

## Технологии производства печатных плат

**Цель:** формирование у слушателей структурированных знаний об особенностях современных технологий изготовления печатных плат.

**Категории слушателей:** инженеры-технологи, инженеры-конструкторы.

**Срок обучения:** 36 академических часов с включением практических занятий.

**Форма обучения:** очная с отрывом от производства.

**Режим занятий:** 6-8 часов ежедневно.

**Преподаватель:** Тахаутдинов Р. Ш.

№	Наименование темы	Всего часов	По видам обучения	
			Лекции	Практические занятия
1.	<p>История появления печатных плат (ПП). Эволюция ПП. Основные понятия и термины. Типы печатных плат. Классификация ПП по признакам.</p> <p>1. Слоиность: 1.1. односторонние печатные платы; 1.2. двухсторонние печатные платы; 1.3. многослойные печатные платы; 1.4. другие типы.</p> <p>2. Материал основания: 2.1. органические; 2.2. неорганические; 2.3. металлооснование.</p> <p>3. Технологии изготовления. Способ формирования проводников: 3.1. фотолитографический; 3.2. механический.</p>	1.5	1.5	-
2.	<p><b>Основные этапы конструирования ПП.</b></p> <p>1. Идея. 2. Формирование ТЗ. 3. Анализ факторов, влияющих на стоимость изделия. 4. Выбор элементной базы. 5. Создание электрической схемы. 6. Трассировка и формирование топологии. 7. Отработка на технологичность. 8. САПР: 8.1. конструкторская;</p>	1.5	1.5	-

	8.2. технологическая. 9. Электромагнитные и тепловые расчёты. 10. Прототипирование.			
3.	<p><b>Подготовка данных для формирования фотошаблонов.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. САПР для формирования топологии печатных плат (ПП):           <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. САПР для конструирования ПП (CAD-системы);</li> <li>1.2. САПР для технологической подготовки ПП (CAM-системы).</li> </ol> </li> <li>2. Анализ технологических требований, предъявляемых к топологии ПП:           <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1. Понятия графических примитивов топологии ПП:               <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1.1. контактная площадка (КП);</li> <li>2.1.2. проводник;</li> <li>2.1.3. полигон;</li> <li>2.1.4. текст и пр.</li> </ol> </li> </ol> </li> <li>3. Анализ требований, предъявляемых к топологии фотошаблонов:           <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1. внутренних слоёв;</li> <li>3.2. внешних слоёв;</li> <li>3.3. паяльной маски;</li> <li>3.4. маркировки;</li> <li>3.5. трафаретов под паяльную пасту.</li> </ol> </li> <li>4. Поиск оптимума среди взаимоисключающих требований с точки зрения конструкции и технологии.</li> <li>5. Основные приёмы оптимизации топологии:           <ol style="list-style-type: none"> <li>5.1. каплевидность контактных площадок;</li> <li>5.2. компенсация подтрава;</li> <li>5.3. поиск и устранение «узких мест» топологии;</li> <li>5.4. «подрезка» КП;</li> <li>5.5. перетрассировка фрагментов топологии;</li> <li>5.6. поиск и удаление «кислотных ловушек».</li> </ol> </li> </ol>	3	2	-

	<p>6. Формирование технологических полей:  6.1. формирование реперных знаков;  6.2. формирование тестовых структур.</p> <p>7. Оптимизация данных, описывающих структуру паяльной маски и маркировки:  7.1. правила описания данных для вскрытия паяльной маски и маркировки;  7.1.1. удаление узких фрагментов паяльной маски;  7.1.2. предотвращение вскрытий проводников;  7.1.3. предотвращение наложения маркировки на вскрытия паяльной маски.</p> <p>8. Формирование реперных знаков для фотошаблонов маски и маркировки.  9. Способы формирования данных для передачи на фотоплоттер.</p>			
4.	<p>1. Фотолитография. Фоторезисты.  1.1. Способы нанесения:  1.1.1. жидкие;  1.1.2. плёночные.  1.2. Способы проявления:  1.2.1. составы проявителей;  1.2.2. физические методы проявления.  1.3. Другие типы резистов:  1.3.1. органические резисты;  1.3.2. металлорезисты.  1.4. Механические свойства резистов:  1.4.1. прочность;  1.4.2. адгезия.  1.5. Учёт особенностей технологического процесса в САПР.</p> <p>2. Система совмещения и экспонирования:  2.1. Оборудование.  2.2. Источники излучения. Проблемы, методы решения</p>	3	3	-
5.	<p>1. Травление.  1.1. Физико-химические основы процесса.  1.2. Составы и особенности травильных растворов.</p>	3	3	-

