

Проблема подготовки кадров в производстве электроники: решение МИРЭА

Структура, объемы и качество подготовки квалифицированных рабочих и специалистов среднего звена в радиоэлектронной промышленности часто не соответствуют требованиям работодателей и не отвечают запросам рынка труда. И это насущная проблема современной системы подготовки специалистов. Решая данную задачу, Московский технологический университет (МИРЭА) создал программу организации учебно-производственного центра «Инновационные технологии в микроэлектронике», в компетенции которого вошло осуществление подготовки квалифицированных специалистов, отвечающих современным требованиям работодателей предприятий радиоэлектронной промышленности. В статье описана структура будущего центра, основные задачи и функции, планируемое и уже имеющееся оснащение, а также технологические возможности.

Евгений Козлов

kozlov_e@mirea.ru

Введение

Радиоэлектронная промышленность — один из важнейших высокотехнологичных секторов экономики страны, обеспечивающих разработку и производство военной и гражданской продукции, уровень которой во многом определяет экономическую, технологическую, информационную безопасность и оборонную достаточность России.

Радиоэлектронные технологии, в первую очередь технологии микроэлектроники, являются катализатором и локомотивом научно-технического прогресса страны и базисом для устойчивого развития других отраслей промышленности. Совершенствование производства электронной техники, и прежде всего микроэлектроники, может стать одним из возможных путей возрождения российской экономики, изменения ее сырьевой ориентации на наукоемкую, технотронную, характеризующуюся эффективными производительными силами на основе инновационных электронных технологий.

Состояние отечественной технологической базы, разработок, серийного выпуска изделий микроэлектроники свидетельствует о том, что микроэлектронная промышленность России находится в структурно-технологическом кризисе, значительно отставая от динамичного развития мировой микроэлектроники [1].

Модернизация отечественной экономики и ее переход на инновационный путь неразрывно связаны с обновлением производства и его материально-технической базы. Однако не менее важным является решение кадровых проблем, поскольку без подготовки специалистов новой формации невозможно ни эффективное и быстрое освоение новых технологий, ни кардинальное повышение производительности

труда, ни создание продукции, конкурентоспособной на мировом рынке.

Главным социальным последствием экономических преобразований в России в течение последних двух десятилетий стало нарушение воспроизводства рабочей силы в промышленности. По официальным данным, в 1990–1998 гг. российская промышленность сократила объемы производства в 2,2 раза. Такое глубокое падение сопровождалось массовым оттоком квалифицированных кадров с промышленных предприятий.

Структура, объемы и качество подготовки квалифицированных рабочих и специалистов среднего звена часто не соответствуют требованиям работодателей и не отвечают запросам рынка труда. И это является насущной проблемой современной системы подготовки специалистов.

За решение этой проблемы взялось руководство Московского технологического университета, разработавшее программу организации учебно-производственного центра «Инновационные технологии в микроэлектронике», в компетенции которого вошло осуществление подготовки квалифицированных специалистов, отвечающих современным требованиям работодателей предприятий радиоэлектронной промышленности.

В июле 2016 года в структуре МИРЭА появилось новое подразделение — учебно-производственный центр «Инновационные технологии в микроэлектронике» Института кибернетики, осуществляющий образовательную, производственную, научно-исследовательскую деятельность в области проектирования и производства радиоэлектронной аппаратуры как общего, так и специального назначения (включая проектирование и изготовление печатных плат, монтажно-сборочное производство) в тесном взаимодействии с другими структурными подразделениями университета.



Рис. 1. Автоматизированная линия установки и пайки поверхностно монтируемых компонентов на печатные платы

Функции, задачи и структура учебно-производственного центра

Основные функции центра:

- подготовка востребованных на рынке труда высококвалифицированных кадров, владеющих необходимыми компетенциями в области технологий разработки и производства радиоэлектронной аппаратуры как общего, так и специального назначения;
- осуществление производственной деятельности в области разработки и изготовления радиоэлектронной аппаратуры;
- повышение квалификации и переподготовка кадров рабочих специальностей в области производства радиоэлектронной аппаратуры с применением средств автоматизации процессов.

