

სილაბუსი

სასწავლო კურსის სახელწოდება	მიკრო და ნანოელექტრონიკა Micro and Nanoelectronics
ავტორი	ამირან ბიბილაშვილი ასისტ. პროფ. ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი ფიზიკის დეპარტამენტი e-mail: amiran.bibilashvili@tsu.ge
ლექტორი (ლექტორები)	ამირან ბიბილაშვილი ასისტ. პროფ. ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი ფიზიკის დეპარტამენტი e-mail: amiran.bibilashvili@tsu.ge  ადამია ზურაბ ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი ფიზიკის დეპარტამენტი ტელ: 895 354630; e-mail: zurab.adamia@gmail.com
სასწავლო კურსის კოდი:	EEE8
სასწავლო კურსის სტატუსი	1. ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი 2. სწავლების საფეხური - ბაკალავრიატი 3. სავალდებულო
სასწავლო კურსის მიზნები	მიკრო და ნანოელექტრონიკა მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარების ერთ-ერთი ყველაზე დინამიურად მზარდი და პერსპექტიული მიმართულებებია. მიკროელექტრონიკასთანაა დაკავშირებული ადამიანის მიერ კოსმოსის ათვისების დაწყება, თანამედროვე კომპიუტერული სისტემების, ინტერნეტის, მობილური კავშირგაბმულობის სისტემების შექმნა და ა.შ. მიკროელექტრონული სქემის ფუნქციონალური განვითარების ძირითადი ტენდენციაა ინტეგრაციის ხარისხისა და სწრაფქმედების განუხრელი ზრდა, მათი შექმნის ტექნოლოგიის ტემპერატურის შემცირებით. ყოველივე ეს ხორციელდება მიკროსქემის ელემენტების გეომეტრიული ზომების შემცირებით და ტექნოლოგიაში ახალი დაბალტემპერატურული პროცესების დანერგვით. ამან გამოიწვია მიკროდან ნანოზომამდე გადასვლა, რითაც მკვეთრად შეიცვალა ხელსაწყო მუშაობის პრინციპი. მიკრო და ნანოელექტრონული ხელსაწყოები ხასიათდებიან სიიაფითაც, რადგან ისინი ერთ ტექნოლოგიურ პროცესში, ერთ ქვესაფენზე მზადდებიან რამდენიმე ასეულობით და ათასეულობით. ბოლო დროს შემუშავებული მრავალი ახალი ექსპერიმენტალური მეთოდები (ერთ ელექტრონიანი ტრანზისტორი, სხვადასხვა სახის მასკანირებული ელექტრონული მიკროსკოპები და ა.შ.) იძლევა

	<p>საშუალებას შეიქმნას ახალი კლასის სისტემები, კომპიუტერული მოწყობილობები და სხვა, რომელთა გაბარიტული ზომები და წონები იქნებიან ნანოფარგლებში. ძირფესვიანად შეიცვლება მათი მოქმედების პრინციპები და ჩვენი</p> <p>შეხედულებების ფიზიკური არსი ნანომასალაზე. მიუხედავად ამისა, მიკროელექტრონიკა დღეს-დღეობით კვლავ რჩება მეცნიერების და სხვა დარგების განვითარების ერთ-ერთ მთავარ მამოძრავებელ ძალად. ამიტომ, მიკრო და ნანოელექტრონიკის საფუძვლების შესწავლა დღეს-დღეობის უაღრესად აქტუალური და მნიშვნელოვანია. კურსის მიზანია სტუდენტმა შეისწავლოს ნახევარგამტარების ფიზიკის, მიკრო და ნანოელექტრონიკის ძირითადი არსი, მიკრო და ნანოელექტრონული ხელსაწყოების და მათი ელემენტების მუშაობის პრინციპები და მათი გამოყენების როლი სხვა დარგებში, მაგალითად, ქიმიაში, ბიოლოგიაში, მედიცინაში.</p>
<p>კრედიტების რაოდენობა და საათების განაწილება სტუდენტის დატვირთვის შესაბამისად (ECTS)</p>	<p>სასწავლო კურსის კრედიტები 5 ECTS, 125 საათი;</p> <p>სტუდენტის საკონტაქტო მუშაობის საათების რაოდენობა სემესტრული გათვლით 65</p> <p><b>მათ შორის:</b></p> <p>შუალედური გამოცდის ჩასაბარებლად განკუთვნილი დრო – 2 საათი;</p> <p>დასკვნითი გამოცდის ჩასაბარებლად განკუთვნილი დრო – 3 საათი</p> <p>სტუდენტის დამოუკიდებელი მუშაობის საათების რაოდენობა სემესტრული გათვლით 60</p> <p><b>მათ შორის:</b></p> <p>შუალედური გამოცდის მოსამზადებლად განკუთვნილი დრო 10 საათი;</p> <p>დასკვნითი გამოცდის მოსამზადებლად განკუთვნილი დრო 10 საათი.</p>
<p>დაშვების წინაპირობები:</p>	<p>EEE7, უცხო ენა II ინგლისური ენა</p>
<p>სწავლის შედეგები</p>	<p>ა) ცოდნა და გაცნობიერება - სტუდენტი სრულყოფილად დაეუფლება ნახევარგამტართა, მიკრო და ნანოელექტრონიკის</p>

