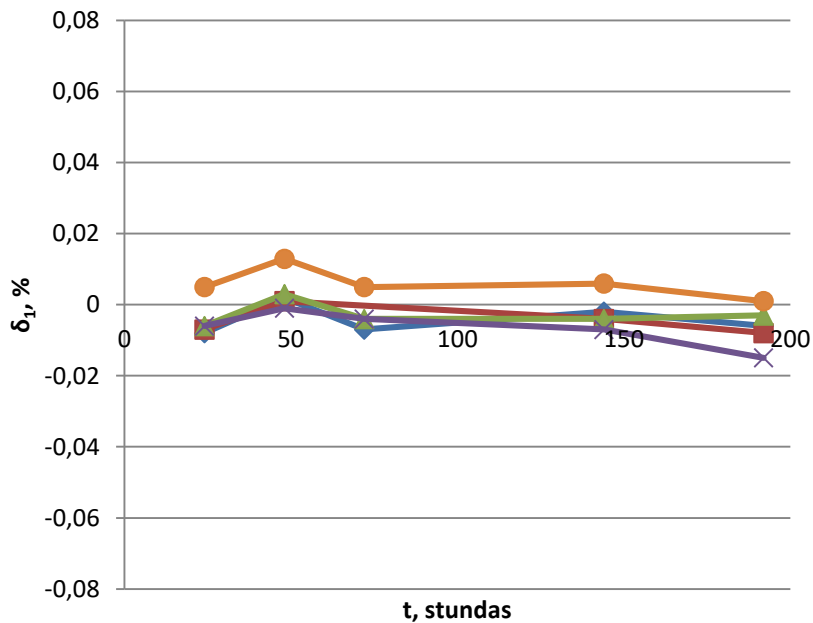
Grupa №1.

- Paraugu žāvēšana 150°C temperatūrā.
- Paraugu žāvēšana vakuumā 125°C temperatūrā.
- Paraugu montāža korpusā TO-5 slāpekļa vidē ar rasas punktu ne mazāku kā -60°C.
- Paraugu uzsildīšana līdz 85°C temperatūrai, saglabājot vienmērīgu 20V spriegumu, kas tika pievadīts rezistoriem.
- Ne ātrāk kā pēc 24 stundām tika veikta rezistoru parametru mērīšana un spriegums tika palielināts par 20V.
- Kopumā veikti 5 mērījumi un testu kopējais ilgums bija 192 stundas.

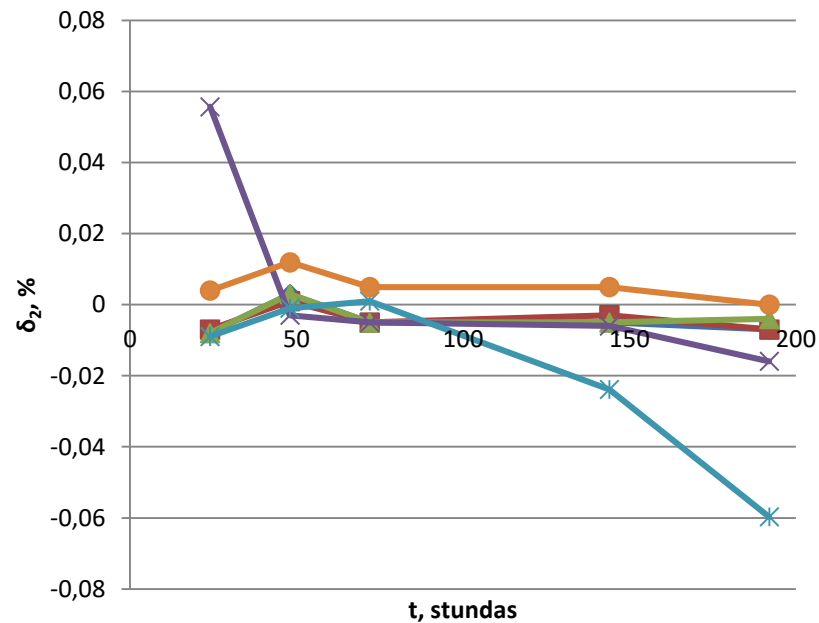
Stabilitātes testu veikšana

Grupa № 1.

R1 izmaiņu relatīvā kļūda



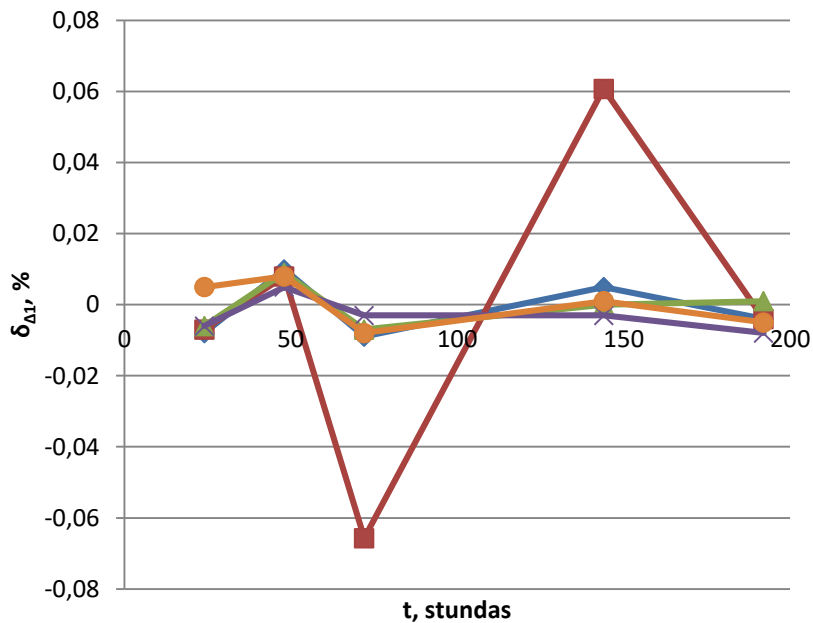
R2 izmaiņu relatīvā kļūda



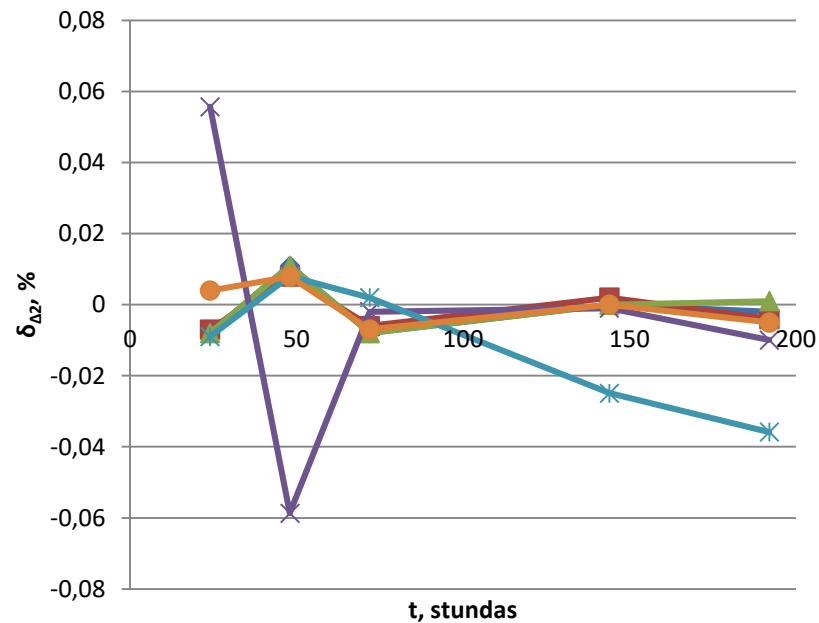
Stabilitātes testu veikšana

Grupa № 1.

