

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ირაკლი ტაბატაძე

**ზოგიერთი იშვიათმიწა ელემენტის პნიქტიდებისა და
სულფიდების ფირების მომზადების ტექნოლოგიის დამუშავება,
ოპტიკური და ელექტროფიზიკური თვისებების შესწავლა**

დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2014

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 დავით ჯიშიაშვილი

ფიზიკა მათემატიკის მეცნიერებათა
დოქტორი, პროფესორი ამირან ბიბილაშვილი

დაცვა შედგება 2014 წლის _4_ ივლისს, ___14___ საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის
სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე,
კორპუსი __IV__, აუდიტორია __401__

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას ქ. 77

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ - ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი _____ პროფესორი თ. კაიშაური

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

შესავალი. იშვიათმიწა ელემენტების (იმე) ჰალკოგენიდები და ანთიმონიდები ხასიათდებიან მრავალფეროვანი და ხშირად არაჩვეულებრივი ფიზიკური თვისებებით. მათ ფუძეზე შექმნილია ეფექტური ლუმინოფორები, მასალები დისკრეტული და ჰოლოგრაფიული ინფორმაციის ჩასაწერად, ტენზორეზისტორები, თერმოელექტრული გარდამქმნელები, ზედაბალი ტემპერატურის მისაღები მოწყობილობები და ა.შ. იმე-ს შენაერთები, როგორც წესი ძნელდნობადი მასალებია და ამდენად მათ შეუძლიათ მუშაობა მაღალ ტემპერატურებზე. თავიანთი ელექტრული თვისებებით ისინი წარმოადგენენ ნახევარგამტარებს, ლითონებს და ნახევარლითონებს, ზოგიერთი მათგანი კი ზეგამტარია. ზოგადად უნდა აღინიშნოს რომ, იმე-ს შენაერთების თვისებების მრავალფეროვნება პირველ რიგში დაკავშირებულია იმე-ს ატომების ელექტრონული გარსის აგებულების თავისებურებებთან, იმე-ს ატომებს გააჩნიათ შეუვსებელი 4f შიდა გარსი რომლის შევსება ხდება თანდათან *Ce*-დან *Lu*-მდე. ამასთან ადგილი აქვს 4f მდგომარეობის ლოკალიზაციას, რომლებიც ატომური დონეების მსგავსად იქცევიან. შენაერთის თვისებები დამოკიდებულია იმაზე თუ როგორ ენერგეტიკულ მდგომარეობას დაიკავებს ვიწრო ზოგჯერ ზევიწრო 4f ზონა კრისტალის ენერგეტიკულ ზონურ სტრუქტურაში, კერძოდ თუ 4f ზონა მოხვდება აკრძალულ ზონაში მასალა ნახევარგამტარია, თუ 4f ზონა განლაგდა სავალენტო ზონის ფარგლებში შენაერთი წარმოადგენს დიელექტრიკს, ხოლო თუ 4f ზონა მოხვდება გამტარებლობის ზონაში შენაერთი ავლენს ლითონურ თვისებებს.

თემის აქტუალობა. იმე-ს შენაერთების საინტერესო თვისებების მქონე მასალათა კლასს მიეკუთვნებიან ჰალკოგენიდები და ანთიმონიდები.

იმე-ს ჰალკოგენიდები პერსპექტიული მასალებია მიკროელექტრონიკის, რადიოელექტრონიკის, კვანტური ელექტრონიკის და ელექტრონიკის

მთელი რიგი სხვა დარგებისათვის. ასე მაგალითად: მონოჰალკოგენიდები შეიძლება გამოყენებულ იქნან ოპტიკური კავშირისა და მიკროელექტრონული ხელსაწყოების დასამზადებლად. რაც შეეხება ერთნახევრიან სულფიდებს, მათ გააჩნიათ აკრძალული ზონის დიდი სიგანე და წარმოადგენენ საინტერესო მასალებს სპექტრის ხილულ უბანში მომუშავე ოპტოელექტრონული ხელსაწყოების შესაქმნელად.

უკანასკნელ ხანებში დიდი ყურადღება ექცევა მცირე სიგანის აკრძალული ზონის მქონე ნახევარგამტარებსა და ნახევარლითონებს. ამ კუთხით იმე-ს მონოანთიმონიდები უნიკალურ მასალებს წარმოადგენენ, რომლებსაც გარდა იმისა რომ შეუძლიათ მუშაობა მაღალ ტემპერატურებზე, გააჩნიათ მხოლოდ მათთვის დამახასიათებელი თვისებები, რაც გამოწვეულია მთელი რიგი ურთიერთსაწინააღმდეგო თვისებების შეხამებით: ვიწრო (ზოგჯერ ნულოვანი) ჰომოგენურობის არე, ნახევარგამტარული ენერგეტიკული ღრეჩო და გამტარობის ლითონური ხასიათი, მუხტის მატარებელთა მაღალი კონცენტრაცია, დაბალი ძვრადობა, პლაზმური არეკვლის მკვეთრი კიდე. მონოანთიმონიდები წარმოადგენენ პერსპექტიულ რეზისტორულ მასალებს, ასევე მასალებს ზედაბალი ტემპერატურების მისაღებად, საინტერესო თერმოემისიურ მასალებს.

ისევე როგორც სხვა შენაერთების, იმე-ს შენაერთების თვისებების შესწავლა და პრაქტიკული მიზნებისათვის გამოყენება დიდად არის დამოკიდებული ამ მასალების კრისტალურად სრულყოფილი ერთფაზანიმუშების მიღებასთან, მაგრამ დნობის მაღალი ტემპერატურების გამო ეს ამოცანა დღემდე დამაკმაყოფილებლად გადაწყვეტილი არ არის. ამდენად აქტუალურია ისეთი ტექნოლოგიების დამუშავება, რომლებიც საშუალებას იძლევა დამლეულ იქნას ეს სიმნელები. ერთერთი ასეთი ტექნოლოგიაა ფირების მიღება შედარებით მარტივი ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით, მითუმეტეს რომ თანამედროვე მიკროფიროვანი ელექტრონიკისა და ახალი ტექნიკის სხვა დარგების განვითარება მოითხოვს განსაკუთრებული თვისებების მქონე ფიროვანი მასალების ტექნოლოგიების

ფუნდამენტური საფუძვლების დამუშავებას. ამ ამოცანების წარმატებით გადაწყვეტა დაკავშირებულია თხელი ფირების ფიზიკური თვისებების შესწავლასთან. ფირების ქიმიური და ფაზური შემადგენლობის, კრისტალური სტრუქტურისა და მათი სრულყოფის ხარისხთან კავშირში. მხედველობაში მისაღებია ის გარემოებაც რომ თხელფიროვანი ობიექტების თვისებები შესაძლებელია განსხვავდებოდეს მოცულობითი ობიექტების თვისებებისაგან და ამდენად მათი შედარება ხელს უწყობს შენაერთის ბუნების უფრო ღრმად შესწავლას.

იმე-ს სულფიდების, ტელურიდებისა და ანთიმონიდების თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგია სუსტად არის დამუშავებული. ხშირად კი საერთოდ არ არსებობს მონაცემები ზოგიერთი ამ შენაერთის ფირების მიღების, ლეგირების და ფიზიკური თვისებების შესახებ. ამდენად იმე-ს სულფიდების, ტელურიდების და ანთიმონიდების მაღალი კრისტალური სრულყოფის თხელი ფირების მიღება, ლეგირება და ფიზიკური თვისებების შესწავლა აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს.

სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა იმე-ს ზოგიერთი ნაკლებად შესწავლილი სულფიდების, ტელურიდებისა და ანთიმონიდების თხელი ფირების მიღებისა და ლეგირების ტექნოლოგიების დამუშავება. მიღებული ფირების მთელი რიგი ძირითადი ფიზიკური პარამეტრების დადგენა, რისთვისაც დისერტაციაში დასმულია და გადაწყვეტილი შემდეგი ამოცანები:

1) გადოლინიუმის ერთნახევრიანი სულფიდის, დისპროზიუმის მონოანთიმონიდის და ერბიუმის მონოტელურიდის თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგიის დამუშავება სხვადასხვა ფუძემდებზე.

