

სოხუმის ილია ვეკუას ფიზიკა-ტექნიკის  
ინსტიტუტის

2018 წლის საბაზო კვლევებისა და  
ტექნოლოგიების განვითარების პროგრამით  
შესრულებული სამუშაოების

**ა ნ გ ა რ ი შ ი**

## სსიპ - სოხუმის ილია ვეკუას ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტი

### 2018 წელს გაწეული სამეცნიერო-კვლევითი საქმიანობის ანგარიში

#### სამეცნიერო პუბლიკაციები იმპაქტ-ფაქტორიან გამოცემებში:

№	პუბლიკაციის ავტორი/ავტორები	ჟურნალი, ტომი, გვერდი	პუბლიკაციის დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI
1	Ramaz R, Shamugia	International Journal of Communications, Network and System Sciences (IJCNS) No.11, Vol. 11, pp.: 229-237 November, 2018	DOI: <a href="https://doi.org/10.4236/ijcns.2018.1111014">10.4236/ijcns.2018.1111014</a>
2	A.Guldamashvili, G.Bokuchava, G. Archuadze, Yu. Nardaia, Ts.Nebieridze, A.Sichinava, R. Melkadze, N. Gapishvili	Bull. Georg. Natl. Acad. Sci., no. 1, vol. 12, pp.: 54-60, 2018.	ISSN - 0132 – 1447
3	T. Lobzhanidze, I.Metskhvarishvili, K.Giorgadze	Bull. Georg. Natl. Acad. Sci., no. 2, vol. 12, pp.: 58-68, 2018.	ISSN - 0132 – 1447
4	I.Kurashvili, G.Darsavelidze, G.Bokuchava, G.Chubinidze, I.Tabatadze, G.Archuadze	Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, no. 3, vol. 12, pp.: 57-61, 2018.	ISSN - 0132 – 1447
5	N. Jalagonia, T. Kuchukhidze, E. Sanaia, L. Kalatozishvili, R. Ivanova, B. Khvitia, G. Bokuchava	Bull. Georg. Natl. Acad. Sci., no. 4, vol. 12, pp.: 72-77, 2018.	ISSN - 0132 – 1447

#### 2. სხვა პუბლიკაციები:

№	პუბლიკაციის ავტორი/ავტორები	ჟურნალი, ტომი, გვერდი	პუბლიკაციის დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN
1	I.Kurashvili, G.Darsavelidze, G.Bokuchava, G.Chubinidze, I.Tabatadze	International Journal of Mechanical And Production Engineering, no.1, vol.6, pp.: 52-56, 2018.	ISSN (Print), : 2320-2092 ISSN (Online), : 2321-2071
2	Zurab Wardosanidze	Asian Journal of Science and Technology, 09(10), pp.: 8949-8954, 2018.	ISSN: 0976-3376
3	Zurab Vakhtang Wardosanidze, Vladimir Andro Kuchukhidze, Giorgi Levan Archuadze, Anzor Giorgi Inalishvili	Journal of Materials Sciencs and Applications, 5(1), pp.: 1-4, 2018.	ISSN: 2375-3919
4	ი.ყურაშვილი, თ.ქიმერიძე, ი.ტაბატაძე, დ.მხეიძე, გ.დარსაველიძე	სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“. 4(88), გვ. 55-62, 2018.	ISSN 1512–0120
5	Ф.Басария,Г.Бокучава, К.Барбакадзе, Г.Дарсавелидзе	Научно-технический журнал "Энергия", 2 (86), стр.69-73, 2018.	ISSN 1512-0120

## 3. საერთაშორისო პატენტები:

№	საპატენტო თემატიკის სათაური	გამომგონებელი/ები და პატენტმფლობელი/ები	პატენტის საიდენტიფიკაციო კოდი

## 4. ეროვნული პატენტები

№	საპატენტო თემატიკის სათაური	გამომგონებელი/ები და პატენტმფლობელი/ები	პატენტის საიდენტიფიკაციო კოდი

## 5. საერთაშორისო სამეცნიერო პროექტები

№	დამფინანსებელი ორგანიზაცია/სამეცნიერო ფონდი, ქვეყანა	პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი	პროექტში ჩართული პერსონალი/როლი	პროექტის სათაური	პროექტის განხორციელების პერიოდი
1	ევროპული კომისია, "ჰორიზონტ-2020"	H2020 MSCA-RISE-734164-Graphene 3D.	ე.სანაია - კოორდინატორი, ნ. ჯალაღონია - ამოცანების მენეჯერი; ძირითადი პერსონალი: ლ. კალატოზიშვილი; ა. სიჭინავა; ვ. გაბუნია; თ. არჩუაძე; მ. მუმლაძე; ი. მეცხვარიშვილი; ი.ნარდაია; დ.მხეიძე; ტ. მელაშვილი; კ. კომახიძე.	მძლავრი ელექტრო-მაგნიტური და თერმული თვი-სებების მქონე მრავალფუნქციური ნანოკომპოზიტები გრაფენის ფუძეზე 3D ბეჭდვისათვის.	2017-2020

## 6. შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიერ დაფინანსებული პროექტები

№	პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი	პროექტში ჩართული პერსონალი/როლი	პროექტის სათაური	პროექტის განხორციელების პერიოდი
1	<b>AR-18-271</b>	ნ. ჯალაღონია - პროექტის სამეცნიერო ხელმძღვანელი. გ. ბოკუჩავა - კოორდინატორი. ძირითადი პერსონალი: თ. კუჭუხიძე; ლ. კალატოზიშვილი; ბ. ხვიტია; ზ. ფაჩულია.	სუპერკონდენსატორები ნახშირბადის ნანოსტრუქტურებით დოპირებული პოლიმერული ელექტროდების ბაზაზე	2018-2021
2	<b>SRNSF #216902</b>	გ. არჩუაძე- პროექტის ხელმძღვანელი. ა. სიჭინავა-პროექტის კოორდინატორი.	ნახევარგამტარული იონიშტრუქტურული ნეიტრონების დეტექტორი ბირთვული უსაფრთხოებისათვის.	2016 - 2019

		ძირითადი პერსონალი: ა. გულდამაშვილი; გ. ბოკუჩავა; ი. ნარდაია; ც. ნებიერიძე.		
3	<b>SRNSF #217562</b>	გ. დარსაველიძე- პროექტის ხელმძღვანელი. ი. ყურაშვილი- კოორდინატორი. ძირითადი პერსონალი: გ. ჩუბინიძე; გ. არჩუაძე; ი. ტაბატაძე; მ. ქადარია; დამხმარე პერსონალი: დ. მხეიძე; ტ. მელაშვილი; ნ. გოგოლაშვილი.	Si-Ge მონოკრისტალების შინაგანი ხახუნის სპექტრებისა და მიკროსისალის თავისებურებანი	2016-2019
4	<b>SRNSF #217524</b>	ი. მეცხვარიშვილი- პროექტის სამეცნიერო ხელმძღვანელი. გ. დგებუაძე-პროექტის კოორდინატორი. ძირითადი პერსონალი: ბ. ბენდელიანი; თ. ლობჯანიძე. ლ. გუგულაშვილი- ახალგაზრდა მეცნიერი. ნ. მუმლაძე-ტექნიკური პერსონალი.	პოლიმერიზაციის და სხვადასხვა დანამატების ზეგავლენა Hg-1223 ზეგამტარულ თვისებებზე	2016 - 2019
5	<b>FR/261/6-260/14</b>	თ. ლობჯანიძე- პროექტის სამეცნიერო ხელმძღვანელი. ძირითადი პერსონალი: ი. მეცხვარიშვილი; გ. დგებუაძე; ბ. ბენდელიანი. ლ. გუგულაშვილი- ახალგაზრდა მეცნიერი. ნ. მუმლაძე-ტექნიკური პერსონალი.	Tl-ფუძიანი ზეგამტარების სინთეზი ზოლ-გელ მეთოდისა და პოლიმერიზაციის გამოყენებით	2015-2018
6	<b>AR-18-271</b>	კ. ბარბაქაძე - მენტორი. თ. კუჭუხიძე - სამეცნიერო ხელმძღვანელი.	ალუმინის ოქსიდის ფუძეზე ნახშირბადოვანი ნანოსტრუქტურებით დოპირებულ- ლი მრავალფუნქციური კერამიკული კომპოზიციური მასა- ლების 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	I.R. Metskhvarishvili, G.N.	6th International Conference on	<b>Abstract ID No : 3145.</b>

	Dgebuadze, T.E. Lobzhanidze, B.G. Bendeliani, M.R. Metskhvarishvili, L.T. Gugulashvili, V.M. Gabunia,	superconductivity and magnetism- ICSM 2018. Antalya, Turkey.	
2	T.E. Lobzhanidze, I.R. Metskhvarishvili, G.N. Dgebuadze, M.R. Metskhvarishvili, B.G. Bendeliani, L.T. Gugulashvili, V.M. Gabunia	6th International Conference on superconductivity and magnetism- ICSM 2018. Antalya, Turkey.	<b>Abstract ID No : 3175</b>
3	I.Kurashvili, G.Bokuchava, I.Tabatadze, T.Kimeridze, G.Darsavelidze	III International Conference “Inorganic Material Science Modern Technologies and Methods”. October 8-11,2018,Tbilisi, Georgia.	<b>ISBN 978-9941-8-0534-9</b>
4	K.Barbakadze, Z.Isakadze, A.Kutsia, M.Barbakadze, M.Rekhviashvili, I.Tabatadze.	III International Conference “Inorganic Material Science Modern Technologies and Methods”. October 8-11,2018. Tbilisi, Georgia.	<b>ISBN 978-9941-8-0534-9</b>
5	T. Kuchukhidze, N. Jalagonia, E. Sanaia, K. Barbakadze, F. Marquis, G. Bokuchava.	20th International Conference on Materials Synthesis and Fabrication, February 19-20, 2018. Paris, France.	<b>Article EISSN:1307-6892</b>
6	N. Jalagonia, N. Darakhvelidze, T. Kuchukhidze, E. Sanaia, G. Bokuchava, L. Kalatozishvili	International Conference on Materials Physics and Materials Science. November 22-23, 2018. Paris, France	-----
7	N. Jalagonia, N. Darakhvelidze, A. Sichinava, E. Sanaia, M. Casa, L. Kalatozishvili	Polychar 26, World Forum on Advanced Materials. September 10-13. Tbilisi, Georgia	-----
8	G. Bokuchava, T. Kuchukhidze, Tamar Archuadze, E. Sanaia, N. Jalagonia.	Polychar 26, World Forum on Advanced Materials. September 10-13. Tbilisi, Georgia	-----

## 7.2. პუბლიკაცია ეროვნული კონფერენციის მასალებში

№	პუბლიკაციის ავტორი/ები	კონფერენციის სახელწოდება და ჩატარების ადგილი	პუბლიკაციის დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN

## 7.3. წიგნების და სხვა ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში

№	წიგნის/გამოცემის ავტორები	გამომცემლობა	წიგნის/გამოცემის საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN

## 7.4. წიგნების და სხვა ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში

№	წიგნის/გამოცემის ავტორები	გამომცემლობა	წიგნის/გამოცემის საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN
1	აკად. ი. გვერდწითელის (1962-1969წ.წ. სფტი-ის დირექტორი) 100 წლისთავისადმი მიძღვნილი მოხსენებათა და მოგონებათა კრებული  საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია  სოხუმის ილია ვეკუას ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტი  მეცნიერების ისტორიის საქართველოს საზოგადოება	საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის გამომცემლობა	-----

სსიპ სამეცნიერო-კვლევითი დაწესებულების (ინსტიტუტის/ცენტრის) ან უნივერსიტეტთან არსებული დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი დაწესებულების (ინსტიტუტის/ ცენტრის) სამეცნიერო ერთეულის დასახელება (პერსონალური შემადგენლობისა და ხელმძღვანელის მითითებით):

#### I. რადიოფიზიკისა და ელექტრონული სისტემების მოდელირებისა და სისტემატექნიკის სამეცნიერო კვლევითი განყოფილება

სამეცნიერო ერთეულის ხელმძღვანელი:

**გიორგი არჩუაძე** - მთავარი მეცნ. თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი

სამეცნიერო ერთეულის პერსონალური შემადგენლობა:

**ბადრი ხვიტია** ----- მთავარი სპეციალისტი;

**ვლადიმერ კირცხალია** - უფროსი მეცნიერ-თანამშრომელი, ფიზ.მათ.მეცნიერებათა დოქტორი;

**რამაზ შამუგია** ----- უფროსი მეცნიერ-თანამშრომელი, დოქტორი

**ზურაბ ვარდოსანიძე** ---- უფროსი მეცნიერ-თანამშრომელი, დოქტორი

**დავით ბერიშვილი** ----- მეცნიერ-თანამშრომელი, მაგისტრი

**კობა კომახიძე** - ----- ინჟინერი

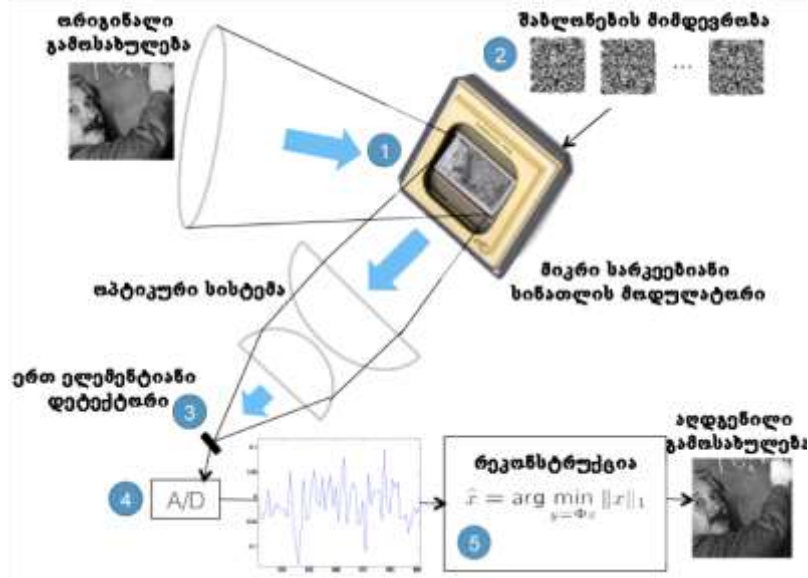
#### 1. პროგრამული დაფინანსებით შესრულებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები

##### 1.1.

№	გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

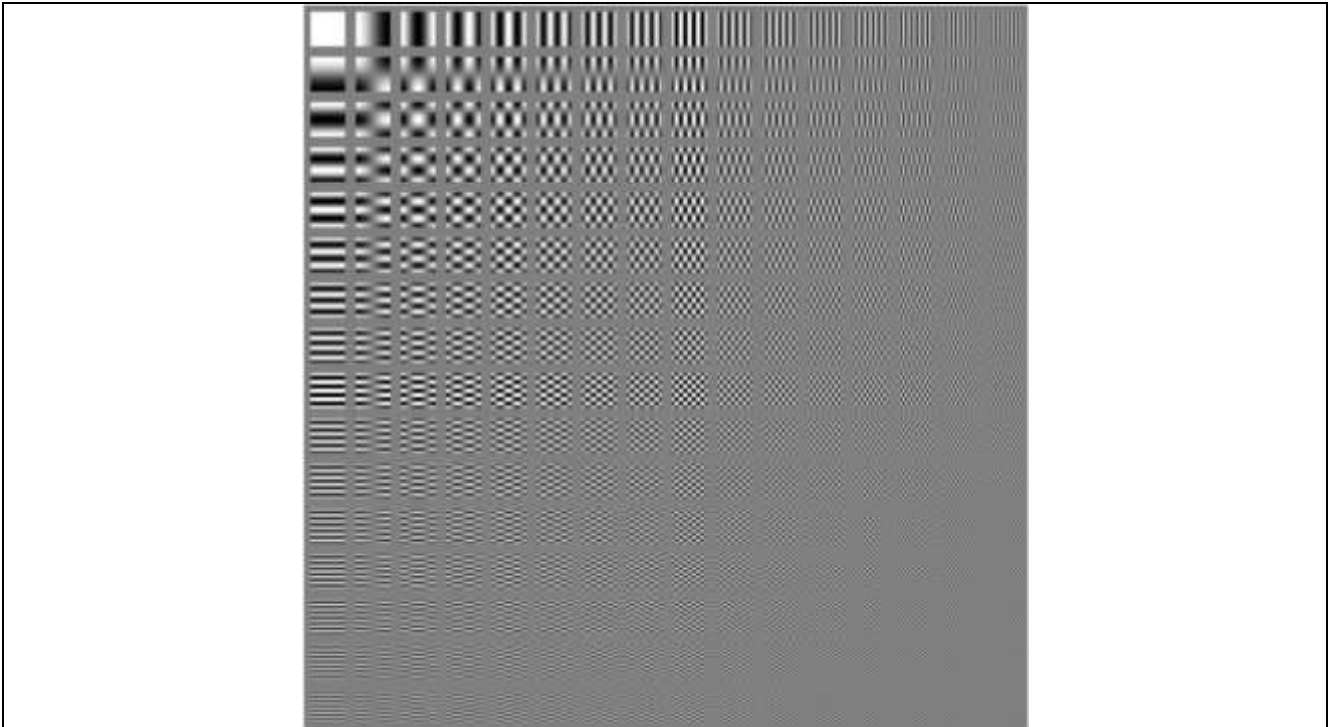
<p>1</p>	<p>გამოსახულების აღდგენის მეთოდების კვლევა ერთ-სენსორიანი სისტემის სტრუქტურირებული დასხივებისას კ.დ. “პიქსელი”.</p> <p>2. ინჟინერია და ტექნოლოგიები</p> <p>2.2. ელექტროინჟინერია, ელექტრონული ინჟინერია, საინფორმაციო ინჟინერია (ელექტრო და ელექტრონული ინჟინერია)</p> <p>(სფტი-სა და ინსტიტუტ “ოპტიკა“-ს ერთობლივი პროექტი)</p>	<p>2018-2019</p>	<p>გ.არჩუაძე-პროექტის ხელმძღვანელი (ელექტრონული სქემის მართვის პროგრამა) ბ.ხვიტია- ელექტრონული ნაწილის მოდელირება - დამუშავება დ.ბერიშვილი-ექსპერიმენტული ელექტრონული სქემები</p>
----------	--	------------------	---

2018 წლის განმავლობაში მიმდინარეობდა სტრუქტურული დასხივების მათემატიკური მოდელების საფუძველზე შემუშავებული ალგორითმების შემოწმება და მოწყობილობის მაკეტის შესაქმნელად ელექტრონული კომპონენტების შერჩევა (ნახ.1). განხილული იყო სტრუქტურული დასხივების რამდენიმე მოდელი. შეიქმნა პროგრამული კოდები მოდელების ტესტირებისთვის. ჩატარებული რიცხვითი ექსპერიმენტები უჩვენებს, რომ თანაბარ ალბათური განაწილების მქონე სტრუქტურული დასხივებისას მისაღები ხარისხის გამოსახულებისთვის საჭიროა მონაცემების დიდი რაოდენობა. ეს მიდგომა მარტივია მათემატიკური ოპერაციების თვალსაზრისით, მაგრამ დაბალი გარჩევადობის გამოსახულებების შემთხვევაშიც კი, საჭიროებს დიდი რაოდენობის სტატისტიკურ მონაცემებს. წინასწარ შეიძლება ითქვას, რომ ამ მიდგომით რეალურ დროში გამოსახულების მიღება მოითხოვს მაღალი ფოტომგრძობიარობის მქონე სენსორს, სწრაფქმედ მოწყობილობას სტრუქტურული დასხივებისთვის და დიდ გამოთვლით რესურსებს გამოსახულების დასამუშავებლად. ყოველივეს გათვალისწინებით, ასეთი მოწყობილობის განხორციელება დიდ სირთულეებთან იქნება დაკავშირებული.



ნახ.1. სტრუქტურირებული დასხივების სისტემა

თანაბარ ალბათური განაწილებისგან განსხვავებით ვეივლეტური სტრუქტურული დასხივება მეტად ეფექტურია. განხილული იყო კოსინუსოიდალური დისკრეტული ფურიე გარდაქმნა. კოსინუსოიდალური გარდაქმნის შერჩევა განპირობებულია ჩაშენებული სისტემებში მათემატიკური გამოთვლების გამარტივების მიზნით. დისკრეტული ფურიე გარდაქმნის კომპლექსური ფორმის გამოყენება მოითხოვს ჩაშენებული სისტემებში კომპლექსური ცვლადის ტიპებს და ამასთან დაკავშირებული მათემატიკური ოპერაციების გამოყენებას, რაც დღესდღეობით, ფართოდ არ არის გავრცელებული.

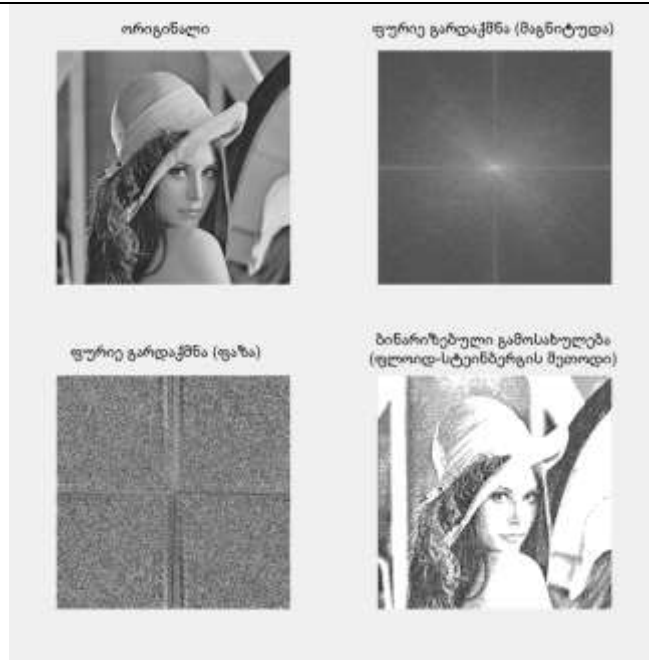


ნახ.2. გამოყენებული კოსინუსოიდალური დისკრეტული ფურიე საბაზისო შაბლონები

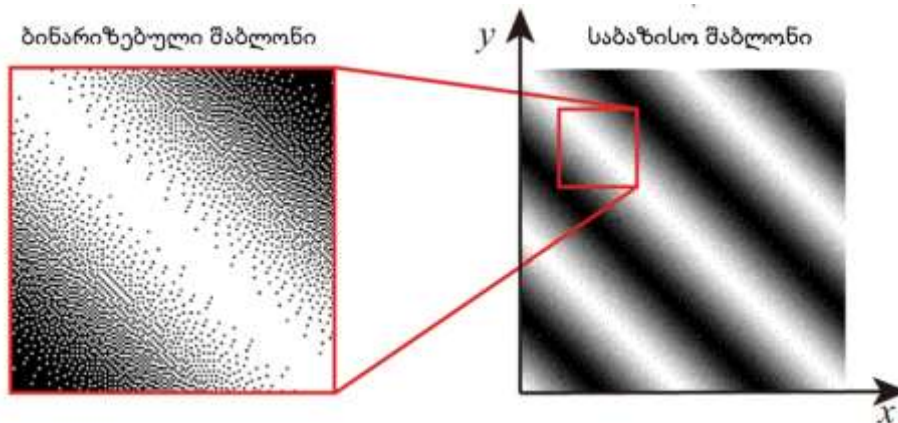
კოსინუსოიდალური დისკრეტული ფურიე გარდაქმნაზე დაფუძნებული სტრუქტურული დასხივების გამოკვლევამ აჩვენა მისი მაღალი ეფექტურობა და გამოსახულების მაღალი ხარისხი. ეს მიდგომა მოითხოვს რთულ მათემატიკურ გამოთვლებს. ამ მიდგომით რეალურ დროში გამოსახულების მიღება შესაძლებელი იქნება, გამოსახულებისთვის ოპტიმალური გარჩევადობის შერჩევით.

მათემატიკურად, ერთ პიქსელიანი კამერის სისტემა ახდენს გამოსახულების რეკონსტრუქციას არეკლილი ან გამჭოლი პიქსელირებული განაწილების შიდა ჯამის გაზომვის გზით. გამოსახულების რეკონსტრუქციისათვის ერთ პიქსელიანი სისტემები საჭიროებენ მრავალ ანათვალს საკმარისი სივრცითი ინფორმაციის შესაგროვებლად. ერთ სენსორიანი სისტემებისათვის სასურველია რეკონსტრუქციის მაღალი ხარისხი და მცირე გაზომვის/ექსპოზიციის დრო. ჩვენს მიერ ტესტირებული ალგორითმები იყენებს კოსინუსოიდალურ დისკრეტულ ფურიე საბაზისო შაბლონებს გამოსახულების მიღება რეკონსტრუქციისათვის. გამოსახულების მიღების ზემოთ აღნიშნული ტექნიკის სიჩქარე შემოიფარგლება სისტემის პირველ პროტოტიპში გამოყენებული ციფრული მიკროსარკეებიანი მატრიცაზე (Digital Micromirror Device) ნაცრისფერი ფერის გრადაციიანი შაბლონების გენერირების სიჩქარით. რადგანაც, მიკროსარკეებიანი მატრიცა ნაცრისფერი გრადაციის გენერირებისათვის იყენებს ბინარული შაბლონების მიმდევრობით გადართვას შესაბამისი სიხშირით, შემოთავაზებული სისტემა ლიმიტირებულია მატრიცაზე ნაცრისფერი გრადაციის მიღების სიჩქარით. აღნიშნული გამოსახულების მიღების სიჩქარის ლიმიტის გასაზრდელად შემოთავაზებულია გამოყენებული კოსინუსოიდალური დისკრეტული ფურიე საბაზისო შაბლონები (ნახ.2) გარდავექმნათ ბინარულ შაბლონებად ფლოიდ-სტეინბერგის ცდომილების დიფუზიის მეთოდის გამოყენებით (ნახ.3,4). ბინარიზებული კოსინუსოიდალური ფურიე შაბლონები საშუალებას მოგვცემს გავზარდოთ მიკროსარკეებიანი მატრიცაზე გენერირებული შაბლონებისა და შესაბამისად გამოსახულების მიღების სიჩქარე.





ნახ.3. გამოსახულების ბინარიზება ფლოიდ-სტეინბერგის მეთოდის გამოყენებით



ნახ.4. ბინარიზებული საბაზისო შაბლონი

მათემატიკური გამოთვლების ოპტიმიზების თვალსაზრისით მნიშვნელოვანია განიხილულ იქნას სტრუქტურული დასხივების სხვა ვივლეტური წარმოდგენებიც. დაგეგმილია შემოთავაზებული სტრუქტურირებული დასხივების მოდელის ტესტირება სატესტო მაკეტზე, სადაც გამოყენებული იქნება მიკროსარკეებიანი მატრიცა.

2	<p>აირებში ბგერის სიჩქარის სიმკვრივეზე დამოკიდებულების ექსპერიმენტული დადასტურება</p> <p>1. საბუნებისმეტყველო მეცნიერებანი</p> <p>1.3. ფიზიკური მეცნიერებანი (სითხე-აირებისა და პლაზმის ფიზიკა)</p>	2018-2019	<p>ვლადიმერ კირცხალია - პროექტის ხელმძღვანელი</p> <p>გურამ დგებუაძე - ექსპერიმენტატორი.</p> <p>ზურაბ ადამია - ექსპერიმენტატორი</p>
---	---	-----------	--

2018 წელი ძირითადად დაეთმო ექსპერიმენტული დანადგარის მოდერნიზაციას და სრულყოფას, რამაც სასურველი შედეგი არ მოგვცა. ჩვენ საბოლოოდ დავრწმუნდით, რომ ჩვენს მიერ არჩეული მდგარი

ტალღის მეთოდი გამოუსადეგარია ბგერის სიჩქარის განსაზღვრისთვის ცვლადი ტემპერატურისა და წნევის პირობებში, რამეთუ ამ პარამეტრების ცვლილებისას რეზონატორი განიცდის საგრძნობ შეშფოთებებს, რაც არ იძლევა ბგერის სიჩქარის ზუსტად განსაზღვრის საშუალებას. ცხადი გახდა, რომ საჭიროა უფრო თანამედროვე მეთოდის შერჩევა, რომელიც მინიმუმამდე დაიყვანდა რეზონატორზე გარედან ზემოქმედებას. ამ მიზნით ჩვენ მივმართეთ სოხუმის სხელმწიფო უნივერსიტეტს ექსპერიმენტის ერთობლივად ჩატარების თაობაზე. სამუშაოებში ჩართული იქნა ფიზიკა- მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი ზურაბ ადამია.

შეიქმნა დანადგარი, რომელშიც გამოიყენება თანამედროვე ინოვაციური ტექნოლოგიები. ბგერითი იმპულსი (პაკეტი) გადაეცემა ციფრულ- ანალოგურ გარდამქმნელს, რის შემდეგაც შესაბამისი პორტის საშუალებით მიეწოდება კომპიუტერს. სპეციალურად შექმნილი ორიგინალური პროგრამის საშუალებით გრაფიკულად დამუშავებული სიგნალი მიიღება კომპიუტერის ეკრანზე.

დანადგარი წარმოადგენს კამერას, სადაც იქმნება შესაბამისი ტემპერატურული და წნევითი რეჟიმი. ტემპერატურის, წნევის და ტენიანობის გამზომი სენსორები და ასევე ბგერის გენერატორი და მიმღები მოწყობილობები განთავსებულია კამერის შესაბამის წერტილებში. ექსპერიმენტის ყველა პარამეტრი იზომება ელექტრონულად, რაც მინიმუმამდე ამცირებს გაზომვის ცდომილებებს. სატესტო

ექსპერიმენტები ჩატარდა მუდმივ  $T = 23^{\circ}C$  ტემპერატურაზე წნევის ორი მნიშვნელობისთვის  $P_1 = 710$

ტორი და  $P_2 = 525$  ტორი. ბგერის სიჩქარე განისაზღვრებოდა მსრბოლი ტალღის მეთოდით.

