

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

შორენა ხიზანიშვილი

ერთიან ტექნოლოგიურ ციკლში GaAs სტრუქტურის მიღების  
პროცესის დამუშავება

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2012 წელი

ნაშრომი შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის ფიზიკის დეპარტამენტის მყარი სხეულების ფიზიკის მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ასოც. პროფესორი იამზე კალანდაძე

რეცენზენტები: ასოც. პროფესორი ტ.მ.კ. მიხეილ თაქთაქიშვილი

მიკრო და ნანოელექტრონიკის ინსტიტუტის  
დირექტორის მოადგილე  
ტექნიკის მეცნიერებათა  
კანდიდატი რევაზ მელქაძე

დაცვა შედგება 2012 წლის "-----", "-----",----- საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი 6, აუდიტორია -----  
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატის სტუ-ს ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი:

ტ.მ.დ. პროფესორი

თინათინ კაიშაური

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**შესავალი.** უკანასკნელი ორი ათეული წლის განმავლობაში შეიმჩნევა ნახევარგამტარული ხელსაწყოების და მოწყობილობების მძლავრი განვითარება, რომლის განუყოფელი ნაწილია სასურველი თვისებების მქონე საწყისი მასალების მიღება.

ძალიან საინტერესოა ის ხელსაწყოები, რომელთა მუშაობის პრინციპი დამყარებულია ნახევარგამტარულ ნიმუშზე ძლიერი ელექტრული მოდების დროს დენის არამდგრადობის ეფექტზე - განნის ეფექტი.

განნის დიოდების ტექნოლოგიაში, უნიკალური ელექტროფიზიკური თვისებებიდან გამომდინარე, ყველაზე შესაფერისი მასალა გალიუმის არსენიდი აღმოჩნდა.

იმისდა მიუხედავად, რომ თავად განნის ეფექტი გალიუმის არსენიდის მონოკრისტალში იქნა აღმოჩენილი, დღესდღეობით ყველაზე შესაფერისი მასალა მიიღება  $Ga - As - In$  კლორიდული სისტემის აირადი ფაზიდან ეპიტაქსიური დაფენის საშუალებით.

თანამედროვე მიკროელექტრონიკის მოთხოვნებს განსაკუთრებით კარგად აკმაყოფილებენ პლანარული კონსტრუქციის განნის დიოდები, რომლებიც საშუალებას გვაძლევენ დამზადდეს ზემოაღნიშნული სიხშირის და ზესწრაფი ხელსაწყოები მონოლითური ინტეგრალური ტექნოლოგიებით.

უამრავი გამოკვლევის შედეგები მიუთითებს უეჭველ პროგრესზე ეპიტაქსიის პროცესის შესწავლაში, თუმცა საფენის და ფირის გამყოფ საზღვარზე მაღალომიანი გარდამავალი ფენის არსებობა მიღებული სტრუქტურების დიდი ნაკლია. გარდამავალი არეს გავლენა განსაკუთრებით ნათლად ვლინდება ხელსაწყოებში ფუნქციონალური ნაწილით, რომელიც ფირის საფენის გამყოფ საზღვარს მოიცავს.

**თემის აქტუალობა.** ნახევარგამტარული ხელსაწყოების, კერძოდ განნის დიოდების წარმოებაში, მნიშვნელოვან როლს თამაშობს დიელექტრიკული დანაფარები. დიდი უპირატესობა აქვს ინტეგრალურ ტექნოლოგიას, რომელშიც შერწყმულია განსხვავებული სტრუქტურის

ფენების მიღება ერთ პროცესში. ამიტომ ისეთი ტექნოლოგიის შექმნა, რომელიც  $n$  და  $n^+$  ტიპის გალიუმის არსენიდის დამზადების საშუალებას იძლევა, ძალიან აქტუალური ამოცანაა.

**სამუშაოს მიზანი და ამოცანები.** სადისერტაციო სამუშაოს მიზანია შეთავსებული აირფაზური პროცესების შემუშავება ერთგვაროვანი  $n$  და  $n^+$  ტიპის ეპიტაქსიური გალიუმის არსენიდის სტრუქტურების მისაღებად მკვეთრი ფენათაშორისი გადასვლით და სილიციუმის ორჟანგის დანაფართოებით, მათი განნის ეფექტზე დამყარებული დიოდების დამზადების მიზნით.

**დაკვირვების მეთოდიკა.** დაკვირვების ძირითად მეთოდებად არჩეულია: ეპიტაქსიის პროცესის ანგარიში ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის საშუალებით; ოდერ-1 და ოდერ-5 გაუმჯობესებულ დანადგარებზე ექსპერიმენტული კვლევა; ეპიტაქსიური სტრუქტურების ფენა-ფენა მოწამვლის მეთოდი; გალიუმის არსენიდის ეპიტაქსიური ფენების ელექტროფიზიკური პარამეტრების გაზომვის C-V და ვან-დერ-პაუს მეთოდები, ინფრაწითელი სპექტროსკოპია და ელექტრონული მიკროსკოპია დიელექტრიკული ფენების თვისებების შესწავლისათვის.

#### **ნაშრომის მეცნიერული სიახლე და პრაქტიკული ღირებულება.**

ნაშრომის ძირითადი სამეცნიერო სიახლე და პრაქტიკული ღირებულება შემდეგში გამოიხატება:

1. შემუშავებულია აირადი ფაზიდან განნის დიოდების დასამზადებელი სტრუქტურების ერთიანი ტექნოლოგიური ციკლი, რომელიც მოიცავს ერთგვაროვანი  $n$ -გალიუმის არსენიდის ფენის, სილიციუმით ლეგირებული გალიუმის არსენიდის ფენის და სილიციუმის ორჟანგის ფენის მიღებას.
2. წარმოდგენილია გალიუმის არსენიდის ეპიტაქსიური ფენების მიღების ახალი მეთოდიკა პროგრამით - ზრდა-მოწამვლა-ზრდა (ზრ.-მოწ.-ზრ.), რომელიც საშუალებას იძლევა საფენი-ფირის გამყოფ საზღვარზე მაღალომიანი გარდამავალი ფენის სისქე 4-10-ჯერ შევამციროთ.

3. გამოთვლილია მაღალმომიანი ფენის დასაშვები სისქის დამოკიდებულება ეპიტაქსიური ფენის აქტიურ და გარდამავალ არეებში მუხტების გადამტანების კონცენტრაციების ფარდობასთან. გარდამავალი ფენების სისქის ექსპერიმენტის და გამოთვლებით მიღებული შედეგების შედარებამ გვაჩვენა, რომ ზრ.-მოწ.-ზრ. მეთოდის გამოყენება ფირი-საფენის დარღვეული საზღვრის მავნე ზეგავლენის თავიდან აცილების საშუალებას იძლევა.
4.  $G a - A s_3 C - I S i C_4 - H_2$  აირადფაზურ სისტემაში გალიუმის არსენიდის ეპიტაქსიური ფენების ზრდის, მოწამვლის და ლეგირების მათემატიკურმა მოდელმა საშუალება მოგვცა დაგვედგინა პროცესის პარამეტრების გავლენა აირადი ფაზის შემადგენლობაზე, ლეგირების დონეზე და ზრდის სიჩქარეზე.

გამოვლენილია რეაქცია, რომლის მიხედვითაც ხდება ზრდის პროცესში გალიუმის არსენიდის სილიციუმით ლეგირება.

5. ნაჩვენებია აირადი ფაზის შემადგენლობის გავლენა ზრდის და მოწამვლის სელექტიური პროცესის მიმდინარეობაზე და დადგენილია რეჟიმი, რომელიც უზრუნველყოფს შევსების პლანარულობას ჯიბეების ზომის უმნიშვნელო ( $\leq 10\%$ ) გადიდებისას.
6. მიღებული სტრუქტურების ბაზაზე შექმნილია პლანარულ-ტორსული და „სენდვიჩის“ ტიპის კონსტრუქციების განნის დიოდები 2,5 – 10 გჰც სიხშირეზე 100 მილივატიდან - 10 ვატამდე სიმძლავრის ზმს გამოსხივებით. ვარგისი სტრუქტურების გამოსავალი 5 %-ია.

**ნაშრომის აპრობაცია:** დისერტაციის ძირითადი შინაარსი მოხსენებული იყო ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის ფიზიკის დეპარტამენტის კოლეგიის სამეცნიერო სემინარების სხდომაზე.

დისერტაციის შინაარსი და ძირითადი შედეგები წარმოდგენილი იყო 2009 და 2011 წ. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციებზე.

**პუბლიკაციები:** დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 5 სამეცნიერო ნაშრომში, მათი ჩამონათვალი მოყვანილია ავტორეფერატის ბოლოს.

**ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა:** დისერტაციის სრული მოცულობა შეადგენს 164 ნაბეჭდ გვერდს. დისერტაცია შედგება რეზიუმესაგან (ორ ენაზე), სარჩევის, ნახაზების, შესავლის, ხუთი თავის და ილუსტრაციის სახით მოყვანილი 64 ნახაზის, 9 ცხრილის, დასკვნებისა და 182 გამოყენებული ლიტერატურისაგან, ავტორის მიერ გამოქვეყნებული სამეცნიერო ნაშრომებისაგან, რომლებშიც ასახულია დისერტაციის ძირითადი შედეგები.

