

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИЗГОТОВЛЕНИЮ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Ларькин А.Д.¹, ассистент, anton11061998@gmail.com

Верхов К.А.², ассистент, kiryl.viarkhou@gmail.com

2025

1. Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
2. Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Ключевые слова: печатные платы, многослойные печатные платы, электронные схемы, электронные компоненты

Аннотация: В статье представлен обзор современных методов производства многослойных печатных плат (МПП), которые являются ключевым элементом в развитии современной электроники. Рассмотрены материалы, применяемые при изготовлении МПП, включая диэлектрики нового поколения и тонкие медные фольги, а также технологические подходы к формированию рисунка проводников – от классической субтрактивной технологии до полуаддитивных и модифицированных полуаддитивных процессов (SAP/mSAP).

Многослойные печатные платы (МПП) являются основой подавляющего большинства современных электронных систем. Их использование обусловлено необходимостью повышения плотности монтажа, улучшения электромагнитной совместимости и обеспечения высокой надёжности соединений при минимизации габаритов изделий. В отличие от односторонних и двусторонних плат, МПП позволяют реализовать сложные многосетевые схемы с большим количеством межсоединений, обеспечивая короткие пути распространения сигналов и снижение паразитных параметров. Благодаря тому, что в одной МПП помещается несколько слоев электрической схемы, такой тип платы обеспечивает больше межсоединений на единицу площади, чем двухсторонние печатные платы. Многослойные печатные платы применяются в случаях, когда разводка соединений на двусторонней плате становится слишком сложной. По мере роста сложности проектируемых устройств и плотности монтажа увеличивается количество слоев на платах. [1]

Применение МПП критически важно в таких областях, как телекоммуникации, авиационно-космическая техника, автомобильная электроника, медицинская аппаратура и устройства с высокой скоростью передачи данных. Особенно значимым является использование МПП в системах, работающих на гигагерцевых частотах, где топология проводников и выбор материалов напрямую влияют на целостность сигнала.

Материалы общего назначения, предназначенные для изготовления плат категории HDI, приведены в стандартах IPC (IPC-4101B и IPC-4104) [2], однако некоторые из них еще не стандартизованы. Наиболее часто используемыми материалами для многослойных печатных плат являются материалы FR4 и Rogers PCB:

FR4, распространенный, экономически эффективный и легкодоступный материал для печатных плат, обладает хорошими электрическими свойствами, такими как прочность изоляции, скорость потери энергии, электрическое сопротивление и изолирующая способность. Диэлектрическая проницаемость FR4 составляет от 4 до 3 при 4 МГц с тангенсом угла потерь порядка 8 до 1 при 0 МГц. Температура обработки составляет приблизительно 015–0 °С, а температура теплового стеклования (Tg) и высокотемпературного FR02 достигают 1 °С..

Высокочастотные материалы – это материалы, который обеспечивает высокий коэффициент теплового расширения, повышенную диэлектрическую постоянную, низкий угол потерь и стабильность. Он обычно используется в высокочастотных приложениях, таких как военная, коммуникационная и космическая промышленность. Rogers имеет низкую диэлектрическую постоянную в диапазоне от 2.2 до 3 на частоте 10 ГГц, а также низкий коэффициент рассеяния от 0.001 до 0.003 на той же частоте, в зависимости от конкретного материала.

Современный подход к производству многослойных печатных плат основан на применении следующих методов:

1. Метод попарного прессования. Технология подразумевает использование не более четырех слоев МПП. Для изготовления используют две заготовки с двусторонним фольгированием из диэлектрика. Заготовки спрессовывают так, чтобы второй и третий слой был внутри, затем следует стандартная обработка платы.

2. Метод открытых контактных площадок. Это метод, основанный на это травлении, при котором верхние слои перфорированы для обеспечения доступа к нижним слоям контактных площадок. Данная технология не включает использование межсложных соединений. Такая технология подходит для изготовления плат с не более пяти слоями, плотность печати которых небольшая.

3. Метод выступающих выводов. Данная технология производства МПП включает изготовление с помощью тонких печатных слоев, которые в последствие должны выступать в перфорированные окна. Тонкие слои склеиваются в пакет и отгибаются через окна, чтобы потом припаять их к контактной площадке. Эта технология не ограничивает количество слоев, использованиях в процессе производства.

4. Метод металлизации сквозных отверстий. В процессе нанесения покрытия через отверстие используется безэлектродное меднение, чтобы сделать внутренние стенки отверстия проводящими для соединения печатных плат в разных слоях или выводов интегральных микросхем. Сквозные отверстия с покрытием предназначены для того, чтобы вы могли использовать обе стороны печатной платы и подключаться к другим слоям платы. Покрытие сквозных отверстий выполнено из меди, проводника, поэтому оно позволяет электропроводности проходить через плату.

Для большинства многослойных печатных плат является обязательным этап ламинирования и регистрации слоев, а также контроль качества и надежности полученного изделия. Создание рисунка проводников – один из наиболее критичных этапов. Традиционная фотолитография с фотошаблоном постепенно уступает место LDI (Laser Direct Imaging), обеспечивающему высочайшую точность совмещения слоёв. Это не только технологический прогресс, но и бизнес-решение: меньший процент брака означает экономию, особенно в серийном производстве, где даже доли процента имеют значение. Ламинирование многослойного пакета – процесс, где инженерия буквально «срастается» с химией. Препреги, смолы и медные слои должны объединиться в единое целое без пустот и расслаиваний. Здесь особенно важен контроль симметрии конструкции и температурного профиля: от этого зависит геометрия платы, её плоскостность и механическая прочность.

На последней стадии плата получает паяльную маску, маркировку и финальное покрытие контактных площадок. Здесь снова возникает баланс между экономией и надёжностью. HASL остаётся дешёвым и популярным решением, но не всегда совместим с современными компонентами мелкого шага. ENIG и ENEPIG дороже, но обеспечивают идеальную плоскость и длительное хранение. Для массовой электроники выбирают OSP как компромисс, а для ВЧ-устройств – ImAg. Каждое решение отражает не только технологические требования, но и стратегию бизнеса [3].

Можно заключить, что наиболее перспективным методом является метод попарного прессования, потому как в данном методе игнорируется количество слоев, метод легко поддается автоматизированию и обеспечивает высокую плотность печатного монтажа.

Список использованных источников

1. Дизайн и компоновка многослойной печатной платы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://inpromsintes.ru/services/dizayn-i-komponovka-pechatnykh-plat/dizajn-i-komponovka-mnogoslojnoj-pechatnoj-platy> – Дата доступа: 25.08.2025.

2. Стандарты и справочная информация [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.rezonit.ru/directory/baza-znaniy/standarty-i-spravochnaya-informaciya/standarty-ipc> – Дата доступа: 25.08.2025.

3. Технология производства многослойных печатных плат [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pcbrussia.ru/equipment/tekhnologiya-proizvodstva-mnogosloynnykh-pechatnykh-plat-etapy-standarty-i-kontrol-kachestva> – Дата доступа: 25.08.2025.