



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 01.03.2017-25.08.2017.

Nanokondensatori (NC) tiek plaši izmantoti mikro un nano ierīcēs. NC dielektriskais slānis bieži veidots no Si_3N_4 (N) materiāla. Lai palielinātu NC kapacitāti un samazinātu tā izmērus, ir nepieciešams samazināt N slāņa biezumu. Tomēr, samazinot dielektriskā slāņa biezumu, pieaug varbūtība izgatavošanas laikā veidot kanālveida strukturālus defektus, kas pasliktina slāņa dielektriskās īpašības. Strukturālo defektu veidošanos iespējams novērst, izgatavojot dielektrisko slāni, kas sastāv no vairākiem viens uz otra uzklātiem N slāņiem (N...N struktūra). Projekta mērķis ir šādu slāņu izgatavošanas tehnoloģijas izstrāde.

Izgatavošanas tehnoloģijas izstrādes gaitā ir nepieciešams novērtēt dielektrisko slāņu kvalitāti. Lai to izdarītu, ir nepieciešams pētīt N un N...N slāņu morfoloģiju, ķīmiskās saites, kā arī veikt slāņu elektrisko raksturošanu.

Atskaites periodā plānoti sekojošie galvenie uzdevumi:

- Paraugu ar N un N...N slāņiem izgatavošana.
- N un N...N slāņu morfoloģijas, elektriskā un ķīmisko saišu raksturošana.

Papildus veikti priekšizmēģinājumi jonizējošā starojuma iespējamās ietekmes uz N slāņu īpašībām novērtējumam.

Galvenie sasniegtie rezultāti.

Paraugi ar N un N...N dielektriskiem slāņiem.

Paraugu izgatavošanai izmantotas silīcija (Si) pamatnes, uz kurām tika uzklāti N un N...N dielektriskie slāņi, izmantojot zema spiediena ķīmisko tvaiku nogulsnešanas metodi (LPCVD, *Low Pressure Chemical Vapour Deposition*), kuras pamatā ir reakcija starp SiH_4 un NH_3 gāzēm 800 °C temperatūrā. N...N slāņi tika iegūti, vairākas reizes uznesot plānākus N slāņus.

Izgatavoto paraugu N un N...N slāņu daudzumi un biezumi ir apkopoti 1. tabulā.

N un N...N slāņu morfoloģijas, elektriskā un ķīmisko saišu raksturošana.

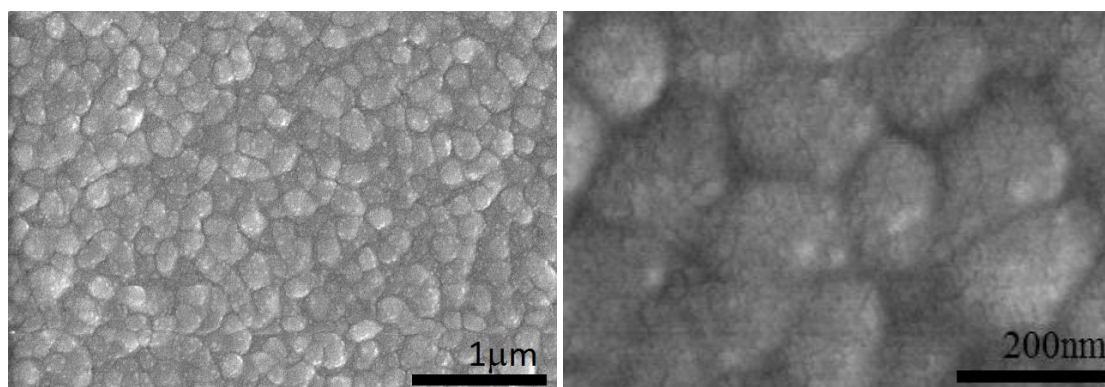
N un N...N slāņu morfoloģijas raksturošana tika veikta, izmantojot skenējošo elektronu mikroskopiju (SEM). SEM analīzes veiktas ar lauka emisijas skenējošo elektronu mikroskopu *Hitachi S-4800*. Izmantotais darba spriegums 5 un 10 kV, strāva – 10 μA .