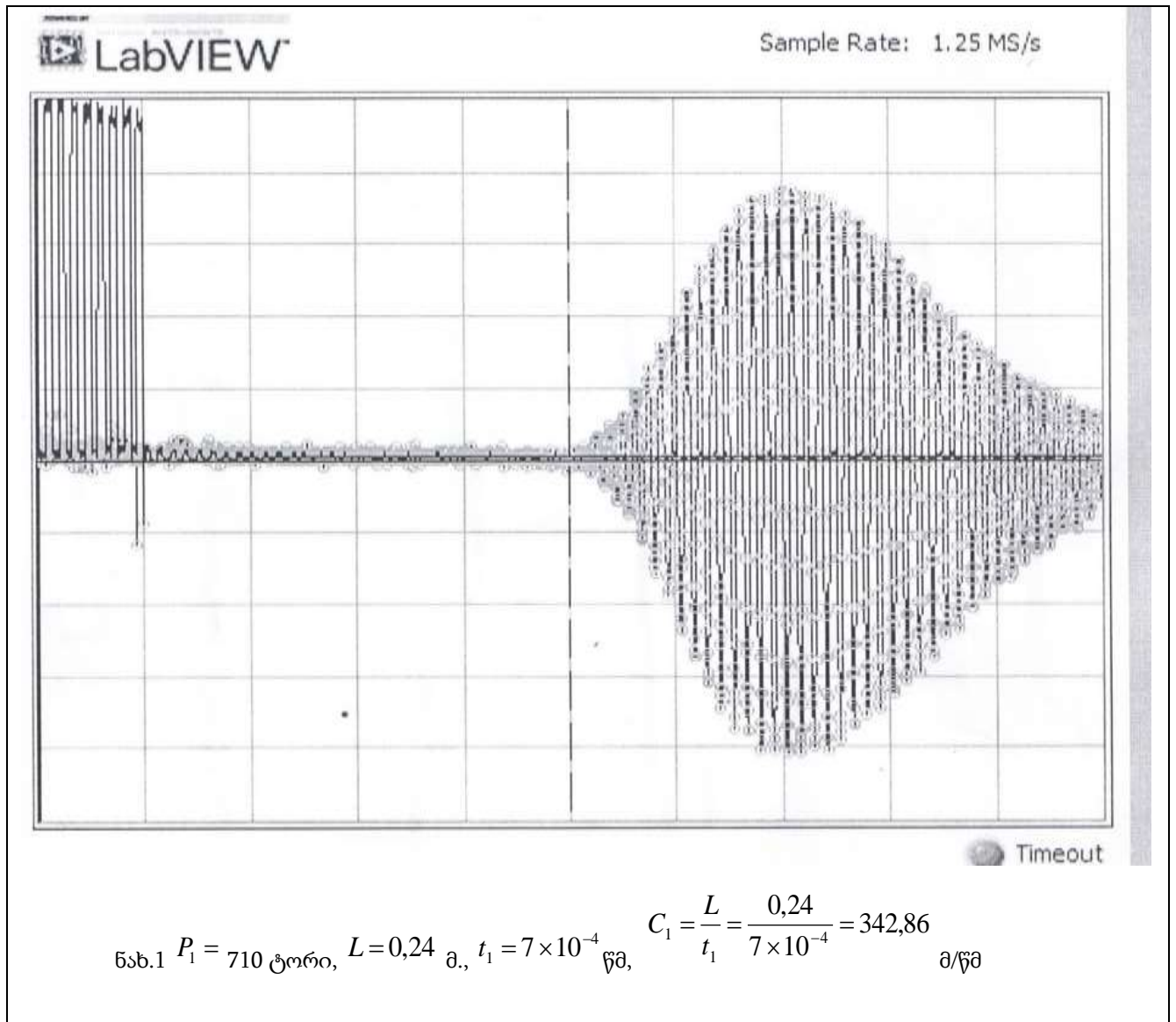
ნახაზებზე 1 და 2 მოცემულია კომპიუტერის ეკრანზე მიღებული გრაფიკულად დამუშავებული სიგნალების გამოსახულებები. ჰორიზონტალურ ღერძზე გადაზომილია დრო. ერთი დანაყოფის ფასია  $10^{-4}$  წმ., მანძილი ბგერის გენერატორსა ( $V = 50$  კვც.) და მიმღებს შორის  $L = 0,24$  მ., ბგერის მიერ ამ მანძილის გავლის დრო განისაზღვრება პაკეტის ამპლიტუდის მაქსიმალური მნიშვნელობის შესაბამისი

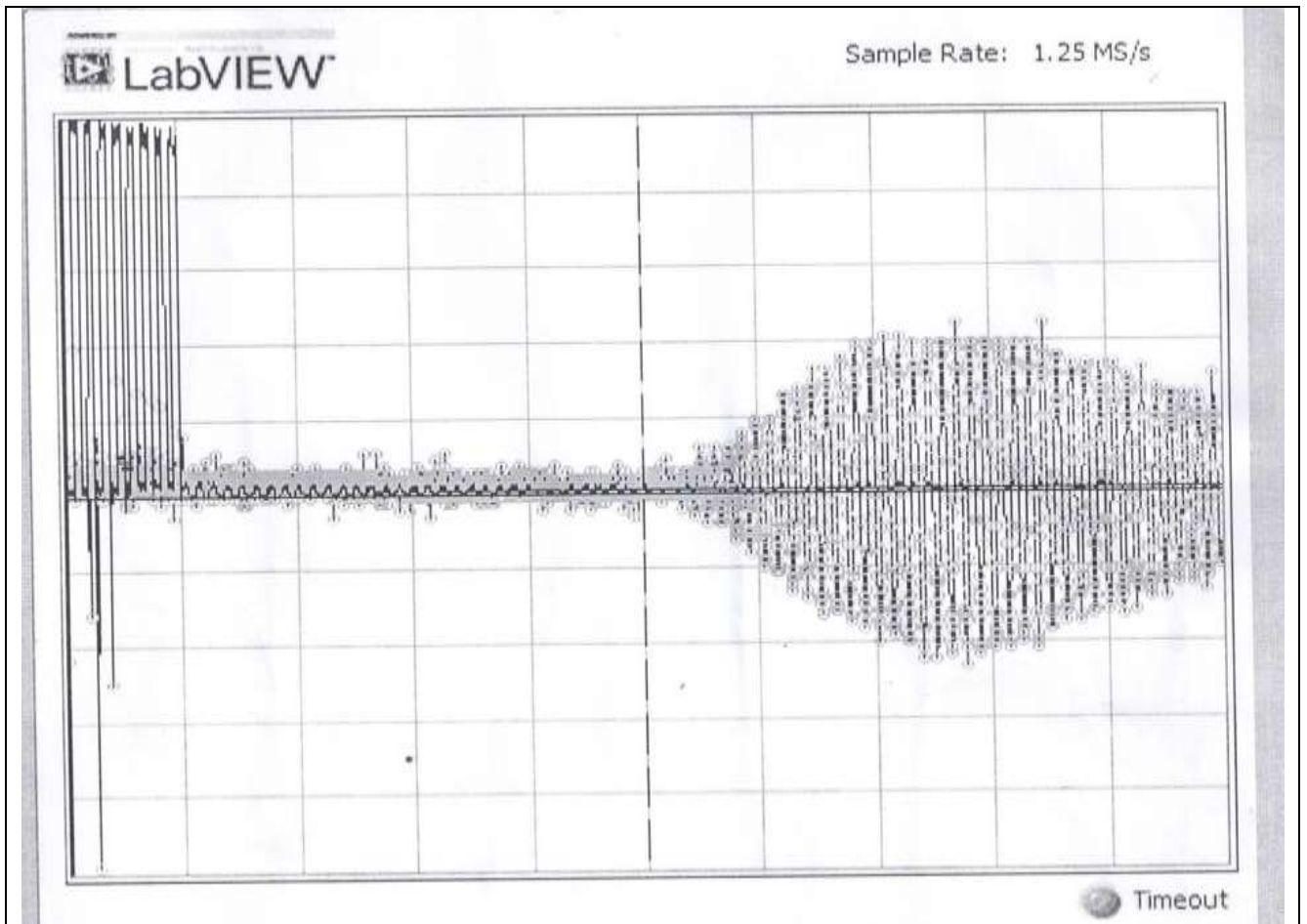
წერტილით დროის ღერძზე. ვხედავთ, რომ როცა წნევა  $P_1 = 710$  ტორს, ბგერის გარბენის დრო  $t_1 = 7 \times 10^{-4}$

წმ, ხოლო როცა წნევა  $P_2 = 525$  ტორს-  $t_2 = 7,75 \times 10^{-4}$  წმ. შესაბამისად, ბგერის სიჩქარეებისთვის ამ ორი შემთხვევისთვის გვაქვს

$$C_1 = \frac{L}{t_1} = \frac{0,24}{7 \times 10^{-4}} = 342,86 \quad \text{მ/წმ}$$

$$C_1 = \frac{L}{t_2} = \frac{0,24}{7,75 \times 10^{-4}} = 309,67 \quad \text{მ/წმ.}$$





ნახ.2.  $P_2 = 525$  ტორი,  $L = 0,24$  მ.,  $t_2 = 7,75 \times 10^{-4}$  წმ,  $C_2 = \frac{L}{t_2} = \frac{0,24}{7,75 \times 10^{-4}} = 309,67$  მ/წმ

შევამოწმოთ, რამდენად ემთხვევიან ეს ექსპერიმენტული მონაცემები თეორიულ შედეგებს. ამისათვის მოვიყვანოთ ფორმულა, რომელიც ასახავს წნევის განაწილებას  $z$  სიმაღლის მიხედვით ატმოსფეროში

$$C(T, z) = \frac{C_s(T)}{\sqrt{1 + \frac{C_s^2(T)}{c_p T} \left(\frac{Mgz}{RT}\right)^2}} = \frac{C_s(T)}{\sqrt{1 + \frac{\gamma R}{c_p M} \left(\frac{Mgz}{RT}\right)^2}} \quad (1)$$

ცადაც:  $C_s = \sqrt{\gamma RT/M}$  -ბგერის ადიაბატური სიჩქარეა, რომელიც ტოლია ბგერის სიჩქარისა ზღვის დონეზე ( $z=0$ );  $\gamma = c_p/c_v = 1,4$  -ჰაერის ადიაბატის მაჩვენებელია;  $R = 8,31$  ჯ/გრად.მოლი-აირის უნივერსალური მუდმივაა,  $M = 28,96 \times 10^{-3}$  კგ/მოლი-აირის მოლური მასაა;  $g$  სიმძიმის ძალის აჩქარებაა, რომელიც მცირედ იცვლება სიმაღლის ცვლილებისას;  $c_p = 10^3$  ჯ/კგ.გრად.-აირის კუთრი სითბოტევადობაა მუდმივი წნევის პირობებში. თუ ამ სიდიდეების მნიშვნელობებს შევიტანთ (1)-ში, მივიღებთ

$$C(T, z) = 20,04 \sqrt{\frac{T}{1 + 4,84 \times 10^{-6} (gz/T)^2}} \quad (2)$$

ჩვენთვის უფრო მოსახერხებელია ვიპოვოთ ბგერის სიჩქარის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე და

წნევაზე, ანუ  $C(T, z) \rightarrow C(T, P)$ . ამისათვის გამოვიყენოთ ლაპლასის ბარომეტრიული ფორმულა

$$P = nkT = \frac{\rho}{m} kT = \frac{\rho_0}{M} RT \exp\left(-\frac{Mgz}{RT}\right) = \frac{\rho_0 RT_0}{M} \frac{T}{T_0} \exp\left(-\frac{Mgz}{RT}\right) = P_0 \frac{T}{T_0} \exp\left(-\frac{Mgz}{RT}\right) \quad (3)$$

სდაც  $P_0 = \rho_0 RT_0 / M$  არის წნევა ზღვის დონეზე. (3)-დან

$$z = \frac{RT}{Mg} \ln\left(\frac{P_0 T}{P T_0}\right) \quad (4)$$

თუ (4)-ს ჩავსვამთ (2)-ში, საბოლოოდ გვექნება:

$$C(T, P) = 20,04 \sqrt{\frac{T}{1 + 0,40 \left(\ln 2,64 \frac{T}{P}\right)^2}} \quad (5)$$

(5)-დან გამოთვლებით მივიღებთ:

$$C_1(T, P_1) = 20,04 \sqrt{\frac{296}{1 + 0,40 \left(\ln 2,64 \frac{296}{710}\right)^2}} = 329,35 \text{ m/sec}$$

$$C_2(T, P_2) = 20,04 \sqrt{\frac{296}{1 + 0,40 \left(\ln 2,64 \frac{296}{525}\right)^2}} = 291,63 \text{ m/sec}$$

ადვილად გამოვთვლით, რომ პირველ შემთხვევაში ცდომილება 4%-ია, ხოლო მეორე შემთხვევაში 6%, რაც კარგ შედეგად შეიძლება ჩაითვალოს.

ამრიგად, შეიძლება დარწმუნებით ითქვას, რომ სატესტო ექსპერიმენტებმა დაადასტურეს ჩვენი თეორიული შედეგის სამართლიანობა. მომავალში იგეგმება სერიული ექსპერიმენტების ჩატარება ტემპერატურისა და წნევის ცვლილების რეჟიმში სხვადასხვა აირებისთვის, რასაც დიდი გამოყენებითი მნიშვნელობა ექნება.

1.2.

№	დასრულებული პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	2	3	4
	ზოგიერთი ტიპის განაწილებული მართვის სისტემების ფუნქციონირების ინტელექტუალური მოდელირება Matlab+Simulink სისტემის დისკრეტულ-მოვლენებიანი SimEvents და StateFlow გარემოების	2017-2018	რამაზ შამუგია - ხელმძღვანელი

<p>გამოყენებით (განვითარება, სრულყოფა).</p> <p>2. ინჟინერია და ტექნოლოგიები</p> <p>2.2. ელექტროინჟინერია, ელექტრონული ინჟინერია, საინფორმაციო ინჟინერია (ავტომატიზაცია და მართვის სისტემები; საკომუნიკაციო ინჟინერია და სისტემები)</p>		
--	--	--

თანამედროვე კომპიუტერული და სატელეკომუნიკაციო სისტემები და ქსელები წარმოადგენენ ტექნიკური საშუალებების რთულ კომპლექსებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ სხვადასხვა სახის მონაცემების მიღებას, დამუშავებას და გადაცემას ხარისხის სხვადასხვა მაჩვენებლებით. ისინი ფართოდ არიან წარმოდგენილი ადამიანის საქმიანობის, მეცნიერებისა და ტექნიკის სხვადასხვა სფეროებში. ასეთი სისტემების საფუძველს წარმოადგენენ მონაცემების მიღების, დამუშავებისა და გაცემის კომპიუტერული სისტემები ელექტრონული, ოპტიკურ-ბოჭკოვანი და რადიო არხების გამოყენებით, რომლებიც თავიანთი არსის მიხედვით წარმოადგენენ მრავალარხიან მასობრივი მომსახურების სისტემებს (მმს).

აღნიშნული სისტემებისა და ქსელების სფერო მიმდინარე პერიოდში განიცდის მნიშვნელოვან გარდაქმნებს, რომლებიც უკავშირდებიან მონაცემების უმავთულო გადაცემის, შენახვის და დამუშავების (დრუბლოვანი გამოთვლები) ახალი ტექნოლოგიების განვითარებას ოპტიკურ-ბოჭკოვანი ტექნიკის დანერგვას და ა.შ. თანამედროვე კომპიუტერული და სატელეკომუნიკაციო სისტემების განვითარებისათვის საჭიროა მათი ფუნქციონირების ადექვატური მათემატიკური და პროგრამული მოდელების შემუშავება, რომლებშიც გათვალისწინებული იქნება ასეთი სისტემებისათვის დამახასიათებელი თავისებურებები.

ცნობილია, რომ კომპიუტერული და სატელეკომუნიკაციო სისტემების ფუნქციონირებაზე მნიშვნელოვანი ზეგავლენის მოხდენა შეუძლიათ შემთხვევით ფაქტორებს, როლებიც გავლენას ახდენენ მათ გამტარუნარიანობაზე, მომსახურებაზე, შემომავალი ნაკადების ხასიათზე, მონაცემების გადაცემის ხარისხზე და ა.შ. შემთხვევითი ფაქტორების მაგალითებს შეიძლება წარმოადგენდნენ ხელოვნური და ბუნებრივი შეფერხებები, მონაცემების გადაცემის არხებში ხმაურის სხვადასხვა დონეები, მობილურ გადაცემებს შორის მანძილების ცვლილება, მაღალი პრიორიტეტის მქონე ინფორმაციის პარალელური გადაცემა, მოწყობილობის მწყობრიდან გამოსვლის და შეფერხებით მუშაობის სხვადასხვა სახის ფაქტორები, კლიმატური პირობების ზეგავლენა და სხვა. განსაკუთრებით ძლიერ ზეგავლენას შემთხვევითი ფაქტორები ახდენენ კავშირგაბმულობის უმავთულო სისტემებზე, რომლებიც უკანასკნელ პერიოდში განსაკუთრებული ინტენსივობით ვითარდებიან. ზემოაღნიშნული სისტემების ფუნქციონირების პროცესზე შემთხვევითი ფაქტორების ზეგავლენის გათვალისწინება არის მეტად მნიშვნელოვანი ადექვატური მათემატიკური და პროგრამული მოდელების აგებისათვის და კომპიუტერული და სატელეკომუნიკაციო სისტემების მწარმოებლურობითი მახასიათებლების გათვლების წარმოებისას.

მასობრივი მომსახურების თეორიის მათემატიკური მეთოდები შესაძლებელს ხდის შემთხვევით გარემოში მომუშავე თანამედროვე კომპიუტერული და სატელეკომუნიკაციო სისტემების ადექვატური სტოქასტიკური მოდელების შექმნას მისთვის დამახასიათებელი ფაქტორების გათვალისწინებით. შემთხვევითი გარემოს ქვეშ იგულისხმება სისტემისაგან დამოუკიდებელი შემთხვევითი პროცესი მდგომარეობათა სასრული სიმრავლით. შემთხვევითი გარემოს ფიქსირებული მდგომარეობისათვის სისტემა ფუნქციონირებს, როგორც მასობრივი მომსახურების კლასიკური სისტემა. თუმცა შემთხვევითი გარემოს მდგომარეობის შეცვლასთან ერთად სისტემის პარამეტრები (შემავალი ნაკადი, მომსახურების დროის განაწილება და სხვა) მყისიერად იცვლებიან.

წინამდებარე პროექტში განხილულია მასობრივი მომსახურების მრავალარხიანი სისტემა, რომელიც კენდალის კლასიფიკაციის მიხედვით მიეკუთვნება A/B/m/K/M ტიპის სისტემებს, სადაც A-სისტემაში განაცხადების შემოსვლის კანონია, B-სისტემაში შემოსული განაცხადების მომსახურების კანონი, m-პარალელურად მომუშავე მომსახურე ხელსაწყოების (არხების) რაოდენობა, K-სისტემაში განაცხადების დასაშვები რაოდენობა (რიგში და მომსახურებაზე მყოფი განაცხადების ჯამური რაოდენობა), ხოლო M-დატვირთვის წყაროების (განაცხადების წყაროების) რაოდენობა. აქ იგულისხმება, რომ სისტემის

პარამეტრები წარმოადგენენ მუდმივ სიდიდეებს, ხოლო სისტემაში მიმდინარე პროცესები განიხილებიან გამრავლებისა და დაღუპვის თეორიის თვალსაზრისიდან გამომდინარე.

იმიტაციური მოდელირება წარმოადგენს საწარმოო და ტექნოლოგიური პროცესების ანალიზისა და სინთეზისათვის ფართოდ გამოყენებად მეთოდს ადამიანების საქმიანობის სხვადასხვა სფეროებში. იმიტაციური მოდელირების პროცესი შესაძლებელს ხდის განსაკუთრებული სირთულის ამოცანების გადაწყვეტას, უზრუნველყოფს ელემენტების დიდი რაოდენობის შემცველი, ნებისმიერი სირთულისა და მრავალფეროვნების მატარებელი პროცესების იმიტაციის შესაძლებლობას. ცალკეული ფუნქციონალური დამოკიდებულებები ასეთ მოდელებში შესაძლებელია აღიწერებოდეს საკმაოდ მოზრდილი მათემატიკური თანაფარდობებით, ან სულაც ვერ ხერხდებოდეს მათი მათემატიკური აღწერა. ამიტომ იმიტაციური მოდელირება ეფექტურად გამოიყენება რთული სტრუქტურის მქონე სისტემების კვლევის ამოცანებში, კონკრეტული პრობლემების გადაწყვეტის მიზნით.

იმიტაციური მოდელები შეიცავენ უწყვეტი და დისკრეტული მოქმედების ელემენტებს, ამიტომაც ისინი უპირატესად გამოიყენება დინამიკური და დისკრეტული მოვლენებით მართვადი სისტემების კვლევისათვის, როდესაც საჭიროა მათ მუშაობაში ვიწრო ადგილების გამოვლენა, ფუნქციონირების დინამიკის გამოკვლევა, როდესაც სასურველია იმიტაციური მოდელის საშუალებით პროცესის მიმდინარეობაზე თვალყურის დევნება საჭირო დროის განმავლობაში.

იმიტაციური მოდელირება - წარმოადგენს აგრეთვე, სტოქასტიკური სისტემების კვლევის ეფექტურ აპარატს, რომელშიც საკვლევი სისტემა შესაძლებელია ექვემდებარებოდეს რთული ბუნების მატარებელი მრავალრიცხოვანი შემთხვევითი ფაქტორების ზეგავლენას. ამ სახის მოდელირება იძლევა კვლევების ჩატარების შესაძლებლობას გაურკვევლობის პირობებშიც, არასრული და არაზუსტი მონაცემების შემთხვევაში.

დღეისათვის იმიტაციურ მოდელირებაში გამოყოფენ სამ ძირითად მიდგომას: **სისტემური დინამიკის, დისკრეტულ-შემთხვევებიანს და აგენტურს.**

ჩამოთვლილი მიდგომებიდან მრავალი დისციპლინის ფარგლებში გამოიყენება დისკრეტულ-შემთხვევებიან მიდგომა, რომელიც უზრუნველყოფს იმიტაციური მოდელირების უნივერსალურობას და ეფექტურობას. იგი ორიენტირებულია რთული სისტემების ფართო კლასის კვლევებზე, რომელთა წარმოდგენა შესაძლებელია მასობრივი მომსახურების სისტემების სახით, რომლებიც რთულად ექვემდებარებიან შესწავლას ანალიტიკური ხერხებით. მასობრივი მომსახურების სისტემებში (მმს)

იგულისხმება ტიპური გზების არსებობა (მომსახურების არხები), რომლებიც უნდა გაიარონ განაცხადებმა დამუშავების პროცესში. ასეთ შემთხვევებში ამბობენ, რომ ხდება განაცხადების მომსახურება მომსახურე არხების (ხელსაწყოების) მიერ. არხები მათი დანიშნულებისა და მახასიათებლების მიხედვით შეიძლება განსხვავდებოდნენ ერთმანეთისაგან ან წარმოადგენდნენ სხვადასხვა კომბინაციების ერთობლივობას: შესაძლებელია, რომ განაცხადები იდგნენ რიგში და ელოდებოდნენ თავიანთ მომსახურებას; შესაძლებელია აგრეთვე, რომ განაცხადების ნაწილს მოემსახუროს სისტემა, ხოლო მეორე ნაწილს უარი ეთქვას მომსახურებაზე. მთავარია, რომ **განაცხადები** სისტემის თვალსაზრისით წარმოადგენენ გარკვეულ აბსტრაქციას: ეს არის ის რაც მოითხოვს მომსახურებას, ანუ რამაც უნდა გაიაროს გარკვეული გზა სისტემაში. **მომსახურე არხები** ასევე წარმოადგენენ აბსტრაქციას: ეს არის ის რაც ემსახურება განაცხადებს. განაცხადების გავლა სისტემაში შესაძლებელია მოხდეს არათანაბრად, არხები შესაძლებელია სხვადასხვა განაცხადებს მოემსახუროს სხვადასხვა დროის განმავლობაში და ა.შ., განაცხადების რაოდენობა ყოველთვის საკმაოდ დიდია. ყველაფერი ზემოაღნიშნული აქცევს მსგავს სისტემებს შესწავლისა და მართვისათვის რთულ სისტემებად და ყველა მიზეზ-შედეგობრივი კავშირებისთვის თვალყურის მიდევნება მათში შეუძლებელია. ამიტომ მიჩნეულია, რომ მომსახურება რთულ სისტემაში ატარებს შემთხვევით ხასიათს. ამრიგად ყველაზე ფართო გამოყენებას იმიტაციური მოდელირების მეთოდიკა პოულობს სწორედ მასობრივი მომსახურების სისტემების კვლევისას, რომლებშიც დროის შემთხვევით მომენტებში შემოდიან განაცხადები მომსახურებისათვის. ამასთან შემომავალი განაცხადების მომსახურება ხდება იმ მომენტისათვის სისტემის განკარგულებაში არსებული თავისუფალი მომსახურების არხებით.

უნდა აღინიშნოს, რომ უკანასკნელ წლებში მასობრივი მომსახურების თეორიის მათემატიკური მეთოდების გამოყენების არეალი განუწყვეტლივ იზრდება და სულ უფრო ცილდება კონკრეტულად „მომსახურე ორგანიზაციებთან“ დაკავშირებულ ამოცანებს.

საწარმოო და ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატიზაციის მრავალი ამოცანა უახლოვდება მასობრივი

მომსახურების თეორიის ამოცანებს.

მართვისა და რეგულირების მიზნებისათვის გამოყენებადი, მასობრივი მომსახურების ტიპის რთული სისტემების მოდელირებისათვის სულ უფრო მეტ განვითარებასა და გავრცელებას პოულობენ კომპიუტერული იმიტაციური მოდელირების ხერხები და საშუალებები. ეს განპირობებულია რთული დინამიკური სისტემების ხარისხობრივი და რაოდენობრივი მახასიათებლების კვლევებისადმი არსებული მზარდი მოთხოვნილებებით. იმიტაციურ მოდელირებას საფუძვლიანად მიიჩნევენ, აღნიშნული ტიპის სისტემების კვლევის ყველაზე ეფექტურ მეთოდად.

მართვის განაწილებული სისტემების ფუნქციონირების ოპტიმიზაციის ამოცანების გადაწყვეტისას ხშირად, ასევე საქმე გვაქვს მასობრივი მომსახურების ტიპის სისტემებთან, რომელთა დანიშნულება, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, მდგომარეობს ერთგვაროვანი ამოცანების მრავალჯერად შესრულებაში. მასობრივი მომსახურების ყოველი სისტემის დანიშნულება მდგომარეობს განაცხადების (მოთხოვნების) გარკვეული ნაკადის მომსახურებაში, რომლებიც სისტემის შესასვლელზე შემოდიან დროის შემთხვევით მომენტებში. აღნიშნული განაცხადების მომსახურება ზოგადად შემთხვევითი დროის განმავლობაში გრძელდება. სწორედ განაცხადების სისტემაში შემოსვლისა და მათი მომსახურების დროების შემთხვევითი ხასიათი განაპირობებენ მმს-ის არხების არათანაბარ დატვირთულობას.

მასობრივი მომსახურების ნებისმიერი სისტემა ხასიათდება მისი ეფექტურობის მაჩვენებლებით. ამიტომ მომსახურების ამოცანების ფორმალიზებისას სრულიად ბუნებრივია მისწრაფება იქეთკენ, რომ აიგოს ისეთი მმს, რომ დაცული იყოს გონივრული კომპრომისი განაცხადებთან დაკავშირებულ მაჩვენებლებსა და სისტემის შესაძლებლობების გამოყენების სისრულეს შორის. მმს-ების მოდელირებისას საჭიროა ეფექტურობის ისეთი მაჩვენებლის არჩევა, რომლებიც ერთდროულად გაითვალისწინებს, როგორც მომსახურე სისტემის, ისე მომსახურებაზე შემოსული განაცხადების მოთხოვნებსა და შესაძლებლობებს.

ეკონომიკური ეფექტურობის მაჩვენებლად შესაძლებელია არჩეული იქნას სისტემის სრულყოფილი ფუნქციონირების უზრუნველყოფასთან (მმს-ების ექსპლუატაციასთან, მომსახურების არხების უქმად დგომასთან და სხვ.) და განაცხადების მომსახურებასთან (განაცხადების რიგში დგომასთან და განაცხადების მიერ რიგის დატოვებასთან და სხვ.) დაკავშირებული დანახარჯების მინიმალური მნიშვნელობა.

პროექტის ზოგადი მიზანია მართვის განაწილებული ტექნიკური სისტემების ანალიზისა და სინთეზის თეორიის, მეთოდოლოგიისა და ხერხების განვითარება, რაც ხელს შეუწყობს ხარისხიანი და კონკურენტუნარიანი მართვის სისტემების შემუშავებას და წარმოებაში მათი დაჩქარებული ტემპებით დანერგვის და ეფექტურად ექსპლუატაციის პროცესების უზრუნველყოფას, დროითი, ფინანსური და სხვა სახის რეზერვებისა და რესურსების ოპტიმიზაციას სასიცოცხლო ციკლის სხვადასხვა ეტაპებზე, ანუ ისეთი პროგრამული მოდელების შემუშავება, რომლებიც შესაძლებელს გახდის შემავალი პარამეტრების ცვლილებით გამოწვეული გამოსავალი მახასიათებლების შეფასებას. მსგავსი მოდელების არსებობა ხელს შეუწყობს დაბალი საექსპლუატაციო მახასიათებლების მქონე ცალკეული ელემენტების კომბინირებით მაღალი მახასიათებლების მქონე სისტემების აგებას.

ზემოაღნიშნული ზოგადი მიზნიდან გამომდინარე, წინამდებარე პროექტის კონკრეტულ მიზანს წარმოადგენს 2017 წელს შესრულებული პროექტის სრულყოფა და გაუმჯობესება, რაც გულისხმობს იმავე კონცეპტუალური მოდელის ბაზაზე ისეთი ახალი პროგრამული მოდელის შემუშავებას, რომელშიც რეალიზებული იქნება მომხმარებლის გრაფიკული ინტერფეისი Matlab-ის შემადგენლობაში შემავალი სპეციალური პროგრამის GUIDE (Graphical User Interface Development Environment) საშუალებით. ზემოთ აღნიშნული მიზნიდან გამომდინარე წინამდებარე პროექტის ამოცანა ითვალისწინებს მასობრივი მომსახურების ტიპის, კონკრეტული სტრუქტურის მქონე მართვის განაწილებული დინამიკური სისტემის კომპლექსური, იმიტაციური მოდელის შემუშავებას. კერძოდ განხილულია აპარატურული და დროითი რეზერვების მქონე მრავალარხიანი მმს არასაიმედო, ალდგენადი ხელსაწყოებით და სისტემის შესასვლელში არსებული დამგროვებელი ბუნკერით.

განსახილველი სისტემის თავისებურებები (ცვლადი პარამეტრები):

ა) სისტემის შემადგენლობაში შემავალი მომსახურე ხელსაწყოები (სერვერები):

- $m=m_1+m_2$  მომსახურე ხელსაწყოების (სერვერების) საერთო რაოდენობა, სადაც

- $m_1$ -ძირითადი სერვერების რაოდენობაა, ხოლო

- $m_2$ -ფონურ რეჟიმში მომუშავე სარეზერვო სერვერების რაოდენობა,

ბ) სერვერები ექვემდებარებიან მტყუნებების ზეგავლენას, რომლებიც განაწილებული არიან პუასონის კანონის შესაბამისად შემდეგი ინტენსივობებით:

- $O=O_1+O_2$  მტყუნებების ჯამური ინტენსივობა, სადაც

- $O_1$ -არის ძირითადი სერვერების მტყუნებათა ინტენსივობა, ხოლო



**-O2-**არის სარეზერვო სერვერების მტყუნებათა ინტენსივობა. ითვლება, რომ ფონურ რეჟიმში მომუშავე სერვერები ნაკლები ინტენსივობით გამოდიან მწყობრიდან (**O1>O2**). სისტემაში გათვალისწინებულია სერვერების მტყუნების შემდგომი აღდგენის შესაძლებლობა, რომელიც ხორციელდება მაჩვენებლიანი კანონის შესაბამისად შემდეგი ინტენსივობით:

- V=V1+V2** სერვერების აღდგენის ჯამური ინტენსივობა, სადაც
- V1-** არის ძირითადი სერვერების აღდგენის ინტენსივობა, ხოლო
- V2-**არის სარეზერვო სერვერების აღდგენის ინტენსივობა.

იგულისხმება, რომ სარეზერვო სერვერები გადაირთვებიან ფუნქციონირების ძირითად რეჟიმში მწყობრიდან გამოსული ძირითადი სერვერების ჩასანაცვლებლად, აგრეთვე იგულისხმება, რომ მწყობრიდან გამოსული სერვერების, მათი აღდგენის შემდგომ ბრუნდებიან სისტემაში. ზემოთ აღწერილ სისტემაში მომსახურებისათვის შემოდის განაცხადების პუასონის ნაკადი შემდეგი მახასიათებლებით:

- M=M1+M2** არის განაცხადების შემოსვლის ჯამური ინტენსივობა, სადაც
- M1-**არის განაცხადების შემოსვლის ინტენსივობა ძირითად სერვერებზე, ხოლო
- M2-**არის განაცხადების ნაკადის შემოსვლის ინტენსივობა ფონურ რეჟიმში მომუშავე სარეზერვო სერვერებზე.

სისტემაში შემავალი განაცხადების მომსახურების ინტენსივობა ემორჩილება ალბათობების ექსპონენციალურ განაწილებას შემდეგი ინტენსივობებით:

- L=L1+L2-** არის განაცხადების მომსახურების ჯამური ინტენსივობით, სადაც
- L1-**არის ძირითადი სერვერების მიერ განაცხადების მომსახურების ინტენსივობა, ხოლო
- L2-** არის განაცხადების მომსახურების ინტენსივობა სარეზერვო სერვერების მიერ.

მომსახურების სისტემაში გათვალისწინებულია დამგროვებელი (ბუნკერი), რომელშიც წარმოიქმნება რიგი იმ განაცხადებისაგან, რომლებიც შემოდიან იმ დროს, როდესაც ყველა სერვერი დაკავებულია ადრე შემოსული განაცხადების მომსახურებით. განაცხადების საერთო რაოდენობა, რომელიც შესაძლებელია ერთდროულად იმყოფებოდეს სისტემაში შეზღუდულია და იგი ტოლია

- K=K1+K2+K0-**სადაც
- K-**არის სისტემაში მყოფი განაცხადების ჯამური რაოდენობა, ხოლო
- K1-**არის იმ განაცხადების რაოდენობა, რომლებიც იმყოფებიან მომსახურებაზე ძირითად სერვერებში,
- K2-**არის იმ განაცხადების რაოდენობა, რომლებიც იმყოფებიან მომსახურებაზე სარეზერვო სერვერებზე, და
- K0-**არის რიგში მდგომი განაცხადების რაოდენობა.

