



Vienošanās Nr.1.1.1.1/16/A/013 "Hibrīdās enerģijas ieguves sistēmas"

Projektā sasniegto rezultātu apraksts 2.pārskata periodā

(01.06.2017.-31.07.2017.)

1.1.projekta darbība

2. pārskata perioda ietvaros izgatavotas un testētas 20 jaunas paraugu kombinācijas. Modificēti vairāki iepriekš identificētie materiāli TENG izgatavošanai. Ar visplašākajām modificēšanas iespējām raksturojas PVDF.

1. Paraugu kombinācijas

Dotā rezultāta sasniegšanai, tika iegūtas dažādu materiālu plānās kārtiņas uz elektrodiem. Iegūtas modificētas PVA kārtiņas, kas šķērssaistītas ar glioksālu (PVA-G). Iegūtie PVA-G paraugi nenesa prognozētos rezultātus – mērījumi liecina, ka nav notikusi pilnīga –OH grupu aizvietošanās, kā rezultātā traucēta elektrostatiskā lādiņa veidošanās.

Modificēts PDMS. Modificēšanas rezultātā mainīta PDMS šķērssaistīšanās pakāpe, mainot PDMS/ šķērssaistīšanas aģenta attiecības. Iegūtas kompozīcijas (PDMS-10:0.5, PDMS-10:1, PDMS-10:2, PDMS-10:5, PDMS-10:7, PDMS-10:10). PDMS šķērssaistīšanas pakāpe mainīta ar mērķi, lai palielinātu PDMS adhēziju pret ITO un, notiekot heterolītiskai saišu trūkšanai, palielinātos elektrostatiskā lādiņa lielums. Eksperimenti parādīja, ka adhēzijas pieaugumus svārstās kļūdu robežās, kā arī nepastāv korelācija ģenerētā sprieguma lielumam sakļaujot un atraujot PDMS un ITO slāņu. Turpmāk PDMS virsmas ķīmisko grupu sastāvs tika modificēts apstarojot PDMS ar UV gaismu (PDMS-UV), vai apstrādājot ar UV apstarotu PDMS ar HCl (PDMS-HCl) vai NaOH (PDMS-NaOH). Iegūtie rezultāti atspoguļoti 1. tabulā. Vislabākos

*Vienošanās Nr.1.1.1.1/16/A/013 "Hibrīdās enerģijas ieguves sistēmas"*

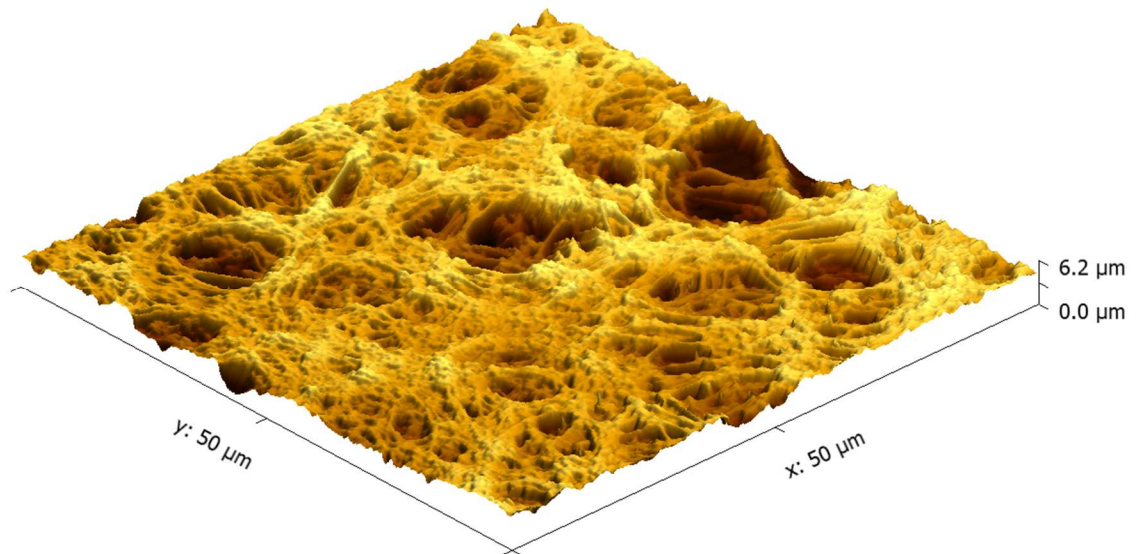
rezultātus uzrādīja PDMS, kas apstarots ar UV. Ar NaOH apstrādātus paraugus notestēt neizdevās, jo NaOH nokodināja ITO elektroda apakšslāni zem PDMS.