Основные задачи центра:

1. В области учебной, методической и воспитательной работы — подготовка кадров (бакалавров, специалистов и магистров) по различным уровням образования в области технологий разработки и производства радиоэлектронной аппаратуры как общего, так и специального назначения.
2. В области научно-исследовательской работы и производства:
 - построение высокоэффективного и наукоемкого производственного процесса разработки и изготовления радиоэлектронной аппаратуры как общего, так и специального применения;
 - организация и проведение фундаментальных и прикладных научных исследований, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, инновационной деятельности научно-педагогических работников и обучающихся, увеличение объема и эффективности научных исследований, расширение их тематики;
 - интеграция образования, науки и производства путем использования результатов научных исследований в учебном, научно-исследовательском и производственном процессах;
 - разработка и отладка технологических процессов изготовления электронных модулей на печатных платах с последующей постановкой на производство, разработка сопутствующих и согласующих документов.

По проекту центр будет включать:

1. Лабораторию дизайна и разработки микро- и нанoeлектроники.
2. Лабораторию изготовления печатных плат.
3. Лабораторию монтажа радиоэлектронной аппаратуры.
4. Лабораторию рентгеновского и функционального контроля радиоэлектронной аппаратуры.

Такая структура центра позволит организовать полный цикл изготовления радиоэлектронной аппаратуры, от разработки проекта печатной платы и изделия до его полного изготовления в более короткие сроки, чем если бы пришлось искать производителей на стороне. Будущие специалисты смогут:

1. Получить знания по проектированию радиоэлектронной аппаратуры на современных рабочих местах и применить полученные знания сразу на практике.
2. Подготовить весь перечень необходимой документации для отработки технологических процессов изготовления разработанного изделия в стенах университета. Это позволит сократить время за счет исключения поиска заинтересованных в разработанном изделии лиц и организаций, долгих переговоров о возможности изготовления и решении других организационных и производственных вопросов.
3. Изготовить макетные образцы разработанной аппаратуры для отработки конструкции и технических характеристик изделий. Кроме того, будущие специалисты не просто передадут разработанную конструкторскую документацию и необходимые данные на проект изделия, примут активное участие в самом процессе изготовления изделия, но и на практике применят полученные теоретические знания, отработают различные технологические решения и проверят разработку на технологичность.
4. По результатам изготовления макетных образцов внести необходимые корректировки в разработку и оперативно изготовить новые образцы.
5. Проверить применимость различных технологических материалов, отработать новые варианты материалов и выбрать наиболее оптимальные.

Помимо подготовки будущих специалистов, оснащение центра планируется использовать для изготовления макетных и опытных образцов радиоэлектронной аппаратуры как общего, так и специального назначения, созданных в рамках ОКР и НИОКР с подготовкой всей необходимой конструкторской и технологической документации для постановки на производство.

Проекты лабораторий центра выполнены при активном методологическом участии ООО «РТС Инжиниринг».

Лаборатория поверхностного монтажа

На сегодня в Центре организован первый этап — запущена и полноценно функционирует лаборатория монтажа радиоэлектронной аппаратуры. Поставку и пусконаладку технологического оборудования осуществляли специалисты ООО «РТС Инжиниринг». Лаборатория включает:

- современную, полностью автоматизированную линию установки и пайки поверхностно монтируемых компонентов на печатные платы с автоматической оптической инспекцией качества монтажа на соответствие требованиям конструкторской документации, а также отечественных и международных стандартов (рис. 1);
- рабочие места по верификации результатов АОИ;
- рабочие места ручного монтажа электронных модулей, кабелей, жгутов и других проводных изделий;
- рабочее место отмытки в ультразвуковой ванне электронных модулей от технологических загрязнений.

