

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
(საუნივერსიტეტო გრანტი №6)

პროექტის დასახელება

ზოგიერთი იშვიათმიწა ელემენტის მონოანთიმონიდების
თხელი ფირების მიღება და მათი
ფიზიკური თვისებები

ა ნ გ ა რ ი შ ი
(01.04.2011 – 31.12.2011)

პროექტის ხელმძღვანელი ზაურ ჯაბუა -----

ავტორები: ზ. ჯაბუა (ხელმძღვანელი), ა. გიგინეიშვილი, გ. ილურიძე,
თ. მინაშვილი

ა ნ ო ტ ა ც ი ა

განხილული საკითხები: იშვიათმიწა ელემენტების შენაერთების თვისებები; გადოლინიუმის მონოანთიმონიდის თხელი ფირების მომზადების ტექნოლოგია; გადოლინიუმის მონოანთიმონიდის თხელი ფირების მექანიკური თვისებები; გადოლინიუმის მონოანთიმონიდის თხელი ფირების ელექტროფიზიკური თვისებები; გადოლინიუმის მონოანთიმონიდის თხელი ფირების ოპტიკური პარამეტრების სპექტრალური დამოკიდებულებები

ნაშრომი შეიცავს 27 გვერდს, 14 ილუსტრაციას, 3 ცხრილს, 13 ციტირებულ ლიტერატურას

ნაშრომი დაწყებულია 2011 წლის აპრილში, დამთავრებულია 2011 წლის დეკემბერში

შესავალი

იშვიათმიწა ელემენტების (იმე) ანთიმონიდები მკვლევართა დიდ ყურადღებას იპყრობს, რაც გამოწვეულია მათი საინტერესო, ხშირად ურთერთსაწინააღმდეგო ელექტრული, სითბური, ოპტიკური და სხვა თვისებებით თვისებებით [1,2]. იმე-ს მონოანთიმონიდები წარმოადგენენ ნახევარმეტალებს დნობის მაღალი ტემპერატურით და წარმოადგენენ პერსპექტიულ მასალებს რეზისტორების დასამზადებად. მაგრამ ყველა ეს შენაერთი სათანადოდ შესწავლილი არ არის. ასეთ ნაკლებად შესწავლილ საინტერესო თვისების მქონე მასალას მიეკუთვნება გადოლინიუმის მონოანთიმონიდი [3-6]. კერძოდ მისი ადიაბატური განმავნიტებით შესაძლებელია ძალიან დაბალი ტემპერატურების მიღება. ამ მასალის მოცულობითი კრისტალების მიღების ტექნოლოგია კარგად არის დამუშავებული, რასაც ვერ ვიტყვით თხელ ფირებზე, რომლებიც დიდ ინტერესს წარმოადგენენ მიკროელექტრონიკისათვის. გარდა ამისა ცნობილია, რომ ხშირად თხელ ფირებში დაიმზირება ისეთი ეფექტები, რომლებსაც ადგილი არა აქვს მოცულობით კრისტალებში.

წარმოდგენილ ანგარიშში მოყვანილია მონაცემები, რომლებიც ეხება გადოლინიუმის მონოანთიმონიდის თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგიას სხვადასხვა შემადგენლობის ფუძემდებზე და მათი მექანიკური, ელექტროფიზიკური და ოპტიკური თვისებების შესწავლას.

1. ლიტერატურული მონაცემების მიმოხილვა

როგორც ზემოთ შევნიშნეთ სამეცნიერო ლიტერატურაში არ არსებობს მონაცემები გადოლინიუმის სტიბიუმთან შენაერთების თხელი ფირების მიღებისა და შესაბამისად მათი თვისებების შესახებ თუმცა დამუშავებულია ამ შენაერთების მოცულობითი კრისტალების მიღების ტექნოლოგია და შესწავლილია მათი თვისებები.

იმე-ს ანთიმონიდების მიღებას მრავალ პრობლემას უქმნის იმე-ს მაღალი

დნობის ტემპერატურა. ამჟამად დამუშავებულია ამ მასალების მიღება ორი განსხვავებული მეთოდით: ამპულური მეთოდი და შესაბამისი კომპონენტების შედნობა.

ამპულური მეთოდი ხორციელდება ორ სტადიად. პირველ სტადიაზე ხდება იმე-ს და სტიბიუმის სათანადო რაოდენობების დაყოვნება სტიბიუმის დნობის ტემპერატურაზე რამდენადმე დაბალ ტემპერატურაზე რამოდენიმე დღე-ღამის განმავლობაში, შემდეგ სწარმოებს მიღებული ფხვნილის დაწნეხვა ისე, რომ მან მიიღოს ცილინდრის ფორმა და შემდგომ ის თავსდება ტანტალის ღუმელში და სწარმოებს მაჰომოგენიზირებელ გამოწვა $\sim 1700\text{ K}$ ტემპერატურაზე.

კომპონენტების შედნობით შენაერთების სინთეზი სწარმოებს რკალურ ღუმელში შემდგომი მაჰომოგენიზირებელი გამოწვით. უნდა აღინიშნოს რომ მონოანთიმონიდები შესაძლებელია ასევე მიღებულ იქნას ე.წ. ჰიდრიდული მეთოდითაც, რომლის არსიც მდგომარეობს იმაში, რომ შესაბამისი ჰიდრიდის დაშლისას წარმოიქმნება მაღალდისპერსიული ლითონი, რომელიც აჩქარებს მონოშენაერთის მიღების პროცესს და ამასთან ერთად აუმჯობესებს მის

იმე-ს ყველა ანთიმონიდს გააჩნია NaCl ტიპის წახნაგცენტრირებული მესერი სივრცული ჯგუფით $Fm\bar{3}m$.

იმე-ს ანთიმონიდების ქიმიური თვისებები ძალიან სუსტადაა შესწავლილი. მსუბუქი იმე-ს ანთიმონიდები დაჟანგვისას ქმნიან ანთიმონიტებს. ჰაერზე საკმაოდ სწრაფად იჟანგებიან დიანთიმონიდები, ისინი აგრეთვე ურთიერთქმედებენ ჰაერის ტენთან [7, 8].

იმე-ს მონოანთიმონიდების მოცულობითი კრისტალების ელექტროფიზიკური პარამეტრები საკმაოდ კარგადაა შესწავლილი. კერძოდ მათი კუთრი წინაღობა ტემპერატურის გაზრდით წრფივად იზრდება, ასევე იზრდება თერმო ემპ, კოეფიციენტი უმნიშვნელოდ მცირდება. პოლის კოეფიციენტსა და თერმო-ემპ-ს გააჩნია უარყოფითი ნიშანი. კუთრი წინაღობისსიდიდე და მისი ცვლილების ხასიათი მეტყველებს იმაზე, რომ გამტარებლობას გააჩნია ლითონური ხასიათი.

2. ექსპერიმენტის მეთოდოლოგია

2.1. თხელი ფირების მიღების მეთოდოლოგია

წარმოდგენილი ნაშრომის ერთ-ერთი მიზანი იყო გადოლინიუმის მონოანთიმონიდის თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგიის დამუშავება. როგორც ცნობილია არსებობს თხელი ფირების მიღების მრავალი მეთოდი, რომელთაგან თავისი სიმარტივითა და ეფექტურობით გამოირჩევა ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდი, კერძოდ კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან აორთქლების მეთოდი, რომელიც გამოყენებული იყო მოცემულ ნაშრომში. ამ შემთხვევაში ხორციელდება ფირის შემადგენელი კომპონენტების ერთდროული აორთქლება სხვადასხვა ამოორთქლებლიდან და შემდეგ მათი კონდენსაცია ფუძეშრეზე.

მეთოდის განხორციელება მოითხოვს ვაკუუმურ დანადგარს, რომელიც როგორც წესი სამი ნაწილისაგან შედგება: ვაკუუმური კამერა, ვაკუუმური სისტემა და ელექტრული წრედი.

