

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель Ученого совета факультета радиотехники и электроники

проф. Небольсин В.А. \_\_\_\_\_

(подпись)

\_\_\_\_\_ 2016 г.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

### Технология изделий силовой электроники

(наименование дисциплины по учебному плану ООП)

для направления подготовки (специальности): 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника  
(код, наименование)

Профиль подготовки (специализация): Микроэлектроника и твердотельная электроника  
(название профиля, магистерской программы, специализации по УП)

Форма обучения очная Срок обучения нормативный

Кафедра полупроводниковой электроники и нанoeлектроники  
(наименование кафедры-разработчика УМКД)

УМКД разработал: Зенин В.В., д.т.н.  
(Ф.И.О., ученая степень авторов разработки)

Рассмотрено и одобрено на заседании методической комиссии ФРТЭ  
(наименование факультета)

Протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Председатель методической комиссии Москаленко А.Г.  
(Ф.И.О)

Воронеж 2016 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
 ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
 ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
 «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
 (ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель Ученого совета факультета радиотехники и электроники

проф. Небольсин В.А. \_\_\_\_\_

(подпись)

\_\_\_\_\_ 2016 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### Технология изделий силовой электроники

(наименование дисциплины (модуля) по УП)

**Закреплена за кафедрой:** полупроводниковой электроники и нанoeлектроники

**Направление подготовки (специальности):** 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

(код, наименование)

**Профиль:** Микроэлектроника и твердотельная электроника

(название профиля по УП)

**Часов по УП: 108; Часов по РПД: 108;**

**Часов по УП (без учета часов на экзамены): 72; Часов по РПД: 72;**

**Часов на самостоятельную работу по УП: 18 (25%);**

**Часов на самостоятельную работу по РПД: 18 (25%)**

**Общая трудоемкость в ЗЕТ: 3;**

**Виды контроля в семестрах (на курсах):** Экзамены - 7; Зачеты - 0; Зачеты с оценкой – 0;

Курсовые проекты - 0; Курсовые работы - 0.

**Форма обучения:** очная;

**Срок обучения:** нормативный.

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Вид занятия	№ семестров, число учебных недель в семестрах																	
	1 / 18		2 / 18		3 / 18		4 / 18		5 / 18		6 / 18		7 / 18		8 / 12		Итого	
	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД
Лекции													18	18			18	18
Лабораторные													18	18			18	18
Практические													18	18			18	18
Ауд. занятия													54	54			54	54
Сам. работа													18	18			18	18
<b>Итого</b>													72	72			72	72

**Сведения о ФГОС, в соответствии с которым разработана рабочая программа дисциплины (модуля) – 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника». Утвержден приказом Министерства образования Российской Федерации от 12 марта 2015 г. №218.**

**Программу составил:** \_\_\_\_\_ д.т.н., Зенин В.В.  
(подпись, ученая степень, ФИО)

**Рецензент (ы):** \_\_\_\_\_ Коваленко П.Ю., к.т.н., зам. гл. инженера АО «ВЗПП-С»

Рабочая программа дисциплины составлена на основании учебного плана подготовки бакалавров по направлению 11.03.04 “Электроника и наноэлектроника”, профиль “Микроэлектроника и твердотельная электроника”.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры полупроводниковой электроники и наноэлектроники

протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2016 г.

Зав. кафедрой ППЭНЭ \_\_\_\_\_ С.И. Рембеза

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1	<p><b>Целью освоения дисциплины</b> является рассмотрение вопросов технологии производства изделий силовой электроники на основе анализа электронной компонентной базы силовых устройств, включая перспективные технологии производства силовых полупроводниковых приборов (СПП) и модулей силовой электроники.</p> <p>Изучение дисциплины должно способствовать формированию у студентов-магистрантов основ сборки СПП на основе последних достижений науки и техники в данном направлении.</p>
1.2	<b>Для достижения цели ставятся задачи:</b>
1.2.1	провести анализ отечественной силовой электроники и фирм производителей;
1.2.2	изучить современные способы и технологии сборки изделий силовой электроники;
1.2.3	рассмотреть перспективные способы и технологии пайки кристаллов и сварки внутренних выводов силовых полупроводниковых приборов и силовых модулей;
1.2.4	провести анализ способов контроля сборочных операций силовых полупроводниковых приборов и силовых модулей.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Цикл (раздел) ООП: Б1	код дисциплины в УП: Б1.В.ДВ.5.2
<b>2.1 Требования к предварительной подготовке обучающегося</b>	
Для успешного освоения дисциплины студент должен иметь базовую подготовку по дисциплинам:	
Б1.Б.19	Основы технологии электронной компонентной базы
Б1.В.ОД.12	Технология материалов электронной техники
<b>2.2 Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее</b>	
Б3	Итоговая государственная аттестация

