

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

იაგო კუპრეიშვილი

პრაზეოდიუმის, ჰოლმიუმის, გადოლინიუმის ანთიმონიდების და  
ტერბიუმის მონოსულფიდის თხელი ფირების მიღება, ფიზიკური  
ოპტიკური თვისებები

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა “საინჟინრო ფიზიკა”, შიფრი 0404

თბილისი

2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ფიზიკის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი  
ზაურ ჯაბუა

რეცენზენტები: ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი,  
პროფესორი თეიმურაზ ფალავა

ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, უფროსი  
მეცნიერ თანამშრომელი ვაჟა ღარიბაშვილი

დაცვა შედგება 2015 წლის \_\_? \_\_ ივლისს, \_\_\_?\_\_ საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის  
სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე,  
კორპუსი \_\_?\_\_, აუდიტორია \_\_?\_\_

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას ქ. 77

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ - ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებ გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი \_\_\_\_\_ პროფესორი თ. კაიშაური

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**შესავალი.** იშვიათმიწა ელემენტების (იმე) შენაერთებს პერიოდული სისტემის სხვადასხვა ელემენტებთან გააჩნიათ მრავალფეროვანი ფიზიკო-ქიმიური თვისებები რის გამოც ისინი ფართოდ გამოიყენებიან მეცნიერებისა და ტექნიკის ისეთ დარგებში, როგორებიცაა: რადიოელექტრონიკა და კვანტური ელექტრონიკა, ნახევარგამტარული ტექნიკა, ატომური ენერგეტიკა, კოსმოსური ტექნიკა და ა.შ. იმე-ს შენაერთები ძნელდნობადი მასალებია და ამიტომ მათ შეუძლიათ მუშაობა ფართო ტემპერატურულ ინტერვალში. ელექტრული თვისებებით ისინი წარმოადგენენ დიელექტრიკებს, ნახევარგამტარებს, ლითონებს, ნახევარლითონებს და ზეგამტარებს. იმე-ს მრავალი შენაერთი ჯერ კიდევ შესწავლის სტადიაშია და განიხილება როგორც პერსპექტიული მასალები.

იმე-ს შენაერთებში განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს ე.წ. შუალედური ვალენტობის განხორციელების შესაძლებლობა, როდესაც ვალენტობა არამთელ რიცხვს წარმოადგენს. შუალედური ვალენტობა შეიძლება რეალიზებულ იქნას ორი გზით:

1) არაჰომოგენური შუალედური ვალენტობა, როდესაც შენაერთის კრისტალურ მესერში არსებობენ განსხვავებული ვალენტობის იონები.

2) ჰომოგენური შუალედური ვალენტობა, რაც გამოწვეულია იმე-ს თითოეული იონის ერთი f-ელექტრონის განუწყვეტელი ფლუქტუაციით ლოკალიზებულ და დელოკალიზებულ მდგომარეობებს შორის, ძალიან მცირე სიციცხლის ხანგრძლივობით  $\sim 10^{-13} - 10^{-14}$  წმ.

იმე-ს შენაერთების უმრავლესი უნიკალური ფიზიკური თვისება სწორედ შუალედურ ვალენტობასთან არის დაკავშირებული და ის დიდ ინტერესს იწვევს. იმე-ს შენაერთები საინტერესო მასალებია როგორც სამოდულო ობიექტები მყარი ტანის ფიზიკისა და ქიმიის მრავალი საკითხის შესასწავლად.

თემის აქტუალობა. იმე-ს შენაერთების საინტერესო თვისებების მქონე მასალათა კლასს მიეკუთვნებიან ჰალკოგენიდები (შენაერთები გოგირდთან, სელენთან) და პნიქტიდები (შენაერთები ანთიმონთან, ბისმუტთან). ისინი გამოიყენებიან მიკროელექტრონიკაში, რადიოელექტრონიკაში, ოპტოელექტრონიკაში და ელექტრონიკის სხვადასხვა დარგებში.

როგორც ექსპერიმენტატორების, ისე თეორეტიკოსების ყურადღებას იქცევს იმე-ს ჰალკოგენიდების მიერ გამოვლენილი სპეციფიკური თვისებები. ამ კლასის მასალათა უმრავლესი წარმომადგენლისათვის დამახასიათებელია თვისებების მკვეთრი ცვლილება იმე-ს ან ჰალკოგენის ატომური ნომრის ცვლილებასთან ერთად. მკვლევართა დიდ ინტერესს იწვევს ასევე იმე-ს ანთიმონიდები, რომლებიც ქმნიან სხვადასხვა სტექიომეტრიული შემადგენლობის მრავალფეროვანი თვისებების მქონე მასალებს, რომლებსაც გააჩნიათ მხოლოდ მათთვის დამახასიათებელი ეფექტები, რაც გამოწვეულია მთელი რიგი ურთიერთსაწინააღმდეგო თვისებების შეხამებით: ვიწრო ჰომოგენურობის არე, ნახევარგამტარული ენერგეტიკული ღრეჩო, გამტარობის ლითონური ხასიათი, მუხტის მატარებელთა დაბალი ძვრადობა, მაღალი კონცენტრაცია, პლაზმური არეკვლის კიდე და ა. შ.

ცნობილია, რომ მასალის ფიზიკური თვისება მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ქიმიურ შემადგენლობასა და კრისტალური მესრის სრულყოფაზე. იმე-ს ჰალკოგენიდებს და ანთიმონიდებს გააჩნიათ მაღალი დნობის ტემპერატურა და ამდენად მათი სრულყოფილი სტექიომეტრიული შემადგენლობის როგორც მოცულობითი, ისე თხელფიროვანი ობიექტების მიღების ტექნოლოგია საკმაოდ რთულია, განსაკუთრებით ეს ეხებათ თხელ ფირებს, რომლებიც ფართოდ გამოიყენებიან მიკროელექტრონიკაში.

სამეცნიერო ლიტერატურაში სუსტად არის წარმოდგენილი ან საერთოდ არ არსებობს მონაცემები იმე-ს ჰალკოგენიდებისა და

ანტიმონიდების თხელი ფირების ტექნოლოგიის და შესაბამისად მათი ოპტიკური, ელექტროფიზიკური და განსაკუთრებით მექანიკური თვისებების შესახებ. ამდენად აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს იმე-ს სტექიომეტრიული შემადგენლობის კრისტალურად სრულყოფილი ჰალკოგენიდებისა და ანტიმონიდების თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგიის დამუშავება სხვადასხვა ფუძემდრეზე და მიღებული ფირების ფიზიკური თვისებების შესწავლა. ხშირად ფირების ფიზიკური თვისებები განსხვავდებიან მოცულობითი ობიექტების თვისებებისაგან და წარმოადგენენ ინტერესს, როგორც პრაქტიკული გამოყენების ასევე მყარი ტანის ზოგიერთი პრობლემური საკითხის შესწავლის თვალსაზრისით.

**სამუშაოს მიზანს** წარმოადგენდა იმე-ს ზოგიერთი ნაკლებად შესწავლილი ანტიმონიდების და სულფიდების თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგიის დამუშავება სხვადასხვა ფუძემდრეზე და მომზადებული ფირების ოპტიკური, ელექტროფიზიკური და მექანიკური თვისებების შესწავლა. ამისათვის ნაშრომში დასმულია და გადაწყვეტილია შემდეგი ამოცანები:

1)  $PrSb_2$ ,  $GdSb$ ,  $Gd_5Sb_3$ ,  $Ho_5Sb_3$  და  $TbS$  თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგიის დამუშავება სხვადასხვა ფუძემდრეზე.

2) მომზადებული ფირების ფაზური შემადგენლობისა და კრისტალური მესრის სრულყოფის შესწავლა ტექნოლოგიური რეჟიმების პარამეტრებისაგან დამოკიდებულებით.

3)  $PrSb_2$ - ფირებში  $Pr$  იონის ვალენტური მდგომარეობის დამოკიდებულების შესწავლა ფირების მიღების ტექნოლოგიური რეჟიმების პარამეტრებისაგან.