Absolūtās kļūdas izmaiņas rezistoram R1

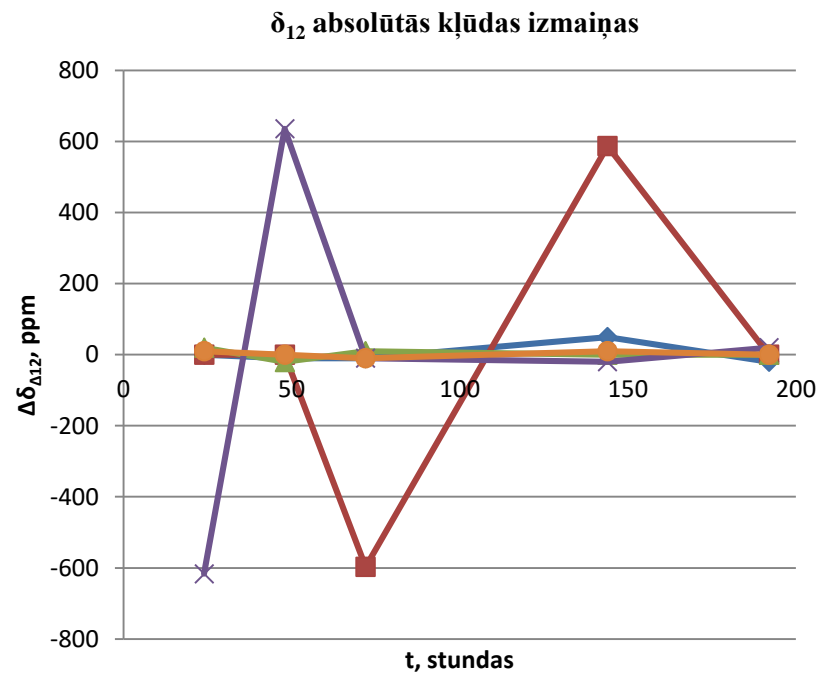
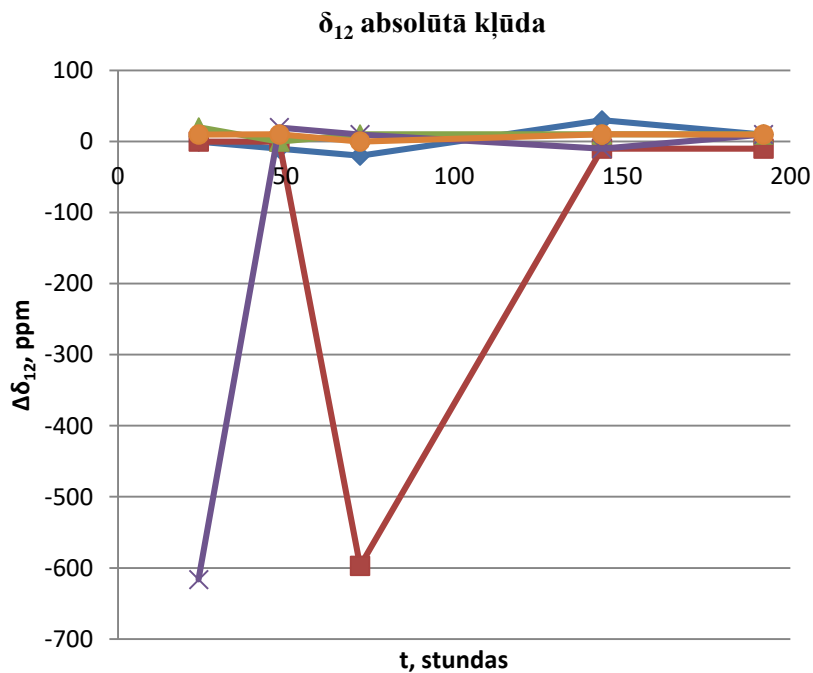


Absolūtās kļūdas izmaiņas rezistoram R2



Stabilitātes testu veikšana

Grupa № 1.



Stabilitātes testu veikšana

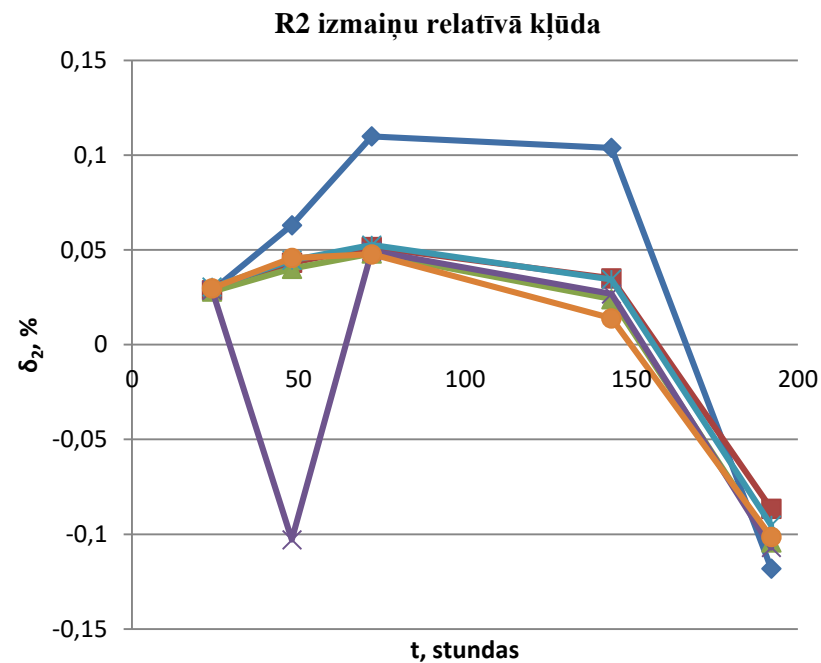
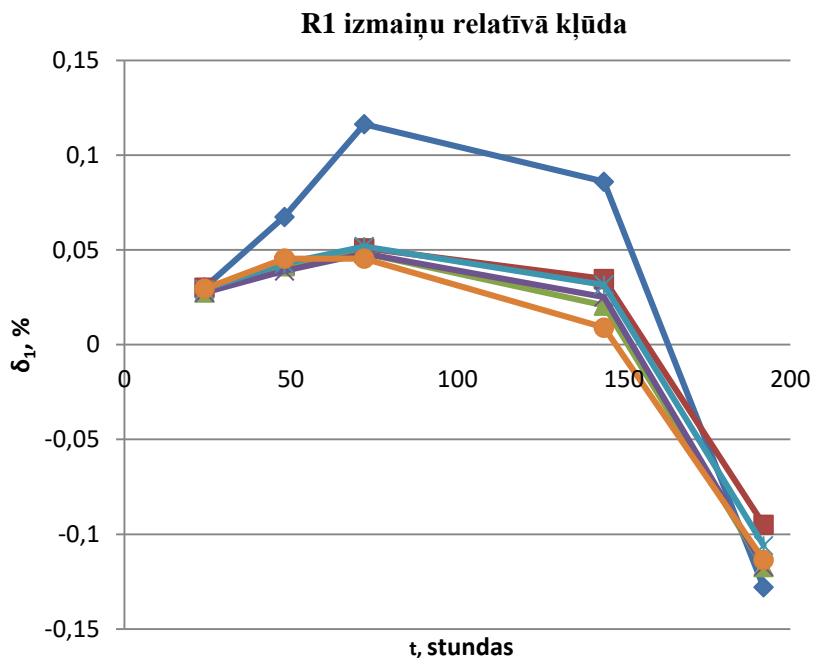
Grupa № 2.