## ნაშრომის შინაარსი

**პირველ თავში** ლიტერატურის ანალიტიკური მიმოხილვის საფუძველზე ნაჩვენებია თემის აქტუალობა, ჩამოყალიბებულია ამოცანები და დასაბუთებულია სადისერტაციო სამუშაოს შესრულების გეგმა.

**მეორე თავი** ეძღვნება პროცესის პარამეტრებიდან გამომდინარე,  $G a - A s_3 C - I S i C_4 t - H_2$  სისტემის აირადი ფაზის შემადგენლობის თერმოდინამიკურ ანგარიშს.

იმ ნივთიერებების წინასწარი შერჩევის შემდეგ, რომლებიც ქლორიდული სისტემის ფუნქციონალური შესაძლებლობების გაფართოებას უზრუნველყოფენ, დადგინდა, რომ სილიციუმის ტეტრაქლორიდი ( $S i C_4$ ) ყველა მოთხოვნას აკმაყოფილებს. მისი უპირატესობა სხვა ნივთიერებებთან შედარებით შემდეგში გამოიხატება:

1. სილიციუმი, მიუხედავად იმისა, რომ გალიუმის არსენიდისთვის ამფოტერული მინარევია, ქლორიდული პროცესის მიმდინარეობის დროს ქმნის დონორულ დონეებს, რაც გალიუმის არსენიდის ეპიტაქსიური ფენების ლეგირებისთვის მისი გამოყენების საშუალებას იძლევა.

2. სილიციუმის ტეტრაქლორიდი შედარებით ადვილად აქროლადია, ადვილად ურთიერთქმედებს წყალბადთან და წარმოქმნის აირად  $HCl$ -ს, რომელიც საფენის აირადი მოწამვლისთვის შეიძლება გამოიყენოს.
3. სილიციუმის ტეტრაქლორიდის წყლის ორთქლთან ურთიერთქმედებისას სილიციუმის ორჟანგი წარმოიქმნება.

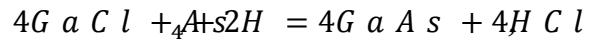
გამომთვლელ მანქანაზე ზრდის პროცესის მათემატიკურმა მოდელმა საშუალება მოგვცა დაგვედგინა აირადი ფაზის შემადგენლობის, ლეგირების დონისა და ფენების სიჩქარის ზრდის დამოკიდებულება პროცესის ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე (დალექვის ტემპერატურა და  $G a - A s C_3 \pm S i C_4 \pm H_2$  სისტემაში წყალბადის ხარჯი  $A s C_3 l$  და  $S i C_4 l$  ამორთქლებლების გავლით).

გამოთვლებისთვის საწყისი მონაცემები იყო  $H_2/A s C_3$  და  $H_2/S i C_4$  ნაკადების სიდიდეები წყალბადის ნაკადის ( $2000 \text{ სმ}^3/\text{წთ}$ ) და ბარბოტერის ტემპერატურის ( $20^\circ\text{C}$ ) მუდმივობის დროს.

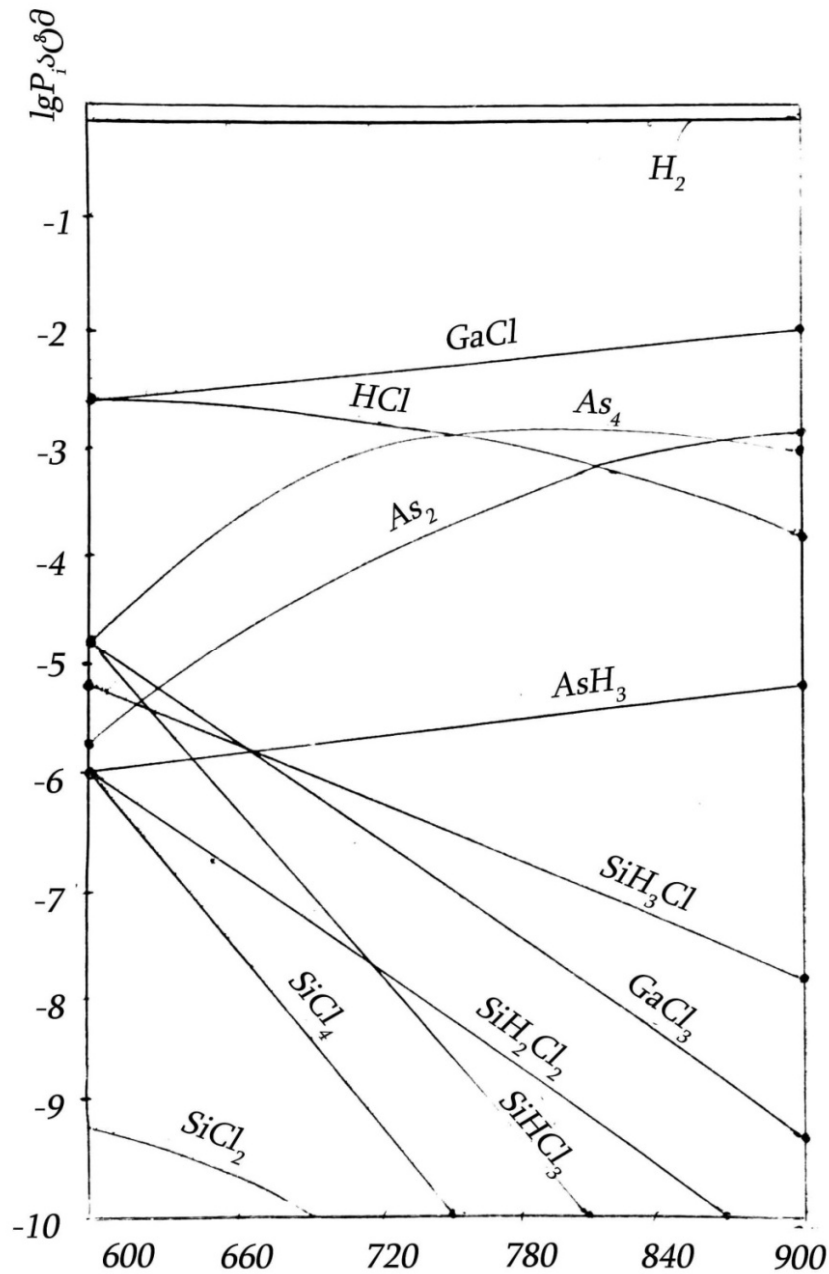
თერმოდინამიკური ანალიზის კორექტულობისათვის აირად ფაზაში ვითვალისწინებდით ყველა შესაძლო მოლეკულურ ფორმას.

ზრდისა და ლეგირების პროცესების მოდელირება ნაკადის ბირთვში და ზრდის ზედაპირზე აირადი ფაზის წონასწორული შემადგენლობის ანგარიშს ეფუძნებოდა. წონასწორული შემადგენლობები განისაზღვრებოდა ტრანსტენდენციური განტოლებების ამოხსნის გზით, რომლებიც დამოუკიდებელი ქიმიური რეაქციების ნებისმიერ ნაკრებებს, დალექილი და დაულექავი რეაგენტების შენახვის კანონებს შეესაბამებოდა. ჯამური რეაქციების განსაზღვრა, რომლებიც ფირების ზრდასა და ლეგირებას უზრუნველყოფენ, აგრეთვე ზრდის სიჩქარის შეფასება მიმდინარეობდა ნაკადის ბირთვში და ფირის ზედაპირზე წონასწორული ეფექტური პარციალური წნევების სხვაობის მიხედვით, დიფუზიის კოეფიციენტის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გათვალისწინებით.

აირადი ფაზის შემადგენლობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ტიპური გამოსახულება წამოდგენილია 1-ელ ნახაზზე, საიდანაც ჩანს, რომ გალიუმის არსენიდის დაფენას უზრუნველყოფს ჯამური რეაქცია



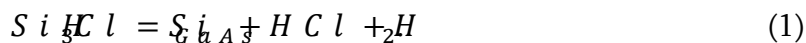
რაც ლიტერატურულ მონაცემებს შეესაბამება.



ნახ. 1.  $Ga - As_3Cl - SiCl_4 - H_2$  სისტემის აირადი ფაზის შემადგენლობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე



გათვლებიდან მიღებული ახალი შედეგი არის ჯამური რეაქციის განსაზღვრა, რომელიც ეპიტაქსიური ფირის ზრდის დროს გალიუმის არსენიდის სილიციუმით ლეგირებას უზრუნველყოფს



გალიუმის არსენიდის დაფენის დროს სხვა ქლორსილანები ( $SiCl_3$  და  $SiHCl_2$ ) გაცილებით ნაკლები რაოდენობით არიან წარმოდგენილი.