4)  $PrSb_2$ ,  $GdSb$ ,  $Gd_5Sb_3$ ,  $Ho_5Sb_3$  და  $TbS$  ფირების ოპტიკური, ელექტრული, გალვანომაგნიტური, თერმოელექტრული და მექანიკური თვისებების შესწავლა მათი ძირითადი ფიზიკური პარამეტრების

დადგენისა და მოცულობითი ობიექტების შესაბამის თვისებებთან შედარების მიზნით.

**ნაშრომის მეცნიერული სიახლე:**

1) პირველადაა დამუშავებული  $PrSb_2$ ,  $GdSb$ ,  $Gd_5Sb_3$ ,  $Ho_5Sb_3$  და  $TbS$  ფირების თხელი ფირების მომზადების ტექნოლოგია სხვადასხვა ფუძემდებზე (მონოკრისტალური სილიციუმი, სიტალი, ლეიკოსაფირონი, კვარცი).

2) გამოკვლეულია მიღებული ფირების ტექნოლოგიური რეჟიმების პარამეტრების გავლენა კრისტალური მესრის სრულყოფაზე, ფაზურ და ქიმიურ შემადგენლობაზე.

3) პირველადაა შესწავლილი  $Pr$ -ის იონის ვალენტური მდგომარეობის კავშირი  $PrSb_2$  თხელი ფირების ტექნოლოგიური რეჟიმების პარამეტრებისაგან.

4) ფართო ტემპერატურულ ინტერვალში შესწავლილია  $PrSb_2$ ,  $GdSb$ ,  $Gd_5Sb_3$ ,  $Ho_5Sb_3$  და  $TbS$  თხელი ფირების კუთრი წინაღობის, ჰოლის მუდმივას, თერმო ემპ-ს, მუხტის მატარებელთა კონცენტრაციის და ძვრადობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება.

5) შესწავლილია  $PrSb_2$ ,  $GdSb$  და  $TbS$  -ის თხელი ფირების ოპტიკური თვისებები. გაანალიზებულია  $PrSb_2$  თხელი ფირების ოპტიკური სპექტრების ტრანსფორმაცია  $Pr$  ვალენტობის ცვლილებისას.

6) გამოკვლეულია სხვადასხვა ფუძემდებზე დაფენილი  $PrSb_2$ ,  $GdSb$ ,  $Gd_5Sb_3$ ,  $Ho_5Sb_3$  და  $TbS$  ფირების ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცე.

**ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება.** სადისერტაციო ნაშრომში დამუშავებული იმე-ს ანთიმონიდებისა და სულფიდის მაღალი სრულყოფის კრისტალური მესრის მქონე თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგია სხვადასხვა ფუძემდებზე შედარებით მარტივი ვაკუუმურ -

თერმული აორთქლების მეთოდით შეიძლება გამოყენებულ იქნას შესაბამისი ელექტრონული ხელსაწყოების დასამზადებლად.

ნაშრომში პირველად მომზადებული ფირების ელექტროფიზიკური, ოპტიკური და მექანიკური თვისებების შესწავლის შედეგები უთუოდ შეუწყობს ხელს კონკრეტულად იმე-ს შენაერთებში და ზოგადად მყარ ტანში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების კანონზომიერების შესახებ არსებული წარმოდგენების გაფართოებას. ნაშრომში ექსპერიმენტულად პირველად მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნას საცნობარო მასალად შესაბამისი დარგის ცნობარებში.

**დაცვაზე გამოგვაქვს შემდეგი ძირითადი შედეგები:**

1)  $PrSb_2$ ,  $GdSb$ ,  $Gd_5Sb_3$ ,  $Ho_5Sb_3$  და  $TbS$  თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგიის დამუშავება სხვადასხვა ფუძემდებზე. ფირების მიღების ტექნოლოგიური რეჟიმების პარამეტრების გავლენის შესწავლა ფირების ფაზურ და ქიმიურ შემადგენლობაზე, კრისტალური მესრის სრულყოფაზე.

2)  $Pr$ - ის იონის ვალენტური მდგომარეობის კავშირის დადგენა  $PrSb_2$  თხელი ფირის მიღების ტექნოლოგიური რეჟიმის პარამეტრებისაგან.

3)  $PrSb_2$ ,  $GdSb$  და  $TbS$  თხელი ფირების ოპტიკური თვისებები.

4)  $GdSb$ ,  $Gd_5Sb_3$ ,  $Ho_5Sb_3$  და  $TbS$  თხელი ფირების ელექტრული, გალვანომანტიური და თერმოელექტრული თვისებები.

5)  $PrSb_2$ ,  $GdSb$ ,  $Gd_5Sb_3$ ,  $Ho_5Sb_3$  და  $TbS$  თხელი ფირების ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცე.

**ნაშრომის აპრობაცია.** სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოხსენებული და განხილული იყო: საერთაშორისო კონფერენციაზე „მაღალი ტექნოლოგიების კვლევა, დამუშავება და გამოყენება მრეწველობაში“ (სანკტ-პეტერბურგი, 2010 წ), საერთაშორისო კონფერენციაზე „ნანოსენსორული სისტემები და ნანომასალები“ (თბილისი, 2013წ), საერთაშორისო კონფერენციაზე „ბირთვული

რადიაციული ნაწილაკების და ნაწილაკური სისტემები“ (თბილისი, 2014 წ), სტუდენტთა 81-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე (თბილისი 2013წ), სტუდენტთა 82-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე.

**პუბლიკაციები:** სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 15 სამეცნიერო ნაშრომში, რომელთა ნუსხაც მოყვანილია ავტორეფერატის ბოლოში.

**ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა.** დისერტაცია შედგება შესავალის, ოთხი თავის, დასკვნებისა და ციტირებული ლიტერატურის ნუსხისაგან. ნაშრომის საერთო მოცულობა შეადგენს 140 გვერდს, მათ შორის 114 ნაბეჭდი გვერდი, 60 ილუსტრაცია, 4 ცხრილი და 117 დასახელების ციტირებული ლიტერატურა.

### სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

**პირველ თავში** სამეცნიერო ლიტერატურის ანალიტიკური მიმოხილვის საფუძველზე ნაჩვენებია თემის აქტუალობა და დასმულია ამოცანები შემდგომი კვლევისათვის. კერძოდ პირველ თავში მოყვანილია ზოგიერთი იმე-ს ჰალკოგენიდებისა და ანთიმონიდების თხელფიროვანი და მოცულობითი ობიექტების მიღების ტექნოლოგია, მდგომარეობის ფაზური დიაგრამები, შესაბამისი შენაერთების ელექტროფიზიკური და ოპტიკური თვისებები, კრისტალური სტრუქტურა.

სამეცნიერო ლიტერატურის მიმოხილვიდან ჩანს, რომ იმე-ს ჰალკოგენიდები და ანთიმონიდები წარმოადგენენ მნიშვნელოვან ინტერესს როგორც მეცნიერული კვლევის ისე პრაქტიკაში გამოყენების პერსპექტიულობის თვალსაზრისით, თუმცა მონაცემები ამ მასალების თხელი ფირების ტექნოლოგიისა და მათი ელექტროფიზიკური ოპტიკური და ფიზიკური თვისებების შესახებ საკმაოდ მწირია და ამდენად აქტუალურია იმე-ს ჰალკოგენიდებია და ანთიმონიდების



თხელი ფირების მომზადების ტექნოლოგიის დამუშავება სხვადასხვა ფუძემდებზე და მომზადებული ფირების ფიზიკური თვისებების შესწავლა.

პირველი თავის ბოლოში არსებული სამეცნიერო ლიტერატურის კრიტიკული მიმოხილვის საფუძველზე ჩამოყალიბებულია სადისერტაციო ნაშრომის მიზანი და შესაბამისი ამოცანები.