ზემოთ აღწერილი მართვის სისტემის ფუნქციონირების ეფექტურობის კრიტერიუმებად და საოპერაციო მაჩვენებლებად არჩეულია:

- სისტემის მტყუნების ალბათობა;
- სისტემის ფარდობითი გამტარუნარიანობა;
- სისტემის აბსოლუტური გამტარუნარიანობა;
- სისტემაში რიგის არსებობის ალბათობა;
- სისტემის ამა-თუ იმ არხის დაკავებულობის ალბათობა;
- რიგში მდგომი განაცხადების საშუალო რაოდენობა;
- განაცხადების სისტემაში ყოფნის საშუალო დრო;
- სისტემაში წარმოქმნილი რიგის საშუალო სიგრძე;
- განაცხადების რიგში დგომის საშუალო დრო.

**2. შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტით დაფინანსებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები**

**2.1.**

№	გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით,	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

	პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი		
1	2	3	4
გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2018 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)			

2.2.

№	დასრულებული (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	2	3	4
დასრულებული კვლევითი პროექტის 2018 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)			

3. უცხოური გრანტებით დაფინანსებული სამეცნიერო პროექტები

3.1.

№	გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი, დამფინანსებელი ორგანიზაცია/ სამეცნიერო ფონდი, ქვეყანა	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	2	3	4
გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2018 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)			

3.2.

№	დასრულებული (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი, დამფინანსებელი ორგანიზაცია/ სამეცნიერო ფონდი, ქვეყანა	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	2	3	4
დასრულებული კვლევითი პროექტის 2018 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)			

4. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში

#### 4.1. მონოგრაფიები/წიგნები

№	ავტორი/ავტორები	მონოგრაფიის/წიგნის სათაური, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

#### 4.2. სახელმძღვანელოები

№	ავტორი/ავტორები	სახელმძღვანელოს სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

#### 4.3. კრებულები

№	ავტორი/ავტორები	კრებულის სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
3				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

#### 4.4. სტატიები დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდის (DOI) მითითებით

№	ავტორი/ ავტორები	სტატიის სათა- ური, დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI	ჟურნალის/ კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1					
2					
3					
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)					

#### 4.5. სტატიები ISSN-ის მითითებით

№	ავტორი/ ავტორები	სტატიის სათა- ური, ISSN	ჟურნალის/ კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა

1					
2					
3					
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)					

## 5. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში

### 5.1. მონოგრაფიები/წიგნები

№	ავტორი/ავტორები	მონოგრაფიის/წიგნის სათაური, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

### 5.2. სახელმძღვანელოები

№	ავტორი/ავტორები	სახელმძღვანელოს სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

### 5.3. კრებულები

№	ავტორი/ავტორები	კრებულის სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
3				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

### 5.4. სტატიები

№	ავტორი/ ავტორები	სტატიის სათაური, დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN	ჟურნალის/ კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა

1	Ramaz R. Shamugia	Development and Investigation of the Program Model of Multichannel Gueueing System with Unreliable Recoverable Channels in Matlab Environment. DOI: <a href="https://doi.org/10.4236/ijcns.2018.1111014">10.4236/ijcns.2018.1111014</a>	International Journal of Communications, Network and System Sciences (IJCNS) No.11, Vol. 11, November, 2018	Scientific Research Publishing, Inc., USA	pp.: 229-237
---	-------------------	--	---	---	--------------

პრაქტიკაში ხშირად საჭირო ხდება ისეთი სისტემების შექმნა და ექსპლუატაცია, რომელთა დანიშნულება მდგომარეობს სხვადასხვა დარგში არსებული ტიპური ერთგვაროვანი ამოცანების გადასაწყვეტად, ერთი და იგივე პროცესების მრავალჯერად გამოყენებაში. ასეთ სისტემებში მიმდინარე პროცესებმა მიიღეს **მოთხოვნების (განაცხადების) მომსახურების** სახელწოდება, ხოლო თვით სისტემებს, რომელთა საშუალებითაც ხორციელდება მსგავსი ტიპის მომსახურება-ეწოდებად **მასობრივი მომსახურების სისტემები**. აღნიშნულ სტატიაში განხორციელებულია მსგავსი ტიპის სისტემებში მიმდინარე პროცესების, (რომლებიც მიეკუთვნებიან ერთეულ წოდებულ მარკოვულ პროცესებს), კომპიუტერული პროგრამული მოდელირება. კერძოდ მასში Matlab-ის საშუალებებით განხორციელებულია მასობრივი მომსახურების ერთ-ერთი ტიპური (არასაიმედო აღდგენადი არხების შემცველი, რეზერვირებული და განაცხადების შეზღუდული რაოდენობის მქონე მრავალარხიანი) სისტემის პროგრამული მოდელის რეალიზაცია. პროექტში აღნიშნული პროგრამული მოდელისათვის Matlab-ის შემადგენლობაში შემავალი პაკეტის GUIDE (Graphical User Interface Development Environment)-ის გამოყენებით შემუშავებულია, გრაფიკული ინტერფეისი, რომელიც უზრუნველყოფს პროგრამაში არსებული სპეციალური მართვის ელემენტების საშუალებით საჭირო არგუმენტების მნიშვნელობების შეტანას და პროგრამის მიერ განხორციელებული გამოთვლებით მიღებული შედეგების გრაფიკული და რიცხობრივი მნიშვნელობების შესაბამის ფანჯრებში გამოტანას. აღნიშნული ინტერფეისის საშუალებით შესაძლებელი ხდება მოცემული ტიპის და სტრუქტურის მქონე მასობრივი მომსახურების სისტემებზე ექსპერიმენტების წარმოება. აღნიშნული სამუშაოს სარგებლიანობა მდგომარეობს მიღებული შედეგების გამოყენებაში მარკოვულობის თვისების მატარებელი ზოგიერთი რეალური სისტემების ოპტიმალურობის ხარისხის შეფასებისათვის.

## 6. სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა

### 6.1. საქართველოში

№	მომხსენებელი/ მომხსენებლები	მომხსენების სათაური	ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი
1			
2			
3			

მომხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)

### 6.2. უცხოეთში

№	მომხსენებელი/ მომხსენებლები	მომხსენების სათაური	ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი
1	Рамаз Шамугия	Разработка математической модели многоканальной Системы Массового Обслуживания со многими состояниями функционирования <a href="http://ies.vntu.edu.ua/uk/">http://ies.vntu.edu.ua/uk/</a> <a href="http://ies.vntu.edu.ua/reports/program/WORK-IES-2018.pdf">http://ies.vntu.edu.ua/reports/program/WORK-IES-2018.pdf</a>	22-25 мая 2018. Винницкий Национальный Университет, Украина. (IES-2018).

**II. ნახევარგამტარული მასალათმცოდნეობის ლაბორატორია**

სამეცნიერო ერთეულის ხელმძღვანელი:

**გიორგი დარსაველიძე** - მთავარი მეცნიერ-თანამშრომელი, ფიზ. მათ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი

სამეცნიერო ერთეულის პერსონალური შემადგენლობა:

- იაშა ტაბატაძე -----უფროსი მეცნიერ-თანამშრომელი, დოქტორი
- ფრიდონ ბასარია -----უფროსი მეცნიერ-თანამშრომელი, დოქტორი
- მარინა ქაძარია -----მეცნიერ-თანამშრომელი, დოქტორი
- გიორგი ჩუბინიძე -----მეცნიერ-თანამშრომელი, დოქტორი
- დავით მხეიძე -----მეცნიერ-თანამშრომელი, დოქტორი
- გიორგი აროშვილი -----მეცნიერ-თანამშრომელი, დოქტორანტი
- ტატიანა მელაშვილი -----მეცნიერ-თანამშრომელი, მაგისტრი
- ნარგიზა გოგოლაშვილი -- ინჟინერი

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

1.2.

№	დასრულებული პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	<p>ჩოხრალსკის მეთოდით მიღებული მონო- და პოლიკრისტალური SiGe შენადნობების ფუძეზე მართვადი მახასიათებლების ი.წ. ახლო დიაპაზონის ფოტოდეტექტორების ექსპერიმენტული ნიმუშების შექმნა და კვლევა</p> <p>1. საბუნებისმეტყველო მეცნიერებანი</p> <p>1.3. ფიზიკური მეცნიერებანი (კონდენსირებული გარემოს</p>	2018 წელი	<p>გიორგი დარსაველიძე (კვლევების ხელმძღვანელობა, შედეგების ანალიზი),</p> <p>იაშა ტაბატაძე (ნიმუშების დაჭრა, ელექტრული გაზომვები),</p> <p>მარინა ქაძარია (მეტალოგრაფიული კვლევა),</p> <p>გიორგი ჩუბინიძე (კრისტალების მიღება),</p> <p>ია ყურაშვილი (შინაგანი ხახუნის კვლევა),</p> <p>დავით მხეიძე (ი.წ. გამოსხივების ოპტიკური შთანთქმის სპექტრების გაზომვები)</p> <p>ტატიანა მელაშვილი (ნიმუშების</p>

	<p>ფიზიკა)  (სფტი-სა და მნეი-ს ერთობლივი პროექტი)</p>		<p>პოლირება, ელექტროფიზიკური გაზომვები), გიორგი აროშვილი (p-n სტრუქტურის კვლევა MDP-23 მონოქრომატორზე) ნარგიზა გოგოლაშვილი (p-n სტრუქტურების I-V მახასიათებლების კვლევა), ფრიდონ ბასარია (p-n სტრუქტურის მიღება დიფუზიის მეთოდით)</p>
--	---	--	---

სილიციუმის დოპირება იზოვალენტური Ge, C და Sn მინარევებით იწვევს სილიციუმის კრისტალური მესრის დამახასიათებელი დეფექტების სტრუქტურის მოდიფიცირებას, რაც ქმნის მასალის ელექტრული და ოპტიკური თვისებების მართვის შესაძლებლობებს. ცნობილია, რომ გერმანიუმით დოპირებულ სილიციუმში ჩანერგვის პოზიციაში არსებული ჟანგბადის იწ გამოსხივების შთანთქმის სპექტრში ფორმირდება ორი დამატებითი ზოლი, რასაც განაპირობებს ჟანგბადის ატომების შეშფოთება მეორე და მესამე საკოორდინაციო სფეროებში ლოკალიზებული გერმანიუმის ატომებით. ეს გარემოება მნიშვნელოვანია სილიციუმ-გერმანიუმის შენადნობების საფუძველზე შექმნილი p-n სტრუქტურების იწ გამოსხივების ფოტომგრძობიარობის მაქსიმუმების მახასიათებლების ცვლილებათა კანონზომიერებების დასადგენად. განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს **გერმანიუმით ლეგირებული სილიციუმის რადიაციული მედეგობის გაუმჯობესება**. სილიციუმის კრისტალურ მესერში გახსნილი გერმანიუმის ატომები ამცირებენ რადიაციული A- ცენტრების (VO) და დივაკანსიების (V<sub>2</sub>) წარმოქმნის ეფექტურობას, რაც განპირობებულია გერმანიუმის ატომებით ვაკანსიების ჩაჭერთა და GeV კომპლექსების ფორმირებით. გერმანიუმით დოპირებულ სილიციუმში მკვეთრად მუხრუჭდება მზის გამოსხივებით ინდუცირებული დეფექტების ჩასახვა; შესაბამისად ვლინდება SiGe ფუძემშრეებზე შექმნილი მზის ელემენტების მუშაობის რესურსის გაზრდის შესაძლებლობები.

საანგარიშო 2018 წლის განმავლობაში ჩოხრაღსკის მეთოდით კრისტალის ზრდის [111] მიმართულებით მიღებულია არალეგირებული, ბორითა და ფოსფორით ცალ-ცალკე ლეგირებული მსხვილმარცვლოვანი სტრუქტურის Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> (x≤0.05) შენადნობების მოცულობითი კრისტალები (სიგრძე-40-60 მმ, დიამეტრი-25-35 მმ). აღმასის დისკით ყველა კრისტალიდან გამოიჭრა მონო- და პოლიკრისტალური ზოდები და მათ საფუძველზე დამზადდა პროფილირებული ექსპერიმენტული ნიმუშები. მათი ზედაპირების აბრაზიული ფხვნილებითა და აღმასის პასტებით სტანდარტული ტექნოლოგიური დამუშავებით მიღებული იქნა მაღალი ხარისხით პოლირებული SiGe ფუძემშრეები და პრიზმის ფორმის ღეროები ელექტროფიზიკური და მექანიკური თვისებების კვლევებისათვის. რენტგენის დიფრაქტომეტრზე DRON-3 მესრის პარამეტრის განსაზღვრისა და ჰიდროსტატიკური აწონვის მეთოდებით განისაზღვრა თითოეულ ნიმუშში გერმანიუმის კონცენტრაცია.

მეტალოგრაფიული კვლევით მიღებულია შემდეგი შედეგები:  
არალეგირებული მონოკრისტალური Si<sub>0.99</sub>Ge<sub>0.01</sub>, Si<sub>0.98</sub>Ge<sub>0.02</sub> და Si<sub>0.96</sub>Ge<sub>0.04</sub> ფუძემშრეების მიკროსტრუქტურაში გამოვლენილია 10<sup>3</sup>-5·10<sup>4</sup> სმ<sup>-3</sup> სიმკვრივის დისლოკაციები. დისლოკაციებისა და ე.წ. „ სვირლდეფექტების“ კონცენტრაცია იზრდება გერმანიუმის შემცველობის ამაღლებით. 10<sup>14</sup>-10<sup>15</sup> სმ<sup>-3</sup> კონცენტრაციის ბორითა და ფოსფორით დოპირებული ნიმუშების მიკროსტრუქტურაში ხშირად ვლინდება მინარევების დისპერსული ფაზებით დეკორირებული დისლოკაციური სტრუქტურა, მიკროფორები, პლასტიკური დეფორმაციის კვალი. ბორის იონების იმპლანტაციისა და მაღალ ტემპერატურებზე ფოსფორის დიფუზიით შექმნილ p-n სტრუქტურებში დამატებითი თერმული დამუშავების შემდეგ ვლინდება არაერთგვაროვნად განაწილებული იზოლირებული დისლოკაციები და მათი ჯგუფები მწკრივებისა და ბლოკების საზღვრებზე. დისლოკაციებისაგან თავისუფალ არეებში შეინიშნება სხვადასხვა ზომის მიკროფორები და დისპერსული ჩანართები. მეტალოგრაფიული კვლევით გამოვლენილი სტრუქტურული დეფექტები გავლენას ახდენენ SiGe ფუძემშრეებისა და p-n სტრუქტურების ელექტროფიზიკურ მახასიათებლებზე. კერძოდ, ვლინდება დენის მატარებელი ელექტრონებისა და ხვრელების ძვრადობის შემცირების ტენდენცია, რაც უმთავრესად განპირობებულია მათი გაბნევით სტრუქტურულ დეფექტებზე.

ი.წ. გამოსხივების ფართო დიაპაზონში ოპტიკური შთანთქმის სპექტრებში გამოვლინდა მაქსიმუმების სიმრავლე როგორც იონიზპლანტირებულ, ასევე მაღალტემპერატურული დიფუზიით შექმნილ p-n სტრუქტურებში, რომლებიც განეკუთვნებიან ვაკანსია-ჟანგბადი-ნახშირბადის (V-O-C) კომპლექსებს. მათი ინტენსივობა ერთი რიგით მაღალია იონიზპლანტირებულ p-n სტრუქტურების ი.წ. გამოსხივების ოპტიკური შთანთქმის სპექტრებში. გერმანიუმის მაღალი შემცველობის p-n სტრუქტურების ი.წ. გამოსხივების შთანთქმის მაქსიმუმების ტალღის სიგრძე ცვლილებას განიცდის, რადგანაც ამალღებულია ოპტიკურად აქტიურ კომპლექსებზე გერმანიუმის გავლენა. შესაბამისად, ი.წ. გამოსხივების 1.5-2.2 მკმ დიაპაზონში ფოტომგრძობიარობის მაქსიმუმები პოზიციებს იცვლიან. p-n სტრუქტურების ფოტომგრძობიარობა შედარებით სუსტად რეაგირებს გერმანიუმის შემცველობის ცვლილებაზე. მისი ამაღლება შესაძლებელია რადიაციის ფლუენსის გაზრდით, რის შედეგადაც გაიზრდება რადიაციული დეფექტების კონცენტრაცია.  $10^{14}$ - $10^{15}$   $\text{სმ}^{-2}$  ფლუენსის არგონის იონების დასხივებით ფოსფორის დიფუზიით შექმნილ p-n სტრუქტურებში ~ 2-ჯერ ამაღლდა ფოტომგრძობიარობის მაქსიმუმების ინტენსივობა ი.წ. გამოსხივების ტალღის სიგრძის 1.8-2.0 მკმ დიაპაზონში. მაქსიმუმის მახასიათებლები ავლენენ თერმულ მდგრადობას (~6 თვე) ოთახის ტემპერატურაზე ჰაერის გარემოში.

გრეხითი რხევების 0.5 - 5.0 ჰვ დიაპაზონში შესწავლილია მონოკრისტალური SiGe ფუძემშრეებისა და ფოსფორის დიფუზიით შექმნილი p-n სტრუქტურების შინაგანი ხახუნისა და ძვრის მოდულის ტემპერატურული დამოკიდებულება საწყის და  $10^{14}$   $\text{სმ}^{-2}$  ფლუენსის არგონის იონებით დასხივებულ მდგომარეობაში. გამოვლინდა ვაკანსია-ჟანგბადის (V-O) კომპლექსის (A-ცენტრი) მოძრაობით განპირობებული რელაქსაციური პროცესი ~280°C ტემპერატურის არეში. განისაზღვრა პროცესის აქტივაციის ენერჯისა და სიხშირის ფაქტორის მნიშვნელობები. დადგინდა, რომ გერმანიუმით ლეგირება ამცირებს 280°C ტემპერატურაზე V-O კომპლექსის მიგრაციასთან დაკავშირებული რელაქსაციური პროცესის ინტენსივობას; გერმანიუმის კონცენტრაციის ამაღლება 4-5ატ.%-მდე ავლენს აღნიშნული პროცესის კრიტიკული ტემპერატურისა და აქტივაციის ენერჯის შემცირების ტენდენციას. თერმული მოწვის პროცესში 280°C ტემპერატურაზე შინაგანი ხახუნის მაქსიმუმის ინტენსივობა მცირდება და 1.5სთ-ის შემდეგ აღწევს ნაჯერობის მდგომარეობას. მსხვილმარცვლოვან  $\text{Si}+2\text{ატ.}\% \text{Ge} : \text{B}(10^{14} \text{სმ}^{-3})$  ფუძემშრეზე  $10^{16} \text{სმ}^{-3}$  კონცენტრაციის ფოსფორის დიფუზიით შექმნილი p-n სტრუქტურის შინაგანი ხახუნის სპექტრში ასევე ვლინდება რელაქსაციური მაქსიმუმი 270-280°C ტემპერატურათა არეში. მაქსიმუმის ინტენსივობა მკვეთრად იზრდება ამპლიტუდური დეფორმაციის გაზრდით. ვვარაუდობთ, რომ ეს გარემოება დაკავშირებულია თერმულ ძაბვებთან, რომლებიც ფორმირდებიან ფოსფორის დიფუზიის პროცესში.

ვიკერსის ინდენტორის დატვირთვის ფართო დიაპაზონში მიკროსისალისა და ინდენტორების მოდულის გაზომვებით გამოკვლეულია SiGe ფუძემშრეებზე ფოსფორისა და ბორის მაღალტემპერატურული დიფუზიით შექმნილი p-n სტრუქტურების ზედაპირებზე, მოცულობასა და უშუალოდ გამყოფ სასაზღვრო ზონაში არსებული დეფექტების წვლილი მექანიკური მახასიათებლების ცვლილებებში. გამოვლინდა მიკრომექანიკური მახასიათებლების ანომალური ზრდის ე.წ. „ზომითი ეფექტი“, დაკავშირებული ზედაპირულ ფენებში მცირე ზომის დისლოკაციური მარყუჟების ბლოკირებით ვაკანსიებით, მალეგირებელი B და P ატომებითა და ჩანერგვის პოზიციებში არსებული Si-ის ატომებით. p-n სტრუქტურის აქტიურ ფენაში B და P ასევე იწვევენ განმტკიცებას, რაც ნათლად ვლინდება 400-900 °C ინტერვალში თერმული მოწვების შემდეგ. აღნიშნული ცვლილებები გამოწვეულია მალეგირებელი ბორისა და ფოსფორის ატომების გადანაწილებით ელექტრულად აქტიური მყარი ხსნარის პოზიციებიდან დისლოკაციების ბირთვების მახლობლობაში და მათი ბმების გაძლიერებით. ასეთ პირობებში 10-15% ით მცირდება დენის მატარებლების კონცენტრაცია და ვლინდება მათი ძვრადობის გაზრდის ტენდენცია. მიღებული შედეგები აჩვენებენ, რომ Ge, B, P და ვაკანსიების კონცენტრაციების ცვლილებებით შესაძლებელია SiGe ფუძემშრეებისა და მათზე შექმნილი p-n სტრუქტურების ელექტროფიზიკური და მექანიკური მახასიათებლების მიზანმიმართული რეგულირების განხორციელება.

მაღალი (500-2000 ომი/სმ) და დაბალი (0.5-10 ომი/სმ) კუთრი ელექტროწინალობის p- და n-ტიპის SiGe ფუძემშრეებზე ბორის იონური იმპლანტაციითა და ფოსფორის მაღალტემპერატურული (1100°C) დიფუზიით შეიქმნა p-n გადასასვლელები და განისაზღვრა მათი დიოდური მახასიათებლები. n-ტიპის  $\text{Si}_{0.96}\text{Ge}_{0.04}:\text{P}$  ( $10^{19} \text{სმ}^{-3}$ ) შექმნილი p-n სტრუქტურების ი.წ. გამოსხივების ტალღის სიგრძის 1.5-2.0 მკმ დიაპაზონში



გამოვლენილი ფოტოდენის მაქსიმუმი 80-100 ნა-ს შეადგენს. მისი ინტენსივობა, სიგანე და ტალღის სიგრძის კრიტიკული მნიშვნელობა მგრძნობიარეა თერმული დამუშავებისადმი და სტრუქტურული დეფექტების კონცენტრაციისადმი. ოთახის ტემპერატურის პირობებში მაქსიმუმი ინტენსივობის 80%-ს ინარჩუნებს 8-10 თვის განავლობაში.

0.5-10 ომი-სმ კუთრი ელექტრული წინაღობის ფუმეშრეებზე შექმნილ p-n სტრუქტურებზე სტანდარტული მეთოდით შეიქმნა ალუმინის კონტაქტები. დამზადდა მზის გამოსხივების ენერჯის გარდამქმნელი მცირე სიმძლავრის მოდულის ექსპერიმენტული ნიმუში (ე.მ.ძ. ~ 8ვ, მოკლე ჩართვის დენი 0.45 ა).

2. შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტით დაფინანსებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები

2.1.

№	გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	Si-Ge მონოკრისტალების შინაგანი ხახუნის სპექტრებისა და მიკროსისალის თავისებურებანი  1. საბუნებისმეტყველო მეცნიერებანი 1.3. ფიზიკური მეცნიერებანი (კონდენსირებული გარემოს ფიზიკა)  <b>SRNSF #217562</b>	2016 – 2019 წწ.	გიორგი დარსაველიძე-პროექტის ხელმძღვანელი; ია ყურაშვილი-კოორდინატორი; ძირითადი პერსონალი: გიორგი ჩუბინიძე; გიორგი არჩუაძე; იაშა ტაბატაძე; მარინა ქადარია. დამხმარე პერსონალი: ტატიანა მელაშვილი; დავით მხეიძე; ნარგიზა გოგოლაშვილი.

საანგარიშო პერიოდში განხორციელდა ჩოხრალსკის მეთოდით ბორით ლეგირებული ( $10^{13}$ - $5 \times 10^{13}$  სმ<sup>-3</sup>) Si, Si+0.5ატ.%Ge, Si+1.0ატ.%Ge, Si+1.5ატ.%Ge და Si+2.0ატ.%Ge მონოკრისტალების მიღება სადნობ ღუმელში EQ-SKJ-50CZ და პროფილირებული ნიმუშების დამზადება. მიღებული კრისტალების ნიმუშების ზედაპირები მომზადდა შემდეგი 5 ძირითადი ოპერაციისაგან: 1. ალმასის დისკზე ჭრა; 2. ნიმუშების დამაგრება; 3. მექანიკური ხეხვა; 4. მექანიკური პოლირება; 5. ელექტროქიმიური პოლირება ან მოწამვლა (მეტალოგრაფიული კვლევებისათვის).

ბორით ლეგირებული სილიციუმ-გერმანიუმის შენადნობების მიკროსტრუქტურაში გამოვლინდა უწყესრიგოდ განაწილებული დისლოკაციური მოწამვლის ორმოები, ისინი აგრეთვე წარმოდგენილია მწკრივების ფორმით. დისლოკაციების საშუალო სიმკვრივე შეადგენს  $5 \cdot 10^{14}$  სმ<sup>-2</sup>. ნიმუშების მიკროსტრუქტურის კვლევით დადგინდა, რომ განვითარებული დისლოკაციური სტრუქტურის ფორმირება ხდება კრისტალიზაციის მაღალი სიჩქარეების (5 მმ/სთ) შემთხვევაში. ამასთან ერთად დისლოკაციების სიმკვრივეს ამაღლებს გერმანიუმითა და ბორით ლეგირება.

განხორციელდა ბორით ლეგირებული მონოკრისტალური Si-Ge შენადნობების ელექტროფიზიკური თვისებების ექსპერიმენტული კვლევა. შედარებითი ანალიზისათვის შერჩეული იქნა ბორით ლეგირებული გერმანიუმის 1 და 2ატ.%-ის შედგენილობის Si-Ge მონოკრისტალები. ბორით ლეგირებულ სილიციუმ-გერმანიუმის შენადნობის კრისტალურ მესერში ბორის ატომების ელექტრული და დიფუზური აქტიურობა

დამოკიდებულია გერმანიუმის კონცენტრაციასა და სტრუქტურული დეფექტების ტიპებსა და რაოდენობაზე (ვაკანსია, მინარევები, დისლოკაციები). ბორის ატომები უპირატესად მყარ ხსნარში განაწილებული გერმანიუმის ატომების მახლობლობაში, სადაც სილიციუმის კრისტალური მესერი ლოკალიზებული გაჭიმვის დეფორმაციას განიცდის.

ექსპერიმენტულმა კვლევამ აჩვენა საცდელი Si-Ge ფუძემრეების (111) სიბრტყეებზე დინამიური მიკროსისალისა და ინდენტრების მოდულის მნიშვნელოვანი ამაღლება და შემდგომი მკვეთრად შემცირება, რაც გრაფიკებზე გამოსახულია როგორც ე.წ. „ზომითი ეფექტი“. მექანიკური თვისებების აღნიშნული ხასიათის ცვლილება ძირითადად განპირობებულია მეტად მაღალი კონცენტრაციის ზედაპირული დეფექტების არსებობით. ისინი წარმოიქმნებიან მექანიკური ხეხვისა და პოლირების პროცესებში.

განხორციელდა შედარებით მაღალი კონცენტრაციის ბორით ლეგირებული ( $10^{14}$ - $5 \times 10^{14}$  სმ<sup>-3</sup>) Si, Si+1.0ატ.%Ge, Si+1.5ატ.%Ge და Si+2.0ატ.%Ge მონოკრისტალების მიღება და მათგან პროფილირებული ნიმუშების დამზადება.

მეტალოგრაფიული კვლევის თანახმად მსხვილმარცვლოვანი Si+2.0ატ.%Ge:B ( $5 \times 10^{14}$  სმ<sup>-3</sup>) შენადნობის სტრუქტურა შეიცავს დისლოკაციური წარმოშობის დეფექტებს, წერტილოვანი დეფექტების კომპლექსებსა და მინარევების სხვადასხვა ზომის დისპერსულ ჩანართებს კრისტალის მოცულობაში.

კვლევები განხორციელდა საწყის და მაღალენერგეტიკული (~12 მეგ) ელექტრონებით დასხივებულ მდგომარეობაში (ფლუენსი  $\sim 10^{13}$  სმ<sup>-2</sup>). რენტგენის დიფრაქციის მეთოდით გამოვლინდა ბორის გავლენით კრისტალური მესრის პარამეტრის შემცირების ტენდენცია როგორც საწყის, ისე ელექტრონებით დასხივებულ ნიმუშებში. გაანალიზებულია გერმანიუმისა და ბორის გავლენა მესრის პარამეტრის სიდიდეზე. დადგინდა, რომ გერმანიუმითა და ბორით ერთობლივად ლეგირება აყალიბებს განვითარებულ დისლოკაციურ სტრუქტურას.

შესრულდა  $5 \times 10^{14}$  სმ<sup>-3</sup> კონცენტრაციამდე ბორით ლეგირებული SiGe შენადნობების ელექტროფიზიკური თვისებების ექსპერიმენტული კვლევის სამუშაოები. შედარებითი ანალიზისათვის შერჩეული იქნა ბორით ლეგირებული SiGe კრისტალები, რომლებიც შეიცავენ Ge-ს 1.5 და 2ატ%-ით. განისაზღვრა საწყისი და ელექტრონებით დასხივებული ნიმუშების ელექტროფიზიკური მახასიათებლები. დადგინდა, რომ ბორით ლეგირება და ელექტრონებით დასხივება ამცირებს დენის მატარებლების ძვრადობას, რაც გამოწვეულია სტრუქტურის დეფექტებზე ხვრელების გაბნევის გაძლიერებით.

ვიკერსის ინდენტორზე დატვირთვის ფართო დიაპაზონში გაზომვებით გამოვლინდა ბორისა და ელექტრონების რადიაციის გავლენით დინამიური განმტკიცების ტენდენცია, რაც ძირითადად განპირობებულია თერმული და რადიაციული დეფექტების ურთიერთბლოკირების გაძლიერებით.

გამოვლინილია თერმული და რადიაციული წერტილოვანი დეფექტების მიგრაციით გამოწვეული რელაქსაციური შინაგანი ხახუნის პროცესები. განსაზღვრულია მათი აქტივაციის მახასიათებლები. დადგენილია მათი ამაღლების ტენდენცია ბორით ლეგირებულ კრისტალებში.

გამოვლინილი იქნა ვაკანსია-ჟანგბადის (V-O) კომპლექსის მოძრაობით განპირობებული რელაქსაციური შინაგანი ხახუნის პროცესი და მისი თანხმლები ძვრის მოდულის დეფექტი Si, Si+1.5%Ge:B და Si+2%Ge:B კრისტალებში 280°C ტემპერატურის არეში. მისი ინტენსივობა უმნიშვნელოა საწყისი სტრუქტურის კრისტალებში, ხოლო ელექტრონების რადიაციის გავლენით ის 50-100-ჯერ ძლიერდება. ნაჩვენებია, რომ V-O კომპლექსის მიგრაცია გარეშე ნიშანცვლადი მექანიკური ძაბვის ველში სრულდება 1.35 ევ აქტივაციის ენერგიით. რელაქსაციაში მონაწილე V-O წყვილების რხევის სიხშირის ფაქტორი  $\sim 10^{14}$  წმ<sup>-1</sup>-ია.

საწყისი და დასხივებული SiGe შენადნობების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ცვლილებათა კანონზომიერებებისა და მიკროსკოპული მექანიზმების კომპლექსური კვლევა გრძელდება მიმდინარე პროექტის ფარგლებში.

2.2.