1. tabula. Dažādi modificētu PDMS/ITO TENG ģenerētās atvērta ķēdes sprieguma vērtības.

| Paraugs | Spriegums, V | Adhēzija, N |
|-----------------------|--------------|-------------|
| PDMS (10:1) | 33 | 2,7 |
| PDMS + UV 1h | 92 | 2,8 |
| PDMS + UV + HCl 1.5h | 62 | 6 |
| PDMS + UV + HCl 3.5h | 44,5 | 3,2 |
| PDMS + UV + NaOH 1.5h | noēda ITO | |
| PDMS + UV + NaOH 3.5h | noēda ITO | |

Turpmāko eksperimentu gaitā kā materiāls TENG izgatavošanai tika detalizēti testēti PVDF. PVDF tika testēts pret dažādiem citiem materiāliem (Cu, EC, ITO). Kontaktējot PVDF ar Cu, EC un ITO atvērta ķēdes spriegums 80, 50 un 200V. Ar iemērkšanas-izgulsnēšanas metodi tika izgatavoti dažādi PVDF, izmantojot atšķirīgus antisolventus – metanolu, ūdeni, acetonu, toluolu, heksānu, hloroformu, tetrahidrofurānu un 2-propanolu. No nosauktajiem šķīdinātājiem paraugus izdevās iegūt metanolā (PVDF-MeOH), ūdenī (PVDF-H₂O), toluolā (PVDF-Tol), heksānā (PVDF-Hex) un hloroformā (PVDF-CHCl₃). Jauniegūtie PVDF paraugi tika testēti kombinācijā ar PDMS. Augstākās atvērta ķēdes sprieguma vērtības (līdz pat 400V) tika ģenerētas ar metanolā iegūtu PVDF. Rezultāti skaidrojami ar to, ka izmantojot metanolu veidojas PVDF ar raupju virsmu. Metanolā iegūta PVDF virsmas AFM mikrofotogrāfija parādīta 1. attēlā.

Vienošanās Nr.1.1.1.1/16/A/013 "Hibrīdās enerģijas ieguves sistēmas"



1. attēls. Ar iemērķšanas-izgulsnēšanas metodi antisolventā metanolā iegūta PVDF AFM mikrofotogrāfija

Jauniegūto paraugu kombinācijas apkopotas 2. tabulā.

2. tabula. Paraugu kombinācijas

| Nr. | Materials 1 | Materials 2 |
|-----|------------------------|-------------|
| 1. | PDMS | PVA-G/75 |
| 2. | PDMS | PVA-G/50 |
| 3. | PDMS | PVA-G/25 |
| 4. | PDMS-10:0.5 | ITO |
| 5. | PDMS-10:1 | ITO |
| 6. | PDMS-10:2 | ITO |
| 7. | PDMS-10:5 | ITO |
| 8. | PDMS-10:7 | ITO |
| 9. | PDMS-10:10 | ITO |
| 10. | PDMS-HCl | ITO |
| 11. | PDMS-NaOH | ITO |
| 12. | PVDF-MeOH | PDMS |
| 13. | PVDF | ITO |
| 14. | PVDF | Cu |
| 15. | PVDF | EC |
| 16. | PVDF-MeOH | PDMS |
| 17. | PVDF-H ₂ O | PDMS |
| 18. | PVDF-Tol | PDMS |
| 19. | PVDF-Hex | PDMS |
| 20. | PVDF-CHCl ₃ | PDMS |



