

სენსორული ელექტრონიკისა და მასალათმცოდნეობის სამეცნიერო-ტექნოლოგიური ცენტრი

2018 წელს გაწეული სამეცნიერო-კვლევითი საქმიანობის ანგარიში

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სენსორული ელექტრონიკისა და მასალათმცოდნეობის სამეცნიერო-ტექნოლოგიური ცენტრი

1. სამეცნიერო პუბლიკაციები იმპაქტ-ფაქტორიან გამოცემებში:

№	პუბლიკაციის ავტორი/ავტორები	ჟურნალი, ტომი, გვერდი	პუბლიკაციის დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI
1	Microstructure and high temperature properties of Al rich diffusion zone on the surface of 9% Cr steel P92 ავტ. ოლღა წურწუშია	Research & reviews: Journal of Materials sciences	ISSN: 2321-6212 Vol.6 DOI: 10.4172/2321-6212-C8-035

2. სხვა პუბლიკაციები:

№	პუბლიკაციის ავტორი/ავტორები	ჟურნალი, ტომი, გვერდი	პუბლიკაციის დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN
1	მოდულირებული გრაფენის ოქსიდით გაძლიერებული მატრიცული კომპოზიტები ალუმინის ოქსიდის ბაზაზე და მათი კვლევა. თ.კუჭუხიძე, ნ.ჯალაღონია, ეკატერინე სანაია, კ.ბარბაქაძე, ფ.მარკიზი, გ.ბოკუჩავა.	საკონფერენციო კრებული - ICMSF 2018: მე-20 საერთაშორისო კონფერენცია მასალების სინთეზა და წარმოებაში. პარიზი, საფრანგეთი, 2018 წ.	

5. საერთაშორისო სამეცნიერო პროექტები

№	დამფინანსებელი ორგანიზაცია/სამეცნიერო ფონდი, ქვეყანა	პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი	პროექტში ჩართული პერსონალი/როლი	პროექტის სათაური	პროექტის განხორციელების პერიოდი
1	STCU	# 7091	ოლღა წურწუშია	Development and	2018-2020

			/მკვლევარი	characterization of antifriction/frictional nanocomposites based on PTFE and CNPs doped with ferromagnetic clusters	
--	--	--	------------	---	--

6. შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიერ დაფინანსებული პროექტები

№	პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი	პროექტში ჩართული პერსონალი/როლი	პროექტის სათაური	პროექტის განხორციელების პერიოდი
1	#STCU-2017-33	ოლღა წურწუმია /მკვლევარი	პოლიტეტრაფტორეთილენისა და ფერომგანიტური კლასტერებით დოპირებული ნახშირბადის ნანონაწილაკების ბაზის ახალი ანტიფრიქციული/ ფრიქციული ნანოკომპოზიტების მიღება და კვლევა	2018-2020

7. სხვა შედეგები:

7.1. პუბლიკაცია საერთაშორისო კონფერენციის მასალებში

№	პუბლიკაციის ავტორი/ები	კონფერენციის სახელწოდება და ჩატარების ადგილი	პუბლიკაციის დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN
1	Olga Tsurtsunia, Elguja Kutelia ¹ , Maria Mosquera ² , Nicole Wollschläger ² , Benjamin Gregoire ³ , Tengiz Kukava ¹ , Fernando Pedraza ³ , Axel Kranzmann ² , Sayavur Bakhtiyarov ⁴ ¹ Republic Center for Structure Research, Georgian Technical University, Georgia ² Bundesanstalt für Materialprüfung und Forschung, Germany ³ Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement, Université de La Rochelle, France ⁴ New Mexico Institute of Mining and Technology, USA	მე-15 საერთაშორისო კონფერენცია და გამოფენა მასალათმცოდნეობაში და ინჟინერინგში (15 th international conference and exhibition on Materials science and Engineering), ატლანტა, ჯორჯია, აშშ	ISSN: 2321-6212 Vol.6 DOI: 10.4172/2321-6212-C8-035

2	O.Tsurtsumia, N.Khidasheli, E.Kutelia, T.Kukava, F.Pedraza. B.Gregoire	მე-6 საერთაშორისო კონფერენცია ნანო და მასალათმცოდნეობაში (International Conference on Nano and Materials Science ICNMS 2018), ქ. ორლანდოს (აშშ) სატელიტი ქალაქი ლეიქლენდი, ფლორიდის პოლიტექნიკურ უნივერსიტეტში	DOI: 10.1063/1.5034319
---	---	--	------------------------

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სენსორული ელექტრონიკისა და მასალათმცოდნეობის სამეცნიერო-ტექნოლოგიური ცენტრი

ცენტრის ხელმძღვანელი - ფიზიკის აკადემიური დოქტორი, ასისტენტ პროფესორი - გიორგი კობახიძე (599 565 927 g.kobakhidze25@yahoo.com)

სამეცნიერო ერთეულის პერსონალური შემადგენლობა:

დოქტორი - ეკატერინე სანაია;

დოქტორი - ოლღა წურწუშია;

დოქტორი - ნანა გამყრელიძე.

1. პროგრამული დაფინანსებით შესრულებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები

1.1.

№	გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	2	3	4
1	დანაფარების მნიშვნელობა DADI-ს ტიპის მასალების მაღალტემპერატურული თვისებების გაუმჯობესებისათვის (ფიზიკა, მასალათმცოდნეობა)	2018-2020	ხელმძღვანელი - გიორგი კობახიძე ავტორი - ოლღა წურწუშია თანამონაწილე - ეკატერინე სანაია თანამონაწილე - ნანა გამყრელიძე
2	მოდულიზირებული გრაფენის ოქსიდით გაძლიერებული	2018-2020	ხელმძღვანელი - გიორგი კობახიძე ავტორი - ეკატერინე სანაია

<p>მატრიცული კომპოზიტები ალუმინის ოქსიდის ბაზაზე და მათი კვლევა (ფიზიკა, მასალათმცოდნეობა)</p>		<p>თანამონაწილე - ოლა წურჭუშია თანამონაწილე - ნანა გამყრელიძე</p>
--	--	--