მეორე თავში მოყვანილია იმ დანადგარებისა და მოწყობილობების აღწერა და მეთოდები, რომლებიც გამოყენებული იყო დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად. კერძოდ დეტალურადაა აღწერილი კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან და წინასწარ სინთეზირებული მასალის დისკრეტული ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით ფირების მისაღები დანადგარები, ფუძემდებების გაწმენდის მეთოდიკა, მომზადებული ფირების სისქის გაზომვის მეთოდი, ფირების ელექტრონოგრაფიული და რენტგენოგრაფიული კვლევის მეთოდები, ფირების ქიმიური შემადგენლობის კვლევის მეთოდიკა, კუთრი წინაღობის, ჰოლის მუდმივას და თერმო ემპ-ს ტემპერატურაზე დამოკიდებულების შესასწავლი დანადგარი, ოპტიკური სპექტრების გამოსაკვლევი მოწყობილობები.

ფირების მომზადებას ვაწარმოებდით მოდერნიზებულ YBH2, YBH75P3 მარკის სამრეწველო დანადგარებზე და სამეცნიერო კვლევებისათვის განკუთვნილ ვაკუუმურ პოსტზე ВУП-5. მიღებული ფირების სისქეს ვზომავდით МИИ-4 მარკის ინტერფერენციული მიკროსკოპით. ფირების ფაზური შემადგენლობისა და კრისტალურობის დადგენა ხდებოდა რენტგენოდიფრაქციული და ელექტრონოგრაფიული მეთოდებით დანადგარებზე ДРОН 4 და YEMB-100 K. რაც შეეხება ფირების ქიმიურ შემადგენლობას, მის შესწავლას ვახდენდით რენტგენული მიკროანალიზისა და ელექტრონული ოჟე-სპექტროსკოპიის მეთოდებით „CAMEBAX-MICROBEAM” მარკის რენტგენულ მიკროანალიზატორზე PDP11/73 ეგმ-ის გამოყენებით, ხოლო ოჟე-

სპექტრების გადაღება ხდებოდა „RIBER“ LASS-2000 მარკის სპექტრომეტრზე.

ელექტროფიზიკური პარამეტრების (კუთრი წინაღობა, ჰოლის მუდმივა, თერმო ემძ) გაზომვა სწარმოებდა დანადგარებზე, რომელთა კონსტრუქცია ამ თავში დეტალურადაა აღწერილი. დანადგარი საშუალებას იძლევა გაზომვები ჩატარდეს ფართო ტემპერატურულ ინტერვალში - თხევადი აზოტის ტემპერატურიდან 900 K-მდე. ამასთან კუთრი წინაღობის და თერმო ემძ-ს გაზომვის სიზუსტე შეადგენდა 3-4%, ხოლო ჰოლის მუდმივასი - 8-10%. ფირების არეკვლისა და გამჭვირვალობის სპექტრალური დამოკიდებულების გამოთვლა ხდებოდა სპექტრალურ - გამომთვლელ კომპლექსზე KCBY-2 და ინფრაწითელ სპექტრალურ გამომთვლელ კომპლექსზე KCBII.

როგორც შესავალში იყო მითითებული, იმე-ს ზოგიერთ ანტიმონიდში იმე-ს იონი ავლენს ცვლად ვალენტობას, რაც ცხადია აუცილებელს ხდის ვალენტური მდგომარეობის შესწავლას. მოცემულ ნაშრომში იმე-ს შუალედური ვალენტობის დადგენა ხდებოდა ე.წ. აბსორბციული  $L_{III}$  სპექტროსკოპიის მეთოდით, რომელსაც საფუძვლად უდევს შთანთქმის  $L_{II}$  და  $L_{III}$  სპექტრებში მთავარი მაქსიმუმის ენერჯიის დამოკიდებულება იმე-ს  $f$  ელექტრონების რიცხვზე. ამ მეთოდით შუალედური ვალენტობის დადგენა ხდებოდა CAPΦ მარკის დანადგარზე.

ამავე თავში დეტალურადაა აღწერილი ექსპერიმენტულად მიღებული შედეგების დამუშავების მეთოდები.

მესამე თავში მოყვანილია ვაკუუმურ-თერმული აორთქლებით თხელი ფირების მიღების სხვადასხვა სახესხვაობები და ტექნოლოგიური თავისებურებები. კრიტიკულად არის განხილული ფირების წარმოქმნის კინეტიკა და სტრუქტურა; სხვადასხვა ტემპერატურული და გეომეტრიული პარამეტრების გავლენა ფირების კრისტალურ სტრუქტურასა და ფაზურ შემადგენლობაზე;

დეტალურადაა განხილული ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების ისეთი სახესხვაობები როგორებიცაა: აორთქლება კოპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან და წინასწარ სინთეზირებული შენაერთის დისკრეტული აორთქლება.

განალიზებულია მოყვანილი ექსპერიმენტული მასალა და გაკეთებული დასკვნები, რომლებიც საშუალებას იძლევა მოცემული კონკრეტული შენაერთისათვის სწორად იქნას შერჩეული მხოლოდ მისთვის მისადაგებული ტექნოლოგია, რომელიც უზრუნველყოფს მიღებული ფირების სტექიომეტრიას და კრისტალური მესრის სრულყოფას.

ამავე თავში მოყვანილია  $PrSb_2$ ,  $GdSb$ ,  $Gd_5Sb_3$ ,  $Ho_5Sb_3$  და  $TbS$  თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგიური პარამეტრები.

ფირების მიღება სწარმოებდა  $10^{-6}$  მმ ვწყ. სვ ვაკუუმში. ფუძემდებლად გამოყენებული იყო სილიციუმის, სიტალის, ლეიკოსაფირონის და კვარცის მართკუთხა პარალელებიპედის მქონე ფირფიტები ზომებით: 15 X 8 X 0,5 მმ.

საწყის მასალებს წარმოადგენდნენ: ПpM-1 მარკის ლითონური  $Pr$ , რომელიც შეიცავდა შემდეგ კონტროლირებად მინარევებს  $La$ ,  $Ce$  და  $Nd$  ჯამური 0.2 % შემცველობით,  $Fe$ - 0.01 %,  $Ca$  – 0.01%,  $Cu$  – 0.01 %,  $Ta, Mo$  ან  $Nb$  – 0.02 % შემცველობით; ГdM-1 მარკის ლითონური  $Gd$ , კონტროლირებადი მინარევების ჯამური შემცველობით  $Sm$ ,  $Eu, Tb$  და  $Y$  0.2 %,  $Fe$  – 0.01 %,  $Ca$  – 0.01%,  $Cu$  – 0.01 %,  $Ta, Mo$  ან  $Nb$  – 0.02 % შემცველობით; HoM-1 მარკის ლითონური  $Ho$ , კონტროლირებადი მინარევების  $Er$ ,  $Y$  და  $Dy$  ჯამური 0.2 % შემცველობით, მასალა ასევე შეიცავდა  $Fe$  – 0.01 %,  $Ca$  – 0.01%,  $Cu$  – 0.03 %,  $Ta$  ან  $Mo$  – 0.02 %; Cy 0000 მარკის ანთიმონი ძირითადი მასალის შემცველობით 99,999 ატ%.

მოცემულ ნაშრომში ყველა ფირის მიღება გარდა ტერბიუმის მონოსულფიდისა, ხდებოდა კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან ვაკუუმურ - თერმული აორთქლების მეთოდით.

ქვემოთ ცხრილში მოყვანილია კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან ვაკუუმურ - თერმული აორთქლების მეთოდით ფირების მიღების ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრები და რენტგენოდიფრაქციული და ელექტრონოგრაფიული გამოკვლევების შედეგები.

*TbS* ფირების მიღებას ვაწარმოებდით წინასწარ სინთეზირებული მასალის დისკრეტული ვაკუუმურ-თერმული აორთქლებით. საწყის მასალად გამოყენებული იყო კომპანია *Rare Earth Bullion Ltd (Company No: 08175229)* მოწოდებული ტერბიუმის მონოსულფიდის მოცულობითი კრისტალები.

