

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Учебно-методическое объединение по образованию  
в области информатики и радиоэлектроники

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый заместитель Министра образования  
Республики Беларусь

\_\_\_\_\_ А.Г. Баханович

\_\_\_\_\_

Регистрационный № \_\_\_\_\_

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

**Примерная учебная программа по учебной дисциплине  
для специальности**

**6-05-0713-02 Электронные системы и технологии**

**СОГЛАСОВАНО**

Председатель Учебно-методического  
объединения по образованию в  
области информатики и  
радиоэлектроники

\_\_\_\_\_ В.А. Богуш

\_\_\_\_\_

**СОГЛАСОВАНО**

Начальник Главного управления  
профессионального образования  
Министерства образования  
Республики Беларусь

\_\_\_\_\_ С.Н. Пищов

\_\_\_\_\_

**СОГЛАСОВАНО**

Проректор по научно-методической  
работе Государственного учреждения  
образования «Республиканский  
институт высшей школы»

\_\_\_\_\_ И.В. Титович

\_\_\_\_\_

Эксперт-нормоконтролер

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Минск 2026

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

Я.А.Соловьёв, профессор кафедры электронной техники и технологии учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», доктор технических наук, доцент.

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

Кафедра «Интеллектуальные и мехатронные системы» Белорусского национального технического университета (протокол № 2 от 14.10.2025);

В.А.Пилипенко, заместитель начальника Государственного центра «Белмикрoанализ» Научно-технического центра открытого акционерного общества «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ПРИМЕРНОЙ:**

Кафедрой электронной техники и технологии учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 8 от 24.11.2025);

Научно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 4 от 19.12.2025);

Научно-методическим советом по электронным системам и технологиям Учебно-методического объединения по образованию в области информатики и радиоэлектроники (протокол № 4 от 17.12.2025)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### ХАРАКТЕРИСТИКА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Примерная учебная программа по учебной дисциплине «Технологические процессы интегральной электроники» разработана для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности 6-05-0713-02 «Электронные системы и технологии», в соответствии с требованиями образовательного стандарта общего высшего образования и примерного учебного плана вышеуказанной специальности.

Учебная дисциплина «Технологические процессы интегральной электроники» играет важную роль в процессе подготовки специалистов с высшим образованием в области электронных систем и технологий, ориентирована на изучение инновационных технологий изготовления изделий интегральной электроники для электронных средств и обеспечение высокого качества продукции.

Воспитательное значение учебной дисциплины «Технологические процессы интегральной электроники» заключается в формировании у обучающихся математической культуры и научного мировоззрения; развитии исследовательских умений, аналитических способностей, креативности, необходимых для решения научных и практических задач; развитии познавательных способностей и активности: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности; формировании способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации.

Изучение данной учебной дисциплины способствует созданию условий для формирования интеллектуально развитой личности обучающегося, которой присущи стремление к профессиональному совершенствованию, активному участию в экономической и социально-культурной жизни страны, гражданская ответственность и патриотизм.

### ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель учебной дисциплины: теоретическая и практическая подготовка в области производства изделий интегральной электроники, овладение научными подходами и практическими навыками проектирования технологических процессов их производства.

Задачи учебной дисциплины:

приобретение знаний в области анализа характеристик производственных и технологических процессов, технологичности конструкций изделий интегральной электроники;

освоение навыков определения параметров технологических процессов производства изделий интегральной электроники с применением систем автоматизированного проектирования;

изучение принципов осуществления технологических процессов производства изделий интегральной электроники и выбора последовательностей их применения;

овладение методами проектирования технологических процессов формирования функциональных слоев, рисунка слоев, электрических соединений, сборки и монтажа изделий интегральной электроники.

Базовыми учебными дисциплинами для учебной дисциплины «Технологические процессы интегральной электроники» являются такие учебные дисциплины как «Математический анализ», «Линейная алгебра и аналитическая геометрия», «Физика», «Химия», «Материалы электронной техники», «Физико-химические основы микро- и наноэлектроники», «Проектирование изделий интегральной электроники». В свою очередь учебная дисциплина «Технологические процессы интегральной электроники» является базой для таких учебных дисциплин компонента учреждения образования, как «Технология производства электронных средств», «Технология сборки и монтажа микромодулей», «Контроль качества и испытания электронных средств», а также тематически связана с учебной дисциплиной «Технология элементов конструкций электронных средств».

### ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения учебной дисциплины «Технологические процессы интегральной электроники» формируется следующая базовая профессиональная компетенция: разрабатывать технологические процессы производства изделий микро- и наноэлектроники.