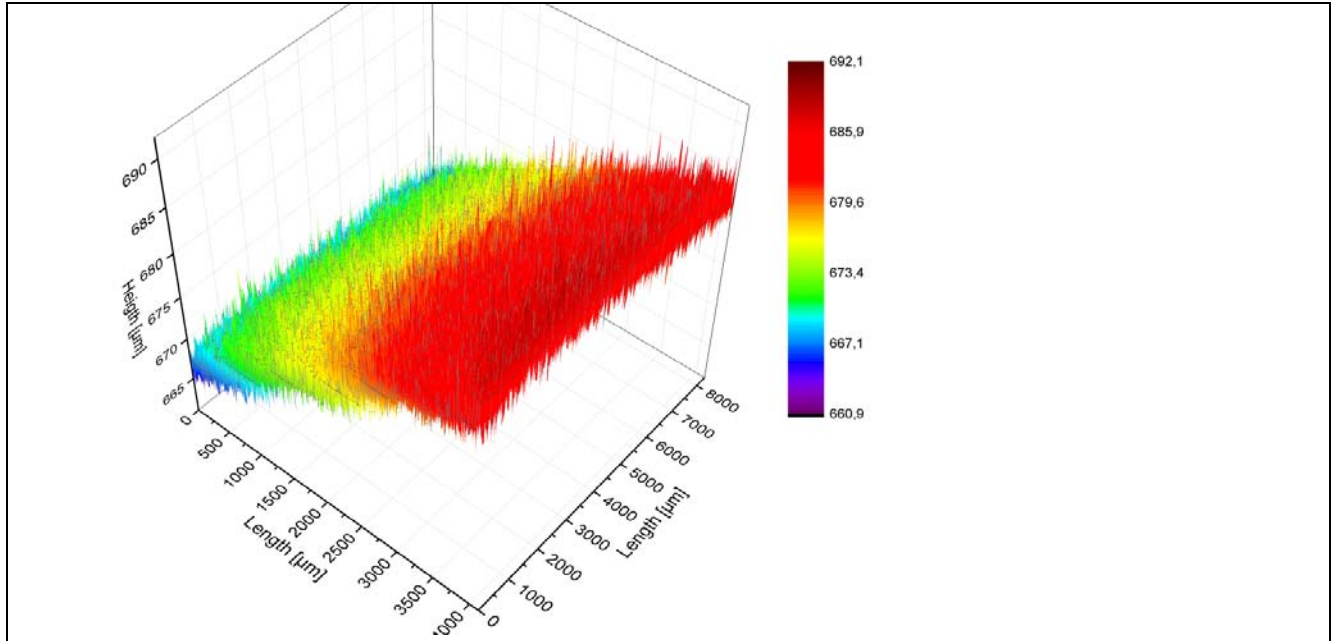
გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2018 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. დანაფარების მნიშვნელობა DADI-ს ტიპის მასალების მაღალტემპერატურული თვისებების გაუმჯობესებისათვის

გამომდინარე იქიდან, რომ ჩვენმა წინა ექსპერიმენტებმა აჩვენა ძალიან კარგი შედეგები სლარით ალუმინიზირებული DADI-ისათვის მისი მაღალტემპერატურული ჟანგვის მიმართ მედეგობის გაუმჯობესების თვალსაზრისით, ჩვენი შემდგომი ექსპერიმენტები დაიგეგმა სხვა, ასევე ძალიან ეფექტური, იაფი, და ეკოლოგიურად სუფთა დანაფარების გამოყენებით. ასეთს წარმოადგენს ე.წ. დიფ ქოუთინგი, ანუ ნიმუშების ალუმინის შემცველ ხსნარში ამოვლებითა და მათი შემდგომი დიფუზიური გამოწვივით მაღალ ტემპერატურებზე. ექსპერიმენტები ჩატარება გადაწყდა DADI -ის რამოდენიმე ნიმუშზე (იხ. ცხრილი), ხოლო პირველი ეტაპისათვის მხოლოდ DADI -ის კაზმი 10 იყო გამოკვლეული.

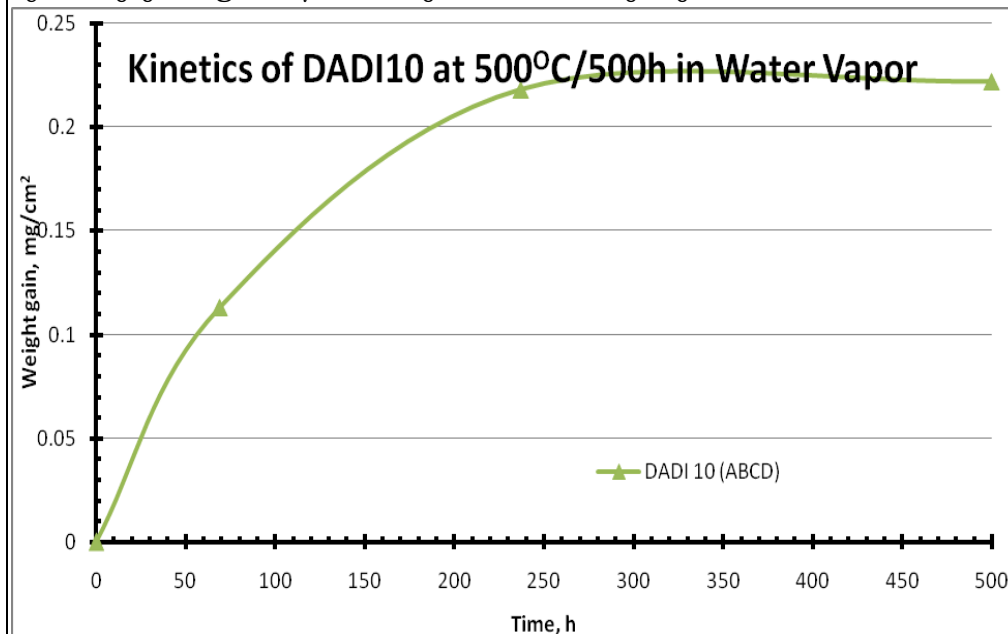
			ქიმიური კომპოზიცია wt%				
№	DADI -ის ტიპები	მოდIFIკაციები	C	Si	Mn	Al	Mg
10	ჩვეულებრივი	Mg ორთქლი	3,2-4,2	1.4-1.9	0.4-0.6	-----	0.03-0.04
20	DADI (Al-ით და დაბალი Si-ით) ვაკუუმში გამოდნობა	Mg ორთქლი	3,4-3,8	0,4-0,6	0.4-0.6	1,5-1,7	0.03-0.04
30	ჩვეულებრივი	Ni-Mg ლეგირება					

ალუმინის შემცველ ბოჰემიტის ხსნარში (სუსპენზიაში) ნიმუშების ამოვლებამდე ყველა DADI -ის ბრიკეტი თავდაპირველად ქრომის თხელი ფენით იყო დაფარული, რასაც ბოჰემიტის დანაფარი მოჰყვებოდა ერთჯერადად და ხდებოდა ნიმუშების გამოწვა 600 გრადუსზე 30 წუთის განმავლობაში. ჟანგვა მიმდინარეობდა 500 გრადუს ცელსიუსზე 500 საათის განმავლობაში სველ ატმოსფეროში, ანუ წყლის ორთქლში, რაც წარმოადგენს რეალური თბოელექტროსადგურის სამუშაო გარემოს სიმულაციას.



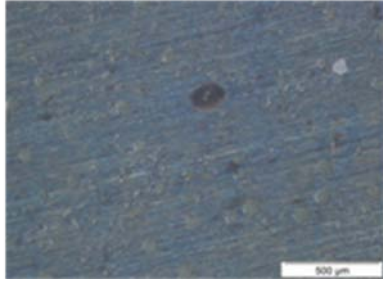
ასე გამოიყურებოდა ნიმუშების ზედაპირების ხაოიანობა. Boehmite ($\text{AlO}(\text{OH})$) ანუ ბოჰემიტის ზოლგელი მზადდებოდა ჩვენი გერმანელი კოლაბორატორის მიერ შემუშავებული დახურული ტექნოლოგიის მიხედვით.