Оснащение лаборатории имеет следующие технологические возможности:

1. Полностью автоматизированная линия монтажа поверхностно монтируемых компонентов на печатные платы.
2. Размеры печатных плат или заготовок — от 50×50 до 450×500 мм.
3. Типы устанавливаемых компонентов — SO, PLCC, QFP, TSOP, BGA, µBGA, CSP и другие поверхностно монтируемые компоненты неправильной формы.
4. Размеры устанавливаемых компонентов от 01005 до микросхем размером 50×50 мм, а также разъемы высотой до 12 мм.


Рис. 2. Установка трафаретной печати Panasonic SPG

Рис. 3. Автоматический сборочно-монтажный комплекс установки компонентов поверхностного монтажа Europlacer iineo

5. Монтаж прототипов электронных модулей от 1 шт. до средних серий (производительность по IPC 11 700 комп./ч).
6. Возможна работа как по свинцовой технологии, так и по бессвинцовой или по смешанной технологии.
7. Ручной монтаж электронных модулей с использованием современного паяльного оборудования — паяльные станции Weller, Pace.
8. Ремонт электронных модулей — демонтаж и последующий монтаж микросхем различной сложности от 5×5 мм до BGA размером до 55×55 мм и количеством шариков более 1000, а также микросхем QFP и т. п.
9. Реболлинг — замена шариковых выводов на микросхемах в корпусе BGA с бессвинцовых на свинецсодержащие.
10. Отмывка электронных модулей в ультразвуковой ванне.
11. Изготовление кабельной продукции — жгуты, провода, кабели и т. п.
12. Внутриблочный монтаж радиоэлектронной аппаратуры.

Монтаж поверхностно монтируемых компонентов на печатную плату осуществляется на полностью автоматизированной линии.

Основные операции:

- нанесение припойной пасты;
- установка поверхностно монтируемых компонентов;
- оплавление припойной пасты;
- контроль качества монтажа компонентов на печатную плату.

Полностью автоматизированная линия позволяет отработать процесс монтажа печатных плат от прототипов до серии и выявить все недостатки конструкции, а также проверить разработку на технологичность.

Загрузка печатных плат осуществляется загрузчиком, выгрузка — разгрузчиком-сортировщиком электронных модулей на годные/негодные.

Рассмотрим каждую технологическую операцию более подробно.

Нанесение припойной пасты осуществляется в установке трафаретной печати SPG производства Panasonic, Япония (рис. 2).

Как известно, от качества нанесения припойной пасты на 70–80% зависит качество паяных соединений компонентов, установленных на печатную плату. В установке трафаретной печати применен ряд запатентованных технологических решений, которые оказывают благоприятное влияние на качество нанесения припойной пасты:

- ступенчатый отрыв трафарета с переменной скоростью, что позволяет получить наиболее оптимальную форму отпечатка для всех типов компонентов на плате;
- использование гибридной головы, позволяющей формировать более стабильную форму валика припойной пасты и снизить время цикла до 15 секунд с учетом чистки трафарета после каждого цикла печати без потери повторяемости, которая достигает рекордных значений.

Таблица 1. Возможности автоматического сборочно-монтажного комплекса установки компонентов поверхностного монтажа Europlacer iineo

Время установки компонентов	0,263 с, 13 660 комп./ч (IPC 11 700 комп./ч)
Точность размещения	35 мкм для QFP и 60 мкм для чипов
Захватывающая головка	Головка револьверного типа с 8 захватами
Анализ компонентов	«На лету» черно-белое изображение
Номенклатура питателей	Весь диапазон интеллектуальных питателей быстрой загрузки для ленты шириной от 8 до 88 мм, компонентов в пластиковых пеналах и поддонах
Вместительность фидерной консоли	264 8-мм питателя + эквивалент 10 матричных поддонов
Параметры обрабатываемых плат	
Минимальный размер ПП	60×60 мм
Максимальный размер ПП	700×460 мм
Толщина	0,5–10 мм
Вес	максимум 3 кг
Зазор под платой	25 мм
Диапазон компонентов	
Типы	Компоненты прямоугольной и цилиндрической формы, компоненты SO, PLCC, QFP, TSOP, BGA, µBGA, CSP и другие поверхностно монтируемые устройства неправильной формы
Минимальный размер	0,4×0,2 мм (01005)
Максимальный размер	50×50 мм
Максимальная высота	При полном повороте головки — 12 мм (34 мм при одиночном захвате компонента)
Минимальный шаг выводов	0,3 мм (QFP); 0,4 мм (µBGA)
	0,15 мм (QFP)
Минимальный размер выводов	0,15 мм (QFP); 0,2 мм (µBGA)
	0,07 мм (QFP)