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

3) გადოლინიუმის ერთნახევრიანი სულფიდის თხელი ფირების მალეგირებელი ელემენტების და ლეგირების მეთოდის შერჩევა,

ლეგირების პროცესის ჩატარება ელექტროგამტარობის გაზრდისა და ფოტოელექტრული თვისებების შესწავლის მიზნით.

4) გადოლინიუმის ერთნახევრიანი სულფიდის, დისპროზიუმის მონოანთიმონიდის და ერბიუმის მონოტელურიდის თხელი ფირების ზოგიერთი ელექტრული, გალვანომაგნიტური, თერმოელექტრული, ოპტიკური და მექანიკური თვისებების გამოკვლევა, მათი ძირითადი ფიზიკური პარამეტრების დადგენისა და მოცულობითი ობიექტების შესაბამის თვისებებთან შედარების მიზნით.

5) კადმიუმისა და ტყვიის ატომებით ლეგირებული გადოლინიუმის ერთნახევრიანი სულფიდის თხელი ფირების ელექტრული და ფოტოელექტრული თვისებების შესწავლა.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე:

1) პირველადაა დამუშავებული გადოლინიუმის ერთნახევრიანი სულფიდის თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგია კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან და წინასწარსინთეზირებული მასალის დისკრეტული ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით სხვადასხვა ფუძემდებზე (მონოკრისტალური სილიციუმი, სიტალი, ლეიკოსაფირონი, კვარცი). ასევე პირველადაა დამუშავებული ამავე ფუძემდებზე დისპროზიუმის მონოანთიმონიდის და ერბიუმის მონოტელურიდის თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგია კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით.

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

3) შესწავლილია გადოლინიუმის ერთნახევრიანი სულფიდის, დისპროზიუმის მონოანთიმონიდის და ერბიუმის მონოტელურიდის თხელი ფირების ოპტიკური თვისებები.

4) ფართო ტემპერატურულ ინტერვალში (95 – 700 K) შესწავლილია დისპროზიუმის მონოანთიმონიდის და ერბიუმის მონოტელურიდის

თხელი ფირების კუთრი წინაღობის, ჰოლის მუდმივას, თერმო ემმ-ს, მუხტის მატარებელთა კონცენტრაციის და ძვრადობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე.

5) დამუშავებულია გადოლინიუმის ერთნახევრიანი სულფიდის თხელი ფირების ლეგირების ტექნოლოგია კადმიუმისა და ტყვიის ატომებით და გამოკვლეულია ლეგირებული ფირების ელექტრული და ფოტოელექტრული თვისებები.

6) გამოკვლეულია სხვადასხვა ფუძემრეზე დაფენილი გადოლინიუმის ერთნახევრიანი სულფიდის, დისპროზიუმის მონოანთიმონიდის და ერბიუმის მონოტელურიდის თხელი ფირების ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცე.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება. სადისერტაციო ნაშრომში დამუშავებული იმე-ს სულფიდების, ტელურიდებისა და ანთიმონიდების სრულყოფილი კრისტალური თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგია სხვადასხვა ფუძემრეზე შედარებით მარტივი ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით შეიძლება გამოყენებულ იქნას შესაბამისი ელექტრონული ხელსაწყოების დასამზადებლად.

გადოლინიუმის ერთნახევრიანი სულფიდის ტყვიითა და კადმიუმით ლეგირებული ფირები შეიძლება გამოყენებულ იქნას მათ საფუძველზე ფოტომგრძნობიარე სტრუქტურების შესაქმნელად.

ნაშრომში პირველად მომზადებული ფირების ელექტრული, გალვანომაგნიტური და თერმოელექტრული თვისებების ტემპერატურული და ოპტიკური პარამეტრების სპექტრალური დამოკიდებულების შესწავლის შედეგები ხელს შეუწყობს იმე-ს შენაერთებში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების კანონზომიერებისა და ბუნების შესახებ არსებული წარმოდგენების უფრო ღრმად გააზრებას, ხოლო მრავალი პირველად მიღებული ექსპერიმენტული შედეგი შეიძლება გამოყენებულ იქნას საცნობარო მასალად შესაბამისი დარგის ცნობარებში.

დაცვაზე გამოგვაქვს შემდაგი ძირითადი შედეგები:

1) გადოლინიუმის ერთნახევრიანი სულფიდის, დისპროზიუმის მონოანთიმონიდის და ერბიუმის მონოტელურიდის თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგიის დამუშავება სხვადასხვა ფუძემდებზე. ფირების მიღების ტექნოლოგიური რეჟიმების პარამეტრების გავლენის შესწავლა ფირების ფაზურ და ქიმიურ შემადგენლობაზე, კრისტალური მესრის სრულყოფაზე.

2) გადოლინიუმის ერთნახევრიანი სულფიდის თხელი ფირის მალეგირებელი ელემენტების შერჩევა, ლეგირების მეთოდის დამუშავება და ლეგირებული მასალების ელექტრული და ფოტოელექტრული თვისებები.

3) გადოლინიუმის ერთნახევრიანი სულფიდის, დისპროზიუმის მონოანთიმონიდის და ერბიუმის მონოტელურიდის თხელი ფირების ოპტიკური თვისებები.

4) გადოლინიუმის ერთნახევრიანი სულფიდის, დისპროზიუმის მონოანთიმონიდის და ერბიუმის მონოტელურიდის თხელი ფირების ელექტრული, გალვანომანტური და თერმოელექტრული თვისებები.

5) გადოლინიუმის ერთნახევრიანი სულფიდის, დისპროზიუმის მონოანთიმონიდის და ერბიუმის მონოტელურიდის 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, 2010წ); საერთაშორისო კონფერენციაზე „ნანოსენსორული სისტემები და ნანომასალები“ (თბილისი, 2013წ); საერთაშორისო კონფერენციაზე „ბირთვული რადიაციული ნანოსენსორები და ნანოსენსორული სისტემები“ (თბილისი, 2014 წ); სტუდენტთა 81-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე (თბილისი, 2013წ). 82-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე (თბილისი, 2014წ).

პუბლიკაციები: სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 9 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 167 გვერდს, მათ შორის 120 ნაბეჭდი გვერდი, 56 ილუსტრაცია, 9 ცხრილი და 120 დასახელების ციტირებული ლიტერატურა.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

პირველ თავში მოცემულია იმ სამეცნიერო ლიტერატურის კრიტიკული მიმოხილვა რომელიც ეხება ჩვენთვის საინტერესო იშვიათმიწა ელემენტების სულფიდების, ანთიმონიდებისა და ტელურიდების მოცულობითი და თხელფიროვანი ობიექტების მიღების ტექნოლოგიას, მდგომარეობის ფაზურ დიაგრამებს, კრისტალურ სტრუქტურას, ელექტროფიზიკურ და ოპტიკურ თვისებებს. როგორც ლიტერატურის მიმოხილვიდან ჩანს იმე-ს ჰალკოგენიდები და სულფიდები წარმოადგენენ მნიშვნელოვან ინტერესს როგორც მეცნიერული კვლევის ისე პრაქტიკაში გამოყენების პერსპექტიულობის თვალსაზრისით. ამ მასალების მაღალი ხარისხის სტექიომეტრიული შემადგენლობის ნიმუშების მომზადება წარმოადგენს საკმაოდ რთულ ტექნოლოგიურ ამოცანას, რომელიც დღემდე მთლიანად დამლევული არ არის, რაც თავის მხრივ გავლენას ახდენს მათი ფიზიკური თვისებების შესწავლის დონეზე. განსაკუთრებით მწირია, ან თითქმის არ არსებობს მონაცემები თხელი ფირების ტექნოლოგიისა და ფიზიკური თვისებების შესახებ. არ არის შესწავლილი ტექნოლოგიური პარამეტრების გავლენა მათ ფაზურ და ქიმიურ შემადგენლობაზე, კრისტალური მესრის სრულყოფაზე.

სტექიომეტრიული შემადგენლობის იმე-ს ერთნახევრიან სულფიდებს გააჩნიათ მაღალი კუთრი წინაღობა, რაც მნიშვნელოვნად ზღუდავს

მათ პრაქტიკულ გამოყენებას, ამიტომ აქტუალურია შესაბამისი მალეგირებული ელემენტების შერჩევა და ლეგირების ტექნოლოგიის დამუშავება.