ნიმუშები შედებული იყო სპეციალურ ლუმელში სადაც მიწოდება ხდებოდა წყლის ორთქლისა წნევის გარეშე, ანუ ჩვეულებრივ ატმოსფერულ წნევაზე. პერიოდში ერთხელ ლუმელი იხსნებოდა და თითო ნიმუში გამოიტანებოდა მისი შემდგომი კვლევისათვის და აწონვისათვის. წინამდებარე ანგარიშში როგორც ზემოთ იყო ნახსენები საუბარი წარიმართება DADI 10-ის შესახებ.

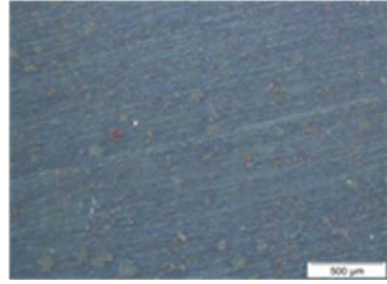


გაკვეთილი იყო DADI 10-ის 4 ნიმუში და მათი მაღალტემპერატურული ჟანგის შედეგად მიღებული წონის ნამატის მიხედვით შევძელით რომ ზემოთ მოყვანილი კინეტიკური მრუდი აგვეგო. ჟანგვა, როგორც სჩანს წარიმართებოდა პარაბოლური კანონის მიხედვით და საკმაოდ პერსპექტიულად გამოიყურება, რადგან გარკვეული დროის შემდეგ წონის მატებას აღარ აქვს ადგილი.

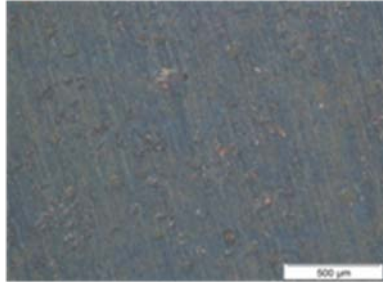
As received
condition:



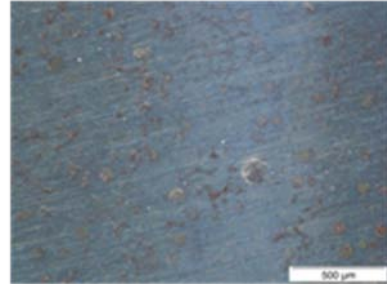
Oxidation:
690°C/500h/Steam



Oxidation:
2360°C/500h/Steam

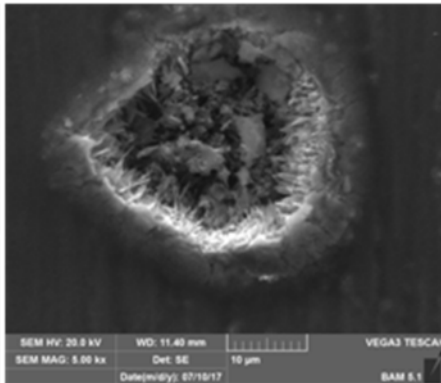
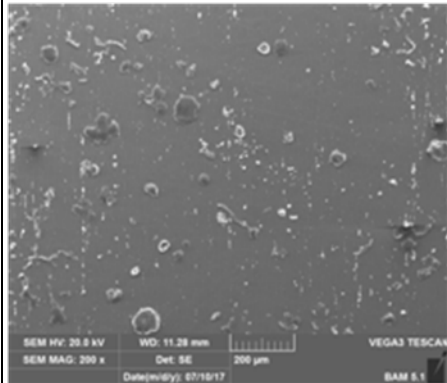