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

ПКВ-2	готовностью к применению современных технологических процессов и технологического оборудования на этапах разработки и производства микроэлектронных приборов и устройств твердотельной электроники
ПКВ-3	способность идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере физики, проектирования, технологии изготовления и применения микроэлектронных приборов и устройств

### В результате освоения дисциплины обучающийся должен

<b>3.1</b>	<b>Знать:</b>
3.1.1	основные типы изделий силовой электроники, выпускаемые в РФ и за рубежом (ПКВ-2);
3.1.2	перспективные способы пайки кристаллов СПП (ПКВ-3);
3.1.3	перспективные способы монтажа внутренних соединений силовых полупроводниковых приборов (ПКВ-2)
<b>3.2</b>	<b>Уметь:</b>
3.2.1	проводить оценку смачивания и растекания припоя по нагретой поверхности (ПКВ-2);
3.2.2	определение площади непропаев в паяных соединениях «кристалл-корпус» силовых полупроводниковых приборов по рентгенограммам (ПКВ-2);
3.2.3	проводить контроль прочности соединений кристаллов с кристаллодержателями (ПК-2)
<b>3.3</b>	<b>Владеть:</b>
3.3.1	технологией сборки изделий силовой электроники (пайка кристаллов и сварки внутренних выводов) (ПКВ-3)

### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Вид учебной нагрузки и их трудоемкость в часах				
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС	Всего часов
1	Электронная компонентная база силовых устройств	2	1	2	-	-	2	4
2	Отечественная силовая электроника	2	3	2	-	-	2	4
3	Перспективы развития дискретных приборов и модулей силовой электроники	2	5	2	4	-	2	8
4	Полупроводниковые приборы на основе карбида кремния – настоящее и будущее силовой электроники	2	7	2	2	-	2	6
5	Пайка кристаллов с использованием локального нагрева – перспективный способ в производстве силовых модулей	2	9	2	2	8	2	14
6	Формирование внутренних соединений между кристаллом и корпусом с использованием проволочных и ленточных выводов	2	11	2	4	8	2	16
7	Конструктивные и технологические приемы снижения теплового	2	13	2	2		2	6

	сопротивления «кристалл-корпус»							
8	Способы контроля качества сборочных операций	2	15	2	2	2	2	8
9	Оборудование для сборки СПП для силовой электроники	2	17	2	2		2	6
Итого					18	18	18	72

#### 4.1 Лекции

Неделя семестра	Тема и содержание лекции	Объем часов
1	Электронная компонентная база силовых устройств	2
3	Отечественная силовая электроника	2
5	Перспективы развития дискретных приборов и модулей силовой электроники	2
7	Полупроводниковые приборы на основе карбида кремния – настоящее и будущее силовой электроники	2
9	Пайка кристаллов с использованием локального нагрева – перспективный способ в производстве силовых модулей	2
11	Формирование внутренних соединений между кристаллом и корпусом с использованием проволочных и ленточных выводов	2
13	Конструктивные и технологические приемы снижения теплового сопротивления «кристалл-корпус»	2
15	Способы контроля качества сборочных операций	2
17	Оборудование для сборки СПП для силовой электроники	2
<b>Итого часов</b>		<b>18</b>

#### 4.2 Практические занятия

Неделя семестра	Тема и содержание практического занятия	Объем часов	Виды контроля
<b>3. Перспективы развития дискретных приборов и модулей силовой электроники</b>		<b>4</b>	
2	Перспективные способы пайки кристаллов СПП.	2	
4	Перспективные способы монтажа внутренних выводов СПП.	2	
<b>4. Полупроводниковые приборы на основе карбида кремния – настоящее и будущее силовой электроники</b>		<b>2</b>	
6	Особенности сборки СПП, работающих при высоких температурах. Контрольная работа	2	Контр. раб.
<b>5. Пайка кристаллов с использованием локального нагрева – перспективный способ в производстве силовых модулей</b>		<b>2</b>	
8	Расчет времени заполнения капиллярного зазора между кристаллом и корпусом при пайке.	2	
<b>6. Формирование внутренних соединений между кристаллом и корпусом с использованием проволочных и ленточных выводов</b>		<b>4</b>	
10	Ультразвуковая сварка проволочных выводов СПП	2	
12	Построение циклограммы термозвукоимпульсной сварки ленточных выводов СПП. Контрольная работа	2	Контр. раб.