პრაქტიკულად არ მოიპოვება მონაცემები იმე-ს მთელი რიგი ანთიმონიდებისა და სულფიდების ზონური სტრუქტურის პარამეტრების შესახებ.

მიუხედავად იმისა რომ, იმე-ს შენაერთების ფირების მექანიკური თვისებების მიმართ გაზრდილია ინტერესი, სამეცნიერო ლიტერატურაში თითქმის არ მოიპოვება მონაცემები მათი მექანიკური თვისებების შესახებ.

პირველი თავის ბოლოს სამეცნიერო ლიტერატურის მიმოხილვის საფუძველზე ჩამოყალიბებულია სადისერტაციო ნაშრომის მიზანი და ამოცანები.

მეორე თავში აღწერილია ფირების მისაღები თანამედროვე ტექნოლოგიური, მაკონტროლებელი და ფიზიკური თვისებების გასაზომი დანადგარები და გაზომვის მეთოდიკა: კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან და წინასწარსინთეზირებული მასალის დისკრეტული ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდებით ფირების მისაღები დანადგარი; ფუძემრეებისადმი წაყენებული მოთხოვნები და მათი გაწმენდის მეთოდიკა; ფირების სისქის კონტროლი; ფირების რენტგენოდიფრაქციული და ელექტრონოგრაფიული კვლევის მეთოდები; ქიმიური შემადგენლობის კვლევის მეთოდიკა; ელექტროფიზიკური თვისებების კვლევის მეთოდიკა; ოპტიკური სპექტრების გამოსაკვლევი მოწყობილობები; ფოტოელექტრული თვისებების შესასწავლი დანადგარები.

ფირების მიღება ხდებოდა მოდერნიზებულ სამრეწველო დანადგარებზე YBH 75P3 და YBH 2Y და ვაკუუმურ პოსტზე ВУП-5. ფუძემრის გამახურებელი და კომპონენტების ამორთქლებელი ღუმელები ორიგინალური კონსტრუქციის იყო და უზრუნველყოფდნენ სტაბილური ტემპერატურის მიღწევას შესაბამისად ± 5 K და $\pm 10-12$ K სიზუსტით. ფირების სისქის გაზომვა ხდებოდა МИИ-4 მარკის ინტერფერენციული მიკროსკოპით. მომზადებული ფირების ფაზური შემადგენლობის და

კრისტალურობის კონტროლი ხდებოდა რენტგენოდიფრაქციული და ელექტრონოგრაფიული მეთოდებით შესაბამისად ДРОН 1 მარკის დიფრაქტომეტრსა და YEMB-100K მარკის ელექტრონულ მიკროსკოპზე.

ცნობილია რომ ფირების ქიმიური შენადგენლობის დადგენა საკმაოდ რთული ამოცანაა მათში ნივთიერების მცირე რაოდენობის გამო. ამჟამად ამ მიზნით ძირითადად გამოიყენება რენტგენული მიკროანალიზის და ელექტრონული ოქე-სპექტროსკოპიის მეთოდები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან საკმაოდ მაღალი სიზუსტით დადგინდეს მყარი სხეულების ზედაპირული ფენების ქიმიური შემადგენლობა მასალის დაზიანების გარეშე. ჩვენს მიერ მომზადებული ფირების ქიმიური შემადგენლობის კონტროლი წარმოებდა „CAMEBAX-MICROBEAM” მარკის რენტგენული მიკროანალიზის დანადგარზე PDP11/73 ეგმ - ის გამოყენებით.

კუთრი წინაღობის, ჰოლის მუდმივას და თერმო ემმ-ს ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გაზომვა წარმოებდა დანადგარებზე, რომლებიც ამ თავში დეტალურადაა აღწერილი. კუთრი წინაღობის და თერმო ემმ-ს გაზომვის სიზუსტე შეადგენდა 3-4%, ხოლო ჰოლის მუდმივას - 8-10%. ფოტოელექტრული თვისებების შესწავლა ხდებოდა ИКМ-1 მონოქრომატორის ბაზაზე აწყობილ დანადგარზე, ხოლო ფირების არეკვლისა და გამჭვირვალობის სპექტრალური დამოკიდებულების გაზომვა ხორციელდებოდა მოდერნიზებულ უნივერსალურ სპექტრალურ - გამომთვლელ კომპლექსზე КСВУ-2 და ინფრაწითელ სპექტრალურ გამომთვლელ კომპლექსზე КСВН.

ამ თავში დეტალურადაა აღწერილი ყველა ამ დანადგარის მუშაობის პრინციპი, პარამეტრები, გაზომვებისა და მიღებული შედეგების დამუშავების მეთოდიკები.

მესამე თავის დასაწყისი მთლიანად დათმობილი აქვს ვაკუუმურ-თერმული აორთქლებით თხელი ფირების მიღების მეთოდებს და ტექნოლოგიურ თავისებურებებს. დეტალურადაა განხილული ისეთი საკითხები როგორებიცაა: ნივთიერების აორთქლება და განაწილება

ფუძემდებზე; ფირების წარმოქმნის კინეტიკა და სტრუქტურა; სხვადასხვა პარამეტრების გავლენა ფირების სტრუქტურაზე; ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით ფირების მიღების სახესხვაობები. კერძოდ, ფირების მიღება შემადგენელი კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდი და წინასწარ-სინთეზირებული მასალის დისკრეტული ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდი. მოყვანილი მასალის კრიტიკული ანალიზის საფუძველზე გაკეთებულია შესაბამისი დასკვნები, რომლებიც საშუალებას იძლევა იმე-ს კონკრეტული შენაერთის თხელი ფირების მიღებისას სწორად იქნას შერჩეული ის მეთოდი, რომელიც საშუალებას იძლევა მიღებულ იქნას სტექიომეტრიული შემადგენლობის კრისტალურად სრულყოფილი ფირი.

ამავე თავში მოყვანილია გადოლინიუმის ერთნახევრიანი სულფიდის, დისპროზიუმის მონოანთიმონიდის და ერბიუმის მონოტელურიდის თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგიური პარამეტრები. ასევე გადოლინიუმის ერთნახევრიანი სულფიდის მალეგირებელი ელემენტების და ლეგირების მეთოდის შერჩევა.

ფირების მიღება წარმოებდა 10^{-5} - 10^{-6} მმ ვწყ. სვ. ვაკუუმის პირობებში. ფუძემდებად გამოყენებული იყო მართკუთხა პარალელეპიპედის ფორმის მონოკრისტალური სილიციუმის, სიტალის, ლეიკოსაფირონის და კვარცის ფირფიტები ზომებით 15 X 8 X 5 მმ.

საწყის მასალებს წარმოადგენდნენ: 1) ГДМ-1 მარკის ლითონური *Gd*, რომელშიც *Sm*, *Eu*, *Tb* და *Yb* ჯამური შემცველობა ტოლი იყო 0,1%. მასალა ასევე შეიცავდა $Fe \leq 0,01\%$, $Ca \leq 0,01\%$, $Cu \leq 0,01\%$, *Ta*, *Nb* ან *Mo* 0,02%; 2) ДИМ-1 მარკის ლითონური *Dy*, მასში *Te*, *Gd*, *Er*, *Y* ჯამური შემცველობით - 0,1%. მასალა ასევე შეიცავდა $Fe \leq 0,01\%$, $Ca \leq 0,01\%$, $Cu \leq 0,03\%$, *Ta* ან *Mo* 0,02%; 3) ЭРМ-1 მარკის ლითონური *Er*, რომელშიც *Dy*, *Ho*, *Tm* და *Y* ჯამური შემცველობა ტოლი იყო 0,1%. მასალა ასევე შეიცავდა $Fe \leq 0,01\%$, $Ca \leq 0,01\%$, $Cu \leq 0,03\%$, *Ta* ან *Mo* 0,02%; 4) გოგირდის წყაროდ ვიყენებდით B-5 მარკის გოგირდს, მისი შემცველობით არა ნაკლებ 99,99%; 5) ტელურის წყაროს

წარმოადგენდა - T-cH მარკის ტელური, ტელურის შემცველობით არანაკლებ 99,999%; 6) ანთიმონის წყაროს წარმოადგენდა Cy0000 მარკის ანთიმონი მისი შემცველობით არანაკლებ 99,99%.