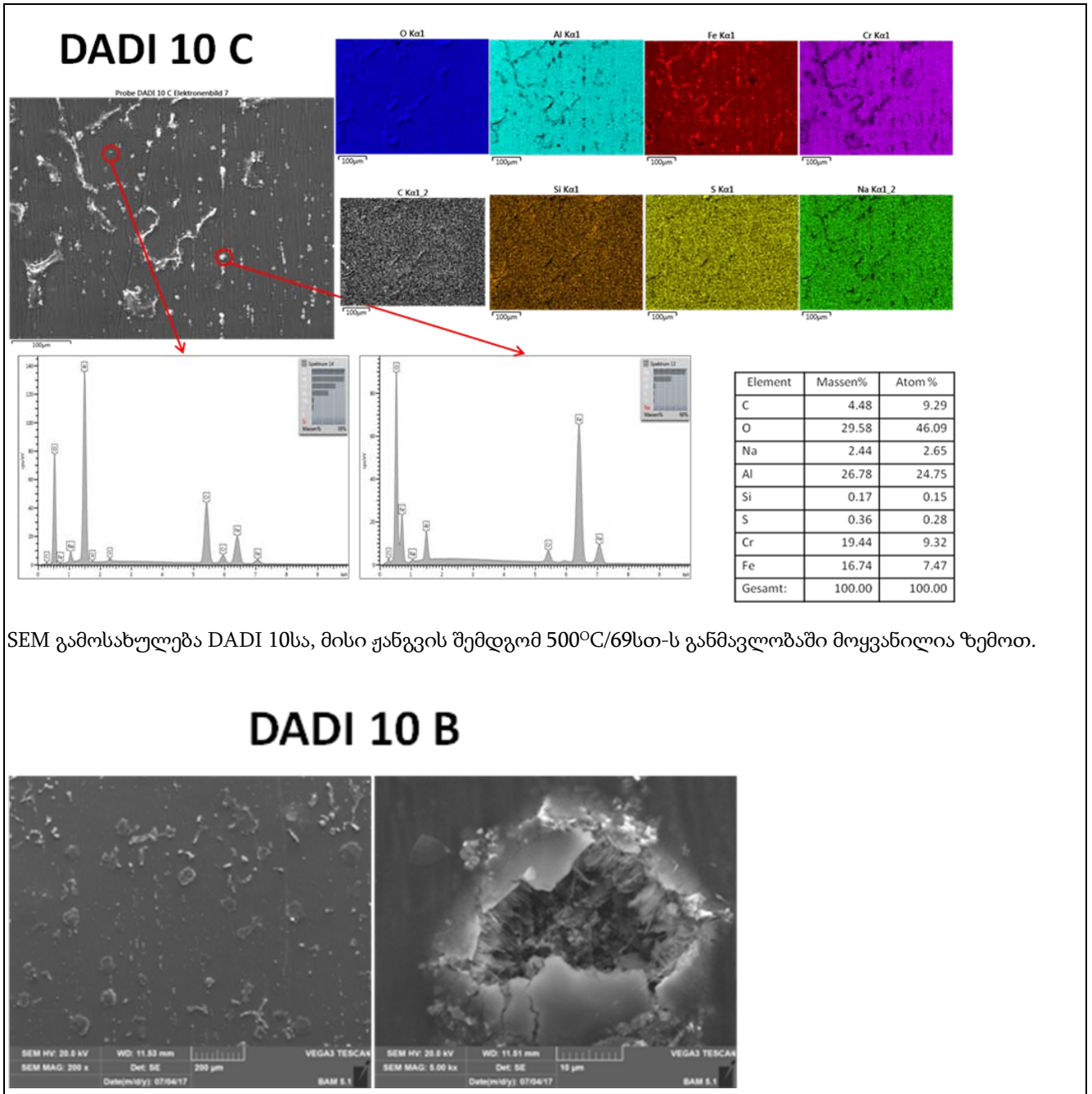
Oxidation:
500°C/500h/Steam



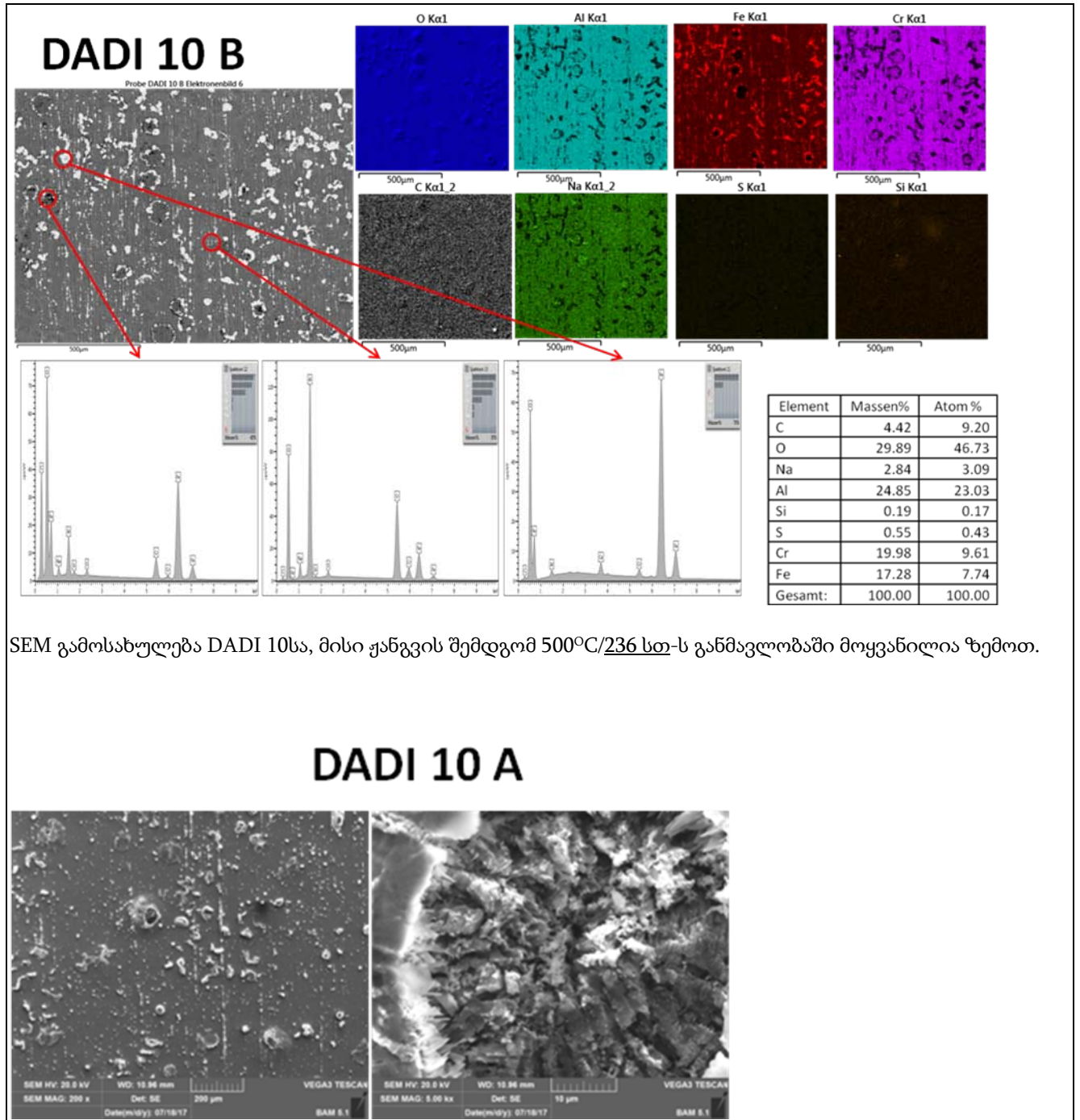
ასე გამოიყურება ნიმუშები მათი მეტალოგრაფიული კვლევებით. თუმცა აღნიშნული მეთოდით დიდად ინფორმატიული შედეგები არ იყო მიღებული და საჭირო გახდა უფრო პრეციზიული და მაღალი გარჩევის ტექნიკის გამოყენებით, როგორცაა მასკანირებული ელექტრონული მიკროსკოპი.