№	დასრულებული (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	2	3	4
დასრულებული კვლევითი პროექტის 2018 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული			

შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)
--

**3. უცხოური გრანტებით დაფინანსებული სამეცნიერო პროექტები**

**3.1.**

№	გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი, დამფინანსებელი ორგანიზაცია/ სამეცნიერო ფონდი, ქვეყანა	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	2	3	4
გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2018 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)			

**3.2.**

№	დასრულებული (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი, დამფინანსებელი ორგანიზაცია/ სამეცნიერო ფონდი, ქვეყანა	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	2	3	4
დასრულებული კვლევითი პროექტის 2018 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)			

**4. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში**

**4.1. მონოგრაფიები/წიგნები**

№	ავტორი/ავტორები	მონოგრაფიის/წიგნის სათაური, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

**4. 2. სახელმძღვანელოები**

№	ავტორი/ავტორები	სახელმძღვანელოს სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა

		ISBN		
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

**4.3. კრებულები**

№	ავტორი/ავტორები	კრებულის სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				

**4.4. სტატიები დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდის (DOI) მითითებით**

№	ავტორი/ავტორები	სტატიის სათაური, დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI	ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1					
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)					

**4.5. სტატიები ISSN-ის მითითებით**

№	ავტორი/ავტორები	სტატიის სათაური, ISSN	ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1	I.Kurashvili, G.Darsavelidze, G.Bokuchava, G.Chubinidze, I.Tabatadze, G.Archuadze	Influence of Radiation Defects on Internal Friction Spectra of SiGe Crystals, <b>ISSN 0132 – 1447</b>	Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, №3, vol. 12, 2018	Tbilisi, Georgia. Georgian National Academy Press	pp. 57-61

შესწავლილია 12 მევ ენერგიის ელექტრონებით დასხივების გავლენა (111) კრისტალოგრაფიული ორიენტაციის სილიციუმისა და მსხვილმარცვლოვანი Si<sub>0.98</sub>Ge<sub>0.02</sub> შენადნობის სტრუქტურულად-მგრძნობიარე ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე. ~10<sup>13</sup> სმ<sup>-2</sup> ფლუენსის ელექტრონებით დასხივებულ ნიმუშებში გამოვლენილია დენის მატარებელი ხვრელების ძვრადობის შემცირების ტენდენცია. ორივე კრისტალის შინაგანი ხახუნის ტემპერატურულ სპექტრში გამოვლენილია რელაქსაციური მაქსიმუმები 100 და 300<sup>o</sup>C ტემპერატურათა არეებში. რელაქსაციაში მონაწილე დეფექტების სიხშირის ფაქტორი 10<sup>12</sup>-10<sup>13</sup> წმ<sup>-1</sup> შეადგენს, ხოლო აქტივაციის ენერგიის სიდიდეებია 1.0 და 1.4 ევ შესაბამისად 100 და 300<sup>o</sup>C ტემპერატურებზე. შემოთავაზებულია აღნიშნული რელაქსაციური პროცესების შესაძლებელი მექანიზმები: ვაკანსიების წყვილების შექცევადი

<p>მოდრაობა 100<sup>0</sup>C ტემპერატურის არეში და ვაკანსია-ჟანგბადის ატომის წყვილების შექცევადი მოძრაობა 300<sup>0</sup>C ტემპერატურის არეში გარეშე მექანიკური ძაბვის ველში.</p> <p>მაღალი ენერგიის ელექტრონებით დასხივებული ნიმუშების შინაგანი ხახუნისა და ძვრის დინამიური მოდულის დეფორმაციის ამპლიტუდაზე დამოკიდებულების გრაფიკებზე გამოვლენილია კრიტიკული დეფორმაციის სიდიდეების ამაღლება. მიღებული შედეგები ავლენენ მაღალი ენერგიის ელექტრონებით დასხივებული Si-ისა და Si<sub>0.98</sub>Ge<sub>0.02</sub> შენადნობის განმტკიცებას რადიაციული დეფექტების გავლენით.</p>					
2.	ი.ყურაშვილი, თ.ქიმერიძე, ი.ტაბატაძე, დ.მხეიძე, გ.დარსაველიძე	რენტგენის ფოტონებით დასხივებული p-ტიპის Si <sub>0.96</sub> Ge <sub>0.04</sub> შენადნობის არადრეკადი მახასიათებლების ცვლილებათა თავისებურებანი <b>ISSN 1512-0120</b>	სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“ 4(88), 2018	თბილისი, საქართველო. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, კავშირი „მეცნიერება და ენერჯეტიკა“	გვ. 55-62
<p>სილიციუმ-გერმანიუმის შენადნობების მოცულობითი კრისტალების მექანიკური თვისებების მიზანმიმართული ცვლილებების ეფექტური განხორციელება შესაძლებელია მათი დამახასიათებელი დისლოკაციური სტრუქტურის კრისტალოგომეტრიული და ენერგეტიკული პარამეტრების მართვით. მინარევების ატმოსფეროების შედგენილობისა და კონფიგურაციის ცვლილებებში მნიშვნელოვანი წვლილი შეაქვთ პირველად რადიაციულ დეფექტებს, კერძოდ, ვაკანსიებს. ვაკანსიებისა და მინარევების ატომების ურთიერთქმედებით წარმოქმნილ კომპლექსებში კონცენტრაციული და კონფიგურაციული გარდაქმნები განაპირობებენ დისლოკაციების ძვრადობის ცვლილებებს ფართო საზღვრებში. ასეთ პირობებში ვლინდება სილიციუმ-გერმანიუმის კრისტალების მექანიკური სიმტკიცისა და მიკროპლასტიკურობის მართვის შესაძლებლობები.</p> <p>წინამდებარე ნაშრომში შესწავლილია 5·10<sup>15</sup> სმ<sup>-2</sup> ფლუენსის რენტგენის ფოტონებით დასხივებული, ჩოხრალსკის მეთოდით მიღებული p-ტიპის მსხვილმარცვლოვანი Si<sub>0.96</sub>Ge<sub>0.04</sub> შენადნობის შინაგანი ხახუნისა და ძვრის დინამიური მოდულის ამპლიტუდური დამოკიდებულება. ნაჩვენებია, რომ რენტგენის სხივებით რადიაციული ზემოქმედება იწვევს კრისტალიზაციის პროცესში წარმოქმნილი დეფექტების ქვესისტემის მოდიფიცირებას. 20-400<sup>0</sup>C ტემპერატურულ ინტერვალში მოწვევის გავლენით გამოვლინდა დინამიური მექანიკური განმტკიცების ტენდენცია, რაც განპირობებულია მინარევების ატმოსფეროებში არსებული რადიაციული დეფექტებით დისლოკაციების ბლოკირების გაძლიერებით.</p>					
3	I.Kurashvili, G.Darsavelidze, G.Bokuchava, G.Chubinidze I.Tabatadze	Influence of lattice defects on the inelastic properties of SiGe alloys <b>ISBN 987-9942-8-0534-9</b>	IMS 2018 Inorganic Materials Science. Modern Technologies and Methods. Book of Abstract	Tbilisi, Georgia Georgian National Academy Press	pp.54-57
<p>ნაშრომში წარმოდგენილია ჩოხრალსკის მეთოდით მიღებული p-ტიპის მონოკრისტალური და Si-სა და Si<sub>0.98</sub>Ge<sub>0.02</sub> შენადნობის მიკროსტრუქტურისა და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევის შედეგები. კერძოდ, შესწავლილია საწყისი და 8x10<sup>12</sup>სმ<sup>-2</sup> ფლუენსის ელექტრონებით დასხივებული ნიმუშების დისლოკაციური სტრუქტურა, ელექტროფიზიკური მახასიათებლები, შინაგანი ხახუნისა და ძვრის დინამიური მოდულის ტემპერატურული სპექტრები. დასხივებული ნიმუშების მიკროსტრუქტურაში გამოვლენილია დისლოკაციების სიმკვრივის ზრდა, და აგრეთვე, რელაქსაციური შინაგანი ხახუნის მაქსიმუმი 280-310<sup>0</sup>C ტემპერატურულ ინტერვალში. ნაჩვენებია,</p>					

რომ ელექტრონებით დასხივება იწვევს 80-150 °C ტემპერატურულ ინტერვალში შინაგანი ხახუნის ფონის ამალღებასა და განიერი მაქსიმუმის წარმოქმნას, რაც ახასიათებს ელექტრონებით დაუსხივებელი მონოკრისტალური სილიციუმისა და Si<sub>0.98</sub>Ge<sub>0.02</sub> შენადნობის შინაგანი ხახუნის ტემპერატურულ სპექტრებს. გაანალიზებულია Si და Si-Ge შენადნობებში ჩასახული რადიაციული დეფექტების (დივაკანსიები, ვაკანსია-ჟანგბადის კომპლექსები (A-ცენტრები)) წვლილი გრეხითი რხევების ენერჯის გაზნვის რელაქსაციურ პროცესებში.

## 5. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში

### 5.1. მონოგრაფიები/წიგნები

№	ავტორი/ავტორები	მონოგრაფიის/წიგნის სათაური, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

### 5.2. სახელმძღვანელოები

№	ავტორი/ავტორები	სახელმძღვანელოს სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

### 5.3. კრებულები

№	ავტორი/ავტორები	კრებულის სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
3				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

### 5.4. სტატიები

№	ავტორი/ავტორები	სტატიის სათაური, დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN	ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1	I.Kurashvili, G.arsavelidze, G.Bokuchava,	Physical-mechanical properties of monocrystalline Si-	International Journal of Mechanical And	Odisha, India IRAJ Journals. Institute of Research	pp. 52-56

G.Chubinidze, I.Tabatadze	$x\text{Ge}_x(x \leq 0,02)$ alloys <b>ISSN (Print), :</b> <b>2320-2092.</b> <b>ISSN (Online), :</b> <b>2321-2071</b>	Production Engineering, #1, Vol. 6, 2018	and Journals
------------------------------	--	--	--------------

უკანასკნელი წლების განმავლობაში SiGe შენადნობების მოცულობითი კრისტალებისა და ეპიტაქსიური სტრუქტურებისადმი ინტერესი მკვეთრად გაიზარდა, რაც განპირობებულია მათ ფუძეზე მაღალი ეფექტურობის, რადიაციამედეგი, ნახევარგამტარული ხელსაწყოებისა და მოწყობილობების შექმნისა და გამოყენების მაღალი პერსპექტივებით. ნაშრომში წარმოდგენლია მონოკრისტალური  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x(x \leq 0.02)$  შენადნობების მიკროსტრუქტურაზე, ელექტროფიზიკურ თვისებებსა და გრეხითი რხევების მიღების ჰისტორიისულ და მიკროპლასტიკურ პროცესებზე მაღალტემპერატურული მოწვევისა და დეფორმაციის გავლენის კვლევის შედეგები. კვლევის საგანს წარმოადგენს ჩოხრალსკის მეთოდით მიღებული [111] კრისტალოგრაფიული ორიენტაციის  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x(x \leq 0.02)$  შენადნობები. ექსპერიმენტული ნიმუშების მიკროსტრუქტურის შესწავლა სრულდებოდა ოპტიკურ მიკროსკოპზე NMM-80RF/TRF. ელექტროფიზიკური მახასიათებლები განისაზღვრა ჰოლის ეფექტით Ecopia HMS-3000 სისტემის დანადგარზე. შინაგანი ხახუნისა და ძვრის მოდულის ამპლიტუდური დამოკიდებულება შესწავლილი იქნა ლაზორატორიულ დანადგარზე ფიქსირებულ ტემპერატურებზე (20 და  $700^\circ\text{C}$ ), გრეხითი რხევების სიხშირის დიაპაზონში 0.5-5 ჰც და ამპლიტუდური დეფორმაციის  $10^{-5}$ - $5 \cdot 10^{-3}$  ინტერვალში. ნაჩვენებია, რომ SiGe მიკროსტრუქტურა (111) სიბრტყეზე ხასიათდება არათანაბრად განაწილებული დისლოკაციებით, რაც მკვეთრად ვლინდება გერმანიუმის კონცენტრაციის ზრდით. შესწავლილი იქნა აგრეთვე ვაკუუმში 900 და  $1200^\circ\text{C}$  ტემპერატურებზე მოწვის (ხანგრძლივობა 10 სთ.) გავლენა. გამოვლინდა კრიტიკული ამპლიტუდური დეფორმაციის სიდიდეების ზრდის ტენდენცია. მომწვარი ნიმუშების ციკლური დეფორმაცია იწვევს კრიტიკული ამპლიტუდური დეფორმაციის სიდიდეების შემცირებას 10-15%-ით. გაანალიზებულია გერმანიუმის ლეგირებით, Ar-ის იონების იმპლანტაციით, მაღალტემპერატურული მოწვით და დეფორმაციით განპირობებული ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების ცვლილებათა თავისებურებანი.

**6. სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა**

**6.1. საქართველოში**

№	მომხსენებელი/ მომხსენებლები	მოხსენების სათაური	ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი
1	ი.ყურაშვილი გ.ბოკუჩავა ი.ტაბატაძე თ.ქიმერიძე გ.დარსაველიძე	მესრის დეფექტების გავლენა SiGe შენადნობების არადრეკად თვისებებზე	8-11 ოქტომბერი, 2018 წელი თბილისი, საქართველო
მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)			

**6. 2. უცხოეთში**

№	მომხსენებელი/ მომხსენებლები	მოხსენების სათაური	ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი
1			
2			
3			
მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)			

**III. ნახევარგამტარული და რადიაციული ტექნოლოგიების ლაბორატორია**

სამეცნიერო ერთეულის ხელმძღვანელი:

**ანზორ გულდამაშვილი** - მთავარი მეცნიერ-თანამშრომელი, ფიზ. მათ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი

სამეცნიერო ერთეულის პერსონალური შემადგენლობა:

**იური ნარდაია** ..... მთავარი მეცნიერ - თანამშრომელი, ფიზ. მათ. მეცნ. დოქტორი  
**ნოდარ გაფიშვილი** ..... უფროსი მეცნიერ-თანამშრომელი, დოქტორი  
**ავთანდილ სიჭინავა** ..... უფროსი მეცნიერ-თანამშრომელი, აკადემიური დოქტორი  
**თორნიკე ქიმერიძე** ..... მეცნიერ-თანამშრომელი, დოქტორანტი  
**ცირა ნებიერიძე** ..... მეცნიერ-თანამშრომელი, მაგისტრი  
**ლევან გაფიშვილი** ..... მეცნიერ-თანამშრომელი, მაგისტრი

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

1.2.

№	დასრულებული პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
---	--	--	--

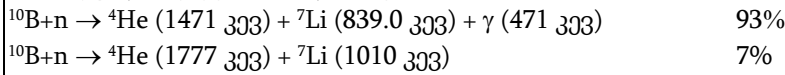


<p>1</p>	<p>ნეიტრონების და სხვა მაიონებელი გამოსხივების სენსორები ნახევარგამტარული მასალების საფუძველზე.</p> <p>1. საბუნებისმეტყველო მეცნიერებანი 1.3. ფიზიკური მეცნიერებანი (ბირთვული ფიზიკა)</p> <p>2. ინჟინერია და ტექნოლოგიები 2.2. ელექტროინჟინერია, ელექტრონული ინჟინერია, საინფორმაციო ინჟინერია (ელექტრო და ელექტრონული ინჟინერია; ავტომატიზაცია და მართვის სისტემები)</p> <p>(სფტი-სა და მნეი-ს ერთობლივი პროექტი)</p>	<p>2018 წ.</p>	<p>ა.გულდამაშვილი-პროექტის ხელმძღვანელი-პროექტის საერთო ხელმძღვანელობა. გ.არჩუაძე-პროექტის ხელმძღვანელი: ელექტრონული სისტემები, ელექტრონული სქემის მართვის პროგრამა, დეტექტორის საპილოტე ნიმუში. ა.სიჭინავა-ძირითადი რადიაციული პარამეტრების გამოთვლები, იონური იმპლანტაციის ტექნოლოგიური პირობების შერჩევა. ნ.გაფიშვილი- იონური იმპლანტაცია. ი.ნარდაია- ელექტროფიზიკური პარამეტრების გაზომვის მეთოდის დამუშავება და შესწავლა. ც.ნებიერიძე-ნიმუშების ზედაპირების მომზადება იონური იმპლანტაციისათვის. ლ.გაფიშვილი-p-n სტრუქტურების შექმნა. თ.ქიმერიძე- SiGe ნიმუშების ზედაპირების დამუშავება.</p>
<p>პროექტის მიზანია ანალოგური მიკროპროცესორით აღჭურვილი ნახევარგამტარული იონიმიმპლანტირებული &lt;111&gt; კრისტალოგრაფიული ორიენტაციის n- ტიპის <math>Si_{1-x}Ge_x</math> (<math>x \leq 0.05</math>) შენადნობის p-n გადასასვლელიანი დეტექტორების ექსპერიმენტული ნიმუშების მიღება და კვლევა. პროექტის აქტუალობა გამოწვეულია თანამედროვე მსოფლიოში ბირთვული და რადიაციული უსაფრთხოების, ბირთვული იარაღის გაუვრცელებლობის კონტროლის და ბირთვული ტერორიზმისაგან თავდაცვის აუცილებლობით და ასევე, საერთაშორისო სამომხმარებლო ბაზარზე ნეიტრონებისა და სხვა ტიპის მაიონებელი გამოსხივების დეტექტორებისადმი არსებული მაღალი მოთხოვნილებით. საერთაშორისო სამომხმარებლო ბაზარზე ბირთვულ დეტექტორებზე მოთხოვნებმა 100 მილიარდ აშშ დოლარს გადააჭარბა, ამიტომ აქტუალურ პრობლემად რჩება ინოვაციური მეთოდებით გაუმჯობესებული ექსპლუატაციური მახასიათებლების დეტექტორების კლასის და მათი ფუნქციონალური შესაძლებლობების არეალის გაფართოება. ბოლო ხანებში ფართო გავრცელება ჰპოვა ნახევარგამტარულმა დეტექტორებმა, რომელიც შედგება p-n გადასასვლელიანი დიოდისა და კონვერტერისაგან. ნეიტრონის კონვერტერის მასალასთან ურთიერთქმედებისას წარმოიქმნება დამუხტული ნაწილაკები, რომლებიც ნახევარგამტარში წარმოქმნიან მუხტის მატარებლებს, ელექტრონ-ხვრელების წყვილს, რომელთა რეგისტრაცია ხდება ელექტრონულ ბლოკში. ნახევარგამტარული ნეიტრონების დეტექტორები გამოირჩევიან მათი დამზადების სიმარტივით, მაგნე გარემოში ექსპლოატაციის შესაძლებლობით, თერმული მდგრადობით.</p> <p>ამ მხრივ გამორჩეულია SiGe-ის ფუძეზე შექმნილი მასალები. <math>Si_{1-x}Ge_x</math> (<math>x \leq 0.05</math>) სისტემის მონო- და პოლიკრისტალური შენადნობები, რომლებშიაც გერმანიუმის შემცველობა არ აღემატება 5%-ს ხასიათდებიან მიკროელექტრონიკისა და ოპტოელექტრონიკის სწრაფადმოქმედ ხელსაწყოებსა და მოწყობილობებში გამოყენების ფართო პერსპექტივებით, რასაც განაპირობებს კრისტალური მესრის</p>			

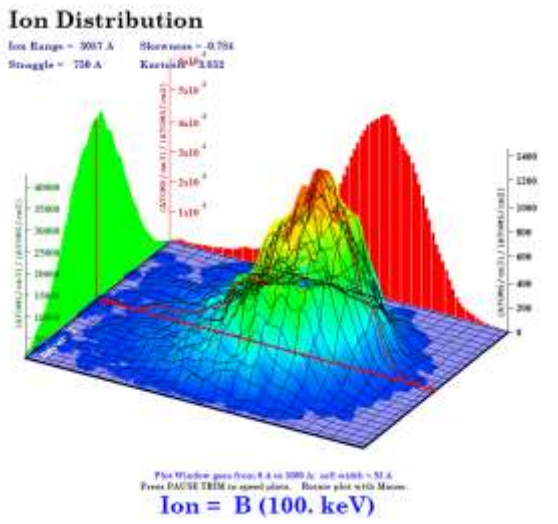
პარამეტრისა და აკრძალული ზონის სიგანის მართვის პოტენციური შესაძლებლობა. მასიური მონოკრისტალური სილიციუმ-გერმანიუმის შენადნობები პერსპექტიულია რენტგენისა და ნეიტრონების დეტექტორებში, ფოტომიმდებებში, მზის გამოსხივების ენერჯის თერმო- და ფოტოელექტრულ გარდამქმნელებში, მაღალეფექტურ დისკრეტულ ხელსაწყოებში, ელექტრონიკასა და ფოტონიკაში სხვადასხვა დანიშნულების მოწყობილობების შესაქმნელად.

ცნობილია, რომ გერმანიუმის გახსნა ჩანაცვლების პოზიციაში იწვევს სილიციუმის კრისტალურ მესერში დისლოკაციების ძვრადობის შემცირებას, ახდენს დისლოკაციური კვანძების მოდიფიცირებას და შესაბამისად ააქტიურებს ჟანგბადის შემცველი დისპერსული წარმონაქმნების გამოყოფას მყარი ხსნარიდან; იზრდება მასალის სიმტკიცე, რაც აუმჯობესებს ფუძემდებების დამზადების ტექნოლოგიას; ამცირებს ბორ-ჟანგბადის (B-0) კომპლექსების წარმოქმნის ალბათობას; ამცირებს ბორ-ჟანგბადი-ნახშირბადის (B-0-C) რთული კომპლექსების კონცენტრაციას; მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს დენის მატარებლების ძვრადობასა და სიცოცხლის ხანგრძლივობას. მზის სხივების ხანგრძლივი ზემოქმედებით უარესდება სილიციუმის ფუძეზე შექმნილი მზის ელემენტების მახასიათებლები, მაშინ როდესაც **სილიციუმ-გერმანიუმის ფუძემდებზე შექმნილი მზის ელემენტების დეგრადაცია უმნიშვნელოა.**

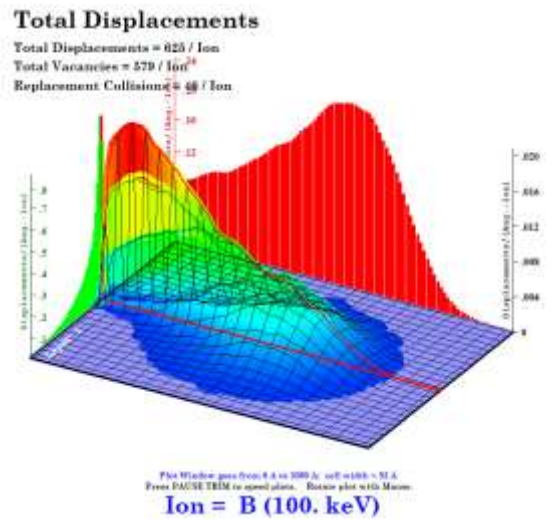
შემოთავაზებული დეტექტორი  $Si_{1-x}Ge_x$  ( $x \leq 0.05$ ) იონიმიპლანტაციური p-n გადასასვლელიანი პლანარული დიოდი, რომლის აქცეპტორული გამტარობის ინვერსიული p- ფენა ერთდროულად ნეიტრონების კონვერტერს წარმოადგენს. იონიმიპლანტაციური დეტექტორი, სამომხმარებლო ბაზარზე არ არსებობს. მის ანალოგებში სხვა კონსტრუქციები და ტექნოლოგიები გამოყენებული. ნეიტრონების კონვერტერის შექმნა n- ტიპის მონოკრისტალური  $Si_{1-x}Ge_x$  ( $x \leq 0.05$ ) სისტემის  $^{10}B$ -ის იონების მაღალფლუენსიანი იმპლანტაციით ხორციელდება. იონური იმპლანტაციის მეთოდი თავისუფალია წონასწორული თერმოდინამიკის მოთხოვნებისაგან, ამიტომ ამ მეთოდით შესაძლებელია ისეთი პარამეტრების დეტექტორების შექმნა, რომელთა განხორციელება სხვა მეთოდებით შეუძლებელია. დეტექტორის კონვერტერში შემდეგი სახის ბირთვული რეაქცია მიმდინარეობს:



ნახევარგამტარული მასალების იონური იმპლანტაციის ტექნოლოგიის შერჩევისათვის, მათი ელექტროფიზიკური თვისებებისა და მისგან შექნილი დიოდების და დეტექტორების პარამეტრების ინტერპრეტაციისათვის გამოთვლილია სილიციუმის მზომბავი ნაწილაკების რადიაციული მახასიათებლები. მახასიათებლებად შერჩეულია სილიციუმის მზომბავი  $^{10}B$  იონებისა და ბირთვული რეაქციის  $^{10}B(n,\alpha)^7Li$  დაშლის პროდუქტების -  $^4He$  და  $^7Li$  ნაწილაკების განარბენებისა და წარმოქმნილი წერტილოვანი რადიაციული დეფექტების სივრცული განაწილების პარამეტრები. პარამეტრების გამოთვლა განხორციელდა კომპიუტერზე SRIM-2013 და TRIM-2013 პროგრამებით.



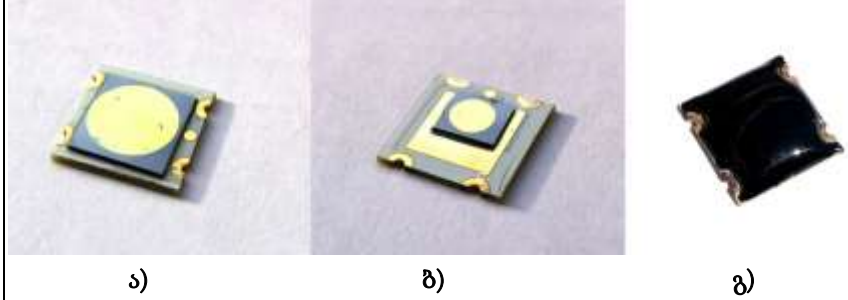
ა)



ბ)

ნახ.1. 100 კეე ენერჯის  $^{10}B$  იონების  $Si_{0.97}Ge_{0.03}$  სამიზნესთან ურთიერთქმედებისას საშუალო პროექციული განარბენისა (ა) და  $Si_{0.97}Ge_{0.03}$  სამიზნის წანაცვლებული ატომების (ბ) სივრცული განაწილების გრაფიკები.

კრისტალოგრაფიული ორიენტაციის n-ტიპის  $Si_{1-x}Ge_x$  ( $x \leq 0.05$ ) შენადნობის ორმხრივგაპრიალებული მინიმალური სიმქისის (6.3-7.3 ნმ) ნიმუშები. ნიმუშების დაჭრა, ხეხვა და პოლირება განხორციელდა ინსტიტუტში არსებულ პრეციზიულ დანადგარებზე სტანდარტული ტექნოლოგიით. ინვერსიული p- ფენის მისაღებად განხორციელებულია ჩოხრალსკის მეთოდით მიღებული n-ტიპის  $Si_{1-x}Ge_x$  საწყის ნიმუშებზე ფოტოლითოგრაფიის მეთოდით შექმნილ 10 და 5 მმ დიამეტრის წრიული ღია არეების სხვადასხვა ენერჯის  $^{10}B$ -ის იონებით თანმიმდევრული იმპლანტაცია, დამზადებულია p-n გადასასვლელიანი დიოდები და შესწავლილია მათი ვოლტამპერული მახასიათებლები რომელთაგან შეირჩა ოპტიმალური პარამეტრების ორი სენსორი ე.წ. Glob Top ენკაფსულაციისათვის.



ნახ.2. 1 სმ<sup>2</sup> და 0.25 სმ<sup>2</sup> ფართის ნიმუშები მიჩრილული კონტაქტებით (ა,ბ) და ენკაფსულირებული სენსორი (გ)

შედეგად დამზადებულია ნახევარგამტარული იონიმიპლანტაციური ნეიტრონების დეტექტორი, რომელიც 4 ძირითადი მოდულისგან შედგება (ნახ.3):

- 1) ძირითადი მიკროპროცესორული სისტემის დაფა, რომელზედაც განთავსებულია სისტემის ძირითადი მიკროპროცესორი, კვებისა და აკუმულატორის დამუხტვის სისტემა, აკუმულატორის მუხტის განმსაზღვრელი სისტემა, ორპოლარული დაბალხმაურიანი კვების წყარო, ინფორმაციის შეყვანა/ასახვის სისტემები და ბლუთუზის საკომუნიკაციო მოდული.
- 2) ანალოგური სისტემის დაფა, რომელზედაც განთავსებულია Cremat-ის წარმოების წინასწარი და მაფორმირებელი გამამლიერებლების ჰიბრიდული მოდულები, იმპულსის მაინვერტირებელი გამამლიერებელი, სწრაფმქმედი კომპარატორი და კომპარატორის რეფერენსული ძაბვის მაგენერირებელი ციფრულ-ანალოგური გარდამქმნელი საყრდენი ძაბვის საკუთარი პრეციზიული გენერატორით.
- 3) სპეციალურ ბეჭდურ დაფაზე განთავსებული და ენკაფსულირებული ნეიტრონების ნ/გ სენსორი.
- 4) Li-Ion ტიპის აკუმულატორი.



სურ.4. დეტექტორი ოთხივე შემადგენელი ნაწილით

სისტემის ყველა ელემენტი თავსდება ძირითად დაფაზე. ნ/გ ნეიტრონების სენსორი თავსდება ანალოგური სისტემის დაფაზე. ძირითადი სისტემის დაფაზე განთავსებულია სპეციალური პორტები ძირითადი მიკროპროცესორისა და ბლუთუზის საკომუნიკაციო მოდულის პროგრამირებისათვის.

ძირითადი დაფის აწყობა მოხდა ბეჭდურ დაფებთან ერთად დამზადებული შაბლონით, რომლის მეშვეობითაც მოხდა დაფაზე სარჩილავი პასტის დატანება, კომპონენტების განლაგება და შემდგომში მისი თერმული დამუშავება სპეციალური ღუმელის გამოყენებით. ანალოგური მოდულის აწყობა ელემენტების სიმცირის გამო განხორციელდა ხელით, შაბლონისა და სარჩილავი პასტის გამოყენების გარეშე. აწყობის შემდეგ ჩატარდა სისტემის ყველა მოდულის ულტრაბგერითი გაწმენდა სპეციალური საწმენდი სითხეების გამოყენებით და დათვალიერება მიკროსკოპის ქვეშ. შემდგომ ეტაპზე განხორციელდა პროგრამული უზრუნველყოფის ჩატვირთვა ძირითად მიკროპროცესორში და პროგრამული უზრუნველყოფის

პარამეტრების ზუსტი მორგება აღნიშნული სისტემისათვის.  
 ანალოგური მოდულისა და ნეიტრონების ნ/გ სენსორის შეპირაპირება განხორციელდა მირჩილვით, ხოლო ანალოგური მოდულის ძირითად დაფასთან შეპირაპირება 2.5 მმ ბიჯიანი კონტექტორის გამოყენებით.  
 გამოყენებითი კვლევის შედეგად შექმნილი ინოვაციური იონიშპლანტაციური მიკროპროცესორიანი დეტექტორი, სამომხმარებლო ბაზარზე არ არსებობს. მის ანალოგებში დამოუკიდებელი კონვერტერები და სხვა რთული ტექნოლოგიები გამოყენებული, რაც პროდუქციის ღირებულებას ზრდის. ასეთი დეტექტორების ექსპლუატაციური მახასიათებლები დაბალია. დეტექტორის კონსტრუქციაში დამოუკიდებელი კონვერტერის და გამოსხივებისადმი არამგრძობიარე ნაწილის არარსებობა: გაზრდის ნეიტრონების რეგისტრაციის ეფექტურობას, დეტექტორის საიმედოობას და ვიბრომედეგობას; გაამარტივებს მის წარმოებას და ექსპლუატაციას და შეამცირებს ღირებულებას. შექმნილი დეტექტორის კონკურენტუნარიანობა გამოიხატება დეტექტორის წარმოებისათვის ნახევარგამტარულ მიკროელექტრონიკაში არსებული პლანარული დიოდების ტექნოლოგიის გამოყენების შესაძლებლობაში.

2. შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტით დაფინანსებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები

2.1.