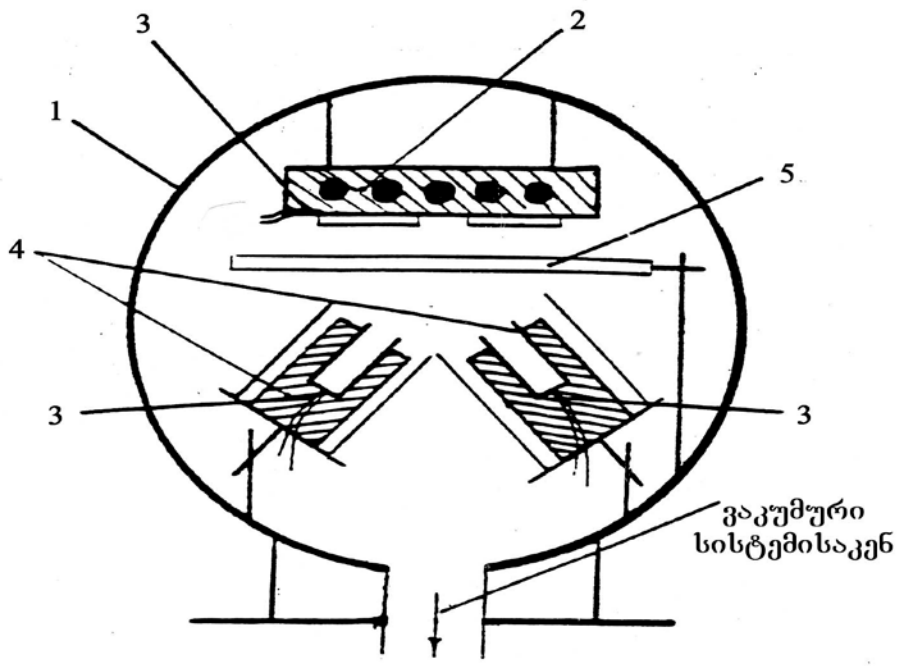
ვაკუუმური კამერა შედგება ორი სექტორისაგან. პირველ სექტორში ხდებოდა გადოლინიუმის მონოანთიმონიდის ფირების მიღება კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან აორთქლების მეთოდით, ხოლო მეორეში - მომზადებულ ფირებზე საკონტაქტო მოედნების დაფენა ელექტროფიზიკური პარამეტრების გასაზომად.

ნახ.1-ზე გამოსახულია ვაკუუმური კამერის I სექტორის სქემა. კამერის ზედა ნაწილში დამაგრებულია ფუძეშრის გამახურებელი ღუმელი (2), რომელზედაც სპეციალური სამარჯვით ფიქსირდება ფუძეშრე და მის ზემოთ სათანადო კონფიგურაციის ჭრილის მქონე ნიღაბი.

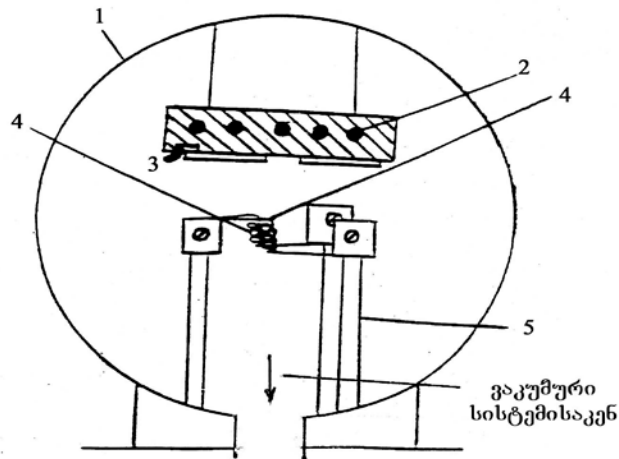
კამერის ქვედა ნაწილში განთავსებულია იშვიათმიწა ლითონისა და სტიბიუმისა ცილინდრული ფორმის ამოორთქლებლები (4). ამოორთქლებლების დამჭერების კონსტრუქცია საშუალებას იძლევა მარტივად დარეგულირდეს აორთქლებული მასალის ორთქლის ნაკადის ფუძეშრეზე დაცემის კუთხე და ასევე მანძილები ფუძეშრემდე. ფუძეშრის გამახურებელ ღუმელსა და

ამართკლებლებს შორის განთავსებულია ბრტყელი საფარი (5), რომელსაც შეუძლია ბრუნვა ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ (5) საფარის გახსნა ხდება მაშინ, როდესაც კამერაში მიღწეულია და დაფიქსირებული დაფენის ყველა ტემპერატურული რეჟიმი, ხოლო საფარი იხურება უშუალოდ ფირის დაფენის პროცესის დასრულების შემდეგ.

ნახ.2-ზე ნაჩვენებია ვაკუუმური კამერის II სექტორის სქემა. კონსტრუქცია ანალოგიურია I სექტორის კონსტრუქციისა, განსხვავებაა მხოლოდ ქრომისა და სპილენძის ამართკლებლებში. ეს უკანასკნელები წარმოადგენენ სპირალური ფორმის ვოლფრამის მავთულებისაგან დახვეულ კალათებს, რომლებიც თავიანთი ბოლოებით ჩამაგრებულია (5) ელექტრული კვების მიმყვანებთან.



ნახ. 1. ტექნოლოგიური დანადგარის ვაკუუმური კამერის მოწყობილობა (I-სექტორი) 1 - ვაკუუმური კამერა; 2 - ფუძეშრის გამახურებელი; 3 - თერმოწყვილი; 4 - იშვიათმიწა ელემენტებისა და სტიბიუმისა და ბისმუტის ამართკლებლები; 5 - საფარი.



ნახ. 2. ტექნოლოგიური დანადგარის ვაკუუმური კამერის მოწყობილობა (II-სექტორი) 1 - ვაკუუმური კამერა; 2 - ფუძემშრის გამახურებელი; 3 - თერმოწყვილი; 4 - ქრომისა და სპილენძის ამორთქლებლები; 5 - ელექტრული კვების მიმცემები.

ერთგვაროვანი მაღალი ხარისხის ფირების მისაღებად საჭიროა განსაკუთრებული ყურადღება მიექცეს ფუძემშრის მასალას და მის გასუფთავებას. სამწუხაროდ, იდეალური მასალები ფუძემშრების დასამზადებლად არ არსებობს. იმის და მიხედვით, თუ რა მოთხოვნები წაყენება თხელ ფირებს ფუძემშრებად გამოიყენებიან სხვადასხვა მასალები. მოცემულ ნაშრომში ფუძემშრებად გამოყენებული იყო სიტალის, ლეიკოსაფირონის და მონოკრისტალური სილიციუმის (8X15X.5მმ) ზომის მართკუთხა პარალელეპიპედის ფორმის ფუძემშრები, რომელთა ზედაპირებიც პოლირებული იყო და უსწორმასწორობის ზომები არ აღემატებოდა 0.01 მკმ.

2.2. ფირების სისქის კონტროლი

ფირების სისქის გაზომვა მაღალი სიზუსტით საკმაოდ რთული ამოცანაა. ჩვენს მიერ ფირების სისქის გაზომვა ხდებოდა ფართოდ გავრცელებული სამრეწველო ხელსაწყოთი - ლინნიკის მიკროინტერფერომეტრით МИИ-4, რომლის მოქმედების პრინციპი დამყარებულია ფუძემშრიდან და მასზე დაფენილი ფირიდან არეკლილი სინათლის სხივების ინტერფერენციაზე.

ფირის სისქის გაზომვა ხდებოდა ფუძეშრესა და ფირის შორის არსებული საფეხურის გამოყენებით. ამ შემთხვევაში, როდესაც ასეთი საზღვარი არ არსებობდა ან მკაფიო არ იყო ხდებოდა ფირის გარკვეული ნაწილის მექანიკურად მოშორება ფუძეშირიდან და ამრიგად საფეხურის ხელოვნურად შექმნა.

თეთრი ფერის სინათლის შემთხვევაში ფირის სისქის საანგარიშო ფორმულას შემდეგი სახე აქვს:

$$d = 0.27 \frac{N_3 - N_4}{N_1 - N_2} \cdot n$$

სადაც d - ფირის სისქეა, მკმ;

N_1, N_2 - ზოლებს შორის ინტერვალის გაზომვისას აღებული ანათვლები;

N_3, N_4 - ზოლის გადაღუნვის სიდიდის გაზომვისას აღებული ანათვლები;

n - ზოლებს შორის ინტერვალის რიცხვი.

გაზომვას ვაწარმოებდით ფირის კიდეებზე რამოდენიმეჯერ სხვადასხვა ადგილას და ფირის საბოლოო სისქედ ვიღებდით ამ გაზომვების საშუალო არითმეტიკულს.

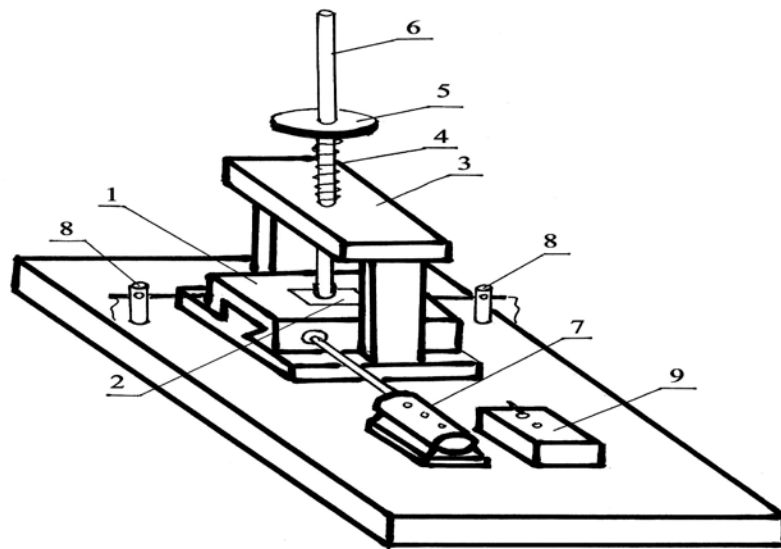
აღწერილი მეთოდიკით გაზომვის სიზუსტე მაინცდამაინც მაღალი არ არის და შეადგენს 10-30%. მინიმალური სისქე, რომლის გაზომვაც შესაძლებელია ამ მიკროინტერფერომეტრით 0.03 მკმ-ის ტოლია.

