

# ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

*С. Б. Мухачева, В. П. Леушев, А. В. Иванов*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

## Введение

Одним из необходимых условий выпуска сложных надежных устройств радиоэлектронной аппаратуры является производство качественных многослойных печатных плат (МПП).

Весной 2019 г. на ежегодной выставке электроники, электронных компонентов и технологического оборудования «ЭкспоЭлектроника», предприятием Остек-Сервис-Технология г. Москва был продемонстрирован первый 3D-принтер, использующий аддитивную технологию изготовления прототипов МПП (ПМПП).

3D-печать ПП – это процесс послойного создания физического объекта по цифровой 3D-модели.

3D-печать ПП отличается от стандартного процесса создания МПП, он основан на использовании материалов, специально разработанных для аддитивных технологий в производстве электроники.

ПМПП – это опытный образец, предназначенный для проверки схемотехнического решения, не обязательными свойствами которого являются требования к условиям эксплуатации изделия, механическим факторам и факторам внешнего воздействия.

На сегодняшний день подразделение РФЯЦ-ВНИИЭФ приобретает МПП на сторонних производствах, либо изготавливает на собственном производстве.

Изготовление МПП на стороннем производстве занимает до 3 месяцев, имеет ограниченный контроль качества, при изготовлении используются материалы иностранного производства.

Создание собственного производства предполагает постоянные затраты: покупка дорогостоящего оборудования, его обновление для поддержания современного технологического уровня процесса производства, необходимость обслуживания участка.

Однако длительность изготовления прототипов двухсторонних, многослойных, гибко-жестких ПП на 3D-принтере сократится до нескольких часов.

Для этого необходимы: 3D-принтер, токопроводящие и токонепроводящие чернила, прикладное программное обеспечение.

В докладе представлены результаты исследования изготовления многослойных печатных плат, особенности применения 3D-принтера, достоинства и недостатки 3D-печати.

В работе исследуются: составляющие метода 3D-печати, собственный проект изготовления МПП на 3D-принтере, требования к проекту.

## Описание 3D-принтера

3D-принтер – это программно-аппаратный комплекс, позволяющий печатать токопроводящие и диэлектрические изделия на одной установке (рис. 1). Комплекс использует аддитивную технологию изготовления МПП. Процесс изготовления позволяет быстро получить требуемое изделие в кратчайший срок.

Основные элементы 3D-принтера – это две печатающие головки и две системы отверждения. Рабочая зона представлена на рис. 2. Печатающая головка для нанесения токопроводящих чернил дополнена инфракрасной системой спекания, для



Рис. 1. Внешний вид 3D-принтера

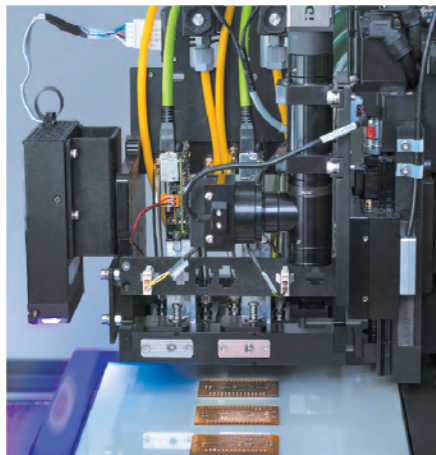


Рис. 2. Рабочая зона 3D-принтера



Рис. 3. Структурная схема изготовления ПМП на 3D-принтере

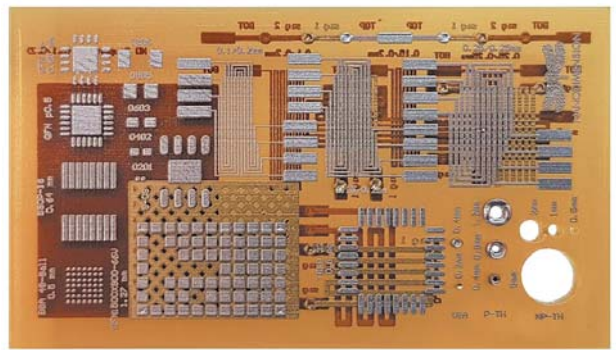


Рис. 4. Внешний вид ПМП, изготовленного на 3D-принтере

отверждения токонепроводящих чернил используется УФ-система отверждения. Диаметр капли диэлектрика составляет 3 мкм, токопроводящих чернил – 0,3 мкм, что позволяет изготавливать прецизионные платы до 5-го класса точности с параметром проводник/зазор 100/100 мкм.

