



I E G U L D Ī J U M S T A V Ā N Ā K O T N Ē

**Informatīvais ziņojums par ERAF projektā No. 1.1.1.1/16/A/203, “Daudzslāņu silīcija nanokondensators ar uzlabotiem dielektriskiem slāņiem” paveikto laika posmā 01.11.2018.-31.01.2019.**

Pēc projekta īstenošanas 22 mēnešiem saskaņā ar projekta plānu **2018. gada 28. decembrī tika sasniegts projekta vidusposms**, un pabeigta projekta 1. aktivitātes īstenošana. 1. un 2. aktivitāšu rezultāti tika iekļauti vidusposma izvērtējumā. No 2019. gada 2. janvāra ir uzsākta 3. aktivitātes īstenošana. Projekta vidusposma galvenie rezultāti ir uzskaitīti Tabulā 1.

Tabula 1

Projekta vidusposma galvenie rezultāti

Aktivitātes Nr. un nosaukums	Aktivitātes galvenie rezultāti														
<p>1. NC un ON...ON paraugu izgatavošana ar vienā reaktorā sintezētiem N...N slāņiem</p>	<p>1. Tika sasniegtas nanokondensatoru (NC) struktūras ar dažādu Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> dielektrisko nanoslāņu skaitu un biezumu. NC struktūra ir parādīta 1.attēlā, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> slāņu parametri – Tabulā 2.</p> <div data-bbox="667 1205 1177 1496" style="text-align: center;"> </div> <p>1.att. Sasniegto NC struktūra (<i>d</i> – slāņu biezums, μm).</p> <p style="text-align: right;">Tabula 2</p> <p style="text-align: center;">Vienslāņa un daudzslāņa Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> struktūru parametri</p> <table border="1" data-bbox="491 1653 1348 1863" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> vienslāņa un daudzslāņu struktūras biezums (<i>d</i>), nm</th> <th colspan="2">Nanoslāņu skaits</th> </tr> <tr> <th>Daudzslāņu struktūra</th> <th>Vienslāņa struktūra</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20</td> <td>3</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>5</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>5</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> <p>2. Izgatavoti NC slāņu pavadošās struktūras ar Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanoslāņiem, kas uzklāti uz SiO<sub>2</sub> vai PolySi (2.(a) un (b) attēli). Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> slāņu struktūra atbilst Tabulā 2 uzrādītajiem datiem.</p>	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> vienslāņa un daudzslāņu struktūras biezums ( <i>d</i> ), nm	Nanoslāņu skaits		Daudzslāņu struktūra	Vienslāņa struktūra	20	3	1	40	5	1	60	5	1
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> vienslāņa un daudzslāņu struktūras biezums ( <i>d</i> ), nm	Nanoslāņu skaits														
	Daudzslāņu struktūra	Vienslāņa struktūra													
20	3	1													
40	5	1													
60	5	1													