2.3. ფირების მექანიკური თვისებების კვლევის მეთოდი

ხშირად მრავალმხრივ საინტერესო თვისებების მქონე ფირებს გააჩნიათ ძალიან დაბალი ადგეზია ფუძეშრესთან, რაც მნიშვნელოვნად ზღუდავს მათ პრაქტიკულ გამოყენებას, ამიტომ აუცილებელია მიღებული ფირების მექანიკური თვისებების შესწავლა.

მოცემულ ნაშრომში ადგეზიის შესასწავლად სიმარტივის გამო შერჩეულ იქნა მექანიკური, კერძოდ სრული გახეხვის მეთოდი. ფირების მექანიკურ სიმტკიცესა და მათი ფუძეშრეზე მიკრობადობის სიმტკიცეზე შეიძლება

ვიმსჯელოთ იმ მუშაობის მიხედვით, რომელიც აუცილებელია დაიხარჯოს იმისთვის, რომ ფუძემრიდან მოლიანად გადაიხეოს მასზე დაფენილი ფირი. მეთოდის განსახორციელებლად ჩვენს მიერ აწყობილ იქნა დანადგარი (ნახ. 3). (1) მასიური ფილა, რომელზედაც მაგრდება საკვლევი ნიმუში (2) ელექტრომოტორით (7) მოდის ნელ მოძრაობაში წინ და უკან. ფილის შუა ნაწილში II მაგვარ (3) დგარში გადაადგილდება (6) ღერო, რომლის ქვედა ნაწილზე მიმაგრებულია ფირზე მოსახუნე ხელსაწყო მუშა უბანი, ხოლო ზედაზე (5) დისკი, რომელზეც ეწყობა საჭირო სიდიდის ტვირთი. დისკსა და სადგარს შორის ჩამაგრებულია ზამბარა (4), რომელიც ისეა შერჩეული, რომ ღერო ეხება ფირის ზედაპირს, მაგრამ არ აწევა მას. (8) წარმოადგენს ელექტროცეცებს, რომელთანაც შეხებისას ფილა იცვლის მოძრაობის მიმართულებას. (9) კოლოფში დამონტაჟებულია ხელსაწყო ელექტრული კვების სქემა. (6) ღერძის ქვედა ბოლოზე დამაგრებულია ზამშის რამოდენიმე ფენა სისქით არაუმეტეს 1 მმ. ზამშის ფენა თამაშობს წამშლელი ფენის როლს,



ნახ. 3. ფირების ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცის გასაზომი დანადგარის სქემა

რომელსაც პერიოდულად, გარკვეული გასმათა რიცხვის შემდეგ წაესმება სპეციალური აღმასის პასტა. დატვირთვა ღეროზე შეირჩევა ისეთნაირად, რომ

არამტკიცე ფირიც კი წაიშალოს რამოდენიმე ათეული გასმის შემდეგ, ვინაიდან გასმის ძალიან დიდი რიცხვის შემთხვევაში, გაზომვის ცდომილება ცხადია მცირდება.

ამრიგად, ფირის სიმტკიცე ხელსაწყოს მოხახუნე ზედაპირზე მუდმივი დატვირთვისას პრაქტიკულად იზომება გასმათა იმ რიცხვის დათვლით, რომელიც საჭიროა ფირის სრული წაშლისათვის.

ვინაიდან ფირის სიმტკიცის ასეთი მეთოდიკით განსაზღვრისას არსებით როლს თამაშობს მისი სისქე, ყველა ჩვენს მიერ გამოკვლეულ ფირს გააჩნდა ერთნაირი სისქე 0,9 მკმ.

2.4. რენტგენოდიფრაქციული კვლევის მეთოდი

მიღებული ფირების კრისტალურობასა და ფაზურ შემადგენლობას ვსწავლობდით რენტგენოდიფრაქციული მეთოდით - CuK_α გამოსხივება, ნიკელის ფილტრი, უწყვეტი ჩაწერის რეჟიმი 4×10^{-3} გრად/წმ სიჩქარით.

2.5. ელექტროფიზიკური თვისებების კვლევის მეთოდები

მიღებული ფირების კუთრი წინაღობის, ჰოლის მუდმივას და თერმო-ემპ-ს გაზომვა ხდებოდა დანადგარზე, რომელიც გაზომვების ჩატარების საშუალებას იძლეოდა ერთ ციკლში. ჰოლის მუდმივას გაზომვა ხდებოდა მუდმივი მაგნიტისა და მუდმივი დენის გამოყენების მეთოდით.

2.6. ფირების ოპტიკური თვისებების კვლევის მეთოდი

მოცემულ სამუშაოში გაზომილ იქნა მიღებული ფირების არეკვლისა და გამჭვირვალობის სპექტრები ენერგიების 0.05-5.5 ევ უბანში ოთახის ტემპერატურაზე. ექსპერიმენტალურ ბაზად გამოყენებული იყო უნივერსალური სპექტრალურ-გამომთვლელი კომპლექსი KCBY-2 და ინფრაწითელი

სპექტრალურ-გამომთვლელი კომპლექსი KCBY-2 და ინფრაწითელი სპექტრალურ-გამომთვლელი კომპლექსი KCBVI. მიღებული შედეგების დამუშავება ხდებოდა კრამერს-კრონიგის დისპერსიული თანაფარდობების საფუძველზე [9,10].

3. ექსპერიმენტის შედეგები და მათი განხილვა

3.1. გადოლინიუმის მონოანთიმონიდის თხელი ფირების მიღება და რენტგენული ანალიზის შედეგები

GdSb თხელი ფირები მიღებულ იქნა კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან ვაკუუმურ თერმული აორთქლების მეთოდით, რომლის არსიც მდგომარეობს მასალის შემადგენელი კომპონენტების ერთდროულ აორთქლებასა და კონდენსაციაში ფუძეშრეზე. სტექიომეტრიული შემადგენლობის ფირების მიღების ტექნოლოგიური პროცესის წარმატებით ჩატარება მოითხოვს კომპონენტების აორთქლების ტემპერატურის, ამორთქლებლების ფუძეშრეებიდან დაშორებისა და დახრის კუთხეების, ფუძეშრის ტემპერატურის ზუსტ შერჩევას. აღნიშნული პარამეტრებიდან რომელიმე მათგანის ოპტიმალური მნიშვნელობიდან გადახრამ შესაძლებელია გამოიწვიოს მიღებული ფირის შემადგენლობის დარღვევა. კარგი ადგეზიისა და სრულყოფილი კრისტალური სტრუქტურის ფირების მისაღებად დიდი მნიშვნელობა აქვს ფუძეშრის შემადგენლობას და მის ისეთ პარამეტრს, როგორცაა წრფივი სითბური გაფართოების კოეფიციენტი, დნობის ტემპერატურა. გარდა ამისა ფუძეშრე არ უნდა შედიოდეს ქიმიურ რეაქციაში დასაფენ მასალასთან. ზემოთ ნახსენები თვისებების გათვალისწინებით ფუძეშრის მასალებად შერჩეულ იქნა მონოკრისტალური სილიციუმი, სიტალი და ლეიკოსაფირონი. არცერთი ეს მასალა არც გადოლინიუმთან და არც სტიბიუმთან არ ქმნის ქიმიურ ნაერთს. სილიციუმის დნობის ტემპერატურა საკმაოდ მაღალია 1415°C , ხოლო სითბური გაფართოების კოეფიციენტი დაბალი – $1,2 \times 10^{-6}$ გრად $^{-1}$ [11]. სიტალი

წარმოადგენს მასალას, რომელიც მიიღება მინის მიმართული კრისტალიზაციით. სიტალის მიკროსტრუქტურა ხასიათდება მცირე ზომის კრისტალიტების არსებობით, რომლებსაც პრინციპში სხვადასხვა თვისება გააჩნიათ სხვადასხვა კრისტალოგრაფიული მიმართულებით, მაგრამ იმის გამო რომ ისინი მოუწესრიგებლად არიან განლაგებული სივრცეში ანიზოტროპია არ შეიმჩნევა. სიტალი ხასიათდება მრავალი მნიშვნელოვანი თვისების ერთობლიობით: მაღალი მექანიკური სიმტკიცე, თერმული მდგრადობა, დარბილების მაღალი ტემპერატურა (დაახლოებით 1440°C), წრფივი სითბური გაფართოების კოეფიციენტის დაბალი მნიშვნელობა – $2,0 \times 10^{-6}$ გრად $^{-1}$ [11]. სიტალი პრაქტიკულად არ შთანთქავს წყალს. ლეიკოსაფირონის (ხელოვნური კორუნდი) - Al_2O_3 დარბილების ტემპერატურაა – 2030°C , წრფივი სითბური გაფართოების კოეფიციენტი - $5,7 \times 10^{-6}$ გრად $^{-1}$ [11]. ლეიკოსაფირონიც ხასიათდება წყლის დაბალი შთანთქმით. შევნიშნოთ, რომ გადოლინიუმის მონონთიმონიდის სითბური გაფართოების კოეფიციენტი ტოლია $14,1 \times 10^{-6}$ გრად $^{-1}$ [12] ჩვენს მიერ გამოყენებულ სილიციუმის, სიტალისა და ლეიკოსაფირონის ფუძემდებებს გააჩნდათ მართკუთხა პარალელეპიპედის ფორმა ზომებით $15 \times 8 \times 1$ მმ. ფუძემდებების ზედაპირი პოლირებული იყო ქარხნული წესით და ზედაპირის უსწორმასწორობის ზომები არ აღემატებოდა $0,01$ მკმ-ს.