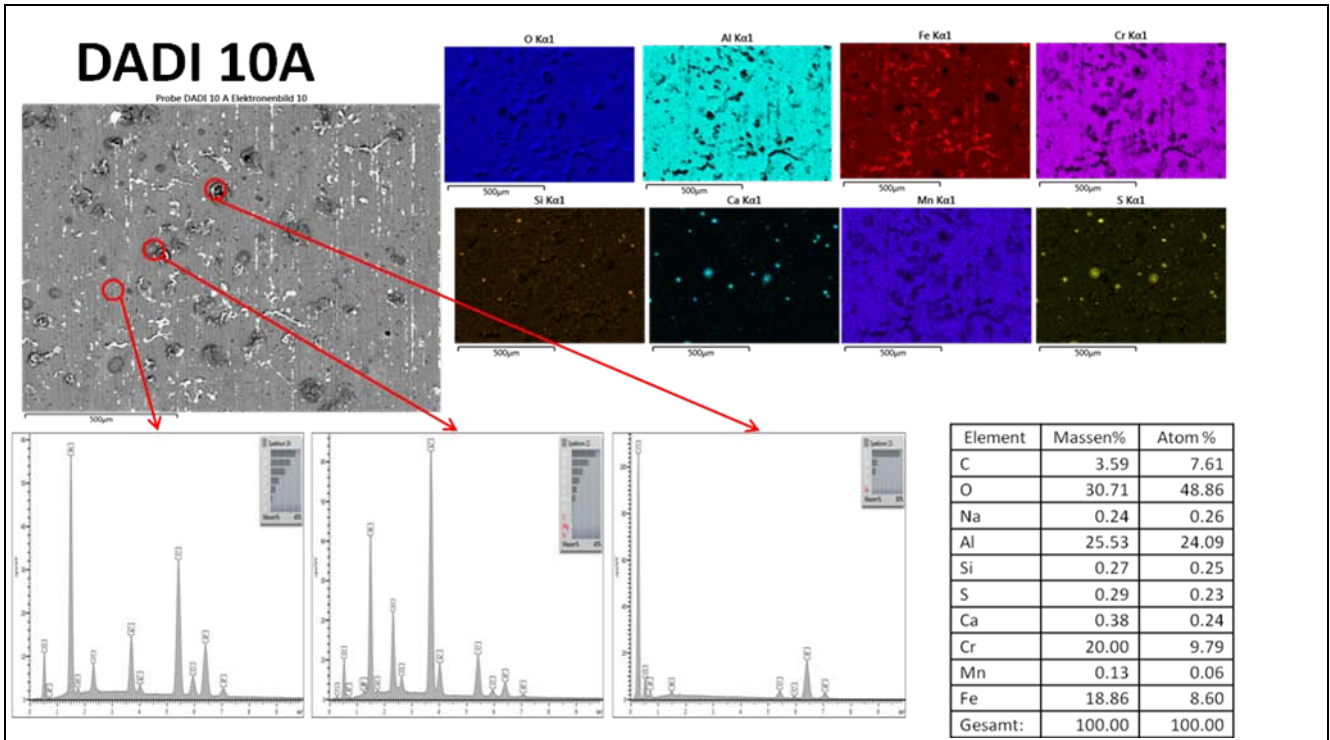
DADI 10C





SEM გამოსახულება DADI 10სა, მისი ჟანგვის შემდგომ 500°C/69სთ-ს განმავლობაში მოყვანილია ზემოთ.





SEM გამოსახულება DADI 10სა, მისი ჟანგვის შემდგომ 500°C/500 სტ-ს განმავლობაში მოყვანილია ზემოთ.

სამივე შემთხვევაში ნათელია, რომ ბოჰემიტის ის რაოდენობა, რომელიც ჩვენი პირველი საცდელი ექსპერიმენტებისათვის იყო გამოყენებული საკმარისი არ აღმოჩნდა რომ დაებლოკა გრაფიტის ამოსავალი არეები, თუმცა კი რკინის მატრიცის ზედაპირზე ალუმინის შემცველი ჟანგების ზრდის ტენდენცია აშკარაა. ჩვენი შემდგომი ექსპერიმენტები ჩატარებული იქნება DADI 20 და DADI30-სათვის, და შედარებით ანალიზი იქნება გაკეთებული. აღსანიშნავია, რომ ფოლადების ბოჰემიტით დაფარვა ჯერ არასოდეს ყოფილა განხორციელებული ისევე როგორც ჩვენს მიერ წინა წლებში გამოკვლეული ალუმინიზირებული ფოლადისა. და ამრიგად, ეს სამუშაო ინოვაციური და მამასადამე ძალიან საინტერესოა, როგორც სამეცნიერო ასევე მისი სამომავლო გამოყენების თვალსაზრისით მომავლის თბოელექტროსადგურებში თუ ენერჯის მაგენერირებელი სხვა რომელიმე დანაგარში, სადაც მაღალტემპერატურულად მედეგი მასალების გამოყენება საჭირო.

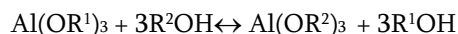
2. მოდიფიცირებული გრაფენის ოქსიდით გაძლიერებული მატრიცული კომპოზიტები ალუმინის ოქსიდის ბაზაზე და მათი კვლევა

სხვადასხვა ტიპის ფუნქციური დანიშნულების ახალი კერამიკული კომპოზიციური მასალების მიღება ალუმინის ოქსიდის ფუძეზე და მათი ქიმიური, ფიზიკურ-მექანიკური და საექსპლუატაციო მახასიათებლების დადგენა აუცილებელი პირობაა ტექნიკური პროგრესისათვის. ამ მასალების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების გაუმჯობესება შესაძლებელია დასაწინები ფხვნილოვანი კომპოზიტების მარცვლების ნაწი ზომებამდე დაყვანით, არმირებით სხვადასხვა ტიპის სტრუქტურის შემცველი ნაერთებით (ნანომფაფები, ნანომილები, ნანობადებები და სხვ.) და მათი კონსოლიდაციის ოპტიმალური პირობების შერჩევით.

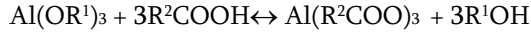
წინამდებარე ნაშრომში შემოთავაზებულია ალუმინორგანული ნაერთებით მოდიფიცირებული გრაფენის ოქსიდის ფრაგმენტების ჩართვა კორუნდის კერამიკაში. ალუმინორგანული ნაერთებით გრაფენის ფრაგმენტების დამაგრებით ალუმინის ოქსიდის ნაწილაკის ზედაპირზე მიიღება ახალი ტიპის გრაფენ-ალუმინის ოქსიდის კომპლექსი, რომელშიც ეს ორი კომპონენტი ერთმანეთთან დაკავშირებულია C-O-Al ბმებით. ამ ტიპის ფხვნილების კონსოლიდაციის შედეგად მიღებულ კერამიკაში ალუმინის ოქსიდის ფხვნილის ნაწილაკები ერთმანეთისაგან იზოლირებულია გრაფენის ფენით, რაც ზრდის მასალების სიმტკიცეს ღუნვაზე, ბზარმდეგობას და დარტყმით სიბლანტეს. ნაშრომში განხილულია კომპონენტების (ალუმინის ოქსიდი, გრაფენის ოქსიდი) ალუმინორგანული ნაერთებით ქიმიური მოდიფიკაციის მეთოდების დამუშავება, რეაქციისუნარიანი Al-C ბმების ფრაგმენტების შემცველი ფხვნილოვანი კომპოზიტების მიღება, მათი კონსოლიდაცია ცხელი დაწნევის მეთოდით ვაკუუმში. მოცემულია მიღებული ნიმუშების ფიზიკურ მექანიკური მახასიათებლების გაზომვის და რენტგენოსტრუქტურული, ოპტიკური სპექტროს-კოპიის ანალიზის შედეგები.

ცნობილია გრაფენისა და ალუმინის ოქსიდის მექანიკური ნარეგების ფუძეზე კერამიკების დამზადების მეთოდები [1-3]. დადგენილია, რომ გრაფენის 2%-მდე დამატება აუმჯობესებს კერამიკული მასალების ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს. მატრიცასთან (Al₂O₃) ქიმიური ბმებით დაკავშირებული გრაფენის შეტანის შედეგად ფხვნილის ნაწილაკს აქვს მოწესრიგებულ იერარქიული სტრუქტურა. ფხვნილების შეცხობის შედეგად წარმოიქმნება გრაფენ-ალუმინის ოქსიდის ჰიბრიდული კომპოზიტი კერამიკის მიკროსტრუქტურის დონეზე. ყოველივე ეს მკვეთრად აუმჯობესებს მატრიცული კერამიკების საექსპლუატაციო თვისებებს. ანალოგიურად არაორგანული დოპანტებისა (MgO, ZrO₂, SiC და სხვ.), გრაფენის ფენა ფხვნილების შეცხობისას ასრულებს მარცვლების ზრდის ინჰიბიტორის როლსაც [4]. ასევე შესაძლებელია ფხვნილების შეცხობის ტემპერატურა 1600-1700°C-დან 1400-1500°C-მდე დაიწიოს. შეცხობის ტემპერატურის გაზრდით ალუმინის ოქსიდის ნაწილაკების ზომა მკვეთრად იზრდება, რის შედეგად უარესდება კერამიკის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები. სამეცნიერო ლიტერატურაში პრაქტიკულად არ არსებობს მონაცემები ალუმინორგანული ნაერთებით მოდიფიცირებული ფხვნილებისაგან მატრიცული კერამიკული კომპოზიტების მიღების მეთოდის, რომელიც თავის მხრივ მოითხოვს დაწნევისა და კონსოლიდაციის ახალი მეთოდის დამუშავებას. ჩვენ ვთვლით, ამ მეთოდებით დამზადებულ კერამიკულ მასალებს ექნებათ მაღალი დარტყმითი სიბლანტე, რაც სპეციალური დანიშნულების კერამიკული ნაკეთობების დამზადების შესაძლებლობას იძლევა.