ცნობილია, რომ კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით ფირების მიღებისას გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება ფუძემშრისა და ამორთქლებლების ტემპერატურებს, ასევე მათ ურთიერთ განლაგებას, რაც საბოლოო ჯამში უზრუნველყოფს ფუძემშრეზე სტექიომეტრიული შემადგენლობის ფირის მიღებას. სამწუხაროდ ამ პარამეტრების ზუსტი გათვლის მეთოდის არ არსებობს და ამდენად მათი შერჩევა როგორც წესი ხდება ემპირიულად.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ ტერბიუმის მონოსულფიდის ფირებს ვიღებდით დისკრეტული ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით. ამ მეთოდის განხორციელებისას საჭირო ტემპერატურამდე გახურებულ ნავისებურ ამორთქლებელს მიეწოდება დასაფენი მასალა გარკვეული ულუფებით. ამ დროს დიდი მნიშვნელობა აქვს ამორთქლებლის და ფუძემშრის ტემპერატურებს, მათ შორის მანძილს და განსაკუთრებით ფხვნილის მარცვლის ზომებს.

ჩვენს შემთხვევაში ფუძემშრის ტემპერატურულ შუალედში 750 – 990 K მიიღებოდა ერთფაზა პოლიკრისტალური ფირები. ფუძემშრის ტემპერატურის 990 – 1140 K ფარგლებში კი შეიმჩნეოდა ტექსტურის არსებობა [200] და [100] ღერძით.

პრაზეოდიუმის დიანთიმონიდის ფირების მიღებისას შემჩნეულ იქნა საინტერესო ეფექტი რომელიც მდგომარეობს ფირების შეფერილობის ცვლილებაში ანთიმონის ამორთქლების ტემპერატურის

ცხრილი

კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით  $PrSb_2$ ,  $GdSb$ ,  $Gd_5Sb_3$  და  $Ho_5Sb_3$  ფირების მიღების ოპტიმალური ტექნოლოგიური რეჟიმები, რენტგენოდიფრაქციული და ელექტრონოგრაფიული კვლევის შედეგები.

შენაერთი	$T_g, K$	$T_{ობე}, K$	$T_{Sb}, K$	$d_{ობე}, მმ$	$d_{Sb}, მმ$	$\alpha_{ობე}$	$\alpha_{Sb}$	სინგონია	სტრუქტურული ტიპი	მესრის პარამეტრი, Å		
										a	b	c
$PrSb_2$ ოქროსფერი	1010	1910	915	35	25	$20^0$	$25^0$	რომბული	$SmSb_2$	6.24	6.06	17.91
$PrSb_2$ შავი	„	„	933	„	„	„	„	„	„	„	„	„
$PrSb_2$ მუქი-ლურჯი	„	„	950	„	„	„	„	„	„	„	„	„
$GdSb$	1050	1880	890	40	50	„	„	კუბური	$NaCl$	6.25	-	-
$Gd_5Sb_3$	1100	1800	850	„	„	„	„	ჰექსაგონალური	$Mn_5Sb_3$	8.95	-	6.32
$Ho_5Sb_3$	1115	1175	870	45	„	„	„	„	$Gd_5Sb_3$	8.85	-	6.24

ცვლილებისას. კერძოდ სხვა მუდმივი პარამეტრების შემთხვევაში ანთიმონის ამორთქლებლის ტემპერატურისას 925-940 K ფირებს ჰქონდათ შავი შეფერილობა, 910 – 925 K ტემპერატურულ შუალედში-ოქროსფერი შეფერილობა, ხოლო 940 – 960 K შუალედში - მუქი ლურჯი შეფერილობა. როგორც ადსორბციულმა რენტგენულმა  $L_{III}$  სპექტროსკოპულმა ანალიზმა აჩვენა, შავი შეფერილობის ფირებში პრაზეოდუმის იონის ვალენტობა ტოლია - +2.5 ოქროსფერი შეფერილობის ნიმუშებში - +2.8 , ხოლო მუქი-ლურჯი შეფერილობის ფირებში - +2.3. ფირების რენტგენოდიფრაქციულმა და ელექტრონოგრაფიულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ მათ გააჩნიათ საკმაოდ მაღალი სრულყოფის კრისტალური მესერი და არ შეიცავეს სხვა ფაზებს გარდა ძირითადი მასალისა. ამასთან მომზადებული ფირების მესრის პარამეტრები კარგ შესაბამისობაშია შესაბამისი მასალის მოცულობითი კრისტალების პარამეტრებთან. ხოლო რენტგენული მიკროზონდური ანალიზის თანახმად ფირების ქიმიური შემადგენლობა ახლოსაა სტექიომეტრიულთან.

მეოთხე თავში მოყვანილია მომზადებული ფირების ოპტიკური, ელექტროფიზიკური და მექანიკური თვისებების გაზომვის შედეგები.

ოთახის ტემპერატურაზე ფოტონების ენერჯიათა უბანში 0.05-5.5 ევ გაზომილ იქნა პრაზეოდუმის იონის სხვადასხვა ვალენტობის მქონე  $PrSb_2$  თხელი ფირების არეკვლისა და შთანთქმის სპექტრები. ნაჩვენებია, რომ პრაზეოდუმის იონის ვალენტობის ცვლილება +2.8 - დან +2.5 - მდე და შემდგომ +2.3 - მდე შესამჩნევ გავლენას ახდენს ფირების ოპტიკურ თვისებებზე.

ჩვენს მიერ მიღებული გადოლინიუმის მონოანთიმონიდის თხელ ფირებზე ოთახის ტემპერატურაზე ფოტონების ენერჯიათა უბანში 0.05–5.5 ევ გაზომილ იქნა არეკვლისა და შთანთქმის სპექტრები. 0.287 ევ ენერჯიაზე შეიმჩნევა კარგად გამოხატული გრძელტალღოვანი მინიმუმი და არეკვლის ზოლი მაქსიმუმით 0.41 ევ -ზე და მინიმუმით

2.1 ევ -ზე. შთანთქმის სპექტრზე შეიძლება გამოიყოს სამი თავისებურება: შედარებით მაღალი გამჭვირვალობის უბანი 0.45 ევ სიახლოვეს, სტრუქტურა 0.25 ევ-ზე, შთანთქმის მკვეთრი ზრდის უბანი ენერგიებისათვის, რომლებიც აღემატება 0.1 ევ. ზონური სტრუქტურის სურათის არარსებობის გამო არეკვლისა და შთანთქმის სპექტრების ცალსახა ახსნა შეუძლებელია. ერთადერთი რაც დანამდვილებით შეიძლება ითქვას, ისაა რომ, მკვეთრი მინიმუმი არეკვლის სპექტრში და შესაბამისი შთანთქმის კოეფიციენტის გრძელტალღოვანი გაზრდა შეიძლება მიეკუთვნოს მუხტის გადამტანების პლაზმურ რხევებს. გაზომვებმა აჩვენეს, რომ დიელექტრიკული შეღწევადობის ნამდვილი ნაწილი  $\epsilon_1$ , სპექტრის ინფრაწითელ უბანში მიისწრაფვის ძალიან მაღალი უარყოფითი მნიშვნელობებისაკენ, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ ოპტიკურ პროცესებში დიდ როლს თამაშობენ მუხტის თავისუფალი გადამტანები.  $\epsilon_1$  სამჯერ იცვლის ნიშანს, ამასთან ორჯერ დადებითი დახრით 0.15 ევ და 0.31 ევ-ზე. შევნიშნოთ, რომ 0.31 ევ -ზე ენერგია უტოლდება ენერგიას დანაკარგების ფუნქციის მაქსიმუმზე, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ეს ენერგია შეესაბამება პლაზმურ რეზონანსს. ამ ენერგიის შთანთქმის ზოლის ენერგიასთან სიახლოვის გამო შთანთქმა ძალიან ძლიერია, ხოლო აგზნებები დემპფირირებულია და ამიტომ „ნამდვილი“ პლაზმური შთანთქმის სიხშირე უნდა აღემატებოდეს ამ სიხშირის თეორიულ მნიშვნელობას.

