

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ია ტრაპაიძე

**AlGaAs-GaAs ჰეტეროსტრუქტურების საფუძველზე მზის
კონცენტრირებული გამოსხივების ფოტოელექტრული
მოდულების დამუშავება**

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა “საინჟინრო ფიზიკა”, შიფრი 0404

თბილისი

2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის,
ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის,
საინჟინრო ფიზიკის დეპარტამენტში.

ხელმძღვანელი: პროფესორი, გელა გოდერძიშვილი

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება ----- წლის ”-----” -----, ----- საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის -----

----- ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის

სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი პროფესორი, თინათინ კაიშაური

თემის აქტუალობა: მზე, ამოუწურავი ენერჯის წყარო, ყოველწამიერად დედამიწას აწვდის იმდენ ენერჯიას, რაც რამოდენიმე ათასჯერ მეტია მთელი მსოფლიოს ელექტროსადგურების მიერ ჯამში გამოიმუშავებულ ენერჯიაზე. ენერჯის ალტერნატიულ და განახლებად წყაროებს შორის მზის ენერჯეტიკა იქცევს სულ უფრო მეტად მზარდ ყურადღებას. საზოგადოების ცნობიერებაში მკვიდრდება აზრი, რომ მომავლის ენერჯეტიკა უნდა იყოს დაყრდნობილი მზის ენერჯის ფართომასშტაბიან გამოყენებაზე. მზის ენერჯის გამოყენების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მაგალითია, მისი გამოსხივების ენერჯის, ფოტოელექტრული ნახევარგამტარული გარდაქმნელების საშუალებით (PV სისტემა), გარდაქმნა პირდაპირ ელექტროენერჯიად. ეს არის ეკოლოგიურად სუფთა, უხმაურო და საიმედო ენერჯის წყარო. მომავლის მზის ენერჯეტიკაში ეს მოწყობილობები არიან სრულიად თანამედროვენი, როგორც სამეცნიერო ასევე ტექნიკური თვალსაზრით.

მზის ენერჯის გარდაქმნის პროცესის შესწავლა იქცა ახლად შექმნილი თანამედროვე მეცნიერების დარგის „ფოტოენერჯეტიკის“ ამოცანად. ფოტოენერჯეტიკა არ არის ახალი ტექნოლოგია: კოსმოსური ერის პირველივე დღე-ებიდანვე მზის ბატარეებით ხდებოდა კოსმოსური ხომალდების ელექტრული ენერჯით მომარაგება. სიახლე მდგომარეობს იმაში, რომ ტექნოლოგიამ თავისი განვითარების დონოთ მიაღწია იმ სტადიას, როცა შესაძლებელია შეიქმნას რამოდენიმე მილიონი ვატი სიმძლავრის ელექტროსადგურები. დღეისათვის მზის ენერჯია ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა სფეროში: მაღალმთიან რეგიონებში; ქალაქიდან დაშორებულ რაიონებში სადაც არ არის ცენტრალიზებული ელექტრომომარაგება; ცალკეული სახლების ელექტრომომარაგებისათვის; ტელეკომუნიკაციის სისტემებში; განათების სისტემებში და აშ. ბოლო წლებში ამ მიზნებისთვის მზის მოდულები თავისი გამოყენების თვალსაზრისით წარმოადგენს საერთო ბაზრის 90%-ს. უმეტეს შემთხვევაში ფოტოელექტრული გარდაქმნელები მუშაობენ ქსელთან პარალელურ რეჟიმში და გამოიმუშა-

ვებენ ეკოლოგიურად სუფთა ელექტრულ ენერჯიას ცენტრალური ელექტრომომარაგების ქსელისთვის. მრავალ ქვეყანაში უკვე არსებობს მზის ენერჯეტიკის განვითარების სპეციალური მხარდაჭერი საკანონმდებლო და ეკონომიკური მექანიზმები.

დღევანდლამდე მზის გამოსხივების ფოტოელექტრული გარდამქმნელები პრაქტიკულად მზადდებოდა მხოლოდ კრისტალურ სილიციუმზე. ასევე ყურადღებას იმსახურებენ სხვა მასალები. მათ მიეკუთვნება: სპილენძ-ირიდიუმის დისელენიდი, გალიუმის არსენიდი, კადნიუმის ტელური. მკვლევართა მიზანს წარმოადგენს ფოტოელექტრული გარდამქმნელი სისტემების ეფექტურობის გაზრდა და ღირებულების შემცირება. კვლევები მზის ელემენტების და მოდულების განვითარებისათვის ძირითადად მიმდინარეობს: ახალი მასალების შექმნასა და მათი შემადგენლობის ოპტიმიზაციაზე; ახალი ტიპის ჰეტეროსტრუქტურების დამუშავებასა და კასკადური ფოტოელექტრული გარდამქმნელების შექმნაზე, რომლებშიც გამოიყენება ნახევარგამტარები სპეციალურად შერჩეული აკრძალული ზონის სიგანით. მზის ფოტოელექტრული გარდამქმნელების ეფექტურობის გაზრდის მიზნით ბოლო პერიოდში ასევე ფართოდ გამოიყენება კონცენტრატორული სისტემები. კონცენტრატორული სისტემების, ჰეტერო და კასკადური სტრუქტურების დამზადება საკმაოდ რთული და ძვირად ღირებული პროცესია. მაგრამ მომავალში მათი გამოყენება მომგებიანია, ვინაიდან მნიშვნელოვნად იზრდება ეფექტურობა და საერთო ჯამში შესაძლებელია მათი ღირებულების შემცირება.

აქვე მინდა აღვნიშნო, რომ საქართველო თავისი სპეციფიკით წარმოადგენს მეტად საინტერესო რეგიონს მზის ენერჯეტიკის განვითარებისთვის აქ იდეალური ბუნებრივი პირობებია ალტერნატიული ენერჯიის ათვისებისათვის. საქართველოს გეოგრაფიული მდებარეობის გათვალისწინებით მზის ეფექტური და ხანგრძლივი გამოსხივება 250-დან 280 დღემდე მერყეობს, რაც წელიწადში დაახლოებით 1900-2200სთ-ს შეადგენს, მზის ენერჯიის სრული წლიური პოტენციალი კი 108 მვტ-ის დონეზეა.

სამუშაოს ძირითადი მიზანი:

ყველა ამ აქტუალურმა პრობლემამ განსაზღვრა მოცემული ნაშრომის მიზანი - დაბალტემპერატურული თხევადფაზური ეპიტაქსიის მეთოდით დამზადებული AlGaAs-GaAs სტრუქტურების საფუძველზე მზის კონცენტრირებული გამოსხივების ეფექტური ფოტოელექტრული გარდამქმნელი ელემენტების დამზადების ტექნოლოგიის და კონსტრუქციის დამუშავება, მათი ელექტრო-ფიზიკური თვისებების შესწავლა.

დასახული მიზნის მისაღწევად აუცილებელი იყო დაგვემუშავებინა და გადაგვეწყვიტა შემდეგი ამოცანები:

1. მრავალფენიანი ჰეტეროსტრუქტურის საფუძველზე მზის ელემენტების კონსტრუქცია და დამზადების ტექნოლოგია.
2. დაბალტემპერატურული თხევადფაზური ეპიტაქსიის მეთოდით დამზადებული ფოტოელექტრული p-n ჰეტეროსტრუქტურების საფუძველზე მზის ელემენტების და მოდულის ლაბორატორიული ვარიანტი.
3. მზის კონცენტრირებული გამოსხივების ფოტოელექტრული გარდამქმნელი ელემენტის და მოდულის კონსტრუქცია.
4. ფოტოელექტრული გარდამქმნელისათვის კონცენტრატორის პოლიმერული ლინზების კონსტრუქცია და დამზადების ტექნოლოგია.
5. მოდულების და ლინზების ლაბორატორიულ და საველე პირობებში ტესტირების მეთოდის დამუშავება და ტესტირების ჩატარება.
6. მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძველზე მზის კონცენტრირებული გამოსხივების მოდულის საწარმოო ვარიანტის დამუშავება.

ნაშრომის შედეგები და მეცნიერული სიახლე:

1. გამოკვლეულია მყარი ხსნარის GaAs-AlAs მრავალფენიანი ჰეტეროსტრუქტურების მიღების დაბალტემპერატურული თხევადფაზური ეპიტაქსიის მეთოდი და დადგენილია ცალკეული ფენის ზრდის პროცესის ტემპერატურულ-დროითი რეჟიმები.

2. დამუშავებულია მზის კონცენტრირებული გამოსხივების ფოტოელექტრული გარდამქმნელი მოდულის კონსტრუქცია და დამზადების ტექნოლოგია, ლაბორატორიულ და საველე პირობებში ტესტირების მეთოდები.
3. შესწავლილია მზის კონცენტრირებული გამოსხივების ფოტოელექტრული გარდამქმნელი მოდულის ელექტრულ და ოპტიკურ მახასიათებლებსა და საექსპლუატაციო პარამეტრებზე კონსტრუქციული-ტექნოლოგიური ფაქტორების გავლენა.

სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება. ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე მიღებული შედეგები და მზის კონცენტრირებული გამოსხივების ფოტოელექტრული გარდამქმნელი მოდულის დამუშავებული კონსტრუქცია, დამზადების ტექნოლოგია, თვისებებისა და პარამეტრების შესწავლის მეთოდები საშუალებას იძლევა დავამუშაოთ ახალი კონსტრუქციის მზის მოდულები და მათი საწარმოო ვარიანტი.

ნაშრომის აპრობაცია. სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იყო: Conference in Berlin, Germany (Deutsche Physikalische Gesellschaft – DPG, March 2012); საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 81-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე (თბილისი 2013); International School of Nanophotonics and Photovoltaics – საქართველო-იტალია, 2014; 79th Annual Meeting of the DPG and DPG Spring Meeting (Deutsche Physikalische Gesellschaft), 2015, ბერლინი, გერმანია, ინფორმატიკის და მართვის სისტემების ფაკულტეტის ფიზიკის დეპარტამენტის სამეცნიერო სემინარებზე.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავლის, სამი თავის, დასკვნის და 80 ციტირებული ლიტერატურის სიისაგან. დისერტაციის მოცულობა შეადგენს 123 გვერდს, ნახაზების რაოდენობა - 64, ცხრილების რაოდენობა -12 .

ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

შესავალში მოცემულია თემის აქტუალობის დასაბუთება, ჩამოყალიბებულია სამუშაოს მიზანი და შესასრულებელი ამოცანები, მისი სამეცნიერო სიახლე და პრაქტიკული მნიშვნელობა, შესრულებული სამუშაოს მოკლე მიმოხილვა.

პირველი თავი წარმოადგენს ლიტერატურულ მიმოხილვას, რომელიც ეძღვნება სადისერტაციო თემასთან დაკავშირებული პრობლემების განხილვას, მეცნიერების თანამედროვე დარგის „ფოტონერგეტიკის“ ამოცანების, მისი განვითარების საყისი პერიოდის და შემდგომი ეტაპების ანალიზს. გამოკვლეულია მზის ენერგეტიკის განვითარების დღევანდელი მდგომარეობა და მიმართულებები. განსაკუთრებული ყურადღებაა გამახვილებული მზის ენერგიის ნახევარგამტარულ ფოტოელექტრულ გარდამქმნელებში მიმდინარე ფიზიკურ პროცესებზე, მათ კონსტრუქციულ თავისებურებებზე, მათში გამოყენებულ სტრუქტურებსა და მასალებზე, მათი დამზადების თანამედროვე ტექნოლოგიებზე. შესწავლის ძირითად ობიექტს წარმოადგენს მზის კონცენტრირებული გამოსხივების ფოტოელექტრული გარდამქმნელი მოდულები და მათში გამოყენებული ელემენტების დამზადებისათვის საჭირო ჰეტეროსტრუქტურები, ასევე ნანო და კასკადური ტიპის ფოტოგარდამქმნელი სტრუქტურების შექმნის სფეროში მიღწეული მნიშვნელოვანი შედეგები.

მზის ელემენტებისათვის AlGaAs-GaAs-ის ჰეტეროსტრუქტურების შექმნის შემდგომ მზის ფოტონერგეტიკაში გაიხსნა სრულიად ახალი ფურცელი. მნიშვნელოვანია ჰეტეროსტრუქტურებში ოპტიკური ფანჯრის რეალიზაციასთან დაკავშირებული კვლევის შედეგები. p-n ჰეტეროგადასვლებში AlGaAs-ის ფართოზონიანი ფანჯარა და GaAs ფოტოაქტიური არის ჩამოყალიბებით შესაძლებელია, ელექტრონულ-ხვრელური წყვილის გენერაციისათვის, უდეფექტო ჰეტეროსაზღვრის ფორმირება და p-n გადასვლით მათი შეკრებისათვის იდეალური პირობების შექმნა. ჰეტერო-

ფოტოელემენტები GaAs-ის ფენით აღმოჩნდნენ რადიაციულად უფრო მდგრადნი. ის თვისება, რომ GaAs-ის ჰეტეროფოტოელემენტებს შეუძლიათ ბრწყინვალედ მუშაობა მაღალი კონცენტრირების (10-დან 1000-მდე) პირობებში, მათ მნიშვნელოვნად განასხვავებს სილიციუმის საფუძველზე დამზადებული მზის ელემენტებისაგან: მათ მიერ გენერირებული ენერჯია პროპორციულად იზრდება სინათლის ნაკადის ზრდასთან ერთად; დენის ძალის მატებასთან ერთად გამოსვლის ძაბვა იცვლება ლოგარითმული კანონით; კონცენტრირებული ნაკადის შემთხვევაში გამოსავალი სიმძალვრე იზრდება ზეწრფივად და შესაბამისად მატულობს ფოტოელექტრული გარდაქმნის ეფექტურობაც. მაღალეფექტური ნანოსტრუქტურები ასევე პერსპექტიულია სახმელეთო ენერგოსისტემების დასამზადებლად, რომლებშიც გამოყენებულია მზის ენერჯიის კონცენტრატორული სისტემები. ამჟამად შემოთავაზებულია ფოტოელექტრული გარდაქმნელების მიმართ ახალი მიდგომა, რაც დაკავშირებულია კვანტურ წერტილიანი სტრუქტურების გამოყენებასთან. კერძოდ, საუბარია „შუალედური ზონის“ ფოტოაქტიური ფენის შექმნაზე. ფოტოელემენტების მრავალკასკადურ სტრუქტურებში, სპექტრის მოცემულ არეში შთანთქმის გაძლიერებისათვის ახალი მასალების გამოყენებით, შესაძლებელია გაუმჯობესდეს კომუტაციის ფუნქციის შემსრულებელი გვირაბული დიოდების მახასიათებლები (გაიზარდოს პიკური დენი), მათში p^+ და n^+ ფენებს შორის ზესტრუქტურის ჩანერგვით. არსებობს მკვ-ის გაზრდის სხვა იდეაც, კერძოდ მდორედ გარდამავალი ჰეტეროსტრუქტურის გამოყენება, რომლებშიც აუცილებელია მიღებული იქნას ეპიტაქსიური ფენების აკრძალული ზონის სიგანეებს შორის განსხვავების ფართო დიაპაზონი. ასევე აუცილებელია შენარჩუნებულ იქნას მუხტის გადამტანების მაღალი ძვრადობა. აღნიშნული მცდელობები მიმართულია ერთი მიზნისაკენ, მკვ-ის რეალურად მიახლოება თეორიულ თერმოდინამიკურ ზღვართან.

მეორე თავში განხილულია თხევადფაზური ეპიტაქსიით დამზადებული AlGaAs-GaAs ჰეტეროსტრუქტურების საფუძველზე მზის კონცენტრი-

რებული გამოსხივების ფოტოელექტრო გარდამქმნელი ელემენტების დამუშავების პრობლემა. მასში წარმოდგენილია: ფოტოელექტრო გარდამქმნელის (ფეგ) ჰეტეროსტრუქტურის დამზადების ლაბორატორიული ტექნოლოგიის დამუშავების შედეგები; AlGaAs-GaAs ჰეტეროსტრუქტურების საფუძველზე მზის გამოსხივების კონცენტრატორიანი ფოტოელექტრული ელემენტების დამზადების ტექნოლოგიის და კონსტრუქციის დამუშავების პროცესის თავისებურებები; მზის ელემენტის სტრუქტურა და მისი დამზადების მეთოდი, მათი შიდა და გარე ტესტირების დამუშავებული ტექნოლოგია; კონცენტრატორიანი ფოტოელექტრული მოდულის კონსტრუქცია, დამზადების მეთოდი და ფოტოელექტრული პარამეტრები; მზის ფოტოელექტრული სისტემის სავსე პირობებში გამოცდის მეთოდი, სპეციფიკა, აუცილებელი პირობები და მიღებული შედეგები.

სამუშაოში გამოყენებული ჰეტეროსტრუქტურების დამზადებისათვის გამოვიყენეთ დაბალტემპერატურული ეპიტაქსიური მეთოდი, რომელშიც შევიტანეთ ცვლილებები და დავამუშავეთ შესაბამისი ტექნოლოგიური რეჟიმები. ფოტოელექტრული გარდამქმნელისათვის (ფეგ) ჩვენს მიერ დამუშავებულია ჰეტეროსტრუქტურების დამზადების ტექნოლოგიური მეთოდის ორი ვარიანტი: პირველი ვარიანტი - თხევადი ფაზიდან Zn-ის დიფუზიის გამოყენებით p-n გადასვლის და GaAs-ის წინა სამუშაო ზედაპირზე საკონტაქტო ფენის ფორმირება; მეორე ვარიანტი - ორთქლის ფაზიდან Zn-ის დიფუზიის გამოყენებით მყარი ხსნარის ეპიტაქსიურ ფენაში ერთდროულად p-არის ფორმირება და მის ზედაპირზე საკონტაქტო ფენის ჩამოყალიბება.