როგორც ცნობილია, გრაფენის ოქსიდი წარმოადგენს პოლიფუნქციურ ორგანულ ნაერთს, რომელიც შეიცავს კარბოქსილურ, ჰიდროქსილურ, კარბონილურ, ეპოქსიდურ და სხვა ჯგუფებს [5-7]. ამ ჯგუფების მეტალთა ალკოქსიდებთან ურთიერთქმედების შედეგად შესაძლებელია გრაფენის ოქსიდის ფუძეზე სხვადასხვა მეტალთა ოქსიდების შემცველი პროდუქტების მიღება, ხოლო მათი შემდგომი თერმული დამუშავებით (>500 °C) გრაფენ-მეტალის ოქსიდის კომპოზიტად გარდაქმნა. ცნობილია რომ ფენოლები და არომატული მჟავები ადვილად შედიან რეაქციაში მეტალთა ალკოქსიდებთან (მიმოცვლის რეაქციაში) [8-9]. ანალოგიურად ალუმინის იზოპროპოქსიდისა და გრაფენის ურთიერთქმედებით არომატულ გამხსნელებში (ტოლუოლი, ქსილოლი, 100-110 °C, 24 სთ) გამოიყოფა იზოპროპილის სპირტი და წარმოიქმნება ალუმინის ოქსიდით მოდიფიცირებული გრაფენის ოქსიდი. ცნობილია ალუმინის ალკოგოლიატის ეთერიფიკაციის რეაქცია:



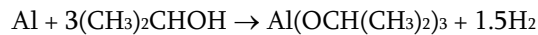
მჟავური ჯგუფების შემცველი (-COOH, -OH) ადვილად ანაცვლებენ OR ჯგუფებს.



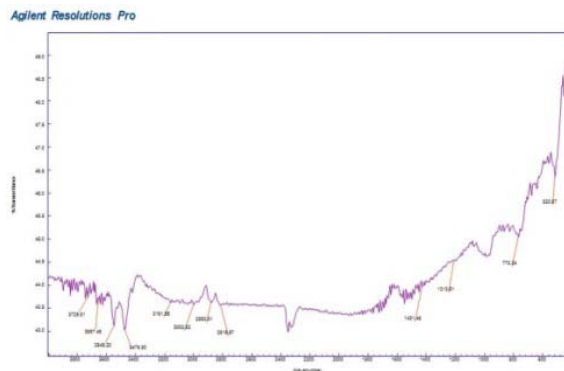
ამ რეაქციების გამოყენებით შესაძლებელია GO დაკავშირება ალუმინთან. ალუმინის ალკოჰოლიატები უფრო ნაკლებად რეაქციის უნარიანი ნაერთებია, ვიდრე ალუმინორგანული ნაერთები, მაგრამ პრაქტიკული თავლსაზირისით მათთან მუშაობა უფრო ადვილია და ამავე დროს უსაფრთხოა, ხოლო საბოლოო შედეგი ერთნაირია: ორივე შემთხვევაში პიროლიზის შედეგად მიღებული Al_2O_3 ფაზა შეიცავს GO-ს ჟანგბადის ატომებს. Al(OR)_3 -ით სისტემაში შეტანილი ჟანგბადი სარეაქციო არეს სცილდება სპირტის სახით.

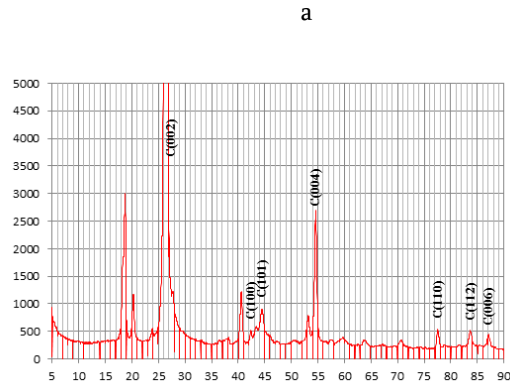
I. ექსპერიმენტი

განხორციელდა გრაფენის ოქსიდის მოდიფიცირება ალუმინის იზოპროპოქსიდით ($\text{Al}[\text{OCH}(\text{CH}_3)_2]_3$). თავდაპირველად სინთეზირებული იქნა ალუმინის იზოპროპოქსიდი შემდეგი ქიმიური რეაქციით:



მეტალური ალუმინის გრანულები, ფხვნილი ან ბურბუშელა ირეცხებოდა ეთილის სპირტით, შემდეგ 5% NaOH-ის ხსნარით, ისევ სპირტით და ვაშრობდით 120°C -ზე. ზედაპირის გააქტივების მიზნით გასუფთავებული ალუმინი მოვათავსეთ ბურთულებიან წისქვილში და დავფქვით 2 სთ-ის განმავლობაში. მიღებული მასიდან ავწონეთ 50გ ალუმინი და მოვათავსეთ 2 ლიტრიან სამყელა კოლბაში, რომელსაც მორგებული ჰქონდა მომრევი, უკუმაცივარი და თერმომეტრი. კოლბაში შევიტანეთ 500 მლ უწყლო იზოპროპილის სპირტი, რომელშიც გახსნილი იყო 2 გ ვერცხლისწყლის (II) ქლორიდი. სარეაქციო ნარევი ვადუღეთ და დავუმატეთ 0,2 გ იოდის კრისტალები. ალუმინის რეაქციაში შესვლის შემდეგ სარეაქციო ნარევიდან მოვაშორეთ ჭარბი იზოპროპილის სპირტი და ნაშთი გამოვხადეთ ვაკუუმში $140\text{--}150^\circ\text{C}$ -ზე (5-6 მმ. ვწყ. სვ). მივიღეთ 260 გ $\text{Al}(\text{OCH}(\text{CH}_3)_2)_3$. მიღებული იზოპროპილატის მეორადი დისტილაცია მოვახდინეთ 0.5 ლიტრიანი ორყელა კოლბიდან, რომელსაც მორგებული ჰქონდა 50სმ სიმაღლის დეფლექტორი. სითხის თანაბარი დუღილის მიზნით კოლბაში გავატარეთ გასუფთავებული არგონი სიჩქარით ერთი ბუშტი 5-6 წმ-ში, ისე რომ წნევა იყო 400პასკალი. გამოხდის ტემპერატურა $112\text{--}113^\circ\text{C}$. მივიღეთ 245 გ ალუმინის იზოპროპილატი, რომელიც თეთრ ფხვნილს წარმოადგენს და დაკრისტალდა გაცივებისას. შემდეგ ეტაპზე 10 გ ალუმინის იზოპროპოქსიდი დავადისპერგირეთ DMF-ში (Scharlau DI1061, დიმეთილფორმამიდი) და დავამატეთ 5% გრაფენის ოქსიდი (რომელიც ასევე დადისპერგირებული იყო DMF-ში), ნარევი დავამუშავეთ ულტრაბგერით აბაზანაში 2 სთ-ის განმავლობაში და შემდეგ დავფქვით ნანოწისქვილში.

