

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет
Филиал БНТУ
«Минский государственный политехнический колледж»

Электронное учебно-методическое пособие
по учебной дисциплине
«СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ»
для специальности 2-41 01 31 «Микроэлектроника»

Минск 2019

Автор:

Бирюк В.В.

Рецензенты:

Юхновец С.В. преподаватель спецдисциплин специальности 2-41 01 31
«Микроэлектроника» высшей квалификационной категории филиала БНТУ
«МГПК»

Котов Д.А. канд. техн. наук., доцент,
доцент каф. «Микро- и наноэлектроники» БГУИР

Учебно-методическое пособие предназначено для самостоятельного и дистанционного изучения учебной дисциплины «Системы автоматизированного проектирования» учащимися специальности 2-41 01 31 «Микроэлектроника». В учебно-методическом пособии представлен теоретический материал, а также материал, обеспечивающий контроль знаний для проведения самоконтроля и текущей аттестации.

Белорусский национальный технический университет.
Филиал БНТУ «Минский государственный политехнический колледж».
пр - т Независимости, 85, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: (017) 292-13-42 Факс: 292-13-42
E-mail: mgpk@bntu.by,
<http://www.mgpk.bntu.by/>
Регистрационный № ЭИ БНТУ/МГПК – 47.2019

© БНТУ, 2019

© Бирюк В.В., 2019

Содержание

Пояснительная записка

Выписка из типового учебного плана

Междисциплинарные связи

Типовая программа учебной дисциплины

Тематический план

Примерный перечень оснащения кабинета

Критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся

Перечень существенных и несущественных ошибок

Перечень разделов и тем учебной программы

Теоретический материал по темам учебной программы

Введение

Раздел 1. Системы автоматизированного проектирования

Тема 1.1 Общие сведения о системах автоматизированного проектирования

Раздел 2. Автоматизация проектирования

Тема 2.1 Автоматизация конструкторского, топологического проектирования и технологических процессов

Тема 2.2 Автоматизация геометрического проектирования

Раздел 3. Физическое моделирование технологических процессов в программе Suprem

Тема 3.1 Моделирование технологических процессов и расчет характеристик в программе Suprem

Тема 3.2 Компьютерные средства проектирования технологических операций микроэлектроники

Раздел 4. Программное обеспечение конструкторско-технологического проектирования

Тема 4.1 Система автоматизированного проектирования P-CAD

Тема 4.2 Библиотека компонентов

Тема 4.3 Графический редактор схем

Тема 4.4 Графический редактор печатных плат

Тема 4.5 автоматическая трассировка проводников

Тема 4.6 Перспективы развития систем автоматизированного проектирования

Самоконтроль знаний

Методические указания для выполнения лабораторных работ

Примерный перечень вопросов к ОКР

Перечень учебных изданий и информационно-аналитических материалов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Электронное учебно-методическое пособие по учебной дисциплине «Системы автоматизированного проектирования» может использоваться преподавателями и учащимися дневной формы получения образования для самостоятельного и дистанционного изучения материала учебной дисциплины «Системы автоматизированного проектирования».

Учебная программа учебной дисциплины «Системы автоматизированного проектирования» составлена в соответствии с типовым учебным планом специальности 2-41 01 31 «Микроэлектроника» и примерным тематическим планом, утвержденным Министерством образования Республики Беларусь 19.03 2010 ст. № 75Д/к.

Программой учебной дисциплины «Системы автоматизированного проектирования» предусматривается изучение методов и средств автоматизации конструкторского и технологического проектирования, приобретение практических навыков конструкторско-технологического, геометрического проектирования, моделирования технологических процессов с использованием реальных САПР.

Изучение программного материала основывается на знаниях, приобретенных учащимися по таким дисциплинам как: «Прикладная информатика», «Инженерная графика», «Конструирование радиоэлектронных средств», «Технология и автоматизация производства радиоэлектронных средств».

В результате изучения учебной дисциплины учащиеся должны:

знать на уровне представления:

- математические модели объектов конструирования;
- цели и задачи автоматизации конструкторско-технологического проектирования;
- структуру систем автоматизированного проектирования;
- виды обеспечения систем автоматизированного проектирования;

знать на уровне понимания:

- алгоритм работы систем автоматизированного проектирования различного назначения;
- принципы выбора системы автоматизированного проектирования в зависимости от поставленной задачи;
- математические основы системы автоматизированного проектирования;

уметь:

- выполнять графические работы с использованием систем автоматизированного проектирования;
- разрабатывать модели элементов интегральных микросхем и устройств функциональной микроэлектроники;
- моделировать технологические процессы производства микроэлектронных устройств и нанoeлектронных структур.

Для закрепления и углубления теоретических знаний учащихся, а также приобретения необходимых практических навыков и умений учебной

программой предусматривается проведение практических занятий, которые необходимо проводить после изучения соответствующих тем.

В процессе изучения учебной дисциплины проводится одна обязательная контрольная работа. Текущая аттестация по предмету проводится посредством поурочных и тематических самостоятельных и контрольных работ. При изложении материала рекомендуется активно использовать вычислительную технику.

Тематический план, программы носит рекомендательный характер. Цикловая комиссия учреждения образования может вносить обоснованные изменения в содержание программного материала и распределение учебных часов по разделам и темам при условии сохранения общего количества часов, отведенных учебным планом на дисциплину. Все изменения должны утверждаться заместителем руководителя учреждения образования по учебной работе.

Выписка из типового учебного плана специальности

по специальности 2-41 01 31

«Микроэлектроника».

утвержденного Министерством образования Республики Беларусь

№150Д/тип от 15.07.2013 года

Учебная дисциплина «Системы автоматизированного проектирования»
изучается на протяжении одного семестра

(дневная форма обучения).