<b>7. Конструктивные и технологические приемы снижения теплового сопротивления «кристалл-корпус»</b>		<b>2</b>	
14	Конструкционные и технологические приемы снижения теплового сопротивления «кристалл – корпус».	2	
<b>8. Способы контроля качества сборочных операций</b>		<b>2</b>	
16	Оптимизация режимов монтажа внутренних выводов СПП.	2	
<b>9. Оборудование для сборки СПП для силовой электроники</b>		<b>2</b>	
18	Теплоотводы на основе эффекта Пельтье для СПП и силовых модулей. Контрольная работа	2	Конт. раб.
<b>Итого часов</b>		<b>18</b>	

### 4.3 Лабораторные работы

Неделя семестра	Наименование лабораторной работы	Объем часов	Виды контроля
<b>5. Пайка кристаллов с использованием локального нагрева – перспективный способ в производстве силовых модулей</b>		<b>8</b>	
2	Оценка смачивания и растекания припоя по паяной поверхности	4	отчет
6	Прочность соединений кристаллов с основаниями корпусов СПП	4	отчет
<b>6. Формирование внутренних соединений между кристаллом и корпусом с использованием проволочных и ленточных выводов</b>		<b>8</b>	
10 - 14	Контроль качества пайки полупроводниковых кристаллов к корпусам СПП	8	отчет
<b>8. Способы контроля качества сборочных операций</b>		<b>2</b>	
18	Контроль качества внутренних соединений СПП	2	отчет
<b>Итого часов</b>		<b>18</b>	

### 4.4 Самостоятельная работа студента (СРС)

Неделя семестра	Содержание СРС	Виды контроля	Объем часов
1	Работа с конспектом лекций, с учебником		1
2	Подготовка к практическому занятию		1
3	Работа с конспектом лекций, с учебником		1
4	Подготовка к практическому занятию	Проверка домашнего задания	1
5	Подготовка отчета по лабораторной работе	Допуск к выполнению, отчет, защита	1
6	Подготовка к контрольной работе	Контрольная работа	1
7	Работа с конспектом лекций, с учебником		1
8	Подготовка к практическому занятию	Проверка домашнего задания	1
9	Подготовка отчета по лабораторной работе	Допуск к выполнению, отчет, защита	1
10	Подготовка к практическому занятию	Проверка домашнего задания	1

11	Работа с конспектом лекций, с учебником		1
12	Подготовка к контрольной работе	Контрольная работа	1
13	Подготовка отчета по лабораторной работе	Допуск к выполнению, отчет, защита	1
14	Подготовка к практическому занятию	Проверка домашнего задания	1
15	Работа с конспектом лекций, с учебником		1
16	Подготовка к практическому занятию	Проверка домашнего задания	
17	Подготовка к контрольной работе	Контрольная работа	1
18	Подготовка отчета по лабораторной работе	Допуск к выполнению, отчет, защита	1
<b>ИТОГО</b>			<b>18</b>

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

	<b>В рамках изучения дисциплины предусмотрены следующие образовательные технологии:</b>
5.1	<b>Лекции:</b> информационные лекции, лекции – визуализации, проблемные лекции
5.2	<b>Практические занятия:</b> а) работа в команде (ИФ) - совместное обсуждение вопросов лекций, домашних заданий, решение творческих задач (метод Делфи); б) проведение контрольных работ;
5.3	<b>лабораторные работы:</b> – выполнение лабораторных работ, – защита выполненных работ;
5.4	<b>Самостоятельная работа студентов:</b> – изучение теоретического материала, – подготовка к лекциям, практическим и лабораторным занятиям, – работа с учебно-методической литературой, – оформление конспектов лекций, – подготовка к текущему контролю успеваемости, к контрольным работам
5.5	<b>консультации</b> по всем вопросам учебной программы.