$GdSb$  -ის ფირებზე ტემპერატურათა შუალედში 95 – 700 K გაზომილ იქნა კუთრი წინაღობის, ჰოლის მუდმივას და თერმო ემმ-ს დამოკიდებულება ტემპერატურაზე. გაზომვებმა აჩვენეს, რომ ფირები ელექტრონული გამტარებლობისაა. მიღებული მონაცემებით გათვლილ იქნა ელექტრონების კონცენტრაციისა და ძვრადობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება. ნაჩვენებია იქნა, რომ ტემპერატურის გაზრდით კონცენტრაცია იზრდება, ხოლო ძვრადობა მცირდება. ელექტროფიზიკური პარამეტრების სიდიდისა და ტემპერატურაზე



დამოკიდებულების ხასიათის მიხედვით შეიძლება დავასკვნათ, რომ გადოლინიუმის მონოანთიმონიდი წარმოადგენს ნახევარლითონს.

ტემპერატურათა შუალედში 95 – 700 K გაზომილ იქნა  $Ho_5Sb_3$  და  $Gd_5Sb_3$  კუთრი წინაღობის ჰოლის მუდმივას და თერმო ემპ-ს ტემპერატურაზე დამოკიდებულება, რომელმაც აჩვენა, რომ ტემპერატურის გაზრდით კუთრი წინაღობა წრფივად იზრდება, ჰოლის მუდმივა უცვლელია, ხოლო თერმო ემპ ასევე წრფივად იზრდება. მიღებული მონაცემების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ მოცემულ ფირებში მუხტის გადამტანებს წარმოადგენენ ელექტრონები. ერთზონიანი მიახლოებით გათვლილ იქნა ელექტრონების კონცენტრაცია და ძვრადობა. ნაჩვენები იქნა, რომ კონცენტრაცია თითქმის არ იცვლება, ძვრადობა კი მცირდება. გაზომილი ელექტროფიზიკური პარამეტრების რიცხვითი მონაცემები და ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ხასიათი მიუთითებს იმაზე, რომ როგორც  $Ho_5Sb_3$ -ის ისე  $Gd_5Sb_3$ -ის ფირები ლითონური ბუნებისაა და ეს დასკვნა კარგად ეთანხმება ლიტერატურულ მონაცემებს  $La_5Sb_3$  შენაერთების თვისებების ლითონურთან სიახლოვის შესახებ.

$TbS$  ფირებზე ოთახის ტემპერატურაზე ფოტონების ენერჯიათა უბანში 0.06 – 6 ევ გაზომილ იქნა არეკვლისა და შთანთქმის სპექტრები. არეკვლის კოეფიციენტის სპექტრზე ~3 ევ-ზე შეიმჩნევა არეკვლის მინიმუმი, ხოლო ოპტიკური სიმკვრივის სპექტრზე  $\hbar\omega = 3,32$  ევ ენერჯიაზე დაიმზირება გამჭვირვალობის უბანი. სპექტრალური დამოკიდებულებიდან და ელექტრონების კონცენტრაციის მაღალი მნიშვნელობებიდან გამომდინარე შეიძლება დავუშვათ, რომ  $\hbar\omega > 3,32$  ევ ენერჯიებზე შთანთქმა დაკავშირებულია ელექტრონების ზონათაშორის გადასვლებთან.

ზონათაშორის გადასვლების კონკრეტული მექანიზმის დასადგენად გაანალიზებულ იქნა  $TbS$  ფირის არეკვლისა და გამჭვირვალობის საფუძველზე აგებული შთანთქმის სპექტრი.

შთანთქმის სიხშირული დამოკიდებულების გრაფიკული ანალიზისათვის  $\hbar\omega > 3,32$  ევ ენერგიათა უბანში შთანთქმის კოეფიციენტს  $\alpha$  ვაკლებდით  $\alpha_0$  (როგორც ფონს) რომელიც შეესაბამება შთანთქმის კოეფიციენტის მინიმუმს. აგებულ იქნა  $(\alpha - \alpha_0)$ -ის დამოკიდებულება  $(\hbar\omega - \Delta E_g^*)$  - განლოგარითმულ მასშტაბში ისე, რომ ექსპერიმენტული წერტილები დალაგდნენ წრფეზე. ამან საშუალება მოგვცა დაგვედგინა  $\Delta E_g^*$  სიდიდე, ხოლო მიღებული წრფის დახრის კუთხის მიხედვით - ხარისხის მაჩვენებელი  $n$  თანაფარდობაში  $(\alpha - \alpha_0) \sim (\hbar\omega - \Delta E_g^*)^n$ . ასეთი საკმაოდ გულდასმით ანალიზი საშუალებას იძლევა შეფასდეს  $\Delta E_g^*$  სიდიდის ხასიათი თუ მის ქვეშ ვიგულისხმებთ მინიმალურ ღრეჩოს აბსოლუტურ ექსტრემუმებს შორის. ანალიზმა აჩვენა, რომ ექსპერიმენტული წერტილები  $(\alpha - \alpha_0)$  კარგად ლაგდებიან წრფეზე, რომელიც შეესაბამება  $\Delta E_g^* = 3,26$  ევ ენერგიას. წრფის დახრა კი იძლევა სიდიდეს  $n = 2,21$ , რომელიც ახლოს არის  $n = 2$  სიდიდესთან და რომელიც ახასიათებს ელექტრონების არაპირდაპირ გადასვლებს.

ტემპერატურათა შუალედში 100 – 500 K გაზომილ იქნა ჩვენს მიერ მომზადებული  $TbS$  ფირების კუთრი წინაღობის, ჰოლის მუდმივას და თერმო ემმ-ს ტემპერატურაზე დამოკიდებულება. გაზომვებმა აჩვენეს, რომ კუთრი წინაღობა ნელა იზრდება, ჰოლის მუდმივა თითქმის არ იცვლება, რაც მიანიშნებს იმაზე, რომ მუხტის მატარებელთა კონცენტრაცია არ იცვლება. თერმო ემმ ჯერ ცოტათი იზრდება, ხოლო შემდეგ მცირდება. ამ პარამეტრების ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ასეთი ხასიათი კარგად ეთანხმება ანალოგიურ მონაცემებს  $LaS$ ,  $NdS$ ,  $GdS$ ,  $DyS$  მოცულობითი კრისტალებისათვის. ჰოლის მუდმივას გაზომვების თანახმად  $TbS$  ფირი  $n$ -ტიპის გამტარებლობისაა, ხოლო თერმო ემმ-ს გაზომვების მიხედვით  $p$ -ტიპის. გამტარებლობის ტიპის ასეთი შეუსაბამობა დამახასიათებელია ზოგიერთი ერთვალენტური ლითონებისათვის, მაგალითად  $Cu$ ,  $Ag$ ,  $Au$  და აიხსნება

შემდეგი თანაფარდობით, რომელიც სამართლიანია ერთვალენტური ლითონებისათვის.

$$\alpha = \frac{\pi^2 k_0^2 T}{3e} \left[ \frac{\partial \ln \lambda}{\partial \varepsilon} + \frac{\partial \ln S}{\partial \varepsilon} \right]_{\varepsilon=\xi}$$