№	გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	<p>ნახევარგამტარული იონიშპლანტაციური ნეიტრონების დეტექტორი ბირთვული საფრთხოებისათვის.</p> <p>1. საბუნებისმეტყველო მეცნიერებანი                      1.3. ფიზიკური მეცნიერებანი (ბირთვული ფიზიკა)</p> <p>2. ინჟინერია და ტექნოლოგიები                      2.2. ელექტროინჟინერია, ელექტრონული ინჟინერია, საინფორმაციო ინჟინერია (ელექტრო და ელექტრონული ინჟინერია; ავტომატიზაცია და მართვის სისტემები)</p> <p><b>SRNSF #216902</b></p>	2016 - 2019	<p>გ. არჩუაძე- პროექტის ხელმძღვანელი.                      ა. სიჭინავა-პროექტის კოორდინატორი.                      ა. გულდამაშვილი-ძირითადი პერსონალი.                      გ. ბოკუჩავა-ძირითადი პერსონალი.                      ი. ნარდაია-ძირითადი პერსონალი.                      ც. ნებიერიძე-ძირითადი პერსონალი.</p>

პროექტის მიზანია: **ნახევარგამტარული სილიციუმის** იონიშპლანტაციური პლანარული p-n გადასასვლელიანი ნეიტრონების მიკროპროცესორიანი დეტექტორის შექმნა და კვლევა. სამუშაოების აუცილებლობა გამოწვეულია ქვეყნის ბირთვული და რადიაციული უსაფრთხოების, ბირთვული იარაღის გაუფრცვლელბლობის კონტროლის და ბირთვული ტერორიზმისაგან ეროვნული თავდაცვის უზრუნველყოფისა და ახალი კლასის ნეიტრონების დეტექტორებზე სამომხმარებლო ბაზრის მზარდი მოთხოვნებით, ასევე, მსგავსი ტიპის დეტექტორების ბაზარზე არარსებობით. ინოვაციური მეთოდებით

გაუმჯობესებული ექსპლუატაციური მახასიათებლების დეტექტორების მისაღებად გამოყენებულია იონური იმპლანტაციის მეთოდი. იონური იმპლანტაცია თავისუფალია წონასწორული თერმოდინამიკის შეზღუდვებისაგან, ამიტომ ნეიტრონების ნაკადების ეფექტური კონტროლისათვის ალტერნატიულ მეთოდებს შორის პერსპექტიულია იონური იმპლანტაციის გამოყენება. ნახევარგამტარულ მიკრო - ნაწილ ელექტრონიკის მრეწველობაში ფუნქციური და პასიური ელემენტების შექმნის დროს წარმომნილი პრობლემების გადაწყვეტა იონური იმპლანტაციის მეშვეობით ხორციელდება. იონიმიპლანტირებულ პარამეტრებს ძირითადად განსაზღვრავენ იონებით დასხივების დროს მიმდინარე რადიაციული პროცესები, ნაწილ-ფიზიკური მოვლენები და დასხივების პირობები. ნეიტრონების დეტექტორში ნეიტრონების აღრიცხვა ხდება დეტექტორის აქტიური ნაწილის, კონვერტერის ატომბირთვებთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოქმნილი დამუხტული ნაწილაკების და/ან გამა გამოსხივების რეგისტრაციით. შემოთავაზებულ დეტექტორში დიოდის p-ფენა ერთდროულად ნეიტრონების კონვერტერს წარმოადგენს. კონვერტერად ნეიტრონების მაღალი შთანთქმის კვეთის  $^{10}\text{B}$  ნუკლიდებია გამოყენებული. დეტექტორის პარამეტრებისა და იონური იმპლანტაციის პირობების შესარჩევად განხორციელდა კომპიუტერული გათვლები მონტე-კარლოს მეთოდით SRIM-2013 და TRIM-2013 პროგრამების გამოყენებით. ნეიტრონების დეტექტირება ბირთვული რეაქციის  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$  დაშლის პროდუქტების  $^4\text{He}$  და  $^7\text{Li}$ -ის, სილიციუმთან ურთიერთქმედებისას წარმოქმნილი მუხტის რეგისტრაციით ხდება. დიოდის p-ფენა შექმნილია მონოკრისტალური n-Si მაღალი ფლუენსის  $^{10}\text{B}$ -ის იონების იმპლანტაციით.

საწყის მასალად გამოყენებულია მაღალმური და არამირითადი მუხტის მატარებელთა მაღალი სივრცის ხანგრძლივობის მონოკრისტალური n-ტიპის, <100> კრისტალოგრაფიული ორიენტაციის, 50.8 მმ დიამეტრის და 500 მკმ სისქის სილიციუმის ფირფიტები. Ecopia HMS-3000 Hall Measurement System დანადგარზე განისაზღვრა სილიციუმის საწყისი ნიმუშების ხვედრითი წინაღობა  $\rho=6300$  ომ·სმ, მუხტის მატარებლების კონცენტრაცია -  $n_v=6.4 \times 10^{11}$  სმ $^{-3}$  და ძვრადობა  $\mu=1540$  სმ $^2 \times \text{ვ}^{-1} \times \text{წმ}^{-1}$ .

სილიციუმის ზედაპირზე 5214A7 და 5218A7 ტიპის ფოტორეზისტებით დანადგარებზე ЭМ-5026A და МJB55 შეიქმნა ფოტორეზისტული შრეები 5 და 10 მმ დიამეტრის წრიული ღია არეებით. ВЕЗУВИЙ 3M დანადგარზე განხორციელდა ამ არეების  $E=100-65-40-25-20$  კვე ენერჯისა და  $\Phi=1 \times 10^{16}; 8 \times 10^{15}; 4 \times 10^{15}; 3.3 \times 10^{15}$  და  $1 \times 10^{15}$  სმ $^{-2}$  ფლუენსის  $^{10}\text{B}$  იონებით თანმიმდევრული იმპლანტაცია. შედეგად მიღებულია p-n სტრუქტურების პარტია. შესწავლილია მიღებული ინვერსიული ფენების ელექტროფიზიკური თვისებები (p-n გადასასვლელის სიღრმე, წინაღობა, მუხტის მატარებლების კონცენტრაცია, ძვრადობა). იმპლანტაციის შემდეგ დანადგარზე YBH-71П3 დაიფინა 100 და 140 ნმ სისქის Ti და Au ომური კონტაქტები. შედეგად დამზადებულია 1 სმ $^2$  და 0.25 სმ $^2$  ფართობის პლანარული p-n გადასასვლელიანი დიოდების 96 ნიმუში. Keithley 2401SourceMeter- ხელსაწყოზე შესწავლილია დიოდების ვოლტამპერული მახასიათებლები. 20 ვ უკუმბავის დროს დიოდების გაჟონვის დენებმა შესაბამისად შეადგინა 11.7-12 მკა 1 სმ $^2$  ფართობის დიოდებზე და 8.44-9.55 მკა 0.25 სმ $^2$  ფართობის დიოდებზე. დამზადებული 1 სმ $^2$  და 0.25 სმ $^2$  ფართის 96 დიოდიდან დეტექტორისათვის შერჩეულია ოპტიმალური პარამეტრების 10 ნიმუში.

პროექტის ერთ ერთი ძირითადი ამოცანა იყო დეტექტორის ელექტრონული სისტემის პროექტირება, დამზადება, მისი პროგრამული უზრუნველყოფის შემუშავება და საბოლოო ნიმუშის ტესტირება. სისტემის ცალკეული კომპონენტებისა და მოდულების ტესტირებისათვის, ასევე ცალკეული მოდულების ერთმანეთზე გავლენის შესწავლისათვის შექმნილია და ტესტირებული დეტექტორის ელექტრონული სისტემის სამი პროტოტიპი. აქედან მესამე, ე.წ. ფუნქციურ პროტოტიპში განხორციელებულია პროექტით გათვალისწინებული ყველა ამოცანა. დეტექტორის სისტემის დიზაინი მოდულურია და შედგება ოთხი ძირითადი მოდულისაგან: 1) ძირითადი მიკროპროცესორული სისტემის დაფა, რომელზედაც განთავსებულია სისტემის ძირითადი მიკროპროცესორი, კვებისა და აკუმულატორის დამუხტვის სისტემა, აკუმულატორის მუხტის განმსაზღვრელი სისტემა, ორპოლარული დაბალხმაურიანი კვების წყარო, ინფორმაციის შეყვანა/ასახვის სისტემები და Bluetooth-ის საკომუნიკაციო მოდული. 2) ანალოგური სისტემის დაფა, რომელზედაც განთავსებულია CREMAT-ის წარმოების წინასწარი და მაფორმირებელი გამამლიერებლების ჰიბრიდული მოდულები, იმპულსის მაინვერტირებელი გამამლიერებელი, სწრაფმქმედი კომპარატორი და კომპარატორის რეფერენსული ძაბვის მაგენერირებელი ციფრულ ანალოგური გარდამქმნელი თავისი საყრდენი ძაბვის პრეციზიული გენერატორით. 3) სპეციალიზებულ ბექდურ დაფაზე განთავსებული და ენკაფსულირებული ნეიტრონების ნახევარგამტარული სენსორი და 4) Li-Ion ტიპის აკუმულატორი.

დეტექტორის დიზაინში დისტანციური გაზომვების განხორციელების მიზნით გათვალისწინებულია Bluetooth-ის საკომუნიკაციო მოდული, რომელიც უკავშირდება ანდროიდის ან Apple IOS-ის ტიპის მობილურ მოწყობილობას სპეციალური აპლიკაციის მეშვეობით და გადასცემს გაზომვის შედეგებს რეალურ დროში. შემუშავებულია პროგრამული უზრუნველყოფა, როგორც დოზიმეტრის სისტემის ცენტრალური მიკროკონტროლერისათვის, ასევე Bluetooth-ის საკომუნიკაციო მოდულისათვის. შემუშავებული პროგრამული ბიბლიოთეკები მოქნილია და აქვს საშუალება მოერგოს ნებისმიერი ტიპის ამოცანას.

შემუშავებულია უნივერსალური, მინიატურული ბეჭდური დაფა სენსორის ე.წ. Glob Top ენკაფსულაციისათვის. შერჩეულ ოპტიმალური მახასიათებლების 10 დიოდზე სენსორის დაფასთან დასაკავშირებლად ულტრაბგერული შედუღების მეთოდით მირჩილულია 25 მკმ სისქის ოქროს ძაფი. სენსორის კრისტალი დაფარულია სპეციალური წებოთი (Glob Top ენკაფსულაცია) და განსაზღვრულია მათი ელექტრომეტრული პარამეტრები.

სრული ანალოგური სისტემის სიგნალის ჯაჭვის მოდელირება განხორციელებულია LT Spice-ის მეშვეობით. ელექტრონული სისტემა ტესტირებულია CAEN-ის წარმოების დეტექტორის ემულატორის DT4800 გამოყენებით. ემულატორზე განხორციელდა ტესტური იმპულსების გენერირება და ანალოგური სისტემის სატესტო შესასვლელზე მიწოდება. სპექტრომეტრული გაზომვებისათვის ტესტირებულია CAEN-ის წარმოების Hexagon მრავალარხიანი სპექტრული ანალიზატორი წინასწარ და მაფორმირებელ გამაძლიერებლის მოდულებთან ერთად დეტექტორის ემულატორის DT4800 გამოყენებით. ემულატორს საშუალება აქვს დააგენერიროს სხვადასხვა რადიონუკლიდების სპექტრის შესაბამისი იმპულსები ხმაურის დამატებით და ალბათური განაწილებით. რადგან ამ ეტაპზე შეკვეთილი სპექტრული ანალიზატორის წინასწარი გამაძლიერებელი მოწოდებული არ არის, ტესტირება მიმდინარეობდა დეტექტორის ელექტრულ სისტემაში გამოყენებული CREMAT-ის წინასწარი და მაფორმირებელი გამაძლიერებლების გამოყენებით და სისტემის სხვადასხვა პარამეტრების შერჩევით. შეირჩა სპექტრომეტრის ამოცანაზე მორგებული ოპტიმალური პარამეტრები დეტექტორის შემდგომი რადიაციული გაზომვებისათვის.

სისტემამ აჩვენა ხმაურის დაბალი დონე, ზემოდალი მგრძობიარობა და სტაბილურობა გარეშე ხმაურის ზემოქმედებისაგან დამცავი ეკრანის არქონის პირობებში, მოდულების იმპულსურ კვების ბლოკთან (ხმაურის ძირითადი წყარო) უშუალო სიახლოვის მიუხედავად. ანალოგური ნაწილის გაძლიერების კოეფიციენტია 440 mV/pC შეთანხმებული დატვირთვის პირობებში.

სისტემის ზომების გათვალისწინებით შემუშავდა კორპუსის დიზაინი და დაიბეჭდა Makerbot Replicator-2 მარკის 3D პრინტერზე PLA-ს გამოყენებით. სისტემის კორპუსის კედლის სისქე ისეა შერჩეული, რომ გაუძლოს ვარდნას ადამიანის სიმაღლიდან. შემუშავებული და დამზადებულია კორპუსის შვიდი სხვადასხვა ტიპის დიზაინი, რომელიც გათვლილია ქამარზე დასამაგრებლად.

შემუშავებული დეტექტორის ელექტრონული სისტემის გამოყენება შესაძლებელია ნებისმიერი ტიპის რადიაციის დეტექტორებისათვის. დეტექტორის ანალოგური ნაწილი იმპულსური კვების ბლოკით, შესაძლებელია გამოყენებული იქნას სპექტრული ანალიზისათვის, ხოლო შემუშავებული დაბალხმაურიანი, ორპოლარული კვების ბლოკი როგორც დამოუკიდებელი მოდული.

2.2.

№	დასრულებული (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1			
დასრულებული კვლევითი პროექტის 2018 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)			

3. უცხოური გრანტებით დაფინანსებული სამეცნიერო პროექტები

3.1.

№	გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი, დაფინანსებელი ორგანიზაცია/ სამეცნიერო ფონდი,	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

	ქვეყანა		

## 3.2.

№	დასრულებული (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი, დამფინანსებელი ორგანიზაცია/ სამეცნიერო ფონდი, ქვეყანა	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	2	3	4
დასრულებული კვლევითი პროექტის 2018 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)			

## 4. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში

## 4.1. მონოგრაფიები/წიგნები

№	ავტორი/ავტორები	მონოგრაფიის/წიგნის სათაური, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

## 4.2. სახელმძღვანელოები

№	ავტორი/ავტორები	სახელმძღვანელოს სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

## 4.3. კრებულები

№	ავტორი/ავტორები	კრებულის სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
3				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

#### 4.4. სტატიები დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდის (DOI) მითითებით

№	ავტორი/ ავტორები	სტატიის სათა- ური, დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI	ჟურნალის/ კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1					
2					
3					
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)					

#### 4.5. სტატიები ISSN-ის მითითებით

№	ავტორი/ ავტორები	სტატიის სათა- ური, ISSN	ჟურნალის/ კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1	Anzor Guldamashvili, Guram Bokuchava, Giorgi Archuadze, Yuri Nardaia, Tsira Nebieridze, Avtandil Sichinava, Revaz Melkadze, Nodar Gapishvili	Development of Technological Conditions of Ion Implantation of Silicon by Boron for Ion Implanted Neutron Sensors <b>ISSN - 0132 – 1447</b>	Bull. Georg. Natl. Acad. Sci., no. 1, vol. 12, 2018.	Tbilisi, Georgia, Georgian National Academy Press	pp. 54-60

ნეიტრონების დეტექტირებისათვის შექმნილი და შესწავლილია სილიციუმის იონიშპლანტაციური p-n გადასასვლელიანი პლანარული დიოდი. იონური იმპლანტაცია თავისუფალია წონასწორული თერმოდინამიკის შეზღუდვებისაგან (პროცესის დაბალი ტემპერატურა, იმპლანტირებული ატომების ზღვრული ხსნადობის გადამეტება, მათი განაწილების პროფილის მართვა და სხვა). თერმოდინამიკური მოთხოვნებისაგან განსხვავებულ პირობებში იონური იმპლანტაციით შესაძლებელია ისეთი პარამეტრების დეტექტორების შექმნა, რომლებიც სხვა მეთოდებით შეუძლებელია. ნეიტრონების დეტექტორში ნეიტრონების აღრიცხვა ხდება დეტექტორის აქტიური ნაწილის, კონვერტერის ატომბირთვებთან ურთიერთქმედების შედეგად წარმოქმნილი დამუხტული ნაწილაკების და/ან გამა გამოსხივების რეგისტრაციით. დიოდის p-ფენა ერთდროულად ნეიტრონების კონვერტერს წარმოადგენს. კონვერტერად ნეიტრონების მაღალი შთანთქმის კვეთის  $^{10}\text{B}$  ნუკლიდებია გამოყენებული. გამოყენებით. ნეიტრონების დეტექტირება ბირთვული რეაქციის  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$  დაშლის პროდუქტების  $^4\text{He}$  და  $^7\text{Li}$ -ის, სილიციუმთან ურთიერთქმედებისას წარმოქმნილი მუხტის რეგისტრაციით ხდება. მონოკრისტალურ n-ტიპის Si-ში მაღალი ფლუენსის  $^{10}\text{B}$  იონების დასხივებით შექმნილია დიოდის ხვრელური გამტარობის ინვერსიული ფენა. პლანარულ დეტექტორში დამოუკიდებელი კონვერტერის არარსებობა გაამარტივებს მის წარმოებას, ექსპლუატაციას და შეამცირებს ღირებულებას. კონვერტერის პარამეტრების დასადგენად გამოთვლილია  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$  დაშლის პროდუქტების  $^4\text{He}$  (1.5 მევ; 1.78 მევ) და  $^7\text{Li}$  (839 კევ; 1010 კევ) განარბენებისა და იონიზაციური კარგების სივრცული განაწილება Si-ში. პარამეტრების გამოთვლა განხორციელდა კომპიუტერზე SRIM-2013 და TRIM-2013 პროგრამებით. სენსორის ეფექტურობის ასამაღლებლად აუცილებელი განიერი აქტიური  $^{10}\text{B}$  შრის მისაღებად ჩატარებული მოდელირების (პროგრამა TRIM-2013) შედეგად შერჩეულია 20, 35, 65, 80 და 100 კევ ენერჯის  $^{10}\text{B}$  იონების თანმიმდევრული საფეხურებრივი იონური იმპლანტაციის



რეჟიმი. გამოთვლებში იონების სამიზნის შემცველ ბორის იონების სილიციუმის ატომებთან ურთიერთქმედება განიხილებოდა იონ-ატომური ურთიერთქმედების ბინარულ მოდელში, წანაცვლებული სამიზნის ატომების სრული კასკადის მიახლოებაში. ატომებთან დრეკადი დაჯახებების დროს წარმოქმნილი რადიაციული წერტილოვანი დეფექტების ევოლუცია არ არის გათვალისწინებული. ასეთ მიახლოებაში გამოთვლილი ვაკანსიებისა და წანაცვლებული ატომების მნიშვნელობა მბომბავი იონების წერტილოვანი რადიაციული დეფექტების წარმოქმნის უნარს წარმოადგენს. ზედაპირის 370 ნმ სისქის ფენაში მიიღება  $2.5 \times 10^{20}$  სმ<sup>-3</sup> კონცენტრაციის თანაბრად განაწილებული <sup>10</sup>B ატომები. აღსანიშნავია, რომ იონების გაფრქვევის კოეფიციენტი არ აღემატება 0.2 ატ/იონ., ამიტომ სილიციუმის ზედაპირის მნიშვნელოვანი ეროზია მოსალოდნელი არ არის. იმპლანტაცია განხორციელდა დანადგარზე ВЕЗУВИИ 3М, სადაც იონების წყაროში სამუშაო ნივთიერებად გამოყენებულია აირადი <sup>10</sup>BF<sub>3</sub>. შერჩეულია დენის სიმკვრივის მნიშვნელობა 10-15 მკა/სმ<sup>2</sup> - ის ფარგლებში, რაც შესაძლებლობას გვაძლევს თავიდან ავიცილოთ სამიზნე ნიმუშების გადახურება. პროცესის მსვლელობისას სამიზნის ტემპერატურა არ აღემატებოდა 330K-ს. საწყის მასალად გამოყენებულია მაღალმური და არაძირითადი მუხტის მატარებლების მაღალი სიცოცხლის ხანგრძლივობის, <100> კრისტალოგრაფიული ორიენტაციის, 50.8 მმ დიამეტრისა და 500 მკმ სისქის n- ტიპის სილიციუმის ფირფიტები. "PM-130" პროფილომეტრზე დადგენილია პარალელური, ორმხრივ გაპრიალებული ზედაპირების საწყისი ნიმუშების სიმქისე, რომელიც შეადგენს შესაბამისად Ra = 6.2 და 8.1 ნმ-ს. ორმხრივ გაპრიალებული პარალელური ნიმუშების ზედაპირების სიმქისე აკმაყოფილებს იონური იმპლანტაციისა და იმპლანტირებული მასალების თვისებების კვლევის მეთოდოლოგიურ მოთხოვნებს. მიღებულია იონიმიპლანტაციური დიოდების ლაბორატორიული ნიმუშები და დადგენილია მათი ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები.

## 5. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში

### 5.1. მონოგრაფიები/წიგნები

№	ავტორი/ავტორები	მონოგრაფიის/წიგნის სათაური, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

### 5.2. სახელმძღვანელოები

№	ავტორი/ავტორები	სახელმძღვანელოს სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

### 5.3. კრებულები

№	ავტორი/ავტორები	კრებულის სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა

		ISBN		
1				
2				
3				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

#### 5.4. სტატიები

№	ავტორი/ ავტორები	სტატიის სათა- ური, დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN	ჟურნალის/ კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1					
2					

### 6. სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა

#### 6.1. საქართველოში

№	მომხსენებელი/ მომხსენებლები	მომხსენების სათაური	ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

#### 6. 2. უცხოეთში

№	მომხსენებელი/ მომხსენებლები	მომხსენების სათაური	ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი
1			
2			
3			

მომხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)

**IV. ქიმიური ტექნოლოგიების ლაბორატორია**

სამეცნიერო ერთეულის ხელმძღვანელი:

**ნათია ჯალაღონია** - უფროსი მეცნიერ-თანამშრომელი, ქიმიის აკად. დოქტორი

სამეცნიერო ერთეულის პერსონალური შემადგენლობა:

**თინათინ კუჭუხიძე** ----- უფროსი მეცნიერ-თანამშრომელი, აკად. დოქტორი

**ლეილა კალატოზიშვილი** --- მეცნიერ-თანამშრომელი, დოქტორი

**ნინო დარახველიძე** ----- მეცნიერ-თანამშრომელი, აკად. დოქტორი

**მანანა მუმლაძე** - ----- მეცნიერ-თანამშრომელი, დოქტორი

**თამარ არჩუაძე** ----- ინჟინერი

**1. პროგრამული დაფინანსებით შესრულებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები**

1.1.

№	გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მიხედვით	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მიხედვით)
1	<p>მეტალო-კერამიკული და ნახ-შირბადის ნანოსტრუქტურების შემცველი კომპოზიციური მასალების მიღება და კვლევა</p> <p>2. ინჟინერია და ტექნოლოგიები</p> <p>2.4. ქიმიური ტექნოლოგია (ქიმიური ინჟინერია)</p> <p>2.5. მასალათა ტექნოლოგია (კერამიკა, ლითონკერამიკის კომპოზიტები)</p>	2018-2019	<p>ნათია ჯალაღონია (კვლევების ხელმძღვანელობა, შედეგების ანალიზი)</p> <p>თინათინ კუჭუხიძე (ნიმუშების სინთეზი, ფხვნილოვანი კომპოზიტების მომზადება)</p> <p>ლეილა კალატოზიშვილი (ნიმუშების სინთეზი და კვლევა სპექტრული მეთოდებით)</p> <p>მანანა მუმლაძე (ფხვნილების ჰომოგენიზაცია)</p> <p>თამარ არჩუაძე (ნიმუშების ზედაპირების დამუშავება და მეტალოგრაფიული კვლევა)</p> <p>ნინო დარახველიძე (ნიმუშების სინთეზი)</p>

კერამიკა არის კერამიკისა და მეტალის ფხვნილების ნარევით მიღებული კომპოზიციური მასალა, რომელსაც გააჩნია როგორც კერამიკის (მაღალტემპერატურაზე მედეგობა, სიმტკიცე), ასევე მეტალისათვის (დეფორმაციის უნარი, გამტარობა, პლასტიკურობა) დამახასიათებელი თვისებები. მეტალი ასრულებს შემკვრელის როლს ოქსიდებში, ბორიდებში ან კარბიდებში. დღეისათვის კომერციალიზებულ კერამეტებში ძირითადად გამოყენებული მეტალებია ნიკელი, კობალტი და მოლიბდენი. კერამეტი გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც მასალად ცალკე არც მეტალი გამოდგება და არც კერამიკა. მაგ. მიუხედავად რკინის მრავალფეროვანი თვისებებისა, მას არ შეუძლია წინააღმდეგობა გაუწიოს კოსმოსური რაკეტების და თვითმფრინავის ძრავებში წარმოქმნილ მაღალ ტემპერატურას. მეორეს მხრივ კერამიკას შეუძლია შესანიშნავად გაუმლოს მაღალ ტემპერატურას. გარდა ამისა იგი მდგრადია ქიმიური ზემოქმედებისა და დაჟანგვის მიმართ, რომელსაც შეუძლია კოროზია გამოიწვიოს. ამიტომაც ინდუსტრიაში, რომელიც მოითხოვს მასალათა გამძლეობას, სიმტკიცეს, მოქნილობას და მაღალი ტემპერატურისადმი მედეგობას გამოიყენებენ კერამეტებს. კერამეტების გამოყენების სფეროებია: კოსმოსური აპარატები: დამცავი ფენა, მსუბუქი კერამიკული დამცავი

ფილები ჯავშანტექნიკისათვის, ბირთვული ნარჩენების შემნახველი მასალები და სხვ.

მაღალი სიმტკიცე კუმშვისას და დაბალი სიმკვრივე განაპირობებს კერამიკის აქტუალობას საჯავშნე მასალებში გამოსაყენებლად. ალუმინის ოქსიდის ფუძეზე დამზადებულ კერამიკებში პირველად მოხდა ქრომის ნაწილაკების დამატება, ამის შემდეგ უკვე დაიწყო სხვა ისეთი პოპულარული მეტალების დამატება ალუმინის ოქსიდის მატრიცაში როგორცაა, ალუმინი, მოლიბდენი, რკინა, ნიკელი და ვერცხლი. კერამიკის განმტკიცების მექანიზმი შესწავლილია და დადგენილია, რომ პლასტიური ჩანართები წარმოადგენს ხიდს ბზარებს შორის დაჭიმვისას. პლასტიკური დეფორმაციისთვის ნაწილაკების ფორმა და ნაწილაკებს შორის კავშირის სიმტკიცე წარმოადგენს მნიშვნელოვან პარამეტრებს. მეტალური ნაწილი მტკიცედ უნდა იყოს დაკავშირებული მსხვრევად ნაწილთან და ნაწილობრივ შენარჩუნებული უნდა იყოს გეომეტრია, რათა თერმული ზემოქმედებისას არ წარმოიქმნას მეტალის ნაწილაკების გარშემო ბზარები.

მაღალტემპერატურული ვაკუუმური ღუმელის (OXY-GON) გამოყენებით ცხლად დაწნევის მეთოდით დამზადებულია სხვადასხვა ტიპის მატრიცული კერამიკული კომპოზიციური მასალები: ( $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-GO,  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-GO,  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-GO<sub>მოდ</sub>). ლიტერატურაში აპრობირებული მეთოდით დასინთეზებულ იქნა გრაფენის ოქსიდი ნაწილაკების ზომით ~50-96 ნმ, ამის შემდეგ განხორციელდა გრაფენის ოქსიდის მოდიფიცირება ორგანული ნაერთებით (პოლივინილის სპირტი, პოლიეთილენგლიკოლი), ფხვნილოვან კომპოზიტში თანაბრად გადანაწილების უზრუნველსაყოფად.

ფუნქციონალიზებული გრაფენის ოქსიდის დოპირებით დამზადებული ფხვნილოვანი კომპოზიტების შეცხოვით მაღალტემპერატურულ ღუმელში დამზადებულია 50 მმ-იანი დიამეტრის ნიმუშები. მიღებული მასალებისათვის ჩატარებულია ფიზიკურ-მექანიკური და სტრუქტურულ-მორფოლოგიური კვლევა (ცხრილი 1).

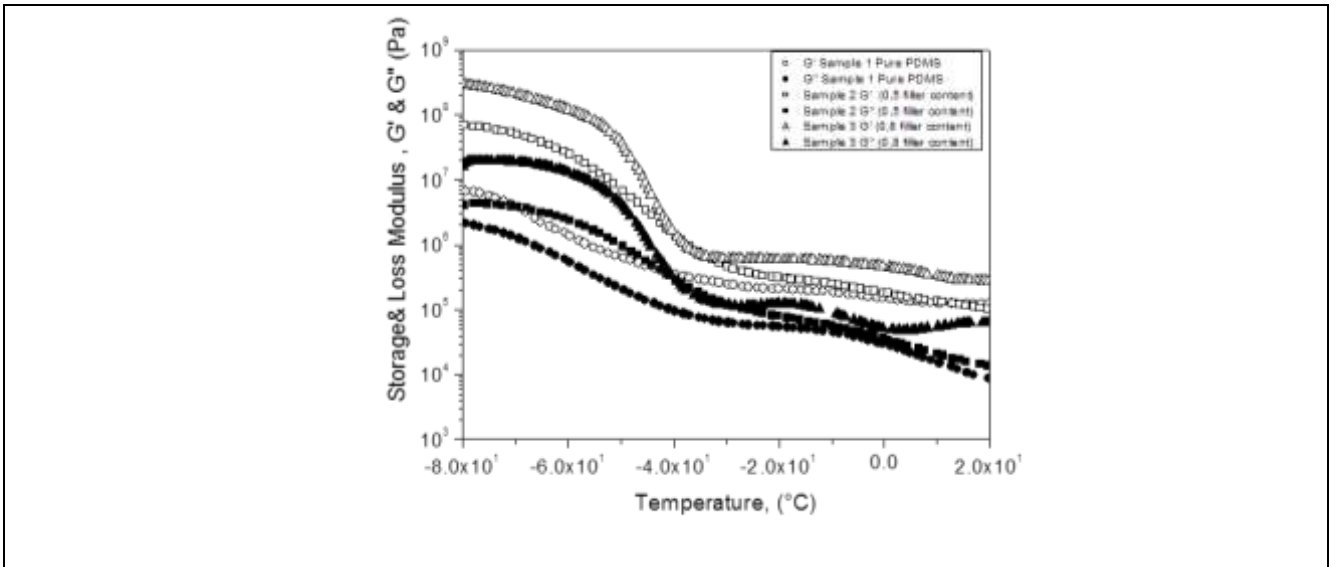
**ცხრილი 1.** გრაფენის ოქსიდით დოპირებული ალუმინის ოქსიდის ფუძეზე მიღებული კომპოზიციური კერამიკული ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები

ნიმუში	დაწნ. ტემპ., °C	წნევა, მპა	სიმკვრივე, გ/სმ <sup>3</sup>	ღია ფორ. %	წყალშთან-თქმა, %	მიკროსისალე, გპა	σ <sub>დ-ღუნვ.</sub> , მპა	σ <sub>დ-დარ.</sub> , მპა	K <sub>ic</sub> -ზზ. მედეგობა, მპა*მ <sup>1/2</sup>
α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1450	45	3,94-3,96	0,08-0,11	0,03-0,05	12 (200გ დატვირთვა)	300-320	4,3-5,2	3,9-4,14
α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -GO	1450	45	3,98-4,00	0,02-0,04	0,03-0,05	14,9 (200გ დატვირთვა)	385-410	8,6-9,2	5.47-5.50
α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZrO <sub>2</sub> -Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -GO	1450	45	3,98-4,00	0,01-0,03	0,03-0,05	16,4 (200გ დატვირთვა)	480-500	11,4-12,8	6,34-6.57
α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZrO <sub>2</sub> -Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -GO <sub>მოდ</sub>	1450	45	3,98-4,00	0,01-0,03	0,03-0,05	22.2 (200გ დატვირთვა)	-	-	-

როგორც ცხრილიდან ჩანს, ფუნქციონალიზებული გრაფენის ოქსიდით დოპირებული კერამიკული კომპოზიციური მასალებისთვის ალუმინის ოქსიდის ფუძეზე გაუმჯობესებულია ყველა ძირითადი ფიზიკურ მექანიკური მახასიათებელი და შემცირებულია ფხვნილოვანი კომპოზიტის შეცხოვის ტემპერატურა, რაც ამცირებს ენერგო დანახარჯებს და უფრო ეფექტურს ქმნის შემოთავაზებულ ტექნოლოგიურ პროცესს.