Кроме того, принтер имеет опцию 2D-инспекции, позволяющую контролировать качество нанесения припойной пасты в проблемных местах непосредственно после ее нанесения, таких как микросхемы с малым шагом, высокая плотность расположения мелких компонентов, контактные площадки микросхем в корпусе BGA.

На стадии нанесения припойной пасты производится оценка адаптации изделия к технологии автоматического монтажа и проверяется правильность проектирования печатной платы.

Установка поверхностно монтируемых компонентов осуществляется на автомате IINEO производства компании Europlacer, Англия (рис. 3).

Технологические возможности автомата установки компонентов (табл. 1) позволяют осуществить монтаж печатных плат значительных размеров с высокой плотностью расположения компонентов различного размера и формы, а также достаточно широкой номенклатуры. Это предоставляет широкие возможности разработчикам и будущим специалистам при поиске новых областей применения компонент-



Рис. 4. Конвекционная печь Folungwin FL-VP1060

Таблица 2. Технические характеристики конвекционной печи Folungwin FL-VP1060

Количество зон нагрева	10 зон (снизу и сверху)
Количество зон охлаждения	3 зоны
Диапазон температуры	Комнатная температура ~ +350 °С
Точность температуры	±1 °С
Ширина печатных плат	Стандарт: 35–430 мм. Опция: 35–500 мм

ной базы абсолютно любого размера и любой формы. Высокая производительность автомата позволяет обрабатывать изделия на технологичность при подготовке к серийному выпуску. Высокая точность установки компонентов обеспечивает необходимые требования, предъявляемые к электронным модулям согласно стандарту IPC-610D.

Оплавление припойной пасты осуществляется в 10-зонной конвекционной печи Folungwin FL-VP1060 (рис. 4, табл. 2).

Система конвекции горячего воздуха, расположенная как с верхней, так и с нижней стороны каждой зоны, предусматривает равномерный нагрев изделия. Температура каждой зоны постоянно контролируется и автоматически поддерживается на заданном уровне с точностью ±1 °С. Большое количество зон печи (10) позволяет строить температурный профиль, максимально приближенный к требуемому для той или иной паяльной пасты как для простых электронных модулей, так и для крупных сложных электронных модулей на печатных платах большого количества слоев и с использованием теплоемких компонентов с системами охлаждения, например микросхемы в корпусе BGA с радиаторами, и т. п.

Температурный профиль подбирают индивидуально под каждую печатную плату в зависимости от ее теплоемкости и теплоемкости установленных на нее компонентов при помощи термопар и контролируют непосредственно на мониторе печи. Правильно подобранный температурный профиль — это примерно 40% вклада в качество монтажа компонентов на печатную плату. После оплавления первого изделия проводится всесторонний анализ качества паяных соединений — ви-

зуальный контроль, рентгеновский контроль, после чего принимается решение об оплавлении всей партии изделий или внесении корректировок в температурный профиль.

Контроль качества монтажа электронных модулей осуществляется на установке автоматической оптической инспекции (АОИ) VT-RNS II фирмы Omron, Япония (рис. 5, табл. 3).

Система VT-RNS II широко используется на предприятиях производства электронной аппаратуры. Благодаря запатентованной фирмой Omron технологии трехцветной кольцевой подсветки установка точно находит и определяет дефекты монтажа компонентов и контролирует форму образовавшихся паяных соединений, позволяя определить их надежность и качество.

По результатам АОИ изделия сортируются на годные и негодные и разгружаются в соответствующие магазины.