	<p>თეორიის თანამედროვე ზოგად და ალტერნატიულ მეთოდებსა და ძირითად პრინციპებს;</p> <p>ბ) ცოდნის პრაქტიკაში გამოყენების უნარი - სტუდენტი იძენს დამოუკიდებელი, შემოქმედებითი, მეცნიერული აზროვნების უნარ-ჩვევებს და ფუნდამენტური კვლევების უნარებს; პრობლემების იდენტიფიცირების, დასმისა და გადაწყვეტის უნარს.</p>
სასწავლო კურსის შინაარსი	იხ. დანართი 1 და დანართი 2
სწავლების/სწავლის მეთოდები	თეორიული მასალა წარმოდგენილი იქნება ლექციებზე; პრაქტიკული ცოდნა მიიღება ლაბორატორიული მეთოდებით
შეფასების კრიტერიუმები	<p>სტუდენტის მიერ სილაბუსით დაგეგმილი სწავლის შედეგების მიღწევა გამოიხატება 100-ქულიანი სისტემით (მინიმალური ქულა: 0; მაქსიმალური ქულა: 100). წერილობითი თუ ზეპირი გამოცდის ან ლაბორატორიული სამუშაოს შეფასება ხდება საკითხებით და თითოეულ საკითხს მინიჭებული აქვს 10 ან 20 ქულა. დაგეგმილი მისანიჭებელი ქულის მიხედვით ხდება მიღებული შედეგებისათვის შესაბამისი წონითი კოეფიციენტის მინიჭება.</p> <p>შუალედური შეფასების ფორმები:  ლაბორატორიული სამუშაოების ჩათვლა: (მიზნად ისახავს გაზომვების მეთოდების დაუფლების შემოწმებას)  I შუალედური გამოცდა: წერიითი (მიზნად ისახავს განვლილი თეორიული მასალის დაუფლების შემოწმებას)  II შუალედური გამოცდა: გამოცდა კომპიუტერულ კლასში პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით (მიზნად ისახავს პრაქტიკული უნარ-ჩვევების გამომუშავების შემოწმებას)</p> <p>შეფასება:  დასწრება: 10 ქულა  ლაბორატორიული სამუშაოების ჩათვლა: 10 ქულა  ორი შუალედური გამოცდა: 20 + 20 ქულა  დასკვნითი გამოცდა: 40 ქულა (წერიითი: 20 ქულა + ზეპირი: 20 ქულა)</p> <p>დასკვნით გამოცდაზე დაშვების წინაპირობა არის გამოცდამდე 11 ქულის დაგროვება</p> <p><b>წერილობითი გამოცდა</b></p> <p>1. <b>9-10 ქულა:</b> პასუხი სრულია; საკითხი ზუსტად და ამომწურავად არის გადმოცემული; ტერმინოლოგია დაცულია. სტუდენტი ზედმიწევნით კარგად ფლობს პროგრამით გათვალისწინებულ განვლილ მასალას,</p>