ამ დასკვნის დასაბუთებისთვის მოყვანილი იქნა აირადი ფაზის გათვლები შემდეგი შემთხვევებისთვის:

1. აირადი ფაზა მთლიანად ჰომოგენურია, ანუ  $GaAs$ -ის და  $Si$ -ის დაფენა არ მიმდინარეობს (ნაკადის ბირთვის შემადგენლობა);
2. არ ხდება  $Si$ -ის დაფენა, რომელიც რჩება აირად ფაზაში, ქლორსილანის სახით (შემადგენლობა დაფენის ზედაპირის ზემოთ).

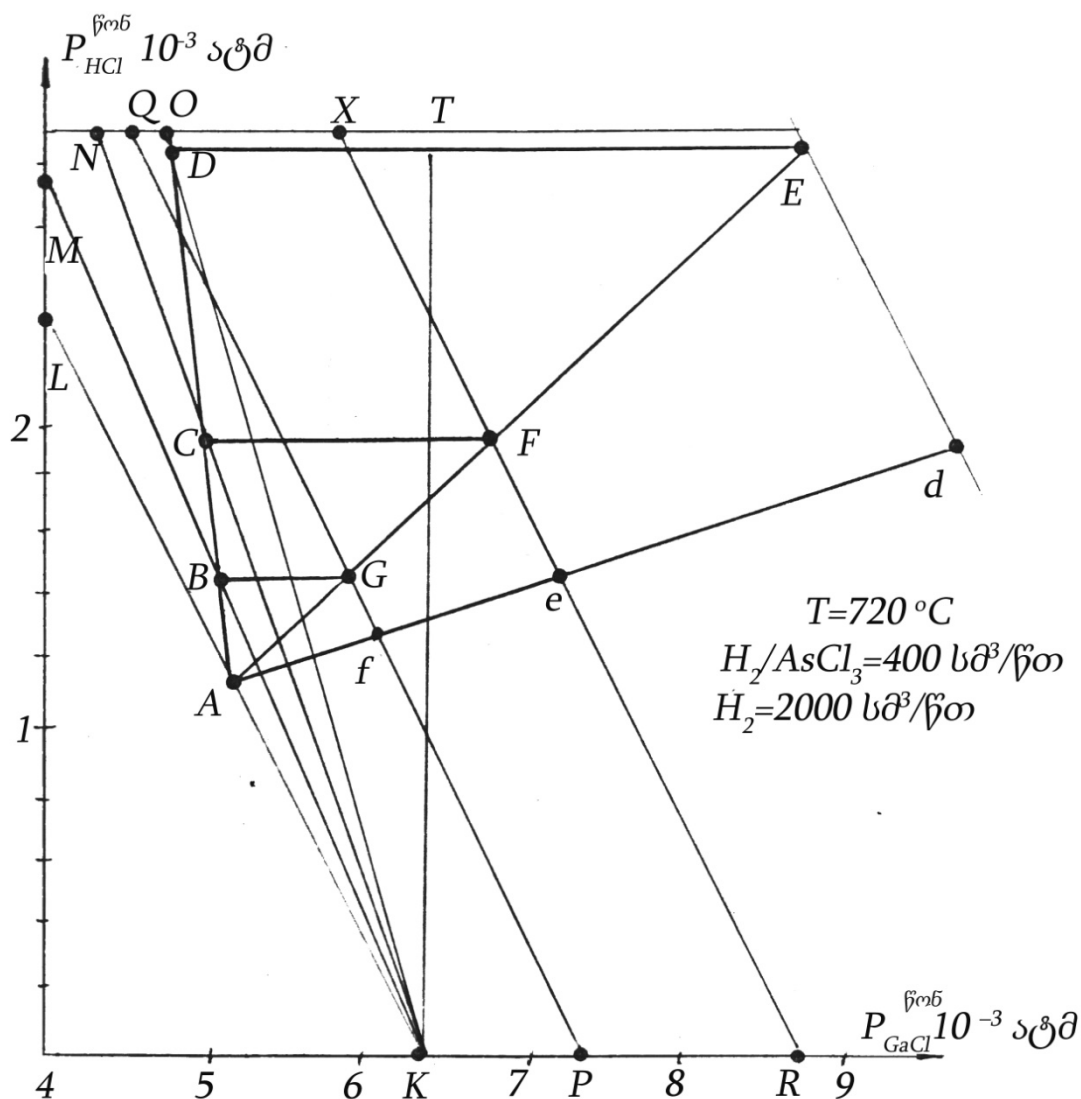
გამოთვლებმა ზემოთხსენებული დაშვებების გათვალისწინებით აჩვენა, რომ ყველა ქლორსილანიდან უდიდესი წნევა  $SiHCl$ -ს გააჩნია. ტემპერატურის მომატებისას  $SiHCl$ -ის პარციალური წნევა  $SiHCl_3$ -ს და  $HCl$ -ის წნევის კლების ხარჯზე საგრძნობლად იმატებს. შესაბამისად, ტემპერატურის მომატებისას ქლორი გადადის  $SiHCl_3$ -დან  $SiHCl$ -ში შემავალი რეაქციით:



700 – 720°C-ზე უფრო მაღალი ტემპერატურის დროს ყველა ქლორსილანების პარციალური წნევა, როგორც ნაკადის ბირთვში, ასევე ზრდის ზედაპირის ზემოთ, ძალიან მცირეა  $SiHCl$ -ის წნევასთან შედარებით. ამ მოსაზრებიდან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ (1) რეაქცია ნამდვილად არის ეპიტაქსიური გალიუმის არსენიდის სილიციუმით ლეგირების რეაქცია.

მე-2 ნახაზზე წარმოდგენილია დიაგრამა, რომელიც ასახავს  $HCl$ -ის და  $GaCl_3$ -ს წონასწორული პარციალური წნევის ცვლილებას ნაკადის

უმუალოდ ზრდის ზონაში  $720^{\circ}\text{C}$ -ზე მიწოდებისას და სამქლორიანი დარიზხანის ამორთქლებელში წყალბადის ხარჯით -  $400\text{სმ}^3/\text{წთ}$ .



ნახ. 2.  $HCl$ -ისა და  $GaCl_3$ -ის წონასწორული პარციალური წნევების დიაგრამა

$Ga - As_3C - H_2$  სისტემაში  $H_2/S$  i  $Ga$ -ის ნაკადის დამატების დროს

$KL, KM, KN$  და  $KO$  აგებულია  $S$  i  $Ga$  ამორთქლებლის გავლით წყალბადის ხარჯის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის:  $KL$  -  $H_2/S$  i  $Ga$  ნაკადის არარსებობის დროს;  $KM, KN$  და  $KO$  -  $H_2/S$  i  $Ga$  ნაკადებისთვის ხარჯით 2; 5 და 10  $\text{სმ}^3/\text{წთ}$ . შესაბამისად  $A$  წერტილი ასახავს რეაქტორში  $P_{HCl}$  და  $P_{GaCl_3}$  დამოკიდებულებას  $H_2/S$  i  $Ga$  ნაკადის არსებობისას.

წერტილები  $B, C, D$  წირებზე  $KM, KN$  და  $KO$  შეესაბამებია  $HC$ -ის წონასწორულ პარციალურ წნევას ( $720^{\circ}C$  ტემპერატურაზე), ხოლო  $E, F$ , წერტილები –  $Ga$  წონასწორულ პარციალურ წნევებს. მონაკვეთები  $DE, CF$ , გვიჩვენებენ, რომ  $H_2/SiC$  ნაკადის გაზრდასთან ერთად  $Ga$   $Cl_3$  წონასწორული პარციალური წნევა იზრდება.

მე-2 ნახაზიდან გამომდინარეობს, რომ გალიუმის ქლორიდის წონასწორული პარციალური წნევის გაზრდა  $H_2/SiC$  ნაკადის უშუალოდ ზრდის ზონაში მიწოდებისას შესაძლებელია მხოლოდ საფენის მოწამვლის ხარჯზე. ანუ  $H_2/SiC$ -ის ნაკადის გარკვეული სიდიდის დროს შესაძლებელია პროცესის ზრდის არიდან მოწამვლის არეში გადასვლა.

ეპიტაქსიურ გალიუმის არსენიდში სილიციუმის შესვლის კოეფიციენტის საანგარიშოდ მიღებულია ფარდობა  $K_{შეს.} = \frac{a_{S \text{ მ.ფ.}}}{Y_{S \text{ მ.ფ.}}}$ , სადაც  $a_{S \text{ მ.ფ.}}$  - არის სილიციუმის აქტივობა მყარ ფაზაში, ხოლო  $Y_{S \text{ მ.ფ.}}$  განისაზღვრება ეფექტური წნევების ფარდობით

$$Y_{S \text{ მ.ფ.}} = P_{Si}^* / (P_{Si}^* + P_{GaAs}^*)$$

სადაც  $P_{Si}^* = P_{SiCl_4} + P_{Si_2Cl_6} + P_{SiHCl_3} + P_{SiH_2Cl_2} + P_{SiH_3Cl}$

ხოლო  $P_{GaAs}^* = P_{As_2} + 4P_{As} + 2P_{As_3}$ .

$Y_{S \text{ მ.ფ.}}$  - არის სილიციუმის მოლური წილის აირფაზური ანალოგი მყარ  $GaAs$ -ში.