Gd_2S_3 მალეგირებელ ელემენტებად გამოყენებულ იყო Kd 0000 მარკის Cd მისი შემცველობით 99,9999% და C 0000 მარკის Pb მისი შემცველობით 99,9999%.

მოცემულ ნაშრომში ყველა ფირის მიღება ხდებოდა კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან ვაკუუმურ - თერმული აორთქლების მეთოდით. ცნობილია რომ ამ მეთოდის წარმატებით გამოყენება მოითხოვს ფუძემშრის და კომპონენტების ამორთქლებლების ტემპერატურების, ასევე მათი ურთიერთგანლაგების ისეთნაირად შერჩევას რომ, ფუძემშრეზე განხორციელდეს კომპონენტების კონდენსაცია საჭირო თანაფარდობით. ამ პარამეტრების ზუსტად გათვლის მეთოდიკა არ არსებობს, ამიტომ მათი დადგენა ხდებოდა ემპირიულად ზოგად დებულებებზე დაყრდნობით. ჩვენს შემთხვევაში დაფენის ოპტიმალური რეჟიმის შესარჩევად მოცემული შემადგენლობის ფირის მისაღებად დაგჭირდა 60 – 70 ცდის ჩატარება.

Gd_2S_3 და $DySb$ ფირების მიღებას ვაწარმოებდით ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდის სახესხვაობითაც: წინასწარსინთეზირებული მასალის დისკრეტული ვაკუუმურ-თერმული აორთქლებით, რომლის არსი მდგომარეობს ამორთქლებელზე შენაერთის ფხვნილის გარკვეული ულუფებით მიწოდებასა და ორთქლის ფუძემშრეზე კონდენსაციაში. ამ მეთოდის წარმატებით განხორციელებისათვის საჭიროა ამორთქლებლის და ფუძემშრის ტემპერატურებისა და მათ შორის ოპტიმალური მანძილის შერჩევა. გარდა ამისა დიდი მნიშვნელობა აქვს ამორთქლებელზე მიწოდებული ფხვნილის მარცვლების ზომას. Gd_2S_3 -ის შემთხვევაში ამორთქლებლის ოპტიმალური ტემპერატურა იყო 1900 K, ფუძემშრის -1125 K, ხოლო $DySb$ – ს შემთხვევაში ამორთქლებლის ოპტიმალური ტემპერატურა შეადგენდა 1540 K, ფუძემშრის - 1125 K. ფხვნილის მარცვლების დიამეტრი - 110-120 მკმ. Gd_2S_3 და $DySb$ საწყის მასალად გამოყენებული

იყო კომპანია *Rare Earth Bullion Ltd (Company No: 08175229)*-გან მოწოდებული მოცულობითი კრისტალები. ჩვენს მიერ ამ მეთოდით მომზადებულ Gd_2S_3 -ის ფირებს გააჩნდათ Th_3P_4 ტიპის კუბური მესერი, მესრის მუდმივათი $a = 8,34\text{\AA}$. $DySb$ – ის ფირებს გააჩნდათ წახნაგ-ცენტრირებული $NaCl$ ტიპის კუბური მესერი, მესრის მუდმივათი $a = 6,14\text{\AA}$. შევნიშნოთ რომ დისკრეტული ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით მიღებული ფირების რენტგენოდიფრაქტოგრაფიაზე დიფრაქციული მაქსიმუმები უფრო მაღალია და ვიწროა ვიდრე კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით მიღებული ფირების შესაბამისი მაქსიმუმები, რაც მიუთითებს იმაზე რომ დისკრეტული ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით მიღებული ფირები კრისტალურად უფრო სრულყოფილია ვიდრე კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით.

როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ მიღებული ფირების ფაზური შემადგენლობისა და მესრის კრისტალური სრულყოფის კონტროლი ხდებოდა რენტგენოდიფრაქციული და ელექტრონოგრაფიული მეთოდებით, რომლებმაც აჩვენეს რომ ოპტიმალური ტექნოლოგიური რეჟიმებით მიღებულ ფირებს გააჩნიათ სრულყოფილი კრისტალური მესერი და არ შეიცავენ სხვა ფაზებს. გადოლინიუმის ერთნახევრიანი სულფიდის და დისპროზიუმის მონოანთიმონიდის ორივე მეთოდით მიღებული ფირების მესრის პარამეტრები გაზომვის ცდომილების ფარგლებში ერთმანეთს ემთხვევიან.

ქვემოთ მოყვანილ ცხრილ 1-ში მოცემულია კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით ფირების მიღების ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრები და მიღებული ფირების რენტგენოდიფრაქციული და მიკროზონდური გამოკვლევების შედეგები.

კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან ვაკუუმურ- თერმული აორთქლების მეთოდით Gd_2S_3 -ის, $DySb$ -ის და $ErTe$ -ის ფირების მიღების ოპტიმალური ტექნოლოგიური რეჟიმები, რენტგენოდიფრაქციული, ელექტრონოგრაფიული და მიკროზონდური კვლევის შედეგები.

შენაერთი	$T_{ფ}$, K	$T_{ობე}$, K	$T_{S,Sb,Te}$, K	$d_{ობე}$, მმ	$d_{S,Sb,Te}$, მმ	$\alpha_{ობე}$	$\alpha_{S,Sb,Te}$	სინგონია	სტრუქტურული ტიპი	მესრის პარამეტრი a, Å	კომპონენტების შემცველობა, ატ%
Gd_2S_3	1125	1900	450	95	15	25	25	კუბური	Th_3P_4	8,34	39,9ატ% Gd 60,1ატ% S
$DySb$	1125	1540	860	40	45	35	35	„	$NaCl$	6,14	49,8 ატ% Dy , 50,2 ატ% Sb
$ErTe$	1125	1800	795	55	40	20	35	„	„	6,03	50,2ატ% Er 49,8ატ% Te .

$T_{ფ}$ - ფუძეშრის ტემპერატურა; $T_{ობე}$ - იმე-ს ამორთქლებლის ტემპერატურა; $T_{S,Sb,Te}$ - გოგირდის, ანტიმონის, ტელურის ამორთქლებლის ტემპერატურა; $d_{ობე}$ - მანძილი იმე-ს ამორთქლებლიდან ფუძეშრემდე; $d_{S,Sb,Te}$ - მანძილი გოგირდის, ანტიმონის, ტელურის ამორთქლებლიდან ფუძეშრემდე; $\alpha_{ობე}$ - კუთხე იმე-ს ამორთქლებლის ღერძსა და ფუძეშრის ნორმალს შორის; $\alpha_{S,Sb,Te}$ - კუთხე გოგირდის, ანტიმონის, ტელურის ამორთქლებლების ღერძსა და ფუძეშრის ნორმალს შორის.

დისპროზიუმის მონოანტიმონიდის ფირების ზედაპირზე გადაღებულ იქნა შემადგენელი კომპონენტების განაწილების სურათი რენტგენის მეორად სხივებში, რომლებმაც აჩვენეს რომ ზედაპირი პრაქტიკულად უდეფექტოა, ხოლო მათში ელემენტები განაწილებულია საკმაოდ ერთგვაროვნად. დაკვირვებებმა აჩვენეს რომ $DySb$ -ის თხელი ფირების დაყოვნება ატმოსფერულ ჰაერზე რამდენიმე დღის განმავლობაში იწვევს მათი შეფერილობის ცვლილებას და რენტგენოდიფრაქტოგრამებზე $SbDyO_3$ -ის შესაბამისი მაქსიმუმების გაჩენას, რაც მეტყველებს ამ ფირების დაბალ მდგრადობაზე ატმოსფერულ ჰაერზე.