	<p>ღრმად და საფუძვლიანად აქვს ათვისებული როგორც ძირითადი, ისე დამხმარე ლიტერატურა</p> <p>2. 7-8 ქულა: პასუხი სრულია, მაგრამ შეკვეცილი. ტერმინოლოგიურად გამართულია: საკითხის გადმოცემისას არსებითი შეცდომა არ არის: სტუდენტი კარგად ფლობს პროგრამით გათვალისწინებულ განვლილ მასალას; ათვისებული აქვს ძირითადი ლიტერატურა</p> <p>3. 5-6 ქულა: პასუხი არასრულია; საკითხი დამაკმაყოფილებლად არის გადმოცემული; ტერმინოლოგია ნაკლოვანია; სტუდენტი ფლობს პროგრამით გათვალისწინებულ მასალას, მაგრამ აღინიშნება მცირეოდენი შეცდომები</p> <p>4. 3-4 ქულა: პასუხი არასრულია; ტერმინოლოგია მცდარია; საკითხის შესაბამისი მასალა გადმოცემულია ნაწილობრივ; სტუდენტს არასაკმარისად აქვს ათვისებული ძირითადი ლიტერატურა; აღინიშნება რამდენიმე არსებითი შეცდომა</p> <p>5. 1-2 ქულა: პასუხი ნაკლოვანია. ტერმინოლოგია არ არის გამოყენებული, ან არ არის შესაბამისი; პასუხი არსებითად მცდარია. გადმოცემულია საკითხის შესაბამისი მასალის მხოლოდ ცალკეული ფრაგმენტები</p> <p>6. 0 ქულა: პასუხი საკითხის შესაბამისი არ არის ან საერთოდ არაა მოცემული.</p> <p><b>ზეპირი გამოცდა</b></p> <p>1. 19-20 ქულა: ზედმიწევნით ფლობს პროგრამით გათვალისწინებულ ყველა საკითხს, აქვს დამოუკიდებელი და შემოქმედებითი აზროვნების უნარი, შეუძლია ნებისმიერი საპროგრამო მასალის გადმოცემა ამომწურავად პროფესიულ ენაზე, პასუხობს ლექტორის მიერ დასმულ პროგრამასთან დაკავშირებულ დამატებით შეკითხვებს</p> <p>2. 15-18 ქულა: ერკვევა პროგრამით გათვალისწინებულ ყველა საკითხში, აქვს საგანში დამოუკიდებელი აზროვნების უნარი, შეუძლია ნებისმიერი საპროგრამო მასალის გადმოცემა</p> <p>3. 10-14 ქულა: ერკვევა პროგრამით გათვალისწინებული საკითხების მნიშვნელოვან ნაწილში; შეუძლია საპროგრამო მასალის გადმოცემა, ათვისებული აქვს ძირითადი ლიტერატურის მნიშვნელოვანი ნაწილი</p> <p>4. 3-9 ქულა: პროგრამით გათვალისწინებული საკითხების ნახევარზე ნაკლების გადმოცემა შეუძლია დამაკმაყოფილებლად. ძირითადი ლიტერატურის მნიშვნელოვანი ნაწილი სუსტად აქვს დამუშავებული</p> <p>5. 0-3 ქულა: პროგრამით გათვალისწინებული საკითხებიდან არც ერთი არ არის განხილული დამაკმაყოფილებლად.</p>
<p>ძირითადი ლიტერატურა</p>	<p>1. ა. ბიბილაშვილი, „ნახევარგამტარული მიკროელექტრონიკა“, თსუ, 2009, 416 გვ.;</p> <p>2. ა. ბიბილაშვილი, <a href="http://www.tsu.ge">www.tsu.ge</a>;</p> <p>3. ა. ბიბილაშვილი, „ნანოტექნოლოგიები და ახალი</p>

	მასალები“, თსუ, 2011, 188 გვ.;
დამხმარე ლიტერატურა და სხვა სასწავლო მასალა	4. И.П.Степаненко «Основы микроэлектроники», М., «Сов.рад», 1980, 424 стр.; 5. Р.Маллер, Т.Кейметс «Элементы интегральных схем», М., «Мир», 1989, 630 стр.; 6. Ю. И. Головин «Введение в нанотехнику», М., «Машиностроение», 2007, 493 стр.; В. И. Балабанов «Нанотехнологии наука будущего», М., «Эксмо», 2009, 247 стр.
დამატებითი ინფორმაცია/პირობები	რუსული და ინგლისური ენების გარკვეული ცოდნა