Vienošanās Nr.1.1.1.1/16/A/013 "Hibrīdās enerģijas ieguves sistēmas"

1.2. projekta darbība

1.posms

1. Paraugu izgatavošana

Elektrodu izgatavošanai vispirms nepieciešams izveidot superelastīgu nanostrukturētu oglekļa daļiņu (Carbon Black – CB) un poliizoprēna (PI) gumijas kompozītu PICB25, kurā oglekļa daļiņu daudzums ir 25 masas daļas uz 100 masas daļām gumijas. Pēc tam superelastīgais kompozītmateriāls tiek vulkanizēts uz misiņa folijas, kas mūsu paraugos kalpo kā strāvas kolektors, lai izveidotu pjezopermitīva kompozītmateriāla PICB25 elektrodus. Paraugu izgatavošanai uz elektroda materiāliem, kuri ir apstrādāti ar smilšpapīru virsmas raupjuma palielināšanai, sākotnēji tika uzklāts plāns PVS/H₃PO₄ elektrolīta slānis. Dažos paraugos uz elektrodiem tika pievienotas arī oglekļa daļiņas un/vai izmantotas atdalošās membrānas. Apvienojot divus šādus pārklātus elektrodus, iegūts paraugs P2F, kura izveidošanā netika izmantota nedz oglekļa daļiņu uznešana uz elektrodiem, nedz atdalošās membrānas ievietošana starp elektrodiem. Parauga P2F-NEAP elektrodi netika apstrādāti ar smilšpapīru. Izveidotie paraugi un to apzīmējumi norādīti 1. tabulā.

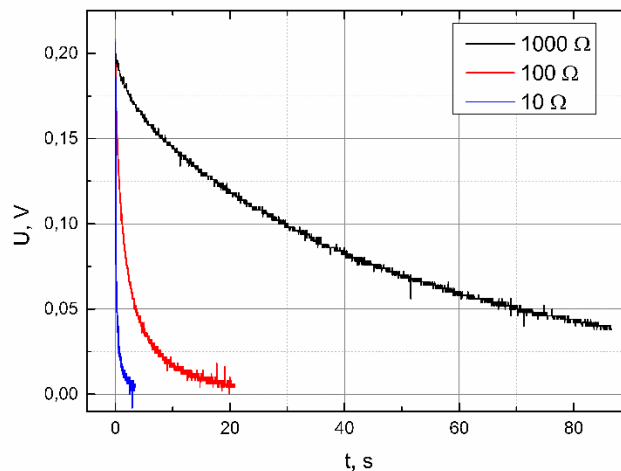
2. tabula. Izveidotie paraugi un to konstrukcija

| Paraugš | Nanostrukturētas oglekļa daļiņas uz elektroda | Papildus PVS/H ₃ PO ₄ plēvīte starp elektrodiem | Atdalošā membrāna |
|---------------|---|---|---|
| P2F | | | |
| P2F-CB | X | | |
| P2F-GF | | | <i>Whatmann filter GF/B</i> (poru izmērs – 1 μm) |
| P2F-CB-PAPĪRS | X | | Papīra loksne |
| P2F-CB-PTFE | X | | <i>Millipore PTFE membrane</i> (poru izmērs – 0,2 μm) |
| P2F-CB-PP | X | | <i>Celgard PP membrane</i> (poru izmērs – 25 μm) |
| P2F-CB-GF | X | X | <i>Whatmann filter GF/B</i> (poru izmērs – 1 μm) |
| P2F-NEAP | | X | |

Vienošanās Nr.1.1.1.1/16/A/013 "Hibrīdās enerģijas ieguves sistēmas"