Виды работ	Кол-во часов
	7 семестр обучения
Всего часов	56
Из них: практических занятий	-
лабораторных работ	30
курсовое проектирование	—
Количество: тематических контрольных работ	-
обязательных контрольных работ	1
*домашних контрольных работ	
Экзамен	

Междисциплинарные связи

«Инженерная графика»

«Основы обработки информации на персональном компьютере»

«Расчет и проектирование микроэлектронных устройств»

«Дипломное проектирование»

«Курсовое проектирование»

УТВЕРЖДАЮ
 Зам директора
 по учебной работе
 _____ Т.С.Шмакова
 «__» _____ 2018

Тематический план
 по учебной дисциплине «**Системы автоматизированного проектирования**»
 Специальность 2-41 01 31 «Микроэлектроника»

Раздел, тема	Количество часов	
	всего	В том числе практич.
1	2	3
Введение	1	
Раздел 1. Системы автоматизированного проектирования	1	
Тема 1.1 Общие сведения о системах автоматизированного проектирования	1	
Раздел 2. Автоматизация проектирования	20	12
Тема 2.1 Автоматизация конструкторского, топологического проектирования и технологических процессов	2	
Тема 2.2 Автоматизация геометрического проектирования	18	12
Раздел 3. Физическое моделирование технологических процессов в программе Suprem	10	6
Тема 3.1 Моделирование технологических процессов и расчет характеристик в программе Suprem	2	
Тема 3.2 Компьютерные средства проектирования технологических операций микроэлектроники	8	6
Раздел 4. Программное обеспечение конструкторско-технологического проектирования	24	12
Тема 4.1 Система автоматизированного проектирование P-CAD	2	
Тема 4.2 Библиотека компонентов	8	6
Тема 4.3 Графический редактор схем	4	2
Тема 4.4 Графический редактор печатных плат	4	2
Тема 4.5 Автоматическая трассировка проводников	3	2
<i>Обязательная контрольная работа №1</i>	1	
Тема 4.6 Перспективы развития систем автоматизированного проектирования	2	
ИТОГО	56	30

Примерный перечень оснащения учебного кабинета

Наименование	Количество
ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБУЧЕНИЯ	
Аудио-, видеотехника	
Компьютер	1
Мультимедийный проектор	1
Принтер	1
Плоттер	1
Интерактивные средства	
Компьютерные программы педагогического назначения	1
Электронные учебные пособия	1
Презентации учебного назначения	6
Прикладные программы:	
AutoCAD	1
P-CAD	1
Suprem	1
СРЕДСТВА ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	
ПЭВМ	15
СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ	
Заземление	1
Медицинская аптечка	1
Огнетушитель	1
ОБОРУДОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЯ	
Стол для преподавателя	1
Столы учебные	15
Столы компьютерные	15
Стулья	31
Доска классная	1
Экран проекционный	1
Информационные стенды	1

Критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся

Отметки в баллах	Показатели оценки
1	2
1 (один)	Узнавание отдельных объектов изучения программного учебного материала, предъявленных в готовом виде (специальных терминов, понятий, определений в области систем автоматизированного проектирования; пакетов прикладных программ, используемых в САПР, и т. д.); наличие многочисленных существенных ошибок, исправляемых с непосредственной помощью преподавателя
2 (два)	Различение объектов изучения программного учебного материала, предъявленных в готовом виде (специальных терминов, понятий, определений в области систем автоматизированного проектирования; пакетов прикладных программ, используемых в САПР; основных способов проектирования и т. д.); осуществление соответствующих практических действий (выполнение настройки параметров чертежа, работы с командной строкой и т. д.); наличие существенных ошибок, исправляемых с непосредственной помощью преподавателя
3 (три)	Воспроизведение части программного учебного материала по памяти (фрагментарный пересказ и перечисление аспектов и этапов проектирования; видов обеспечения САПР; программно-методического комплекса; программно-технического комплекса и подсистем САПР; программного обеспечения машинной графики и видов графических систем САПР; программ, используемых при проектировании печатных плат, и т. д.); осуществление умственных и практических действий по образцу (выполнение настройки параметров чертежа, установка цвета, толщины линии, задание слоев и т. д.); наличие отдельных существенных ошибок
4 (четыре)	Воспроизведение большей части программного учебного материала (описание с элементами объяснения видов обеспечения САПР; сущности и достоинств блочно-иерархического подхода к проектированию; особенностей ПМК, ПТК и подсистем САПР; классификации печатных плат; основных элементов соединительного монтажа; классификации графических систем, их особенностей и назначения и т. д.); применение знаний в знакомой ситуации по образцу (создание элементарных чертежей средствами AutoCAD и т. д.); наличие единичных существенных ошибок
5 (пять)	Осознанное воспроизведение большей части программного учебного материала (описание видов обеспечения САПР; особенностей ПМК, ПТК и подсистем САПР; классификации подсистем САПР, принципов построения САПР; классификации печатных плат; основных элементов соединительного монтажа; классификации графических систем с объяснением принципов построения САПР, особенностей графических систем и т. д.); применение знаний в знакомой ситуации по образцу (выполнение элементарных заданий в программах AutoCAD и P-CAD и т. д.); наличие несущественных ошибок