В результате изучения учебной дисциплины обучающийся должен:

*знать:*

принципы проектирования технологических процессов производства изделий интегральной электроники и задания их параметров;

методы контроля параметров технологических процессов производства изделий интегральной электроники;

причинно-следственные связи влияния параметров технологических процессов на характеристики формируемых функциональных слоев и элементов изделий интегральной электроники;

основные критерии качества изделий интегральной электроники и их взаимосвязь с условиями выполнения технологических процессов.

*уметь:*

характеризовать достоинства и недостатки различных вариантов технологических процессов формирования функциональных слоев и элементов изделий интегральной электроники;

анализировать техническое задание на проектирование технологии производства изделий интегральной электроники и грамотно определять ее методы и параметры реализации;

*иметь навык:* применения принципов, методов и средств реализации технологических процессов и маршрутов производства изделий интегральной электроники.

Примерная учебная программа рассчитана на 108 учебных часов, из них – 64 аудиторных. Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий: лекции – 32 часа, лабораторные занятия – 16 часов, практические занятия – 16 часов.

## ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Наименование раздела, темы	Всего аудиторных часов	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия
Введение	2	2	–	–
<b>Раздел 1. Технология подготовки подложек к обработке</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	–
Тема 1. Технология изготовления подложек	2	2	–	–
Тема 2. Технология очистки поверхности подложек	6	2	4	–
<b>Раздел 2. Технология формирования легированных областей</b>	<b>24</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>6</b>
Тема 3. Эпитаксия	6	2	4	–
Тема 4. Диффузия примесей	10	2	4	4
Тема 5. Ионное легирование	8	2	4	2
<b>Раздел 3. Технология формирования функциональных слоев</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	–	<b>2</b>
Тема 6. Термическое окисление и свойства диоксида кремния	4	2	–	2
Тема 7. Нанесение диэлектрических пленок	2	2	–	–
Тема 8. Нанесение металлических пленок	2	2	–	–
<b>Раздел 4. Технология формирования микрорисунка слоев</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	–	–
Тема 9. Фотолитография	2	2	–	–
Тема 10. Травление	4	4	–	–
<b>Раздел 5. Маршрутная технология изделий интегральной электроники</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	–	<b>8</b>
Тема 11. Маршрутные процессы формирования структур с биполярными транзисторами	6	2	–	4
Тема 12. Маршрутные процессы формирования структур с МОП-транзисторами	6	2	–	4
<b>Раздел 6. Сборка изделий интегральной электроники</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	–	–
Тема 13. Корпуса и особенности их изготовления	2	2	–	–
Тема 14. Сборочные технологические процессы	2	2	–	–
<b>Итого:</b>	<b>64</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>16</b>

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### ВВЕДЕНИЕ

Цель и место учебной дисциплины в подготовке специалистов в области электронных систем и технологий и электронного машиностроения. Основные понятия и определения планарной технологии: Общая характеристика технологического процесса. Три основных группы технологических процессов.

#### Раздел 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ ПОДЛОЖЕК К ОБРАБОТКЕ

##### Тема 1. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОДЛОЖЕК

Получение металлургического кремния. Синтез трихлорсилана. Получение электронного кремния. Получение монокристаллического кремния. Особенности механической обработки полупроводниковых материалов. Обработка полупроводников свободными и связанными абразивами. Размеры пластин. Требования к кремниевым пластинам. Калибровка слитков. Ориентация слитков. Резка слитков на пластины. Шлифовка пластин. Химико-механическое полирование пластин. Контроль качества подложек.

##### Тема 2. ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТИ ПОДЛОЖЕК

Классификация загрязнений. Классификация методов очистки подложек. Методы интенсификации очистки. Особенности физических и химических методов очистки. Очистка от органических загрязнений. Очистка от оксидных, сульфидных и нитридных соединений. Очистка от механических частиц, атомных и ионных загрязнений. Последовательность методов очистки. Оборудование для очистки подложек. Особенности объемной и поштучной обработки.

#### Раздел 2. ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕГИРОВАННЫХ ОБЛАСТЕЙ

##### Тема 3. ЭПИТАКСИЯ

Классификация методов эпитаксии. Газофазная эпитаксия, устройство газофазного реактора. Газы-носители и кремнийсодержащие реагенты, температуры процессов, основные диффузаны для кремния. Молекулярно-лучевая эпитаксия, температура процесса, характеристики и устройства молекулярно-лучевой эпитаксии.