Grupa № 3.

- Izvēlēti 12 paraugi no partijas 4-47
- 6 no 12 paraugiem (grupa Nr.2) tika veikts rezistora R2 lāzertūnings līdz nominālam 50kΩ
- Visi 12 paraugi tika pārklāti ar aizsargslāni SiO₂
- 6 atlikušajiem paraugiem (grupa Nr.3) tika veikts rezistora R2 lāzertūnings līdz nominālam 50kΩ

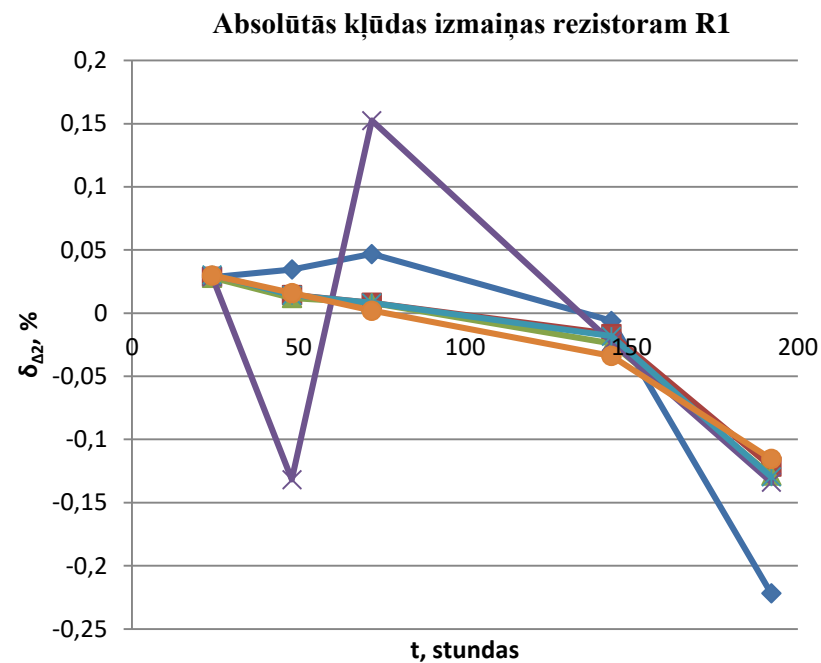
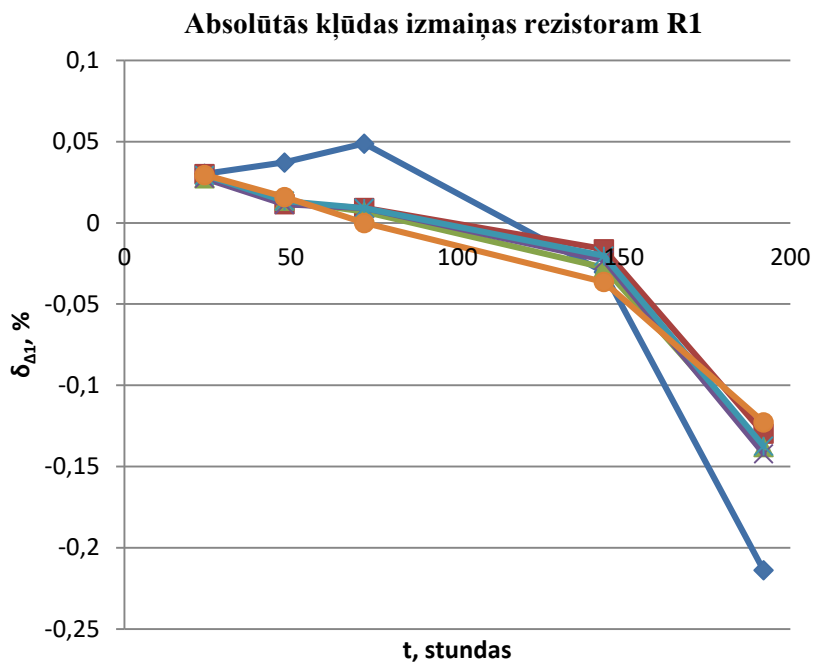
Stabilitātes testu veikšana

Grupa № 2.



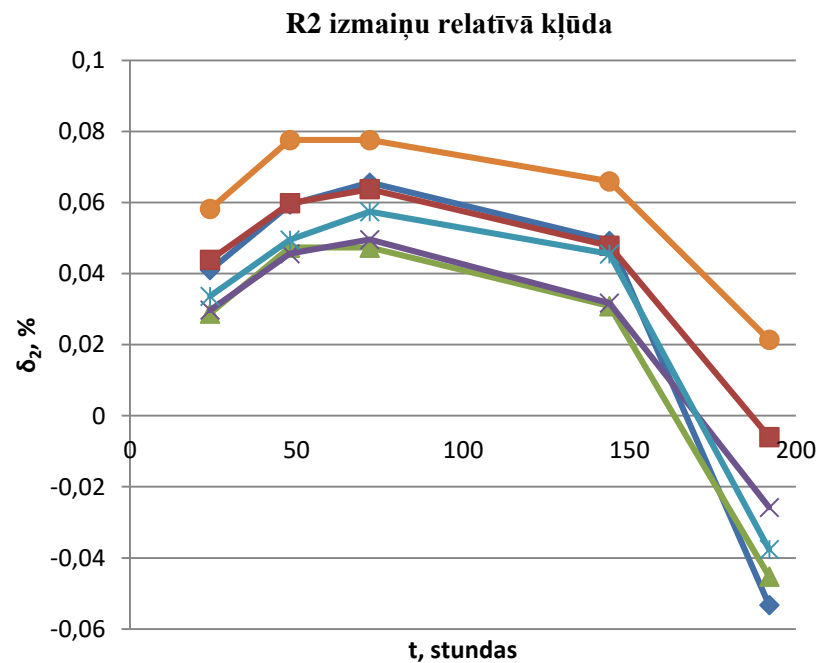
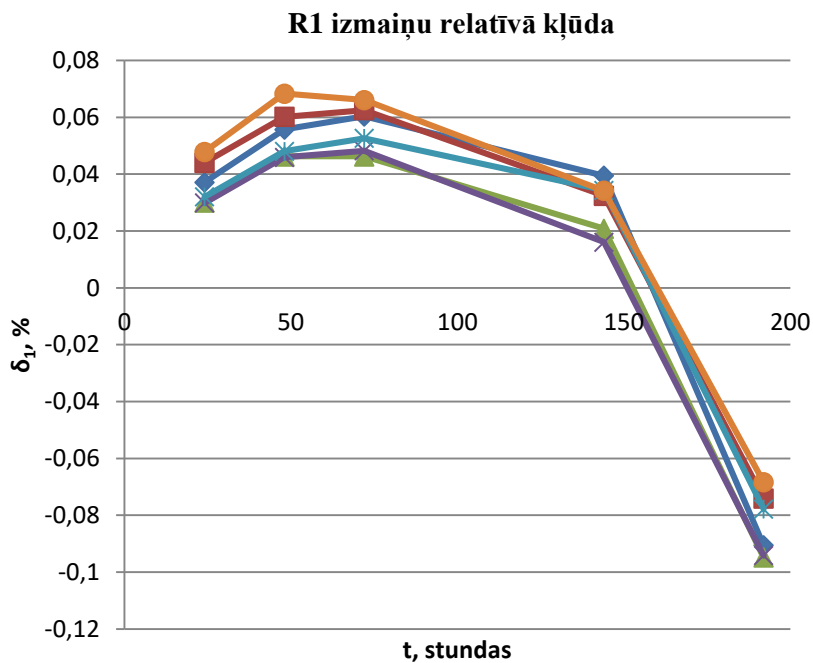
Stabilitātes testu veikšana