1	2
6 (шесть)	<p>Полное знание и осознанное воспроизведение всего программного учебного материала; владение программным учебным материалом в знакомой ситуации (описание и объяснение видов обеспечения САПР; особенностей ПМК, ПТК и подсистем САПР; классификации подсистем САПР; принципов построения САПР; основных элементов соединительного монтажа и т. д.); выполнение заданий по образцу, на основе предписаний по проектированию и разработке принципиальных схем и печатных плат, разработке сложных объектов конструирования в программах AutoCAD и P-CAD и т. д.); наличие несущественных ошибок</p>
7 (семь)	<p>Полное, прочное знание и воспроизведение программного учебного материала; владение программным учебным материалом в знакомой ситуации (развернутое описание и объяснение видов обеспечения САПР; особенностей ПМК, ПТК и подсистем САПР; классификации подсистем САПР; раскрытие сущности принципов построения САПР; обоснование выбора команд при разработке принципиальных схем и печатных плат и т. д.), недостаточно самостоятельное выполнение заданий по проектированию и разработке принципиальных схем и печатных плат, разработке сложных объектов конструирования в программах AutoCAD и P-CAD и т. д.); наличие единичных несущественных ошибок</p>
8 (восемь)	<p>Полное, прочное, глубокое знание и воспроизведение программного учебного материала; оперирование программным учебным материалом в знакомой ситуации (развернутое описание и объяснение видов обеспечения САПР; особенностей ПМК, ПТК и подсистем САПР; классификации подсистем САПР; раскрытие сущности принципов построения САПР; обоснование выбора команд при разработке принципиальных схем и печатных плат и т. д.), самостоятельное выполнение заданий по проектированию и разработке схем, печатных плат и технологических процессов изготовления интегральных микросхем с использованием прикладных программ AutoCAD и P-CAD и т. д.); наличие единичных несущественных ошибок</p>
9 (девять)	<p>Полное, прочное, глубокое, системное знание программного учебного материала; оперирование программным учебным материалом в частично измененной ситуации (применение знаний при разработке сложных чертежей и печатных плат, преобразовании чертежей в соответствии со стандартами ЕСКД с использованием программ AutoCAD и P-CAD, выдвижение предположений и гипотез о нестандартных способах проектирования и корректирования печатных плат и т. д., наличие действий и операций творческого характера для выполнения заданий по моделированию технологических процессов в программе Suprem и т. д.)</p>
10 (десять)	<p>Свободное оперирование программным учебным материалом; применение знаний и умений в незнакомой ситуации (самостоятельные действия по описанию, объяснению возможностей новых графических систем, демонстрация их применения при разработке печатных плат и технологических процессов, выполнение творческих работ и заданий по разработке печатных плат и технологических процессов проектирования печатных плат, конструированию сложных объектов в конкретной программе (по выбору учащегося))</p>

Перечень существенных и несущественных ошибок

Существенные ошибки:

В изложении теоретического материала:

- затруднения в изложении основных терминов, определений и понятий САПР;
- затруднения в изложении иерархических уровней систем и подсистем САПР;
- ошибки в условных графических обозначениях элементов электрических схем;
- ошибки при пояснении этапов разработки печатных плат;
- неполные, неаргументированные ответы.

При выполнении практических и лабораторных работ:

- несоблюдение нормативно-методических документов при выполнении работ;
- неправильное подключение различных элементов в схемах;
- нарушение последовательности коммутации электрических схем;
- ошибки при использовании типов линий и слоев;
- ошибки в моделировании технологических процессов;
- затруднения при оперировании основными директивами;
- ошибки в расчетах, при построении графиков, временных диаграмм, отсутствие размерности величин;
- затруднения в оценивании полученного результата.

Несущественные ошибки:

В изложении теоретического материала:

- неточность в стандартном изложении понятий, определений;
- неполные изложения основных иерархических уровней систем и подсистем САПР;
- искажения размеров, формы элементов в условных графических обозначениях;
- неточность в описании параметров основных директив;
- неточность при масштабировании чертежей;
- неполные, неточные изложения этапов разработки печатных плат;
- небрежное выполнение записей, схем, рисунков;
- грамматические ошибки в терминах.

При выполнении практических и лабораторных работ:

- наличие опечаток (менее 5);
- неточность в оформлении работ;
- применение нерационального способа решения задач;
- применение нерационального способа моделирования полупроводниковых структур;
- небрежное выполнение записей, схем, рисунков;
- нерациональные приемы работы со справочной литературой
- ошибки вычислительного характера, не приводящие к абсурдным результатам.

Перечень разделов и тем учебной программы

Введение

Раздел 1. Системы автоматизированного проектирования

Тема 1.1 Общие сведения о системах автоматизированного проектирования

Раздел 2. Автоматизация проектирования

Тема 2.1 Автоматизация конструкторского, топологического проектирования и технологических процессов

Тема 2.2 Автоматизация геометрического проектирования

Раздел 3. Физическое моделирование технологических процессов в программе Suprem

Тема 3.1 Моделирование технологических процессов и расчет характеристик в программе Suprem

Тема 3.2 Компьютерные средства проектирования технологических операций микроэлектроники

Раздел 4. Программное обеспечение конструкторско-технологического проектирования

Тема 4.1 Система автоматизированного проектирования P-CAD

Тема 4.2 Библиотека компонентов

Тема 4.3 Графический редактор схем

Тема 4.4 Графический редактор печатных плат

Тема 4.5 автоматическая трассировка проводников

Тема 4.6 Перспективы развития систем автоматизированного проектирования

Введение

Система автоматизированного проектирования — автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования, представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности. Также для обозначения подобных систем широко используется аббревиатура САПР.

В рамках жизненного цикла промышленных изделий САПР решает задачи автоматизации работ на стадиях проектирования и подготовки производства.

Основная цель создания САПР — повышение эффективности труда инженеров, включая:

- сокращения трудоёмкости проектирования и планирования;
- сокращения сроков проектирования;
- сокращения себестоимости проектирования и изготовления, уменьшения затрат на эксплуатацию;
- повышения качества и технико-экономического уровня результатов проектирования;
- сокращения затрат на натурное моделирование и испытания.

Достижение этих целей обеспечивается путём:

- автоматизации оформления документации;
- информационной поддержки и автоматизации процесса принятия решений;
- использования технологий параллельного проектирования;
- унификации проектных решений и процессов проектирования;
- повторного использования проектных решений, данных и наработок;
- стратегического проектирования;
- замены натуральных испытаний и макетирования математическим моделированием;
- повышения качества управления проектированием;
- применения методов вариантного проектирования и оптимизации.