##### Тема 4. ДИФФУЗИЯ ПРИМЕСЕЙ

Теоретические основы процесса диффузии. Коэффициент диффузии. Плотность потока диффундирующих атомов. Температура процесса, концентрация примесей. Толщина диффузионного слоя. Форма  $p$ - $n$  перехода. Время диффузии. Предельная растворимость примесей. Диффузия примесей из бесконечного и ограниченного источника. Доза легирования. Примеры распределения примесей. Твердые, жидкие и газообразные диффузаны для кремния. Оборудование и оснастка для термодиффузионных процессов.

Материалы для масок. Особенности выбора режимов последовательных диффузий.

### Тема 5. ИОННОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ

Понятия ионного легирования и ионной имплантации. Сущность процесса и его характеристики. Дозы легирования и распределение концентраций примесей в зависимости от энергии ионов. Материалы масок при ионном легировании. Радиационные дефекты. Активационный отжиг. Каналирование имплантируемых примесей. Оборудование для ионной имплантации. Преимущества и недостатки процессов ионного легирования и диффузии примесей.

## Раздел 3. ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЕВ

### Тема 6. ТЕРМИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ И СВОЙСТВА ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

Классификация методов формирования диэлектрических покрытий. Функции пленок диоксида кремния и его основные характеристики. Теоретические основы процесса термического окисления. Оборудование и режимы термического окисления. Влияние подложки на скорость окисления и перераспределение примесей при окислении.

### Тема 7. НАНЕСЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК

Химическое осаждение из газовой фазы, функциональное назначение слоев диоксида, нитрида кремния, поликристаллического кремния. Оборудование для осаждения слоев из газовой фазы. Характеристики процессов. Особенности атомно-слоевого осаждения. Химическое осаждение из водных растворов, характеристика процесса, анодное окисление.

### Тема 8. НАНЕСЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК

Функции тонких металлических пленок в изделиях интегральной электроники. Термическое вакуумное испарение. Характеристики процесса. Распыление ионной бомбардировкой, катодное распыление. Магнетронные распылительные системы. Реактивное катодное распыление. Высокочастотное распыление. Осаждение металлических пленок из газовой фазы. Многослойные и многоуровневые системы металлизации изделий интегральной электроники.

## Раздел 4. ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОРИСУНКА СЛОЕВ

### Тема 9. ФОТОЛИТОГРАФИЯ

Техника масок. Фоторезисты. Фотошаблоны. Этапы процесса фотолитографии. Способы повышения разрешающей способности при фотолитографии. Новые решения и тенденции.

## Тема 10. ТРАВЛЕНИЕ

Жидкостное травление, изотропное и анизотропное травление. Скорость реакций и кристаллографическая ориентация поверхности пластины. Сухое анизотропное травление, реактивное ионное травление. Оборудование для процессов травления. Режимы и среды процессов.

## Раздел 5. МАРШРУТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗДЕЛИЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

### Тема 11. МАРШРУТНЫЕ ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР С БИПОЛЯРНЫМИ ТРАНЗИСТОРАМИ

Диффузионно-планарная структура. Эпитаксиально-планарная структуры. Эпитаксиально-планарной структуры со скрытым  $n^+$  слоем. Структуры с инжекционным питанием И<sup>2</sup>Л. Структуры с диэлектрической изоляцией. Изопланарная структура. Изопланарная структура с изолирующими V-каналами (полипланарная структура).

### Тема 12. МАРШРУТНЫЕ ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР С МОП-ТРАНЗИСТОРАМИ

Комплементарная структуры на МДП-транзисторах. Структура кремний на сапфире.

## Раздел 6. СБОРКА ИЗДЕЛИЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

### Тема 13. КОРПУСА И ОСОБЕННОСТИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Требования к корпусам. Классификация корпусов. Применяемые материалы. Технология изготовления.

### Тема 14. СБОРОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Операции малой сборки. Разделение полупроводниковых пластин на кристаллы. Методы монтажа кристаллов на основание корпуса. Методы подсоединения выводов. Методы безвыводного монтажа. Герметизация микросхем. Корпуса и особенности технологии их изготовления. Методы герметизации, контроль герметизации.