3. Paraugu raksturošanas metodes

Paraugu izlādes mērījumi veikti paraugus uzlādējot ar pārnēsājamu līdzstrāvas avotu līdz 0,2 V spriegumam. Atvienojot strāvas avotu, tika novērota parauga izlāde un tās ātrums tika mainīts, izmantojot rezistoru matricu, kurā tika iestatīta pretestība, caur kuru notiek izlāde. Paraugu izlāde tika noteikta pie šādām pretestībām R_{izl} – 10 k Ω , 1 k Ω , 100 Ω un 10 Ω . Ne visiem paraugiem bija iespējams novērot izlādes procesu pie katras no šīm pretestībām. Visilgāko izlādes procesu varēja novērot paraugam P2F-CB-GF, tā izlādes līknes redzamas 1. attēlā. Sprieguma samazināšanās izlādes laikā tika fiksēta ar digitālo osciloskopu. Izlādes līknes tika izmantotas īpatnējās kapacitātes, enerģijas un jaudas aprēķiniem.

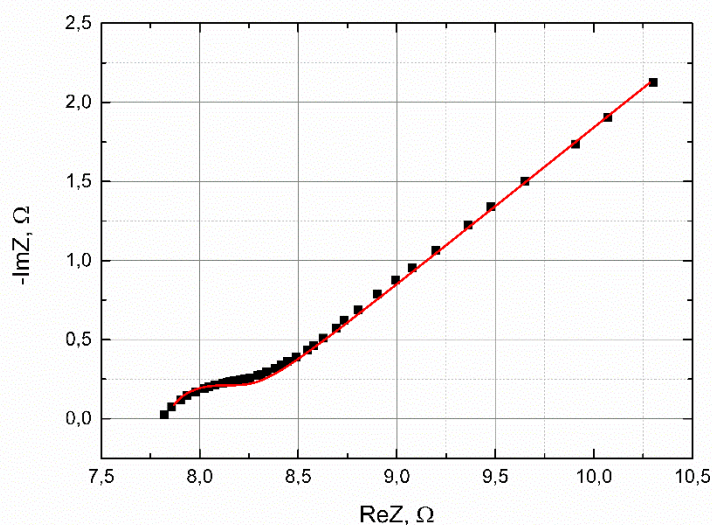


4. att. P2F-CB-GF izlādes līknes.

Impedances mērījumi paraugiem tika veikti, izmantojot Agilent LCR metru. Mērījumos tika uzņemta impedances Z un tās leņķa θ atkarība no maiņstrāvas signāla frekvences (20 Hz – 2 MHz) un izmantotā signāla spriegums ir izvēlēts 10 mV. Mērījumos iegūtās impedances Z vērtības un atbilstošais leņķis θ tika izmantoti, lai aprēķinātu impedances reālo daļu ReZ un tās imagināro daļu ImZ . Šos datus, impedances reālās un imaginārās daļas atkarību no frekvences,

Vienošanās Nr.1.1.1.1/16/A/013 "Hibrīdās enerģijas ieguves sistēmas"