Верификация результатов проверки АОИ производится на отдельном рабочем месте (рис. 6), которое оборудовано современным цифровым безокулярным микроскопом и ремонтной станцией. Все дефекты, выявленные в процессе АОИ, анализируются на соответствие нормативно-технической документации предприятия, стандартам и требованиям конструкторской документации. По итогам анализа разрабатывается перечень мероприятий по недопущению дальнейших дефектов, которые могут касаться как конструкции изделия (неправильно спроектированы посадочные места под компоненты, неверно подобран компонент, компоненты расположены не оптимально для автоматического монтажа и т. п.), так и технологических режимов (неверно подобран температурный профиль пайки в печи и т. п.). Все конструктивные замечания учитываются при изготовлении новой партии изделий или единичного образца. Таким образом налажена обратная связь между этапами производства изделий и их разработкой.

На ремонтном центре (рис. 7) производятся ремонтные работы с электронными модулями по демонтажу и последующему монтажу компонентов в корпусах BGA, CSP, QFN, Flipchip, QFP, SO и чип-компоненты размером до 0402.

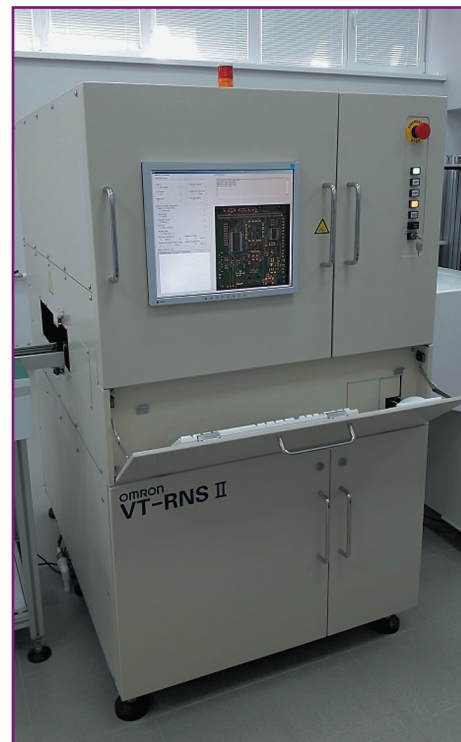


Рис. 5. Установка автоматической оптической инспекции (АОИ) Omron VT-RNS II

Таблица 3. Технические характеристики установки автоматической оптической инспекции (АОИ) Omron VT-RNS II

Размер печатных плат	от 50×50 до 510×460 мм (размер L)
Толщина печатных плат	от 0,3 до 3 мм
Зазор над/под печатной платой	40/50 мм
Количество проверяемых точек на плате	10 000 компонентов на печатной плате
Скорость проверки	до 25 см ² /с
Разрешение	10, 15, 20 мкм
Минимальный проверяемый компонент	0201
Контроль	
Наличие/отсутствие компонента, точность позиционирования, контроль полярности компонента	
Распознавание маркировки, «могильный камень», переворот компонента на ребро, переворот компонента	
Обнаружение приподнятых выводов, недостаточное количество припоя, наличие шариков припоя, перемычки, отсутствие пайки, проверка качества галтели смачивания	

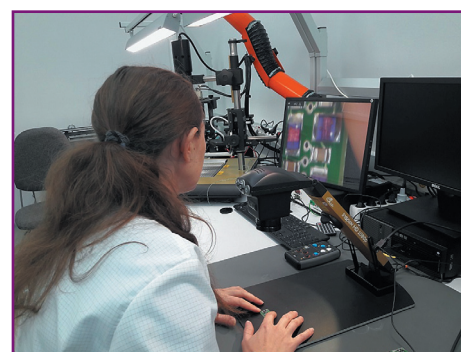


Рис. 6. Верификация результатов проверки АОИ

Нижний и верхний нагрев инфракрасный. Контроль температуры осуществляется с помощью инфракрасного сенсора и термопары.