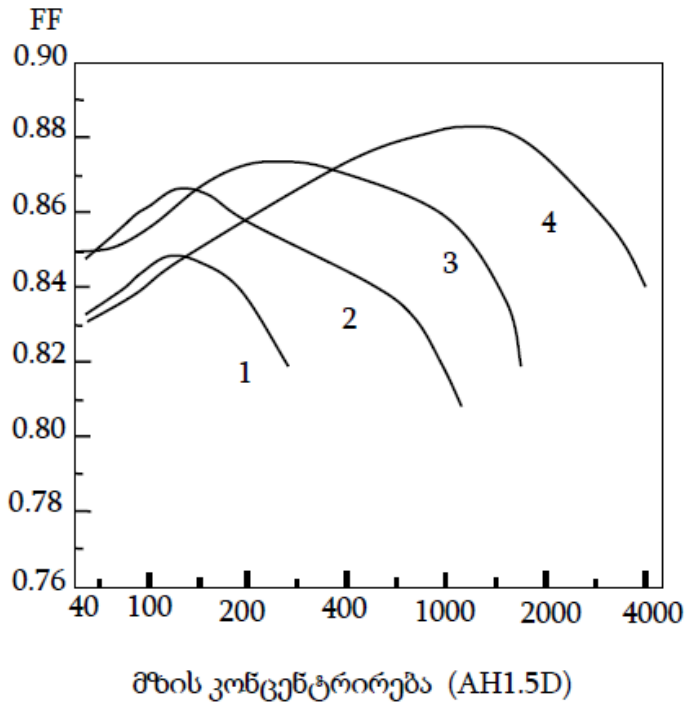
პირველი ვარიანტის გამოყენებით მიიღწევა მზის კონცენტრირებული გამოსხივების გარდაქმნის მქკ-ის მაღალი მნიშვნელობა $K=100-500$ ჯერადობის პირობებში და ტექნოლოგიური პროცესის მაღალი მწარმოებლურობა. მეორე ვარიანტის გამოყენებით შესაძლებელია შეიქმნას დაბალი ხვედრითი წინაღობის (2×10^3 ომი.სმ) მქონე ფოტოაქტიური p-არე, რაც საშუალებას იძლევა უფრო ეფექტურად გარდაიქმნას მზის კონცენ-

ტრიბული გამოსხივება როცა ჯერადობა აღემატება 500-ს. ამ ვარიანტის გამოყენების შედეგად დამზადებულ ფეგ-ებს ასევე გააჩნიათ მქკ-ის მაღალი ტემპერატურული სტაბილურობის უნარი და მზის სპექტრის მოკლელტალლოვან არეში შედარებით უფრო მომატებული მგრძნობიარობა. GaAs-AlAs-ის ჰეტეროსტრუქტურის ერთ p-n გადასვლიან მზის ელემენტზე, მასალათა მაღალი ხარისხის და ელემენტთა ოპტიმალური გაერთიანების შედეგად, შესაძლებელია 500 sun კონცენტრირების პირობებშიც მიღებული იქნას მაღალი ეფექტურობა. მზის ელემენტებისათვის GaAs-ის საფუძველზე, ამ მეთოდით შექმნილი, სტრუქტურები თავის თავში შეიცავენ: n-GaAs-ის ფუძეშრეს; $n^+Al_{0.2}Ga_{0.8}As$ ან n^+GaAs BSF ფენებს. n-GaAs ($n=3 \times 10^{17} \text{სმ}^{-3}$)Te-ით ლეგირებული (3-4 მკმ სისქის) ბაზას; p-GaAs ($p=0,2-2 \times 10^{19} \text{სმ}^{-3}$)-ს; Mg, Ge ან Zn-ით ლეგირებულ 1,0-1,5 მკმ სისქის ემიტერს; p- $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ (Mg-ით ლეგირებული 0,04-0,06 მკმ სისქის) ფანჯარას. სტრუქტურები ოპტიმიზირებულია მაღალი (~500 sun) კონცენტრირების პირობებში სამუშაოდ. კერძოდ, მათ საფუძველზე დამზადებულ ელემენტებს გააჩნიათ დაბალი კონტაქტური წინაღობა, რომელიც მიიღწეული იქნა p-GaAs-ის ემიტერში სისქისა და ლეგირების ხარისხის გაზრდით. ამასთან ამ ფენებში შევინარჩუნეთ ელექტრონების დიფუზიური განარბენის სიგრძის მაღალი მნიშვნელობა. ამ მოთხოვნების შესრულება შესაძლებელი გახდა p-GaAs-ის ემიტერში ჩაშენებული ველის საშუალებით. ასეთი ჩაშენებული ველის მისაღებად ზოგიერთ სტრუქტურაში ჩატარდა ზრდის პროცესის შემდგომ Zn-ის დიფუზია (ეს ჩაშენებული ველი მიიღება ხვრელების კონცენტრაციის გრადიენტით). ასეთი ტიპის ელემენტებში p-ტიპის GaAs-ის ფენის სისქე გაზრდილი იქნა 1-1,5მკმ-მდე და აქცეპტორების კონცენტრაცია დიფუზიურ ფენაში $\sim 10^{19} \text{სმ}^{-3}$ -მდე. ხვრელების ასეთი განაწილება მიიღწევა Mg-ით ან Ge-ით ლეგირებული p-GaAs-ის ორი ან სამი ფენის კრისტალიზაციით, რომლებიც პირველი ფენა არის $\sim 1,0 \text{მკმ}$ სისქის და $N_A=(2-3) \times 10^{18} \text{სმ}^{-3}$ კონცენტრაციის, დამატებითი თხელი ფენები კი 0,1-0,2მკმ სისქის და $N_A \sim 10^{19} \text{სმ}^{-3}$ კონცენტრაციის. შეიმჩნევა, რომ დიფუ-

ზიური პროცესის გახანგრძლივების შემთხვევაში Mg-ის ატომების კონცენტრაცია მცირდება იმ არეში, სადაც Zn-ის კონცენტრაცია მაღალია. ამ ეფექტის მიუხედავად, Zn-ის დამატებითი დიფუზიის შემდგომ, მუხტის თავისუფალი გადამტანების კონცენტრაცია შესაძლებელია საკმაოდ ამაღლდეს. Ge-ით მდორედ ლეგირებული ეპიტაქსიური სტრუქტურების ზრდის პროცესისათვის განვსაზღვრეთ წვეთ-ნალღობთა შემადგენლობები და დავამუშავეთ ეპიტაქსიური სტრუქტურის ზრდის ტემპერატურულ-დროითი რეჟიმები და შესაბამისი დიაგრამა.

მზის კონცენტრირებული გამოსხივების ელემენტებისათვის დავამუშავეთ კრისტალის ორი ტიპის კონსტრუქცია, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდება ზომებით. ელემენტებს აქვთ კვადრატის ფორმა და მასში ჩაწერილია მეზა კონსტრუქციის დიოდი, წრიული აქტიური (განათებული) უბნით. აქტიური უბნის ზომებია შესაბამისად 6,6მმ² და 2მმ². ზემოდან აქტიურ უბანზე დატანილია მეტალის საკონტაქტო ბადე. საკონტაქტო ბადის ზოლები ერთმანეთისაგან დაშორებულია 0,1 და 0,05მმ-ით, ზოლების სიგანეა 10მკმ და სისქე კი 3-4მკმ. მეზა დიოდი თავისი აქტიური უბნით ზემოდან და გარშემო დაფარულია გამჭვირვალე ორშრიანი ZnS/MgF₂ ანტიამრეკლავი (ARC) დანაფარით. ZnS-ის ერთფენიანი დანაფენი გამოიყენება ფრონტალური ზედაპირიდან ფოტონების არეკვლის მინიმიზაციისათვის.

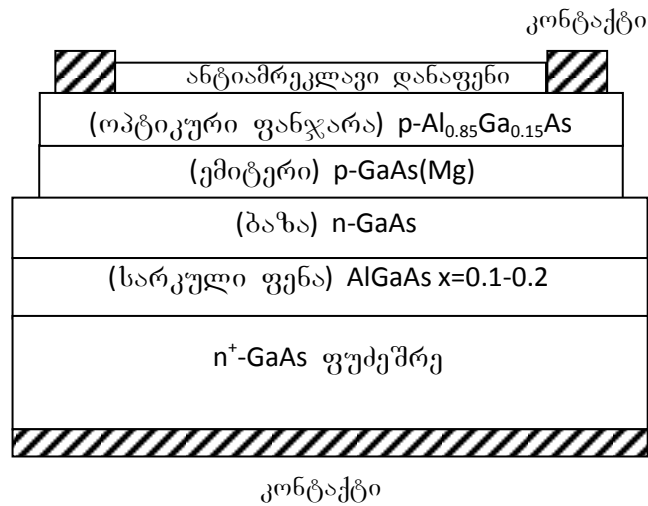
მზის მაღალკონცენტრირებული გამოსხივების ელემენტებისათვის ძალზე მნიშვნელოვანია სწორი ბალანსის შერჩევა საკონტაქტო მესერის ზოლების ზომებსა და რეზისტორულ დანაკარგებს შორის. ნახ.1-ზე წარმოდგენილია მზის ელემენტის შევსების (FF) ფაქტორის გაზომილი მნიშვნელობები: როდესაც მესერის ზოლებს შორის დაშორება არის 0,2მმ (მრუდ. 1), 0,1მმ (მრუდ. 2 და 3) და 0,05მმ (მრუდ. 4); დაშორება 0,1მმ უზრუნველყოფს შევსების ფაქტორის შენარჩუნებას 0,85-დან 1300 ჯერადობამდე. ელემენტი, სადაც $d=2მმ^2$ (მრუდი 3), ხოლო დაშორება 0,05მმ უზრუნველყოფს შევსების ფაქტორის 0,85 მნიშვნელობის შენარჩუნებას 4000 sun-მდე.