Paraugu N un N...N slāņu daudzumi un biezumi

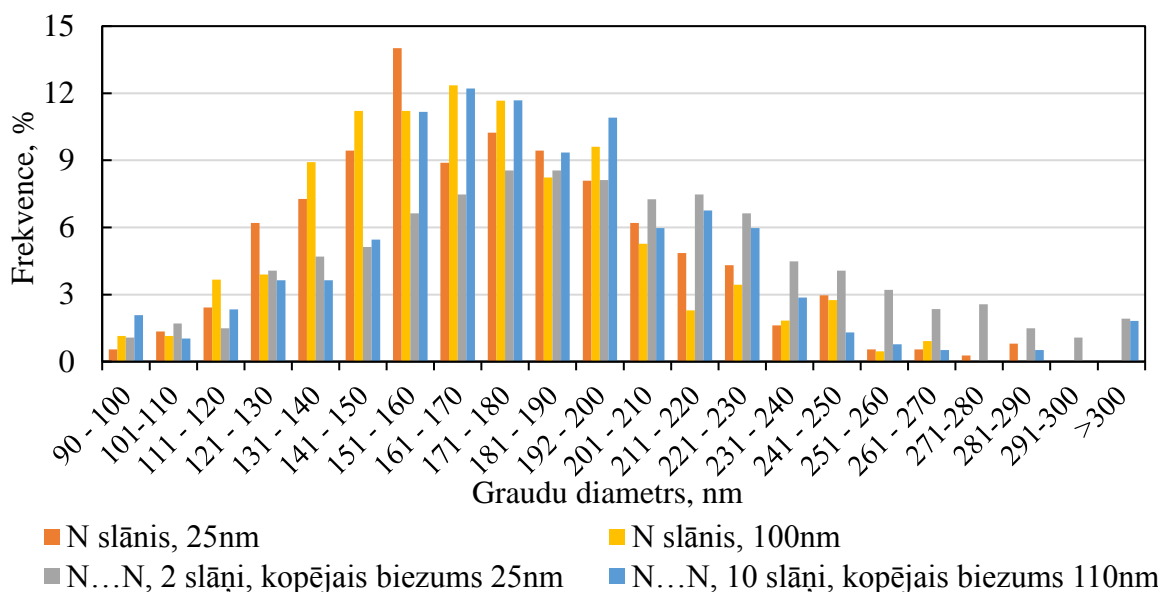
Identifikācijas Nr.	Paraugs		N slāņu skaits	N vai N...N slāņa biezums, nm
	Apraksts			
1.	N slānis		1	25
2.	N slānis		1	100
3.	N...N slānis		2	25
4.	N...N slānis		3	100
5.	N...N slānis		10	110

Lai novērstu paraugu uzlādēšanos SEM attēlu iegūšanas laikā, uz paraugiem tika uzputināts elektrovadošs pārklājums, izmantojot plazmas apputināšanas iekārtu Gatan. Apputināšanas režīmi tika optimizēti paraugu uzlādēšanas pilnīgai neitralizācijai, iegūstot vislabāko attēla kvalitāti. Noteikts, ka optimālākais ir 20 nm biezs Au/Pd pārklājums.

Tika noteikts, ka uz paraugu virsmas atrodas Si_3N_4 graudi (kā piemērs 1.attēlā ir parādītas 25 nm bieza N slāņa uz Si pamatnes SEM mikrogrammas). Graudu diametri paraugiem ar dažādu N slāņu skaitu un biezumu tika mērīti no SEM attēliem, izmantojot datorprogrammu *ImageJ*. Izmantojot *Ms Excel* datu apstrādes rīku “*Data Analysis*”, tika iegūtas graudu diametra sadalījuma histogrammas (2. attēls), vidējais graudu diametrs un tā standartnovirze ir atspoguļotas 2.tabulā. Atšķirības graudu diametros paraugiem ar dažādu N slāņu skaitu un biezumu netika novērotas.



1.attēls. N slāņa ar biezumu 25 nm uz Si pamatnes SEM attēli dažādos palielinājumos