Тема 1.1 Общие сведения о системах автоматизированного проектирования

По назначению подсистемы САПР разделяют на два вида: проектирующие и обслуживающие.

- Обслуживающие подсистемы — объектно-независимые подсистемы, реализующие функции, общие для подсистем или САПР в целом: обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, оформление, передачу и вывод данных, сопровождение программного обеспечения и т. п., их совокупность называют системной средой (или оболочкой) САПР.

- Проектирующие подсистемы — объектно-ориентированные подсистемы, реализующие определенный этап проектирования или группу связанных проектных задач. В зависимости от отношения к объекту проектирования, делятся на:

- о Объектные — выполняющие проектные процедуры и операции, непосредственно связанные с конкретным типом объектов проектирования.

- о Инвариантные — выполняющие унифицированные проектные процедуры и операции, имеющие смысл для многих типов объектов проектирования.

Типичными обслуживающими подсистемами являются:

- подсистемы управления проектными данными
- обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР
- подсистемы графического ввода-вывода
- система управления базами данных (СУБД).

Компонент выполняет определенную функцию в подсистеме и представляет собой наименьший (неделимый) самостоятельно разрабатываемый или покупной элемент САПР (программа, файл модели транзистора, графический дисплей, инструкция и т. п.)

Совокупность однотипных компонентов образует средство обеспечения САПР. Выделяют следующие виды обеспечения САПР:

- Техническое обеспечение (ТО) — совокупность связанных и взаимодействующих технических средств (ЭВМ, периферийные устройства, сетевое оборудование, линии связи, измерительные средства).

- Математическое обеспечение (МО), объединяющее математические методы, модели и алгоритмы, используемые для решения задач автоматизированного проектирования.

Тема 2.1 Автоматизация конструкторского, топологического проектирования и технологических процессов

Основная задача конструкторского проектирования – это реализация принципиальных схем, полученных на этапе функционального проектирования. При этом производятся конструирование отдельных деталей, компоновка узлов из деталей и конструктивных элементов, агрегатов из узлов, после чего оформляется техническая документация на объект проектирования. Одна группа конструкторского проектирования определяет чисто геометрические параметры конструкции, другая разрабатывает конструкцию с учетом ее функциональных характеристик, третья – выполняет проверку качества полученных конструкций и т.д. Классификация задач конструкторского проектирования представлена на рис. 2.1.



Рисунок. 2.1 - Задачи конструкторского проектирования

Задачи *конструкторского проектирования* делят на задачи топологического и геометрического проектирования.

Основными задачами *топологического проектирования* являются задачи компоновки, размещения и трассировки.

Решение задач *компоновки* конструктивных элементов высшего иерархического уровня из элементов низшего иерархического уровня в большинстве случаев – наиболее трудоемкая часть конструкторского проектирования, и иногда под компоновкой понимают собственно процесс конструирования. Задача компоновки машиностроительных узлов обычно состоит из двух частей: эскизной и рабочей. При решении эскизной части задачи компоновки по функциональной схеме разрабатывают общую конструкцию узла.

Типичной задачей *размещения* является определение оптимального пространственного расположения узлов и агрегатов в замкнутом объеме изделия.

Задача *трассировки* заключается в определении геометрии соединений конструктивных элементов.

Тема 2.2 Автоматизация геометрического проектирования

AutoCAD — двух- и трёхмерная система автоматизированного проектирования и черчения, разработанная компанией Autodesk. Первая версия системы была выпущена в 1982 году. AutoCAD и специализированные приложения на его основе нашли широкое применение в машиностроении, строительстве, архитектуре и других отраслях промышленности. Программа выпускается на 18 языках. Уровень локализации варьирует от полной адаптации до перевода только справочной документации. Русскоязычная версия локализована полностью, включая интерфейс командной строки и всю документацию, кроме руководства по программированию.

Ранние версии AutoCAD оперировали небольшим числом элементарных объектов, такими как круги, линии, дуги и текст, из которых составлялись более сложные. В этом качестве AutoCAD заслужил репутацию «электронного кульмана», которая остаётся за ним и поныне. Однако на современном этапе возможности AutoCAD весьма широки и намного превосходят возможности «электронного кульмана».

В области двумерного проектирования AutoCAD по-прежнему позволяет использовать элементарные графические примитивы для получения более сложных объектов. Кроме того, программа предоставляет весьма обширные возможности работы со слоями и аннотативными объектами (размерами, текстом, обозначениями). Использование механизма внешних ссылок (XRef) позволяет разбивать чертеж на составные файлы, за которые ответственны различные разработчики, а динамические блоки расширяют возможности автоматизации 2D-проектирования обычным пользователем без использования программирования. Начиная с версии 2010 в AutoCAD реализована поддержка двумерного параметрического черчения. В версии 2014 появилась возможность динамической связи чертежа с реальными картографическими данными (GeoLocation API).

Версия программы AutoCAD 2014 включает в себя полный набор инструментов для комплексного трёхмерного моделирования (поддерживается твердотельное, поверхностное и полигональное моделирование). AutoCAD позволяет получить высококачественную визуализацию моделей с помощью системы рендеринга mental ray. Также в программе реализовано управление трёхмерной печатью (результат моделирования можно отправить на 3D-принтер) и поддержка облаков точек (позволяет работать с результатами 3D-сканирования). Тем не менее следует отметить, что отсутствие трёхмерной параметризации не позволяет AutoCAD напрямую конкурировать с машиностроительными САПР среднего класса, такими как Inventor, SolidWorks и другими. В состав AutoCAD 2012 включена программа Inventor Fusion, реализующая технологию прямого моделирования.

Тема 3.1 Моделирование технологических процессов и расчет характеристик в программе Suprem

Модуль GUI-SUPREM III представляет собой программное средство, предназначенное для одномерного по пространству моделирования и проектирования технологии изготовления интегральных схем как в локальной сети, так и в составе специализированного аппаратно-программного комплекса – в глобальной сети Интернет. Ядром модуля GUI-SUPREM III является свободно распространяемый программный комплекс SUPREM III – аналог коммерческого программного комплекса SSuprem3, который входит в состав модуля ATHENA программного комплекса компании Silvaco.