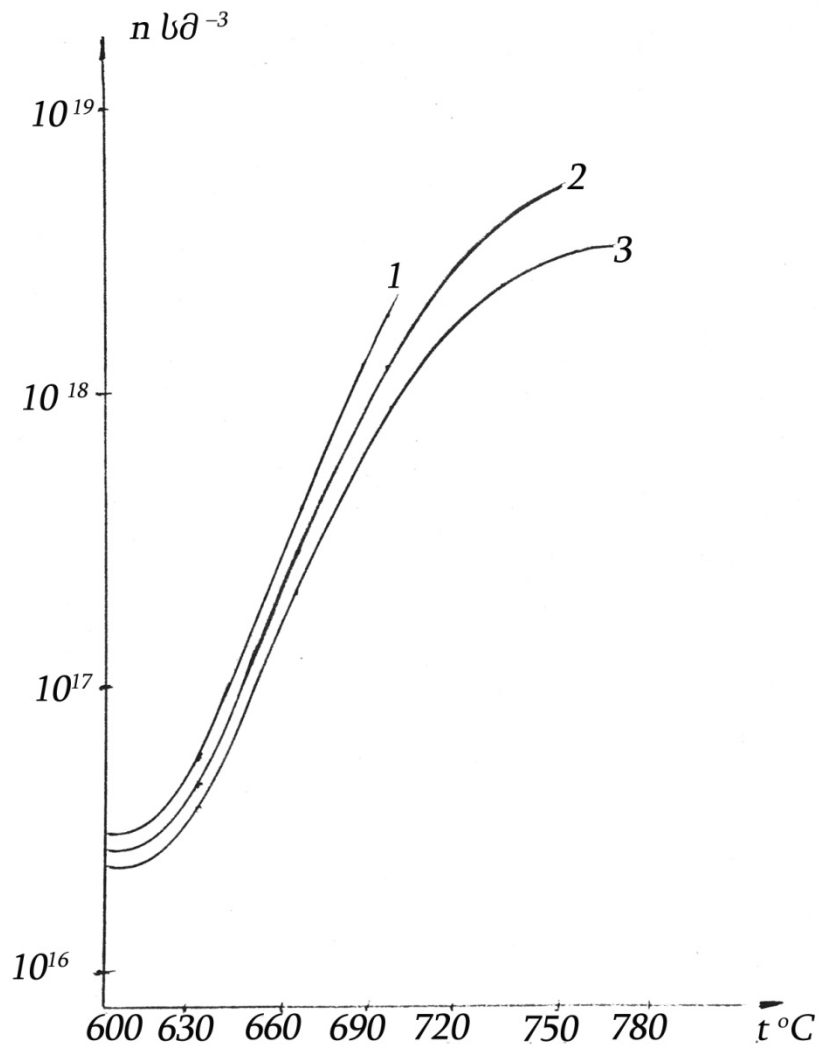
რადგან  $Y_{S \text{ მ.ფ.}} = Y_{Si}^{\text{შედ.}} = \frac{P_{Si}^{\text{შედ.}}}{(P_{Si}^{\text{შედ.}} + P_{As}^{\text{შედ.}})}$ , მაშინ, თუ გვეცოდინება  $K_{შეს.}$ ,

შეიძლება განვსაზღვროთ გალიუმის არსენიდში სილიციუმის წონასწორული კონცენტრაცია, ან რაც იგივეა, ლეგირების დონე

$$a_{S \text{ მ.ფ.}}(n) = K_{შეს.} \times Y_{S \text{ მ.ფ.}}$$

$lg K_{შეს.}$ -ის დამოკიდებულებამ ამ პროცესის ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე აჩვენა, რომ  $K_{შეს.}$  ყველაზე მეტად პროცესის ტემპერატურაზე არის დამოკიდებული.  $K_{შეს.}$  შედარებით ნაკლებად არის დამოკიდებული რეაგენტების კონცენტრაციაზე - წყალბადის ხარჯზე  $AsCl_3$  და  $SiCl_4$  სამართქლებლების გათვლით.

მე-3 ნახაზზე ნაჩვენებია გალიუმის არსენიდის ( $n\text{სმ}^{-3}$ ) ლევირების დონის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე გამოთვლილია ფორმულით:  $n\text{სმ}^{-3} = 4,43 \times 10^{22} \times K_{\text{შეს.}} \times Y_{S \text{ სორ.}}$ . ამასთან ერთად შეიძლება ჩაითვალოს, რომ სილიციუმის ყველა ატომი ელექტრულად აქტიურ მდგომარეობაში იმყოფება ( $4,43 \times 10^{22}$  გალიუმის არსენიდის მოლეკულების რაოდენობაა 1  $\text{სმ}^3$ -ში).



ნახ. 3.  $S$  ის  $G a A$  ში კონცენტრაციის თეორიული დამოკიდებულება ტემპერატურაზე სისტემაში  $G a - A s_3 C - l H_2 + S i C_4 l$  მრუდები 1,2,3 -  $a=10^{-4}$  ატმ % და  $H_2/S i C_4 \neq 2,5$  და  $10\text{სმ}^3/\text{წთ}$ -ში შესაბამისად.

პროცესის 720-750°C ტემპერატურის დროს აირად ფაზაში  $SiCl$  ორთქლის შეყვანა მუხტის მატარებლების საჭირო დონეს უზრუნველყოფს -  $n = 10^3 \text{ მ}^{-3}$ .

$Ga - As - SiCl - H_2$  სისტემაში გალიუმის არსენიდის ეპიტაქსიური ფენების ზრდის სისწრაფის პროცესის ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე დამოკიდებულების გათვლისას, ეპიტაქსიური ფენის ზრდის სისწრაფე ნაკადურ სისტემაში კვაზიწონასწორული მიახლოებით შეიძლება შემდეგი ფორმულით გამოითვალოს:

$$W = \frac{D}{K T \delta} (P_{\text{ბ.ბ.}} - P_{\text{წონასწ.}}^*), \quad (2)$$

სადაც  $P_{\text{ბ.ბ.}}^*$  - ნაკადის ბირთვში ზრდაწარმომქმნელი კომპონენტის ეფექტური წნევაა.

$P_{\text{წონასწ.}}^*$  - ზრდაწარმომქმნელი კომპონენტის ეფექტური წნევა ზრდის ზედაპირის მახლობლად.

$D$  - ზრდაწარმომქმნელი კომპონენტის დიფუზიის კოეფიციენტი დაფენის  $T$  ტემპერატურისას.

$\delta$  - საზღვრული ფენის სისქე.

$\alpha$  - პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც დალექვის სიჩქარის საჭირო განზომილებას უზრუნველყოფს.

აირების მცირე ნაკადებისას, რომლებიც ჩვენი ექსპერიმენტის პირობებს ახასიათებენ, არ წარმოიქმნება არეები, რომლებშიც აირადი ნარევის სიჩქარის ტანგენციალური მდგენელის და რეაგენტების კონცენტრაციის მკვეთრი ცვლილება ხდება. შეიძლება სასაზღვრო ფენის სისქე ჩავთვალოთ მუდმივად და შემოვიფარგლოთ  $\frac{D}{T} (P_{\text{ბ.ბ.}} - P_{\text{წონასწ.}}^*)$  სიდიდის გამოთვლით, რომელიც დალექვის სისწრაფის ხარისხობრივ დამოკიდებულებას გვიჩვენებს.  $P_{\text{ბ.ბ.}}^*$  წნევა  $P_{AsSiCl}^*$ -ის ტოლად უნდა მივიღოთ, რადგან ყველა სხვა რეაგენტის წნევა გამოთვლების საშუალებით მიიღება.  $P_{\text{წონასწ.}}^*$  წნევა, რომელიც დარიშხანის შემადგენელი კომპონენტების წონასწორული პარციალური წნევების ჯამის ტოლია, ელექტრონული გამომთვლელი მანქანის მეშვეობით გამოითვლება.

დიფუზიის  $D$  კოეფიციენტის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე შემდეგი ფორმულით განისაზღვრება

$$D = D_0 \frac{\sum P_i}{P_0} \left( \frac{T}{T_0} \right)^\gamma,$$

სადაც  $- D_0$  - დიფუზიის კოეფიციენტია ნორმალური პირობების დროს ( $P_0 = 1$  ატმ და  $T_0 = 273K$  ),

$\gamma$  - ხარისხის მაჩვენებელი რეალური გაზომისათვის, რომელიც 1,75-ის ტოლია;

$T$  - დალექვის ტემპერატურა ( $600 - 900^\circ C$ ).

$\sum P_i$  - ჯამური წნევა სისტემაში, რომელიც 1 ატმ-ს ტოლია.

(2)-ში ამ სიდიდეების ჩამატებისას მივიღებთ:

$$W = A \left( \frac{P_{SiCl}^{შემ} - P_{წონასწ.}^*}{P_0} \right) \left( \frac{T}{T_0} \right)^{1,75},$$

სადაც  $A = \frac{\alpha D_0 \times \sum P_i}{P_0 \times R \times \delta}$ .