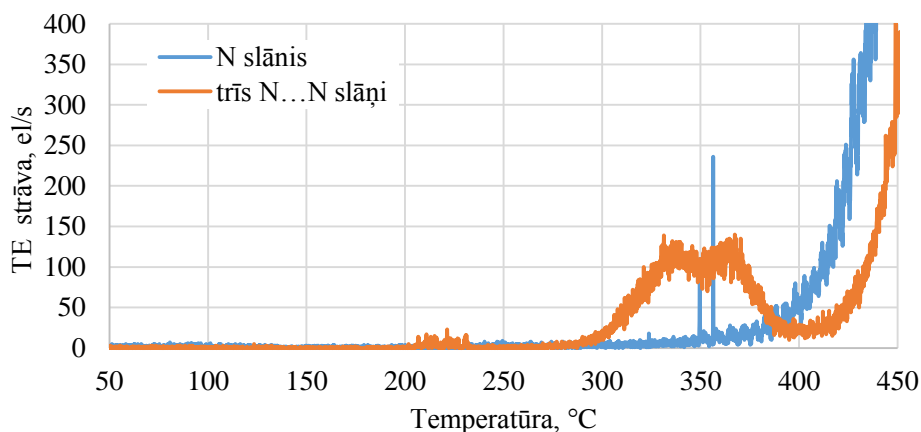
2.attēls. Graudu diametru sadalījuma histogrammas paraugiem ar dažādu N un N...N slāņu skaitu un biežumu

2.tabula

N un N...N slāņu vidējo graudu diametru apkopojums

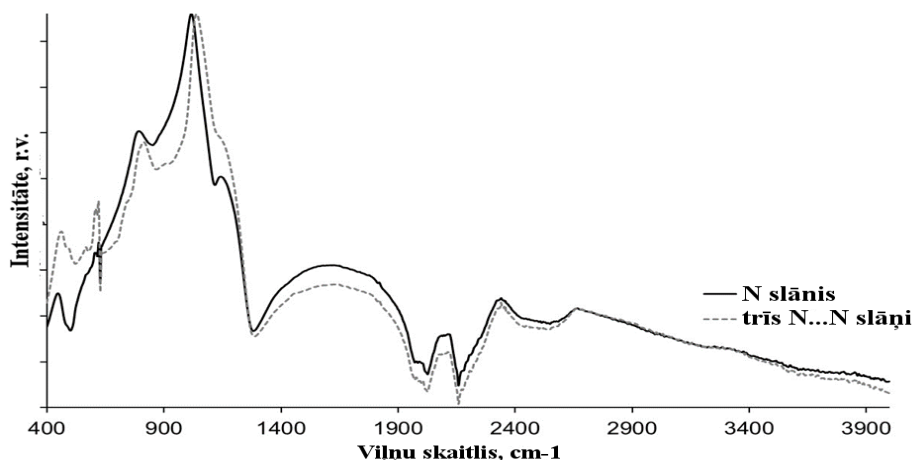
Paraugs		Vidējais graudu diametrs un tā standartnovirze (~99% ticamībā), nm	
Identifikācijas Nr.	Apraksts	Nestartoti paraugi	Apstaroti
1.	N slānis, 25 nm	170±36	170±34
2.	N slānis, 100 nm	190±48	190±37
3.	N...N, biežums 25 nm	170±35	
5.	N...N, biežums 110 nm	180±39	

Elektrisko defektu klātbūtnes noteikšanai N un N...N slāņos tika izmantota termostimulētas elektronu emisijas (TE) metode. TE tika reģistrēta vakuumā 10^{-3} Pa, paraugu sildīšanas ātrums $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Paraugiem ar N...N slāņiem TE spektros (spektru piemērs parādīts 3.attēlā) temperatūras intervālā $300\text{--}400\text{ }^{\circ}\text{C}$ tika novērots TE maksimums, kas savukārt netika novērots N paraugiem. Tika secināts, ka N...N paraugos atrodas defekti.



3.attēls. TE strāva 100 nm biežam N slānim un 100 nm biežam N...N slānim.

N un N...N slāņu ķīmiskās saites tika analizētas, izmantojot Furjē infrasarkanā spektrometru (FTIR) *Bruker Vertex 70v*, pilnīgas iekšējas atstarošanas režīmā (*Attenuated total reflection – ATR*). Spektri reģistrēti vakuumā, 2,95 hPa. FTIR spektros galvenokārt novēro signālus, kas atbilst Si-Si, Si-N saitēm (reģionā 450-1450 cm^{-1}) (4.attēls).