Графическая оболочка модуля разработана на объектно-ориентированном языке программирования JAVA.

Модуль GUI-SUPREM III функционирует в операционной системе (ОС) Linux Slackware, в том числе в ОС Live CD дистрибутива Linux.

Технические требования к работе в среде модуля GUI-SUPREM III:

- оперативная память компьютера, не менее 128 Мбайт;
- процессор производительностью не ниже, чем Intel Pentium II;
- привод компакт дисков CD-ROM 32x.

3.1.1. Модели ионной имплантации

В программном комплексе SUPREM III используются аналитическое и численное приближения для построения профиля распределения ионно-имплантированных примесей. Аналитические модели основаны на построении профилей с использованием стандартных статистических функций распределения с параметрами – рассчитанными или измеренными моментами.

В численном подходе решается кинетическое уравнение Больцмана.

В аналитическом приближении концентрационный профиль ионно-имплантированных примесей строится посредством использования гауссова статистического распределения (для мышьяка и фосфора) и статистической функции PEARSON IV (для бора) с экспоненциальным «хвостом», описывающим эффект каналирования. При этом учитывается кристаллографическая ориентация исходной подложки. Параметры имплантации – доза и энергия имплантируемых примесей.

3.1.2. Модели диффузии легирующих примесей

Модели диффузии в программном комплексе SUPREM III описывают перераспределение примесей и дефектов кристаллографической решетки при термической обработке, обусловленное градиентом концентрации и внутренними электрическими полями.

Математическая формулировка физической модели процесса диффузии представляет собой уравнение непрерывности, описывающее

временной баланс дефектно-примесной системы, а также образование и распад комплексов атомов примеси в случае наличия в ней мышьяка. Коэффициенты диффузии примесей определяются собственным коэффициентом диффузии с добавкой в эмпирической форме, учитывающей эффект электрического поля другой примеси. При расчете коэффициента диффузии фосфора учитываются также: эффект повышенной концентрации вакансий, вызванный как радиационными повреждениями кристаллической решетки кремния в процессе имплантации высокоэнергетических ионов, так и распадом пар «точечный дефект (вакансия или междоузлие) – примесный атом», и эффект высокого уровня концентрации точечных дефектов вблизи поверхности кремниевой подложки.

При моделировании диффузии примесей учитываются, кроме того:

- уровень и эволюция в пространстве и времени концентрации точечных дефектов кристаллической решетки;

- зависимость коэффициентов диффузии примесей от температуры и от уровня концентрации примесей;

- эффект кластерообразования и распада комплексов примесных атомов (для мышьяка);

- дрейф ионов примеси в электрическом поле других заряженных примесей;

- эффект повышенной концентрации вакансий при моделировании диффузии фосфора;

- эффекты, связанные со взаимодействием атомов примесей с пространственными дефектами кристаллической решетки (дислокациями, границами зерен, дефектами упаковки и др.).

3.1.3. Модель окисления

При изготовлении приборов микроэлектроники важным технологическим процессом является термическое окисление, используемое при формировании областей изоляции, маски (для осуществления легирования примесей), а также подзатворного диэлектрика в МОП-структурах. Следует отметить, что строгий контроль толщины подзатворного диэлектрика (диоксида кремния) имеет особенное значение по мере перехода к субмикронным размерам элементов приборов.

Тема 3.2 Компьютерные средства проектирования технологических операций микроэлектроники

Параметры в задании на моделирование с использованием программного комплекса SUPREM III определяются последовательностью предложений в соответствующем файле. Каждый из параметров принадлежит к одной из директив, приведенных в табл. 3.2.1.

Таблица 3.2.1

Директивы задания на моделирование в SUPREM III

Директивы	Назначение
Title/Comment	Заголовок/Комментарий
Initialize	Описание исходной подложки
Diffusion	Моделирование диффузии
Deposition	Моделирование осаждения
Epitaxy	Моделирование эпитаксии
Etch	Моделирование травления
Implant	Моделирование имплантации
Electrical	Запуск серии численных решений уравнения Пуассона
Bias	Задание напряжения смещения (bias) и других параметров, используемых при расчете электрических характеристик моделируемой структуры
Print	Вывод результатов моделирования в виде таблицы
Plot	Вывод результатов моделирования в виде графика

Ниже приводится список директив, используемых в программном комплексе SUPREM III. Необязательные параметры или группы параметров соответствующих директив заключены в квадратные скобки в отличие от обязательных параметров, которые заключены в круглые скобки. Значком | обозначается оператор «ИЛИ». Буква n обозначается действительное значение, которое необходимо присвоить параметру.

TITLE – символьная строка, используемая в качестве заголовка файла при выводе результатов моделирования.

TITLE [<Символьная строка>]

COMMENT – комментарий.

COMMENT [<символьная строка>]

или

\$ [<символьная строка>]

INITIALIZE – директива для задания информации об исходном состоянии подложки: кристаллографическая ориентация, расчетная сетка, а также начальное распределение концентрации примеси.

DIFFUSION – директива на моделирование операции окисления и диффузионного перераспределения примесей. Формат директивы:

IMPLANT – директива на моделирование операции ионной имплантации.

ETCH – директива на моделирование операции травления.

EPITAXY – директива на моделирование операции эпитаксиального наращивания кремния.

Директива ELECTRICAL служит для запуска серии численных расчетов уравнения Пуассона с целью получения электрических характеристик моделируемой структуры.

Директива BIAS служит для задания напряжения смещения (bias) и других параметров, используемых при решении уравнения Пуассона для носителей заряда.

PRINT – директива для вывода результатов моделирования в табличном виде.