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

<b>6.1</b>	<b>Контрольные вопросы и задания</b>
6.1.1	Используемые формы текущего контроля: – контрольные работы; – отчет и защита выполненных лабораторных работ.
6.1.2	Рабочая программа дисциплины обеспечена фондом оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации. Фонд включает примерные варианты контрольных работ, вопросы к экзамену Фонд оценочных средств представлен в учебно-методическом комплексе дисциплины.
<b>6.2</b>	<b>Темы письменных работ</b>

6.2.1	Контрольная работа по теме «Особенности сборки СПП, работающих при высоких температурах»
6.2.2	Контрольная работа по теме «Термозвукоимпульсная сварка ленточных выводов СПП»
6.2.3	Контрольная работа по теме «Теплоотводы на основе эффекта Пельтье для СПП и силовых модулей»

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

7.1 Рекомендуемая литература				
№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченность
<b>7.1.1. Основная литература</b>				
7.1.1.1	Зайцев А. И.	Силовая промышленная электроника. Учеб. пособие / изд-во «Научная книга»	2008	0,5
<b>7.1.2. Дополнительная литература</b>				
7.1.2.1	Зенин В.В.	Процессы сборки в технологии производства 3D-изделий микроэлектроники [Электронный ресурс] : Учеб. пособие / В.В. Зенин. – Электрон. текстовые, граф. дан. (17,3 Мб). – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», - 1 файл. – 30-00	2011, Электр. ресурс	1
<b>7.1.3 Методические разработки</b>				
7.1.3.1	Зенин В.В., Землянский А.И.	Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Проблемы силовой электроники» для студентов-магистрантов направления 223200.68 «Техническая физика», магистерская программа «Физика и техника полупроводников» очной формы обучения	2014 №413	1
<b>7.1.4 Программное обеспечение и интернет ресурсы</b>				
7.1.4.1				

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

8.1	Учебные лаборатории: _____
8.2	Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для проведения лабораторного практикума и проекторами
8.3	Натурные лекционные демонстрации _____
8.4	Плакаты и наглядные пособия из фонда кафедры ППЭНЭ

**Карта обеспеченности рекомендуемой литературой  
по дисциплине «Технология изделий силовой электроники»**

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченность
<b>1. Основная литература</b>				
1	Зайцев А. И.	Силовая промышленная электроника. Учеб. пособие / изд-во «Научная книга»	2008	0,5
<b>2. Дополнительная литература</b>				
2	Зенин В.В.	Процессы сборки в технологии производства 3D-изделий микроэлектроники [Электронный ресурс] : Учеб. пособие / В.В. Зенин. – Электрон. текстовые, граф. дан. (17,3 Мб). – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», - 1 файл. – 30-00	2011, Электр. ресурс	1,0
<b>3 Методические разработки</b>				
3	Зенин В.В., Землянский А.И.	Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Проблемы силовой электроники» для студентов-магистрантов направления 223200.68 «Техническая физика», магистерская программа «Физика и техника полупроводников» очной формы обучения	2014 №413	1,0

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ С.И. Рембеза

Директор НТБ \_\_\_\_\_ Т.И. Буковшина

«УТВЕРЖДАЮ»  
Председатель Ученого совета фа-  
культета радиотехники и электро-  
ники

\_\_\_\_\_ Небольсин В.А.  
(подпись)

\_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

### Лист регистрации изменений (дополнений) УМКД

#### Технология изделий силовой электроники

В УМКД вносятся следующие изменения (дополнения):

---

---

---

---

---

Изменения (дополнения) в УМКД обсуждены на заседании кафедры полупроводниковой электроники и нанoeлектроники

Протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой ППЭНЭ

С.И. Рембеза

Изменения (дополнения) рассмотрены и одобрены методической комиссией ФРТЭ

Председатель методической комиссии ФРТЭ

А.Г. Москаленко

«Согласовано»

С.И. Рембеза

### Лист регистрации изменений

Порядковый номер изменения	Раздел, пункт	Вид изменения (заменить, аннулировать, добавить)	Номер и дата приказа об изменении	Фамилия и инициалы, подпись лица, внесшего изменение	Дата внесения изменения