	<p>1.3.Учёт особенностей технологического процесса в САПР.</p> <p>1.4.Подтрав, способы компенсации подтрав.</p> <p>1.5.Оборудование.</p> <p>1.6.Регенерация растворов.</p> <p>1.7.Анодное растворение.</p> <p>1.8.Управление качеством процессов фотолитографии:</p> <p>1.8.1. разрешающая способность;</p> <p>1.8.2. лимитирующие факторы:</p> <p>1.8.2.1. экспонирования;</p> <p>1.8.2.2. травления.</p> <p>1.8.3. Способы контроля:</p> <p>1.8.3.1. Электрический контроль. Тестовые структуры.</p> <p>1.8.3.2. Оптический контроль. Тестовые структуры.</p> <p>1.8.3.3. Тест Штоуффера.</p> <p>1. Удаление резиста.</p>			
6.	<p>Структура МПП. Порядок следования слоёв. Пространственное расположение отверстий.</p> <p>1. Способы совмещения слоёв.</p> <p>2. Прессование. 2.1. Оборудование и режимы.</p> <p>3. Формообразование отверстий печатных плат (ПП).</p> <p>3.1. Сверление.</p> <p>3.1.1. Оборудование и режимы.</p> <p>3.2. Другие способы формообразования отверстий.</p> <p>3.2.1. Лазер.</p> <p>3.2.2. Ионно-плазменное травление.</p> <p>3.2.3. Химическое травление.</p> <p>3.2.4. Использование фотодиэлектриков.</p> <p>3.3. Подготовка цилиндрической поверхности отверстий:</p> <p>3.3.1. двусторонние ПП;</p> <p>3.3.2. многослойные ПП.</p> <p>3.4. Учёт особенностей технологического процесса в САПР.</p> <p>3.5. Контроль качества отверстий.</p>	1.5	1.5	-
7.	<p>1. Способы создания токопроводящего слоя на поверхности диэлектрика.</p>	3	3	-

	<ul style="list-style-type: none"> <li>1.1. Химическое меднение.</li> <li>1.2. Сульфатно-сорбционный метод.</li> <li>1.3. Пиролитический метод.</li> <li>1.4. Вакуумное осаждение.</li> <li>1.5. Газодинамическое.</li> <li>1.6. На основе графита (углерода).</li> <li>1.7. Проводящие полимеры.</li> <li>1.8. Прямая металлизация: <ul style="list-style-type: none"> <li>1.8.1. растворы;</li> <li>1.8.2. оборудование и режимы. Подготовка поверхности.</li> </ul> </li> <li>2. Технологическое оборудование. <ul style="list-style-type: none"> <li>2.1. По типу загрузки заготовок: <ul style="list-style-type: none"> <li>2.1.1. вертикальные;</li> <li>2.1.2. горизонтальные.</li> </ul> </li> <li>2.2. По типу перемещения между технологическими ваннами: <ul style="list-style-type: none"> <li>2.2.1. неавтоматизированные;</li> <li>2.2.2. автоматизированные.</li> </ul> </li> <li>2.3. Требования к: <ul style="list-style-type: none"> <li>2.3.1. материалам ванн;</li> <li>2.3.2. футеровке;</li> <li>2.3.3. нагревателям;</li> <li>2.3.4. качеству промывочной воды.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>			
8.	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Гальваническое осаждение покрытий. <ul style="list-style-type: none"> <li>1.1. Электролиты меднения. <ul style="list-style-type: none"> <li>1.1.1. Кислые: <ul style="list-style-type: none"> <li>1.1.1.1. сульфатные электролиты;</li> <li>1.1.1.2. бористо-водородные электролиты.</li> </ul> </li> <li>1.1.2. Комплексные: <ul style="list-style-type: none"> <li>1.1.2.1. пиродифосфатные и др.</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>1.2. Блескообразователи.</li> <li>1.3. Электролиты оловянирования.</li> <li>1.4. Электролит никелирования.</li> <li>1.5. Электролиты для нанесения благородных покрытий.</li> <li>1.6. Сплавы.</li> </ul> </li> <li>2. Оборудование для гальванического осаждения покрытий. <ul style="list-style-type: none"> <li>2.1. Гальванические ванны.</li> <li>2.2. Устройства для перемешивания.</li> <li>2.3. Устройства для фильтрации.</li> <li>2.4. Источники тока.</li> </ul> </li> <li>3. Гальваника по рисунку.</li> </ul>	3	2	1