PLOT – директива по выводу результатов моделирования в виде графиков.

Тема 4.1 Система автоматизированного проектирование P-CAD

P-CAD — система автоматизированного проектирования электроники (EDA) разработки компании Personal CAD Systems Inc. Предназначена для проектирования многослойных печатных плат вычислительных и радиоэлектронных устройств. В 2002 году в России P-CAD являлась наиболее популярной EDA.

В состав P-CAD входят несколько основных модулей:

P-CAD Schematic (графический редактор принципиальных электрических схем)

P-CAD PCB (графический редактор печатных плат)

P-CAD Symbol Editor (редактор УГО)

P-CAD Pattern Editor (графический редактор посадочных мест элементов)

P-CAD Library Executive (модуль создания компонентов)

Компания несколько раз перепродавалась. Сейчас владельцем торговой марки является австралийская компания Altium. После выпуска версии системы — P-CAD 2006 SP2 в 2006 году компания Altium официально заявила о прекращении разработки данного продукта. 30 июня 2008 года была прекращена поддержка. Для замены этой системы компания Altium предлагает систему Altium Designer.

Тема 4.2 Библиотека компонентов

Для создания и редактирования библиотеки условно-графических обозначений в комплексе P-CAD используется модуль Symbol Editor.

Прежде чем приступить к созданию библиотеки УГО необходимо настроить конфигурацию листа графического интерфейса.

Размер сетки необходимо изменять в зависимости от размеров УГО, которое вам необходимо будет создать, так как чертить в Symbol Editor можно только по узлам сетки.

После настройки интерфейса можно приступить к созданию библиотеки.

После создания библиотеки необходимо приступить к созданию УГО элемента.

Чертим УГО в белой сетке, а не в зеленой, изменяя масштаб с помощью клавиш «+» и «-» на клавиатуре. Если нам необходимо повернуть элемент используем клавишу «R», если отобразить- «F».

Для создания и редактирования посадочных мест элементов в комплексе P-CAD используется модуль Pattern Editor.

Первоначальная настройка интерфейса модуля Pattern Editor сходна с настройкой интерфейса модуля Symbol Editor (*Options – Configure*). Настройка шага сетки так же сходна с Symbol Editor.

В слое металлизации выставляем контактные площадки с помощью инструмента *Place Pad*, в слое шелкографии с помощью инструмента *Place Line* чертим приблизительный контур корпуса элемента. В этом же слое ставим точку привязки и атрибут.

Для создания компонента необходимо объединить условно-графическое обозначение и посадочное место элемента. Для этого в комплексе P-CAD используется модуль Library Executive.

Тема 4.3 Графический редактор схем

Для создания электрических принципиальных схем в комплексе P-CAD используется модуль Schematic. Настройка конфигурации производится так же, как и в модулях Symbol Editor и Pattern Editor.

Нажимаем кнопку *Library Setup* и в открывшемся окне *Add* для подключения собственной библиотеки. После подключения, под полем *Component Name* будут отображаться все компоненты находящиеся в данной библиотеке. Выбираем нужный элемент и устанавливаем его на лист. Если в предыдущих работах все было выполнено правильно, то при установке элемента на лист его буквенное обозначение и нумерация будут ставиться автоматически. Ставим все необходимые элементы и с помощью инструмента *Place Wire* соединяем элементы по схеме.

Если электрических соединений очень много, то их всех можно заменить одной шиной (инструмент *Place Bus*). Чертим шину, все контакты заводим на нее и ставим на каждый ввод порт (инструмент *Place Port*). Шина соединяет только вводы с одинаковым названием порта.

После создания схемы ее необходимо сохранить. После сохранения, необходимо сгенерировать список цепей.

Список цепей – перечень всех электрических соединений схемы.

Для этого нажимаем *Utils-Generate Netlist* и сохраняем созданный список цепей.

Тема 4.4 Графический редактор печатных плат

Создание печатной платы осуществляется в модуле PCB.

Настройка конфигурации производится так же, как и в модулях Symbol Editor и Pattern Editor.

Для начала работы необходимо подключить собственную библиотеку (*Library-Setup-Add*) и загрузить список цепей (*Utils-Load Netlist*).

Целью данной работы является решение задачи компоновки-оптимального расположения элементов на печатной плате. Старайтесь расположить элементы таким образом, что бы:

- 1) однотипные элементы были рядом друг с другом;
- 2) занимаемая площадь была минимальна;
- 3) количество электрических пересечений было минимально (синие линии);
- 4) контактные выводы были на краю платы.

Управление элементами сходно с модулями Symbol Editor и Pattern Editor.

Тема 4.5 Автоматическая трассировка проводников

Данная процедура так же выполняется в модуле РСВ и является продолжением этапа компоновки.

Трассировку печатной платы в модуле РСВ можно выполнить двумя способами:

- 1) автоматически (если установлен автотрассировщик);
- 2) вручную (с помощью инструментов *Route Manual* и *Route Advanced*).

Что бы запустить автоматическую трассировку, нажмите *Route-Autorouters*.

В графе *Autorouter* выбираем программу трассировщика и нажимаем *Start*.

Для ручной трассировки используйте любой из инструментов ручной трассировки. При ручной трассировке важно следить за тем, в каком слое вы проводите электрическую дорожку.

Слоями металлизации являются слои *Top* и *Bottom*. Слои *Top Silk* и *Bottom Silk* являются слоями шелкографии.

При успешном соединении контактных площадок, синяя линия исчезает. Если вам необходимо провести часть проводника по одной стороне (слой *Top*), а часть проводника по другой стороне (слой *Bottom*), то используйте переходные отверстия – *Place Via*. Стремитесь выполнить трассировку в одном слое, если это возможно. Избегайте острых углов (менее 135 градусов) и излишне длинных путей при трассировке.

После трассировки, в слое *Board* с помощью инструмента *Place Line* очертите контур печатной платы.