ფუძემდების ზედაპირის სისუფთავე წარმოადგენს გადამწყვეტ ფაქტორს მაღალი ხარისხის, ფუძემდესთან ძლიერი ადგეზიის მქონე ფირების მიღების საქმეში. კარგად გაწმენდილი ფუძემდრე ასევე წარმოადგენს წინასწარ აუცილებელ პირობას კარგად განმეორებადი თვისებების მქონე თხელი ფირების აღწარმოებისათვის. როგორც სპეციალურად ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენეს ყველაზე ფართოდ გავრცელებული გაჭუჭყიანების სახეებია: ჰაერიდან გამოლექილი ნაწილაკები, თითის ანაბეჭდები, ზეთის კვალი, დამზადებისა და შეფუთვისას დარჩენილი ბოჭკოები, წყლის ორთქლი და ა.შ. ფუძემდის გაწმენდის პროცესი მოითხოვს კავშირის გაწყვეტას როგორც მინარევის მოლეკულებს ასევე ამ მოლეკულებსა და ფუძემდის მოლეკულებს შორის. ეს შესაძლებელია მიღწეულ იქნას, როგორც ქიმიური მეთოდებით ასევე

მინარეგების ასაორთქლებლად საკმარისი ენერჯის მოდებით, მაგალითად გახურებით ან იონური ბომბარდირებით. როგორც წესი, გაწმენდის პროცესი დამთავრებულად ითვლება, როგორც კი მინარეგის ფენა მოშორებულ იქნება, ხშირად დასაშვებია თვით ფუძეშრის მასალის ოდნავ მოწამვლაც, რაც გაწმენდის პროცესს აუმჯობესებს. სხვადასხვა გამსხნელებით გაწმენდის პროცესი ტარდება ვაკუუმური სისტემის გარეთ, მაშინ როდესაც გაწმენდა გახურებით ან იონური ბომბარდირებით ხორციელდება ვაკუუმურ კამერაში.

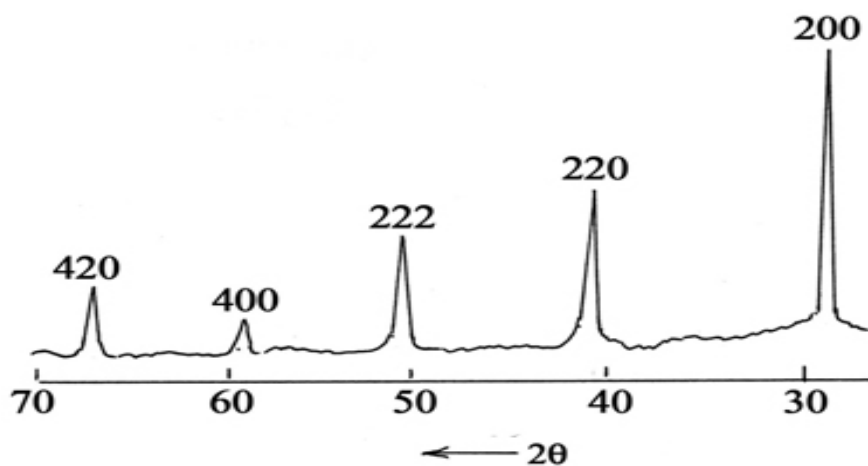
მოცემულ ნაშრომში ფუძეშრების გაწმენდას ვახდენდით ჯერ 20% NaOH ხსნარში, ხოლო შემდეგ ვრეცხავდით დისტირებული წყლით, ხოლო შემდეგ მოწამვლას ვაგრძელებდით ნარეგში 30% HCl + 60% HNO₃ + 10% H₂O. აზოტმუავასა და მარილმუავას კონცენტრაცია შეადგანდა 99,8%, ხოლო საწყისი სისუფთავე მაღალი იყო. მოწამვლის შემდეგ ფუძეშრეს ვრეცხავდით ისევ დისტირებული წყლით და ამის შემდეგ ისინი გადაგვქონდა ვაკუუმურ კამერაში სადაც ვახდენთ მის გამოწვას 600 – 1000°C ტემპერატურაზე დაახლოებით 10⁻⁶ მმ.ვწყ.სვ. წნევაზე 30 – 45წთ-ის განმავლობაში. ხშირად ვაკუუმურ კამერაში გამოწვის წინ ფუძეშრეებს ვწმენდით აქტივიზირებული ნახშირის ფხვნილი, რომელიც წინასწარ დატანილი გვქონდა მფილტრავ ქაღალდზე, ფხვნილის ნარჩენებს ვაცილებდით ცხიმოცილებული ქაღალდით. ზოგიერთ შემთხვევაში ზედაპირის გაწმენდას ვახდენდით ქიმიური მოწამვლის შემდეგ ელექტრონებით ბომბარდირებით 1 – 2 წთ – ის განმავლობაში. მაგრამ ამ მეთოდს აღმოაჩნდა ერთი ნაკლი, რომელიც მდგომარეობს გასაწმენდი ზედაპირის გაჭუჭყიანებაში კათოდიდან (ვოლფრამი) აორთქლებული ადვილად აქროლადი ვოლფრამის ორჟანგით – WO₂, აგრეთვე ნახშირწყალბადის დაშლის პროდუქტებით, რომელიც ყოველთვის არის ნარჩენი აირის ატმოსფეროში. ამდენად ეს მეთოდი კარგ შედეგს იძლევა მაშინ, როდესაც ბომბარდირების ხანგრძლივობა არ აღემატება 2 წთ-ს. [13]-ში აღწერილია ზედაპირის სისუფთავის შემოწმების პრიმიტიული მაგრამ ეფექტური მეთოდი, რომელსაც პირობითად ეწოდება დაორთქლების ფიგურების მეთოდი. მისი გამოყენებისას ექსპერიმენტატორმა ოდნავ უნდა შეუბეროს შესამოწმებელ ზედაპირს, ამ დროს ამოსუნთქული ორთქლი

კონდენსირდება ზედაპირზე და ქმნის ე.წ. “დაორთქლების ფიგურებს”. თუ ფუძეშივე საკმაოდ კარგადაა გაწმენდილი წარმოიქმნება მქრქალი ერთგვაროვანი ზედაპირი, რომელიც შედგება წყლის მცირე ზომის წვეთებისაგან. თუ ზედაპირი კარგადაა გაწმენდილი, წყლის ორთქლის მოლეკულებს შორის შეჭიდულობის ძალები ნაკლებია ვიდრე ამ მოლეკულებსა და ფუძეშირის ატომებს შორის და ამიტომ წყალი კონდენსირდება ოპტიკურად ერთგვაროვანი ფენის სახით, რომელიც წარმოადგენს შავ სარკისებურ წყლის აფსკს. წყლის ასეთ აფსკს ეწოდება “სუნთქვის შავი ფიგურა”. ექსპერიმენტებმა აჩვენეს, რომ ისეთ ფუძეშირებზე, რომლებზედაც წარმოიქმნება “სუნთქვითი შავი ფიგურები” მიიღება მაღალი ხარისხის კარგი ადგეზიის ფირები.