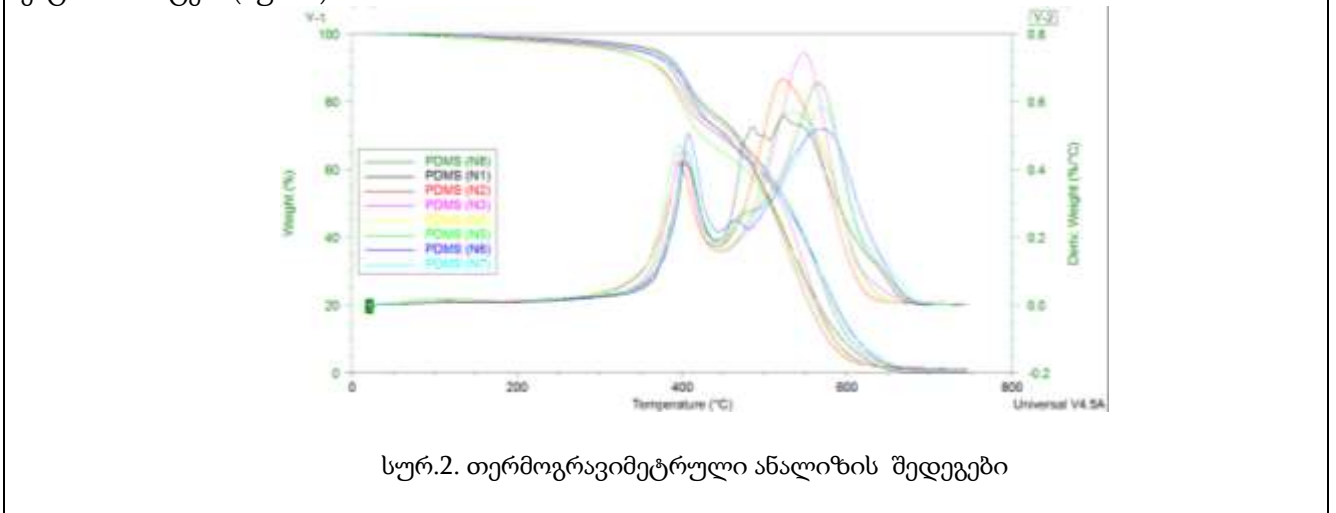
2	ელექტროგამტარი პოლიმერული კომპოზიტები ელექტრონიკაში 2. ინჟინერია და ტექნოლოგიები 2.5. მასალათა ტექნოლოგია	2018-2019	ნათია ჯალაღონია (კვლევების ხელმძღვანელობა, შედეგების ანალიზი) თინათინ კუჭუხიძე (პოლიმერების სინთეზი და
---	---	-----------	---

	(მასალათა ტექნოლოგია)		<p>კვლევა)          ლეილა კალატოზიშვილი          (პოლიმერების სინთეზი და          კვლევა)          მანანა მუმლაძე (პოლიმერების          სინთეზი)          თამარ არჩუაძე          (მეტალოგრაფიული კვლევა)          ნინო დარახველიძე          (პოლიმერების სინთეზი)</p>
<p>ჩვენ ვცხოვრობთ ელექტრონიკის სამყაროში, სადაც წარმოუდგენელია ცხოვრება თანამედროვე ტექნოლოგიების გარეშე. ვგულისხმობთ, ელექტრონულ სქემებს, მეხსიერების ელემენტებს, პროცესორებს, სენსორებს, ლაზერებს, LCD ან LED მონიტორებს, ფოტოდიოდები მზის ენერჯის წყაროები და ა.შ. ყველა ეს მოწყობილობა აუცილებელი ინსტრუმენტია ჩვენს ყოველდღიურ საქმიანობაში. ბოლო ორმოცდაათი წლის განმავლობაში მიმდინარე უწყვეტი კვლევები და ტექნოლოგიური მიღწევები იძლევა საშუალებას, რომ მასალები იყოს წარმოებული ატომურ დონეზე და მიღებული იქნას ნანოზომის მასალები კონტროლირებადი ფუნქციებით.</p> <p>ბოლო წლებში ძალიან დიდი ინტერესია გამტარი პოლიმერების მიმართ, რომლებიც შესაძლოა გამოყენებულ იქნან როგორც ელექტრომაგნიტური ტალღების მშანთქმელი დამცველები, ელექტრონიკაში შესაფუთად, სარადარო სისტემებში, მაღალეფექტური შემნახველი წყაროები და სხვ. ამჟამად ტექნოლოგიურმა მიღწევებმა განაპირობა ფუნქციური, მოქნილი ელექტრონიკის წარმოება, თუმცა ბოლომდე ვერ უზრუნველყო ხარჯები, საიმედოობა და მოხმარების ხანგრძლივობის გაზრდა.</p> <p>გრაფენი არის ნახშირბადის ატომის მონო ფენა, რომელსაც გააჩნია ჰექსაგონალური სტრუქტურა. სუფთა სახით გრაფენს გააჩნია ელექტრო, თერმული და მექანიკური თვისებების უნიკალური კომბინაცია, რაც აძლევს პოტენციალს არსებულ მასალებს გამოყენებულ იქნან ფართო სპექტრში. სწორედ ამ თვისებებით უმჯობესდება გრაფენის შემცველი პოლიმერული კომპოზიტების მექანიკური თვისებები, ძლიერდება ელექტრო და თერმული გამტარობა, უმჯობესდება სივრცითი სტაბილურობა, გააჩნიათ მაღალი მედეგობა მიკროზხარებისადმი. სწორედ ამიტომ იზრდება ინტერესი გრაფენის შემცველი პოლიმერული კომპოზიტების მიმართ. თუმცა მეცნიერებმა გამოთქვეს მოსაზრება, რომ ასეთი ნანოკომპოზიტების მიღება დამოკიდებულია მასალების წარმოების მეთოდებზე. პოლიმერული ნანოკომპოზიტების მომზადების პროცესში ძალიან დიდ როლს თამაშობს, გრაფენის ტიპი, დისპერსიის ხარისხი, ნაწილაკებს შორის ურთიერთქმედება, ასევე შემავსებელსა და პოლიმერს შორის ურთიერთქმედება და ამ ფაქტორების კონტროლი წარმოადგენს ძალიან დიდი გამოწვევას.</p> <p>პოლიდიმეთილსილოქსანი (PDMS) არის იდეალური როგორც სუბსტრატი ასევე კომპოზიციური მატრიცა, მისი უნიკალური თვისებების გამო. იგი წარმოადგენს არსებითად არაგამტარ მასალას, სადაც სხვადასხვა ნაწილაკების დოპირებით შესაძლებელია გამტარი თვისებების მინიჭება. პოლიდიმეთილსილოქსანისგან შექმნილი მასალები არის მოქნილი მიკროსისტემები, რადგან იგი ხასიათდება ბიოშეთავსებადობით, დაბალი ღირებულებით, დაბალი ტოქსიკურობით, თერმული მდგრადობით, ოპტიკური გამჭვირვალობით და ა.შ. ასევე გამოყენებული იქნება ისეთი კომერციული პოლიმერები, როგორიცაა აკრილონიტრილბუტადიენ სტიროლი, პოლიეთილენი და სხვ.</p> <p>საანგარიშო პერიოდში დამუშავებული იქნა ულტრაიისფერი სხივებით გაკერვადი პოლიდიმეთილსილოქსანის სინთეზის მეთოდები, შერჩეულ პოლიმერში დოპირებული იქნა ალდგენილი გრაფენის ოქსიდი სხვადასხვა პროცენტული შემცველობით (0.5, 0.6, 0.8 მას.%). მიღებული მასალების სტრუქტურა და შედგენილობა შესწავლილი იქნა კვლევის თანამედროვე მეთოდებით.</p> <p>სუფთა PDMS და ასევე ალდგენილი გრაფენის ოქსიდის 0.5 და 0.8 მას.% შემცველობით დამზადებულია ნანოკომპოზიტის ფირები და შესწავლილია დინამიურ მექანიკური ანალიზატორით (სურ 1.), რომელმაც გვიჩვენა, რომ შემავსებლის კონცენტრაციის გაზრდით იზრდება რელაქსაციის დრო.</p>			



სურ.1. დინამიური მექანიკური ანალიზი

პოლიმერული ნანოკომპოზიტების თერმოგრავიმეტრიულმა კვლევამ გვიჩვენა, რომ ულტრაიისფერი სხივებით ზემოქმედებისას ადგილი აქვს პოლიმერული ჯაჭვის დაწყვეტას და მიიღება რამდენიმე კომპონენტური სისტემა (სურ 2.).



სურ.2. თერმოგრავიმეტრიული ანალიზის შედეგები

1.2.

№	დასრულებული პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	2	3	4
დასრულებული კვლევითი პროექტის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)			

2. შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტით დაფინანსებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები

2.1.

№	გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

	<p>მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი</p>		
<p>1</p>	<p>სუპერკონდენსატორები ნახშირბადის ნანოს- ტრუქტურებით დოპირებული პოლიმერული ელექტროდების ბაზაზე</p> <p>1.საბუნებისმეტყველო მეცნიერებანი</p> <p>1.4. ქიმიური მეცნიერებანი (ფიზიკური ქიმია, პოლიმერების შემსწავლელი მეცნიერება, ელექტროქიმია ( მშრალი ბატარეები))</p> <p><b>AR-18-271</b></p>	<p>2018–2021</p>	<p>ნათია ჯალალონია - პროექტის სამეცნიერო ხელმძღვანელი. გურამ ბოკუჩავა - კოორდინატორი. ძირითადი პერსონალი: თინათინ კუჭუხიძე; ლეილა კალატოზიშვილი; ბადრი ხვიტია; ზურაბ ფაჩულია.</p>

პორტაბელური ელექტრონიკის, ჰიბრიდული ელექტრომობილების და ელექტრომობილების სფეროს განვითარებამ განაპირობა მზარდი მოთხოვნა მაღალი ენერჯის შემნახველ მოწყობილობებზე. ენერჯის შენახვა ასევე მდგრადი და განახლებადი ენერჯის სისტემების საკვანძო კომპონენტია. დღესდღეობით, თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით, როგორცაა მზის ელემენტები და ქარის ტურბინები, ენერჯის გენერირება ხდება ეკოლოგიურად უსაფრთხოდ. თუმცა განახლებადი წყაროებიდან ენერჯის გამოშვების წყვეტადი ხასიათი არ იძლევა საშუალებას ისინი გახდნენ ენერჯის პირველადი წყაროები. ენერჯის შენახვის ტექნოლოგია აკომპენსირებს ამ პრობლემას წყვეტადი ხასიათის ენერჯის შენახვით. ენერჯის შენახვის გარდა ენერჯის შენახვის ტექნოლოგიას აქვს პოტენციალი სრულიად გარდაქმნას სატრანსპორტო სისტემა, რომლის ნათელი მაგალითია ელექტრომანქანები. თანამედროვე საზოგადოების განუყოფელი ნაწილი, პორტაბელური ელექტრომოწყობილობები ძლიერ არის დამოკიდებული ენერჯის შენახვის ტექნოლოგიებზე. სფეროებისა და პროდუქტების მასშტაბები, რომელიც დამოკიდებულია ენერჯის შენახვის ტექნოლოგიებზე ნათელს ხდის თუ რამდენად მნიშვნელოვანია ამ სფეროს განვითარება. ბოლო წლებში მკვლევარების დიდი ძალისხმევა მიმართულია ისეთი ეფექტური ენერჯის შენახველი ხელსაწყოების შექმნისა და განვითარებისკენ, როგორცაა მაღალი ტევადობის კონდენსატორები, ბატარეები და კვების ელემენტები. დღესდღეობით ენერჯის შემნახველ მოწყობილობებში დომინირებს ბატარეები, კერძოდ ლითიუმ-იონური ბატარეა. ლითიუმ-იონური ბატარეა კვებავს თითქმის ყველა პორტაბელურ ელექტრონულ მოწყობილობასა და ელექტრო მანქანას Tesla Model S-ისა და Chevy Volt-ის ჩათვლით. ბატარეები ენერჯის ინახავენ ელექტროქიმიურად. ასეთი ბატარეების დამუხტვა-განმუხტვა ნელი პროცესია და იწვევს ბატარეის ქიმიური კომპონენტების დეგრადაციას დროთა განმავლობაში. ამის შედეგად ბატარეებს გააჩნიათ დაბალი ენერჯის სიმკვრივე და მასალათა დაზიანების გამო კარგავენ ენერჯის შენახვის უნარს. მეორეს მხრივ სუპერკონდენსატორი (ულტრაკონდენსატორი) იყენებს ენერჯის შენახვის განსხვავებულ მექანიზმს. სუპერკონდენსატორში ენერჯია ინახება ელექტროსტატიკურად მასალის ზედაპირზე და არ არის დაკავშირებული ქიმიურ რეაქციებთან. მათი ძირითადი უპირატესობაა ხანგრძლივი ექსპლუატაციის დრო და სწრაფი დამუხტვა-განმუხტვის უნარი. ბატარეებთან შედარებით ისინი ხასიათდებიან მაღალი დენის სიმკვრივით და გამძლეობით, ხოლო ჩვეულებრივ სხვა კონდენსატორებთან შედარებით უფრო მაღალი ტევადობით და საიმედოობით. **მაღალი ტევადობის კონდენსატორებისათვის მექანიკურად და ქიმიურად მდგრადი, დაბალი ღირებულების მასალების შექმნა და განვითარება კი წარმოადგენს აქტუალურ ამოცანას მეცნიერებისთვის.**

გრაფენის გამოჩენამ გამოიწვია სუპერკონდენსატორების არა მხოლოდ სიმძლავრის, არამედ ენერჯის სიმკვრივის მნიშვნელოვანი ზრდა. ამ მომენტამდე ქიმიურ ბატარეას გააჩნდა მაღალი ენერჯია და არა სიმძლავრე, ხოლო კონდენსატორს მაღალი სიმძლავრე და არა ენერჯია. ამჟამად ხდება ამ თანაფარდობების სწრაფი ტრანსფორმირება. საკვანძო დამოკიდებულებაა - ენერჯია კონდენსატორზე ჯოჯოხეთში პროპორციულია ტევადობის ნახევრის (ფარადებში), გამრავლებული ძაბვის კვადრატზე:

$$E = \frac{CU^2}{2}$$

აქედან გამომდინარე კონდენსატორის ან მაღალი ტევადობა ან მაღალი ძაბვა მნიშვნელოვნად გაზრდის

შენახულ ენერჯიას.		
2	<p>ალუმინის ოქსიდის ფუძეზე ნახშირბადოვანი ნანოსტრუქტურებით დოპირებული მრავალფუნქციური კერამიკული კომპოზიციური მასალების მიღება და კვლევა</p> <p>2.ინჟინერია და ტექნოლოგიები 2.5.მასალათა ტექნოლოგიები (კერამიკა) <b>YS-18-181</b></p>	2018-2020
კარლო ბარბაქაძე - მენტორი თინათინ კუჭუხიძე - სამეცნიერო ხელმძღვანელი		

კერამიკული ნაკეთობები ალუმინის ოქსიდის ფუძეზე ფართოდ გამოიყენება მეცნიერებისა და ტექნიკის მრავალი მიმართულებით, რაც განპირობებულია მათი უნიკალური ქიმიური და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით. მაგრამ, როგორც ყველა კერამიკულ მასალას მათ ახასიათებთ დაბალი დარტყმითი სიბლანტე, რის გამოც ისინი განეკუთვნებიან მყიფე მასალებს და მნიშვნელოვნად ზღუდავს მათი გამოყენების არეალს. ამ მასალების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების გაუმჯობესება შესაძლებელია დასაწინები ფხვნილოვანი კომპოზიტების მარცვლების ნაწილობრივ დაყვანით და სხვადასხვა სახის სტრუქტურის მქონე ნაერთების ჩართვით (მარმირებელი კომპონენტები). ნახშირბადოვანი ნანოსტრუქტურების (გრაფენი, ნანომილები, ფულერონი) აღმოჩენამ, რომლებსაც გააჩნიათ დღეს-დღეობით ცნობილ მასალებს შორის რეკორდულად მაღალი მექანიკური, ელექტრული და თბური მახასიათებლები, ახალი ბიძგი მისცა კვლევებს გაუმჯობესებული ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მქონე მრავალფუნქციური დანიშნულების და ამ სტრუქტურებით არმირებული კერამიკული მასალების მისაღებად. ამჟამად მსოფლიოს მრავალი სამეცნიერო ცენტრი დაკავებულია ნახშირბადოვანი ნანოსტრუქტურებით განმტკიცებული მატრიცული კერამიკული კომპოზიტების მიღებით, მარტო 2016-2017 წწ. გამოქვეყნებული იყო 5000-ზე მეტი შრომა. მაგრამ სხვადასხვა ლაბორატორიებში მიღებული შედეგები განსხვავებულია, რაც მოსალოდნელი იყო, რადგან დასაწინები ფხვნილების კომპონენტების ქიმიური შედგენილობა, სტრუქტურულ-მორფოლოგიური მდგომარეობა, ფრაქციული შედგენილობა, მინარევები და კონსოლიდაციის პირობები განსხვავებულია. თუმცა, უნდა აღინიშნოს ის ფაქტი, რომ ყველაზე დაფიქსირებულია კერამიკული მასალების ბზარმედდევობის და ღუნვაზე სიმტკიცის 20-50%-ით გაზრდა. კვლევების შედეგად მიღებული ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების განსხვავება ძირითადად გამოწვეულია მარმირებელი კომპონენტის არაერთგვაროვანი (არაჰომოგენური) განაწილებით დასაწინები ფხვნილოვანი კომპოზიტის კაზმში, რაც საბოლოოდ იწვევს მათ არაჰომოგენურ განაწილებას კერამიკაში. ეს აიხსნება იმით, რომ კაზმში მადოპირებელი ნივთიერებების შეყვანა ძირითადად ხორციელდება მზა კომპონენტების ხანგრძლივი და მრავალსაფეხურიანი დამუშავებით, უბრალო მექანიკური შერევით, რაც საბოლოოდ ვერ უზრუნველყოფს ნაშაადის სტრუქტურულ ერთგვაროვნებას და ამასთანავე დაკავშირებულია დიდ ენერგოდანახარჯებთან. წინამდებარე პროექტში შემოთავაზებულია ნახშირბადის ნანოსტრუქტურებით არმირებული ალუმინის ოქსიდის კერამიკის მიღების გამარტივებული ტექნოლოგია, რომლის დროსაც საბოლოო ფხვნილოვანი კომპოზიტის - α-ალუმინის ოქსიდის სინთეზის პროცესშივე განხორციელდება მისი ქიმიური მოდიფიცირება მადოპირებელი ნახშირბადოვანი სტრუქტურებით, რომლებიც მატრიცულ ნივთიერებასთან კაზმში დაკავშირებული იქნება C-O-Al ბმებით, რაც უზრუნველყოფს მათ ერთგვაროვან სივრცულ განაწილებას. ამ ტიპის ფხვნილების კონსოლიდაციის შედეგად მიღებულ კერამიკაში ნახშირბადოვანი ფრაგმენტები თანაბრად იქნება გადანაწილებული ალუმინის ოქსიდის მთელ მატრიცაში, რაც გაზრდის მასალების სიმტკიცეს ღუნვაზე და ბზარმედდევობაზე. კაზმის მომზადების შემოთავაზებული გზა ბევრად ამარტივებს ტექნოლოგიურ პროცესს, ამცირებს ენერგოდანახარჯებს, სინთეზის ხანგრძლივობას და შესაბამისად მოითხოვს ნაკლებ ფინანსურ დანახარჯებს. პროექტის განხორციელებისას კვლევებში გამოყენებული იქნება თანამედროვე ინსტრუმენტული მეთოდები: ელექტრონული და ოპტიკური მიკროსკოპია, რენტგენოსტრუქტურული და გრანულომეტრული ანალიზი, ი.წ. და რამანსპექტროსკოპია, ხოლო ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების განსაზღვრა ჩატარდება საერთაშორისო სტანდარტების (ISO და ASTM) შესაბამისად.



№	დასრულებული (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	2	3	4
დასრულებული კვლევითი პროექტის 2018 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)			

**3. უცხოური გრანტებით დაფინანსებული სამეცნიერო პროექტები**

3.1.

№	გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი, დამფინანსებელი ორგანიზაცია/ სამეცნიერო ფონდი, ქვეყანა	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	<p>“მძლავრი ელექტრომაგნიტური და თერმული თვისებების მქონე მრავალფუნქციური ნანოკომპოზიტები გრაფენის ფუძეზე 3D ბეჭდვისათვის“.</p> <p>2.ინჟინერია და ტექნოლოგიები 2.5.მასალათა ტექნოლოგიები (მასალათა ტექნოლოგია; კერამიკა)</p> <p>პროექტი H2020 MSCA-RISE-734164-Graphene 3D. მარია-სკლადოვსკაია კიურის კვლევისა და ინოვაციის გაცვლითი გრანტი. ევროპული კომისია</p>	2017-2020	<p>ეკატერინე სანაია - კოორდინატორი. ნათია ჯალაღონია - ამოცანების მენეჯერი; ძირითადი პერსონალი: ნინო დარახველიძე; ლეილა კალატოზიშვილი; ავთანდილ სიჭინავა; ვახტანგ გაბუნია; თამარ არჩუაძე; მანანა მუმლაძე; იოსებ მეცხვარიშვილი; დავით მხეიძე; ტატიანა მელაშვილი; კობა კომახიძე; იური ნარდაია.</p>
<p>გრაფენი 3D გვთავაზობს სამი ძირითადი მიდგომის კომბინაციით, გრაფენის ბაზაზე მულტიფუნქციონალური პოლიმერული კომპოზიტების და სტრუქტურების განვითარების ინოვაციურ გზას, რომლებსაც გააჩნიათ სათანადო თვისებები სპეციფიური დანიშნულებით გამოყენების მიზნით, ესენია: წარმოების პროცესის კონტროლი და მასალების თვისებები, მძლავრი ნანოკომპოზიტების დიზაინი და უჯრედული სტრუქტურის მქონე ნანოკომპოზიტების ოპტიმიზაცია და მოდელირება, რომლებსაც გააჩნიათ წინასწარ განსაზღვრული თვისებები. გრაფენი 3D მეთოდოლოგიიდან გამომდინარე მოსალოდნელია შემდეგი 2 ძირითადი შედეგი: მულტიფუნქციონალური ნანოკომპოზიტები 3D ბეჭდვაში გამოყენების მიზნით და 3D ბეჭდვით მიღებული უჯრედული სტრუქტურები გაუმჯობესებული ელექტრომაგნიტური, თერმული და მექანიკური თვისებებით. მიზნის მისაღწევად პროექტის ფარგლებში შესრულებული იქნება შემდეგი ძირითადი ამოცანები: 1. გრაფენის ბაზაზე პოლიმერული კომპოზიტების მიღების ეფექტური ტექნოლოგიის განვითარება. 2. საბოლოო მიკრო და ნანოსტრუქტურების მახასიათებლების კორელაცია. 3. გაუმჯობესებული თვისებები მქონე ნანოკომპოზიტების მიღება (ელექტრული, ელექტრომაგნიტური, თერმული, მექანიკური). 4. უჯრედული სტრუქტურების ფუძეზე ნანოკომპოზიტების დიზაინი ოპტი-</p>			

მალური კონფიგურაციით (გეომეტრია, სტრუქტურა), წინასწარ განსაზღვრული მულტიფუნქციონალური მახასიათებლებით.

3.2.

№	დასრულებული (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი, დამფინანსებელი ორგანიზაცია/ სამეცნიერო ფონდი, ქვეყანა	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	<p>“გრაფენის სტრუქტურის შემცველი ჰიბრიდული კერამიკული კომპოზიტები ალუმინის ოქსიდის ფუძეზე“.</p> <p>2.ინჟინერია და ტექნოლოგიები 2.5.მასალათა ტექნოლოგიები (კომპოზიტები) 2.10. ნანო-ტექნოლოგია (ნანო-მასალები (პროდუქცია და მახასიათებლები))</p> <p><b>№ 6212, 04/03</b></p> <p>უკრაინის სამეცნიერო ტექნოლოგიური ცენტრი/შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდი</p>	2016-2018	<p>კარლო ბარბაქაძე - პროექტის სამეცნიერო ხელმძღვანელი. -ძირითადი პერსონალი: ლეილა კალატოზიშვილი, თენგიზ მაისურაძე, ეკატერინე სანაია, ნათია ჯალღონია, თინათინ კუჭუხიძე. დამხმარე პერსონალი: ვახტანგ გაბუნია, ავთანდილ სიჭინავა.</p>

სხვადასხვა ტიპის ფუნქციური დანიშნულების კერამიკული ნაკეთობები ალუმინის ოქსიდის ფუძეზე ფართოდ გამოიყენება მეცნიერებისა და ტენიკის სხვადასხვა დარგში, რაც გამოწვეულია მათი უნიკალური ქიმიური და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით. კერამიკული მასალისთვის დამახასიათებელია დაბალი დარტყმითი სიბლანტე, რის გამოც მეტალოკერამიკებისგან განსხვავებით ისინი ხასიათდებიან სიმყიფით. მათი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების გაუმჯობესება შესაძლებელია დასაწნები ფხვნილოვანი კომპოზიტების მარცვლების ნანო ზომებამდე დაყვანით, სხვადასხვა ტიპის სტრუქტურის შემცველი ნაერთების ჩართვით (ნანომაფები, ნანომილები, ნანობადეები და სხვ.) და მათი კონსოლიდაციის ოპტიმალური პირობების შერჩევით. ამჟამად მიმდინარეობს ინტესიური სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები გრაფენით ან მოდიფიცირებული გრაფენით კერამიკების გამტკიცების მიზნით. გრაფენს (2D სტრუქტურა) გააჩნია უნიკალური ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები: მისი გამოყენების პერსპექტიულობის გამო ამ ასწლეულს გრაფენის საუკუნე უწოდეს. თითქმის ყოველდღიურად ვლინდება გრაფენის და ქიმიურად მოდიფიცირებული გრაფენის გამოყენების ახალი სფეროები. ცნობილია, რომ გრაფენი წარმოადგენს ყველაზე მტკიცე მასალას და ამიტომ მისი ფრაგმენტების ჩართვა კორუნდის კერამიკაში გაზრდის მასალების საექსპლუატაციო მახასიათებლებს. ჩვენ აზრით, გრაფენის ფრაგმენტების დამაგრებით ალუმინის ოქსიდის ზედაპირზე ალუმინორგანული ნაერთებით მიიღება ახალი ტიპის გრაფენ-ალუმინის ოქსიდის კომპლექსი, რომელშიც ეს ორი კომპონენტი ერთმანეთთან დაკავშირებული იქნება C-O-Al ბმებით. ამ ტიპის ფხვნილების კონსოლიდაციის შედეგად მიღებულ კერამიკაში ალუმინის ოქსიდის ფხვნილის ნაწილაკები ერთმანეთისაგან იზოლირებული იქნება გრაფენის ელასტიური ფენით, რაც გაზრდის მასალების სიმტკიცეს ღუნვაზე და ბზარმდეგობაზე. ცნობილია გრაფენისა და ალუმინის ოქსიდის ფხვნილების მექანიკური ნარეგების ფუძეზე კერამიკების დამზადების მეთოდები. დადგენილია, რომ გრაფენის 2%-მდე დამატება აუმჯობესებს

კერამიკული მასალების ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს. წარმოდგენილ პროექტში გამოყენებულ იქნა არა გრაფენისა და ალუმინის ოქსიდის მექანიკური ნარევი, არამედ მატრიცასთან ( $Al_2O_3$ ) ქიმიურად ბმებით დაკავშირებული გრაფენი, რის შედეგად ფხვნილის ნაწილაკს აქვს მოწესრიგებულ იერარქიული სტრუქტურა. ფხვნილების შეცხოვის შედეგად წარმოიქმნა გრაფენ-ალუმინის ოქსიდის ჰიბრიდული კომპოზიტი კერამიკის მიკროსტრუქტურის დონეზე (ფორმალური ანალოგია: მოლუსკების ნიჟარის შემადგენელი ორგანულ-არაორგანული ჰიბრიდული კომპოზიტი). ყოველივე ამან მკვეთრად გააუმჯობესა მატრიცული კერამიკების საექსპლუატაციო თვისებები. ანალოგიურად არაორგანული დოპანტებისა ( $MgO$ ,  $ZrO_2$ ,  $SiC$  და სხვ.), გრაფენის ფენა ფხვნილების შეცხოვისას შეასრულებს მარცვლების ზრდის ინჰიბიტორის როლსაც. ასევე შესაძლებელია ფხვნილების შეცხოვის ტემპერატურა  $1600-1700^{\circ}C$ -დან  $1400-1500^{\circ}C$ -მდე დაიწიოს. შეცხოვის ტემპერატურის გაზრდით ალუმინის ოქსიდის ნაწილაკების ზომა მკვეთრად იზრდება, რის შედეგად უარესდება კერამიკის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები. **კვლევის მეცნიერული სიახლეა კომპონენტების (ალუმინის ოქსიდი, გრაფენის ოქსიდი) ალუმინორგანული ნაერთებით ქიმიურ მოდიფიკაციის მეთოდების დამუშავება, რეაქციისუნარიანი Al-C ბმების ფრაგმენტების შემცველი ფხვნილოვანი კომპოზიტების მიღება და გრაფენის ფრაგმენტებით განმტკიცებული კორუნდის კერამიკების მიღების ოპტიმალური რეჟიმების დადგენა.** სამეცნიერო ლიტერატურაში პრაქტიკულად არ არსებობს მონაცემები ალუმინორგანული ნაერთებით მოდიფიცირებული ფხვნილებისაგან მატრიცული კერამიკული კომპოზიტების მიღების მეთოდი, რომელიც თავის მხრივ მოითხოვს დაწინებვისა და კონსოლიდაციის ახალი მეთოდის დამუშავებას. ჩვენ ვთვლით, რომ ამ მეთოდებით დამზადებულ კერამიკულ მასალებს ექნებათ მაღალი დარტყმითი სიბლანტე, რაც სპეციალური დანიშნულების კერამიკული ნაკეთობების დამზადების შესაძლებლობას იძლევა.

**ამრიგად, პროექტის მიზანია გრაფენის ოქსიდისა და ალუმინის ოქსიდების მოდიფიცირება ალუმინორგანული ნაერთებით, მოდიფიცირებულ გრაფენ-ალუმინის ოქსიდის ფხვნილებისაგან ახალი ტიპის მატრიცული კერამიკული კომპოზიტების მიღების მეთოდების დამუშავება და კვლევა.**

მოდიფიცირებული გრაფენისა და ალუმინის ოქსიდების ფუძეზე ახალი ტიპის კერამიკული მატრიცული კომპოზიტების მიღება განპირობებულია შემდეგი მოსაზრებებით: 1. გრაფენისა და ალუმინის ოქსიდის შემადგენლობაში არსებული ალუმინორგანული ფრაგმენტები საბოლოოდ გარდაიქმნება მატრიცის შემადგენელ ნაწილად. მოდიფიკატორებად სხვა ელემენტის ნაერთების გამოყენებისას მატრიცის ზედაპირზე წარმოიქმნება ახალი ფაზები, რომლებიც მკვეთრად შეცვლიან კერამიკის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს, რის გამოც უცნობი გახდება გრაფენის ჩართვით გამოწვეული ეფექტი. 2. პროექტის შესრულებისას გამოყენებულია ხელმისაწვდომი მასალები (გრაფიტი, ალუმინის ოქსიდი, ალუმინორგანული ნაერთები) და რაც ხელს უწყობს მიღებული შედეგების პრაქტიკაში რეალიზაციას. 3. პროექტის შემსრულებლებს გააჩნიათ დიდი გამოცდილება სხვადასხვა ტიპის კერამიკული მასალების შექმნაში, კვლევისა და ალუმინორგანულ ნაერთების სინთეზის, სხვადასხვა ტიპის ნაერთების მატრიცაზე იმობილიზაციის დარგში. გრაფენ-ალუმინის ოქსიდის ფხვნილოვანი კომპოზიტების მიღება განხორციელდა ორი მიმართულებით:

1. გრაფიტი → გრაფენის ოქსიდი → მოდიფიცირებული გრაფენის ოქსიდი → მოდიფიცირებული გრაფენი → გრაფენ-ალუმინის ოქსიდის კომპოზიტი → კერამიკა

2.  $Al_2O_3$  → ალუმინორგანული ნაერთებით მოდიფიცირებული  $Al_2O_3$  → გრაფენის ოქსიდის იმობილიზაცია მოდიფიცირებულ  $Al_2O_3$ -ზე → გრაფენ-ალუმინის ოქსიდის კომპოზიტი → კერამიკა

ამრიგად, მთავარ ამოცანას წარმოადგენდა გრაფენის ოქსიდის ფუნქციონალური ჯგუფების ( $-OH$ ,  $-COOH$ ,  $-O-O-$ ) და ალუმინის ოქსიდის  $OH$  ჯგუფების მეშვეობით  $[გრფენი]-O-AIRX$  და  $[Al_2O_3]-O-AIRX$  ნაერთების მიღება, რომლებსაც გააჩნიათ რეაქციისუნარიანი ჯგუფები, რის მეშვეობითაც განხორციელდა დასაწინები ფხვნილოვანი კომპოზიტების ქიმიური მოდიფიკაცია ( $X=H, Cl, C_nH_{n-1}, R=C_nH_{n-1}, n=2,3,4$ ). Al-C ბმის რეაქციისუნარიანობის გამო მოდიფიკაციის პროცესები ჩატარდა ოთახის ტემპერატურაზე განსხვავებით სხვა ქიმიური და ფიზიკური მეთოდებისაგან, რომლებიც მიმდინარეობენ მკაცრ პირობებში და ამავე დროს არასრული ხარისხით ( $50-70\%$ ). პროექტი შესრულდა სამ ეტაპად და ის მოიცავდა შემდეგ ძირითად ამოცანებს: 1. საწყისი ნაერთების სინთეზი, კომპონენტების მოდიფიცირების მეთოდების დამუშავება. 2. მოდიფიცირებული მიზნობრივი ფხვნილების მიღება, კვლევა და მაღალტემპერატურული შეცხოვის ოპტიმალური პირობების დადგენა. 3. მიღებული კერამიკების ქიმიური და ფაზური

შედგენილობის, ფიზიკურ-მექანიკურ და სტრუქტურულ-მორფოლოგიური კვლევა.