Тема 4.6 Перспективы развития систем автоматизированного проектирования

Последние двадцать лет истории развития EDA-индустрии отмечены в первую очередь успехами в сфере проектирования цифровых схем, о которых много говорилось в средствах массовой информации. В то же время средства аналогового, смешанного цифроаналогового и полностью заказного проектирования также постоянно улучшались как с точки зрения производительности, так и с точки зрения точности. Выход на рынок среды проектирования Virtuoso компании Cadence в начале 90-х годов позволил на порядок повысить производительность заказного проектирования. Среда Virtuoso постоянно пополнялась большим числом инновационных продуктов. Например, в 1993 году появилась система аналогового моделирования Spectre, в 1995 году были добавлены средства моделирования нелинейных радиочастотных (RF) схем, а в 2000 году – средства Verilog-AMS – единого инструмента для совместного цифроаналогового моделирования. Следующий шаг в сторону модернизации был сделан в 1997 году благодаря технологии IC-Craftsman, которую фирма Cadence приобрела при поглощении компании Cooper and Chyan (CCT).

На рубеже тысячелетий началось производство с применением технологических норм 130, 90 и даже 65 нм. При использовании таких технологий решающими факторами успеха становится учет паразитных явлений и оценка искажения сигнала. Это означает, что должна учитываться реальная конфигурация соединений. Средств физического синтеза уже недостаточно для получения требуемого результата. Возникла необходимость разработки новых методов. В 2002 году компания Cadence поглотила фирму Silicon Perspective, реализовавшую в продукте First Encounter концепцию виртуального прототипа. Система First Encounter фактически стала стандартом для проектирования с использованием нанометровых технологий. В настоящее время EDA-индустрия развивается с учётом требований нанометровых технологий и методологии проектирования "система на кристалле" (systems-on-chip, SoC). Системное проектирование, проектирование схем малой мощности, проектирование с учетом требований производства, интеграция систем – вот лишь некоторые из тех областей, которым разработчики в ближайшие годы должны будут уделить внимание.

Altium Designer — это система, позволяющая реализовывать проекты электронных средств на уровне схемы или программного кода с последующей передачей информации проектировщику ПЛИС или печатной платы. Отличительной особенностью программы является проектная структура и сквозная целостность ведения разработки на разных уровнях проектирования. Иными словами изменения в разработке на уровне платы могут мгновенно быть переданы на уровень ПЛИС или схемы и так же обратно. Так же в качестве приоритетного направления разработчиков данной программы стоит отметить интеграцию ECAD и MCAD систем. Теперь разработка печатной платы

возможна в трёхмерном виде с двунаправленной передачей информации в механические САПР (Solid Works, Pro/ENGINEER, NX и др.)

Данный пакет состоит из двух продуктов, базирующихся на единой интегрированной платформе DXP, возможность работы с тем или иным из них зависит от типа приобретённой лицензии:

Altium Designer Custom Board Front-End Design — Проектирование ПЛИС, схемотехническое проектирование и моделирование.

Altium Designer Custom Board Implementation — Проектирование печатных плат и ПЛИС.

В состав программного комплекса Altium Designer входит весь необходимый инструментарий для разработки, редактирования и отладки проектов на базе электрических схем и ПЛИС. Редактор схем позволяет вводить многоиерархические и многоканальные схемы любой сложности, а также проводить смешанное цифро-аналоговое моделирование. Библиотеки программы содержат более 90 тысяч готовых компонентов, у многих из которых имеются модели посадочных мест, SPICE и IBIS-модели, а также трёхмерные модели. Любую из вышеперечисленных моделей можно создать внутренними средствами программы.

Редактор печатных плат Altium Designer содержит мощные средства интерактивного размещения компонентов и трассировки проводников, которые совместно с интуитивной и полностью визуализированной системой установки правил проектирования максимально упрощают процесс разработки электроники. Инструменты трассировки учитывают все требования, предъявляемые современными технологиями разработок, например, при трассировке дифференциальных пар или высокочастотных участков плат. В состав программы входит автоматический трассировщик Situs, в котором используются наиболее прогрессивные алгоритмы трассировки печатных проводников. Принципиальным отличием последней версии Altium Designer является поддержка двунаправленной работы с механическими деталями и моделями компонентов в формате STEP, которые могут быть импортированы/экспортированы из механических САПР. Для улучшения функций 3D-моделирования для Altium Designer в 2017 году лицензировано геометрическое ядро C3D.

Работа над всеми частями проекта ведётся в единой управляющей оболочке Design Explorer, что позволяет разработчику контролировать целостность проекта на всех этапах проектирования. Таким образом, изменения, внесённые на любом этапе разработки, автоматически передаются на все связанные стадии проекта. В дополнение к мощным средствам разработки, Altium Designer имеет широкие возможности импорта и экспорта сторонних систем проектирования и поддерживает практически все стандартные форматы выходных файлов (Gerber, ODB++, DXF и т. д.). Полностью поддерживаются все наработки в виде схем, плат и библиотек, разработанные в последних версиях P-CAD.

Самоконтроль знаний

Тема 1.1. Общие сведения о системах автоматизированного проектирования.

- 1 Дайте определение понятию «САПР».
- 2 Представьте общие сведения о сущности и способах проектирования.
- 3 Опишите составные части процесса проектирования.
- 4 Опишите основные принципы построения человеко-машинной системы.
- 5 Охарактеризуйте нисходящее и восходящее проектирование.
- 6 Дайте определение процедур синтеза. Охарактеризуйте классификацию процедур синтеза.

Тема 2.1 Автоматизация конструкторского, топологического проектирования и технологических процессов.

- 1 Опишите задачи, которые решает технологическое проектирование.
- 2 Опишите задачи, которые решает топологическое проектирование.
- 3 Опишите задачу компоновки.
- 4 Опишите задачу трассировки.
- 5 Опишите задачу размещения.
- 6 Опишите способы автоматизации конструкторского проектирования.