ნახ. 1. შვესების ფაქტორი (FF), როგორც კონცენტრირების ფუნქცია ელემენტში სხვადასხვა ზომის ზოლებისა და ღია შუალედებისათვის

მოცემულ სამუშაოში გამოყენებული მზის ელემენტის ტიპური სტრუქტურა წარმოდგენილია ნახ. 2-ზე. ჰეტეროსტრუქტურა შეიცავს: 0,3 მკმ სისქის ზედა p ტიპის GaAs-ის საკონტაქტო ფენას; 0,07მკმ სისქის პასივიზაციის და ფანჯრის ფუნქციის შემსრულებელ p-Al_{0.85}Ga_{0.15}As-ის ფენას; 0,5მკმ სისქის p ტიპის GaAs-ის ფოტოაქტიურ ფრონტალურ რეგიონს; 1,0-3,0მკმ სისქის n-GaAs-ის ბაზურ ფენას; ბრეგის (სარკულ) ამრეკლავს, გაზრდილს n ტიპის GaAs-ის (100) ორიენტაციის ფუძემდებზე. სარკული ამრეკლავი შედგება 12 წყვილი AlAs/GaAs ფენებისაგან. ამრეკლავის ჯამურ სისქეში არის AlAs 0,072 მკმ-ის საერთო სისქის და 0,059 მკმ საერთო სისქის GaAs ფენები.

დამუშავებულია მზის ელემენტების დამზადების ტექნოლოგია, რომელიც ეფუძნება მიკროელექტრონული ტექნოლოგიის პროცესების გამოყენებას: სტრუქტურის ზედაპირზე მესერის კონფიგურაციის გადატანა ხორციელდება ფოტოლითოგრაფიული მეთოდით; შემდგომ თერმული

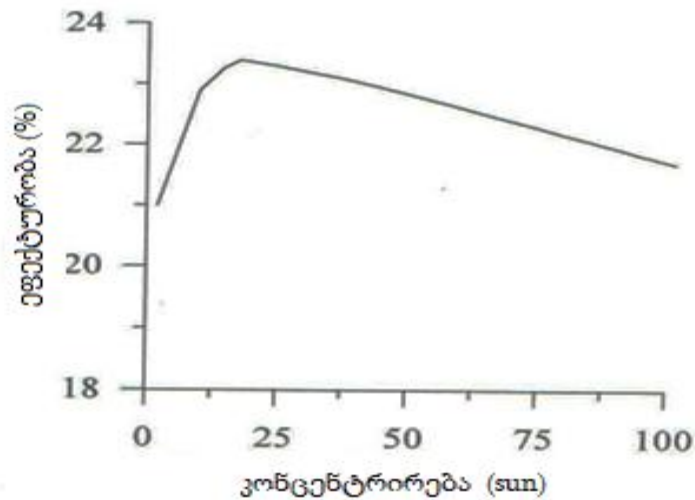


ნახ. 2. მზის ელემენტის სტრუქტურა და კონსტრუქცია

გაფრქვევით შემონაფენებზე ეფინება საკონტაქტო ფენები Au:Ge/Ni საფენზე და Ag:Mn-წინა სამუშაო ზედაპირზე; სამუშაო ზედაპირის კონტაქტის გაძლიერება ხდება დამატებით ელექტრო-ქიმიური მეთოდით დაფენილი Ni და Au-ის ფენებით. შემდგომ ელემენტის გარშემო ფოტოლიტოგრაფიით ხდება მეზასტრუქტურის ფორმირება. მეზასტრუქტურის პერიმეტრის გასწვრივ რეკომბინაციული დანაკარგების თავიდან აცილების მიზნით ზედაპირზე ხორციელდება ჟანგის თხელი ფირის ფორმირება ანოდური დაჟანგვის მეთოდით. ამ ტექნოლოგიით დამზადებული იქნა 4,5x4,5მმ² ზომის კრისტალები მზის ელემენტებისათვის, რომელთა ზედაპირზე საკონტაქტო ბადის მეტალური ზოლის სიგანე იყო 185მკმ. კრისტალში ელემენტის განათებული არისათვის განსაზღვრულია 1,67მმ² ფართობი. კრისტალის სამუშაო ზედაპირზე დაფენილია ZnS-ის ანტიამ-რეკლავი ფენა.

ელემენტზე გაზომილი იქნა ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი 17,7sun-ის. იმპულსური ქსენონის ნათურის მიერ გამოსხივებული განათებით, ეფექტურობა შეესაამება 23,4% (AM0, 25^o C-ის დროს) ეფექტურობას (ნახ.3).

დამუშავებული მზის ელემენტებისათვის ასევე ჩატარდა პარამეტრების გაზომვები გარე (საველე) პირობებშიც. პირდაპირი მზის სინათლით 893ვტ/მ² განათების შემთხვევაში მიიღება 24,8მა/სმ² დენის სიმკვრივის მნიშვნელობა. ეს ექსპერიმენტი ჩატარდა სპეციალური კოლიმატორული მილის გამოყენებით. კოლიმატორული მილი მზის დისკოდან და ცის



ნახ. 3. მზის ელემენტების ტესტირების შედეგად მიღებული მახასიათებლები AM0 და AM1,5 პირობებში განათებისათვის

განათებული რაიონიდან გამოყოფს კუთხის 5⁰-იან უბანში მოქცეული სინათლის ნაკადის ენერგიას. მზის პირდაპირი გამოსხივების გაზომვა ხორციელდება ეტალონური ელემენტის საშუალებით, რომელიც წინასწარაა დაკალიბრებული AM1,5D-ზე ფრაიბურგში (მზის ენერგეტიკის ფრანკოფერის სახ. ინსტიტუტში). ცხრ. 1-ში წარმოდგენილია საუკეთესო მზის ელემენტებზე მიღებული შედეგები AM0 და AM1,5 განათებულობისას.

ცხრილი 1. საუკეთესო მზის ელემენტების ტესტირების შედეგად მიღებული მახასიათებლები AM0 და AM1,5-სათვის

გამოსხივება	ფოტოდენის სიმკვრივე J, მა/სმ ²	კონცენტრირების ჯერადობა, Sun	მზის ელემენტის დენი, I _{sc} , მა	მზის ელემენტის ძაბვა, V _{sc} , ვ	შევსების ფაქტორი, FF	ეფექტურობა μ , %
AM0	32.7	17.7	94	1.14	0.87	23.4
AM 1.5	24.8	23.4	94	1.14	0.87	27.2

დამუშავებულია ტესტირების მეთოდი, რომელიც გამოიყენება მოდულისათვის ელემენტების დამზადების ყველა ეტაპზე. მეთოდი მხედველობაში ღებულობს შემდეგი ძირითადი ფაქტორების შესწავლას:

ელემენტების ლაბორატორიულ პირობებში საკონტროლო ტესტირებას; ლინზათა ფოკალურ სიბრტყეში სინათლის ინტენსიობის განაწილებას; ცალკეული ლინზების ღერძთა არაპარალელურობას; ერთ საერთო საფუძველზე მდებარე წრედში გაერთიანებულ ელემენტებს შორის ურთიერთქმედებას; საერთო კარკასზე ელემენტების ელექტრულად და ოპტიკურად განლაგების უზუსტობას; სიმძლავრის დანაკარგებს და მთლიანობაში მოდულის სივრცეში ორიენტაციის დარღვევის შესაძლებლობას.

ელემენტების ლაბორატორიულ პირობებში საკონტროლო ტესტირება თავის თავში მოიცავს შემდეგ სტადიებს: ა) მზის ელემენტის აბსოლუტური ფოტოდენის გაზომვას; ბ) სიბნელეში მზის ელემენტის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის შემოწმებას. გაზომვის პირველი სტადია ტარდება 1 sun სინათლის იმიტატორის გამოყენების პირობებში. ტესტირება ჩასატარებელი მზის ელემენტის ფოტოდენის აბსოლუტური მნიშვნელობის შედარება ხდება ეტალონურ GaAs-ის მზის ელემენტთან. ეტალონურ ელემენტს აქვს იგივე სტრუქტურა, რაც ტესტირება ჩასატარებელს. ტესტირების მეორე სტადია საშუალებას იძლევა შერჩეულ იქნას მზის ელემენტები ექვივალენტურნი ფოტოდენის აბსოლუტური მგრძნობიარობის და ერთნაირი სპექტრული გამომდახილის მახასიათებლებით. ეს მზის ელემენტები იძლევა საშუალებას შემცირდეს წრედში დენის დანაკარგები ერთმანეთთან მათი პარალელური და მიმდევრობითი შეერთების დროს.