პროექტის ფარგლებში შერულებული სამუშაოების შედეგად მიღებულია შემდეგი შედეგები:

1. პროექტის დასაწყისში განხორციელდა ყველა ხელსაწყო-დანადგარის სამუშაო რეჟიმში მოყვანა, მოდიებულია ალუმინორგანული ნაერთების და გრაფენის ოქსიდის სინთეზის მეთოდები. ადგილზე არსებული ქიმიური რეაქტივები გასუფთავებულია და შეძენილია საჭირო მასალები.
2. ალუმინის ოქსიდის ულტრადისპერსული ფხვნილების მიღება განხორციელდა სხვადასხვა მეთოდებით: მეტალური ალუმინიდან, ალუმინის ჰიდროქსიდისაგან, თვითგანვითარებადი ჟანგვა-აღდგენითი, ალუმინის იზოპროპილატისაგან. სინთეზირებულია ალუმინორგანული ნაერთები და გრაფენის ოქსიდი. მიღებული ფხვნილებისათვის განხორციელდა მათი სტრუქტურულ-მორფოლოგიური კვლევა;
3. ჩატარებულია გრაფენის ქიმიური მოდიფიკაცია ალუმინორგანული ნაერთებით; მომზადებულია  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-GO}$ ,  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$  დასაწნეხი ფხვნილოვანი კომპოზიტები.
4. მიღებული ფხვნილოვანი კომპოზიტების კონსოლიდაცია განხორციელდა სხვადასხვა მეთოდებით, როგორც მაღალტემპერატურულ ვაკუუმურ ღუმელში, ასევე ნაპერწკლოვან-პლაზმური სინთეზის მეთოდებით. კერამიკული ნიმუშებისათვის განსაზღვრული იქნა ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები და ჩატარებულ იქნა სტრუქტურულ-მორფოლოგიური კვლევა.
5. მიღებულია გაუმჯობესებული ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მქონე კერამიკული ნიმუშები და დადგენილია, რომ 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.

#### 4. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში

##### 4.1. მონოგრაფიები/წიგნები

№	ავტორი/ავტორები	მონოგრაფიის/წიგნის სათაური, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

##### 4. 2. სახელმძღვანელოები

№	ავტორი/ავტორები	სახელმძღვანელოს სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

##### 4.3. კრებულები

№	ავტორი/ავტორები	კრებულის სახელწოდება, საერთაშორისო	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა

		სტანდარტული კოდი ISBN		
1				
2				
3				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

#### 4.4. სტატიები დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდის (DOI) მითითებით

№	ავტორი/ ავტორები	სტატიის სათაური, დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI	ჟურნალის/ კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1	N. Jalagonia, T. Kuchukhidze, E. Sanaia, L. Kalatozishvili, R. Ivanova, B. Khvitia, G. Bokuchava.	Synthesis of UV curable rGO/PDMS nanocomposites	Bulletin of Georgian National Academy of Sciences, №4, V. 12, 2018	Tbilisi, Georgia, Georgian Academy Press	pp. 72-77
<p>ცნობილია 3D პრინტერების რამდენიმე სახეობა, სადაც ჩვეულებრივ გამოყენებულია პოლიმერები. სტერეოლითოგრაფიის აპარატში გამოყენებულია ლაზერის ერთი სხივი პოლიმერიზაციისთვის ან ფოტოპოლიმერის გასაკერად. სინათლის სხივების მოქმედებით თხევად ფოტოპოლიმერზე იქმნება მასალა ფენა-ფენა. პოლიდიმეთილსილოქსანი (PDMS) არის ნივთიერებების მნიშვნელოვანი კლასი მათი თვისებების გამო, როგორებიცაა ქიმიური ინერტულობა, მოქნილობა, ოპტიკური გამჭვირვალობა, ასევე მათ გააჩნიათ ძალიან დაბალი ზედაპირის დამაბულობა (20.4 მნ/მ) და გამინების ტემპერატურა (146 K). შესაძლებელია PDMS-ის ჯაჭვზე ფოტოაქტიური ჯგუფების დამაგრება და ახალი უ.ი. სხივებით გაკერვადი პოლიმერების მიღება.</p> <p>სამუშაოს ფარგლებში სინთეზირებულია უ.ი. სხივებით გაკერვადი პოლიდიმეთილ-სილოქსანი, რომელშიც შემავსებლად დამატებულია ალდგენილი გრაფენის ოქსიდი სხვადასხვა კონცენტრაციით (მას. %). პოლიმერში შემავსებლის კარგად გადანაწილების მიზნით, გამოყენებულია ლაბორატორიული ჰომოგენიზატორი. საწყისი მასალების და მიღებული ნანოკომპოზიტების სტრუქტურა და შედგენილობა შესწავლილია ბმრ, ი.წ. და რამან სპექტროსკოპული მეთოდებით, ელექტრონული მასკანირებელი მიკროსკოპით, რენტგენის დიფრაქტომეტრით და დინამიურ- მექანიკური ანალიზატორით. დადგენილია, რომ შემავსებლის კონცენტრაციის გაზრდით უმჯობესდება მასალის მექანიკური თვისებები.</p>					

#### 4.5. სტატიები ISSN-ის მითითებით

№	ავტორი/ ავტორები	სტატიის სათა- ური, ISSN	ჟურნალის/ კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1					
2					
3					
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)					

**5. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში**

**5.1. მონოგრაფიები/წიგნები**

№	ავტორი/ავტორები	მონოგრაფიის/წიგნის სათაური, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

**5.2. სახელმძღვანელოები**

№	ავტორი/ავტორები	სახელმძღვანელოს სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

**5.3. კრებულები**

№	ავტორი/ავტორები	კრებულის სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1	T. Kuchukhidze, N. Jalagonia, E. Sanaia, K. Barbakadze, F. Marquis, G. Bokuchava.	Matrix Composites Reinforced with Modified GO Based on Alumina and Their Investigation	Proceedings of ICMSF 2018: 20th International Conference on Materials Synthesis and Fabrication	pp.1659-1664

წარმოდგენილ ნაშრომში შესწავლილია მოდიფიცირებული გრაფენის ოქსიდის ეფექტი ულტრადისპერსულ  $\alpha$ - $Al_2O_3$ -ში და -  $\alpha$ - $Al_2O_3$ - $ZrO_2$ - $Y_2O_3$ -ში მექანიკურ თვისებებსა და მიკროსტრუქტურაზე. მასალები მიღებულ იქნა ცხელი დაწნევის მეთოდით (OXY-GON, Model № FR210-30T-A-200-EVC). ნაჩვენები იქნა, რომ ცხელი დაწნევით მიღებული კომპოზიტი  $\alpha$ - $Al_2O_3$ - $ZrO_2$ - $Y_2O_3$ /mGO 1450°C-ზე ხასიათდება ბზარმედეგობით, სიმტკიცით. გამოყენებული ხელსაწყოებია: მაღალტემპერატურული ვაკუუმური ღუმელი, გლავ ბოქსი, სკანირებადი ელექტრონული მიკროსკოპი Nikon ECLIPSE LV 150, ლაზერული ნაწომზომი 12 Dyna sizer, პლანეტარული წისქვილი Pulverisette 7 premium line, მიკროსისალის გამზომი SHIMADZU Dynamic Ultra Micro Hardness Tester DUH-211S, დიფრაქტომეტრი DRON-3M, მეტალოგრაფიული მიკროსკოპი NMM-800TRF.

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 აიხსნას იმით, რომ ალუმინორგანული ნაერთებით მოდიფიცირებული გრაფენის ოქსიდი კერამიკის შეცხოვის პროცესში ხელს

უმლის  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  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 ფუძეზე გაუმჯობესებულია ყველა ძირითადი ფიზიკურ მექანიკური მახასიათებელი და შემცირებულია კაზმის შეცხოების ტემპერატურა, რაც ამცირებს ენერგოდანახარჯებს და უფრო ეფექტურს ქმნის შემოთავაზებულ ტექნოლოგიურ პროცესს.

#### 5.4. სტატიები

№	ავტორი/ ავტორები	სტატიის სათა-ური, დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN	ჟურნალის/ კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1					
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)					

### 6. სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა

#### 6.1. საქართველოში

№	მომხსენებელი/ მომხსენებლები	მომხსენების სათაური	ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი
1	<u>N. Jalagonia</u> , N. Darakhvelidze, A. Sichinava, E. Sanaia, M. Casa, L. Kalatozishvili	UV Curable PDMS for SLA Printer	Polychar 26, World Forum on Advanced Materials. September 10-13, Tbilisi, Georgia
2	<u>G. Bokuchava</u> , T. Kuchukhidze, Tamar Archuadze, E. Sanaia, N. Jalagonia	Chemical Transformation of Carbon Nanostructures and it's using in Nanocomposites	Polychar 26, World Forum on Advanced Materials. September 10-13, Tbilisi, Georgia

#### 6. 2. უცხოეთში

№	მომხსენებელი/ მომხსენებლები	მომხსენების სათაური	ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი
1	T. Kuchukhidze, N. Jalagonia, <u>E. Sanaia</u> , K. Barbakadze, F. Marquis, G. Bokuchava	Matrix Composites Reinforced with Modified GO Based on Alumina and Their Investigation	February 19 - 20, Paris, France. ICMSF 2018: 20th International Conference on Materials Synthesis and Fabrication.
2	<u>N. Jalagonia</u> , N. Darakhvelidze, T. Kuchukhidze, E. Sanaia, G. Bokuchava, L. Kalatozishvili	Obtaining of graphene/polymer composites by hydrosilylation reaction for SLA printer	November 22-23, 2018, Paris, France. International Conference on Materials Physics and Materials Science

**V. კრიოგენული ტექნიკის და ტექნოლოგიების ლაბორატორია**

სამეცნიერო ერთეულის ხელმძღვანელი:

**გურამ დგებუაძე** - მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი, ფიზიკის დოქტორი

სამეცნიერო ერთეულის პერსონალური შემადგენლობა:

**იოსებ მეცხვარიშვილი**-----უფროსი მეცნიერ თანამშრომელი, ფიზიკის დოქტორი.

**ბეჟან ბენდელიანი**-----მეცნიერ თანამშრომელი, დოქტორანტი.

**ვლადიმერ ჭანტურიძე**-----მეცნიერ თანამშრომელი, მაგისტრი.

**მალხაზ ჩოჩია**-----ინჟინერი.

**ნადეჟდა მუმლაძე**-----ტექნიკოსი.

1. სამეცნიერო ან სასწავლო ერთეულის მიერ ერთობლივად 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	<p>მობილური მანქანა - რობოტის (მმრ) დისტანციური მართვის სისტემის დამუშავება.</p> <p>სოხუმის ილია ვეკუას ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტის (სფტი) და რაფიელ დვალის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტის (მმი) ერთობლივი პროექტი.</p> <p>2. ინჟინერია და ტექნოლოგიები 2.2. ელექტროინჟინერია, ელექტრონული ინჟინერია, საინფორმაციო ინჟინერია (რობოტექნიკა და ავტომატური მართვა)</p>	2018-2019	<p>გურამ დგებუაძე- პროექტის ხელმძღვანელი. სამუშაოს მსვლელობის კონტროლი და ანალიზი;</p> <p>ბეჟან ბენდელიანი - პროექტის თანახელმძღვანელი. მანქანა რობოტის მართვის ვირტუალური ხელსაწყო დამუშავება.</p> <p>ვლადიმერ ჭანტურიძე- ინფორმაციის მოძიება. მმრ-ს გამოცდებში მონაწილეობა.</p> <p>მალხაზ ჩოჩია - საინჟინერო ამოცანების უზრუნველყოფა.</p> <p>ნადეჟდა მუმლაძე -ტექნიკური ამოცანების უზრუნველყოფა</p>

*რაფიელ დვალის მანქანათა მექანიკის ინსტიტუტში (მმი) დამუშავებულია სხვადასხვა დანიშნულებისა და კონსტრუქციის, მათ შორის ჰიბრიდული ტიპის, მობილური მანქანების საპილოტე ნიმუშები, რომელთა სათანადო კონსტრუქციული ცვლილებებით მიიღება მობილური პლატფორმების ფართო სპექტრი და რომელთა გამოყენება შესაძლებელია როგორც სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგში, ასევე სამხედრო დანიშნულებით. კერძოდ, პლატფორმის გადაკეთებით და მათი სათანადო მოწყობილობით აღჭურვილ ახლად მობილურ პლატფორმებს შესაძლებლობა ექნებათ შეასრულონ ისეთი ოპერაციები, სადაც ადამიანის უშუალო მოქმედება შეზღუდული, სახიფათო, ან შეუძლებელია. (მაგ. გაზრდილი რადიაციული ფონი, ქიმიურად დაბინძურებული გარემო, ფეთქებადსაშიში ზონები, მონაწილეობა მიიღონ უშუალოდ საბრძოლო ოპერაციებში, გადაიტანონ გარკვეული სახის ტვირთები, და სხვა.)*

*სოხუმის ილია ვეკუას ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტში (სფტი) დამუშავებულია ვირტუალურ მაკონტროლებელ ხელსაწყოთა რამდენიმე ვარიანტი და ისინი მატერიალიზებულია სხვადასხვა პროცესებში (სინთეზის კონტროლის, ვაკუუმის და ტემპერატურის გაზომვის). ვირტუალური*



ხელსაწყოების შექმნის ტექნოლოგიაში, გამოზომი სისტემების აპარატურა და პროგრამულ უზრუნველყოფაში ერთ-ერთ ლიდერს ამერიკული ფირმა National Instruments (NI) წარმოადგენს. მათი ხელსაწყოები ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა ამოცანების შესასრულებლად. მაგალითად NI-9211 – 4 არხიანი ბლოკი ტემპერატურის გასაზომად თითქმის ყველა სახეობის თერმოწყვილის საშუალებით; NI-9217 - 4 არხიანი ბლოკი ტემპერატურის გასაზომად RTD წინაღობების საშუალებით და ა.შ. ლაბორატორიული ექსპერიმენტების მიმდინარეობისას კი ჩვეულებრივ სხვა ფიზიკური სიდიდეებიც იზომება, რომლებიც მილივოლტებში გადაიყვანება. ლაბორატორიაში არსებული ბლოკი NI USB-6009 მრავალფუნქციონალურია და საშუალებას იძლევა თავისი 8 შესასვლელიდან მიღებული ანალოგური სიგნალები (0-10 ვ), გადავიყვანოთ ციფრულ ფორმაში და თანამედროვე USB გადამყვანით გადავცეთ პერსონალურ კომპიუტერზე, სადაც შესაძლებელია მათი დამუშავება, ვიზუალური ასახვა და შენახვა. გარდა ამისა, ბლოკს გააჩნია ციფრული გამოსასვლელი ინფორმაციის ან მართვის სიგნალების გადაცემისათვის.

*შედეგები:*

- დამუშავებულია მანქანა-რობოტის (მმრ) დისტანციური მართვის ბლოკ სქემა; შედგენილია მართვის ალგორითმები; დადგენილია მართვის განსახორციელებლად საჭირო ძირითადი მოწყობილობები.
- შექმნილია გრაფიკული პროგრამირების სისტემაში LabVIEW მობილური მანქანა-რობოტის ჯოისტიკით (Logitech) დისტანციური მართვის ვირტუალური ხელსაწყო ლეპტოპზე (Acer).
- ჩატარებულია მმრ-ის ძრავების ცალკეული და კომპლექსური გამოცდები. ანალიზის შედეგად მართვის სისტემაში შეტანილია დამატებითი ფუნქციონალური ცვლილებები და ისინი სათანადოდ ასახულია ტექნიკურ მოთხოვნებში, კერძოდ სისტემაში შემოტანილია ARDUINO -ს ფუნქციონალური ბლოკები.
- წარდგენილია სტატია ეროვნული მეცნიერებათა აკადემიის დახურულ ჟურნალში:



ბ. ბენდელიანი, გ. ბოკუჩავა, გ. დგებუაძე, რ. კენკიშვილი, თ. ნატრიაშვილი და სხ. **ჰიბრიდული ტიპის საბრძოლო მობილური მანქანა რობოტი.**

პროექტის დასრულება პრაქტიკული შედეგებით დაგეგმილია 2019 წელს.

1.2.

№	დასრულებული პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	ახალი თაობის ზეგამტარი მასალების მიღება და კვლევა (კონტროლირებადი ორთქლის დიფუზიური პროცესებით მიღებული HBCCO ზეგამტარი მასალების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების კვლევა)  1. საბუნებისმეტყველო მეცნიერებანი 1.3. ფიზიკური მეცნიერებანი (კონდენსირებული გარემოს ფიზიკა)	2018	იოსებ მეცხვარიშვილი - პროექტის ხელმძღვანელი. ამოცანის დასმა; სამუშაოს მსვლელობის კონტროლი და ანალიზი; მეთოდის კვების მომზადება; მიღებული შედეგების ანალიზი; სასტატო მასალების მომზადება; შედეგების საერთაშორისო კონფერენციებზე წარდგენა.  გურამ დგებუაძე - ლაბორატორიის ხელმძღვანელი. ამოცანის განხილვა, მიღებული შედეგების ანალიზი, სასტატო და საკონფერენციო

		<p>მასალების გამოქვეყნების პროცესებში მონაწილეობის მიღება. ბეჟან ბენდელიანი - ნიმუშების სინთეზისა და ფიზიკური გაზომვების ექსპერიმენტული ბაზის ნორმალური ფუნქციონირების უზრუნველყოფა და მიღებული მონაცემების ციფრული და ვიზუალური სახით მიღება. ნადეჟდა მუმლაძე - ანალიზურ სასწორთან, მუფელის ღუმელთან, შემრევ მოწყობილობებთან და დაჟანგბადის სისტემებთან მუშაობა.</p>
--	--	---

დღესდღეობით კვლევები, დაკავშირებული მაღალტემპერატურულ ზეგამტარებთან კონცენტრირებულია, როგორც ახალი კლასის ზეგამტარების აღმოჩენისაკენ, ასევე უკვე ცნობილი მაღალტემპერატურული ზეგამტარების ზეგამტარული თვისებების გაუმჯობესებისაკენ. მიზნის მისაღწევად გამოყენებულ მეთოდებს შორის არიან: 1) მაღალი წნევების ზეგავლენა ნიმუშების ფორმირებაზე; 2) სხვადასხვა დანამატების შეყვანა ან ჩანაცვლება; 3) ნიმუშის სინთეზისათვის მეთოდიკების შერჩევა. მცდელობები სხვადასხვა მეთოდებით, ტრადიციული თუ ეგზოტიკური მიდგომებით, მიიღონ ახალი კლასის ან გაზარდონ უკვე არსებული ზეგამტარების ზეგამტარულ მდგომარეობაში გადასვლის კრიტიკული ტემპერატურა, არ კარგავს აქტუალობას. მაგალითად ჟურნალ „Nature“-ში (Conventional superconductivity at 203 kelvins at high pressures in the sulfur hydride system // Nature., 17 August 2015) გამოქვეყნდა კვლევების შედეგები, სადაც იუწყებიან, რომ H<sub>2</sub>S გოგირდის ჰიდრიდი, 155 გიგაპასკალი წნევის ქვეშ, 203K-ზე გადადის ზეგამტარულ მდგომარეობაში. დაიმზირება მისწერის ეფექტი, კრიტიკული მაგნიტური ველის სიდიდე არის 60T < H<sub>c2</sub> < 80T დიაპაზონში, ხოლო ექსპერიმენტული მონაცემებიდან გადათვლილი კრიტიკული დენის სიმკვრივე, არის 10<sup>7</sup> ა/სმ<sup>2</sup>. დღესდღეობით, უკვე არსებულ ზეგამტარებს შორის ყველაზე მაღალი კრიტიკული ტემპერატურა აქვს HgBa<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>8+δ</sub>-ს. როდესაც ნიმუში მომზადებულია ჩვეულებრივი გარემოს პირობებში, ზეგამტარულ მდგომარეობაში გადასვლის ტემპერატურა არის T<sub>c</sub> ≈ 135 K, ხოლო ექსტრემალური წნევის ქვეშ (30 GPa) მომზადებული ნიმუშებისათვის T<sub>c</sub> ≈ 165 K. Hg-1223 ფაზის ეს განსაკუთრებული თვისება ხდის მას სასურველ მასალად პრაქტიკული გამოყენებისათვის. შემოთავაზებული პროექტის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ დოპანტის სახით გამოვიყენოთ ისეთი ოქსიდები, რომელთაც აქვთ ნაკლები ორთქლადქცევის ტემპერატურა ვიდრე HgO-ს. ეს მოგვცემს საშუალებას შევქმნათ წნევა დახურული კვარცის ამპულაში, სანამ ვერცხლისწყლის ოქსიდი დაიშლება O<sub>2</sub> და Hg-ის ორთქლად სინთეზის და გამოცხობის დროს. ამ მეთოდით ჩვენ შეგვიძლია ვაკონტროლოთ Hg ორთქლის დინამიკის პროცესი დახურული კვარცის ამპულაში და გავაკეთოთ სინთეზი კონტროლირებადი წნევის გარემოში.

დასმული ამოცანის მიხედვით დასინთეზებულ Ba<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> პრეკურსორს დაემატა HgO და I<sub>2</sub>O<sub>3</sub> სხვადასხვა დოზით (x=0.0, x=4, x=8, x=1.2, x=1.6, x=1.8, და x=2.2 წონ.%), შეერია ერთმანეთს და დაიწნეხა ნიმუშები (8 ნიმუში). შემდგომში დაწნეხილი ნიმუშები მოთავსდა კვარცის ამპულაში, ამოიტუმბა ჰაერი 10<sup>-3</sup> ტორ-მდე. დახურული ამპულა მოთავსდა მუფელის ღუმელში საბოლოო სინთეზისათვის სათანადო ტემპერატურის და ხანგრძლივობის შესაბამისად. მიღებულ ნიმუშებზე ჩატარდა ქიმიური თვისებების კვლევა, კერძოდ რენტგენული ფაზური ანალიზი (XRD). გაზომვებმა გვიჩვენეს, რომ არადოპირებულ ნიმუშებში, მიღებული შედეგები სრულ შესაბამისობაშია ეგრეთწოდებულ Hg-1223 პედევე ფაზთან. იოდით დოპირებული ნიმუშების შემთხვევაში გაცილებით სუფთა ფაზა მიიღება, როდესაც იოდის ოქსიდის (I<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) შემცველობა არის 1.8 წონ.%. გაზომვები ჩატარდა ინფრაწითელი გამოსხივების ფურიე სპექტრომეტრიის (FTIR) საშუალებით. ამთვისებლობის, მაღალი ჰარმონიკების და კუთრი წინაღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულებების გაზომვები არის შესაბამისობაში რენტგენოფაზური გაზომვების შედეგებთან. იოდის ოქსიდით დოპირებულ (1.8წონ.%) კონცენტრაციის მქონე ნიმუშში, ვლელულობთ გაცილებით უკეთეს ფიზიკურ მახასიათებლებს. კერძოდ T<sub>c</sub>-133K-დან გაიზარდა 136K-მდე, ხოლო კრიტიკული დენის სიმკვრივე J<sub>c</sub>-87 ა/სმ<sup>2</sup>-დან (1.8 wt.%) - ნიმუშში გახდა J<sub>c</sub>-200 ა/სმ<sup>2</sup>.

2. შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტით დაფინანსებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები

2.1.

№	გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	<p>პოლიმერიზაციის და სხვადასხვა დანამატების ზეგავლენა Hg-1223 ზეგამტარულ თვისებებზე</p> <p>1. საბუნებისმეტყველო მეცნიერებანი 1.3. ფიზიკური მეცნიერებანი (კონდენსირებული გარემოს ფიზიკა)</p> <p><b>№217524</b></p>	2016 - 2019	<p>იოსებ მეცხვარიშვილი-პროექტის სამეცნიერო ხელმძღვანელი, გურამ დგებუაძე-პროექტის კოორდინატორი, ლევან გუგულაშვილი-ახალგაზრდა მეცნიერი, ბექან ბენდელიანი-ძირითადი პერსონალი, თეა ლობჯანიძე-ძირითადი პერსონალი, ნადეჟდა მუმლაძე-ტექნიკური პერსონალი</p>

2.2.

№	დასრულებული (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	<p>TI-ფუძიანი ზეგამტარების სინთეზი ზოლ-გელ მეთოდისა და პოლიმერიზაციის გამოყენებით</p> <p>1. საბუნებისმეტყველო მეცნიერებანი 1.3. ფიზიკური მეცნიერებანი (კონდენსირებული გარემოს ფიზიკა)</p> <p><b>FR/261/6-260/14</b></p>	2015-2018	<p>თეა ლობჯანიძე-პროექტის სამეცნიერო ხელმძღვანელი, იოსებ მეცხვარიშვილი-ძირითადი პერსონალი, გურამ დგებუაძე-ძირითადი პერსონალი, ლევან გუგულაშვილი-ახალგაზრდა მეცნიერი, ბექან ბენდელიანი-ძირითადი პერსონალი, ნადეჟდა მუმლაძე-ტექნიკური პერსონალი</p>

1. პროექტის განხორციელების ( მიმდინარეობის) მოკლე აღწერა:

TlBa<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> მაღალტემპერატურულ ზეგამტარს გააჩნია ზეგამტარულ მდგომარეობაში გადასვლის ტემპერატურა დაახლოებით 115K, ხოლო T<sub>c</sub> ≈ 130 K, თუ იგი მომზადებულია მაღალი წნევის ქვეშ (3.5 GPa). ასევე, მაღალ მაგნიტურ ველებში ეს ზეგამტარი ამჟღავნებს შეუქცევადობას. ეს მახასიათებლები TI-1223 ფაზას ხდის სასურველ მასალად პრაქტიკული გამოყენებისათვის. თალიუმში არის ძლიერ ტოქსიკური, აქვს აორთქლებადობის თვისება მაღალ ტემპერატურაზე და რაც მნიშვნელოვანია, მაღალი სისუფთავის ფაზის მიღება კრიტიკულად დამოკიდებულია გამოყენებულ პრეკურსორზე და სინთეზის პირობებზე. ზოლ-გელ მეთოდს აქვს შემდეგი უპირატესობები ყველა სხვა მეთოდთან შედარებით: მიიღწევა შემადგენელი

კათიონების ერთგვაროვანი ნარევი ატომურ ზომამდე, გელიდან ხდება თხელი ფირების და ძაფების ფორმირება, რომელთაც ძალზედ დიდი ტექნოლოგიური მნიშვნელობა გააჩნიათ. შედეგად ორი სხვადასხვა მეთოდის გამოყენებით: პოლიმერიზაცია ადგილზე და მოდიფიცირებული ზოლ-გელ მეთოდი, ჩვენ მივიღეთ კარგი, ქიმიურად ერთგვაროვანი და მაღალი რეაქციის უნარიანი პრეკურსორი, ხოლო მის ფუძეზე მივიღეთ ნიმუშები, სადაც TI-1223 ზეგამტარი ფაზა შეადგენს 90%. პროექტის ფარგლებში ჩვენ ასევე შევისწავლეთ სხვადასხვა დოპანტების ზეგავლენა TI-1223 -ის ზეგამტარულ თვისებებზე. შედეგად, დამუშავებული ტექნოლოგიების და მიღებული შედეგების საფუძველზე, ჩვენ შესაძლებლობა გვაქვს მოვამზადოთ ლენტები და თხელი ფირები.

**2. პროექტის შედეგი და ეფექტი:**

მიღებულია გაუმჯობესებული ფიზიკური თვისებების მქონე მაღალტემპერატურული ზეგამტარი ნიმუშები, ზეგამტარულ მდგომარეობაში გადასვლის  $T_c \approx 122K$  ტემპერატურით. მიღებულ ნიმუშებში TI-1223 ზეგამტარი ფაზა შეადგენს 90%, სველი ქიმიის გამოყენებით ჩვენს მიერ შემუშავებული ტექნოლოგიით ეკრანირებული კრიტიკული დენები  $J_c \approx 70$  ა/სმ<sup>2</sup>-დან გაიზარდა  $J_c \approx 247$  ა/სმ<sup>2</sup>-მდე, ეს არის განპირობებული ჩვენს მიერ ზეგამტარი ნიმუშის შემადგენელი გრანულების ნანონაწილაკებამდე დაყვანით. საბოლოოდ დადგენილია ნიმუშების მიღების რეგლამენტი, რომელიც მათი სინთეზის განმეორადობის საშუალებას გვაძლევს, რაც ძალიან მნიშვნელოვანია. გრანტის ფარგლებში მიღებული შედეგების საფუძველზე უკვე შესაძლებელია შემდგომში შევქმნათ თხელი ფირები და ფირის ფორმის ზეგამტარი მავთულები.

**3. განხორციელებული პროექტის გავლენა მიმართულების სფეროზე ან მის განვითარებაზე:**

პირველ რიგში პროექტი მნიშვნელოვანი იყო საქართველოს სამეცნიერო პოტენციალის გაძლიერებისათვის. ამ პროექტის ფარგლებში შეიქმნა ახალი ტექნოლოგიური მიდგომები და მოხდა გარღვევა ამ მიმართულებით. კერძოდ: მაღალტემპერატურული ზეგამტარების სინთეზს და კვლევას სხვა ჯგუფებიც აკეთებდნენ და აკეთებენ (Y-ფუძიანი და Bi-ფუძიანი), მაგრამ TI-ფუძიანი ზეგამტარები პირველად შეიქმნა საქართველოში ამ პროექტის ფარგლებში, ვინაიდან მისი მომზადება არის გაცილებით რთული და საჭიროებს მაღალი ტექნოლოგიების გამოყენებას. ასევე ამ პროექტის ფარგლებში დამუშავებული იყო ახალი მიდგომა, ეგრეთ წოდებული მოდიფიცირებული ზოლ-გელ მეთოდი, რომელიც არის გაცილებით სწრაფი, ენერგოდამზოგი და მაღალტექნოლოგიური.

**3. უცხოური გრანტებით დაფინანსებული სამეცნიერო პროექტები**

**3.1. გარდამავალი პროექტი**

№	გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი, დამფინანსებელი ორგანიზაცია/ სამეცნიერო ფონდი, ქვეყანა	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	2	3	4
1			
2			
გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2018 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)			

**3.2. დასრულებული პროექტი**

№	დასრულებული (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

	მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი, დამფინანსებელი ორგანიზაცია/სამეცნიერო ფონდი, ქვეყანა		
1	2	3	4
1			
2			
დასრულებული კვლევითი პროექტის 2018 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)			

#### 4. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში

##### 4.1. მონოგრაფიები/წიგნები

№	ავტორი/ავტორები	მონოგრაფიის/წიგნის სათაური, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

##### 4.2. სახელმძღვანელოები

№	ავტორი/ავტორები	სახელმძღვანელოს სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

##### 4.3. კრებულები

№	ავტორი/ავტორები	კრებულის სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
3				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

##### 4.4. სტატიები დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდის (DOI) მითითებით

№	ავტორი/ ავტორები	სტატიის სათა- ური, დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI	ჟურნალის/ კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1					

2					
3					
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)					

#### 4.5. სტატიები ISSN-ის მითითებით

№	ავტორი/ავტორები	სტატიის სათაური, ISSN	ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1	Tea Lobzhanidze, Ioseb Metskhvarishvili, Kristine Giorgadze	Synthesis and Characterization of Mixed-Ligand Complexes of Arsenic-Organic Compounds <b>ISSN - 0132 – 1447</b>	Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences. no.2, vol.12, 2018	Tbilisi, Georgia, Georgian National Academy Press	pp.58-62

ოთხნაწევრული დარიშხანის მარილების ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს თვისებას, სხვა კოორდინაციული ნაერთებისაგან განსხვავებით, წარმოადგენს კატიონურ-ანიონური კომპლექსების წარმოქმნისადმი მიდრეკილება. კერძოდ, ისინი წარმოქმნიან სპირტ-წყალხსნარებში კატიონურ-ანიონურ კომპლექსებს. შერეულიგანდიან კომპლექსნაერთებს გამოყენების დიდი პერსპექტივა გააჩნია. სახელდობრ, არსებობს დიდი ალბათობა, რომ ამ ნაერთებს ჰქონდეთ მაღალი და სპეციფიკური ბიოლოგიური აქტივობა. საწყის სარეაქციო მასალად გამოიყენება დარიშხანის მარილი და კადმიუმის ბრომატი, მოლური თანაფარდობით 1:1. რეაქცია ტარდება ოთახის ტემპერატურაზე, სპირტ-წყალხსნარებში. სინთეზირებული დარიშხანორგანული შერეულიგანდიანი კომპლექსების აღნაგობა და შედგენილობა ტესტირებული იყო როგორც ელემენტური ანალიზით, ასევე კვლევის სხვა ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდებითაც.