ამავე თავში მოყვანილია Gd_2S_3 -ის ფირების მალეგირებელი ელემენტების და ლეგირების მეთოდის შერჩევა და ლეგირების რეჟიმები. როგორც

ცნობილია იმე-ს ერთნახევრიან სულფიდებს (მათ შორის Gd_2S_3) გააჩნიათ საკმაოდ ფართო აკრძალული ზონის სიგანე და ძალიან მაღალი კუთრი წინაღობა. ამდენად აქტუალურია მათი ლეგირების ამოცანა. გეომეტრიული, ელექტროქიმიური და სხვა ფაქტორების გათვალისწინებით Gd_2S_3 -ის ფირის მალეგირებელ ელემენტებად არჩეულ იქნა ტყვია და კადმიუმი. კადმიუმით ლეგირებას ვაწარმოებდით ორთქლის ფაზიდან ამპულური მეთოდით 875 K ტემპერატურაზე 23 საათის განმავლობაში. ტყვიით ლეგირებას კი ვახდენდით მყარი ფაზიდან, რისთვისაც ფირებზე ვაკუმურ-თერმული აორთქლებით ვაფენდით 3-4 მკმ სისქის ტყვიის ფენას და ვაწარმოებდით დიფუზიურ გამოწვას სპექტრალურად სუფთა არგონით ავსებულ კვარცის ამპულაში 60-70 საათის განმავლობაში 875 K ტემპერატურაზე. ლეგირების პროცესის დასრულების შემდეგ ფირის ზედაპირს მექანიკურად ვაშორებდით ნარჩენ პროდუქტებს და ვაწარმოებდით მომზადებული ფირების რენტგენოდიფრაქციულ და ელექტრონოგრაფიულ კვლევას, რომლებმაც აჩვენეს რომ ლეგირების შემდეგ ფირებში ახლი ფაზების გაჩენას ადგილი არ აქვს.

ცხრილ 2-ში მოყვანილია გადოლინიუმის ერთნახევრიანი სულფიდების თხელი ფირების ზოგიერთი პარამეტრი ლეგირებამდე და ლეგირების შემდეგ. როგორც ცხრილიდან ჩანს ყველა ლეგირებული ფირი ელექტრონული გამტარებლობისა და კუთრი წინაღობა ლეგირების შემდეგ ~ 7 რიგით ნაკლებია ლეგირებამდე კუთრ წინაღობასთან შედარებით.

მეოთხე თავში მოყვანილია მიღებული ფირების ოპტიკური, ელექტროფიზიკური და მექანიკური თვისებების კვლევის შედეგები.

ფოტონების ენერჯიათა უბანში 0,2-3,0 ევ შესწავლილ იქნა Gd_2S_3 ფირების არეკვლისა და გამჭვირვალობის სპექტრები. მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე ჩატარებულ იქნა შთანთქმის კოეფიციენტის α -ს სიხშირული ანალიზი. რომელმაც აჩვენა რომ ექსპერიმენ-

Gd_2S_3 ფირების პარამეტრები ლეგირებამდე და Cd და Pb - ით ლეგირების შემდეგ

მასალა	მალეგირებული მინარევი	გამტარებლობის ტიპი	გამოწვის ხანგრძლივობა, სთ	ლეგირების ტემპერატურა, K	ფირის სისქე მკმ	ფერი ლეგირების შემდეგ	კუთრი წინაღობა ლეგირებამდე, ომი-მ	ლეგირების შემდეგ, ომი-მ
$\gamma-Gd_2S_3$	Cd	n	23	875	1,8	მუქი ყვითელი	10^8	20
$\gamma-Gd_2S_3$	Pb	n	65	875	1,7	მუქი ყავისფერი	10^8	8

ტალური მონაცემები არ ლაგდებიან არც პირდაპირი დაშვებული გადასვლების შესაბამის დამოკიდებულებაზე $\alpha h \sim (\hbar \omega - \Delta E_{gt})^{1/2}$ და არც არაპირდაპირი გადასვლების შესაბამის დამოკიდებულებაზე $\alpha h \sim (\hbar \omega - \Delta E_{gt})^2$, მაგრამ ენერჯიათა მთელს უბანში ეს დამოკიდებულება კარგად აღიწერება ფორმულით $\alpha = \alpha_0 \exp(\Gamma \hbar \omega)$, სადაც მუდმივა $\Gamma=4,9$. ამდენად შეგვიძლია ვთქვათ რომ $\gamma - Gd_2S_3$ -ის ფირების შთანთქმის კიდე ექსპონენციალური ბუნებისაა, ხოლო აკრძალული ზონის სიგანე დაახლოებით 2,85 ევ-ის ტოლია. აკრძალული ზონის უფრო ზუსტი განსაზღვრისათვის საჭიროა ექსპონენციალური არის ზემოთ შთანთქმის კოეფიციენტის ცვლილების ცოდნა. ამ თვალსაზრისით ჩვენი მონაცემები კარგად შეესაბამებიან Nd_2S_3 კვლევის შედეგებს. შთანთქმის კოეფიციენტის ექსპონენციალური ზრდა ასევე დამახასიათებელია La_2S_3 - სთვის.

ფოტონების ენერჯიათა უბანში 0,05-5,5 ევ გადაღებულ იქნა $DySb$ -ის ჩვენს მიერ მომზადებული ფირების არეკვლისა და გამჭვირვალობის სპექტრები. არეკვლის სპექტრზე შეიმჩნევა ღრმა მინიმუმი 0,28 ევ-ზე, რომელსაც თან ახლავს მკვეთრად გამოხატული გრძელტალღოვანი არეკვლის კიდე, ასევე კარგად ჩამოყალიბებული არეკვლის ზოლი

მაქსიმუმით 0,50 ევ-ზე, მინიმუმით 0,22 ევ-ზე და სტრუქტურა 1,67 ევ-ზე. რაც შეეხება გამჭვირვალობის კოეფიციენტის სპექტრალურ დამოკიდებულებას, ძლიერი შთანთქმის ფონზე შეიმჩნევა შედარებითი მაღალი გამჭვირვალობის უბანი 0,46 ევ-ზე, სტრუქტურა 0,23 ევ-ზე და გამჭვირვალობის კოეფიციენტის მკვეთრი ზრდა 0,12 ევ-ზე დაბალი ენერგიების უბანში.

დისპროზიუმის მონოანთიმონიდის ოპტიკური სპექტრების ინტერპრეტაცია გაძნელებულია, ვინაიდან არ არსებობს მონაცემები მათი ენერგეტიკული ზონური სტრუქტურის შესახებ. ერთადერთი რაც შეიძლება დაბეჯითებით ითქვას ისაა რომ ღრმა მინიმუმი არეკვლის სპექტრზე 0,22 ევ-ზე და მასთან დაკავშირებული გრძელტალღოვანი არეკვლის ზრდა დაკავშირებულია მუხტის მატარებლების პლაზმურ რხევებთან.

95-700 K ტემპერატურულ შუალედში $DySb$ -ის ფირებზე შევისწავლეთ კუთრი წინაღობის და ჰოლის მუდმივას ტემპერატურაზე დამოკიდებულება. ტემპერატურის გაზრდით კუთრი წინაღობა წრფივად იზრდება, ხოლო ჰოლის მუდმივას აბსოლუტური სიდიდე არაწრფივად კლებულობს. ჰოლის მუდმივას გაზომვის მთელს ტემპერატურულ ინტერვალში უარყოფითი ნიშანი გააჩნია, რაც იმას ნიშნავს რომ მუხტის მატარებლებს წარმოადგენენ ელექტრონები. მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემების გამოყენებით ერთზონიანი მიახლოებით გამოთვლილ იქნა მუხტის მატარებლების ძვრადობისა და კონცენტრაციის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება, რომელმაც აჩვენა რომ ტემპერატურის გაზრდით ძვრადობა არაწრფივად კლებულობს, ხოლო კონცენტრაცია მატულობს. გაზომილი ელექტროფიზიკური პარამეტრების ტემპერატურაზე დამოკიდებულება და ამ პარამეტრების სიდიდე მიუთითებს იმაზე რომ დისპროზიუმის მონოანთიმონიდი სხვა იმე-ს მონოანთიმონიდების მსგავსად ნახევარლითონებს წარმოადგენს.

ოთახის ტემპერატურაზე, ფოტონების ენერჯიათა შუალედში 0,5-4,0 ევ შესწავლილ იქნა $EeTe$ -ის მიღებული ფირების შთანთქმის სპექტრი.

რომელზედაც შეიმჩნევა კარგად გამოკვეთილი შთანთქმის ძლიერი ოთხი ზოლი ენერგიების მაქსიმუმებით 1,2 ევ, 2,0 ევ, 2,8 ევ და 3,5 ევ. ერბიუმის ტელურიდის ზონური აგებულების სქემა ცნობილი არ არის. ამდენად მიღებული შედეგების ინტერპრეტაციისათვის ვისარგებლეთ სამარიუმის მონოჰალკოგენიდების ანალიზისათვის გამოყენებული მეთოდიკით, რომელიც ეფუძნება მეტფესელის მიერ ევროპიუმის მონოჰალკოგენიდისათვის მოყვანილი ზონური აგებულების სქემას.