ასევე ტარდება ლინზების ტესტირება. ტესტირება გავლილ ლინზებს გააჩნიათ გაზომვებით დადასტურებული შემდეგი პარამეტრები: ფოკუსური მანძილი 32 მმ; ლინზის გეომეტრიული ზომები 25x25მმ²; ფრენელის ლინზის კბილებს შორის ბიჯი - 0,4მმ და ლინზის ფოკალურ სიბრტყეში ოპტიკური სინათლის ინტენსიობის განაწილება ჰაუსის პრინციპით. შესწავლილია ოპტიკური კონცენტრატორის ფოკალურ სიბრტყეში ფოტონების ნაკადის გაზომილი პროფილი და სინათლის ძალა. როგორც ჩანს სინათლის ძალის 90%-ზე მეტი კონცენტრირდება 1-2მმ, ხოლო 98%-ზე მეტი კი 2-4მმ დიამეტრის სინათლის ლაქის არეში. ე.ი. მეტნაკლებად

მუდმივი გამოსავალი სიმძლავრის უზრუნველყოფა ხდება 3მმ დიამეტრის განათებული არის მქონე მზის ელემენტის საშუალებით.

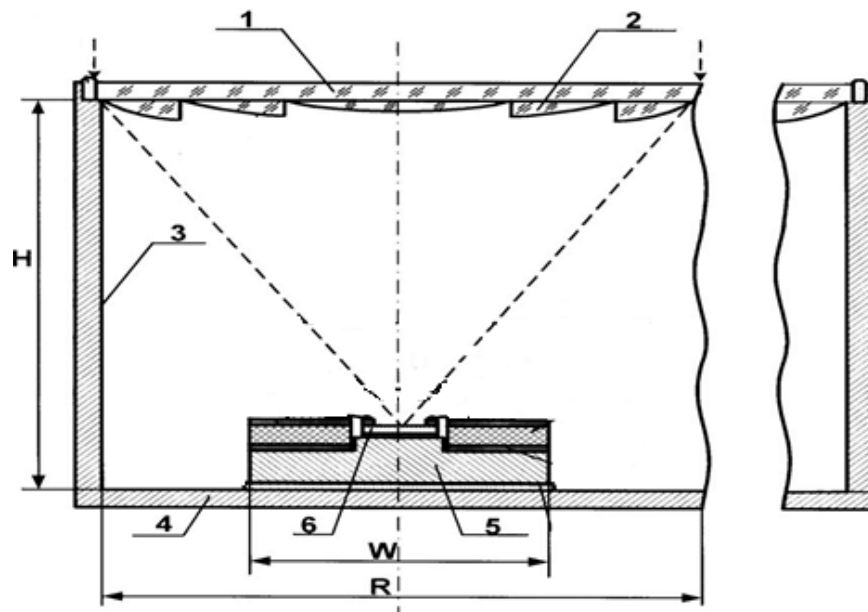
ლინზების 4x4 მონობლოკის დამზადება ხდება ცხელი დაწნევის მეთოდით. ლინზების ოპტიკურ ღერძებს შორის პარალელურობის დარღვევა წარმოიშვება ცალკეული დაწნეხილი ლინზების შტამპების წრფივი ან კუთხური შეუსაბამობის შედეგად, რაც შესაძლებელია გამოსწორდეს მექანიკური კორექტირებით, 4x4 მონობლოკის ერთი მთლიანი შტამპის ფორმირებით. ამ წესით შტამპის დამზადების შემდგომ დამატებით ხდება მოდულის ელემენტების ოპტიკური და ელექტრული შეუსაბამობების კორექტირება. ფოკალური ლაქის მაქსიმალური გადახრა ლინზის ოპტიკური ცენტრის კოაქსიალური განლაგებიდან არის 0,2მმ. ფოკალური ლაქის ამ სტატიკურმა გადახრებმა შეიძლება გამოიწვიოს PV მოდულის მახასიათებელთა ორიენტაციის უმნიშვნელო ცვლილება და არასიმეტრიული გადახრა.

მზის მოდულის საველე პირობებში ტესტირება ტარდება მისი ფოტო-ელექტრული მახასიათებლების შესამოწმებლად, როცა ელემენტები უკვე ჩამონტაჟებულია კარკასში. ამ შემთხვევაში გამოიყენება მზეზე დამიზნების (მზის მიმართ ორიენტირების) მოწყობილობა. საველე ტესტირება დემონსტრაციას უწევს სიმძლავრის დამატებით დანაკარგებს, რომელიც გამოწვეულია ცალკეული ელემენტების ფოტომგრძობიარობების და ლინზების ეფექტურობების არსებული განსხვავებით. ეს გარემოებები ვერ ხერხდება აღმოჩენილ იქნას შენობის შიგნით ტესტირების დროს, ვინაიდან წინასწარ შეუძლებელია ყველა შესაძლო ვარიანტის გათვალისწინება, რასაც შეიძლება ადგილი ჰქონდეს რეალურ სიტუაციაში საველე პირობებში ტესტირების დროს.

გარე და შიდა ტესტირების დამუშავებული ტექნოლოგია საშუალებას იძლევა ოპტიკურ და ელექტროგენერირების ელემენტებს კონტროლი ჩაუტარდეს მათი დამზადების ყველა ეტაპზე. მოდულის ტესტირება

ხორციელდება ლაბორატორიაში იმპულსური განათების სისტემის საშუალებით სავლე კი ბუნებრივ პირობებში.

ჩატარებული კვლევების შედეგად დამუშავებული მზის კონცენტრირებული გამოსხივების ფოტოელექტრული მოდულის კონსტრუქცია, რომელიც ეფუძნება ფრენელის წერტილოვან ფოკუსიანი ლინზების (ან ამობურცული ლინზების) პანელის გამოყენებას (ნახ. 4). ბეჭდური პლატა, რომელზეც დამონტაჟებულია 4x4 რაოდენობის ელემენტები, მაგრდება უშუალოდ ფიჭური პანელის უკანა ზედაპირზე, ლინზების პანელი კი მოდულის წინა ზედაპირზე. მინი ლინზებს აქვთ 32მმ-ის ტოლი ფოკუსური მანძილი და აპერტურის კვადრატი $2,5 \times 2,5 \text{ სმ}^2$ ($6,25 \text{ სმ}^2$ ფართობი). მინი ლინზები ისეა კონსტრუირებული, რომ ფოკუსურ სიბრტყეზე იძლევიან 1,5 მმ დიამეტრის განათებულ ლაქას. მზის ელემენტის აქტიური უბნის დიამეტრი



ნახ. 4. კონცენტრირებული მოდულის განივი ჭრილი: 1-ლინზური პანელის ფუძე; 2-ფრენელის მიკროლინზა; 3-მოდულის კორპუსი; 4-მზის მოდულის ფუძე; 5-სამონტაჟო დაფა და 6-მზის ელემენტი.

არის 3,0 მმ, რაც იძლევა საშუალებას ვაკონტროლოთ კუთხის გადახრა $\pm 2^\circ$ სიზუსტით. ლინზების ოპტიკური ეფექტურობა შეადგენს 80-85%-ს.

შესაძლებელია ეფექტურობის გაზრდა თუ ლინზების ზედაპირზე დავაფენტ ანტიამრეკლავ დანაფენს.

ფრენელის ლინზების პანელის დასამზადებლად შერჩეულია ორგანული ფოტოპოლიმერული მასალა, რომელიც უზრუნველყოფს მაღალ ოპტიკურ ეფექტურობას და დედამიწის პირობებში ნორმალურად მუშაობის უნარს. ფოტომიმდების დამაგრება ხორციელდება, ჯერ ელექტრულ გამომყვანებ დატანილ ბადეზე, შემდეგ კი სპილენძისაგან დამზადებულ თერმოგამტარ რადიატორზე. ელემენტი და თერმოგამტარი რადიატორი ერთმანეთისგან ელექტრულად იზოლირებულია. ამ ტიპის კონსტრუქცია აუმჯობესებს და ამარტივებს მონტაჟის პროცესს განსაკუთრებით მაშინ, როცა ფუძეზე ხდება დიდი რაოდენობის ჩიპების დამონტაჟება. ფოტომიმდებ ელემენტებს რომლებსაც აქვთ მირჩილვისათვის მეტალური კონტაქტები, პანელზე მაგრდებიან პერფორირებული ფირის საშუალებით. ფირს გააჩნია მეტალის გამტარი არხები. მონტაჟის ბოლო სტადიაზე მათი მექანიკური განლაგება და ელემენტების ელექტრული შეერთება ალუმინის ფუძესთან ხდება დენგამტარი წებოს საშუალებით.