ფირების მიღებას ვაწარმოებდით YBH-75P3 მარკის მოდერნიზებულ დანადგარზე. გადოლინიუმისა და სტიბიუმის ამორთქლებლებიდან ფუძეშირებამდე მანძილი შესაბამისად ტოლი იყო 50 და 40 მმ-ის, ხოლო ამორთქლებლების დერძების დახრის კუთხეები ფუძე შრის ნორმალის მიმართ ერთნაირი იყო და შეადგენდა 25° C. ფირის დაფენის პროცესში ვაკუუმში კამერაში ტოლი 10^{-6} მმ. ვწყ.სვ-ის. ფუძე შრეების ტემპერატურა სხვადასხვა ექსპერიმენტში იცვლებოდა 900-1250 K ფარგლებში, ფირების დაფენის სიჩქარე შეადგენდა 60-100 Å/წმ. საწყის მასალებად გამოყენებული იყო ΓdM – 1 გადოლინიუმი და Cy 0000 მარკის სტიბიუმი. ფირის სისქეს ვზომავდით ლინიკის ინერფერენციული მიკროსკოპით. მრავალრიცხოვანმა ექსპერიმენტებმა აჩვენეს, რომ ფუძეშირის მასალა არსებით გავლენას არ ახდენს მიღებული ფირების ფაზურ შემადგენლობასა და კრისტალურობაზე. ამასთან ერთდ უნდა აღინიშნოს მიღებული ფირების დაბალი მდგრადობა ატმოსფერულ ჰაერზე – მათი დაყოვნება ატმოსფერულ ჰაერზე 3 - 4 დღის განმავლობაში იწვევს ფირების შეფერილობის ცვლილებას, ხოლო დიფრაქტოგრაფიაზე დამატებითი პიკების გაჩენას, რომლებიც არ ეკუთვნის გადოლინიუმის მონოათომონიდს. ამდენად აუცილებელია ფირების შენახვა ვაკუუმში.

მიღებული ფირების კრისტალურობასა და ფაზურ შემადგენლობას ვადგენდით რენტგენული მეთოდით. რენტგენოდიფრაქტოგრაფიების გადაღებას

ვაწარმოებლით ДРОН -1 მარკის დიფრაქტომეტრზე CuK_{α} გამოსხივებით. ნახ.4-ზე მოყვანილია სიტალის ფუქეშრეზე დაფენილი გადოლინიუმის მონოანტიმონიდის თხელი ფირის რენტგენოდიფრაქტოგრამა.



ნახ.4. გადოლინიუმის მონოანტიმონიდის რენტგენოდიფრაქტოგრამა
(ფუქეშრე – სიტალი, ფირის სისქე – 1,2 მკმ)

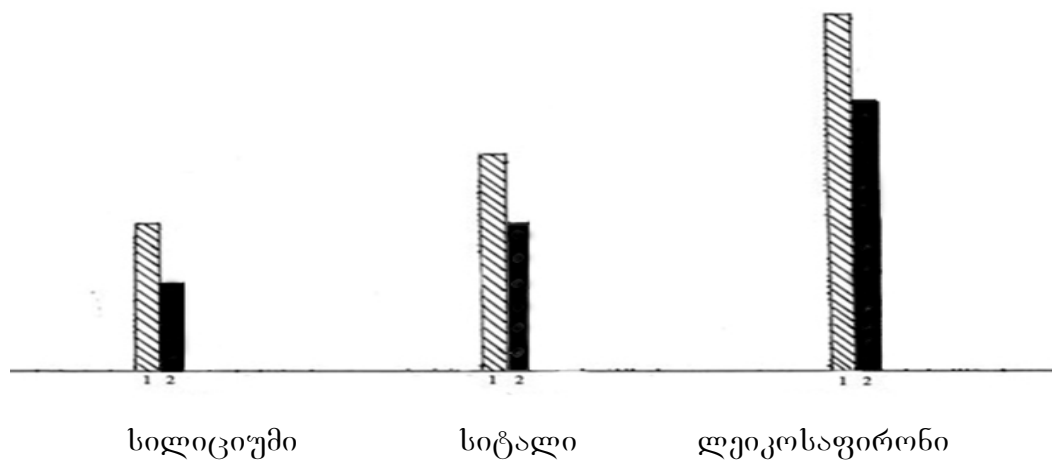
ანალიზმა აჩვენა, რომ ფირებს გააჩნიათ $NaCl$ ტიპის კრისტალური მესერი 6.25 Å-ის ტოლი კრისტალური მესრით, რაც კარგ შესაბამისობაშია გადოლინიუმის მონოანტიმონიდის მოცულობითი კრისტალის ლიტერატურულ მონაცემებთან [8].

3.2. გადოლინიუმის მონოანტიმონიდის ფირების ფარდობითი მექანიკური თვისებების შესწავლა

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ ფირის ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცე იზომება მუდმივი დატვირთვისას გასმათა იმ რიცხვის დათვლით, რომელიც საჭიროა ფირის სრული წაშლისათვის. ვინაიდან ფირის სიმტკიცის ასეთი მეთოდით განსაზღვრისას არსებით როლს თამაშობს მისი სისქე, ყველა ჩვენს

მიერ გამოკვლეულ ფირს გააჩნდა ერთნაირი სისქე 0,9 მკმ. დატვირთვა ყველა ფირზე ერთნაირი იყო და შეადგენდა 400 გრამს. ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენეს, რომ იმე-ს ანთიმონიდებს შორის ყველაზე დაბალი მექანიკური სიმტკიცე გააჩნიათ *TmSb* ფირებს. 0,9 მკმ სისქის ფირის სრული გახეხვისათვის 400 გ დატვირთვის დროს საჭიროა 63 ± 2 გასმა. გასმათა ეს რაოდენობა აღებულ იქნა ერთეულად. მოცემული ფირის სრული გადახეხვისათვის საჭირო რაოდენობის შეფარდება 63 -თან წარმოადგენს სწორედ ფარდობით მექანიკურ სიმტკიცეს (ფმს).

ნახ.5-ზე მოყვანილია სილიციუმის, სიტალისა და ლეიკოსაფირონის ფუძემშრეზე დაფენილი *TmSb* და *GdSb* ფირების ფმს. როგორც ნახაზიდან ვხედავთ ყველაზე მაღალი ფმს გააჩნიათ საფირონზე დაფენილ ფირებს, ყველაზე დაბალი სილიციუმზე დაფენილებს, ხოლო სიტალზე დაფენილი ფირების ფმს საშუალებდოა მათ შორის.



ნახ.5. სხვადასხვა ფუძემშრეზე (სილიციუმი, სიტალი, ლეიკოსაფირონი) დაფენილი ტულიუმისა და გადოლინიუმის ფირების (1 – *GdSb*, 2 – *TmSb*) ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცე.

ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცის ზრდის ერთ-ერთი შესაძლო მიზეზი ფუძემშრის მასალის მიმდევრობით სილიციუმი, სიტალი, ლეიკოსაფირონი

შეიძლება იყოს გადოლინიუმის მონოანთიმონიდის სითბური გაფართოების კოეფიციენტის სიდიდის მიახლოება ფუძეშრის მასალის სითბური გაფართოების კოეფიციენტთან ამავე მიმდევრობით.

ცნობილია, რომ ფირების ადგეზიაზე დიდ გავლენას ახდენს დაფენილი ფირის დაფენის ტემპერატურიდან ოთახის ტემპერატურამდე გაცივების სიჩქარე. ჩვენს ჩატარებულ იქნა ექსპერიმენტების სერია, რომლის მიზანიც იყო დაგვედგინა თუ რა გავლენას ახდენას გადოლინიუმის მონოანთიმონიდის ფირების გაცივების სიჩქარე ადგეზიაზე. ქვემოთ მოყვანილია საფირონის ფუძეშრეზე დაფენილი ფირების სხადასხვა სიჩქარით გაცივების რეჟიმები 10^{-6} მმ. ვცწყ. სვ. ვაკუუმის პირობებში

ცხრილი I

| ფირის ტემპერატურა, K | გაცივების დრო, წთ |
|----------------------|-------------------|
| 1029 | 0 |
| 864 | 5 |
| 649 | 10 |
| 454 | 15 |
| 410 | 20 |
| 389 | 25 |
| 350 | 30 |
| 332 | 35 |
| 321 | 40 |
| 315 | 45 |
| 312 | 50 |

პირველ ცხრილში მოყვანილი რეჟიმი შეესაბამება გაცივების იმ შემთხვევას, როდესაც დაფენის პროცესის დასრულების შემდეგ ღუმელის ელექტრული კვება მაშინათვე გამოვრთეთ და ფირი ცივდებოდა “ბუნებრივ პირობებში”, გაცივების საშუალო სიჩქარე 14 გრად/წთ.