100-500 K ტემპერატურულ ინტერვალში შესწავლილია $ErTe$ -ის ფირების ჰოლის მუდმივას, კუთრი წინალობის და თერმო ემმ-ს ტემპერატურაზე დამოკიდებულება. როგორც გაზომვებმა გვიჩვენეს კუთრი წინალობა ტემპერატურის მიხედვით თითქმის წრფივად იზრდება, ხოლო ჰოლის მუდმივა არ იცვლება, რაც მიუთითებს იმაზე რომ, მუხტის მატარებლების კონცენტრაცია მუდმივა. ეს საფუძველს გვაძლევს ვივარაუდოთ, რომ სამვალენტიანი იმე-ს ტელურიდების ელექტრული თვისებების აღწერისას შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას ერთვალენტიანი ლითონის მოდელი.

უნდა შევნიშნოთ რომ ჰოლის მუდმივას გაზომვების მიხედვით $ErTe$ -ის ფირებს გააჩნიათ n ტიპის გამტარებლობა, ხოლო თერო ემმ-ს გაზომვების მიხედვით - p ტიპის. ახსნილია ასეთი განსხვავების მიზეზი სპილენძის, ვერცხლის, ოქროს და სხვა ერთვალენტიანი ლითონების და ტერბიუმის მონოსულფიდის ანალოგიით, რომლებშიც შეიმჩნევა ასეთივე ეფექტი. ერთზონიანი მიახლოებით გათვლილია $ErTe$ -ში მუხტის მატარებლების კონცენტრაციის და ძვრადობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე. ნაჩვენებია რომ ელექტრონების კონცენტრაცია 10^{22}სმ^{-3} რიგისაა და ის მუდმივა, ძვრადობა კი ტემპერატურის გაზრდით მცირდება.

მოცემულ ნაშრომში, ტემპერატურათა ინტერვალში 80-500 K შესწავლილი იქნა ლეგირებული ფირების ფოტოგამტარობისა და ფოტო ემმ-ს ტემპერატურაზე დამოკიდებულება. ტყვიით ლეგირებულ ფირებში ყველა ტემპერატურაზე დაიმზირება ფოტოგამტარობის პიკები დაახლო-

ებით 0,53 ევ-ზე, რომელიც ალბათ შეესაბამება ტყვიის ძირითად დონორულ დონეს. კადმიუმის ატომებით ლეგირებული ფირების ფოტოგამტარობის სპექტრიდან ჩანს რომ, კადმიუმი ქმნის თხელ დონორულ დონეს.

კადმიუმით ლეგირებული ფირების ფოტოგამტარობის ზოლში გრძელტალღოვან კიდესთან ფოტომგრძნობიარობის სპექტრალური დამოკიდებულების ანალიზი იმაზე მეტყველებს რომ შთანთქმის კიდის ფორმირებაში მონაწილეობას არ იღებენ ელექტრონების პირდაპირი ზონათაშორისი გადასვლები. ფოტოგამტარობის სიხშირული დამოკიდებულება ამ კიდესთან ექსპონენციალურთან ახლოსაა, რაც კარგად ეთანხმება ჩვენს მიერ $\gamma\text{-Gd}_2\text{S}_3$ -ის ოპტიკური სპექტრების კვლევის შედეგებს.

სტრუქტურების არსებობა, მათი ენერგეტიკული მდგომარეობა და მაღალი ფოტომგრძნობიარობა შესაძლებლობას გვაძლევს დავასკვნათ რომ $\gamma\text{-Gd}_2\text{S}_3$ -ის ფირებში ფოტოპროცესებში თავიანთი წვლილი შეაქვთ ელექტრონების გადასვლებს როგორც ლოკალური დონეებიდან, ასევე ზონათაშორის გადასვლებს. მოცემული სპექტრალური დამოკიდებულების ანალიზი საშუალებას გვაძლევს ვივარაუდოთ, რომ მინარეული ატომების შეყვანამდე აკრძალულ ზონაში არსებობენ ღრმა აქცეპტორული დონეები. ლეგირების შემდეგ ფოტომგრძნობიარობა განისაზღვრება ტყვიის და კადმიუმის ატომების დონორული მინარეების შეყვანით. რომლებიც თვითონ წარმოადგენენ ფოტოგამტარობის ერთ-ერთ წყაროს და ამავე დროს გავლენას ახდენენ უკვე არსებული აქცეპტორული დონეების ფოტოპროცესში მონაწილეობის როლზე.

ჩვენს მიერ ასევე შესწავლილ იქნა ფოტოგამტარობის ხანგრძლივი რელაქსაციის პროცესები კადმიუმის ატომებით ლეგირებულ ფირებში. ექსპერიმენტებმა აჩვენეს რომ ფოტოგამტარობის ხანგრძლივი რელაქსაცია დაიძირება როგორც მონოქრომატული განათების გამორთვის, ისე ჩართვის დროსაც. ახსნილია რელაქსაციის პროცესის გამომწვევი მექანიზმები.

მოყვანილი ექსპერიმენტული შედეგები მეტყველებენ იმაზე რომ Gd_2S_3 -ის ტყვიით და კადმიუმით ლეგირებული ფირები შეიძლება

პერსპექტიული მასალები იყვნენ მათ ფუძეზე ფოტომგრძობიარე სტრუქტურების შესაქმნელად.

ფირების ელექტრული და ოპტიკური თვისებების შესწავლასთან ერთად დიდი მნიშვნელობა აქვს მათი მექანიკური თვისებების დადგენას, ვინაიდან ზოგჯერ ფირებს რომლებსაც საჭირო ელექტროფიზიკური და ოპტიკური თვისებები გააჩნიათ, ხასიათდებიან დაბალი მექანიკური მდგრადობით, რაც სერიოზულ პრობლემებს ქმნის მათ საფუძველზე სხვადასხვა ხელსაწყოების შექმნაში.

მოცემულ სამუშაოში ფირების მექანიკური სიმტკიცე შესწავლილ იქნა ე.წ. სრული გადახევის მეთოდით. ფირების მექანიკურ სიმტკიცესა და მათ ფუძემდებელ მიკრობადობის ხარისხზე შეიძლება ვიმსჯელოთ იმ მუშაობის მიხედვით რომელიც შეიძლება დაიხარჯოს იმისათვის რომ ფუძემდებელ მთლიანად გადაიხეოს მასზე დაფენილი ფირი. ამ მეთოდის არსი მდგომარეობს ერთი და იმავე სისქის ფირებზე ერთი და იმავე დატვირთვისას გასმათა რიცხვის დათვლაში, რომელიც საჭიროა ფუძემდებელ ფირის სრული გადახევისათვის.

როგორც ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა აჩვენეს დისკრეტული ვაკუუმურ-თერმული აორთქლებით მიღებული Gd_2S_3 -ის თხელი ფირების ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცე თითქმის ერთნახევარჯერ აღემატება ამავე მასალის კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით მიღებული ფირების სიმტკიცეს და ეს კანონზომიერება სამართლიანია ყველა გამოყენებული ფუძემდებლისათვის. ეს ფაქტი ალბათ აიხსნება იმ გარემოებით, რომ დისკრეტული აორთქლებით მიღებული ფირების კრისტალური მესერი უფრო სრულყოფილია ვიდრე კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან აორთქლების მეთოდით მიღებული ფირების კრისტალური მესერი.

ანალოგიურმა ექსპერიმენტებმა აჩვენეს, რომ $DySb$ -ის და $ErTe$ -ის ფირების ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცე ყველა გამოყენებულ ფუძემდებელ თითქმის ერთნაირია და $\sim 1,3-1,5$ ჯერ აღემატება ყველაზე

დაბალი მექანიკური სიმტკიცის მქონე იმე-ს მონოანთიმონიდის - $TmSb$ -ის ფირის ფარდობით მექანიკურ სიმტკიცეს. აქვე შევნიშნოთ, რომ ყველა ფირისათვის ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცე იზრდება გამოყენებული ფუძემშრის მასალისათვის მიმდევრობით: მონოკრისტალური სილიციუმი, სიტალი, ლეიკოსაფირონი, რაც ალბათ აიხსნება ფირისა და ფუძემშრის სითბური გაფართოების კოეფიციენტების სიდიდეების ერთმანეთთან მიახლოებით ამავე მიმდევრობით.