ამ ფორმულით გამოთვლილი  $W$ -ს დამოკიდებულება  $H_2/SiCl_4$  ის ხარჯზე და ტემპერატურაზე გვიჩვენებს, რომ ტემპერატურის და  $H_2/SiCl_4$  ის ნაკადის გაზრდით დაფენის სიჩქარე მკვეთრად ეცემა და დაიკვირვება გადასვლა მოწამვლის არეში.

რადგან ეპიტაქსიური გალიუმის არსენიდის სიჩქარე  $P_{SiCl}^{შემ} - P_{G a C l}^{წონასწ.}$  სხვაობით განისაზღვრება, ზრდის სიჩქარის შემცირება უშუალოდ ზრდის ზონაში  $H_2/SiCl_4$ -ის ნაკადის დამატებით, წონასწორული წნევის  $P_{G a C l}^{წონასწ.}$  გადიდების ხარჯზე მიმდინარეობს. მე-2 ნახაზზე  $K T$  ვერტიკალური წირი დიაგრამას ჰყოფს ორ არედ - მარცხენა ზრდის არედ და მარჯვენა მოწამვლის არედ.

შესაბამისად,  $SiCl_4$ -ის დამატების მავნე ზეგავლენის თავიდან ასაცილებლად მიზანშეწონილია გალიუმის მეორე წყაროს ქონა და მისი გავლით  $H_2/SiCl_4$ -ის ნაკადის გატარება. მაშინ მეორე წყაროში წარმოქმნილი  $G a C l$  ძწვევს ნაკადის ბირთვში  $P_{G a C l}$  წნევის მომატებას და შესაბამისად, ზრდის მთლიან სიჩქარეს.

მე-2 ნახაზზე ნაკადის ბირთვში  $G a C l$  წევას შეესაბამება წერტილები  $P, K, S$  და  $H_2/S i C l$  ნაკადებისთვის 2; 5 და 10 სმ<sup>3</sup>/წთ-ში.

წირები  $P Q, R X, P X$  აღწერენ  $H C$ -ის და  $G a C l$ -ის წონასწორული წნევების ცვლილებას დამატებითი გალიუმის ამორთქლებლიდან  $H_2/S i C l$  ნაკადების შესაბამისად 2; 5 და 10 სმ<sup>3</sup>/წთ-ში მიწოდებისას.  $d f$  წირი არის პროცესის იზოთერმა, რომელიც ახასიათებს  $P_{G a C l}$  და  $P_{H C l}$  წონასწორული პარციალური წნევების ფარდობას 720°C-ზე.

როგორც მე-2 ნახაზიდან ჩანს,  $P_{G a C l}^{შემ} P_{G a C l}^{წონასწ.}$  სიდიდეს აქვს დადებითი ნიშანი, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ზრდის ზონაში გალიუმის დამატებითი წყაროს გავლით  $S i C l$  კორთქლის მიწოდება თავიდან გვაცილებს საფენის მოწამვლას.

თეორიული და ექსპერიმენტული მონაცემების შედარებამ გვაჩვენა, რომ დამატებით წყაროში გალიუმთან რეაქციაში შედის სილიციუმის ტეტრაქლორიდიდან მიღებული  $H C$ -ის 60%.

ამგვარად,  $G a - A s_3 C l_5 S i C l - H_2$  სისტემის თერმოდინამიკურმა გათვლებმა გვიჩვენა, რომ სილიციუმის ტეტრაქლორიდის გამოყენება საჭირო კონცენტრაციის  $10^1$  ჰმ<sup>-3</sup> ლეგირების დონის საფენების მიღების და აირადი მოწამვლის პროცესის მართვის საშუალებას იძლევა. ანგარიშის მონაცემები ექსპერიმენტალურად მიღებულ შედეგებს ემთხვევა.

გარდა ამისა, სილიციუმის ტეტრაქლორიდის გამოყენებით შეიძლება სილიციუმის ორჟანგის დიელექტრიკული ფენის მიღება. ეს იმაზე მიუთითებს, რომ ჩვენ შეგვიძლია ეპიტაქსიური გალიუმის არსენიდის საფუძველზე შევქმნათ ინტეგრალური ტექნოლოგია, ერთიან ციკლში მივიღოთ მრავალფენიანი სტრუქტურები დაფარული სილიციუმის ორჟანგის დიელექტრიკული ფენით, რომელიც გამოიყენება განხის დიოდების ტექნოლოგიაში.

მესამე თავში განხილულია აპარატურა, გამოყენებული მასალები, გალიუმის არსენიდის ეპიტაქსიურ ფენებში კონცენტრაციული პროფილების კვლევის მეთოდები და შედეგები.

როგორც ცნობილია, ფენა-საფენის გამყოფ საზღვარზე მაღალმომიანი გარდამავალი არეების არსებობა  $G a - A s_3 C - l H_2$  სისტემაში ეპიტაქსიური პროცესის დიდი ნაკლია.

გარდამავალი არეს შემცირების ერთ-ერთ გზას წარმოადგენს ზრდის პროცესის წინ საფენის აირადი მოწამვლა.

გარდამავალი ფენის სისქის პროცესის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულების კვლევამ გვაჩვენა, რომ დროის ზრდასთან ერთად გარდამავალი არეს სისქე ჯერ მცირდება, შემდეგ კი იზრდება სიდიდეებამდე, რომლებიც აირადი მოწამვლის გარეშე გაზრდილი ფენების სისქეს აღემატება. გარდამავალი ფენის მინიმალურ სისქეს (0,8-1 მკმ) შეიძლება მივაღწიოთ აირადი მოწამვლის პროცესის გამოყენებით არაუმეტეს 8-10 წთ-ისა.

გადამტანების კონცენტრაციის პროფილის გაუარესება მოწამვლის დროის 20 წთ-მდე გაზრდის შემთხვევაში შესაძლებელია დაკავშირებული იყოს საფენის ზედაპირის რელიეფის თანდათანობით გაუარესებასთან, რაც აგრესიულ არეში მისი ყოფნის დროის გადიდებითაა განპირობებული.

გარდამავალი არეს ზრდაზე შეიძლება გავლენა იქონიოს პროცესის საწყის პერიოდში აირადი ფაზის არასტაბილურობამ. აირადი ფაზის სტაბილურობის შესწავლა მიმდინარეობდა ყოველი წუთის შემდგომ დაფენილი ფენების სისქის ზრდის სიჩქარის შეფასებით. კვლევებმა გვაჩვენა, რომ პირველი ~15 წუთის განმავლობაში ზრდის სიჩქარის მნიშვნელობები არასტაბილურია. შესაძლებელია ეს დაკავშირებული იყოს პროცესის საწყის პერიოდში გალიუმის წყაროს მუშაობის არასტაბილურობასთან, რაც, თავის მხრივ, გავლენას ახდენს ზრდად ფენაში მინარევების შესვლაზე და გარდამავალი ფენის წარმოქმნაზე.

ზრდის პროცესის დასაწყისისათვის სტაბილური აირადი ფაზის დასამყარებლად, ერთდროულად საფენის გასასუფთავებლად, რათა თავიდან ავიცილოთ მისი ხანგრძლივი ყოფნა აგრესიულ არეში, შემუშავებული იქნა მეთოდი ზრდა-მოწამვლა-ზრდა (ზრ.-მოწ.-ზრ.).

ეს მეთოდი შემდეგში მდგომარეობს:



რეაქტორში საფენების ჩატვირთვის და ზრდის ტემპერატურამდე გახურების შემდეგ ირთება  $H_2/A$  ს  $\zeta$  ძირითადი ნაკადი, გალიუმის წყაროს გავლით. ამის შედეგად საფენზე იზრდება პირველადი გალიუმის არსენიდის ეპიტაქსიური ფენა, რომელსაც გააჩნია ყველა სტრუქტურული და ელექტროფიზიკური არასრულყოფილება იმ ფენებისა, რომლებიც გაზრდილი იყო წინასწარი აირადი მოწამვლის გარეშე. 0,4-0,45 მკმ/წთ-ში სიჩქარით ზრდისას დაეფინება 5-7 მკმ სისქის ფირი. ამის შემდეგ უშუალოდ ზრდის ზონაში შეჰყავთ დამატებითი  $H_2/S$  i  $\zeta$  ლ და მიმდინარეობს გაზრდილი ფენის აირადი მოწამვლა. ამასთან ერთად სამქლორიანი დარიშხანის ნაკადი გალიუმის კონტეინერის გავლით უცვლელი რჩება. უდეფექტო ზედაპირის არსებობაში სრულიად დასარწმუნებლად იწამლება დაახლოებით ~5 მკმ სისქის ფენა, რის შედეგადაც საფენის ზედაპირი სუფთავდება, ხოლო  $H_2/A$  ს  $\zeta$  ნაკადი, გალიუმის კონტეინერის გავლით, წყაროს გაჯერებას და “ძირითადი“ მუშა გალიუმის არსენიდის ეპიტაქსიური ფენის ზრდის დაწყების მომენტისათვის აირადი ფაზის სტაბილურობას უზრუნველყოფს. ამ ორი ოპერაციის დრო 20-25 წუთს შეადგენს. ამასთან ერთად, მომწამვლავ არესთან ზედაპირის კონტაქტის დრო 8-10 წუთს არ აჭარბებს. ამის შემდეგ მოწამვლის დამატებითი ნაკადი ითიშება და გალიუმის არსენიდის ეპიტაქსიური  $n$  ან  $n^+$  ფენის ზრდა მიმდინარეობს. (ზრ.-მოწ.-ზრ.) პროგრამის მიხედვით გამოზრდილი ფენების გარდამავალი არეს სისქე 0,25-0,3 მკმ-ს არ აღემატება.