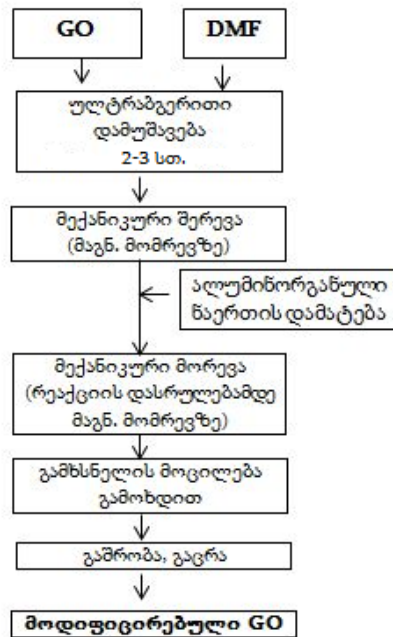




b

სურ.1. ალუმინის იზოპროპოქსიდით მოდიფიცირებული გრაფენის ოქსიდის იწ სპექტრი (a) და რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის დიფრაქტოგრამა (b).

ასევე განხორციელდა გრაფენის ოქსიდის მოდიფიკაცია ტრიზობუთილ ალუმინით ($[(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2]_3\text{Al}$) და ტრიპროპილალუმინით $(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2)_3\text{Al}$). გრაფენის ოქსიდის ალუმინორგანული ნაერთებით მოდიფიცირების ტექნოლოგიური ციკლი სქემატურად ნაჩვენებია სურ.2.-ზე.



სურ. 2. გრაფენის ოქსიდის ალუმინორგანული ნაერთებით მოდიფიცირების ტექნოლოგიური სქემა.

α -Al₂O₃/GO-ს ფხვნილოვანი კომპოზიტის დასამზადებლად აღებულ იქნა შემდეგი ნივთიერებები

19,7 გ α - Al_2O_3 -ის ფხვნილი (მწარ.*sigma-aldrich*) მარცვლის ზომა 1005მ, 0,3გ მოდიფიცირებული გრაფენის ოქსიდი და DMF (ორგანული გამხსნელი).

მოდიფიცირებული გრაფენის ოქსიდი/ ალუმინის ოქსიდის დასაწნეხი ფხვნილოვანი კომპოზიტის მიღების მიზნით მოვამზადეთ ცალ-ცალკე მოდიფიცირებული GO-სა და α - Al_2O_3 -ის სუსპენზიები DMF-ში შემდეგი პროპორციებით:

სუსპენზია №1: 19,7გ α - Al_2O_3 გახსნილი 300მლ DMF-ში;

სუსპენზია №2: 0,6 გ GO გახსნილი 300მლ DMF-ში;

ექსპერიმენტის დაწყებამდე α - Al_2O_3 დავამუშავეთ თერმულად 300°C-ზე ადსორბირებული წყლის მოცილების მიზნით, ავწონეთ 19,7გ მასის ოდენობით და მოვათავსეთ 1ლ-იან ერლენმეიერის კოლბაში, დავამატეთ 300მლ DMF და დავამუშავეთ ულტრაბგერით აბაზანაში (სუსპენზია №1). შემდეგ კოლბა დავდგიტ მაგნიტურ მოძრევეზე, მოვარგეთ საწვეთი ძაბრი და წვეთ-წვეთობით დავამატეთ 4მლ ტრიბოზობუთილ ალუმინის ხსნარი. როგორც მოსალოდნელი იყო ოთახის ტემპერატურაზე ხსნარის 30 წთ-ნი მორევის პირობებში და ასევე დაყოვნების შემდგომ რეაქციის მიმდინარეობა არ იქნა შემჩნეული. აღნიშნულ ნარევეს წვეთ-წვეთობით დავამატეთ GO-ის სუსპენზია (სუსპენზია №2) და გავაგრძელეთ მორევა. რეაქციის პროცესში ადგილი ჰქონდა გაზების გამოყოფას. GO-ის სუსპენზიის სრულად დამატების შემდეგ საწვეთი ძაბრი შევცვალეთ უკუმაცივრით და გავაგრძელეთ მორევა ტემპერატურის აწევით 60°C-მდე, სანამ გაზების გამოყოფა არ შეწყდა. შემდეგ დავაყოვნეთ და დეკანტაციით მოვაცილეთ გამხსნელის 2/3. კოლბაში დარჩენილი მასა გადავიტანეთ კორუნდის 250 მლ-იან საფქვავე ჭიქაში (თანაფრადობა ბურთებსა და ფხვნილს შორის იყო 4:1, ბრუნვის სიჩქარე -200 ბრ/წთ) და დავამუშავეთ პლანეტარულ წისქვილში (Retch PM100, Fritsch) 12სთ-ის განმავლობაში. შემდეგ ნარევი გადავიტანეთ ფაიფურის ჯამზე და გავაშრეთ 130°C-ზე (24 სთ). მივიღეთ ალუმინორგანული ნაერთებით მოდიფიცირებული დასაწნეხი ფხვნილოვანი კომპოზიტი შემადგენლობით - α - Al_2O_3 -97% და GO-3%.

მიღებული სპექტრების შესწავლამ აჩვენა გრაფენის ოქსიდისა და α - Al_2O_3 -ისათვის დამახასიათებელი სპექტრალური პიკების არსებობა.