ლინზები და ალუმინის კონსტრუქციული ფუძე ერთმანეთთან მყარად ფიქსირდება და პოზიციას ინარჩუნებს ალუმინის ფიჭური სტრუქტურის საშუალებით. ლინზები მაგრდება ფიჭური სტრუქტურის ერთ მხარეს, ხოლო ალუმინის ფუძე კი მეორე მხარეს. ასეთი კონცენტრატორული მოდულის საერთო სისქე არის 3,2სმ, სისქეს განსაზღვრავს ლინზის ფოკალური მანძილი. მოდულის საერთო სიმაღლე შეიძლება იცვლებოდეს 32მმ-დან (SC ფოკალურ სიბრტყეში. I ტიპის), 30მმ-მდე (SC ფოკალური სიბრტყის გარეთ, სინათლის უფრო თანაბარი გადანაწილებით. ტიპი II). II-ტიპის მოდული დემონსტრირებას უკეთებს შევსების ფაქტორის და გარდაქმნის ეფექტურობის ზრდას I-ტიპის მოდულებთან შედარებით. სავსე პირობებში ტესტირება დემონსტრირებას უკეთებს სიმძლავრის დამატებით დანაკარგებს, რომელიც გამოწვეულია ცალკეული ელემენტების ფოტომგრძნობიარობის მნიშვნელობების და ლინზების პარამეტრების ერთ-

მანეთისგან განსხვავებით. მოდულის I-ტიპიდან II-ტიპზე გადასვლა ამცირებს ელემენტების მიმდევრობით წინააღობას წრედში, ზრდის შევსების ფაქტორს და ენერჯის გარდაქმნის ეფექტურობას. I-ტიპის მოდულისათვის აუცილებელია შედარებით უფრო ზუსტი მზის დამიზნების სისტემის ($\pm 1,0$) გამოყენება.

ჩვენს მიერ დამუშავებულია მზის ფოტოელექტრული სისტემების სავსე პირობებში გამოცდის მეთოდი, რაც გულისხმობს სისტემის ექსპლუატაციის მაქსიმალურად მიახლოებულ პირობებში ყველა იმ აუცილებელი პარამეტრის გაზომვას და დაზუსტებას: რომელიც საჭიროა ტესტირებისა და ექსპლუატაციისთვის; პროექტირების პროცესის განხორციელებისთვის; საინტერესოა მომხმარებლისთვის. მზის ფოტოელექტრული სისტემის სავსე გამოცდის პირობები გამორიცხავს სრულმასშტაბიანი კომპლექსური კვლევის ჩატარების შესაძლებლობას. ამიტომ ამ პირობებში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება, რომ დადგენილი იქნას მისი ძირითადი პარამეტრები, რომელთა გაზომვაც არის აუცილებელი. მიღებული ინფორმაციის მინიმალური სიმკვრივე უნდა იყოს იმდენად საკმარისი, რომ ჩატარდეს: ანალიზი და კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიურ გადაწყვეტილებათა კორექტირება, დამატებითი კვლევები თუ ამას მოითხოვს აუცილებლობა.

სავსე გამოცდების ჩატარების სპეციფიკა გულისხმობს თავისებური ლაბორატორიის შექმნას. ასეთი ლაბორატორიისათვის გამზომი აპარატურის შერჩევისას უნდა მოხდეს რიგი მნიშვნელოვანი მომენტების გათვალისწინება: ზღვის დონიდან სხვადასხვა სიმაღლეზე გამოცდების ჩატარების აუცილებლობა; ძნელად მისადგომი ადგილის (რაიონის) რელიეფი; თავისი გამზომი ტექნიკით გადასაადგილებელი ლაბორატორიის ელექტროენერჯით მომარაგებასთან დაკავშირებული სირთულეები. ასევე მხედველობაშია მისაღები ის სირთულეები, რომლებიც დაკავშირებულია კონცენტრატორიან სისტემებში გამოყენებული მზის მიმართ ორიენტირების მოწყობილობებთან. ეს პრობლემები გაზომვების დროს ზუსტად

განსაზღვრავს გასაზომი პარამეტრების ალტერნატიული არჩევანის გაკეთების აუცილებლობას. საველე პირობებში გაზომილი და შესწავლილ უნდა იქნას ქვემოთ ჩამოთვლი შემდეგი პარამეტრები და მახასიათებლები: $I_{აჰ}$ - მოკლეჩართვის დენის ძალა; $U_{უჰვ}$ - უქმესვლის ძაბვა; გარდამქმნელის დატვირთვის მახასიათებლები; გარემოს ტემპერატურა, ჰაერის ტენიანობა, სიმაღლე ზღვის დონიდან; მზის გამოსხივების ინტეგრალური ინტენსივობა, რომელიც მოდის ჩვენი პლანეტის მოცემულ რეგიონში ზედაპირის ერთეულოვან ფართობზე.

საველე და ლაბორატორიულ პირობებში გამოცდების შედეგების ურთიერთშედარება საშუალებას გვაძლევს დამუშავების პროცესის ადრეულ სტადიაზე განვსაზღვროთ მზის გარდამქმნელი სისტემის ეფექტურობა და მუშაობის რესურსი.

კონცენტრატორული სისტემის გარდამქმნელის ელემენტებზე მზის სხივების ფოკუსირებისთვის ჩვენს მიერ დამუშავებული იქნა სპეციალური მოწყობილობა, რომელიც ჩვენი აზრით მოსახარბებელია საველე პირობებში გამოცდების ჩატარებისთვის. ეს მოწყობილობა წარმოადგენს სამფეხა პლატ-ფორმას, რომელიც აღჭურვილია ხრახნიანი ზუსტი მონიპულატორებით, რაც საშუალებას იძლევა რთული რელიეფის პირობებშიც კი მოვახდინოთ იუსტირება და ჩავატაროთ შესაბამისი გაზომვები. ზუსტი იუსტირების შეფასების კრიტერიუმს წარმოადგენს $I_{აჰ}$ მოკლეჩართვის დენის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა. დროის ის მცირე ინტერვალი, რომელის განმავლობაშიც არ არის აუცილებელი იუსტირების განხორციელება, საშუალებას იძლევა ოპერატიულად და დაუბრკოლებლად ჩატარდეს სათანადო პარამეტრების გაზომვა, ავიღოთ ის ძირითადი ანათვლები რომელიც საჭიროა დატვირთვის მახასიათებლების აგებისთვის.

საველე პირობებში გამოცდების შედეგების ანალიზისთვის არანაკლები მნიშვნელობა აქვს რეგიონული ფაქტორის ასახვას - ზღვის დონიდან სიმაღლე და მზის გამოსხივების ენერგია მოცემულ ადგილზე. იმ შემთხვევაში თუ გვაქვს ადგილის გეოგრაფიული რუქა, მაშინ რათქმა უნდა

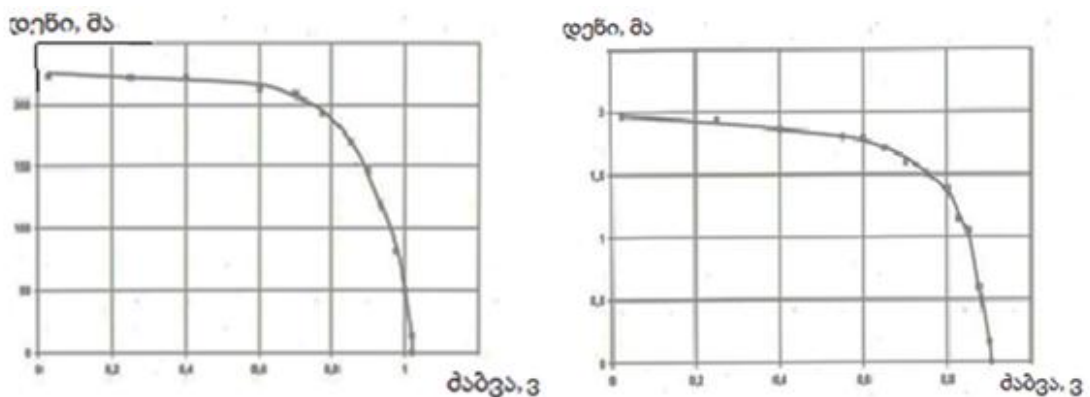
სიმაღლის გაზომვა აღარ არის აუცილებელი, ხოლო რაც შეეხება ენერგეტიკულ მახასიათებლებს აქ უკვე შეიძლება შეგვხვდეს გარკვეული სირთულეები. ზუსტი კორელაცია ადგილმდებარეობის გეოგრაფიულ სიმაღლესა და მზის გამოსხივების ინტენსივობას შორის არ არსებობს, ამ გამოსხივებაზე მოქმედებს მრავალი სხვა ფაქტორები. ლაბორატორიულ პირობებში კვლევების ჩატარებისთვის გამოიყენება მზის გამოსხივების სხვადასხვა იმიტატორები და ამიტომ მათი ენერგეტიკული პარამეტრების დაზუსტება არ წარმოადგენს სირთულეს. რეალურ პირობებში კი მოწყობილობის საექსპლუატაციო მახასიათებლების დადგენისთვის მნიშვნელოვანია უფრო მკაცრად იქნეს განსაზღვრული მზის გამოსხივების ენერგია რაიონის მოცემული ადგილმდებარეობისთვის.