## დანართი 1

### სასწავლო კურსის შინაარსი

№ ლექციები	თემა (ლექცია, ლაბორატორიული სამუშაო)	სასწავლო მასალა
	<b>თემა 1. ინტეგრალური მიკროსქემის პასიური ელემენტები</b>	
1	შესავალი. ნახევარგამტარული ხელსაწყოებისა და ინტეგრალური სქემების შექმნის ტექნოლოგიური ეტაპები და პროცესები	ლექციის კონსპექტი, [1], [2], [5], [7].
2-3	დიფუზიისა და იონური ლეგირების პროცესების მიმდინარეობა. ნაკლოვანებანი და უპირატესობანი	ლექციის კონსპექტი, [1], [2], [6], [7].
	<b>თემა 2. ინტეგრალური მიკროსქემის აქტიური ელემენტები</b>	
4	ბიპოლარული ტრანზისტორის ჩართვის სქემები და მუშაობის ფიზიკური პრინციპი	ლექციის კონსპექტი, ლიტ.[1], [2], [5].
5	ბიპოლარული ტრანზისტორის სტატიკური პარამეტრები	ლექციის კონსპექტი, ლიტ.[1], [2], [5].
6-7	მონოპოლარული მდნ-ველის ტრანზისტორების მუშაობის ფიზიკური პრინციპები	ლექციის კონსპექტი, ლიტ.[1], [2], [6].
8	მდნ-ველის ტრანზისტორების პარამეტრები	ლექციის კონსპექტი, ლიტ.[1],[2], [6].
	<b>თემა 3. ლოგიკური ინტეგრალური სქემები</b>	
9	ლოგიკური ელემენტების კლასიფიკაცია და ძირითადი პარამეტრები	ლექციის კონსპექტი, ლიტ.[1], [2], [6].
10	ბულის ალგებრის ელემენტები; ტრანზისტორების და ლოგიკური სქემების სქემატური აღნიშვნები	ლექციის კონსპექტი, ლიტ.[1], [2], [6].

11	ბიპოლარული ინვერტორის მუშაობის პრინციპი; დიოდურ-ტრანზისტორული ლოგიკა	ლექციის კონსპექტი, ლიტ.[1], [2], [3].
12	ტრანზისტორ-ტრანზისტორული ლოგიკა და ინტეგრალურ-ინჟექტირებული ლოგიკა	ლექციის კონსპექტი, ლიტ.[1], [2], [3].
13-15	მდნ-ველის ტრანზისტორების ინვერტორების სახეები და მუშაობის პრინციპები;	ლექციის კონსპექტი, ლიტ.[1], [2], [3].
15	კომპლემენტალური ლოგიკა	ლექციის კონსპექტი, ლიტ.[1], [2], [3].
<b>თემა 5. ნანოელექტრონიკის საწყისები</b>		
16	მიკროდან ნანოელექტრონიკაზე გადასვლის აუცილებლობა და თავისებურებანი; ზომაზე დამოკიდებული თვისებები	ლექციის კონსპექტი, ლიტ.[1], [2], [3].
17	ნანოსტრუქტურებში შინაგანი და გარეგანი ზედაპირების როლი	ლექციის კონსპექტი, [1], [2], [6], [4], [7].
18-19	ინდივიდუალური ნანონაწილაკები და ნანისისტემები	ლექციის კონსპექტი, [1],[5].
20	მეტალური ნანონაწილაკები	ლექციის კონსპექტი, [1],[5].
<b>თემა 6. კვანტური ზომითი ეფექტები</b>		
21-22	კვანტური შეზღუდვები: კვანტური ორმოს, მავთულის და წერტილის ცნების არსი	ლექციის კონსპექტი, ლიტ.[1], [2], [3].
23	ნანოელექტრონიკის ფუნდამენტალური მოვლენები	ლექციის კონსპექტი, ლიტ.[1], [2], [6].
24-25	განუზღვრელობის პრინციპი და დენის მატარებლების გვირაბგასვლა	ლექციის კონსპექტი, ლიტ.[1], [2], [6].
26-27	ერთელექტრონიანი ტრანზისტორის მუშაობის პ პრინციპი	ლექციის კონსპექტი, ლიტ.[1], [2], [6].
28	რეზონანსული გვირაბგასვლა და მასზე აგებული ხელსაწყოების მუშაობის პრინციპი	ლექციის კონსპექტი, ლიტ.[1], [2], [6].
29	აარონივ-ბომის ეფექტი და მასზე შექმნილი ხელსაწყოები, წრიული ინტერფერენციული ტრანზისტორი	ლექციის კონსპექტი, ლიტ.[1], [2], [6].
30	კონდოს ეფექტი და მასზე შექმნილი ხელსაწყოები	ლექციის კონსპექტი, ლიტ.[1], [2], [6].

## დანართი 2

### ლაბორატორიული სამუშაოები

ამოცანა 1: ნივთიერების გამოსვლის მუშაობის განსაზღვრა.