Grupa № 2.



Stabilitātes testu veikšana

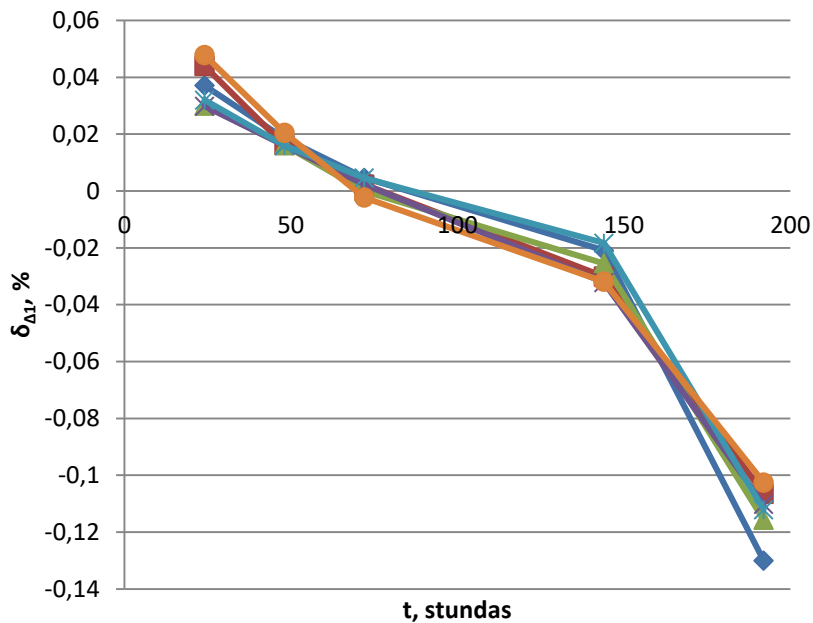
Grupa № 3.



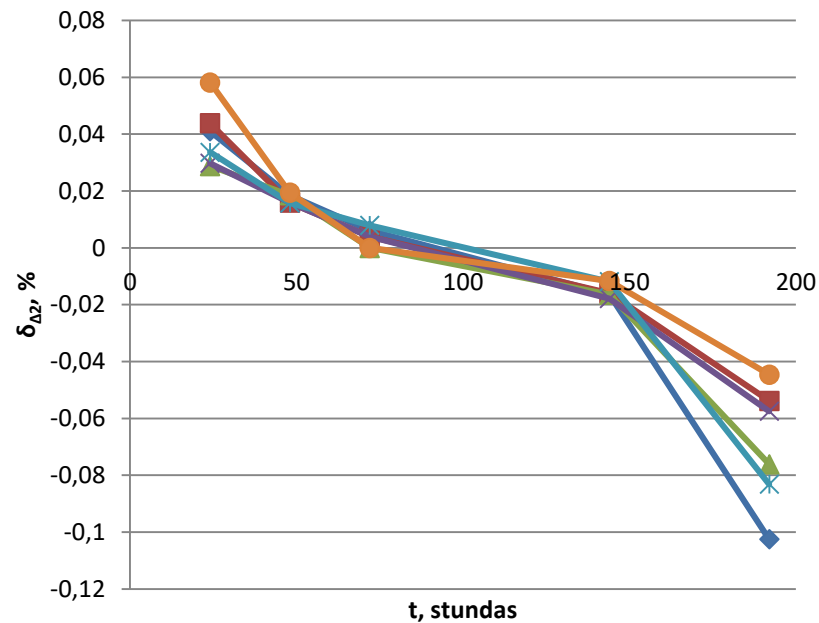
Stabilitātes testu veikšana

Grupa № 3.

Absolūtās kļūdas izmaiņas rezistoram R1



Absolūtās kļūdas izmaiņas rezistoram R2



Stabilitātes testu veikšana.

Secinājumi.

- 1.grupas paraugu rezistoru pretestība testu veikšanas laikā neizmainījās. Parametru δ_1 и δ_2 izmaiņas bija mazākas par 0.02% rezistoram R1 un mazākas par 0.06% rezistoram R2. No tā secināms, ka hermetizācija slāpekļa vidē pozitīvi ietekmē testa struktūru stabilitāti.
- SiO₂ pārklājumu labāk ir veikt pirms lāzertūninga veikšanas. Lai arī pretestības izmaiņu raksturs abās grupās kopumā ir līdzīgs, tomēr paraugi no grupas Nr.2 uzrādīja sliktākus rezultātus – straujākas izmaiņas gan parametram δ_2 , gan parametram $\delta_{\Delta 2}$.

Dažādu aizsargslāņu ietekmes uz rezistoru parametriem

Aizsardzības ietekmes uz rezistoru parametriem novērtēšanai tika izgatavotas plākšņu partijas ar uz tām uzklātām testēšanas struktūrām – rezistīvā matrica-dalītājs. Visas partijas tika sadalītas 2 grupās:

- Ar zemas pretestības $R_s < 2\text{k}\Omega$ (partija 2-R8-X)
- Ar augstas pretestības $R_s > 8\text{k}\Omega$ (partija 2-R9-X)

Katra partija tika uzkaršēta līdz dažādām temperatūrām: 650°C, 675°C, 700°C, 725°C, 750°C.

Dažādu aizsargslāņu ietekmes uz rezistoru parametriem. Secinājumi.

Aizsargslāņa uzklāšana uz rezistīvajām struktūrām atstāj uz PTK dažādu ietekmi:

- Aizsargslāņa SiO_2 uzklāšana uz rezistoriem ar zemu R_s izmaina PTK vidēji par 25,8 ppm, bet uz rezistoriem ar augstu R_s – par 321,4 ppm.
- Aizsargslānis Si_3N_4 izmaina PTK par 8,5 ppm rezistoriem ar zemu R_s un par 2 ppm rezistoriem ar augstu R_s .

Secināms, ka labāk izmantot aizsargslāni Si_3N_4 it īpaši priekš rezistoriem ar augstu R_s .