გარდამავალი ფენის სისქის შემდგომი შემცირება შესაძლებელია მხოლოდ იმ ფაქტორების გავლენის შემცირებით, რომლებიც დამოკიდებულია პროცესის ტემპერატურაზე (დიფუზია, ავტოლეგირება და სხვა).

ზრ.-მოწ.-ზრ. პროცესის ჩატარებამ ეპიტაქსიის შემცირებული ტემპერატურის დროს ( $T_a = 690^\circ\text{C}$  და  $T_{\text{საფენის}} = 610 - 630^\circ\text{C}$ ) საშუალება მოგვცა გარდამავალი არეს სისქე  $i - n - \bar{n}$  ტიპის გალიუმის არსენიდის ეპიტაქსიურ სტრუქტურებში  $n$  და  $n^+$  ფენების გაყოფის საზღვარზე 0,15-0,25 მკმ-მდე შეგვემცირებინა. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ დაბალტემპერატურული

ზრ.-მოწ.-ზრ. პროცესის გამოყენება  $G a - A s_3 C - I S i C_4 t - H$  სისტემაში არ უზრუნველყოფს  $n^+$  ტიპის ლეგირებული ეპიტაქსიური ფენების მიღებას  $n \sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  კონცენტრაციით (იხ. ნახ. 3).

1-ელ ცხრილში წარმოდგენილია პროცესის ჩატარების მეთოდიდან გამომდინარე მაღალომიანი გარდამავალი ფენის სისქის მონაცემები.

ცხრილი 1. მაღალომური გარდამავალი ფენის სისქის დამოკიდებულება ეპიტაქსიის პროცესის შესრულების მეთოდზე

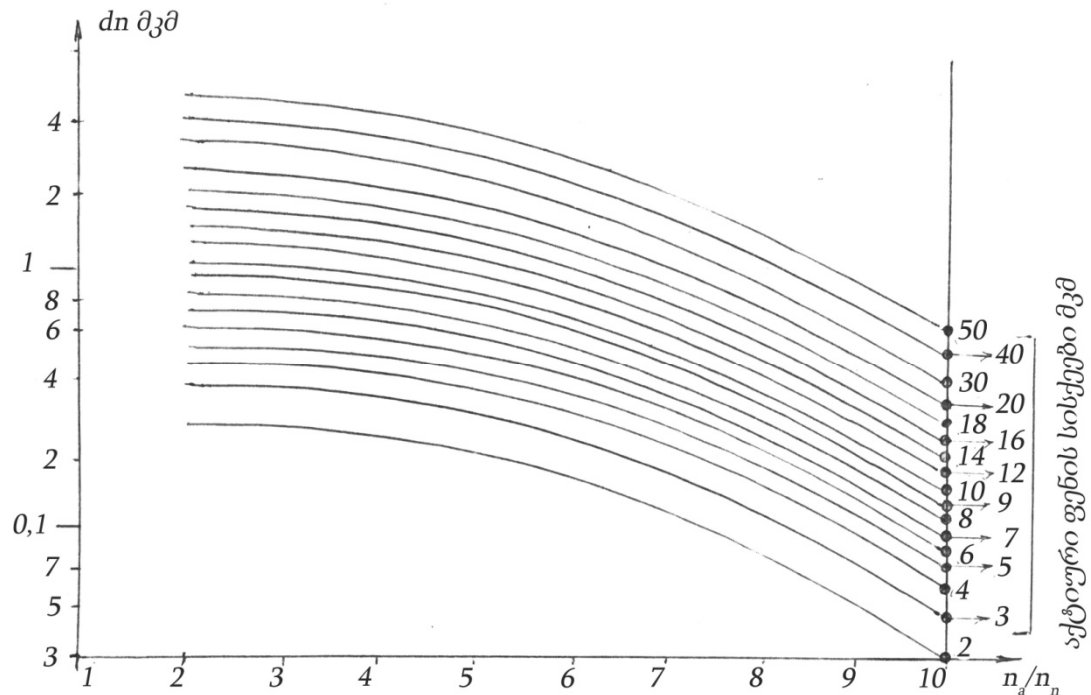
გალიუმის არსენიდის ზრდის ეპიტაქსიური პროცესის შესრულების მეთოდი, $d_{\text{ექტ}} = 10 \text{ მკმ}$						
აირადი მოწამვლის გარეშე	აირადი მოწამვლით	ხანგრძლივი აირადი მოწამვლით	დაბალტემპ-პერატურული ეპიტაქსია (დტე)	ზრ.-მოწ.-ზრ.	ზრ.-მოწ.-ზრ. (დტე-ს დროს)	$A^+$
2,0 – 2,2 მკმ	0,8 – 0,9 მკმ	2,2 – 2,5 მკმ	0,4 – 0,5 მკმ	0,2 – 0,3 მკმ	0,15 – 0,25 მკმ	0,3 მკმ $n_{\text{ექტ./გარდ.}} = 10$ 0,6 მკმ

$A^+$  - გარდამავალი ფენის მინიმალური სისქე

განნის დიოდის გამოსხივების სიმძლავრის და მქკ-ის აქტიური და გარდამავალი ფენის ელექტროფიზიკური თვისებების შეფარდებაზე დამოკიდებულებით ჩვენს მიერ გამოთვლილი იქნა გარდამავალი არეს სისქის კრიტერიუმი, რომელიც წარმოდგენილია მე-4 ნახაზზე.

$d_{\text{გარდ.ფენ.}} = f (n_{\text{ექტ.}}/n_{\text{გარდ.}})$  დამოკიდებულების ანგარიშში, სადაც  $d_{\text{გარდ.ფენ.}}$  - გარდამავალი ფენის სისქეს წარმოადგენს, ხოლო  $n_{\text{ექტ.}}$  და  $n_{\text{გარდ.}}$  - მუხტების გადამტანის კონცენტრაციაა შესაბამისად აქტიურ და გარდამავალ ფენებში, აგრეთვე ვითვალისწინებდით სხვადასხვა სისქის ეპიტაქსიური ფენებისათვის ძვრადობის შემცირებას გარდამავალ ფენაში. ანგარიშისთვის ძირითადი პირობა იყო ფირი-საფენის გამყოფ საზღვარზე, მაღალომიანი არეს წარმქმნისას, დიოდის მქკ-ის არაუმეტეს 15%-ით შემცირება.

მე-4 ნახაზიდან ჩანს, რომ 10–12 მკმ სისქის გალიუმის ეპიტაქსიური ფირებისთვის მაღალომიანი ფენის მინიმალურად დასაშვები სისქე ჩვენს მიერ ექსპერიმენტულად მიღებულ შედეგებს ედრება. აქედან გამომდინარე, მოწ.–ზრ.–მოწ. მეთოდის გამოყენებამ საშუალება მოგვცა პრაქტიკულად მოგვეცილებინა გარდამავალი ფენები, რომლებიც უარყოფითად მოქმედებდნენ განის დიოდების გამომავალ პარამეტრებზე.



ნახ. 4. მაღალომიანი გარდამავალი ფენის დასაშვები სისქის დამოკიდებულება აქტიურ და გარდამავალ არეებს შორის კონცენტრაციის სხვაობაზე

მეოთხე თავში განიხილილია ერთიან ტექნოლოგიურ ციკლში  $GaAs$  სტრუქტურის მიღების პროცესი. ასეთი პროცესის ჩასატარებლად საბაზო აირგამანაწილებელ სქემაში დამატებულია  $H_2O$ -ის ამორთქლებელი და  $H_2 + H_2O + Si$ -ის მისაწოდებელი მილი საფენების არეში.

გალიუმის არსენიდის ეპიტაქსიური ზრდის რეაქტორში მიღებული სილიციუმის ოქსიდის დიელექტრიკული ფენები გამოკვლეული იქნა ინფრაწითელ სპექტროსკოპზე  $IK-20$ . კვლევის შედეგებმა გვიჩვენა, რომ ფენებს გააჩნდათ მაღალი სიმკვრივე და შთანთქმის ზოლის შედარებით

მცირე ფართობი. სილიციუმის ოქსიდის ფენები ამორფულია ბლოკის  $3 \times 10^{-3}$  მკმ სიღრმით.

გალიუმის არსენიდის და სილიციუმის ოქსიდის ზრდის პროცესების შეთავსებისას აღმოჩნდა, რომ რეაქტორის კედლებზე გაჩენილი  $SiO_2$ -ს ნალექი გავლენას ახდენს იმ ეპიტაქსიური გალიუმის არსენიდის ელექტროფიზიკურ მახასიათებლებზე, რომელიც  $SiO_2$ -ს ზრდის პროცესის შემდგომ გაიზარდა. ეს გავლენა გამოიხატება ზრდადი გალიუმის არსენიდის ლეგირების დონის არაკონტროლირებად ზრდაში მუხტის გადამტანების  $n = 10^{17} \text{ მ}^{-3}$  კონცენტრაციამდე. რაც უფრო ხანგრძლივია  $SiO_2$ -ს დაფენის პროცესი, ეს დამოკიდებულება მით უფრო იზრდება.