განხილულია კონტაქტურ პოტენციალთა სხვაობის (კპს) გაზომვა მეტალის, კერძოდ ვოლფრამის ვიბრაციით გასაზომ ნივთიერებასთან (კელვინის მეთოდი). ცნობილია, რა ვოლფრამის გამოსვლის მუშაობა (4,54 ევ) კპს ნიშნის და სიდიდის მიხედვით განისაზღვრება ნივთიერების გამოსვლის მუშაობა.

## **ამოცანა 2: ნახევარგამტარული დიოდი**

განხილულია სილიციუმისათვის p-n გადასასვლელი ანუ დიოდი. შეისწავლება დენები, ძაბვები და წინაღობები მისი პირდაპირი და უკუ ჩართვისას. აიგება ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი ორივე მიმართულებით. ნულთან ახლოს განისაზღვრება დიოდის წინაღობა და გაჟონვის დენები.

## **ამოცანა 3: ბიპოლარული ტრანზისტორი**

მოცემულია ბიპოლარული ტრანზისტორის მუშაობის პრინციპი, მისი ჩართვის სახეები წრედში. განხილულია მისი ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი, დანადგარზე ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადაღების შემდეგ განისაზღვრება პარამეტრები მისი საერთო ბაზით და საერთო ემიტერით ჩართვისას.

## **ამოცანა 4: მდნ-ტრანზისტორი**

განხილულია მდნ საველე ტრანზისტორის მუშაობის პრინციპი და თვისება, შესწავლილია მისი ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი წრფივ და ნაჯერობის რეჟიმებში, დანადგარზე ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გადაღების შემდეგ განისაზღვრება მისი პარამეტრები: ხვედრითი დახრილობა, არხის გამტარებლობა და გაძლიერების კოეფიციენტი.

## **ამოცანა 5: ტრანზისტორული ინვერტორების სქემის გამოკვლევა და მისი ელექტრული პარამეტრების გაზომვა.**

მოცემულია ბიპოლარული ინვენტორის, რეზისტორული დატვირთვით, მუშაობის პრინციპი, ლოგიკის ელემენტები, რომლის საფუძველზეც იგი მუშაობს. დანადგარზე გადაიდება მისი ძირითადი პარამეტრი – შესავალი ძაბვის ცვლილების გრაფიკი გამოსავალი ძაბვის მიმართ, როცა მუდმივი კვების ძაბვაა +5ვ.

## **ამოცანა 6: ინვენტორი დიელექტრიკ-მეტალ-დიელექტრიკ-ნახევარგამტარულ (დმდნ) ტრანზისტორზე.**

განხილულია დმდნ-ინვენტორის მუშაობის პრინციპი, რომელიც აგებულია ინდუცირებულ n-არხით. მდნ-საველე ტრანზისტორზე ინდუცირებულ p-არხის დატვირთვით. შესწავლილია დანადგარიდან მისი გარდამავალი მახასიათებლები, შესავალი ძაბვის დამოკიდებულება გამოსავალ ძაბვაზე, შესავალი დენის დამოკიდებულება შესავალ ძაბვაზე.

## **ამოცანა 7: შუქდიოდები**

განხილულია p-n გადასასვლელების ჰომო და ჰეტეროგადასასვლელების სახეები. ნაჩვენებია მათი როლი მიკროელექტრონიკაში, მათი ადგილი და მნიშვნელობა ნ/გ ხელსაწყოების შექმნაში. განხილულია მათ ბაზაზე შექმნილი ხელსაწყოების მუშაობის პრინციპები. შუქდიოდიდან გამომავალი სინათლის ინტენსიობის მიხედვით აიღება

ფოტოდოქსი გამავალი დენი, რაც განსაზღვრავს შუქდიოდის ძაბვის დამოკიდებულებას ფოტოდოდის დენზე. ეს აღებული პარამეტრი განმსაზღვრელია შუქდიოდისათვის.

ყველა თემაზე და მის შემადგენელ საკითხზე სემინარულ მეცადინეობებზე დეტალურად მუშავდება შესაბამისი პრობლემები და ამოცანები.

სემინარული და ლაბორატორიული მეცადინეობების თემები სრულ შესაბამისობაშია სალექციო თემებთან. სემინარული მასალის ათვისების შემოწმება მოხდება ყოველ მეცადინეობაზე და 2 შუალედურ საკონტროლო წერაზე.