მზის გამოსხივების ენერჯის ინტეგრალური ინტენსივობის გაზომვის მეთოდიკა გარკვეულად რთულია. ამ მხრივ საველე ლაბორატორია ვერ მოგვცემს სტანდარტული მეთოდოლოგიით გათვალისწინებული გაზომვების ჩატარების საშუალებას. საველე პირობებში შედარებით ზუსტად და მოხერხებულად გაზომვების ჩასატარებლად საჭიროა გამოვიყენოთ ლუქსმეტრები და გაზომვის შედეგების კორექტირებისთვის აუცილებლად გავითვალისწინოთ წინასწარ დადგენილი ემპირიული კოეფიციენტები. მზის ფოტოელექტრულ გარდამქმნელ სისტემაზე ჩვენს მიერ საველე გამოცდების ჩატარების დროს გამოვიყენეთ საქართველოს ჰიდრომეტცენტრის მონაცემები. ასეთი მიდგომა გამართლებულია, ვინაიდან ჩვენს მიერ გამოცდები და შესაბამისი გაზომვები ჩატარდა სტაციონალურ მეტეოროლოგიურ სადგურებთან ახლოს მდებარე ტერიტორიებზე.

მზის კონცენტრატორიან ფოტოელექტრულ სისტემებზე ამ ტიპის გამოცდების ჩატარებისათვის საქართველოს ტერიტორიას გააჩნია უნიკალური შესაძლებლობები. შედარებით მცირე გეოგრაფიულ ფართობზე არსებობს აშკარად გამოხატული პოლარული პირობები, უდაბნო და ნახევრადუდაბნო, ტროპიკული და სუბტროპიკული, მაღალმთიანი,

ტერიტორია კონტინენტური ჰავით და აშ. ასევე მხედველობაშია მისლები გარკვეულ რეგიონებში არსებული კლიმატის სტაბილურობაც. საქართველოს უმეტეს ტერიტორიაზე წლის განმავლობაში საშუალოდ 250 მზიანი დღეა. აქედან გამომდინარე კვლევისთვის მოცემულ ეტაპზე არჩეულ იქნა სამი რაიონი: ქ. თბილისი, ფოთი და გუდაური. ხსენებულ რეგიონებში ჩატარებული სავსე გამოცდებით მიღებული შედეგების საფუძველზე, რომლებიც აისახა გარდამქმნელი სისტემის პარამეტრებზე და მის დატვირთვის მახასიათებლებზე, ჩანს, რომ არსებობს გარკვეული კორელაცია გარდაქმნის ეფექტურობასა და ორ ძირითად პარამეტრს შორის - ატმოსფერული ფენის სისქე (AM) და მოცემულ რეგიონში ატმოსფეროს მდგომარეობა.

როგორც ადრეც ავღნიშნეთ ჩატარებული კვლევის მიზანი იყო კონცენტრატორული მოწყობილობების მოქმედების ეფექტურობის სრული სურათის განსაზღვრა. წინასწარ ჩატარებული იქნა კვლევა ცალკეული ელემენტების ელექტრული პარამეტრების და დატვირთვის მახასიათებლების დადგენისათვის. ამ მიზნით დამზადებული იქნა სპეციალური მოწყობილობა, რომელზეც შესაძლებელი იყო დაგვეყენებინა სხვადასხვა ფოკუსური მანძილის და ზომის ლინზები და დამცველი მინები. ჩვენი აზრით ასეთმა მოწყობილობამ საშუალება მოგვცა დაგვედგინა გარდამქმნელი სისტემის ეფექტურობა. ვინაიდან მოკლეჩართვის დენის,



ნახ. 5. მზის ელემენტების დატვირთვის საშუალო მახასიათებელი კონცენტრატორის გამოყენებით (ა), კონცენტრატორის გარეშე (ბ);

უქმესვლის ძაბვის და დატვირთვის მახასიათებლები შესაძლებელია შესწავლილ იქნას როგორც კონცენტრატორული ლინზების გამოყენებით, ასევე მათ გარეშე. შედარებისათვის მახასიათებლები წამოდგენილია ნახ.5-ზე. ამ გრაფიკებზე ნაჩვენებია გასაშუალოებული მნიშვნელობები.

მესამე თავში წარმოდგენილია მცირე სიმძლავრის მზის ფოტოელექტრო სისტემის დამუშავების პროცესი. დამუშავებული და დამზადებულია 25ვტ სიმძლავრის და 12ვ ნომინალური ძაბვის მზის ფოტოელექტრო სისტემის საპილოტო მოდელი. სისტემა მთლიანად ავტონომიურია, საიმედოა მუშაობაში, მარტივია ასაწყობად და ექსპლოატაციისათვის არ მოითხოვება მომხმარებელთა მაღალი კვალიფიკაცია. მცირე სიმძლავრის ტურისტული მობილური ფოტოელექტრო სისტემის აწყობისათვის საჭიროა მის კომპლექტში შემაჯავალი კომპონენტები ერთმანეთთან შევადერთოთ სადენების საშუალებით. ჩატარებულია სისტემის პარამეტრების შესწავლა სხვადასხვა პირობებში და დადგენილია მისი ძირითადი ელექტრული, კლიმატური და კონსტრუქციული პარამეტრები. სისტემას აქვს უნარი იმუშაოს ხანგრძლივი ტურისტული ლაშქრობების დროს და ნებისმიერ სავალე პირობებში. დაშლილ მდგომარეობაში სისტემა მთლიანად თავსდება მოხერხებულ წყალგაუმტარ ჩანთაში, რომელიც იცავს სისტემას ტრანსპორტირების დროს მექანიკური დაზიანებისაგან, წვიმისა და თოვლისაგან.

საერთო დასკვნები:

1. დამუშავებულია მზის კონცენტრირებული გამოსხივების ფოტოელექტრული გარდამქმნელი ელემენტებისათვის მრავალფენიანი ჰეტეროეპიტაქსიური სტრუქტურების თხევადფაზური ეპიტაქსიური მეთოდით დამზადების ტექნოლოგიური რეჟიმები.
2. დადგენილია მრავალფენიანი ჰეტეროსტრუქტურების შემადგენელი ფენების მყარ ხსნართა ქიმიური შემადგენლობა, ოპტიმალური სისქეები, მალეგირებელი ნივთიერების ტიპი და კონცენტრაცია, ზრდის პროცესების ტემპერატურულ-დროითი რეჟიმები.

3. დამუშავებულია ჰეტეროსტრუქტურებში თხელი ეპიტაქსიური ფირების მიღების დაბალტემპერატურული თხევადფაზური ეპიტაქსიის ტექნოლოგიური რეჟიმები, დადგენილია მყარ ხსნართა შემადგენლობა და თითოეული ფენის ზრდის პროცესისათვის საჭირო კაზმში კომპონენტების წონითი თანაფარდობა, შესწავლილია მიღებული სტრუქტურების თვისებები;
4. დადგენილია, რომ დაბალტემპერატურული მეთოდი საშუალებას იძლევა გავზარდოთ უფრო თხელი და სრულყოფილი ფენები, რის შედეგადაც შექმნილ სტრუქტურებს გააჩნიათ მაღალი ტემპერატურული სტაბილურობის უნარი და მზის სპექტრის მოკლევადიანი არეში შედარებით უფრო მომატებული მგრძობიარობა.
5. მიღებული ჰეტეროეპიტაქსიური სტრუქტურების საფუძველზე დამუშავებულია მზის ელემენტების კრისტალების ტოპოლოგია და დამზადების ტექნოლოგია, მათი ტესტირების მეთოდები და შესწავლილია ძირითადი პარამეტრები. შეფასებულია ფოტოელექტრული გარდაქმნის მარგი ქმედების კოეფიციენტი.
6. დამუშავებულია ოპტიკური ლინზების და მზის კონცენტრირებული გამოსხივების მოდულის კონსტრუქცია, მათი დამზადების და ტესტირების მეთოდები.
7. დამუშავებულია მზის კონცენტრირებული გამოსხივების ფოტოელექტრული გარდამქმნელი დანადგარის ლაბორატორიულ და საველე პირობებში ტესტირების მეთოდები, განსაკუთრებული ყურადღება გამახვილებულია საველე პირობებში მათ ტესტირებაზე, ვინაიდან ის იძლევა სრულ სურათს ექსპლუატაციის მიახლოებულ პირობებში დანადგარის ეფექტურად მუშაობის შესახებ. კვლევები ჩატარებულია საქართველოს სამ რეგიონში (თბილისი, ფოთი, გუდაური).
8. დამუშავებულია მცირე სიმძლავრის მზის ფოტოელექტრო სისტემის კონსტრუქცია და დამზადებულია საპილოტო მოდელი, სისტემა მთლიანად ავტონომიურია, საიმედოა მუშაობაში, ასაწყობად მარტივია

და ექსპლოატაციისათვის არ მოითხოვება მომხმარებელთა მაღალი კვალიფიკაცია.