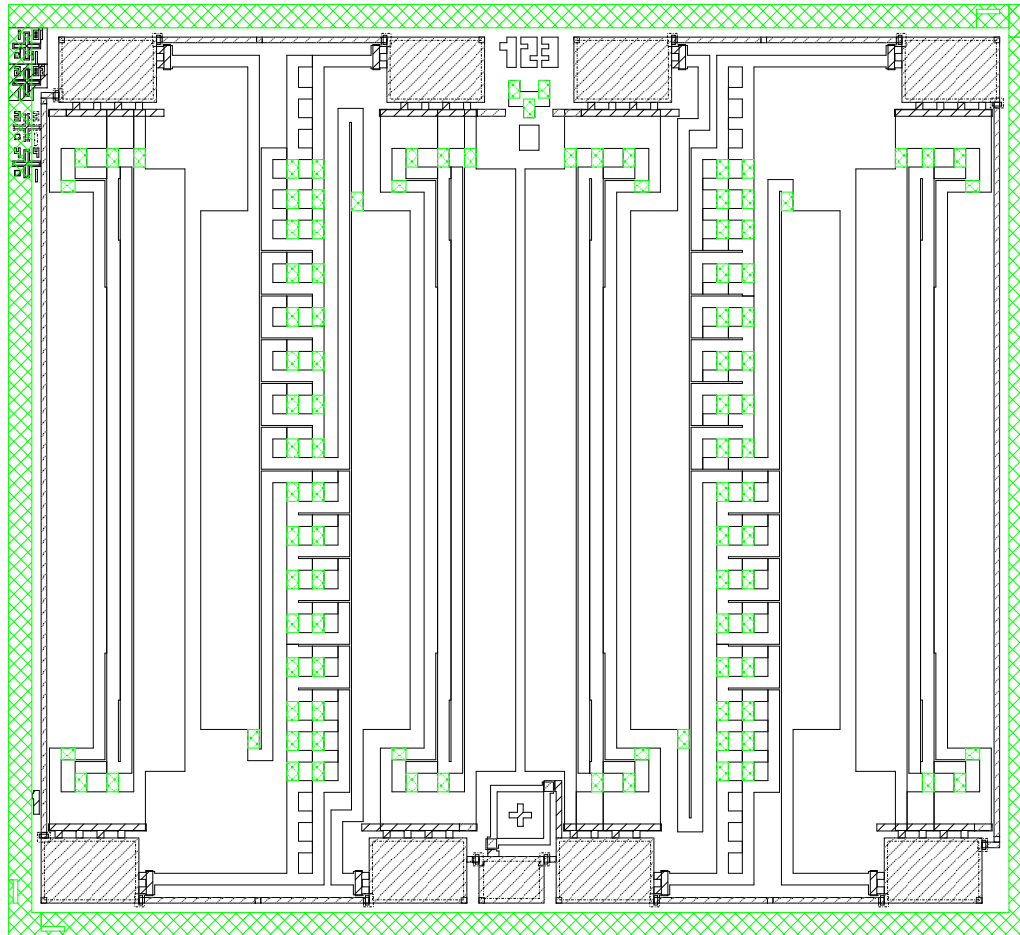
Montāžas procesu ietekmes uz parametru stabilitāti novērtēšana.

Eksperimentālās izstrādes laikā visas plāksnes tika sadalītas 2 grupās:

- Grupa Nr.1. – $R_s = 3\text{k}\Omega/\square$,
- Grupa Nr.2. – $R_s = 3.5\text{k}\Omega/\square$.

Plāksnes no partijas 4R-6-1 – 4R-6-6 tika kausētas pirms fotolitogrāfijas, bet plāksnes no partijas 4R-6-7 – 4R-6-12 pēc fotolitogrāfijas.

Montāžas procesu ietekmes uz parametru stabilitāti novērtēšana.



Testa struktūru topoloģija

Montāžas procesu ietekmes uz parametru stabilitāti novērtēšana. Secinājumi.

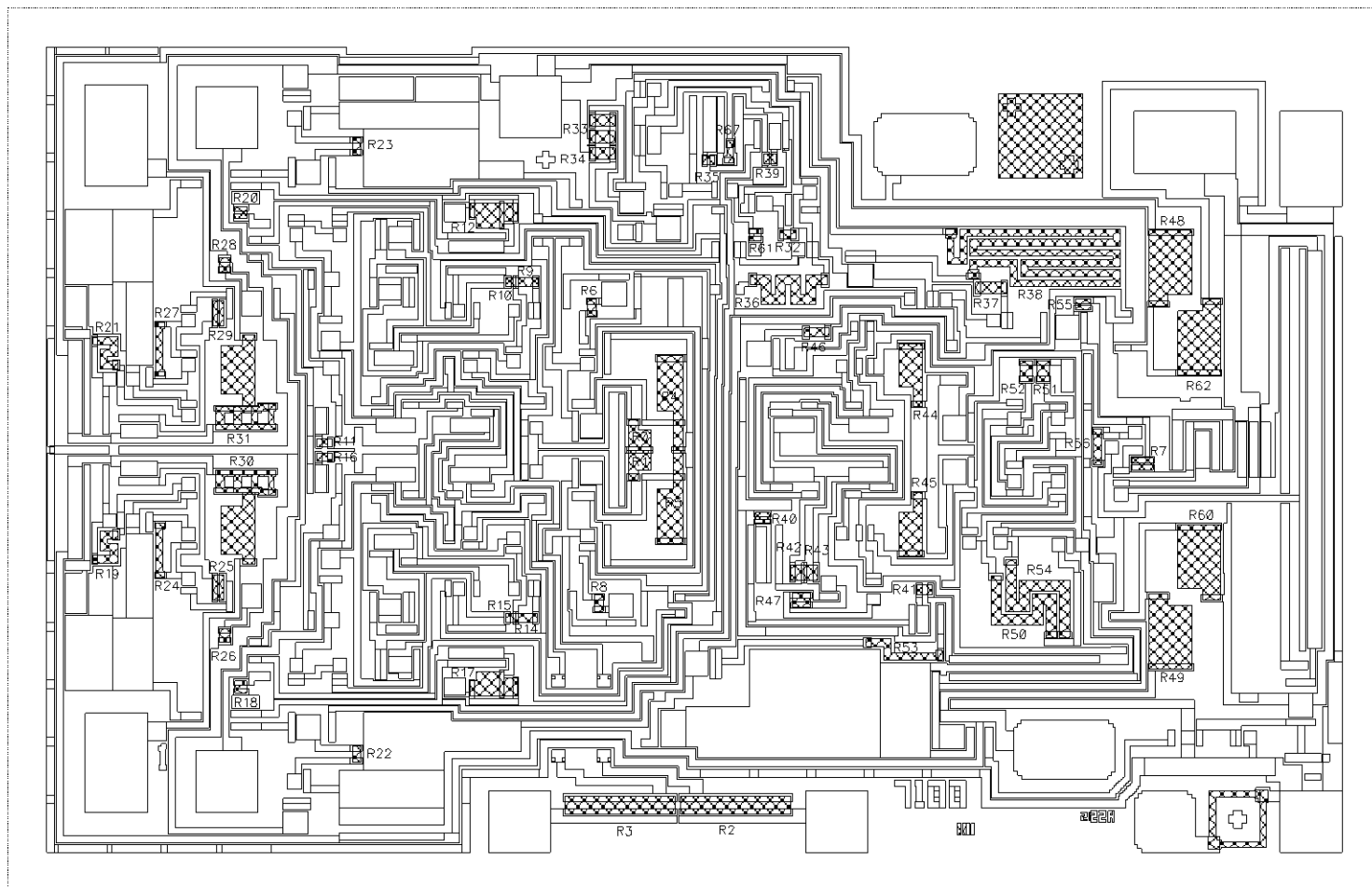
Visas plākšņu partijas uzrādīja vienādus rezultātus, izņemot 4R-6-3 (PTK izmaiņas 107ppm, fotolitogrāfija pirms kausēšanas) un 4R-6-12 (PTK izmaiņas 59ppm, fotolitogrāfija pēc kausēšanas). No tā var secināt, ka darbību secība (fotolitogrāfijas veikšanas laiks) pēc aizsargslāņa uzklāšanas neietekmē PTK vērtību.