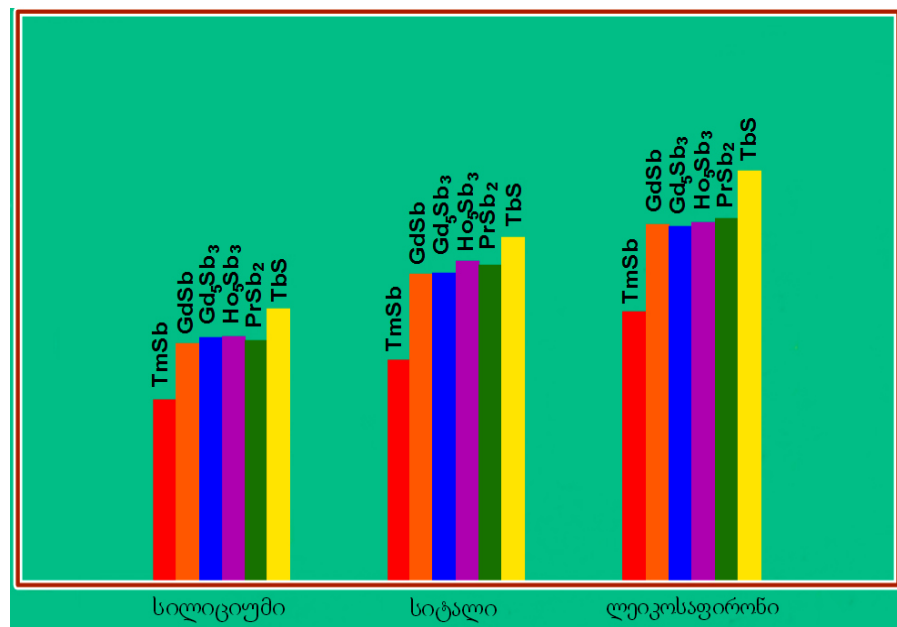
სადაც  $e$  – ელექტრონის მუხტია,  $T$  – აბსოლუტური ტემპერატურა,  $k_0$  – ბოლცმანის მუდმივა,  $\varepsilon$  - ფერმის დონე,  $\xi$  - ფერმის ფაქტიური დონე,  $\lambda$  - ელექტრონის თავისუფალი განარბენის სიგრძე,  $S$  - ფერმის ზედაპირის ფართობი.

როგორც ფორმულიდან ჩანს, თერმო ემმ შედეგა ორი შესაკრებისაგან. პირველი მათგანი დამოკიდებული არაა მუხტის გადამტანების გაბნევაზე, ხოლო მეორე დაკავშირებულია ბრილუენის ზონის სტრუქტურის თავისებურებაზე. თითოეული ეს შესაკრები განსაზღვრავს თერმო ემმ-ს სიდიდეს და ნიშანს.

ამრიგად თერმო ემმ-ს ასეთი ხასიათი არ ეწინააღმდეგება მონოჰალკოგენიდებისათვის მიღებულ ერთვალენტური ლითონის მოდელს.

უკანასკნელ პერიოდში თხელი ფირების ყველა სხვა მახასიათებლების შესწავლასთან ერთად მნიშვნელოვნად გაიზარდა ინტერესი მათი მექანიკური თვისებების მიმართ. ვინაიდან ხშირად მასალებს რომლებსაც საინტერესო ელექტროფიზიკური და ოპტიკური თვისებები გააჩნიათ, ხასიათდებიან დაბალი მექანიკური მდგრადობით, რაც სერიოზულ პრობლემებს ქმნის მათ პრაქტიკულ გამოყენებაში. არსებობს მექანიკური თვისებების შესწავლის სხვადასხვა მეთოდი, რომელთაგან ერთ-ერთია ე.წ. სრული გახეხვის მეთოდი, რომელიც მდგომარეობს ფირის ფუძემდრად სრულად გადახეხვისათვის საჭირო მუშაობის დადგენაში. მეთოდის რეალიზაციისათვის ითვლიან ერთი და იმავე სისქის ფირის ერთი და იმავე დატვირთვისას სრული გადახეხვისათვის საჭირო გასმათა რიცხვს და სხვადასხვა ფირის მონაცემებს ადარებენ ერთმანეთთან.

როგორც ცდებმა აჩვენეს, ყველაზე მაღალი ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცე გააჩნიათ ლეიკოსაფრონის ფუძემრეზე დაფენილ ფირებს, ხოლო ყველაზე დაბალი - მონოკრისტალური სილიციუმის ფუძემრეზე დაფენილებს, საშუალოდ მდგომარეობა უკავიათ სიტალის ფუძემრეზე დაფენილ ფირებს. რაც შეეხება ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცის ზრდას, ყველა ფირისათვის, ფუძემრის მასალების მიმდევრობით - მონოკრისტალური სილიციუმი, სიტალი, ლეიკოსაფრონი ალბათ დაკავშირებულია ფირების სითბური გაფართოების კოეფიციენტის მიახლოებით ფუძემრის მასალის სითბური გაფართოების კოეფიციენტთან ამავე მიმდევრობით. ასევე ნაჩვენებია, რომ ტერბიუმის მონოსულფიდის ფირების ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცე უფრო მაღალია ვიდრე ანთიმონიდების. ეს კანონზომიერება სამართლიანია ყველა ფუძემრისათვის (ნახ.1). მიუხედავდ იმისა, რომ სითბური გაფართოების კოეფიციენტები მათ თითქმის ერთნაირი აქვთ გარდა  $TmSb$  - ისა. ეს მოვლენა ადრეც იყო შემჩნეული და მისი ახსნა მოითხოვს დამატებითი კვლევების ჩატარებას.



ნახ.1. სხვადასხვა ფუძემრეზე დაფენილი  $TmSb$ ,  $Gd_5Sb_3$ ,  $Ho_5Sb_3$ ,  $PrSb_2$  და  $TbS$  ფირების ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცე

## დასკვნები

1) პირველად დამუშავებულია  $PrSb_2$ ,  $GdSb$ ,  $Gd_5Sb_3$ ,  $Ho_5Sb_3$ , თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგია კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით და  $TbS$  თხელი ფირების მომზადების ტექნოლოგია წინასწარ სინთეზირებული მასალის დისკრეტული ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით სხვადასხვა ფუძემდებებზე (მონოკრისტალური სილიციუმი, სიტალი, ლეიკოსაფრონი და კვარცი)

2) ჩატარებულია მომზადებული ფირების რენტგენოდიფრაქციული და ელექტრონოგრაფიული ანალიზი, ნაჩვენებია, რომ  $PrSb_2$  ფირებს გააჩნიათ  $SmSb_2$  ტიპის რომბული მესერი, პარამეტრებით:  $a = 6.24 \text{ \AA}$ ,  $b = 6.06 \text{ \AA}$  და  $c = 17.91 \text{ \AA}$ ,  $GdSb$  ფირებს -  $NaCl$  ტიპის კუბური მესერი, პარამეტრით -  $a = 6.25 \text{ \AA}$ ,  $Gd_5Sb_3$  და  $Ho_5Sb_3$  ფირებს - ჰექსაგონალური მესერი შესაბამისად პარამეტრებით:  $a=8,95 \text{ \AA}$ ,  $c = 6,32 \text{ \AA}$  და  $a = 8.85 \text{ \AA}$ ,  $c = 6.24 \text{ \AA}$  და  $TbS$  ფირებს -  $NaCl$  ტიპის კუბური მესერი, მესრის პარამეტრით  $a = 5.52 \text{ \AA}$ .

3) რენტგენული მიკროზონდური ანალიზით ნაჩვენებია, რომ მომზადებული ფირების შემადგენლობა ახლოსაა სტექიომეტრიულთან:  $PrSb_2$  - ის ფირები შეიცავენ 33,1 ატ%  $Pr$  და 66,9 ატ%  $Sb$ ,  $GdSb$  - ის ფირები - 50.1 ატ%  $Gd$  და 49.9 ატ%  $Sb$ ,  $Gd_5Sb_3$  - ის ფირები - 62,5 ატ%  $Gd$  და 37,5 ატ%  $Sb$ ,  $Ho_5Sb_3$  - ის ფირები - 62,6 ატ%  $Ho$  და 37,4 ატ%  $Sb$ ,  $TbS$ - ის ფირები - 50.1 ატ %  $Tb$  და 49.9 ატ %  $S$ .

4) შესწავლილია  $GdSb$ ,  $Gd_5Sb_3$  და  $TbS$  ფირების ზედაპირზე შემადგენელი კომპონენტების განაწილება, რომელმაც აჩვენა, რომ ისინი განაწილებულია საკმაოდ თანაბრად.