9. სისტემა შეიძლება გამოყენებული იქნეს, როგორც ელექტროენერჯის წყარო მთიანი, მიუვალი ადგილების, ტურისტული ჯგუფების, მცირე ფერმერული მეურნეობის და სხვა ობიექტების ავტონომიური ელექტრო ენერჯით მომარაგების უზრუნველსაყოფად.
10. დამუშავებული კონსტრუქციის მცირე სიმძლავრის მზის ფოტო-ელექტრო სადგური არის საქართველოს ბაზრისთვის ახალი პროდუქტი, რომელიც განახლებადი ეკოლოგიურად სუფთა ენერჯის წყაროს გამოყენებით ავსებს მომხმარებელთა ავტონომიური ელექტრო მომარაგების სფეროში არსებულ სიცარიელეს.
11. შეფასებულია სამუშაოს პრაქტიკული ღირებულება და მისი განვითარების პერსპექტივა, ფოტოელექტრული გარდაქმნელი ელემენტების ეფექტურობის და მუშაობის სტაბილურობის გაზრდის მიზნით კვლევები უნდა გაგრძელდეს ნანო და კვანტურ წერტილიან ჰეტერო-ეპიტაქსიურ სტრუქტურებზე, ვინაიდან მათ საფუძველზე შესაძლებელია მიღებულ იქნას ეფექტური (60%-ზე მეტი) გარდაქმნელები.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში:

1. Goderzishvili G., Mkheidze T., Chikovani R., Prospects of the development of production of photoelectric semiconductor convertors of solar energy in Georgia, Georgian Engineering News N1, 2004;
2. Trapaidze I., Chikovani R., Mkheidze T., Goderdzishvili G. The prospects of Development of photoelectric convertors by using solar energy in Georgia, Conference, Dresden, der Deutschen Physikalische Gesellschaft (DPG), New Journal of Physics, March 27-31, 2006;
3. Trapaidze I., Berkovitz B., Khasieva R., Minashvili T., Davitadze K., Iluridze G. Effect of optical anisotropy in barrier structure Au-GaAs (001), NOVA Science Publisher. "Georgian International Journal of Science and Technology", USA, volume 3, issue 1, 2011;

4. Chikovani R., Goderdzishvili G., Trapaidze L. Trapaidze I. Main direction of photoelectric converters research in Georgia. Conference Berlin, der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG), New Journal of Physics, Mar. 25-30, 2012;
5. Trapaidze I., Jabua Z., Kupreishvili I., Gigineishvili A., Iluridze G., Minashvili T., Davitadze K. The absorption spectra of PrSb₂ thin films of golden color. Conference Berlin, der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG), New Journal of Physics, March 25-30, 2012;
6. Trapaidze I., Jgenti M., Trapaidze L., Goderdzishvili G. Treatment of light emitting equipment on the base of III-V semiconductive compound for information visual reflectionsystems. Conference Regensburg, der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG), New Journal of Physics, March 10-15, 2013;
7. ტრაპაიძე ი. მზის ენერჯის ფოტოელექტრო გარდამქმნელი მოდულები და მათ საფუძველზე აგებული ენერგეტიკული სისტემები, (მოხსენება), სტუდენტთა 81-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2014 წ.;
8. Trapaidze I., Chikovani R., Goderdzishvili G. Prospects of Solar energy in Georgia. International School of Nanophotonics and Photovoltaics (ISNP) – Italy, September, 2013;
9. Trapaidze I., Goderdzishvili G., Chikovani R., Minashvili T. Photo electric converters (Photovoltaic) and the energy power systems, DPG Spring Meeting (Deutsche Physikalische Gesellschaft), 30 Mar.-04 Ap. 2014, Dresden, Germ.
10. Trapaidze I., Jghenti M., Berakchian V., Chulukhadze N. Elaboration of the method of local thermal oxidation for designing of integrated multielement light-emitting indicators, Georgian Engineering News (GEN), #1 (vol. 69) 2014
11. Trapaidze I., Goderdzishvili G., Trapaidze L., Jghenti M., Chulukhadze N., Esiava N. Photovoltaic installations with sunlight concentrators”. International School of Nanophotonics and Photovoltaics ISNP, Italy-Georgia Georgian Technical University, Sept. 2014.
12. Trapaidze I., Chikovani R., Goderdzishvili G., Khachidze T., Trapaidze L. Increase of efficiency of photoelectric transformers of solar concentrated energy systems on the basis of III-V semiconductor compounds, 79th Annual Meeting of the DPG and DPG Spring Meeting (Deutsche Physikalische-Gesellschaft), 15-20 March, 2015, Berlin, Germany.
13. ტრაპაიძე ი., გოდერძიშვილი გ., ჟღენტი მ., ჭულუხაძე ნ. „მზის კონცენტრირებული გამოსხივების ფოტოელექტრო გარდამქმნელი მოდულის დამუშავება“ Georgian Engineering News (GEN), #1, 2015.

Georgian Technical University

Ia Trapaidze

**Processing of concentrated solar radiation PV modules on the basis of
AlGaAs-GaAs heterostructures**

The Abstract

of the thesis presented for attainment of the

Doctoral academic degree

Doctoral Program “Engineering Physics”, cipher 0404

Tbilisi, Georgia

2015

The work was prepared and done In the Georgian Technical University

Faculty of Informatics and Control Systems, Departament of Physics

The Scientific Supervisor: Professor, Gela Goderdzishvili

The Reviewers: -----

The defence will ocure in July_____

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

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

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, Professor _____ Tinatin Kaishauri

ABSTRACT

Among the alternative and renewable sources of energy the transformation of solar energy directly into electric energy attracts more growing attention. In consciousness of society the idea is being established that energetic of future should be based on a wide scale application of solar energy. The devices which directly transform the solar energy into the electric energy are fully modern ones both from the scientific and technical point of view.

Study of the process of solar energy transformation is task of the field of modern science - the "Photo-energetic". The photo-energetic is not a new technology. The novelty is that technology by its level of development has achieved the stage when it is possible to create the electric stations with the power of several Watts. For today solar energy is widely used in various fields.

Till present the photoelectric transformers of solar radiation practically have been prepared only on crystalline silicon. The goal of researchers is to increase efficiency of photoelectric transforming systems and to lower the cost. The investigations are mainly carried out for development of solar elements and modules, for creation of new materials and optimization of their composition, for processing of structures of a new type and creation of cascade photoelectric transformers in which there are used the semiconductors with the width of specially selected forbidden gaps. With the aim to increase the efficiency of solar photoelectric transformers for the last period there are widely used as well the concentrated systems. Fabrication of concentrating systems, hetero and cascade structures is rather complex and costly process. But in future their application is very profitable, so as the efficiency is considerably increased and totally it is possible that their price will be decreased.

These actual problems have defined **theme and goal of the given work:** On the basis of AlGaAs-GaAs structures prepared by epitaxial method of low-temperature liquid-phase to develop the technology and construction of preparation of photoelectric transforming elements of solar concentrated radiation, study of their electro-physical properties.

For realization of the target we have decided to solve following tasks:

1. On the basis of multilayer hetero-structure we have labored out the design and technology fabrication of photoelectric transforming element and module of solar concentrated radiation.
2. On the basis of p-n hetero-structures prepared by the low-temperature technological methods we have created a laboratory version of solar cells and module.
3. We have worked out the methods of testing modules and lenses in the field conditions and have carried out the testing.
4. On the basis of analysis of the received results we have labored out a recommendation about the industrial version of solar concentrated radiation.

The results and scientific novelty of the work:

1. The epitaxial method of low-temperature liquid-phase for receiving the solid solution *GaAs-AlAs* multi-layer hetero-structures has been investigated and temperature-time modes of growth of separate layers have been identified.
2. The design and technology of preparation of photo-electric transforming module of solar concentrated radiation has been labored out, as well testing methods in laboratory and field conditions.
3. The influence of designing and technological factors on exploitation parameters and photoelectric characteristics of photoelectric transforming module of solar concentrated radiation has been studied.

In the present work for fabrication of hetero-structures we have used the low-temperature liquid-phase epitaxial method in which we have introduced the changes and identified: a chemical composition of solid solutions of separate layers of multilayer hetero-structures; the optimal thicknesses; type and concentration of doping material; the temperature-time modes of the growing processes. As a result in the obtained hetero-structures the high value of efficiency coefficient of solar concentrated radiation up to 23,4% (K=100-500) and stability of technological process have been achieved.

On basis of obtained hetero-structures for module of concentrated module we have developed the topology of the crystals of solar cells and on their basis we have created the design of module by using the panel of Fresnel lenses. By using of testing methods of elements and modules we have studied the main parameters both in laboratory and field conditions. On the basis of results obtained from field testing carried out in the mentioned regions which have been reflected on the parameters of

transforming system and on its loading characteristics, it is shown that there exists the definite correlation between the transformation efficiency and two main parameters – thickness of atmospheric layer (AM) and state of the atmosphere in a given region.

We have developed design and fabricated a pilot model of low power tourist mobile photoelectric system.

The practical validity of work: The results obtained as a result of experimental researches and processed construction of photoelectric transformer module of solar concentrated radiation, fabrication technology, the methods of study of properties and parameters give us a possibility to labor out solar modules of a new design and their industrial version.