მეორე და მესამე ცხრილში მოყვანალი რეჟიმები შეესაბამება იმ შემთხვევებს, როდესაც გაცივების სიჩქარეს ხელონურად ვარეგულირებდით, ანუ ფირის გამახურებელი ღუმელის სპირალში გამავალ დენს ვამცირებდით თანდათან ისე, რომ ფირის გაცივების დრომ პირველ შემთხვევაში შეადგინა 95 წთ., (გაცივების საშუალო სიჩქარე 8 გრად/წთ) ხოლო მეორე შემთხვევაში – 120

წთ. (გაცივების საშუალო სიჩქარე 6 გრად/წთ)

ცხრილი II

| ფირის ტემპერატურა, K | გაცივების დრო, წთ |
|----------------------|-------------------|
| 1036 | 0 |
| 950 | 5 |
| 901 | 10 |
| 825 | 15 |
| 790 | 20 |
| 682 | 25 |
| 640 | 30 |
| 601 | 35 |
| 532 | 40 |
| 501 | 45 |
| 601 | 50 |
| 530 | 55 |
| 509 | 60 |
| 476 | 65 |
| 436 | 70 |
| 398 | 75 |
| 356 | 80 |
| 335 | 85 |
| 313 | 90 |
| 307 | 95 |

ცხრილი III

| ფირის ტემპერატურა, K | გაცივების დრო, წთ |
|----------------------|-------------------|
| 1033 | 0 |
| 1001 | 5 |
| 961 | 10 |
| 900 | 15 |
| 885 | 20 |
| 845 | 25 |
| 797 | 30 |
| 703 | 35 |
| 729 | 40 |
| 700 | 45 |
| 663 | 50 |
| 641 | 55 |
| 608 | 60 |
| 571 | 65 |
| 556 | 70 |
| 532 | 75 |

| | |
|-----|-----|
| 501 | 80 |
| 471 | 85 |
| 453 | 90 |
| 432 | 95 |
| 401 | 100 |
| 367 | 105 |
| 348 | 110 |
| 316 | 115 |
| 308 | 120 |

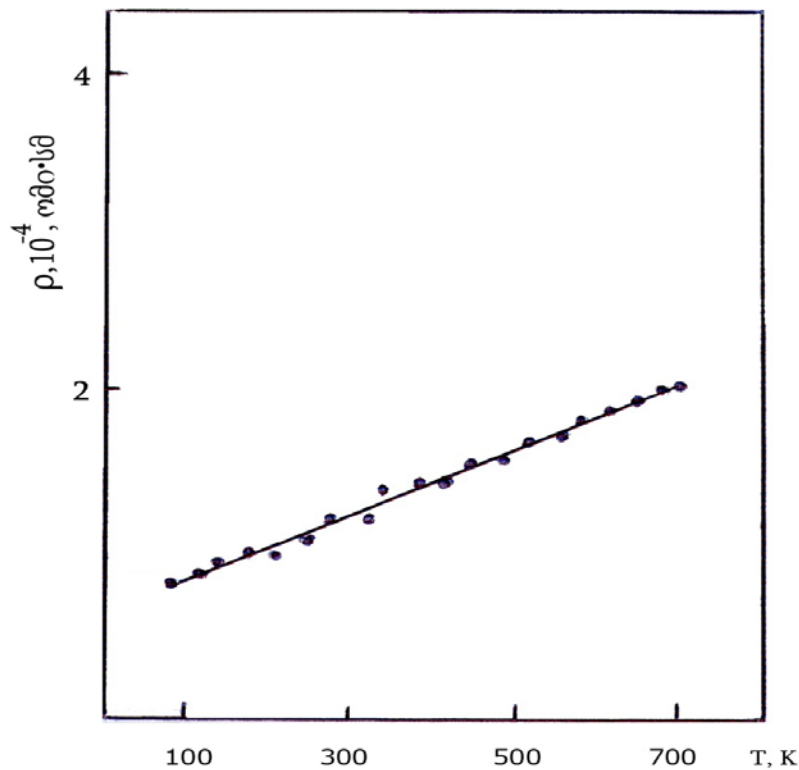
ცდებმა აჩვენეს, რომ გაცივების საშუალო სიჩქარის შემცირებით ფირების ფმს იზრდება დაახლოებით 10-12%. გაცივების სიჩქარის შემდგომი შემცირება კი უკვე არ იწვევს ფირების ფმს-ის შემდგომ ცვლილებას. მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემები შეიძლება აიხსნას იმ გარემოებით, რომ გაცივების ოპტიმალური რეჟიმის პირობებში ფირი აღწევს წონასწორულ მდგომარეობას, მასში არსებული დეფექტები მინიმუმამდეა დასული რაც ფირების ადგეზიას უწყობს ხელს.

3.3. გადოლინიუმის მონოანთიმონიდის თხელი ფირების ელექტროფიზიკური თვისებები

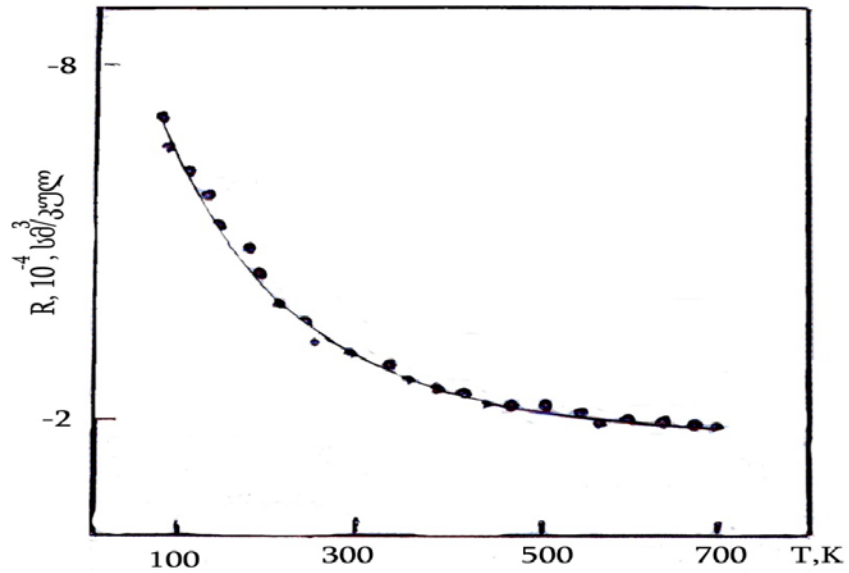
ნახ. 6-9 –ზე მოყვანილია ელექტროფიზიკური პარამეტრების დამოკიდებულება ტემპერატურაზე 90-700 K უბანში. როგორც ნახ. 6 – დან ჩანს ტემპერატურის მთელ უბანში კუთრი წინაღობა წრფივად და სუსტად იზრდება. კუთრი წინაღობის სიდიდე და ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ხასიათი ანალოგიურია ასეთი დამოკიდებულების ტულიუმის, იტერბიუმის, სამარიუმისა და პრაზეოდიუმის მონო და დიანთიმონიდებისათვის. ნახ. 8 და 9 – დან ჩანს, რომ მთელს ტემპერატურულ ინტერვალში ჰოლის მუდმივას და თერმო –ემპ-ს გააჩნია უარყოფითი ნიშანი. ჰოლის მუდმივას აბსოლუტური მნიშვნელობა მნიშვნელოვნად და არაწრფივად მცირდება. თერმო ემპს აბსოლუტური მნიშვნელობა წრფივად იზრდება. კუთრი წინაღობისა და ჰოლის მუდმივას მნიშვნელობების გაზომვის შედეგები გამოყენებული იქნა მუხტის მატარებლების

(ელექტრონების) ძვრადობისა და კონცენტრაციის გამოსათვლელად ერთზონიანი მიახლოებით. უნდა აღინიშნოს, რომ ასეთი მიახლოება მთლად კორექტული არა არის. როგორც ნახ 10 და 11 – დან ჩანს ელექტრონების კონცენტრაცია სუსტად იზრდება, ხოლო ძვრადობა მცირდება.

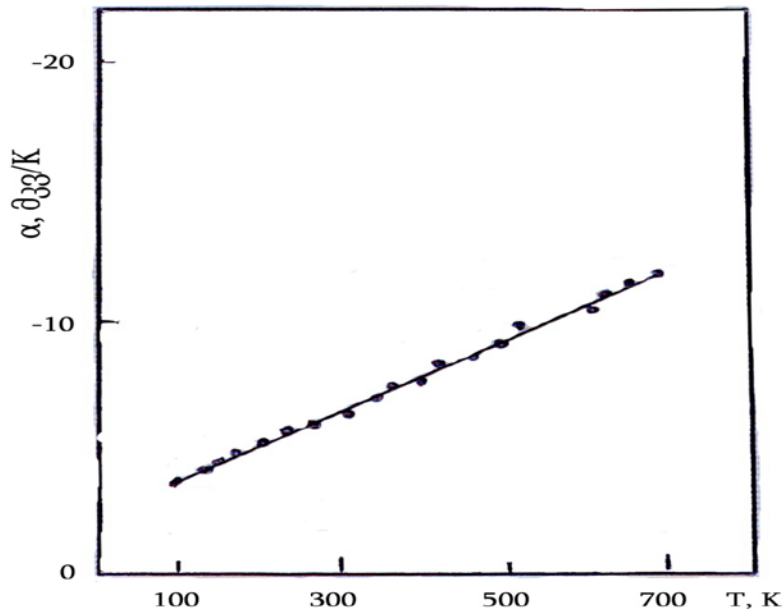
ელექტროფიზიკური პარამეტრების ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ხასიათი და მათი აბსოლუტური სიდიდის მნიშვნელობები საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ გადოლინიუმის მონოანტიმონიდი წარმოადგენს ნახევრად ლითონს.