გალიუმის არსენიდის მატარებლების არალეგირებული ეპიტაქსიური ფენების მიღება  $10^{17} \text{ მ}^{-3}$  კონცენტრაციით შესაძლებელია მხოლოდ რეაქტორში ნალექის ხანგრძლივი ( $\sim 45$  წთ), მაღალტემპერატურული ( $\geq 1000^\circ\text{C}$ ) აირადი მოწავლის შემდეგ.

**მეხუთე თავი** ეძღვნება განნის დიოდების დამზადების დროს მიღებული შედეგების გამოყენებას და ხელსაწყოების გამოსასვლელი მახასიათებლების გაზომვას.

განნის დიოდების თანამედროვე ტექნოლოგიაში ფართო გამოყენება ჰპოვეს მიკროელექტრონიკის მეთოდებმა, რომლებიც ერთ ფირფიტაზე მრავალი ხელსაწყოს ერთდროულად დამზადების შესაძლებლობას იძლევა, ამასთან დაკავშირებით მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია გალიუმის არსენიდის მოცულობაში ჯიბეების მოწამვლისა და ზრდის სელექტიურ პროცესებს.

ჯიბეების გეომეტრიას დიდი მნიშვნელობა აქვს განნის დიოდების გამოსასვლელი მახასიათებლებისთვის. ჯიბის ზედა ნაწილში თხევადი მომწამვლელით მოწამვლას, საწყის ზომებთან შედარებით, 50%-ით მეტ მოწამვლამდე მივყავართ. აქტიური არეს გასწვრივ არაერთგვაროვნების არსებობა გამოსხივების სიმძლავრის გასაშუალოებას და მქკ-ს შემცირებას განაპირობებს.

ჯიბის კედლებზე, ფენების გამყოფ საზღვარზე გარდამავალი არეს წარმოქმნა ადიდებს გენერაციის სიხშირეს და რაც ყველაზე მთავარია, გაურკვეველს ხდის დომენის წარმოქმნის ფრონტს, რაც უარყოფითად მოქმედებს ხელსაწყოების გამომავალ მახასიათებლებზე. ამიტომ ჯიბეების მიღებამ ვერტიკალური კედლებით და სელექტიურ ფენებში გარდამავალი არეს მოცილებამ, ან მინიმუმამდე დაყვანამ შესამჩნევად უნდა გაზარდოს გამოსხივების სიმძლავრე.

სელექტიური მოწამვლის პროცესის კვლევამ გვიჩვენა, რომ წყალბადის  $A s G$ -ით გაჯერების ხარისხის შემცირებამ საშუალება მოგვცა მიგველო ჯიბეები ძალიან მცირედ ( $\leq 5^\circ$ ) ვერტიკალიდან გადახრილი კედლებით და ზედაპირზე ფოტომბლონის ნახაზის ხაზოვანი ზომების უმნიშვნელო გადიდებით.

ჯიბეების მოწამვლის სიჩქარის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების კვლევამ გვიჩვენა, რომ პროცესი მიმდინარეობს კინეტიკურ არეში, ჯიბის 10 მკმ სიღრმის დროს.

აქტივაციის მოჩვენებითი ენერგია შეადგენს  $\approx 20$  კკალ/მოლი (84 ჯოული/მოლი). ამიტომ საწყის ნარევეში, მოწამვლის ზონაში, დარიშხანის და  $H C$ -ის შემცირებული კონცენტრაციების დროს, იქმნება პირობები, როდესაც  $V_{ფსკერი}^{მოწ} > V_{კედლები}^{მოწ}$ .

ეს განსაზღვრავს ჯიბის მოწამვლას სიღრმეში და მის შემოსაზღვრას (110) სიბრტყეებით.

ზრდისა და მოწამვლის პროცესების სიმეტრიულობის გამო, სელექტიური არეების გამოზრდამ წყალბადის სამქლორიანი დარიშხანით დაბალი გაჯერების პირობებში გვიჩვენა, რომ მართკუთხედის ფორმის ჯიბეებში კედლებიდან ზრდის სიჩქარე ბევრად აჭარბებს ზრდის სიჩქარეს ფსკერიდან.

$$V_{(110)}^{ზრდ} > V_{(100)}^8 \approx V_{(111)}^{ზრდ}$$

ეს ხდება იმიტომ, რომ ჯიბის კედლები გადახრილია ვერტიკალიდან და არის არა სიბრტყე (110), არამედ უფრო მაღალინდექსიანი, რომელზეც

არის საფეხურების უფრო დიდი რაოდენობა, რომლებიც არიან ინტენსიური ჩანასახწარმოქმნის ცენტრები. ამიტომ (551), (331), (221) სიბრტყეებზე ზრდის სიჩქარეც მეტია. ჯიბეების კედლებიდან ზრდის უპირატესობამ შესაძლებელი გახადა ჯიბეების თითქმის უდეფექტო შევსება.

მიღებული სტრუქტურების საფუძველზე მიღებული იქნა პლანარულ-ტორსული და „სენდვიჩის“ ტიპის კონსტრუქციის განნის დიოდები და განსაზღვრული იქნა მათი გამომავალი მახასიათებლები (ცხრილი 2). განნის დიოდების ნიმუშების გამოთვლილი და ექსპერიმენტით მიღებული წინააღმდეგობის მნიშვნელობების თანხვედრა მიუთითებს  $n$  და  $n^+$  ფენების გამყოფ საზღვარზე მაღალმიანი გარდამავალი არეების არარსებობაზე (იხ. ცხრილი 2).

ბოლოს უნდა აღინიშნოს ამ მეთოდების გამოყენებით მიღებული განნის დიოდების იმპულსურ რეჟიმში მუშაობისას ზმს გამოსხივების შედარებით მაღალი სიმძლავრე, ამ დიოდებისათვის დამახასიათებელი პარამეტრების განმეორებადობა და ვარგისი ხელსაწყოების გამოსვლის 5%-ით ზრდა.

## დასკვნა

1. შემუშავებულია გალიუმის არსენიდის სილიციუმით ლეგირებული ერთგვაროვანი ეპიტაქსიური ფენების სილიციუმის ორჟანგის დანაფარით მიღების ერთიან პროცესში განხორციელებული ინტეგრალური ტექნოლოგია.
2.  $Ga - As - Si - C - H_2$  აირფაზურ სისტემაში ეპიტაქსიური პროცესის ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანაზე მათემატიკურმა მოდელირებამ განსაზღვრა ერთიანი ტექნოლოგიის სამეცნიერო საფუძველი და გვიჩვენა, რომ რეაქტორში სილიციუმის ტეტრაქლორიდის ორთქლის დამატება საშუალებას გვაძლევს:

ცხრილი 5.2.2. განნის დიოდების მახასიათებლები

განნის დიოდების ტიპი	წინაღობის გამოთვლილი მნიშვნელობა $R_{გამოთვ.ობ}$	გაზომილი წინაღობა $R_{გაზ.ობ}$	მუშა დენი $I_{მუშა.ვ}$	სამუშაო ძაბვა $U_{მუშა.ვ}$	ზღურბლუ- რი ძაბვა $U_{ზღურ.ვ}$	გამომავალი სიგნალის სიმძლავრე უწყვეტ რეჟიმში $P_{გამ.მვტ}$	გამომავალი სიგნალის სიმძლავრე იმპულსურ რეჟიმში $P_{გამ.ვტ}$	გენერა- ციის სიხშირე $f$ , გჰც.
TY II aA0.336.012. TY-77 AA 705 A AA 705 B	3-15	-	0,28- 0,3	-	-	20-50	-	5,2-8,2
TY II aA0.336.344. TY-80 AA 725 A A-E	0,6-3,0	-	1,5-2,0	11,2	-	200-300	-	5,0-8,24
პლანარულ-ტორსული კონსტრუქცია	15-20	15-20,5	0,2-0,5	20-25	10,0	25-100	2-5	2,5
	5-15	5,5-16,0	0,2- 0,55	10-12	3,5	20-80	2-5	10
„სენდვიჩის“ ტიპის კონსტრუქცია	1-3	1,1-3,5	1-1,5	10-12	3,5-4,0	150-300	3-10	10