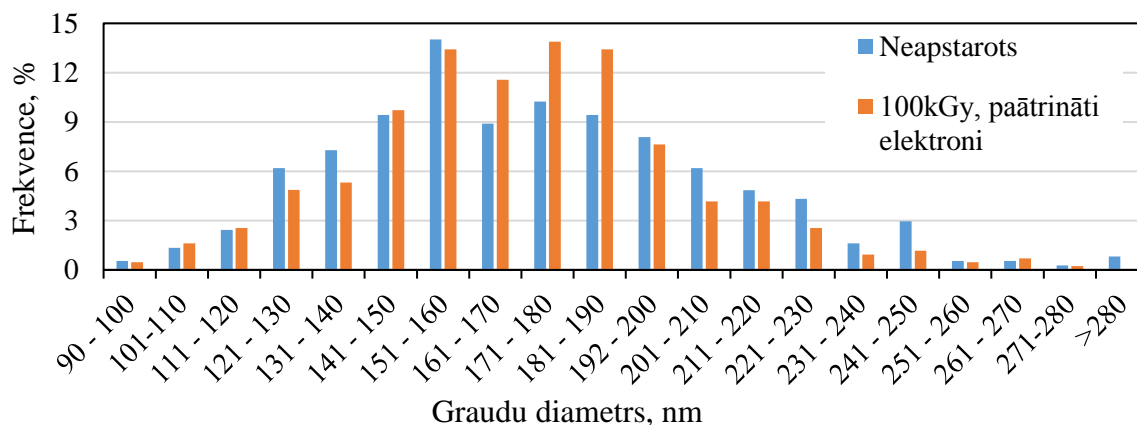


4.attēls. 100 nm bieza N slānim un 100 nm bieza N...N slāņa uz Si pamatnes FTIR ART spektrs

Jonizējošā starojuma iespējama ietekme uz N slāņu īpašībām.

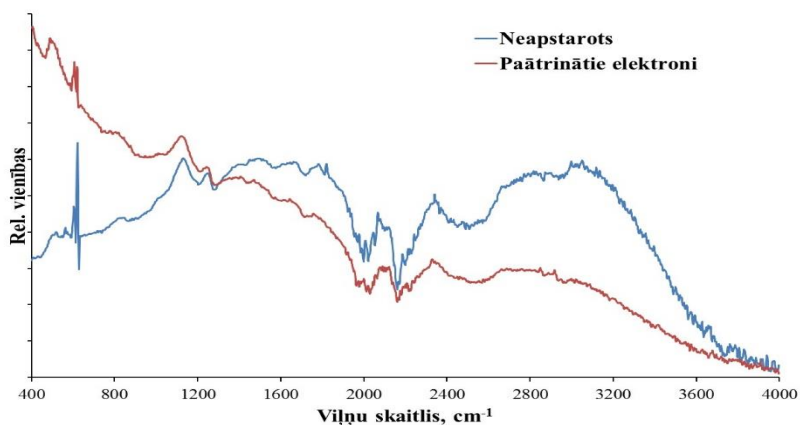
Lai novērtētu dielektrisko slāņu noturību pret jonizējošo starojumu, uzsākti apstarošanas priekšmēģinājumi, kuru laikā paraugi Nr. 1 un 2 (1.tabula) apstaroti ar paātrinātiem elektroniem (5 MeV) ar dozu 100 kGy, izmantojot lineāro elektronu paātrinātāju ELU-4. Apstarošana veikta istabas temperatūrā, gaisā, 90 cm attālumā no paātrinātāja izejas.

Atšķirības Si_3N_4 graudu diametros paraugiem ar dažādu N slāņu skaitu un biezumu netika novērotas, kā arī virsmas morfoloģija nav mainījies pēc starošanas (5. attēls).



5.attēls. Graudu diametru sadalījuma histogrammas neapstarotam un ar paātrinātiem elektroniem apstarotam 25 nm biezam N slānim

FTIR spektru (6. attēls) analīze parādīja, ka apstarošanas rezultātā mainās dažu signālu savstarpējās intensitātes spektra apgabalā 460-550 cm^{-1} . Šajā apgabalā ir signāli no silīcija-slāpekļa (Si-N) saitēm. Turpmāk signālu intensitātes plānots izmantot, lai novērtētu starošanas ietekmi uz Si-N saitēm.



6.attēls. Neapstarota un apstarota N slāņa ar biezumu 25 nm uz Si pamatnes FTIR spektri

Secinājumi

1. Tika izgatavoti paraugi ar N un N...N slāņiem uz Si pamatnes.
2. Dielektrisko slāņu biezums, kā arī to apstarošana ar paātrinātiem elektroniem (5 MeV, 100 kGy), neietekmē N un N...N slāņu graudainību.
3. N...N slāņos atrodas defekti, kas netika novēroti N slāņos.
4. Elektronu starojums (5 MeV, 100 kGy), iespējams, rekonstruē Si-N saites.