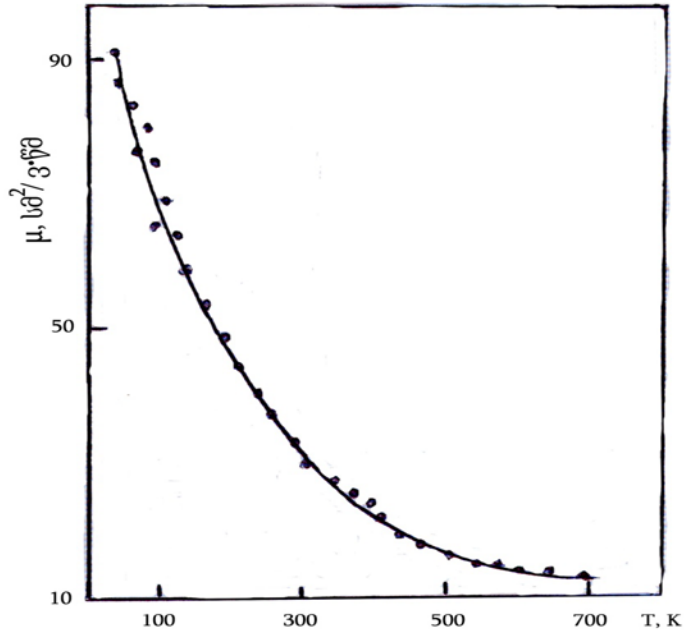
ნახ.7.გადოლინიუმის მონოანტიმონიდის თხელი ფირის კუთრი წინააღობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე (ფუძემსრე სიტალი, ფირის სისქე – 1.1 მკმ)



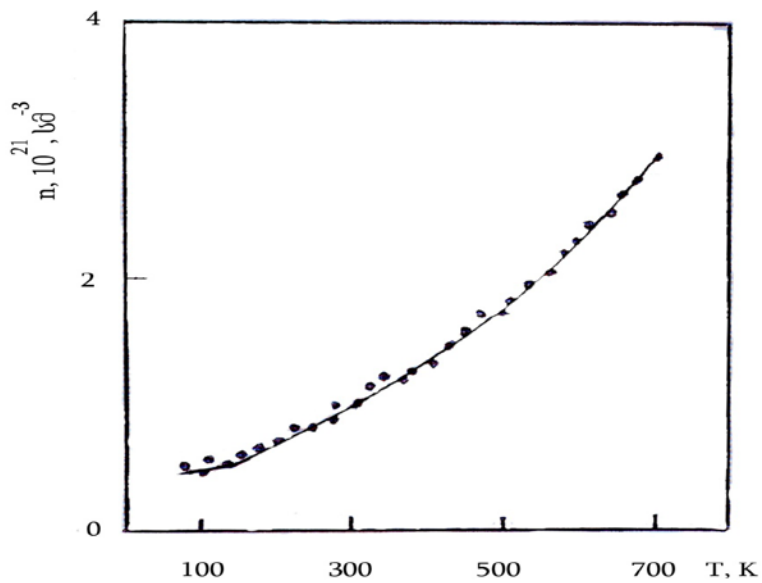
ნახ.8. გადოლინიუმის მონანთიმონიდის თხელი ფირის ჰოლის მუდმივას დამოკიდებულება ტემპერატურაზე (ფუძემსრე სიტალი, ფირის სისქე – 1.1 მკმ)



ნახ.9. გადოლინიუმის მონანთიმონიდის თხელი ფირის თერმო ემპ-ს დამოკიდებულება ტემპერატურაზე (ფუძემსრე საფირონი, ფირის სისქე – 1,2 მკმ)



ნახ.10. გადლინიუმის მონონთიმონიდის თხელ ფირში ელექტრონების ძვრადობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე (ფუძეშრე სიტალი, ფირის სისქე – 1.1 მკმ)



ნახ.11. გადლინიუმის მონონთიმონიდის თხელ ფირებში ელექტრონების კონცენტრაციის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე (ფუძეშრე სიტალი, ფირის სისქე – 1.1 მკმ)

3.4 გადოლინიუმის მონოანთიმონიდის თხელი ფირების ოპტიკური თვისებები

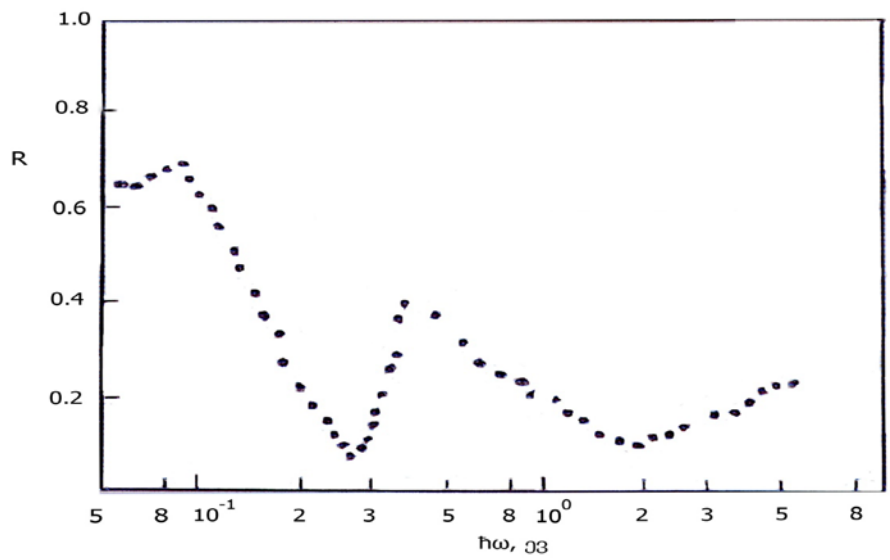
ჩვენს მიერ გაზომილ იქნა გადოლინიუმის მონოანთიმონიდის ჩვენს მიერ მომზადებული ფირების არეკვლისა და შთანთქმის სპექტრები სპექტრის ფართო უბანში 0.05 – 5.5 ევ ოთახის ტემპერატურაზე.

ნახ. 12 –ზე მოყვანილია არეკვლის სპექტრი. როგორც ნახაზიდან ჩანს 0.287 ევ ენერგიაზე შეიმჩნევა კარგად გამოხატული გრძელტალღოვანი მინიმუმი; კარგად გამოხატული არეკვლის ზოლი მაქსიმუმით 0.41 ევ-ზე და მინიმუმით 2.1 ევ-ზე.

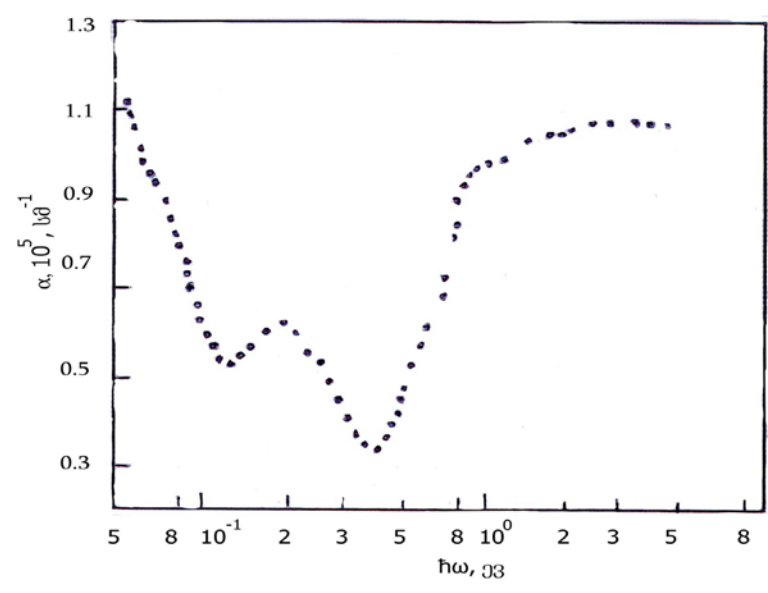
ნახ.13-ზე მოყვანილია შთანთქმის სპექტრი რომელზედაც შეიძლება გამოიყოს სამი თავისებურება: შედარებით მაღალი გამჭვირვალობის უბანი 0.45 ევ სიახლოვეს; სტრუქტურა 0.25 ევ-ზე და შთანთქმის მკვეთრი ზრდის უბანი ენერგიებისათვის, რომლებიც აღემატება 0.1 ევ-ს.

სამწუხაროდ არეკვლისა და შთანთქმის სპექტრების ცალსახა ახსნა შეუძლებელია. ერთადერთი რაც შეიძლება დანამდვილებით ითქვას ისაა, რომ მკვეთრი მინიმუმი არეკვლის სპექტრში და შესაბამისი შთანთქმის კოეფიციენტის გრძელტალღოვანი გაზრდა შეიძლება მიეკუთვნოს მუხტის გადამტანების პლაზმურ რხევებს.