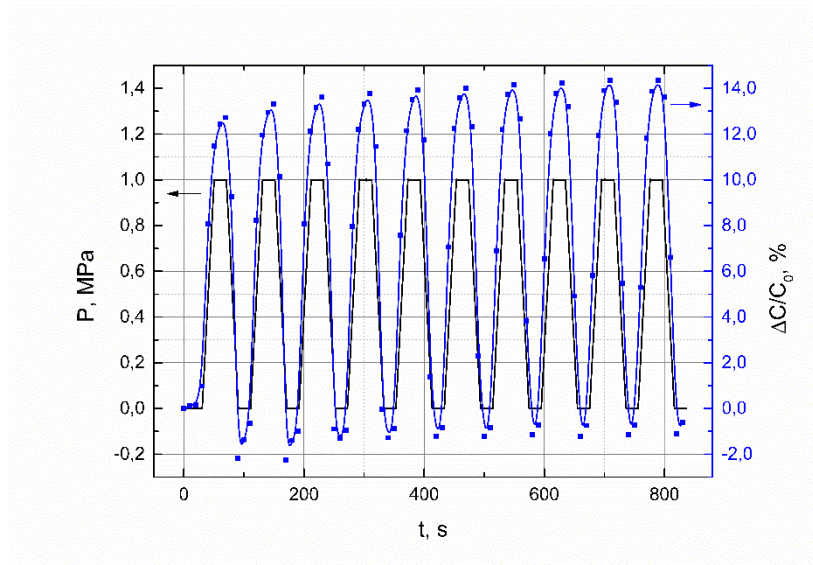
ir iespējams analizēt, izmantojot EIS analīzes programmatūru. No EIS analīzes datiem tika iegūtas parauga lādiņa pārneses pretestības un ekvivalentās virknes pretestības. Vismazākās pretestības tika atrastas arī paraugam P2F-CB-GF, tā EIS mērījumu dati un attiecīgi analizē iegūtais aproksimējums attēlots 2. attēlā.



5. att. P2F-CB-GF mērījumos iegūtie impedances punkti un EIS analīzē iegūtā aproksimētā līkne.

Paraugu spiedes eksperimenti tika veikti, izmantojot Zwick/Roell universālo materiālu testēšanas iekārtu, bet kapacitātes vērtības to laikā tika mērītas ar Agilent LCR metru, kurš tika izmantots arī paraugu impedances spektra iegūšanai. Spiedes eksperimenti tika veikti, izvēloties trīs dažādus maksimālos saspiešanas spēkus $F = 25\text{ N}$, 50 N un 100 N . Tā kā parauga laukums, uz kuru iedarbojas ar spēku F , ir 1 cm^2 , tad maksimālie spiedieni bija $0,25\text{ MPa}$, $0,50\text{ MPa}$ un $1,00\text{ MPa}$. Spiediena sensorefekts padziļināti ir izpētīts paraugam P2F-CB-GF, kuram piemīt augstāka īpatnējā kapacitāte un 3. attēlā ir redzama kapacitātes izmaiņas uz paraugu iedarbojoties ar 10 sloģošanas cikliem.

Vienošanās Nr.1.1.1.1/16/A/013 "Hibrīdās enerģijas ieguves sistēmas"



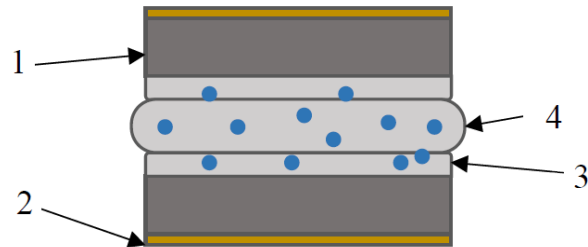
6. att. Kapacitātes izmaiņa paraugu slogojot 10 reizes ar 1 Mpa spiedienu.