Тема 2.2 Автоматизация геометрического проектирования.

- 1 Опишите задачи, которые решает геометрическое проектирование.
- 2 Опишите способы автоматизации геометрического проектирования.
- 3 Охарактеризуйте двухмерные системы координат и способы ввода координат в AutoCAD.
- 4 Опишите структуру графического интерфейса AutoCAD.
- 5 Опишите основные графические примитивы, их виды, ключи команд и режимы создания элементарных объектов в AutoCAD.

Тема 3.1 Моделирование технологических процессов и расчет характеристик в программе Suprem

- 1 Опишите модель диффузии.
- 2 Опишите модель ионной имплантации.
- 3 Опишите модель окисления.
- 4 Опишите модель эпитаксии.
- 5 Опишите модель осаждения и травления.

Тема 3.2 Компьютерные средства проектирования технологических операций микроэлектроники

- 1 Опишите понятие «директива».
- 2 Опишите параметры директивы диффузии.
- 3 Опишите параметры директивы имплантации.
- 4 Опишите параметры директивы эпитаксия.
- 5 Опишите формат строки задания на моделирование технологической операции.
- 6 Опишите назначение директивы «electrical».

Тема 4.1 Система автоматизированного проектирования P-CAD.

- 1 Опишите понятие «печатная плата».
- 2 Опишите классификацию печатных плат.
- 3 Опишите проектирования многослойных печатных плат.
- 4 Опишите назначение САПР P-CAD.
- 5 Опишите состав и назначение модулей САПР P-CAD.

Тема 4.2 Библиотека компонентов

- 1 Дайте определение понятия УГО.
- 2 Опишите алгоритм создания компонента.
- 3 Назовите модуль P-CAD, предназначенный для создания УГО.
- 4 Назовите модуль P-CAD, предназначенный для создания посадочного места.
- 5 Назовите модуль P-CAD, предназначенный для создания компонента.

Тема 4.3 Графический редактор схем

- 1 Дайте определение понятия список цепей.
- 2 Назовите модуль P-CAD, предназначенный для создания электрических принципиальных схем.
- 3 Назовите инструмент, предназначенный для соединения элементов на схеме.
- 4 Опишите случаи, в которых необходимо использовать инструмент шина.
- 5 Опишите механизм работы инструмента шина.

Тема 4.4 Графический редактор печатных плат

- 1 Назовите модуль P-CAD, предназначенный для создания печатных плат.
- 2 Опишите конструкторские задачи, решаемые модулем P-CAD PCB.
- 3 Опишите задачу компоновки элементов на печатной плате.
- 4 Опишите последовательность работы с модулем P-CAD PCB.

Тема 4.5 Автоматическая трассировка проводников

- 1 Опишите задачу трассировки печатной платы.
- 2 Опишите возможные способы трассировки.
- 3 Назовите слои металлизации.
- 4 Опишите последовательность действий при переносе печатного проводника на другой слой металлизации.
- 5 Опишите назначение слоя *Board*.

Примерный перечень вопросов к ОКР

- 1 Дайте определение САПР. Представьте общие сведения о сущности и способах проектирования.
- 2 Раскройте суть информационного обеспечения САПР.
- 3 Опишите задачи, которые решает конструкторское проектирование.
- 4 Опишите составные части процесса проектирования.
- 5 Раскройте суть организационного обеспечения САПР.
- 6 Раскройте особенности работы со слоями в AutoCAD. Объясните порядок изменения цвета, типа и толщины линий объекта, переноса типов линий из других слоев, чертежей.
- 7 Опишите основные принципы построения человеко-машинной системы.
- 8 Изложите особенности программно-методического, программно-технического комплекса и подсистем САПР.
- 9 Охарактеризуйте двухмерные системы координат и способы ввода координат в AutoCAD.
- 10 Охарактеризуйте нисходящее и восходящее проектирование.
- 11 Изложите конструктивно-технологические особенности и этапы процесса конструирования гибридных интегральных схем.
- 12 Опишите структуру графического интерфейса AutoCAD, порядок работы с файлами шаблонами чертежа, при загрузке и сохранении чертежа.
- 13 Дайте определение процедур синтеза. Охарактеризуйте классификацию процедур синтеза.
- 14 Опишите основные графические примитивы, их виды, ключи команд и режимы создания элементарных объектов в AutoCAD.
- 15 Опишите технологическую операцию “окисление” в программе Suprem, модели, структуру строк задания на моделирование.
- 16 Дайте определение процедур анализа. Охарактеризуйте классификацию процедур анализа.
- 17 Опишите особенности создания однострочных и многострочных текстов на чертежах AutoCAD. Объясните порядок нанесения и редактирования размеров, создание размерных стилей и допусков.
- 18 Опишите технологическую операцию “эпитаксия” в программе Suprem, модели, структуру строк задания на моделирование.
- 19 Охарактеризуйте классификацию печатных плат.
- 20 Опишите команды редактирования чертежей AutoCAD.
- 21 Опишите технологическую операцию “травление” в программе Suprem, модели, структуру строк задания на моделирование.

Перечень учебных изданий и информационно - аналитических материалов

- 1) Головицына, М. Интеллектуальные САПР для разработки современных конструкций и технологических процессов: курс / М. Головицына. - Интуит, 2016
- 2) Ушаков, Д. Введение в математические основы САПР. Курс лекций / Д. Ушаков. - ДМК пресс, 2015
- 3) Основы САПР: учебное пособие - ОмГТУ, 2017
- 4) Соколова, Т. AutoCAD 2016. Двухмерное и трехмерное моделирование / Т. Соколова. – ДМК пресс, 2016
- 5) Нелаев, В.В. Основы САПР в микроэлектронике: учебное пособие / В.В. Нелаев, В.Р. Сتمпицкий. – М: БГУИР, 2008