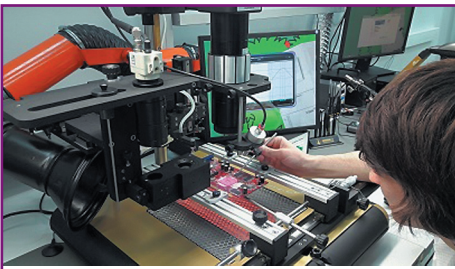

Рис. 7. Ремонтный центр

Рис. 8. Ультразвуковая ванна

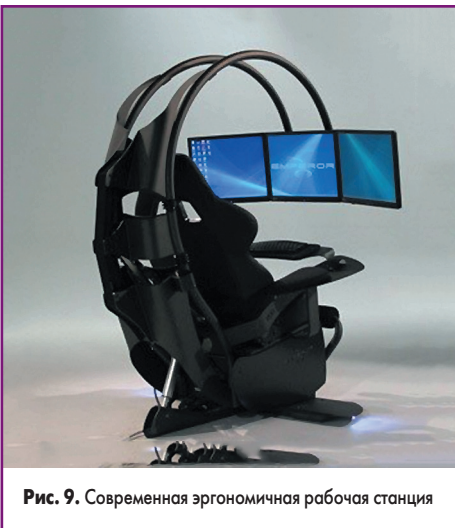
Термопрофиль отображается на мониторе и контролируется оператором. В случае необходимости оператор может внести коррективы в температурный профиль.

Отмывка электронных модулей проводится в ультразвуковой ванне (рис. 8) с применением дионизированной воды и/или отмывочных жидкостей.

Лаборатория дизайна и разработки микро- и наноэлектроники

Лабораторию дизайна и разработки микро- и наноэлектроники планируется построить на базе 10 современных эргономичных рабочих станций, которые являются эффективным рабочим местом в сфере проектирования высокотехнологичной продукции. Рабочие места предусматривают (рис. 9):

- удобное кожаное кресло;


Рис. 9. Современная эргономичная рабочая станция

- компьютер с одним, двумя или тремя 24-дюймовыми ЖК-дисплеями;
- периферию и акустическую систему.

Оборудование установлено на стальной конструкции, которая позволяет нажатием нескольких кнопок настроить расположение дисплеев и наклона кресла. Рабочее место с эргономическим дизайном обеспечивает минимальную физическую нагрузку, создавая условия для эффективного творческого труда.

В лаборатории будущие специалисты на практике осваивают навыки проектирования современной радиоэлектронной аппаратуры, полученные во время теоретических занятий.

Лаборатория рентгеновского и функционального контроля

Лаборатория рентгеновского и функционального контроля позволит обеспечить полный цикл монтажно-сборочного процесса изготовления изделий радиоэлектронной аппаратуры.

Использование рентгеновского оборудования обеспечит контроль необходимого качества монтажа на печатные платы компонентов со скрытыми выводами, в частности микросхемы в корпусе BGA. Рентгеновское оборудование позволяет контролировать следующие параметры паяных соединений:

- количество пустот в паяных соединениях;
- качество паяного соединения по форме шариковых выводов и наличию ореолов для микросхем в корпусе BGA;
- наличие или отсутствие коротких замыканий;
- смещение выводов компонента и т. п.

Функциональный контроль электронных модулей предназначен для измерения характеристик собранного изделия и отдельных элементов электронных модулей. Измерения проводятся так же, как и в случае с внутрисхемным контролем (то есть щупами или адаптером). Разница заключается в смысле измерения. В отличие от внутрисхемного контроля на плату подаются определенные входные сигналы, и происходит последующее измерение выходных. Так, если выполняется проверка аналого-цифрового преобразователя, установленного на плате, то потребуются щупы для создания входного и выходного сигналов. Система подает синусоидальный сигнал на вход тестируемого блока и замеряет импульсы, получаемые на выходе. Анализ выходных сигналов дает возможность системе принять решение о браке в исследуемом изделии.

Основным плюсом данного способа контроля является то, что мы получаем 100% правильное решение о браке продукции. То есть даже если продукция собрана правильно и проведена оптическая инспекция плат, полную уверенность в работоспособности может дать только внутрисхемный и функциональный контроль собранного электронного модуля.