### 5. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში

#### 5.1. მონოგრაფიები/წიგნები

№	ავტორი/ავტორები	მონოგრაფიის/წიგნის სათაური, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

#### 5.2. სახელმძღვანელოები

№	ავტორი/ავტორები	სახელმძღვანელოს სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

### 5.3. კრებულები

№	ავტორი/ავტორები	კრებულის სახელ- წოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
3				

### 5.4. სტატიები

№	ავტორი/ ავტორები	სტატიის სათაური, დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN	ჟურნალის/ კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1	I. Metskhvarishvili, T. Lobzhanidze, G. Dgebuaдзе, B. Bendeliani, M. Metskhvarishvili, V. Gabunia	HgBa <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7</sub> Superconductor Prepared by as Vapour Diffusion Process <b>ISBN: 978177188445</b> 7	Chemical Engineering of Polymers Production of Functional and Flexible Materials. Part III: Materials and Properties, <i>Chapter 22.</i>	New Jersey, USA, Apple Academic Press (AAP). 2018.	pp. 287-293

უდარიშხანო და დარიშხანდოპირებული HgBa<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>As<sub>x</sub>O<sub>y</sub> ზეგამტარები სინთეზირებულ იქნა კვარცის დახურულ მილში მყარფაზოვანი რეაქციის მეთოდით. სარეაქციო მასაში მცირე რაოდენობით As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ის დამატება იძლევა ვერცხლისწყლის ორთქლის წნევის კონტროლის შესაძლებლობას. უდარიშხანო და დარიშხანდოპირებული HgBa<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>As<sub>x</sub>O<sub>y</sub> ზეგამტარების ცვლადი ველის ამთვისებლობის გაზომვის შედეგები აჩვენებს, რომ As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ის მცირე რაოდენობით დამატება ზრდის (HgAs)-1223 ზეგამტარი ფაზის მოცულობით შემცველობასა და ამ ფაზის თერმულ სტაბილურობას.

## 6. სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა

### 6.1. საქართველოში

№	მომხსენებელი/ მომხსენებლები	მომხსენების სათაური	ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი
1			
2			
3			

### 6. 2. უცხოეთში

№	მომხსენებელი/ მომხსენებლები	მომხსენების სათაური	ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

1	I.R. Metskhvarishvili, G.N. Dgebuadze, T.E. Lobzhanidze, B.G. Bendeliani, M.R. Metskhvarishvili, L.T. Gugulashvili, V.M. Gabunia,	Influence of Silver Doping on the Superconducting Properties of Hg-1223 HTS Abstract ID No : 3145.	2018, 29 April 4 May, Antalya, Turkey. 6th International Conference on superconductivity and magnetism- ICSM2018,
<p>ჩვენს მიერ წარმოდგენილია ვერცხლისწყლის ფუძეზე დამზადებული მაღალტემპერატურული ზეგამტარების თვისებებზე <math>\text{Ag}_2\text{O}</math>-ის დამატებით მიღებული ეფექტები. <math>\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_x\text{O}_y</math> (<math>x=0.0-1.2</math> მასური %) შედგენილობის ნიმუშები დამზადებული იქნა ორსაფეხურიანი მეთოდით. პირველ საფეხურზე დამზადებულ იქნა <math>\text{Ba}:\text{Ca}:\text{Cu}=2:2:3</math> მრავალფაზოვანი კერამიკული პრეკურსორები. საწყის მასალებად გამოყენებულ იქნა Sigma-Aldrich-ის ფხვნილოვანი მასალები: <math>\text{BaCO}_3</math> (99.98%), <math>\text{CaCO}_3</math> (99.0%) და <math>\text{CuO}</math> (99.999%). პრეკურსორის ზოლ-გელ მეთოდით სინთეზისას მმარმჟავა და აზოტმჟავა იყო გამოყენებული ოქსიდების გასახსნელად, ხოლო <math>\varepsilon</math>-კაპროლაქტამი როგორც კომპლექსწარმომქმნელი აგენტი. მეორე საფეხურზე <math>\text{HgO}</math> და <math>\text{Ag}_2\text{O}</math> დაემატა პრეკურსორებს და <math>\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Ag}_x\text{O}_y</math> -ის საბოლოო სინთეზი განხორციელდა დახურულ კვარცის მილში.</p> <p>მიღებული ნიმუშები გამოკვლეულ იქნა DPOH-3M დიფრაქტომეტრის საშუალებით <math>\text{Cu}_{K\alpha}</math> გამოსხივებით. არადოპირებული და ვერცხლით დოპირებული პოლიკრისტალური ზეგამტარული ნიმუშების ცვლად ველში ამთვისებლობა და მაღალჭარმონიკული გამოძახილი გაზომილ იქნა სუსტ ცვლად ელექტრულ ველში აღზნებისა და მუდმივი მაგნიტური ველის პირობებში. კრიტიკული მდგომარეობის მოდელები იქნა გამოყენებული პოლიკრისტალურ ზეგამტარებში არაწრფივი მაგნიტური გამოძახილის ასახსნელად. ჩვენი შედეგების მიხედვით დაბალ დონეზე ვერცხლით დოპირება ზრდის <math>J_c</math> კრიტიკული დენის სიმკვრივეს.</p>			
2	T.E. Lobzhanidze, I.R. Metskhvarishvili, G.N. Dgebuadze, M.R. Metskhvarishvili, B.G. Bendeliani, L.T. Gugulashvili, V.M. Gabunia	Effect of $\text{P}_2\text{O}_5$ Doping on the Superconducting Properties of Tl-based Superconductors Abstract ID No : 3175	2018, 29 April 4 May, Antalya, Turkey. 6th International Conference on superconductivity and magnetism- ICSM2018
<p>წარმოგიდგენთ მონაცემებს Tl-ის ფუძეზე დამზადებული მაღალტემპერატურული ზეგამტარების ელექტრული და მაგნიტური თვისებებზე <math>\text{P}_2\text{O}_5</math> -ის დამატებით გამოწვეული ეფექტების შესახებ. <math>\text{TlBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{P}_x\text{O}_{8+x}</math> (<math>x=0.0-1.8</math> მასური %) შედგენილობის ნიმუშები დამზადებული იქნა ორსაფეხურიანი მეთოდით. პირველ საფეხურზე ჩვენ ზოლ-გელ მეთოდით დავასინთეზეთ პრეკურსორები, რა დროსაც კომპლექსწარმომქმნელ აგენტად გამოყენებულ იქნა პოლი(ვინილ ალკოჰოლი)/პოლი(ვინილ აცეტატი) (PVA/ PVAc). მეორე ეტაპზე პრეკურსორს დაემატა <math>\text{Tl}_2\text{O}_3</math> და <math>\text{P}_2\text{O}_5</math> და საბოლოო სინთეზი განხორციელდა დახურულ კვარცის მილში. მიღებული ნიმუშები გამოკვლეულ იქნა DPOH-3M დიფრაქტომეტრის საშუალებით <math>\text{Cu}_{K\alpha}</math> გამოსხივებით. რენტგენოდიფრაქციული ანალიზის შედეგების მიხედვით Tl-1223 ფაზის შემცველობა ფოსფორით დოპირებულ ნიმუშებში შეადგენდა 95 მოცულობით %-ს, მაშინ, როცა არადოპირებულ ნიმუშებში - 75 მოცულობით %-ს. არადოპირებული და ფოსფორით დოპირებული ნიმუშების ამთვისებლობა ცვლად ელექტრულ ველში და მაღალჭარმონიკული გამოძახილი გაზომილ იქნა სუსტ ცვლად ელექტრულ ველსა და მუდმივ მაგნიტურ ველში (<math>10^{-2} \leq h \leq 1</math> Oe, <math>0 \leq H \leq 12</math> Oe.). ჩვენი დაკვირვების მიხედვით ფოსფორის პენტაოქსიდის დამატება აუმჯობესებს Tl-ის ფუძეზე მიღებული მასალების ქიმიურ და ფიზიკურ თვისებებს.</p>			



## VI. არატრადიციული ენერჯეტიკის ლაბორატორია

სამეცნიერო ერთეულის ხელმძღვანელი:

**კარლო ბარბაქაძე** - მთავარი მეცნიერ-თანამშრომელი, დოქტორი

სამეცნიერო ერთეულის პერსონალური შემადგენლობა:

**ირაკლი ტაბატაძე**----- მეცნიერ-თანამშრომელი, დოქტორი

**აზა კუცია**-----მეცნიერ-თანამშრომელი, მაგისტრი

**ზურაბ ისაკაძე**----- მეცნიერ-თანამშრომელი, მაგისტრი

**მერი ბარბაქაძე**-----ინჟინერი

**მერი რეხვიაშვილი**-----ინჟინერი

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

#### 1.2.

№	დასრულებული პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	მაღალი ეფექტურობის n- და p- ტიპის $Si_{1-x}Ge_x$ ( $0.03 \leq x \leq 0.10$ ) შენადნობების დამუშავება და მათ ფუძეზე საცდელი ჰელიო თერმოელექტრული გენერატორის შექმნა მასთან კომბინირებული მზის ცენტრალური გამათბობელის მომსახურებისა და საყოფაცხოვრებო მიზნით გამოყენებისათვის.  1. საბუნებისმეტყველო მეცნიერებანი 1.3. ფიზიკური მეცნიერებანი (კონდენსირებული გარემოს ფიზიკა)	2018	კარლო ბარბაქაძე-პროექტის ხელმძღვანელი (ამოცანების დასმა, კვლევებში მონაწილეობა, მიღებული შედეგების ანალიზი).  ირაკლი ტაბატაძე: თერმოელექტრული და ენერჯეტიკული მახასიათებლების კვლევა.  აზა კუცია: მეტალოგრაფიული შლიფების მომზადება და მიკროსტრუქტურის კვლევა.  ზურაბ ისაკაძე: ფხვნილების კომპაქტირება, ბრიკეტების დაჭრა, თერმოელექტრული ბატარეებისა და ელექტრო საიზოლაციო კვანძების დამზადება.  მერი ბარბაქაძე: შენადნობების კაზიმების, ფხვნილების და თერმოელექტრული ბატარეების დამზადება.  მერი რეხვიაშვილი: თერმოელექტრული

			<p>მახასიათებლებისა და მიკროსტრუქტურის კვლევა.</p>
<p>1</p>	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>4</p>
<p>მზის სხივების ენერჯის საყოფაცხოვრებო მიზნებისათვის გამოყენება აქტუალურ პრობლემად არის აღიარებული მთელ მსოფლიოში. ამ მიმართულებით აღსანიშნავია მზის სხივებზე მომუშავე წყლის გამათბობელი, რომლის ძირითად მუშა კვანძს ნახევრადცილინდრული ფორმის სარკისებური ამრეკლი ზედაპირი და მის ფოკალურ ღერძზე განთავსებული წყლით სავსე მილი წარმოადგენს. აქტიურ გამათბობელში მილი წყლის ჩაკეტილი კონტურით არის მომხმარებელთან (წყლის ბატარეასთან) მიერთებული და გამთბარი წყალი მათ შორის ტუმბოს საშუალებით ცირკულირებს. ტუმბოს ფუნქციონირება ხშირ შემთხვევაში დამოუკიდებელი ფოტოელექტრული გარდამქმნელით ხორციელდება.</p> <p>პროექტით გათვალისწინებულ მზის ცენტრალურ გამათბობელში მზის სხივების ამრეკლ ზედაპირად პარაბოლური სარკე გამოიყენება, რომლის მიერ კონცენტრირებული მზის სხივები უშუალოდ თერმოელექტრული გარდამქმნელის ცხელ ზედაპირს ეცემა. გარდამქმნელის მიერ შთანთქმული სითბური ენერჯის გარკვეული ნაწილი ელექტრულ ენერჯიად გარდაიქმნება, დანარჩენი კი მის ცივ მხარესთან მიერთებულ ცირკულირებული წყლით აღჭურვილ გამაცივებელს გადაეცემა, რომელიც წყლის ჩაკეტილი კონტურით მომხმარებელთან (წყლის ბატარეასთან) არის მიერთებული. ამ შემთხვევაში დენის ავტონომიური წყარო (თერმოელექტრული გენერატორი – თეგ) მზის ცენტრალურ გამათბობელთან არის კომბინირებული და მასში გასული სითბური ენერჯია პირდაპირი დანიშნულებით (წყლის გასათბობად) გამოიყენება. თეგ-ის მიერ გამოიმუშავებული ელექტრული ენერჯია წყლის ტუმბოს ფუნქციონირებისათვის, პარაბოლური სარკის მზის მიდევნების მოწყობილობის კვების და სხვა აუცილებელი მიზნებისათვის გამოიყენება.</p> <p>ზოგადად, თეგ-ის ძირითადი ენერგეტიკული მახასიათებელი – მქკ (η) მასში გამოყენებული თერმოელექტრული მასალის ეფექტურობისა Z და მის ცხელსა და ცივ ბოლოებს შორის არსებული ტემპერატურათა სხვაობის <math>T_H-T_C</math> პროპორციული სიდიდეა. ამ მახასიათებლებით მაღალტემპერატურული თეგ-ის შექმნა, რომელსაც შედარებით მაღალი მქკ-ისა და სიმკვრივის (მუშა ფართის ერთეულიდან მოხსნილი) ელექტრული ენერჯის გამომუშავება შეუძლია, პერსპექტიულია.</p> <p>ცნობილი თერმოელექტრული მასალებიდან მაღალტემპერატურული თეგ-ის შესაქმნელად მხოლოდ SiGe შენადნობებმა ჰპოვეს პრაქტიკული გამოყენება. მათში კარგად არის შეთავსებული მაღალი სამუშაო ტემპერატურა (1100°C-მდე) და შედარებით მაღალი ეფექტურობა (<math>Z=0.6 - 1.0 \times 10^{-3} K^{-1}</math>). ამ მახასიათებლების გათვალისწინებით თერმოელექტრული SiGe შენადნობების პოტენციური მქკ 12%-ზე მეტია. გარდა ამისა მათ შეუძლიათ მუშაობა ვაკუუმში, ინერტული გაზის გარემოში და ჰაერზე, რაც მეტად მნიშვნელოვანია თერმოელექტრული გენერატორის ექსპლუატაციის სიმარტივის თვალსაზრისით. იმ შემთხვევაში, როდესაც თეგ-ის მიერ გატარებული სითბო პირდაპირი დანიშნულებით გამოიყენება უპირატესობა მქკ-ს კი არა თეგ-ის მუშა ფართის ერთეულიდან გამომუშავებული ელექტრული ენერჯის სიმძლავრეს ენიჭება, რომელიც რიცხობრივად <math>\eta \cdot Q/S</math> ფარდობით განისაზღვრება, სადაც η არის თეგ-ის მქკ-ი, Q - თეგის მიერ გატარებული სითბო, S - თეგ-ს მუშა ფართი. ამ მახასიათებლით SiGe შენადნობები უალტერნატივოა, მათ მუშა ფართის ერთეულიდან 2 ვტ/სმ<sup>2</sup>-მდე სიმძლავრის ელექტრული ენერჯია შეუძლიათ გამოიმუშავონ.</p> <p>სფტი-ში რამდენიმე წელია მიმდინარეობს Ge-ის დაბალი შემცველობის თერმოელექტრული SiGe შენადნობების დამუშავება, მათი ფართო მოხმარების დანიშნულებით გამოყენების მიზნით. ამ მიმართულებით მიღწეულია წარმატებები როგორც თერმოელექტრული SiGe შენადნობების სინთეზის, ასევე მათ ფუძეზე თერმოელექტრული ბატარეის დამზადების ტექნოლოგიის გამარტივების თვალსაზრისით.</p> <p>კომპონენტების ერთობლივი დაფქვითა და მიღებული ულტრადისპერსული ფხვნილის ვაკუუმური ცხელი წნეხვით სინთეზირებულია n- და p-ტიპის თერმოელექტრული SiGe შენადნობები 0-10 ატ.% Ge-ის შემცველობით. მათ მალეგირებელ კომპონენტებად გამოყენებულია ამორფული P და ამორფული B შესაბამისად. შესწავლილია (ოთახის ტემპერატურაზე) მიღებული შენადნობების სტრუქტურისა და თერმოელექტრული მახასიათებლების (ზეეზის კოეფიციენტის, ელექტროგამტარობის და სითბოგამტარობის) დამოკიდებულება მალეგირებელი კომპონენტების შემცველობასა და წნეხვის რეჟიმზე. მალეგირებელი კომპონენტების ოპტიმალურ შემცველობად შერჩეულია 0.5 მას.% P და 0.3 მას.% B. წნეხვის ოპტიმალური რეჟიმის ტემპერატურა არის 1330-1350°C, წნევა – 450 კგ/სმ<sup>2</sup>, ხანგრძლივობა კი 25–30 წთ. ჩატარებული კვლევების შედეგად მიღებული SiGe შენადნობების ეფექტურობის დამოკიდებულება Ce-ის შემცველობაზე ნაჩვენებია ცხრილში 1</p>			

n- და p-ტიპის  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  შენადნობების ეფექტურობის დამოკიდებულება Ge-ის შემცველობაზე

x	0	1	2	3	4	5	10	20*	32*
$Z_n \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$	0.05	0.07	0.10	0.13	0.18	0.24	0.26	0.3	0.31
$Z_p \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$	0.09	0.12	0.15	0.17	0.18	0.18	0.19	0.22	0.22

სადაც - 20\* გამოყენებულია აშშ-ს კოსმოსურ ენერგეტიკაში, 32\* კი სსრკ-ს კოსმოსურ ენერგეტიკაში.

მიღებული შედეგების მიხედვით, ფართო მოხმარების თეგ-ებში პერსპექტულია 5 ატ.% Ge-ის შემცველობის  $\text{SiGe}$  შენადნობების გამოყენება. აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ n- და p-ტიპის  $\text{Si}_{0.95}\text{Ge}_{0.05}$  შენადნობების თერმოელექტრული ეფექტურობის საშუალო მნიშვნელობა მხოლოდ 15%-ით ნაკლებია კოსმოსურ ენერგეტიკაში გამოყენებული გერმანიუმის დიდი შემცველობის n- და p-ტიპის  $\text{Si}_{0.68}\text{Ge}_{0.32}$  შენადნობების საშუალო თერმოელექტრულ ეფექტურობაზე. დამზადებულია 15 თერმოელექტრული ბატარეის ასაწყობად გამიზნული n- და p-ტიპის  $\text{Si}_{0.95}\text{Ge}_{0.05}$  შენადნობები.

დამუშავებულია n- და p-ტიპის  $\text{Si}_{0.95}\text{Ge}_{0.05}$  შენადნობებისათვის  $1000^\circ\text{C}$  ტემპერატურამდე ჰაერზე, ვაკუუმში და ინერტული გაზის გარემოში სტაბილურად მომუშავე კომუტაციური გადასვლები. თეგ-ის ცივი მხარის საკომუტაციო მასალად შერჩეულია ელექტროდული გრაფიტი, ცხელი მხარის საკომუტაციო მასალად კი შენადნობი  $\text{Si}+0.5\text{მას.}\% \text{B}$ . კომუტაციური ფირფიტების მირჩილვა თერმოელექტრულ მასალასთან განხორციელდა Fe-Ni შენადნობის ფირით, ვაკუუმში  $\sim 10^3$ ა,  $1200^\circ\text{C}$  ტემპერატურაზე, 10-15 წთ-ის განმავლობაში. შესწავლილია კომუტაციური გადასვლების მიკროსტრუქტურა, ელექტრული წინააღმდეგობა და თერმოდგრადობა. კომუტირებულია ბატარეებისათვის გამიზნული თერმოელექტრული მასალა.

დამზადებულია გრაფიტისა და AlN-ის ფირფიტების ფუძეზე, Ti-Cu-ის სარჩილავით, თერმოელექტრული ბატარეების ცივ მხარეზე მისაერთებელი 15 ელექტრო-საიზოლაციო კვანძი. დენის გამტარებად და დენის გამოძევანებად გამოყენებულია 0.2 მმ სისქის სპილენძის ფირი, კოლექტორად კი 3-4 მმ-ის სისქის გრაფიტის ფირფიტა.

აწყობილია 10 ჰაერზე მომუშავე მონოლითური თერმოელექტრული ბატარეა. თითოეული მათგანი შეიცავს 32 შტოს (12 n-ტიპის, 12 p-ტიპის). თითოეული შტოს განივკვეთის ფართი არის  $4.5 \times 7.0 \text{ სმ}^2$ , სიმაღლე კი 1.9 სმ. შტოების ჯამური ელექტრული წინააღმდეგობა 0.110-0.140 ომს შეადგენს, თერმოელექტრული ბატარეების ელექტრული წინააღმდეგობა კი 0.120-0.150 ომ-ის ფარგლებში იცვლება. ეს სხვაობა შეესაბამება კომუტაციური გადასვლების ელექტრულ წინააღმდეგობას. ბატარეა მექანიკურად მტკიცე და თერმოდგრადია. ერთ-ერთი ასეთი ბატარეის ფოტოგრაფია ნაჩვენებია სურათზე 1.

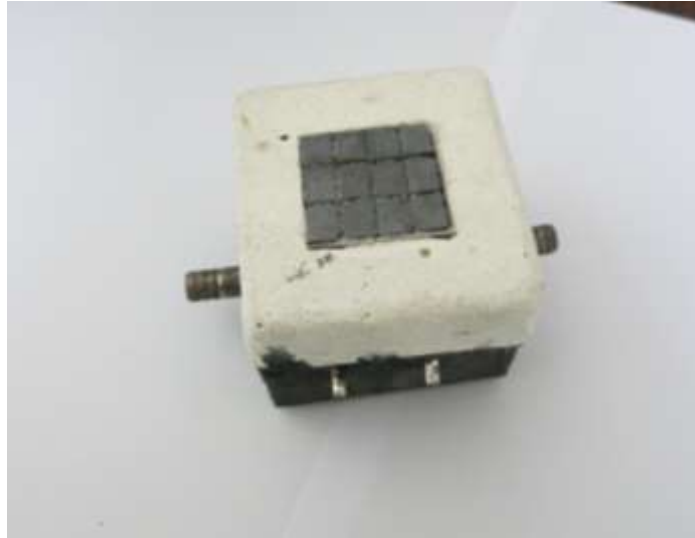


სურ.1. მონოლითური თერმოელექტრული ბატარეის ფოტოგრაფია (1x1).

მზის ცენტრალურ გამათბობელთან კომბინირებული თეგ-ის შემადგენელი თერმოელექტრული ბატარეები მირჩილული იქნება ცირკულირებადი წყლის კონტურის შემცველ გამაცივებელთან, რომელიც ბატარეების კოლექტორის როლსაც შეასრულებს.

დამზადებულია 2 მმ სისქის ფოლადის ფურცლისაგან 4 გამაცივებელი და მირჩილულია მათთან,

კალით, თერმოელექტრული ბატარეები. ერთ-ერთი მათგანი ოპტიკის ინსტიტუტს გადაეცა მზის სხივების შემკრებ პარაბოლურ სარკესთან დასაკავშირებლად და გამოსაცდელად (სურათი 2).



სურ. 2. ოპტიკის ინსტიტუტისათვის გადაცემული თერმოელექტრული ბატარეა, დაკავშირებული გამაცივებელთან.

3 ანალოგიური თერმოელექტრული ბატარეის ენერგეტიკული მახასიათებლები გაზომილი იქნა გაზისა და ჟანგბადის ნარევის გამახურებლით (სურათი 3). ერთ-ერთი მათგანის გამოცდის შედეგები მოყვანილია ცხრილში 2.



სურ. 3. თერმოელექტრული ბატარეის გამოცდა გაზისა და ჟანგბადის ნარევის გამახურებლით.

#### ცხრილი 2.

თერმოელექტრული ბატარეის ენერგეტიკული მახასიათებლები.

$T_h$ °C	$T_c$ °C	$T_h - T_c$ °C	$E$ ვ	$R$ ომ	$V$ ვ	$W$ ვტ	$w$ ვტ/სმ <sup>2</sup>
580	55	525	1.45	0.2	0.71	2.5	0.33
689	55	634	1.91	0.3	1.07	3.8	0.51
777	58	719	2.41	0.3	1.31	5.7	0.76
840	60	780	2.8	0.3	1.49	7.4	0.99
880	63	817	2.95	0.3	1.57	8.2	1,09

912	65	847	3.2	0.3	1.65	9.0	1.2
962	68	894	3.4	0.3	2.06	14.7	1.96
990	70	920	3.6	0.3	2.16	15.5	2.07

ინსტიტუტის “ოპტიკა“ ამოცანას წარმოადგენდა აღნიშნული გამათბობლისთვის ამრეკლი კონცენტრატორის დამუშავება და დამზადება. ამრეკლ ზედაპირად პარაბოლური სარკე იქნა გამოყენებული, რომლის მიერ კონცენტრირებული სხივები უშუალოდ თერმოელექტრული გარდამქმნელის ზედაპირს ეცემა და შთანთქმება. გარდამქმნელის მიერ შთანთქმული სითბური ენერჯის გარკვეული ნაწილი ელექტრულ ენერჯად გარდაიქმნება, დანარჩენი კი მის ცივ მხარესთან მიერთებულ ცირკულირებული წყლით აღჭურვილ გამაციებელს გადაეცემა, რომელიც წყლის ჩაკეტილი კონტურით იქნება მომხმარებელთან მიერთებული. ამ შემთხვევაში ავტონომიური დენის წყარო მზის ცენტრალურ გამათბობელთან არის კომბინირებული და მის მიერ შთანთქმული სითბური ენერჯია პირდაპირი დანიშნულებით (წყლის გასათბობად) არის გამოყენებული.

## 2. შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტით დაფინანსებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები

### 2.1.

№	გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	2	3	4
გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2018 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)			

### 2.2.

№	დასრულებული (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	2	3	4
დასრულებული კვლევითი პროექტის 2018 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)			

## 3. უცხოური გრანტებით დაფინანსებული სამეცნიერო პროექტები

### 3.1.

№	გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი, დამფინანსებელი ორგანიზაცია/ სამეცნიერო ფონდი, ქვეყანა	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
---	---	--	--

1	2	3	4
გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2018 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)			

## 3.2.

№	დასრულებული (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი, დამფინანსებელი ორგანიზაცია/ სამეცნიერო ფონდი, ქვეყანა	პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები	პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)
1	2	3	4
დასრულებული კვლევითი პროექტის 2018 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)			

## 4. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში

## 4.1. მონოგრაფიები/წიგნები

№	ავტორი/ავტორები	მონოგრაფიის/წიგნის სათაური, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

## 4.2. სახელმძღვანელოები

№	ავტორი/ავტორები	სახელმძღვანელოს სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

## 4.3. კრებულები

№	ავტორი/ავტორები	კრებულის სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				

3				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

#### 4.4. სტატიები დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდის (DOI) მითითებით

№	ავტორი/ ავტორები	სტატიის სათა- ური, დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI	ჟურნალის/ კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1					
2					
3					
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)					

#### 4.5. სტატიები ISSN-ის მითითებით

№	ავტორი/ ავტორები	სტატიის სათა- ური, ISSN	ჟურნალის/ კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1	Ф.Басария, Г.Бокучава, К.Барбакадзе, Г.Дарсавелидзе	Неорганический материал для защиты от сублимации ветвей термобатарей на основе сплава SiGe <b>ISSN 1512-0120</b>	Научно-технический журнал "Энергия", 2 (86), 2018.	Тбилиси, Грузия. Грузинский Технический Университет, Союз "Наука и Энергетика"	стр.69-73

თერმოელექტრული SiGe შენადნობების სამუშაო ტემპერატურა 1100°C-მდე აღწევს. 900°C-ს ზემოთ ადგილი აქვს მათი შემადგენელი ძირითადი ელემენტის – გერმანიუმის და მალეგირებელი ელემენტის – ფოსფორის სუბლიმაციას, რის შედეგად მათი თერმოელექტრული მახასიათებლები უარესდება. ამ პროცესის თავიდან აცილება ანტისუბლიმაციური დანაფარის გამოყენებით არის შესაძლებელი.

SiGe შენადნობებისათვის ანტისუბლიმაციურ დანაფარად ხშირ შემთხვევაში სილიციუმის ნიტრიდი და მაღალტემპერატურული ორგანული და არაორგანული მასალები გამოიყენება. ეს მასალები მაღალი სიმყიფით ხასიათდებიან. გარდა ამისა ორგანული ნივთიერების გამოყენების შემთხვევაში მათგან თხევადი ორგანული ნაერთები გამოიყოფა, რომლებიც მაღალ ტემპერატურაზე ნახშირბადს წარმოქმნიან და თერმოელექტრული ბატარეის ელექტრული იზოლაციის გაუარესებას იწვევენ.

ჩატარებულია მინა-მინანქრის საფუძველზე თერმოელექტრული SiGe შენადნობისათვის მაღალტემპერატურული ანტისუბლიმაციური დანაფარის მასალის შექმნის სამუშაოები. საბაზო მასალად შერჩეულია თხევადი მინა –  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n \text{SiO}_2$ , რომელიც  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$  და  $\text{H}_2\text{O}$  ნაერთებს შეიცავს. იგი კარგად ასველებს SiGe შენადნობებს და მათ ზედაპირზე, მაღალ ტემპერატურაზე, თხელ მტკიცე აფსკს წარმოქმნის. თხევადი მინის გამოყენებით შერჩეულია ფრიტირირებული მინის შემდეგი სისტემა  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{ZnO}-\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ . ამ სისტემის შემადგენელი კომპონენტების

ცვლილებით დამუშავებულია მინა-მინანქარი, რომელიც 900-1100°C ტემპერატურებზე ანტისუბლიმაციური დანაფარის მიმართ დასმულ ფიზიკურ-ქიმიური მოთხოვნებს აკმაყოფილებს. იგი 900°C ტემპერატურის ზემოთ პლასტიკური ხდება, რაც მასში ბზარების (სუბლიმაციის კერების) წარმოქმნას გამოიწვევს.

## 5. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში

### 5.1. მონოგრაფიები/წიგნები

№	ავტორი/ავტორები	მონოგრაფიის/წიგნის სათაური, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

### 5.2. სახელმძღვანელოები

№	ავტორი/ავტორები	სახელმძღვანელოს სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

### 5.3. კრებულები

№	ავტორი/ავტორები	კრებულის სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა
1				
2				
3				
ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)				

### 5.4. სტატიები

№	ავტორი/ავტორები	სტატიის სათაური, დიგიტალური საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN	ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი	გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა	გვერდების რაოდენობა



## 6. სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა

### 6.1. საქართველოში

№	მომხსენებელი/ მომხსენებლები	მომხსენების სათაური	ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი
1 2 3	<b>K.Barbakadze</b> , Z.Isakadze, A.Kutsia, M.Barbakadze, M.Rekhviashvili, I.Tabatadze.	Manufacturing and Investigation of the thermoelectric alloys $Si_{0,95}Ge_{0,05}$ n- and p-type Conductivity	October 8-11,2018,Tbilisi, Georgia. III International Conference “Inorganic Material Science Modern Technologies and Methods”.
მომხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)			

### 6. 2. უცხოეთში

№	მომხსენებელი/ მომხსენებლები	მომხსენების სათაური	ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი
1 2 3			
მომხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)			