Tomēr rekomendējams no sākuma veikt fotolitogrāfiju un tikai tad kausēt plāksni, jo šajā gadījumā fotolitogrāfijas laiks ir 12s, salīdzinot ar 5s, ja fotolitogrāfiju veiktu pēc kausēšanas.

Integrālās shēmas projektēšana, izmantojot plānās kārtiņas rezistorus.

IMS kristāla izmēri ir 3.1x2.0 mm. Kristāla biezums 380-500 mikrometri. Silīcija oksīda biezums pēc pirmās oksidēšanas (0.48 – 0.60 mikrometri), pēc dalošās difūzijas (0.20 – 0.55 mikrometri), pēc bora iestrādes (0.4 – 0.5 mikrometri), pēc emitējošās difūzijas (0.25 – 0.55 mikrometri), pirms alumīnija uzputināšanas (1.0 – 1.4 mikrometri).

Integrālās shēmas projektēšana, izmantojot plānās kārtiņas rezistorus.



Analogās IMS topoloģija ar rezistoru izvietojumu.

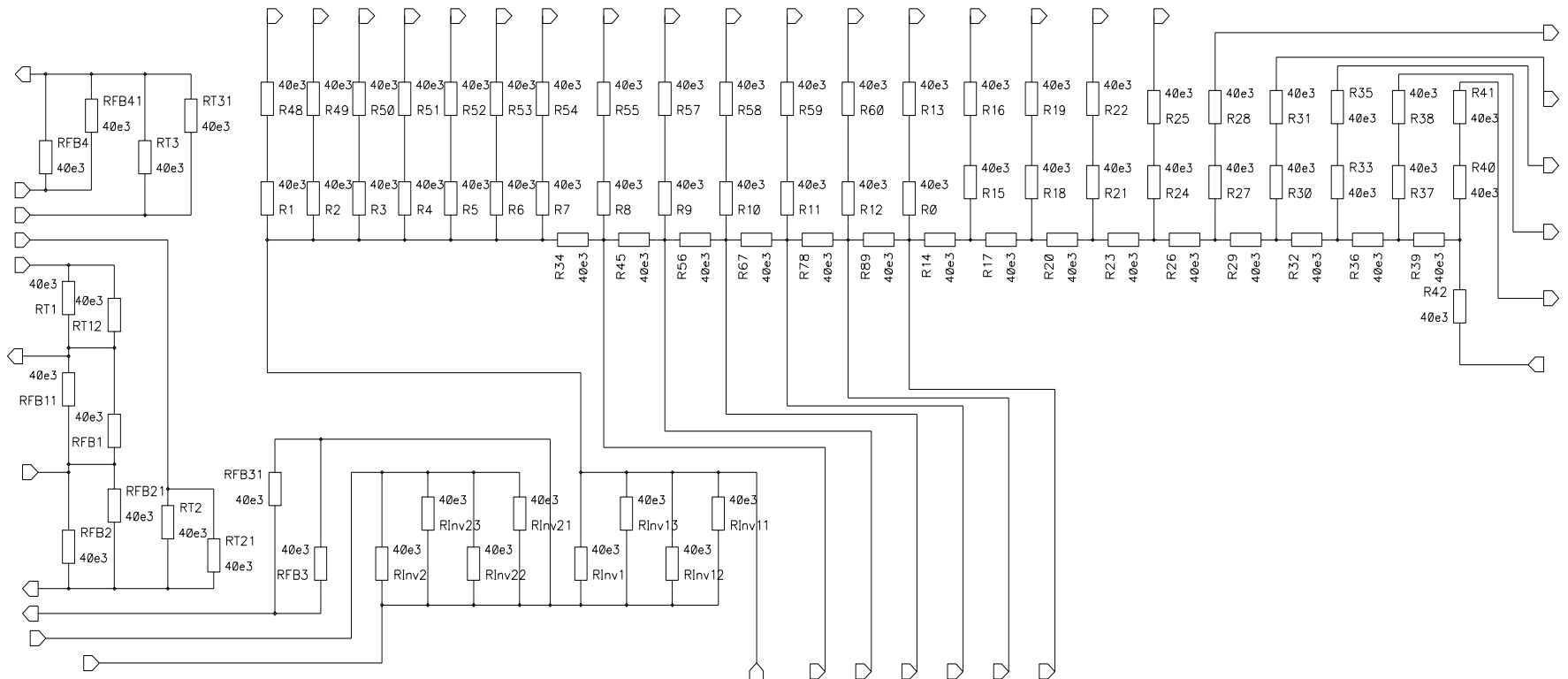
Rezistīvās matricas projektēšana uz augstas pretestības rezistoru bāzes.

Šīs aktivitātes ietvaros tika veikta rezistīvās matricas R-2R projektēšana 18-bitu ciparu-analogajam pārveidotājam (CAP).

Rezistori ar biezumu $1155\mu\text{m}$. Nepielaides platums $25\mu\text{m}$.