Таким образом, изготовив электронный модуль на собственном производстве, можно будет сразу проверить его на соответствие заложенным техническим характеристикам и требованиям конструкторской документации. Появляется возможность проводить

изменения конструкции изделия практически в реальном времени, после получения результатов изготовления и проверок вносятся необходимые корректировки в проект и изготавливается новый, по сути, единственный образец.

Лаборатория производства печатных плат

Для того чтобы сосредоточить все технологические операции изготовления радиоэлектронной аппаратуры в одном месте, планируется создание лаборатории производства печатных плат.

Целесообразность формирования лаборатории производства печатных плат (ПП) на месте их проектирования подтверждается многими обстоятельствами. Проектные организации, размещающие свои заказы на стороне, в том числе за рубежом, испытывают значительные неудобства. Если для подтверждения очередного варианта проекта нужно 2–3 образца платы одного типа, то для зарубежного поставщика приходится оплачивать заказ, по объему эквивалентный 50–100 платам. Таким образом, низкие поштучные цены на изготовление печатных плат на самом деле оборачиваются серьезными издержками.

Используя высокотехнологичное оборудование, относительно просто вести изыскания в области новых технологий, даже путем несложного сочетания технологических операций и недавно появившихся на рынке материалов с новыми свойствами. Например, в области наиболее перспективных ПП с высокой плотностью межсоединений (High Density Interconnect, HDI) часто применяются заполненные глухие отверстия (filled via).

Несмотря на все большую распространенность МПП среди российских изготовителей электронной техники, спросом пользуются самые простые из них — четырехслойные со сквозными отверстиями. По различным источникам, их доля составляет около 60% от общего количества производимых МПП. Среди оставшихся около 50% составляет доля шестислойных ПП, остальная часть распределяется аналогичным образом между восьмислойными и другими платами.

В лаборатории планируется выпускать печатные платы, отвечающие характеристикам, приведенным в таблице 4.

Основные методы производства и материалы, планируемые к использованию для производства печатных плат, приведены в таблице 5.

Лабораторию производства печатных плат планируется организовать по принципу замкнутого технологического цикла, и она будет иметь следующие производственные участки:

- Заготовительный участок — нарезка заготовок, а также складирование базовых и расходных материалов.
- Участок фотолитографии — подготовка поверхности для нанесения СПФ, нанесение сухого пленочного фоторезиста (СПФ) и прямое экспонирование рисунка.
- Участок сверления — сверление, механическая зачистка заусенцев, фрезерование, обработка кромок, формирование фасок.

- Участок гальваники — подготовка отверстий, прямая металлизация, затяжка, гальваническая медь, гальваническое олово, химическое нанесение финишных паяемых покрытий.
- Участок мокрых процессов — проявление, травление и снятие фоторезиста, снятие металлорезиста.
- Участок паяльной маски — факельное нанесение и отверждение (предварительное и финишное задубливание) паяльной маски.
- Участок горячего лужения — декапирование, флюсование, горячее лужение, отмывка.
- Участок прессования — сборка пакетов, вакуумное прессование, хранение заготовок и технологических материалов для прессования.
- Участок контроля — визуальный контроль рисунка и автоматизированный электроконтроль.
- Участок инженерного оборудования — локальная очистка водяных сбросов, водоподготовка, подготовка сжатого воздуха.
- Аналитическая лаборатория — анализ рабочих растворов, анализ содержания добавок, анализ пластичности меди, изготовление и анализ микрошлифов.

Заключение

Построение производственного процесса изготовления радиоэлектронной аппаратуры идет, опираясь на высококвалифицированных специалистов, работающих в центре и имеющих опыт работы в данном направлении. Данный процесс формируется в соответствии с требованиями, предъявляемыми к изготовлению радиоэлектронной аппаратуры как общего, так и специального назначения с приемкой ОТК и ВП. Слушатели проходят необходимое теоретическое обучение, после чего допускаются к производственному процессу под руководством ответственных сотрудников.