	<div style="text-align: center;"> <p>(a)</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td style="text-align: center;"><math>\text{Si}_3\text{N}_4</math></td><td style="text-align: center;"><math>d = \text{according to table 2}</math></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Poly – Si</td><td style="text-align: center;"><math>d = 0.4</math></td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><math>\text{SiO}_2</math></td><td style="text-align: center;"><math>d = 0.1</math></td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Si wafer</td></tr> </table> <p>(b)</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td style="text-align: center;"><math>\text{Si}_3\text{N}_4</math></td><td style="text-align: center;"><math>d = \text{according to table 2}</math></td></tr> <tr><td style="text-align: center;"><math>\text{SiO}_2</math></td><td style="text-align: center;"><math>d = 0.1</math></td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Si wafer</td></tr> </table> </div> <p>2.att. NC pavadošo paraugu struktūra (<math>d</math> – slāņu biezums, <math>\mu\text{m}</math>): (a) Si-SiO<sub>2</sub>-PolySi-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>; (b) Si-SiO<sub>2</sub>-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Izgatavotie NC un to slāņu pavadošās struktūras tika raksturoti 2.aktivitātē.</li> <li>Noteikts, ka 40 un 60 nm biežam Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> dielektriķim ir mazāka graudainība nekā 20 nm biežam dielektriķim, līdz ar to, izmantojot daudzslāņu dielektriķi, ir sagaidāma augstāka NC kvalitāte.</li> <li>Izstrādātas rekomendācijas par tehnoloģisko parametru izvēli N...N slāņu iegūšanai vienā reaktorā (<b>projekta iznākuma rādītājs</b>).</li> </ol>	$\text{Si}_3\text{N}_4$	$d = \text{according to table 2}$	Poly – Si	$d = 0.4$	$\text{SiO}_2$	$d = 0.1$	Si wafer		$\text{Si}_3\text{N}_4$	$d = \text{according to table 2}$	$\text{SiO}_2$	$d = 0.1$	Si wafer	
$\text{Si}_3\text{N}_4$	$d = \text{according to table 2}$														
Poly – Si	$d = 0.4$														
$\text{SiO}_2$	$d = 0.1$														
Si wafer															
$\text{Si}_3\text{N}_4$	$d = \text{according to table 2}$														
$\text{SiO}_2$	$d = 0.1$														
Si wafer															
<p>2. N...N, ON...ON un NC raksturošana, t.sk. pēc apstarošanas un karsēšanas</p>	<p>Nopublicēti 2 zinātniski raksti un 1 raksts pieņemts publicēšanai SCOPUS datubāzē iekļautajā žurnālā vai konferenču rakstu krājumā:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Avotina, L., Pajuste, E., Romanova, M., Enichek, G., Zaslavskis, A., Kinerte, V., Avotins, J., Dekhtyar, Yu., Kizane, G. Surface morphology of single and multilayer silicon nitride dielectric nano-coatings. <i>Materials Science (Medžiagotyra)</i> (pieņemts publicēšanai)</li> <li>Dekhtyar, Yu., Avotiņa, L., Enichek, G., Romanova, M., Schmidt, B., Shulzinger, E., Sorokins, H., Vilken, A., Zaslavskis, A. Interface of Silicon Nitride Nanolayers with Oxygen Deficiency. <i>2018 16th Biennial Baltic Electronics Conference</i>, Estonia, Tallinn, 8-10 October, 2018. Tallinn University of Technology: 2018, pp.1-4. <a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/8600964">https://ieeexplore.ieee.org/document/8600964</a></li> <li>Avotiņa, L., Pajuste, E., Romanova, M., Zaslavskis, A., Enichek, G., Kinerte, V., Zariņš, A., Lescinskis, B., Dekhtyar, Yu., Kizane, G. FTIR Analysis of Electron Irradiated Single and Multilayer Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Coatings. <i>Key Engineering Materials</i>, 2018, 788, pp.96-101. <a href="http://www.scientific.net/KEM.788.96">www.scientific.net/KEM.788.96</a></li> </ol> <p>Aktivitātes rezultāti prezentēti 11 starptautiskās zinātniskās konferencēs:</p> <p>A) <u>Prezentācijas konferencēs ar publikācijām konferenču rakstu krājumā vai tēžu grāmatinā:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Yu. Dekhtyar, L. Avotiņa, G. Enichek, M. Romanova, B. Schmidt, E. Shulzinger, H. Sorokins, A. Viļķens, A. Zaslavskis. Interface of Silicon Nitride Nanolayers with Oxygen Deficiency. <i>2018 16<sup>th</sup> Biennial Baltic Electronics Conference</i>, Estonia, Tallinn, 8-10 October, 2018. <a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/8600964">https://ieeexplore.ieee.org/document/8600964</a></li> <li>L. Avotina, E. Pajuste, M. Romanova, A. Zaslavskis, G. Enichek, V. Kinerte, Yu. Dekhtyar, G. Kizane. Modifications of Silicon Nitride Bonds under Action of Accelerated Electrons. <i>RACIRI 2018 Summer School</i>, Germany, Rügen, 25 Aug-1 Sep., 2018.</li> <li>E. Pajuste, M. Romanova, L. Avotina, G. Enichek, A. Zaslavskis, V. Kinerte, Yu. Dekhtyar, G. Kizane. Surface Morphology of Single and</li> </ol>														