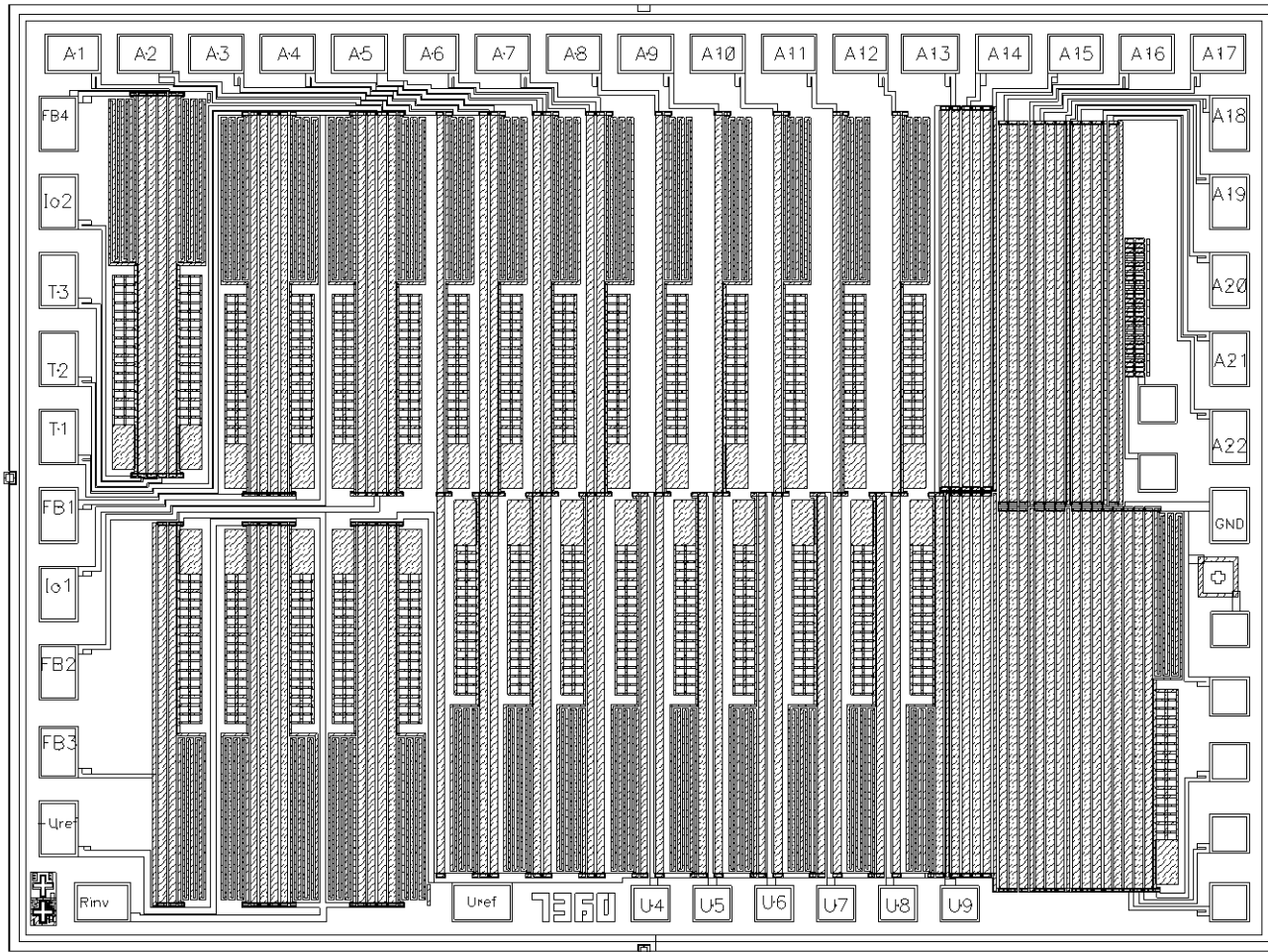
Nepiedzenamā rezistora nomināls pie $R_s = 5\text{k}\Omega/\square$ $235.325\text{k}\Omega$. Piedzenamais rezistors sastāv no divām iekļautām sekcijām. Nepiedzenamā daļa ir ar dziļumu $1155\mu\text{m}$, platumu $23\mu\text{m}$ un nominālu $256.15\text{k}\Omega$. Piedzenamā daļa ir ar nominālu $2.891\text{M}\Omega$, platumu $7\mu\text{m}$.

Rezistīvās matricas projektēšana uz augstas pretestības rezistoru bāzes.



Rezistīvā matrica, principiālā elektriskā shēma.

Rezistīvās matricas projektēšana uz augstas pretestības rezistoru bāzes.



Rezistīvā matrica. Topoloģija.

Secinājumi.

- Pētījuma laikā tika iegūtas zināšanas un precizēti tehnoloģiskie režīmi plāno kārtiņu rezistoru izgatavošanai, kā arī tika novērtēta rezistoru ilgtermiņa stabilitāte. Tāpat tika novērtēta iekārtas montāžas procesu un to nosacījumu ietekme uz rezistoru parametru stabilitāti.
- Iegūti labi rezultāti līdz ar rezistoru pārklājuma uz Si₃N₄ bāzes izmantošanu.

Secinājumi.

- Iegūtās zināšanas ir pietiekamas, lai sāktu pētnieciskās darbības un veiktu analogās mikroshēmas projektēšanu ar plānās kārtiņas rezistoru izmantošanu priekš rezistīvās matricas 18-bitu DAC. Šī pētījuma ietvaros tika izstrādāta plānotās rezistīvās matricas topogrāfija.

AKTIVITĀTE №5

Pētījuma uzdevumi

- Integrālās shēmas (IS) izgatavošana, izmantojot plānās kārtiņas rezistorus.
- 18-bitu digitāla-analoga pārveidotāja (DAC) rezistīvās matricas (RM) izgatavošana.

Integrālās shēmas izgatavošana

Izgatavošanas maršruts:

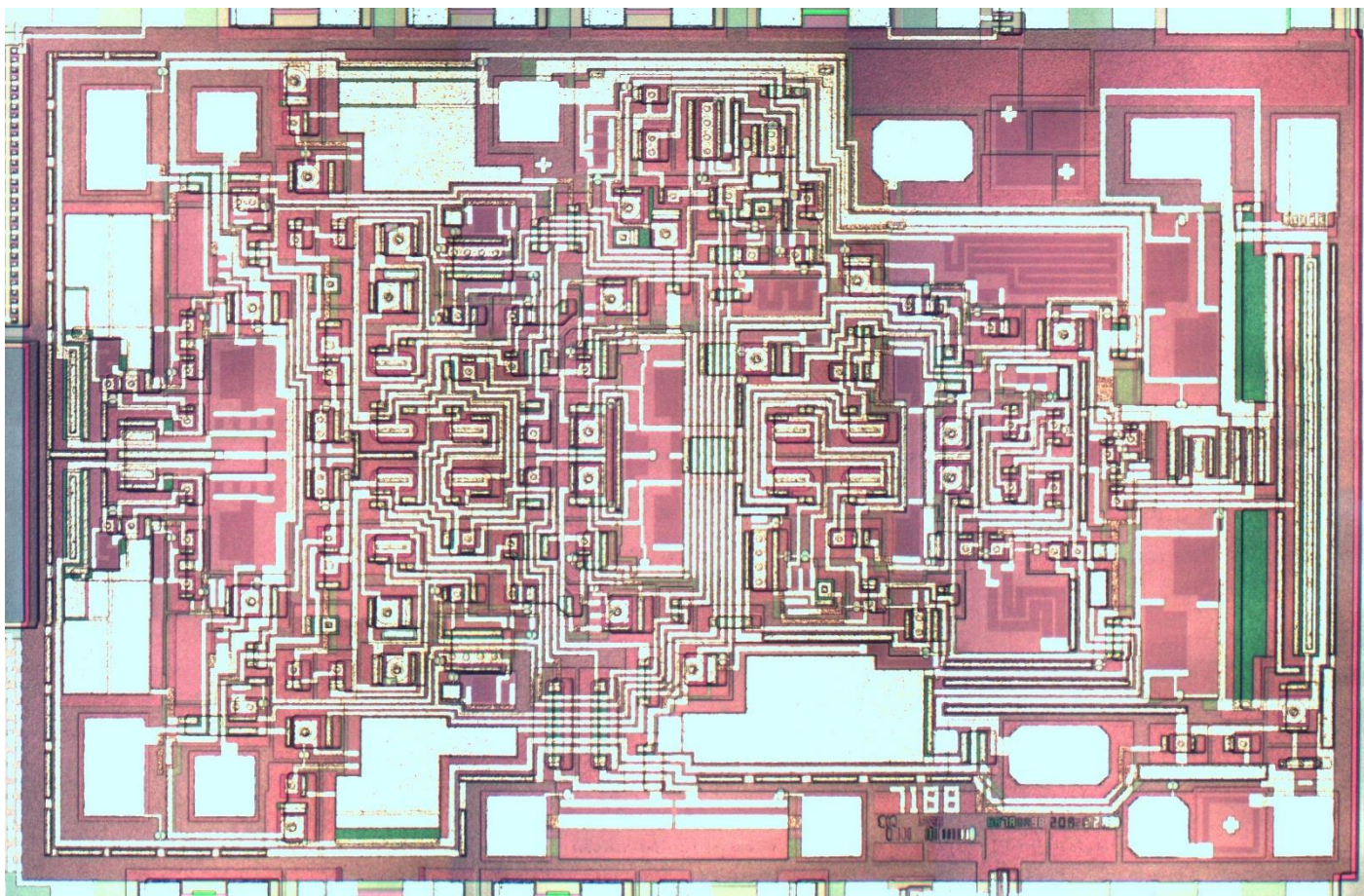
1. Rezistīva (NiCrSi) slāņa uzputināšana
2. Rezistīva slāņa fotolitogrāfija
3. Rezistīva slāņa ātra termoapstrāde
4. Ti uzputināšana
5. Al uzputināšana
6. Al fotolitogrāfija