დასკვნები

ნაშრომში შესრულებული სამუშაოს შედეგები შეიძლება ჩამოვყალიბოთ შემდეგი ძირითადი დასკვნების სახით:

1) პირველად დამუშავებულია Gd_2S_3 -ის, $DySb$ -ის და $ErTe$ -ის თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგია კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით, და Gd_2S_3 -ის და $DySb$ -ის თხელი ფირების მიღების ტექნოლოგია წინასწარსინთეზირებული მასალის დისკრეტული ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდი სხვადასხვა ფუძემშრეზე (მონოკრისტალური სილიციუმი, სიტალი, ლეიკოსაფირონი, კვარცი).

2) ჩატარებულია მომზადებული ფირების რენტგენოდიფრაქციული და ელექტრონოგრაფიული ანალიზი. ნაჩვენებია რომ, Gd_2S_3 -ის ფირებს გააჩნიათ Th_3P_4 -ის ტიპის მოცულობაცენტრირებული კუბური (γ ფორმა) მესერი, მესრის მუდმივათი $a=8,34 \text{ \AA}$. ხოლო $DySb$ -ს და $ErTe$ -ს $NaCl$ -ის ტიპის წახნაგცენტრირებული კუბური მესერი შესაბამისად მესრის მუდმივებით $a = 6,14 \text{ \AA}$ და $a = 6.03 \text{ \AA}$.

3) რენტგენულმა მიკროზონდურმა ანალიზმა აჩვენა რომ მიღებული ფირების შემადგენლობა ახლოსაა სტექიომეტრულთან. Gd_2S_3 - ის ფირები შეიცავენ 39,9 ატ% Gd და 60,1 ატ% S , $DySb$ - ის ფირები - 49,8 ატ% Dy და 50,2 ატ% Sb , ხოლო $ErTe$ -ის კი - 50,2 ატ % Er და 49,8 ატ % Te .

4) ჩატარებულია $\gamma - Gd_2S_3$ - ის ფირების ლეგირება კადმიუმის ატომებით აირადი ფაზიდან და ტყვიის ატომებით მყარი ფაზიდან.

5) ოთახის ტემპერატურაზე, ფოტონების ენერჯიათა უბანში 0,2-3,0 ევ, შესწავლილია $\gamma - Gd_2S_3$ -ის თხელი ფირების არეკვლისა და გამჭვირვალობის სპექტრები. გათვლილია შთანთქმის კოეფიციენტის α -ს სპექტრალური დამოკიდებულება. ნაჩვენებია, რომ ენერჯიათა მთელს უბანში ეს დამოკიდებულება ექსპონენციალური ხასიათისაა - $\alpha = \alpha_0 \exp(\Gamma h \omega)$. შეფასებულია აკრძალული ზონის სიგანე და ის $\sim 2,85$ ევ-ის ტოლია.

6) ოთახის ტემპერატურაზე, ფოტონების ენერჯიათა უბანში 0,05-5,5 ევ, შესწავლილია $DySb$ - ის თხელი ფირების არეკვლისა და გამჭვირვალობის სპექტრები. არეკვლის სპექტრზე შეიმჩნევა რამდენიმე თავისებურება: ღრმა მინიმუმი 0,28 ევ-ზე, არეკვლის ზოლი მაქსიმუმით 0,50 ევ-ზე, მინიმუმი 0,22 ევ-ზე და სტრუქტურა 1,67 ევ-ზე. გამჭვირვალობის კოეფიციენტის სპექტრალურ დამოკიდებულებაზე კი შეიმჩნევა მაღალი გამჭვირვალობის უბანი 0,46 ევ-ზე და სტრუქტურა 0,23 ევ-ზე.

$DySb$ -ის ოპტიკური სპექტრების ინტერპრეტაცია გაძნელებულია ენერგეტიკული ზონური სტრუქტურის შესახებ მონაცემების არ არსებობის გამო. ერთადერთი რაც შეიძლება დაბეჯითებით ითქვას ისაა რომ ღრმა მინიმუმი არეკვლის სპექტრზე და მასთან დაკავშირებული გრძელტალღოვანი არეკვლის ზრდა გამოწვეულია მუხტის მატარებლების პლაზმური რხევებით.

7) ტემპერატურათა შუალედში 95-700 K შესწავლილია $DySb$ -ის კუთრი წინაღობის და ჰოლის მუდმივას ტემპერატურაზე დამოკიდებულება. ნაჩვენებია რომ მიღებულ ფირებს გააჩნიათ n ტიპის გამტარობა. გათვლილია მუხტის მატარებლების ძვრადობისა და კონცენტრაციის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება.

ელექტროფიზიკური პარამეტრების ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ხასიათისა და ამ პარამეტრების სიდიდეების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ რომ, ისინი ნახევარლითონური ბუნებისაა.

8) ოთახის ტემპერატურაზე, ფოტონების ენერჯიათა შუალედში 0,5-4,0 ევ შესწავლილია $ErTe$ -ის ფირების შთანთქმის სპექტრი, რომელზედაც გამოკვეთილია ოთხი ძლიერი ზოლი ენერჯიების მაქსიმუმებით 1,2 ევ, 2,0 ევ, 2,8 ევ და 3,5 ევ. ჩატარებულია მიღებული შედეგების ანალიზი.

9) 100 - 500 K ტემპერატურულ ინტერვალში შესწავლილია $ErTe$ -ის ფირების ჰოლის მუდმივას, კუთრი წინაღობის და თერმო ემმ-ს ტემპერატურაზე დამოკიდებულება. გათვლილია მუხტის მატარებლების კონცენტრაციისა და ძვრადობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება. ნაჩვენებია რომ ჰოლის მუდმივას გაზომვის მიხედვით $ErTe$ -ის ფირები n ტიპის გამტარებლობისაა, ხოლო თერმო ემმ-ს მიხედვით - p ტიპის. ახსნილია ასეთი განსხვავების მექანიზმი.

10) შესწავლილია $\gamma - Gd_2S_3$ - ის კადმიუმით და ტყვიით ლეგირებული ფირების ფოტოგამტარობის და ფოტო ემმ-ს სპექტრალური და ტემპერატურული დამოკიდებულებები. ნაჩვენებია რომ ფოტომგრძნობიარობაში ძირითად როლს თამაშობენ აქცეპტორული დონეები, რომლებიც წარმოიქმნებიან კათიონურ ქვემესერში კადმიუმის და ტყვიის მინარეული ატომების შეყვანით.

კადმიუმით ლეგირებულ $\gamma - Gd_2S_3$ -ის ფირებში გამოკვლეულია ფოტოგამტარობის ხანგრძლივ დროიანი რელაქსაცია. შეფასებულია რელაქსაციური ბარიერის სიდიდე 0,13-0,27 ევ და Gd -ს ვაკანსიით შექმნილი აქცეპტორული დონის იონიზაციის ენერჯია - 0,88 ევ.

11) სრული გახეხვის მეთოდით შესწავლილია კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან და წინასწარსინთეზირებული მასალის დისკრეტული ვაკუუმურ-თერმული აორთქლების მეთოდით მიღებული $\gamma - Gd_2S_3$ -ის ფირების ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცე. ნაჩვენებია რომ დისკრეტული აორთქლებით მიღებული ფირების ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცე თითქმის ერთნახევარჯერ მეტია კომპონენტების ორი დამოუკიდებელი წყაროდან აორთქლებით მიღებული ფირების ფარდობით მექანიკურ სიმტკიცეზე.