5) შესწავლილია  $PrSb_2$  - ის თხელი ფირების შეფერილობისა და შესაბამისად  $Pr$  - ის იონის ვალენტობის დამოკიდებულება ფირების მიღების ტექნოლოგიურ რეჟიმებზე. დადგენილია, რომ ფუძემდრისა და  $Pr$  - ის ამორთქლების ტემპერატურა გავლენას არ ახდენს  $Pr$  - ის

იონის ვალენტურ მდგომარეობაზე, მაშინ როდესაც  $Sb$  - ის ამორთქლებლის ტემპერატურის გაზრდა იწვევს  $Pr$  - ის იონის ვალენტობის შემცირებას და პირიქით.

6) ოთახის ტემპერატურაზე ფოტონების ენერგიათა უბანში 0.05-5.5 ევ გაზომილია  $PrSb_2$  თხელი ფირების არეკვლისა და შთანთქმის სპექტრები. ნაჩვენებია, რომ  $PrSb_2$  იონის ვალენტობის ცვლილება +2.8 - დან +2.5 - მდე და შემდგომ +2.3 - მდე შესამჩნევ გავლენას ახდენს ფირების ოპტიკურ თვისებებზე.

7) ოთახის ტემპერატურაზე ფოტონების ენერგიათა უბანში 0.05–5.5 ევ შესწავლილია  $GdSb$  თხელი ფირების არეკვლისა და შთანთქმის სპექტრები. გაანგარიშებულია გარდატეხისა და შთანთქმის კოეფიციენტების სპექტრალური დამოკიდებულებები. არეკვლის სპექტრზე შეიმჩნევა კარგად გამოხატული გრძელტალღოვანი მინიმუმი და არეკვლის ზოლი. შთანთქმის სპექტრზე კი შეიძლება გამოიყოს სამი უბანი: მაღალი გამჭვირვალობის, სტრუქტურა 0.25 ევ -ზე და შთანთქმის მკვეთრი ზრდის უბანი.

გამოთქმულია ვარაუდი, რომ მკვეთრი მინიმუმი არეკვლის სპექტრში და შესაბამისი შთანთქმის კოეფიციენტის გრძელტალღოვანი გაზრდა შეიძლება მიეკუთვნოს მუხტის გადამტანების პლაზმურ რხევებს.

8)  $GdSb$  - ის თხელ ფირებზე 95 – 700 K ტემპერატურულ ინტერვალში გაზომილია კუთრი წინაღობა, ჰოლის მუდმივა და თერმო - ემმ და გათვლილია მუხტის მატარებლების - ელექტრონების კონცენტრაციისა და ძვრადობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე. გაკეთებულია დასკვნა, რომ  $GdSb$  - ის ფირები წარმოადგენენ ნახევარლითონებს.

9) 95 – 700 K ტემპერატურულ ინტერვალში გაზომილია  $Gd_5Sb_3$  და  $Ho_5Sb_3$ -ის თხელი ფირების კუთრი წინაღობის, ჰოლის მუდმივას და თერმო ემმ-ს დამოკიდებულება ტემპერატურაზე. ნაჩვენებია, რომ

მუხტის გადამტანებს წარმოადგენენ ელექტრონები. გათვლილია მუხტის მატარებლების კონცენტრაციისა და ძვრადობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე. მიღებული პარამეტრების სიდიდეები და ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ხასიათი მეტყველებს ამ მასალის ლითონურ ბუნებაზე.

10) ოთახის ტემპერატურაზე ფოტონების ენერჯიათა უბანში 0.06 – 6 ევ გაზომილია  $TbS$  ფირების არეკვლისა და გამჭვირვალობის სპექტრები. შთანთქმის სპექტრის სიხშირეზე დამოკიდებულების გრაფიკული ანალიზის საფუძველზე ნაჩვენებია, რომ შთანთქმის სპექტრის მოკლელტალოვანი ზრდა გამოწვეულია ელექტრონების არაპირდაპირი გადასვლებით.

11) 100 – 500 K ტემპერატურულ შუალედში გაზომილია  $TbS$  ფირების კუთრი წინაღობის, ჰოლის მუდმივას და თერმო ემპ-ს ტემპერატურაზე დამოკიდებულება. ნაჩვენებია, რომ ჰოლის მუდმივას გაზომვების მიხედვით  $TbS$  ფირები  $n$  ტიპის გამტარებლობისაა, ხოლო თერმო ემპ-ს გაზომვების მიხედვით –  $p$  ტიპის. მოყვანილია ასეთი განსხვავების შესაძლო მიზეზი.

12) სრული გახეხვის მეთოდით შესწავლილია  $PrSb_2$ ,  $GdSb$ ,  $Gd_5Sb_3$ ,  $Ho_5Sb_3$  და  $TbS$  ფირების ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცე. ნაჩვენებია, რომ გამოყენებული ფუძეშრის მასალა შესამჩნევ გავლენას ახდენს ფირების ფარდობით მექანიკურ სიმტკიცეზე.

## დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ

### შრომებში:

1) კუპრეიშვილი ი. იშვიათმიწა ელემენტების შენაერთების ფირების ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცის შესწავლა. სტუდენტთა 76-ე სამეცნიერო ტექნიკური კონფერენცია. თეზისების კრებული. თბილისი, 2008, გვ. 90-91.

2) კუპრეიშვილი ი.  $Ho_5Sb_3$  ფირების მიღება და ფიზიკური თვისებები. სტუდენტთა 78-ე სამეცნიერო ტექნიკური კონფერენცია. თეზისების კრებული. თბილისი, 2010, გვ. 70 .

- 3) Джабуа З.У., Купреишвили И.Л., Табатадзе И.Г., Гигинеишвили А.В., Илуридзе Г.Н., Минашвили Т.А. Влияние технологических параметров на валентность ионов празеодима тонких пленках  $PrSb_2$  Материалы четвертой международной конференции физико-химические основы формирования и модификации микро - и наноструктур, Г.Харьков, 6-8 октября, 2010г. т-2, с. 321-324.
- 4) Jabua Z.U. Kupreishvili I. L. . Gigineishvili A.V. Bjhalava T.L. Preparation of  $Ho_5Sb_3$  thin films and the electophysical properties. Nanostudies. 2010, 1, p. 43-46.
5. Джабуа З.У., Табатадзе И.Г., Купреишвили И.Л., Бжалава Т.Л., Гигинеишвили А.В. Приготовление плёнок некоторых сульфидов и антимонидов редко-земельных элементов и их механические свойства. Труды научно-технической конференции «Новые технологии в современной промышленности», Тбилиси, 20-30 апреля, 2010г, с. 164-166..
- 6) Tabatadze I.G., Jabua Z.U., Giginishvili A.V., Kupreishvili I.L. Preparation of terbium monosulfide thin crystalline film. Phys.Surf. Eng. 2010, v.8, №4, p.333-335.
- 7) Джабуа З.У., Гигинеишвили А.В., Илуридзе Г.Н., Минашвили Т.А., Купреишвили И.Л. 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.
- 8) კუპრეიშვილი ი, ჯაბუა ზ, გიგინეიშვილი ა. გადოლინიუმის ტრიანტიმონიდის თხელი ფირების მომზადება და მათი ელექტრული და მექანიკური თვისებები. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. გამოყენებითი ფიზიკის აქტუალური საკითხები. მოხსენებათა კრებული. თბილისი, 2011. გვ. 94-100.
- 9) Джабуа З.У., Гигинеишвили А.В., Илуридзе Г.Н., Минашвили Т.А., Купреишвили И.Л. Оптические свойства тонких плёнок диантимонида празеодима чёрной окраски. Высокие технологии, фундаментальные исследования, экономика. Сборник статей двенадцатой международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологии в промышленности». 8-11 декабря 2011 года, Санкт-Петербург, Россия. Санкт-Петербург, издательство Политехнического университета. 2011, с.155-160.
- 10) Jabua Z., Kupreishvili I., Gigineishvili A., Iluridze G., Minashvili T. The electophysical and optical properties of gadolinium monoantimonide thin film. Phys.Surf.Eng. 2012, v.10, №3, p. 295-298.
- 11) Trapaidze I., Jabua Z., Kupreishvili I., Gigineishvili K., Iluridze G., Minashvili T., Davitadze K. The absorption spectra of  $PrSb_2$  thin films of golden color. 76 Annual Conference of The DDG (Deutschen Physikalischen Gesellschaft) and DDG fruhjahrstagung 2012 (Spring Meeting) of the Condensed Matter Section (SKM). Berlin, March 25-30, 2012.p. 224.