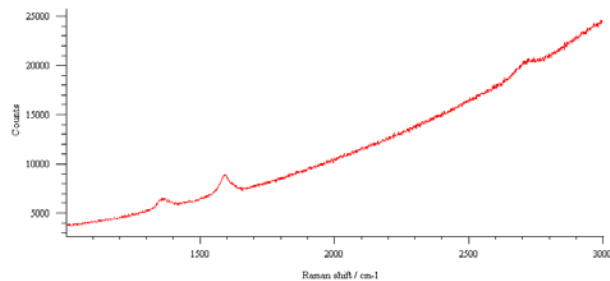
II. შედეგები

OXY-GON ღუმელის გამოყენებით დამუშავებული იქნა სხვადასხვა ტიპის მატრიცული კერამიკული კომპოზიციური მასალების მიღების ტექნოლოგია (α - Al_2O_3 -GO, α - Al_2O_3 - Y_2O_3 -MgO, Al_2O_3 -ZrO₂-Y₂O₃), შერჩეული იქნა დაწნეხვისა და თერმული დამუშავების ოპტიმალური პირობები. ასევე დამზადებული კერამიკული მასალები დაიჭრა და ჩატარდა მათი მიკროსტრუქტურის და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესწავლა. გრაფენის ოქსიდით არმირებული კერამიკული მასალის მიკროსისალე 16,344 გპა-ს (ინდენტორზე დატვირთვა - 200გ.) აღწევდა, მაშინ როდესაც იმავე პირობებში მიღებული სუფთა ალუმინის ოქსიდის კერამიკისთვის შეადგენდა 12,025გპა-ს. გაზომვები ტარდებოდა ოლივერ-ფარას მეთოდით საერთაშორისო სტანდარტის ISO-14577 შესაბამისად. დინამიური ულტრა მიკროსისალის ტესტერის SHIMADZU DUH -211S-ს მეშვეობით. მიღებული შედეგები მოყვანილია ცხრილ 1-ში (5-5 გაზომვის გასაშუალებელი მნიშვნელობები).

ცხრ. 1 Microhardness of ceramic materials

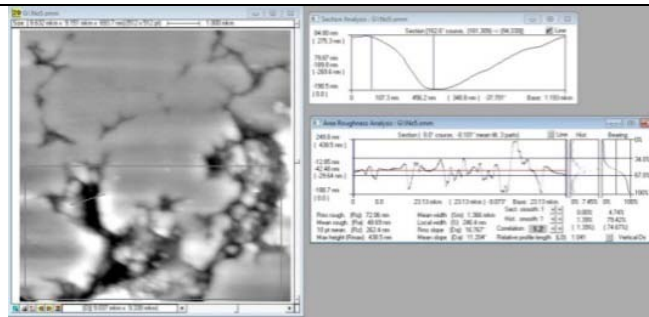
№	P, gf	hmax, μm	DHV	DHV, GPa	Eit, GPa	HV	HV, GPa
Ceramic with modified graphene oxide (a)	200	2.4267	1667	16.34	419.4	1764	18.08
Ceramic based on pure alumina (b)	200	2.8485	1227	12.02	238.1	1777	17.41

მიღებული კერამიკული ნიმუშები შესწავლილ იქნა (RENISHAW –inVia Raman Microscope) რამან მიკროსკოპით (იხ. სურ.3.).

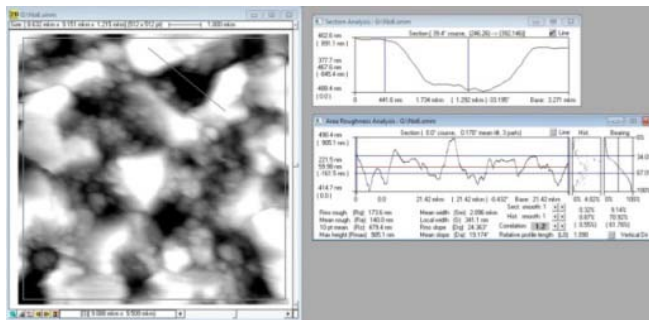


სურ. 3. $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-GO}$ მატრიცული კერამიკების კომბინაციური გაზნევის რამან-სპექტრი.

როგორც რამან სპექტრზე ჩანს $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-GO}$ სისტემაში გვაქვს როგორც გრაფენის ოქსიდისათვის დამახასიათებელი 2 პიკი $1340\text{-}1650\text{ cm}^{-1}$, ასევე გრაფენისათვის დამახასიათებელი პიკი 2700 cm^{-1} , როგორც ჩანს კერამიკის კონსოლიდაციის პროცესში ადგილი აქვს გრაფენის ოქსიდის აღდგენას გრაფენამდე.



a



b

სურ. 5. Analysis of cracks for comparable samples (a,b) by atomic-force scanning probe microscope.

ცხრ.2 Measurement parameters of comparable samples by atomic-force scanning probe microscope

Sample	Ra, nm (roughness)	Rz, nm (roughness)	Mean D, mkm (grains diameter)	Scan size, mkm x mkm	Heights range of scan relief, nm	H, nm (max depth of cracks)	W, nm (max width of cracks)
Ceramic with modified graphene oxide	48	262	0,17	9,2 x 8,6	693	275	698

Ceramic based on pure alumina	140	479	0,22	9,2 x 8,6	1215	891	2384
-------------------------------	-----	-----	------	-----------	------	-----	------

ასევე შეფასებულ იქნა მიღებული კომპოზიციური მასალების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები, რომლებიც მოყვანილია ცხრ.3.- ში.

ცხრ.3. გრაფენის ოქსიდით არმირებული ალუმინის ოქსიდის ფუძეზე მიღებული კომპოზიციური კერამიკული ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები.

Sample	density g/cm ³	Open porosity , %	water absorption%	Microhardness, GPa	σ-bending strength GPa	σ-impact MPa
α-Al ₂ O ₃	3,94-3,96	0,08-0,11	0,03-0,05	12	300	4,3-5,2
α-Al ₂ O ₃ -GO	3,98-4,00	0,02-0,04	0,03-0,05	14,9	385-410	8,6-9,2
α-Al ₂ O ₃ -ZrO ₂ -Y ₂ O ₃ -GO	3,98-4,00	0,01-0,03	0,03-0,05	16,4	480-500	11,4-12,8

დასკვნა

ექსპერიმენტული კვლევებიდან დგინდება, რომ ალუმინორგანული ნაერთებით მოდიფიცირებული გრაფენის ოქსიდით არმირებული კერამიკული კომპოზიციური მასალებისთვის ალუმინის ოქსიდის ფუძეზე გრანულებს შორის საზღვრის სიგანე და სიღრმე თითქმის 3.5-ჯერ ნაკლებია ვიდრე სუფთა ალუმინის ფუძეზე მიღებული ნიმუშების იგივე მახასიათებლები. ეს შესაძლებელია ახსნილ იქნას იმით, რომ ალუმინორგანული ნაერთებით მოდიფიცირებული გრაფენის ოქსიდი კერამიკის შეცხოვის პროცესში ხელს უშლის α-Al₂O₃ კრისტალიტების ზრდას და C-O-Al ბმების წარმოქმნით ამცირებს გრანულებს შორის

საზღვარს. როგორც ცხრილიდან ჩანს ალუმინორგანული ნაერთებით მოდიფიცირებული გრაფენის ოქსიდით არმირებული კერამიკული კომპოზიციური მასალებისთვის ალუმინის ოქსიდის ფუმეზე გაუმჯობესებულია ყველა ძირითადი ფიზიკურ მექანიკური მახასიათებელი და შემცირებულია კაზმის შეცხოვის ტემპერატურა, რაც ამცირებს ენერგოდანახარჯებს და უფრო ეფექტურს ქმნის შემოთავაზებულ ტექნოლოგიურ პროცესს.