Integrālās shēmas izgatavošana

Izgatavošanas maršruts:

7. Ti fotolitogrāfija
8. Termoapstrāde (kontakta veidošana pie tranzistoriem un rezistīva slāņa)
9. Pasivācija (HT SiO₂ nogulsnešana)
10. Pasivācijas slāņa fotolitogrāfija (kontaktlogu veidošana pie Al).

Integrālās shēmas izgatavošana



IS foto ar NiCrSi rezistoriem $R_s = 5k\Omega/\square$

Rezistīvās matricas izgatavošana

Izgatavošanas maršruts:

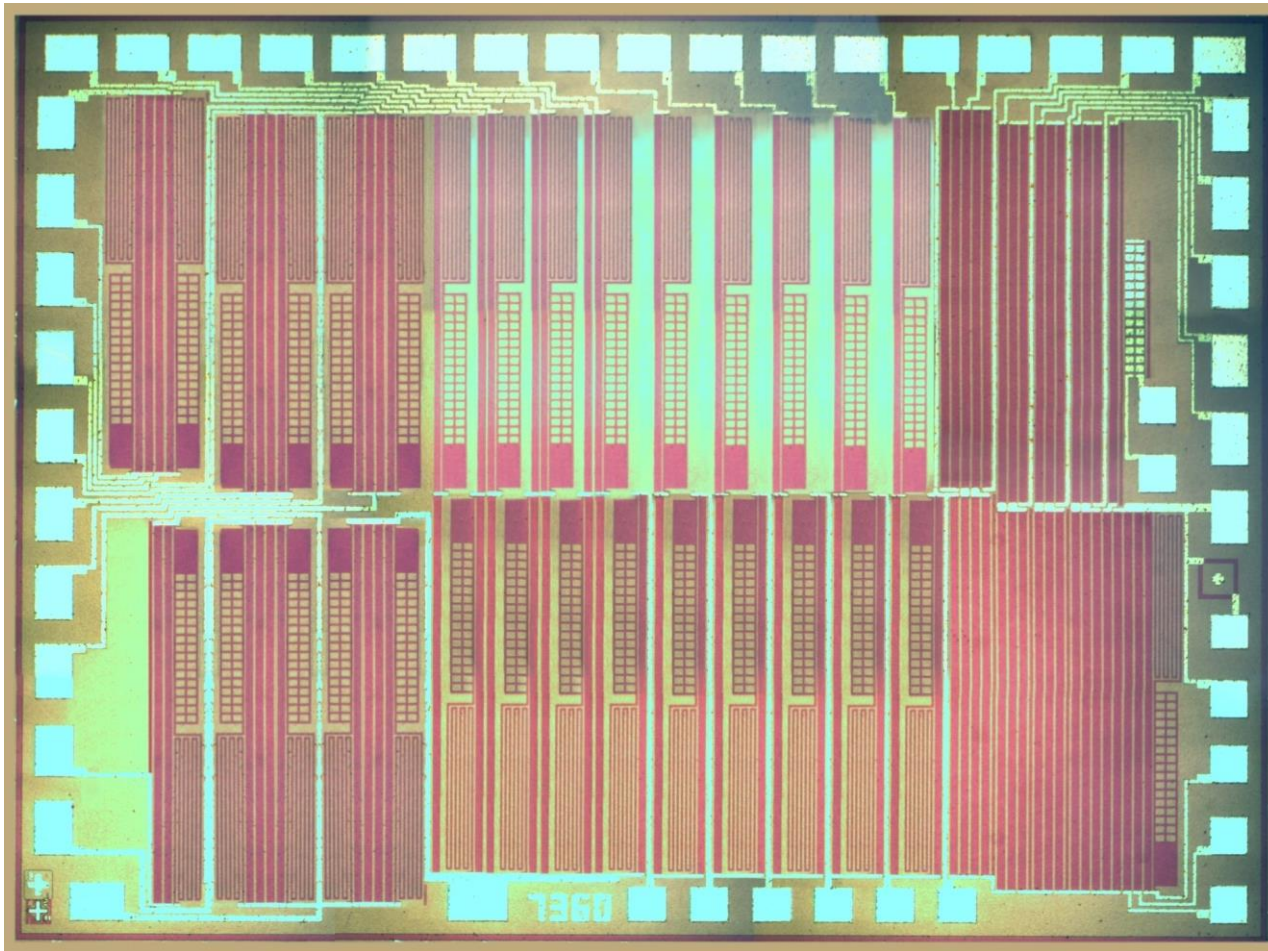
1. Termiska oksidēšana
2. Silīcija nitrīda (Si_3N_4) nogulsnešana
3. Rezistīva (NiCrSi) slāņa uzputināšana
4. Rezistīva slāņa fotolitogrāfija
5. Rezistīva slāņa ātra termoapstrāde Al fotolitogrāfija

Rezistīvās matricas izgatavošana

Izgatavošanas maršruts:

6. Al uzputināšana
7. Al fotolitogrāfija
8. Al termoapstrāde (NiCrSi – Al kontaktu veidošana)
9. Pasivācija (HT SiO₂ nogulsnēšana)
10. Pasivācijas slāņa fotolitogrāfija (kontaktlogu veidošana pie Al)

Rezistīvās matricas izgatavošana



RM foto ar NiCrSi rezistoriem $R_s = 5\text{k}\Omega/\square$

Secinājumi

- Šī projekta laikā tika apstiprināta iespēja ražot augstas pretestības rezistorus ar zemām RTK vērtībām.
- Lai apstiprinātu tehnoloģiskos risinājumus, bija izstrādāti un saražoti mikroshemas, izmantojot jaunas tehnoloģijas.