- ა) გავზარდოთ სილიციუმით ლეგირებული  $n^+$  ტიპის გალიუმის არსენიდის ეპიტაქსიური ფენები გადამტანების შემდეგი კონცენტრაციით: დიაპაზონი -  $n \approx 10^6 - 10^{11} \text{ მ}^{-3}$ ; ტემპერატურა -  $650 - 750^\circ\text{C}$ .
- ბ) ჩავატაროთ საფენების აირადი მოწამვლა  $\text{H}_2/\text{SiCl}_4$ -ის ნაკადით, გალიუმის წყაროში გამავალი  $\text{H}_2/\text{AsCl}_3$ -ის ნაკადის მუდმივი ხარჯით.
3. ზრდადი გალიუმის არსენიდის ეპიტაქსიური ფენის სილიციუმით ლეგირების პროცესზე პასუხისმგებელია აირადი ფაზის  $\text{SiCl}_4$  კომპონენტი.
  4. ზრდადი ფენებში სილიციუმის შესვლის კოეფიციენტი, როგორც გალიუმის არსენიდის ეპიტაქსიურ ფენებში ლეგირების მაჩვენებელი, ძლიერ არის დამოკიდებული დაფენის ტემპერატურაზე. ტემპერატურის ზრდასთან ერთად ლეგირების დონე იზრდება.
  5. ნაჩვენებია გალიუმის არსენიდის საფენზე,  $\text{SiCl}_4$ -ის მომწამლავი გავლენის თავიდან ასაცილებლად,  $\text{H}_2/\text{SiCl}_4$ -ის ნაკადის გალიუმის დამატებითი წყაროს გავლით შეყვანის მიზანშეწონილობა. დაანგარიშებული და ექსპერიმენტული მონაცემების შედარებით დადგენილია, რომ სილიციუმის ტეტრაქლორიდიდან მიღებული  $\text{HCl}$ -ის 60% დამატებითი წყაროდან მიღებულ გალიუმთან ურთიერთქმედებს.
  6. გარდამავალი ფენის სისქეზე წინასწარი აირადი მოწამვლის გავლენის შესწავლისას დადგენილია, რომ ამ უკანასკნელის დამოკიდებულებას მოწამვლის ხანგრძლივობაზე აქვს მინიმალური წერტილი, რომელიც 8-10 წთ ხანგრძლივობის პროცესს შეესაბამება.
  7. მაღალომიანი გარდამავალი ფენის სისქის მნიშვნელოვნად შესამცირებლად გამოყენებულია მეთოდი „ზრდა-მოწამვლა-ზრდა“. ამის შედეგად, გალიუმის არსენიდის ეპიტაქსიური ფენის 10-15 მკმ საერთო სისქის დროს, გარდამავალი ფენის სისქე 0,15-0,25 მკმ-ს არ აჭარბებს.



8. გამოთვლილია მაღალომიანი ფენის დასაშვები სისქის დამოკიდებულება აქტიურ და გარდამავალ არეებში გადამტანების კონცენტრაციის ფარდობაზე. გარდამავალი ფენის ექსპერიმენტული და გამოთვლილი სისქეების შედარებამ გვიჩვენა, რომ ზრ.-მოწ.-ზრ. მეთოდის გამოყენება ფაქტიურად აქრობს საფენი-ფირის დარღვეული საზღვრის მავნე ზეგავლენას.
9. შემუშავებულია სილიციუმის ორჟანგის ფენით დაფარული გალიუმის არსენიდის ლეგირებული ფენების მიღების შეთავსებული პროცესი. მაღალი ხარისხის სილიციუმის ორჟანგის ფენა სასურველია გაიზარდოს  $H_2/SiCl_4$ -ის და  $H_2/H_2O$  -ის ნარევიდან.
10. ნაჩვენებია, რომ წყალბადის სამქლორიანი დარიშხანის ორთქლით გაჯერების შემცირება ძლიერად მოქმედებს გალიუმის არსენიდის მოცულობაში სელექტიურ არეებში ზრდისა და მოწამვლის სიჩქარეებზე. შემუშავებულია ჯიბეების აირადი მოწამვლის რეჟიმები, რომლებიც საშუალებას გვაძლევენ მივიღოთ პრაქტიკულად ვერტიკალური კედლები, ბრტყელი, სარკისებური ფსკერი საწყისი ფოტოლითოგრაფიული სურათის გვერდითი გალიუმების მცირე მნიშვნელობების დროს.

### კონფერენციაში მონაწილეობა

1. სტუდენტთა 76-ე სამეცნიერო ტექნიკური კონფერენცია, მუხტის მატარებელთა ძვრადობის გაზომვა და ექსპერიმენტული ნიმუშების მიღება. 2008წ.
2. სტუდენტთა 77-ე ღია სამეცნიერო ტექნიკური კონფერენცია, ნახევრადიზოლატური გალიუმის არსენიდის ელექტროფიზიკური თვისებები. 2009წ.
3. სტუდენტთა 79-ე ღია სამეცნიერო ტექნიკური კონფერენცია,  $i - n$  გადასასვლელების ელექტრული თვისებების შესწავლა გალიუმის არსენიდში. 2011წ.

## პუბლიკაციები

1. ი. კალანდაძე, შ. ხიზანიშვილი, გამტარობის და მუხტის მატარებელთა ძვრადობის გაზომვა მაღალსიხშირული მაგნიტური წინაღობის მეთოდით, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“ №4-6, 2007წ.
2. ი. კალანდაძე, შ. ხიზანიშვილი, გამტარობისა და მუხტის მატარებელთა ძვრადობის გაზომვა და ექსპერიმენტული ნიმუშების მიღება, „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“ №10-12, 2007წ.
3. ი. კალანდაძე, შ. ხიზანიშვილი, დიდწინაღობიანი გალიუმის არსენიდის მიღება, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“ №1-3, 2008წ.
4. ი. კალანდაძე, შ. ხიზანიშვილი, იონური ლეგირების ფიზიკური არსი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“ №10-12, 2008წ.
5. ი. კალანდაძე, შ. ხიზანიშვილი, მინარევების კონცენტრაციის ლეგირების თანამედროვე მეთოდი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“ №4-6, 2009წ.

## SUMMARY

Over the past two decades, semiconductor devices and equipment have vastly developed and indivisible part of this process is getting raw materials with desired properties.

The devices based on Gunn effect, i.e. effect of instability of current in the face of strong electric leaven on samples of semiconductor, are very interesting.

Gallium arsenide is the most suitable material for Gunn diodes because of unique electrophysical properties.

Despite the fact that Gunn effect was discovered in arsenide monocrystal, the most suitable material is received from gase phase of  $Ga - As_3Cl - H_2$  chloride system by means of epitaxial layering.

Gunn diodes with planar construction satisfy the demands of modern microelectronics. They allow producing the devices based on integral technologies with microwave frequency and high speed.

The results of many studies show the progress in the process of research of epitaxial process, but presence of high-resistance, transitional layer at the border of film and layer is huge disadvantage of described constructions. The impact of transitional layer is sensible in the functional part of devices which include the border of film and layer.

Dielectric layers play important part in the production of semiconductor devices, particularly Gunn diodes. Integral technology includes the production of different layers by means of the same process and its important advantage. Therefore, development of technology, which enables to produce  $n^-$  and  $n^+$  type of gallium arsenide, is very important task.

Gallium arsenide is quite important material because of its structure. Properties of semiconductors depend on this structure and specifications and purposes of semiconductors differ significantly. The basic research techniques are procession

of results of epitaxial processes by means of computing machine. Infrared spectroscopy, electronic microscopy and laser scanning study the properties of dielectric layers.

Utilization of such technology gives the precise materials, which are necessary for semiconductor devices. Development of technologies creates the demand for high frequencies. Nowadays, mobile GSM devices are widely used and frequency of these devices is 800-2000MHz. Development of such devices requires semiconductors with microwave frequency.

The precise structuring of gallium arsenide in semiconductor is hard task. In modern technologies, chemical calculations are performed by high-precision computing machines. Parameters are chosen on the basis of special algorithms. Such algorithms manage almost every function in autonomic mode. Functions are temperature, pressure, fusion reactions with different materials and etc.

Therefore, gallium arsenide is complex chemical structure and needs high-precision mathematical calculations and results of such calculations give different types of this material. For example, semiconductors used in medical devices need high-precision details, such as microprocessors and depend on precise chemical elements. Therefore, deviation of temperature of gallium arsenide in semiconductor should be minimized. If chemical process is incorrect, results may be irreparable and device will show incorrect data.

As we know, precision of every semiconductor depends on temperature. For example, variation of temperature in transistor conditions the creation of different data in several switch-on modes. When gallium arsenide of transistor becomes hot, electrons begin to move chaotically and transistor defragments. The unique feature of modern transistors is to return in primary working mode, when they become cooler and the reason of this feature lies in chemical equation of gallium arsenide. Technologically advanced chemical element revolutionized the modern electronics. Experiments on gallium arsenide revealed the unique properties of this

element and promoted the miniaturization of modern electric devices. Discovery of above-mentioned unique properties became the basis of mass production of portative computers. New material – silicon was developed. Reaction of silicon and gallium arsenide gave new, more flexible gallium arsenide. Therefore, overheating of semiconductor don't condition the detail to fall out and this detail may work in critical situation much longer, than it was possible in the first-generation semiconductors. Besides the unique properties, new material minimized the dimensions of semiconductors and nowadays, dozens and hundreds of millions of transistors can be placed on finger-nails of humans.

Modern technologies are 100% dependent on semiconductors, their precision and quality. Every field depends on computing machines in 21st century and full work is done to improve the semiconductors.