- 12) Kupreishvili I., Gigineishvili A., Iluridze G., Minashvili T. The international science conference dedicated to the 90<sup>th</sup> anniversary of Georgian Technical University. Transactions basic paradigms in science and technology development for the 21<sup>st</sup> century. The relative mechanical strength of Praseodymium Diantimonide thin films. Tbilisi, Georgia. September 19-21, 2012. p. 326-330.
- 13) Jabua Z., Kupreishvili I., Gigineishvili A. Optical properties of  $PrSb_2$  thin films of dark blue coloring. Phys.Surf.Eng. 2013, v.11, №1, p. 22-25.
- 14) Jabua Z., Kupreishvili I., Gigineishvili A. Preparation and electrical properties of TbS films. Inorg.Mat. 2014, v.50, №4, p.330-333.
- 15) Jabua Z., Kupreishvili I., Gigineishvili A., Podzorova E., Luchkova L., Tabatadze I. Electrical and optical properties of  $TbS$  and  $ErTe$  nano films. Nuclear radiation nanosensors and nanosensory systems. Programme and abstracts. Tbilisi, 2014, p.103-104.

Georgian Technical University

Iago Kupreishvili

Technology of preparation of some rear earth pnictides and sulfides films ,  
investigation of physical and electrophysical properties

The Abstract

of the thesis presented for attainment of the

Doctoral academic degree

Tbilisi, Georgia

2015

The work was prepared and done In the Georgian Technical University  
Faculty of Informatics and Control Systems,  
Department of Physics.

The Scientific Supervisor: Doctor of technical science,  
Professor Zaur Jabua

The Reviewers: Doctor of physical – matematical sciense,  
professor Teimuraz Phagava

Doctor of physical – matematical sciense,  
professor Vazha Garibashvili

The defence will ocure in July \_\_\_\_\_, 2015, at

In the Georgian Technical University at the session of Dissertacion Council.

Address: 77, Kostava Str., Tbilisi 0175,Georgia, Building \_\_\_\_\_ Aditorium \_\_\_\_\_

The Thesis is available at the library of the Georgian Technical University

The abstract is available on the webpage of the Georgian Technical University

Scientific Secretary of the Council \_\_\_\_\_ Tinatin Kaishauri

## Abstract

This article examines to obtain some of the rare earth elements' (REE) antimonides' and chalcogenides' thin films and research their optical, electrophysical and mechanical properties. The work consists of an introduction, four chapters and conclusions.

The first chapter provides a brief review of the scientific literature that relates to our interest REE - phase diagrams units of the state, technology of obtain volumetric and thin film's objects, crystal structure, electrophysical and optical properties. From the review of the scientific literature shows that the REE's sulfides, telurides and antimonides are promising materials for use as a practical viewpoint, as well as a solid body with many challenges in terms of rethinking. In REE's antimonides are interesting, and therefore attracts a lot of attention from researchers to intermediate valence when  $f$  electron under certain conditions, loses its stability. REE's intermediate valence can be achieved with two ways: with existence different valence ions in the crystal lattice (unhomogeneous intermediate valence) and continuous fluctuations of each ion of one  $f$  electrons between localized and delocalized conditions the life expectancy is very low ( $\sim 10^{-13} - 10^{-14}$  min) (homogeneous intermediate valence).

REE antimonides' many different unique physical properties are mainly associated with homogeneous intermediate valence. The rare earth elements are difficult fuses materials and obtain stoichiometric composition as volumetric as well thin films facilities are rather difficult task, which is still not completely overcome. This applies particularly on thin films which data about technology of preparation are scarce or almost nonexistent. For microelectronic thin films are of particular interest because in addition to the properties of thin films are often different from the properties of three-dimensional objects, and they sometimes have "unexpected" physical properties. The data about zonal structure a number of sulfides, telurides and antimonides of REE is not available. Also limited scientific information about the mechanical properties of these compounds.

The second chapter briefly describes equipments for obtain of thin films technological, controlling and measurement of physical properties and measurement methods. Much attention has been attached to the thin films acceptable equipment by vacuum - thermal evaporation method, as well as requirements imposed to substrate and their cleaning methods, because on them are highly dependent the crystal lattice improvement and therefore physical properties of obtainable films. The chapter describes the film thickness measurement device, of films' X-ray diffraction, electronographical, chemical composition, research methods of electrophysical properties and devices for learning optical range.

The third chapter contains detailed descriptions of the early vacuum - thermal evaporation method that makes films varieties, such as the evaporation of components from two independent sources and pre-synthesized compounds discrete evaporation. Particular attention is paid to the stage of laying the tape:

material evaporation, steam onto the vacuum, its condensation on the substrate and formation of the film structure. This chapter also contains specific splicing to get the results. The article discusses the chemical and phase composition, crystallinity, structural perfection of technological regimes, the dependence of the study. Given some of the results of the study obtained films by X-ray diffraction, electronographical, X-ray microanalysis, Auger electron spectroscopy (Riber LAS-200 spectrometer) was used to obtain composition depth profiles of the films.

The fourth chapter is entirely devoted to the experimental results and their discussion. Especially is illustrated the study results of praseodim diantimonides, holmium and gadolinium triantimonides, gadolinium and terbium monoantimonides' optical, electric and mechanical properties of thin films laid on various substrates.

It is shown that the valency of antimony praseodim's monoantimonide ribbons of color and, therefore, a great influence is made by the evaporation temperature of antimony. In particular, by increasing, it has been found that the ion valency of antimony is reduced, that makes significant influence on the optical properties of the films.

It is shown that gadoliniums monoantimonide films are closed with their electrical parameters to semi-metals, and holmium and gadolinium triantimonides tape - with metal. At room temperature in the photons energy range 0.05 - 5.5 eV was studied reflection and absorption spectra of thin films of GdSb. It is calculated the spectral dependence of the absorption and refractive coefficient. It is shown that there is a better reflection of the long-wavelength range of the minimum and reflective strips. Absorption spectrum - in three areas: area of high transparency, increase the absorption of 0.25 eV and the structure of the district - on. Analysis concluded that the reflectance spectrum of a sharp increase in wages and the long-wave absorption coefficient can be attributed to the charge carriers in the plasma oscillations.

Energy photons at room temperature 0.06 - 6 eV is measured *TbS* tape reflection and transparency spectra and absorption spectrum frequency dependence graphical analysis is conducted, based on which it is shown that the increase is due to the short-wave absorption spectrum indirect electron transitions.

In the temperature range 100-500 K, is measured resistivity, Hall constant and thermoelectric power - temperature dependence. According to Hall constant measurements TBS tapes has the same conductance as n-type and thermopower - in accordance with the size - *p*-type. Possible reasons for these differences are based on analogy with other materials.

By the complete rubbing method is *PrSb<sub>2</sub>*, *GdSb*, *Ho<sub>5</sub>Sb<sub>3</sub>* *Gd<sub>5</sub>Sb<sub>3</sub>* and *TbS* relative mechanical strength. It is shown that the substrate material is significantly influenced by the relative strength of the mechanical tape. It is believed that the thermal expansion coefficients of the substrate material and the relative affinity laying film leads to an increase of mechanical strength.

At the end of the list are some of the main conclusions of the work and cited literature.