	<p>Multilayered Silicon Nitride Dielectric Nanocoatings. <i>20<sup>th</sup> International Conference-School "Advanced Materials and Technologies"</i>, Lithuania, Palanga, 27-31 August, 2018</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. L. Avotina, E. Pajuste, M. Romanova, A. Zaslavskis, V. Kinerte, B. Lescinskis, Yu. Dekhtyar, G. Kizane. FT-IR Analysis of Electron Irradiated Single and Multilayer Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Coatings. <i>8<sup>th</sup> International Conference on Silicate Materials "BaltSilica 2018"</i>, Latvia, Riga, 30 May-1 Jun., 2018. <a href="https://www.scientific.net/KEM.788.96">https://www.scientific.net/KEM.788.96</a></li> <li>5. L. Avotina, Yu. Dekhtyar, M. Romanova, E. Shulzinger, B. Schmidt, A. Viļķens, A. Zaslavski, G. Enichek. Silicon Nitride Multi Nanolayer System Fabricated in One Reactor. <i>6<sup>th</sup> International Conference "Telecommunications, Electronics and Informatics (ICTEI 2018)"</i>, Moldova, Chisinau, 24-27 May, 2018.</li> <li>6. M. Romanova, L. Avotiņa, R. Zariņš, A. Zariņš, J. Biteniēks, A. Vilimans, A. Zaslavskis, G. Kizane, Yu. Dekhtyar. Electrical properties of single layer and multilayer Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> dielectric on Si substrate. <i>3<sup>rd</sup> International Conference "Innovative Materials, Structures and Technologies" (IMST2017)</i>, 27-29 September, 2017, Riga, Latvia.</li> <li>7. L. Avotina, R. Zarins, E. Pajuste, M. Romanova, J. Biteniēks, J. Zicāns, A. Zaslavskis, Yu. Dekhtyar, G. Kizane. Influence of ionizing radiation on the Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> coatings on Si substrate. <i>19<sup>th</sup> International Conference-School "Advanced Materials and Technologies 2017"</i>, 27-31 August, 2017, Palanga, Lithuania.</li> <li>8. L. Avotina, R. Zarins, M. Romanova, E. Pajuste, A. Zaslavskis, Yu. Dekhtyar, G. Kizane. Characterisation of silicon nitride coatings irradiated with accelerated electrons and bremsstrahlung radiation. <i>International Conference "Functional Materials and Nanotechnologies 2017" (FMNT-2017)</i>, 24-27 April, 2017, Tartu, Estonia.</li> </ol> <p><i>B) Mutiskās prezentācijas konferencēs bez publikācijas:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>9. T. Yager, M. Romanova, Yu. Dekhtyar, A. Zaslavskis, G. Enichek, G. Kizane. Influence of manufacturing technology and ionizing radiation on electron emission properties of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> dielectric nanolayers. <i>59<sup>th</sup> International Scientific Conference of Riga Technical University</i>, October 11, 2018, Riga, Latvia</li> <li>10. L. Avotiņa, E. Pajuste, M. Romanova, A. Zaslavskis, J. Dehtjars, G. Kizane. Characterization of chemical bonds in nanolayers of silicon nitride with FT-IR. <i>76<sup>th</sup> International Scientific Conference of the University of Latvia</i>, Riga, Latvia, February 2, 2018.</li> <li>11. M. Romanova, Yu. Dekhtyar, A. Vilimans, A. Zaslavskis, G. Kizane. Study of electrical defects in Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> dielectric layer. <i>58<sup>th</sup> International Scientific Conference of Riga Technical University</i>, October 13, 2017, Riga, Latvia.</li> </ol>
2.1. Morfoloģijas raksturošana	<p>NC pavadošo slāņu morfoloģija tika raksturota, izmantojot atomspēka mikroskopiju (AFM), skenējošo elektronu mikroskopiju (SEM), optisko mikroskopiju un rentgenstarojuma fotoemisijas spektroskopijas profilēšanu (XPS <i>profiling</i>). Iegūtie galvenie rezultāti:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> virsmā ir graudaina struktūra. Graudu izmērs palielinās, pieaugot Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> biezumam. Graudu izmēra atšķirības vienāda biezuma vienslāņa un daudzslāņu Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> struktūrās netika novērotas.</li> <li>2. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanoslāņu raupjumu ietekmē apakšējais slānis. PolySi slāņa izmantošana sekmē būtisko Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> slāņu raupjuma pieaugumu, kas pasliktina NC elektriskās īpašības. Tāpēc tiek piedāvāts izgatavot NC</li> </ol>

	<p>ar <math>\text{Si}_3\text{N}_4</math> dielektriskiem nanoslāņiem, kas uzklāti uz <math>\text{SiO}_2</math> vai zemās pretestības Si plāksnes.</p> <p>3. <math>\text{Si}_3\text{N}_4</math> slāņu šķērsriezuma mērījumi ar AFM, SEM un XPS profilēšanas metodēm apstiprināja slāņu biezuma atbilstību izgatavošanas laikā plānotajam.</p>
2.2. Elektriskā raksturošana	<p>NC ar daudzslāņu <math>\text{Si}_3\text{N}_4</math> dielektriķi piemīt lielāks caursites spriegums un mazāka noplūdes strāva nekā NC ar vienslāņa dielektriķi, bet zemāka kapacitāte.</p> <p>Daudzslāņu 40 un 60 nm biezs dielektriķis ir ieteicamāks NC ražošanai.</p>
2.3. Ķīmisko saišu raksturošana	<p>Infrasarkanās absorbcijas spektroskopijas (FTIR) mērījumi parādīja, ka izgatavoto <math>\text{SiO}_2</math> un <math>\text{Si}_3\text{N}_4</math> slāņu ķīmiskais sastāvs atbilst <math>\text{SiO}_2</math> un <math>\text{Si}_3\text{N}_4</math> stehiometrijai.</p>
2.4. Karsēšanas un starojuma ietekme	<p>Daudzslāņu NC un to slāņu pavadošās struktūras uzrādīja labākas strukturālās, elektriskās un radiācijas stabilitātes raksturojumus nekā vienslāņa struktūras. 40 un 60 nm biezas daudzslāņu struktūras parādīja augstāku radiācijas stabilitāti salīdzinājumā ar 20 nm biežām struktūrām. Tomēr NC ar vienslāņa un daudzslāņu <math>\text{Si}_3\text{N}_4</math> ir līdzīga termiskā stabilitāte.</p>

Publicēts 25.02.2019.