	<p>4. Электролитическое осаждение металлов.</p> <p>4.1. Покрытие СВЧ-материалов.</p> <p>5. Передовые технологии в области гальваники.</p> <p>5.1. Наливные роботы для создания токопроводящих покрытий.</p> <p>5.2. Импульсная металлизация</p> <p>6. Методы контроля покрытий.</p> <p>7. Дефекты.</p>			
9.	<p>1. Формирование паяльной маски (шелкографии).</p> <p>1.1 Способы нанесения:</p> <p>1.1.1 жидкие;</p> <p>1.1.2 плёночные.</p> <p>1.2 Режимы экспонирования.</p> <p>1.3 Способы проявления:</p> <p>1.3.1 составы проявителей;</p> <p>1.3.2 физические методы проявления.</p> <p>1.4 Способы отверждения.</p> <p>1.5 Учёт особенностей технологического процесса в САПР.</p>	3	3	-
10.	<p>1. Механическая обработка платы по контуру.</p> <p>1.1 Резка на гильотине.</p> <p>1.2 Скрайбирование.</p> <p>1.3 Фрезерование фигурного контура на станке с ЧПУ, подбор инструментов и режимов. Сверление.</p> <p>1.4 Учет особенностей технологического процесса в САПР.</p>	1.5	1.5	-
11.	<p>1. Контроль:</p> <p>1.1 Оптический.</p> <p>1.2 Электрический.</p> <p>1.3 Рентгеновский.</p> <p>1.4 Оборудование.</p> <p>1.5 Управление качеством технологического процесса.</p> <p>1.6 Тестовые структуры.</p>	1.5	1.5	-
12.	<p>1. Лужение:</p> <p>1.1. лужение по меди;</p> <p>1.2. лужение по паяльной маске;</p> <p>1.3. гальваническое;</p> <p>1.4. горячее;</p>	1.5	1.5	

	<p>1.5. химическое;</p> <p>1.6. оборудование и режимы.</p>			
13.	<p>1. Монтаж печатных плат.</p> <p>1.1. Электронные компоненты:</p> <p>1.1.1. типы корпусов компонентов;</p> <p>1.1.2. покрытия компонентов под пайку.</p> <p>1.2. Физико-химические основы монтажной пайки.</p> <p>1.3. Классификация способов нагрева:</p> <p>1.3.1. пайка волной припоя;</p> <p>1.3.2. инфракрасная пайка;</p> <p>1.3.3. конвекционный нагрев;</p> <p>1.3.4. конденсационная пайка;</p> <p>1.3.5. Локальная пайка:</p> <p>1.3.5.1. пайка паяльником;</p> <p>1.3.5.2. пайка горячим газом;</p> <p>1.3.5.3. пайка сопротивлением;</p> <p>1.3.5.4. лучевая и лазерная пайка;</p> <p>1.4. Дефекты пайки:</p> <p>1.4.1. «холодные» пайки;</p> <p>1.4.2. растворение покрытий;</p> <p>1.4.3. интерметаллические соединения;</p> <p>1.4.4. эффект «надгробного камня»;</p> <p>1.4.5. сдвиг компонента;</p> <p>1.4.6. отток припоя;</p> <p>1.4.7. образование шариков припоя;</p> <p>1.4.8. образование пустот.</p> <p>1.5. Материалы для монтажной пайки:</p> <p>1.5.1. низкотемпературные припои;</p> <p>1.5.2. припои для безсвинцовой пайки;</p> <p>1.5.3. флюсы для монтажной пайки;</p> <p>1.5.4. паяльные пасты;</p> <p>1.5.5. клеи;</p> <p>1.5.6. растворители.</p>	3	2	1
14.	<p>1. Непаяные методы электрических соединений.</p> <p>1.6.1. Микросварка.</p> <p>1.6.2. Монтаж накруткой.</p> <p>1.6.3. Винтовое соединение.</p> <p>1.6.4. Соединение обжатием.</p> <p>1.7. Технология сборки электронных модулей:</p>	3	3	

	<p>1.7.1. поверхностно монтируемые изделия;</p> <p>1.7.2. классификация типов сборок;</p> <p>1.7.3. последовательность сборки и монтажа:</p> <p>1.7.3.1.трафаретный метод нанесения припоя;</p> <p>1.7.3.2.нанесение адгезивов;</p> <p>1.7.3.3.установка компонентов;</p> <p>1.7.3.4.пайка.</p> <p>1.8. Очистка.</p> <p>1.9. Лаковые покрытия.</p> <p>1.10. Инженерное обеспечение производства.</p>			
15.	<p>1. Особенности организации прототипных производств.</p> <p>2. Производство уникальных ПП:</p> <p>2.1. Рельефные ПП.</p> <p>2.1.1. Способ формирования рельефа:</p> <p>2.1.1.1.механический;</p> <p>2.1.1.2.фотолитографический.</p> <p>2.2. ПП на металлоосновании.</p> <p>2.2.1. Замещение травления методом последовательного сошлифовывания.</p> <p>3. Технология ПАФОС.</p> <p>4. Технология внутреннего монтажа компонентов.</p> <p>5. Перспективные технологии изготовления ПП.</p> <p>6. Изготовление трафаретов для нанесения паяльной пасты.</p>	3	2	1
<b>Итого</b>		<b>36</b>	<b>32</b>	<b>4</b>