2.posms

1. Izgatavotie paraugi

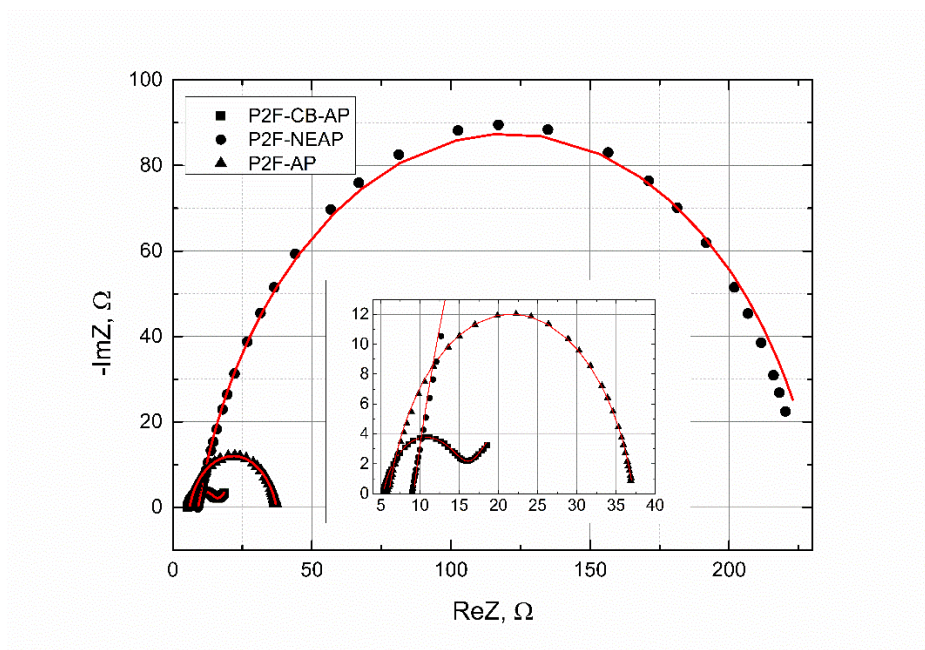
Lai noteiktu, kā elektroda virsmas īpatnējais laukums ietekmē kapacitāti, tika izgatavoti divi paraugi, kuru uzbūve līdzinājās paraugam P2F-NEAP, kura elektroda virsmas netika apstrādātas smilšpapīru un bija salīdzinoši gludas pēc vulkanizācijas procesa. Paraugu izgatavošanā tika izmantots iepriekš minētais PVA/H₃PO₄ elektrolīts un PICB25 elektrodi. Paraugam, nodēvētam kā P2F-AP, elektroda materiāli tika mehāniski apstrādāti ar nolūku palielināt to virsmas efektīvo laukumu, kurš nonāk saskarē ar elektrolītu. Trešā parauga P2F-CB-AP elektrodi tika ne tikai mehāniski apstrādāti, bet uz tiem arī tika uznestas nanostrukturētas oglekļa daļiņas. Paraugu konstrukcijas shēma redzama 1. att.

Vienošanās Nr.1.1.1.1/16/A/013 "Hibrīdās enerģijas ieguves sistēmas"



1. att. Struktūras shematisks attēlojums, kurā: 1) PICB25 elektrodi, 2) misiņa folijas, kas kalpo kā strāvas kolektori, 3) uz elektrodiem uzklāts PVS/H₃PO₄ elektrolīts un 4) PVS/H₃PO₄ plēvīte

EIS analīzes rezultāti sniedz informāciju, ka starp paraugiem P2F-NEAP, P2F-AP un P2F-CB-AP viszemāko lādiņa pārneses pretestību uzrāda paraugs P2F-CB-AP. EIS analīzes līknes ir attēlotas 2. att.



2. att. EIS mērījumu punkti un aproksimētās līknes

*Vienošanās Nr.1.1.1.1/16/A/013 "Hibrīdās enerģijas ieguves sistēmas"*

Attiecīgi pārbaudot šo paraugu sensorefektu ir novērojams, ka vislielākais īpatnējās kapacitātes pieaugums ir novērojams paraugam P2F-CB-AP. Šo trīs paraugu absolūtās kapacitātes vērtības izmaiņa uz tiem iedarbojoties ar 0,25 MPa spiedienu ir redzama 1. tabulā.

1. tabula. Kapacitātes izmaiņa iedarbojoties ar 0,25 MPa spiedienu.

| Paraugs | P2F-CB-AP | P2F-AP | P2F-NEAP |
|---------------------------------|-----------|---------|----------|
| $\Delta C, F$ | 9,65E-5 | 1,54E-6 | 4,63E-7 |

Projekta īstenošanas vieta: Paula Valdena iela 3, Rīga

Projekta zinātniskais vadītājs: vadošais pētnieks Andris Šutka

Projekta administratīvais vadītājs: Evija Plone

© Rīgas Tehniskā universitāte, 2017

Publicēts RTU mājas lapā 04.09.2017.