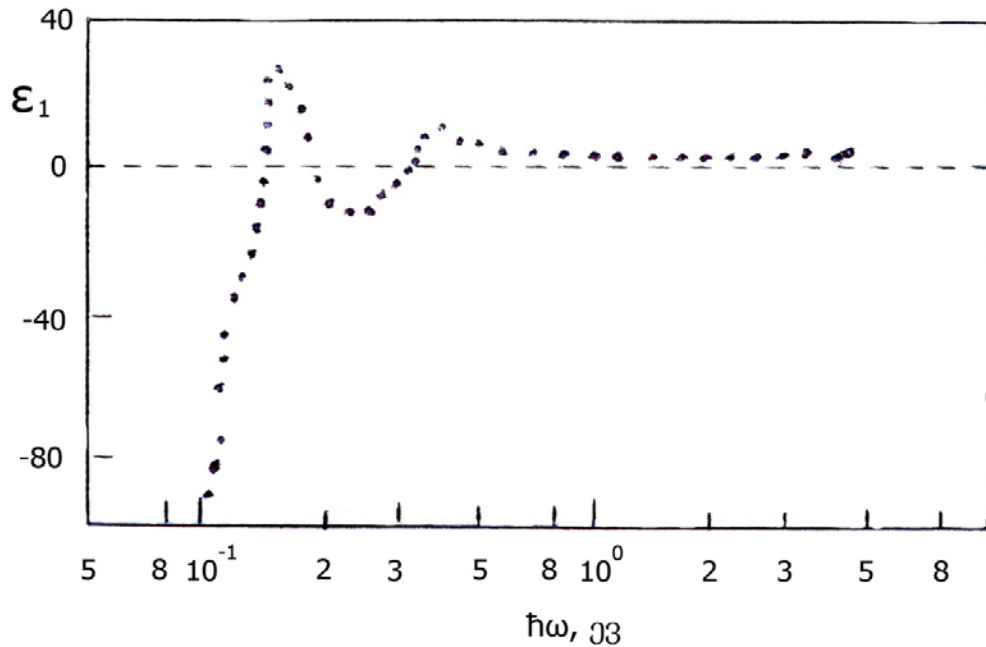
როგორც ნახ.14 –დან ჩანს დიელექტრიკული შეღწევადობის ნამდვილი ნაწილის სპექტრის ინფრაწითელ უბანში ϵ_1 მიისწრაფის ძალიან მაღალი უარყოფითი მნიშვნელობებისაკენ, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ ოპტიკურ პროცესებში ძალიან დიდ როლს თამაშობენ მუხტის თავისუფალი გადამტანები. ϵ_1 სამჯერ იცვლის ნიშანს, ამასთან ორჯერ დადებითი დახრით 0.15 ევ და 0.31 ევ-ზე. შევნიშნოთ, რომ 0.31 ევ-ზე ენერგია შეესაბამება შესაბამის ენერგიას დანაკარგების ფუნქციის მაქსიმუმზე, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ეს ენერგია შეესაბამება პლაზმურ რეზონანს. ამ ენერგიის სიხლოვის გამო შთანთქმის ზოლის ენერგიასთან შთანთქმა ძალიან ძლიერია, ხოლო აგზნებები დემპირირებულია და ამიტომ “ნამდვილი” პლაზმური შთანთქმის სიხშირე უნდა აღემატებოდეს ამ სიხშირის თეორიულ მნიშვნელობას.



ნახ.12. გადოლინიუმის დიანთიმონიდის თხელიფირების არეკვლის სპექტრი (ფუძემრე - ლეიკოსაფირონი, ფირის სისქე - 1.2 მკმ)



ნახ.13. გადოლინიუმის მონოანთიმონიდის თხელი ფირების შთანთქმის სპექტრი (ფუძემრე - ლეიკოსაფირონი, ფირის სისქე 1.2 მკმ)



ნახ.14. გადოლინიუმის მონოანთიმონიდის თხელი ფირების დიელექტრიკული დიელექტრიკული შეღწევალობის სპექტრი (ფუძეშრე – ლეიკოსაფირონი, ფირის – სისქე 1.2 მკმ)

4. დასკვნები

დამუშავებულია გადოლინიუმის მონოანთიმონიდის თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგია კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წაროდან ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით სხვადასხვა ფუძეშრეზე (სილიციუმი, სიტალი, ლეიკოსაფირონი). რენტგენოგრაფიული მეთოდით დადგენილია, რომ მიღებული ფირები ერთფაზაა, გააჩნიათ $NaCl$ ტიპის კრისტალური მესერი $6,25 \text{ \AA}$ -ის ტოლი კრისტალური მესრის პარამეტრით.

შესწავლილია მიღებული ფირების ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცე. ნაჩვენებია, რომ ის დამოკიდებულია ფუძეშრის მასალაზე და ფირების გაცივების რეჟიმზე დაფენის ტემპერატურიდან ოთახის ტემპერატურამდე.

გაზომილია ძირითადი დიელექტროფიზიკური პარამეტრების (კუთრი

წინააღმდეგობა, პოლის მუდმივა და თერმოემპი) დამოკიდებულება ტემპერატურაზე ფართო ინტერვალში. ნახვენებია, რომ ფირები წარმოადგენენ ნახევალტონებს.

პირველად შესწავლილია მიღებული ფირების არეკვლისა და შთანთქმის სპექტრები 0.05 – 5.5 ევ ენერგიების ინტერვალში. მიღებული მონაცემების საფუძველზე აგებულია დიელექტრიკული შეღწევადობის ნამდვილი ნაწილისა და დანაკარგების ფუნქციის დამოკიდებულება ფოტონების ენერგიაზე. ნახვენებია, რომ ოპტიკური პარამეტრების სპექტრებს გააჩნიათ საკმაოდ რთული ხასიათი

ლიტერატურა

1. Gasgnier M. Rare earth compounds, oxides, sulfides, silicides, boron as thin films and thin crystals. Phys. Stat. Solidi A. 1989, v.114, № 11, pp. 11-71
2. Деловая пресса., № 9,132., от 06.03.2002
3. Daou R., Haase A., Doerr M., Rotter M., Weickert F., Nicklas M., Steglich F. Magnetoelastic quantum oscillation in GdSb to 55 T. J. Phys.: Conf. Ser. **273** 012111 doi: 10.1088/1742-6596/273/1/012111. 2011
4. Koizumi K., Tomimatsu T., Yoshida M., Li D., Motokawa M. Observation of cyclotron resonance on GdSb. Physica B: Condensed Matter. 2002, v.312-313, p.880-881
5. Nakane H., Yamazaki S., Fujishiro H., Yamaguchi T., Yosizawa S., Numazawa T., Okamura M. Low temperature properties of HoSb, DySb and GdSb. Cryocoolers 11., 2002, part 10, p.443-448
6. Nakane H., Yamazaki T., Yosizawa S., Numazawa T. Specific heat and magnetic properties of GdSb. Cryocoolers 12, 2002, part 12, p.467-471
7. Самсонов Г. В., Абдусалымова М. Н., Шокиров Х., Пряхина С. Я. Физико-химические свойства моноантимонидов РЗМ. Изв. АН СССР. 1974. Т. 10. 1951-1954.
8. Кост М. Е., Шилов А. Л., и др. Соединения редкоземельных элементов. М., Наука, 271 с.
9. Уханов Ю. И. Оптические свойства полупроводников. М., Наука, 1977 г. 366 с.
10. Мосс Т., Эллис Г. Полупроводниковая оптоэлектроника. М., Мир. 1976 г. 431 с.

- 11.Новикова С.И.Тепловое расширение твёрдых тел. М., Наука, 1974 г. с.158
- 12.Самсонов Г.В., Абдусалямова М.Н, Шокиров Х. Термическое расширение моноантимонидов редкоземельных металлов. Изв. АН СССР. Неорг. мат., 1974, т.10. с. 923-924.
- 13.Слущкая В.В. Тонкие пленки в технике сверхвысоких частот. Л.: Госэнергоиздат. 1962. 309 с.

შესრულებული სამუშაოს ნაწილი მოხსენებული იყო საერთაშორისო კონფერენციაზე “Физико химические основы формирования и модификации микро- и наноструктур”, ქ.ხარკოვში, უკრაინა. 2011 წლის ოქტომბერში.

З.У.Джабуа, А.В.Гигинеишвили, Г.Н.Илуридзе, Т.А.Минашвили, И.Л.Купреишвили. Приготовление и механические свойства плёнок GdSb. Материалы пятой международной конференции “Физико химические основы формирования и модификации микро- и наноструктур”. г.Харьков, 12 – 14 октября, 2011 г., т.1., с.32-35

სარჩევი

| | |
|---|----|
| შესავალი ----- | 3 |
| 1.ლიტერატურული მონაცემების მიმოხილვა ----- | 3 |
| 2.ექსპერიმენტის მეთოდოლოგია ----- | 5 |
| 3.ექსპერიმენტის შედეგები და მათი განხილვა ----- | 11 |
| 4. დასკვნები ----- | 25 |
| ლიტერატურა ----- | 26 |