Будущие специалисты получают неоценимый опыт работы на современном высокотехнологичном оборудовании, обучаются приемам высокоэффективной работы на нем. Кроме того, изучают основы программирования каждого из видов оборудования, участву-

Таблица 4. Характеристики выпускаемых печатных плат

Параметр	Величина
Класс точности по ГОСТ 53429-2009	Третий, четвертый, пятый, шестой
Финишное покрытие	Олово-свинец (горячее лужение), иммерсионное золото, гальваническое золото
Паяльная маска	Жидкая фотоформируемая паяльная маска
Минимальная ширина печатного проводника	70 мкм
Минимальный зазор между печатными элементами	70 мкм
Минимальный диаметр сквозных просверленных отверстий	0,15 мм
Минимальный диаметр сквозных и глухих металлизированных отверстий	0,15 мм
Минимальная ширина пояса контактных площадок	0,15 мм
Отношение номинального диаметра наименьшего из металлизированных отверстий к толщине печатной платы	0,1 (H:d = 10:1), для глухих отверстий 1:1

Таблица 5. Методы производства и материалы для производства печатных плат

Наименование	Материал/метод изготовления	Примечание
Материал	Фольгированный стеклотекстолит	Возможно использование фольгированного полиимида и других фольгированных диэлектриков
Метод изготовления	Комбинированный — позитивный и тентинг-методы	Переход от одного метода к другому путем изменения последовательности технологических операций
Метод нанесения рисунка	Фотохимический с прямым экспонированием	
Металлизация отверстий	Прямая металлизация, затяжка, гальваническая медь, гальваническое олово	Процесс DOW
Метод травления	Щелочное травление, с регенерацией меди	
Контроль проводящего рисунка	Визуальный контроль под микроскопом и АОИ	
Метод совмещения слоев и сборка МПП	Совмещение на временных штифтах	
Метод нанесения защитной паяльной маски	Жидкая фотоформируемая паяльная маска	Факельное нанесение сплошного слоя
Метод нанесения маркировки	Прямое нанесение струйным принтером	Маркировочная краска в картриджах
Финишные покрытия	Олово-свинец (горячее лужение), иммерсионное золото с подслоем палладия, гальваническое «твердое» золото	
Электрический контроль	Автоматизированный электроконтроль на установке с «летающими» щупами	

ющего в технологической цепочке изготовления радиоэлектронной аппаратуры.

Благодаря организации такого учебно-производственного процесса будущие работодатели получают в свое распоряжение уже подготовленных специалистов, чья квалификация отвечает высоким стандартам современного производства электроники.

Помимо образовательной части, центр позволяет сократить сроки создания радиоэлектронной аппаратуры собственных разрабатывающих и научно-исследовательских

подразделений, а также ускорить изготовление прототипов и опытных образцов, аккумулируя весь спектр необходимых работ внутри университета.

Литература

1. Стратегия развития электронной промышленности России на период до 2025 года. Утверждена Приказом Министерства промышленности и энергетики Российской Федерации от 7 августа 2007 года № 311.



Илья Лейтес, главный технолог ООО «РТС Инжиниринг»

пускников технических вузов и колледжей в области современного оборудования и технологических процессов. Решить эту проблему можно, организовав в учебном заведении производственное подразделение, т. е. совместив обучение студентов с проведением научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также построением высокоэффективного и наукоемкого производственного процесса разработки и изготовления РЭА. Для этого руководство Московского Технологического Университета (МИРЭА) разработало программу организации учебно-производственного центра «Инновационные технологии в микроэлектронике». ООО «РТС Инжиниринг»,

обладая более чем 25-тилетним опытом работы в отрасли, смогло реализовать задачи, поставленные руководством МИРЭА. Особенностью решений, предложенных «РТС Инжиниринг», стала их ориентация на многоименное производство, которое, в соответствии с техническим заданием заказчика, необходимо разместить вместе с инфраструктурным инженерным обеспечением на ограниченных площадях. При этом была предусмотрена возможность построения различных инновационных и наиболее перспективных технологических процессов изготовления печатных плат и электронных модулей как общего, так и специального назначения.

Одной из проблем российских производств радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) является слабая практическая подготовка технологов-вы-