ასევე სრული გახეხვის მეთოდით გაზომილია $DySb$ -ის და $ErTe$ -ის ფირების ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცე. ნაჩვენებია რომ ამ ფირების ფარდობითი მექანიკური სიმტკიცე დაახლოებით ერთნაირია და ის 1,3-1,5-ჯერ აღემატება ყველაზე დაბალი მექანიკური სიმტკიცის მქონე $TmSb$ -ის ფირის მექანიკურ სიმტკიცეს. ნაჩვენებია რომ ფუძემშრის მასალა (სილიციუმი, სიტალი, ლეიკოსაფირონი, კვარცი) შესამჩნევ გავლენას ახდენს ყველა ჩვენს მიერ მიღებული ფირის ფარდობით მექანიკურ სიმტკიცეზე.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ

შრომებში:

- 1) Джабуа З.У., Табатадзе И.Г., Гигинеишвили А.В. Приготовление, легирование, оптические и фотоэлектрические свойства тонких плёнок Gd_2S_3 . Сборник трудов девятой международной научной – практической конференций „Исследование, разработка и применение высоких технологии в промышленности“. Санкт-Петербург 2010, т.1,с.317-320.
- 2) Z.U. Jabua, A.V. Gigineishvili, I.G. Tabatadze, I.L.Kupreishvili. Long – term relaxation of photoconductivity in cadmium doped Gd_2S_3 films. Physical Surface Engineering. 2011,v.9,Nº1p.44-47.
- 3) Z.U. Jabua, I.L. Kupreishvili, F.V. Gigineishvili, G.N.Ilyridze, I.G.Tabatadze Electro-physical properties of dysprosium monoantimonide. Nano Studies, 2012,5,117-120.
- 4) Tabatadze I.G., Jabua Z.U., Gigineishvili A.V. Optical properties of dysprosium monoantimonide thin films. Physical Surface Engineering. 2013, v.11,Nº3,p.304-308.
- 5) Tabatadze I. Optical properties of dysprosium monoantimonide thin films. Students 81 international scientific conference. Tbilisi,2013,p241.
- 6) Tabatadze I.G.,Jabua Z.U.,Gigineishvili A.V. Optical properties of dysprosium thin films. Abstracts. International conferens „Nanosensory systems and nanomaterials“. Tbilisi,Georgia,June 6-9,2013,p.92-93.
- 7) Zaur Jabua, Iago Kupreishvili, Akaki Gigineishvili, Elena Podzorova, Ludmila Luchkova, Irakli Tabatadze. Electrical and Optical Properties of TbS and ErTe Nano Films. Nuclear radiation nanosensors and nanosensory systems. Tbilisi, Georgia, Mash 5,2014,p.103.

8) ჯაბუა ზ., ტაბატაძე ი., გიგინეიშვილი ა. ერბიუმის ტელურიდის ფირების მიღება, ელექტროფიზიკური და ოპტიკური თვისებები. საქართველოს ეროვნული მეცნიერებათა აკადემიისა და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო - რეფერირებული ჟურნალი „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“. 2014, №1, გვ. 84-90.

9) Tabatadze I. Preparation of ErTe films by vacuum – thermal evaporation and some physical properties. Students 82 international scientific conference. Tbilisi,2014. p. 235.

Georgian Technical University

Irakli Tabatadze

**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

2014

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

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

The Reviewers: Doctor of physical – matematical sciense,
professor David Jishiashvili

Doctor of physical – matematical sciense,
professor Amiran Bibilashvili

The defence will ocure in July _____, 2014, at

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

Address: 77, Kostava Str., Tbilisi 0175,Georgia, Builing _____ 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

Technology of preparation of some pnictides and sulfides films, investigation of optical and electrophysical properties

The paper deals with reception of thin films of some the rare-earth elements (REE) sulfides, antimonides and tellurides and study their optical, electrophysical and mechanical properties. The work consists of an introduction, four chapters and conclusions.

The first chapter provides a critical review of the scientific literature relating to our interest in phase diagram of condition, manufacturing technology, crystal structure, electrophysical and optical properties of REE sulfides, antimonides and tellurides volume and thin film objects. As it is seen in the review, the halkogenides and antimonides of REE represent a substantial interest as from the scientific research, as from the practical application perspectives point of view. Preparation of high-quality samples of these materials of the stochiometric composition is a quite difficult technological challenge, which is not yet completely surmounted up to day. That in turn affects on studying levels of their physical properties. Particularly scarce is or there is almost no data on the physical properties of thin films and technology. It is not yet studied as well the impact of technological parameters on their phase and chemical composition and on improvement of the crystal lattice. REE one and a half sulfides of stochiometric composition have high resistivity greatly limiting their practical application, so it is actual selection of the appropriate doping elements and processing of doping technology. Virtually no data are available for the zone structure parameters of a whole range of REE antimonides and sulfides. Despite of the increased interest paid to the mechanical properties of the films of REE compositions, in the scientific literature there is almost no data concerning their mechanical properties.

The second chapter describes the measuring equipment and measurement methods acceptable for modern technology, control and the physical properties of films: in particular, the components from two independent sources and the device for reception of films by preliminary synthesized material by vacuum-thermal evaporation method. Requirements to substrate and their cleaning methods, control of the thickness of films, X-ray and electron diffraction research methods, chemical composition research methodology, research methodology for electrophysical properties, devices for examination of optical spectra, installations for studying the photoelectric properties.

The third chapter is conventionally divided into three sections: the first section briefly describes the vacuum - thermal spraying provisions of various processes and methods of making the films themselves. The second part deals with results of specific activities carried out to receive the films of given composition. Perfection of the phase and chemical compositions, crystalline structure and dependence of survey/investigation data on technological regimes are considered. The third part is devoted to the films doping issues. In presented work the reception of all films was carried out by the method of vacuum-thermal evaporation of components from two independent sources. In addition, thin films of one and a half sulfide of gadolinium were prepared by the method of discrete vacuum - thermal evaporation of preliminary synthesized volume crystals. Results of , electron diffraction and X-ray micro-probe investigations are presented. In the same section the doping elements and the rationale of selection of doping methods and doping regimes for the films of Gd_2S_5 are given.

The fourth chapter is devoted to experimental results and their discussion. Particularly, the results of study of optical, electrophysical and mechanical properties of thin films of Gd_2S_5 , $DySb$ and $ErTe$ are presented. Based on the study of the results of optical properties of Gd_2S_5 the width of the forbidden zone is estimated. It is shown that it is equal to ~ 2.85 eV . It is stated as well that within the spectrum of $DySb$ the deep minimum and increase of the long-wave reflection both are related to the plasma vibrations of charge carriers. $ErTe$ absorption spectrum has a well-defined strong four stripes of absorption with the energy maximums at 1.2 eV, 2.0 eV , 2.8 eV and 3.5 eV. Their analysis has been completed.

In 95-700 K temperature range the temperature dependence of the resistivity and Hall's constant of $DySb$ have been studied. It is shown that the films are of electronic conductivity. It is calculated the temperature dependence of the mobility and concentration of charge carriers. Based on it the conclusion is given that $DySb$ is the semi- metal itself. In 100 - 500 K temperature interval the temperature dependence of resistivity, Hall's constant and thermoelectric power (TEP) of $ErTe$ films is studied. The temperature dependence of the concentration and the mobility of charge carriers is calculated. It is shown that according to Hall's constant measurements the $ErTe$ films are of n-type conductivity, while according to the TEP - of p-type. The mechanism of such difference is explained.

Spectral and temperature dependences of the photoconductivity of films of γ - Gd_2S_3 doped by the cadmium and the lead are studied. It is shown that the dominant role in the photosensitivity play the acceptor levels, created by their compensation in the cationic sub-lattices by insertion of cadmium and lead doping

atoms there. For cadmium doped γ - Gd_2S_3 films the long-time relaxation of photoconductivity is investigated. Relaxation threshold value is estimated at 0,13-0,27 eV. The ionization energy of the acceptor level created by Gd vacancy is assessed as 0.88 eV. The conclusion is made that the Gd_2S_3 films doped by the cadmium and the lead should be the perspective material for the creation of photosensitive structures.

By full rubbing method the relative mechanical stiffness of the films received by two varieties of the method of vacuum - thermal evaporation of Gd_2S_3 is studied. It is shown that the relative mechanical stiffness of the films received by the method of discrete evaporation is about 1.5-times more than the relative mechanical stiffness received by evaporation of components from two independent sources. Also, by full rubbing method the relative mechanical stiffness of $DySb$ and $ErTe$ is investigated. It is shown that these films have almost the same relative mechanical stiffness. It is estimated that for all the studied thin films substrate materials (silica, glass-ceramic, leiko-sapphire) apply the significant effect on the relative mechanical stiffness.

At the end of the work the basic conclusions of the thesis and the cited literature are presented.