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### ЛИТЕРАТУРА

#### ОСНОВНАЯ

1. Технология изделий интегральной электроники: учебное пособие / Л. П. Ануфриев [и др.]; под общ. ред. А. П. Достанко, Л. И. Гурского. – Минск : Амалфея, 2010. – 536 с.
2. Базовые технологические процессы изготовления полупроводниковых приборов и интегральных микросхем на кремнии: в 3 т. / [О. Ю. Наливайко и др.], под ред. А. С. Турцевич. – Минск : Интегралполиграф, 2013. – 380 с.
3. Электрофизические процессы и оборудование в технологии микро- и наноэлектроники: монография / А. П. Достанко [и др.]; под общей ред. А. П. Достанко, А. М. Русецкого. – Минск : Бестпринт, 2011. – 210 с.
4. Технология СБИС: в 2 т. / К.Пирс [и др.]; под общей ред. С. Зи. – Москва : Мир, 1986. – 254 с.
5. Степаненко, И. П. Основы микроэлектроники : учебное пособие / И. П. Степаненко. – 2-е изд. – Москва : Лаборатория базовых знаний, 2004. – 488 с.

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

6. Технология радиоэлектронных устройств и автоматизация производства : учебник / А. П. Достанко [и др.]. – Минск : Вышэйшая школа, 2002. – 416 с.
7. Емельянов, В. А. Технология микромонтажа интегральных схем / В. А. Емельянов. – Минск : Беларуская навука, 2002. – 336 с.
8. Контактно-барьерные структуры субмикронной электроники / А. П. Достанко [и др.]; под ред. А. П. Достанко, В. Л. Ланина. – Минск : Бестпринт, 2021. – 270 с.
9. Технологические аспекты производства изделий субмикронной электроники / В. В. Буслюк [и др.]; под ред. В. Л. Ланина. – Минск : Бестпринт, 2024. – 266 с.

### МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЩАЮЩИХСЯ

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- подготовка к лекциям и лабораторным занятиям;
- работа с учебно-методическими пособиями;
- чтение рекомендуемой литературы;
- выполнение лабораторных работ;
- самостоятельное изучение тем и проблем, не выносимых на лекции и лабораторные занятия.

## ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ КОМПЕТЕНЦИЙ ОБУЩАЮЩИХСЯ

Примерным учебным планом по специальности 6-05-0713-02 «Электронные системы и технологии» в качестве формы промежуточной аттестации по учебной дисциплине «Технологические процессы интегральной электроники» рекомендуется экзамен. Оценка учебных достижений обучающихся производится по десятибалльной шкале.

Для текущего контроля по учебной дисциплине и диагностики компетенций могут использоваться следующие формы:

устный опрос;

контрольные работы;

письменные отчеты по выполненным лабораторным работам с их устной или письменной защитой.

## РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МЕТОДЫ (ТЕХНОЛОГИИ) ОБУЧЕНИЯ

Основные рекомендуемые методы (технологии) обучения, отвечающие целям и задачам учебной дисциплины:

элементы проблемного обучения (проблемное изложение, вариативное изложение, частично-поисковый метод), реализуемые на лекционных занятиях;

элементы учебно-исследовательской деятельности, творческого подхода, реализуемые на лабораторных занятиях.

## ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

1. Химическая обработка пластин в процессе изготовления кристаллов изделий интегральной электроники.

2. Формирование эпитаксиальных слоёв кремниевых структур и контроль их электрофизических параметров

3. Формирование легированных областей методом диффузии и контроль их параметров.

4. Формирование легированных слоев в кремнии ионной имплантацией при формировании элементов интегральных схем.

## ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1. Определение технологических режимов процесса диффузии из бесконечного источника.

2. Определение технологических режимов процесса диффузии из ограниченного источника.

3. Определение технологических режимов ионного легирования.

4. Определение технологических параметров окисления кремния.

5. Технологический маршрут формирования структуры мощного биполярного транзистора.

6. Технологический маршрут формирования структуры биполярной интегральной схемы с двумя скрытыми слоями.

7. Технологический маршрут формирования структуры мощного ДМОП-транзистора.

8. Технологический маршрут формирования структуры КМОП интегральной схемы с многоуровневой металлизацией.

**ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ**  
( *необходимого оборудования, наглядных пособий и др.*)

1. Учебная телевизионная система с мультимедийным проектором.
2. Персональные компьютеры.
3. Компьютерные презентации по темам учебной дисциплины.
4. Программный комплекс MathCAD.
5. Установка химической обработки пластин «КС-01».
6. Установка эпитаксиального наращивания «РЕ-2061».
7. ИК-Фурье спектрометр «ФСМ 1201».
8. Система диффузионная «СДОМ 3-100».
9. Установка пирогенного окисления «Оксил-3ПО».
10. Установка изготовления сферических шлифов.
11. Измеритель поверхностного сопротивления RS-35.
12. Установка ионной имплантации «Днепр-М».