Минимальная толщина слоя – 10 мкм, максимальная – 3 мм, поэтому количество слоев не ограничено. На 3D-принтере возможна печать плат, содержащих сквозные металлизированные отверстия диаметрами от 0,4 мм и выше. Заполненные токопроводящей пастой отверстия могут иметь диаметр от 0,2 мм и выше.

На принтере возможно создание сквозных металлизированных, сквозных неметаллизированных, глухих и скрытых отверстий, что позволяет разработчикам быстро тестировать ПМП послойного наращивания, что в традиционной технологии занимает много времени и крайне затратно. Максимальный габаритный размер печатной платы, изготавливаемой на принтере, составляет 200×200×3 мм, причем плата не обязательно должна быть плоской.

Технология изготовления ПП со встроенными компонентами позволяет уменьшить массогабаритные характеристики плат, сократить длину линий связи, обеспечить эффективный теплоотвод и защиту от влаги, решить вопросы по электромагнитному экранированию, а также увеличить механическую прочность плат.

Время печати ПМП зависит от количества проводящих слоев платы и от объема токопроводящих чернил. Принтер автономен и не требует присутствия оператора во время работы, что позволяет использовать 3D-печать не только в рабочее время.

Типовая структурная схема технологического процесса изготовления ПМП на 3D-принтере представлена на рис. 3, внешний вид ПМП, изготовленного на 3D-принтере – на рис. 4

### Изготовление МПП на заводе РФЯЦ-ВНИИЭФ

РФЯЦ-ВНИИЭФ изготавливает МПП тентинг-методом и комбинированным позитивным.

Тентинг-метод – самый дешевый и быстрый процесс изготовления печатных плат, при котором металлизуется вся поверхность и отверстия заготовки ПП. Защита рисунка при травлении обеспечивается пленочным фоторезистом, накрывающим проводники и отверстия. Форма пленки фоторезиста, защищающего отверстия, напоминает зонтик, поэтому в названии процесса есть слово «tent» – зонтик. В тентинг-методе приходится формировать проводники и зазоры, вытравливая «несколько слоев», общая толщина которых складывается из толщины фольги (18 мкм) и толщины общей металлизации (35...50 мкм). Наличие подтравливания затрудняет получение тонкого рисунка (проводник/зазор 0,12/0,12 мм).

Используя комбинированный позитивный метод, можно получить более тонкие проводники и зазоры (0,1/0,1 мм) за счет меньшей толщины вытравливаемого металла. Толщина используемых в этом методе фоторезистов определяется лишь тем, что толщина рельефа должна быть больше толщины наращиваемой в этом рельефе металлизации (проводников). Типовая структурная схема технологического процесса изготовления МПП комбинированно-позитивным методом на предприятии РФЯЦ-ВНИИЭФ представлена на рис. 5.

После изготовления МПП необходимо произвести монтаж компонентов на плату. Технологический процесс смешанного монтажа на предприятии РФЯЦ-ВНИИЭФ представлен на рис. 6. При этом используется следующее оборудование: бестрафаретный принтер (рис. 7), печь конвекционного оплавления (рис. 8), рентгеновский контроль (рис. 9).

Характеристики МПП, изготавливаемых (примеры представлены на рис. 10, 11) на предприятии РФЯЦ-ВНИИЭФ:

- минимальная ширина проводников и зазоров – 0,15 мм;
- минимальный диаметр металлизированного отверстия – 0,4 мм;
- минимальный гарантийный поясок контактной площадки – 0,05 мм;
- финишное металлическое покрытие: 1) Гор. ПОС-61, 2) OM-ImmSn-O3П (органическое защитное покрытие поверх иммерсионного олова с барьерным подслоем из органического металла);

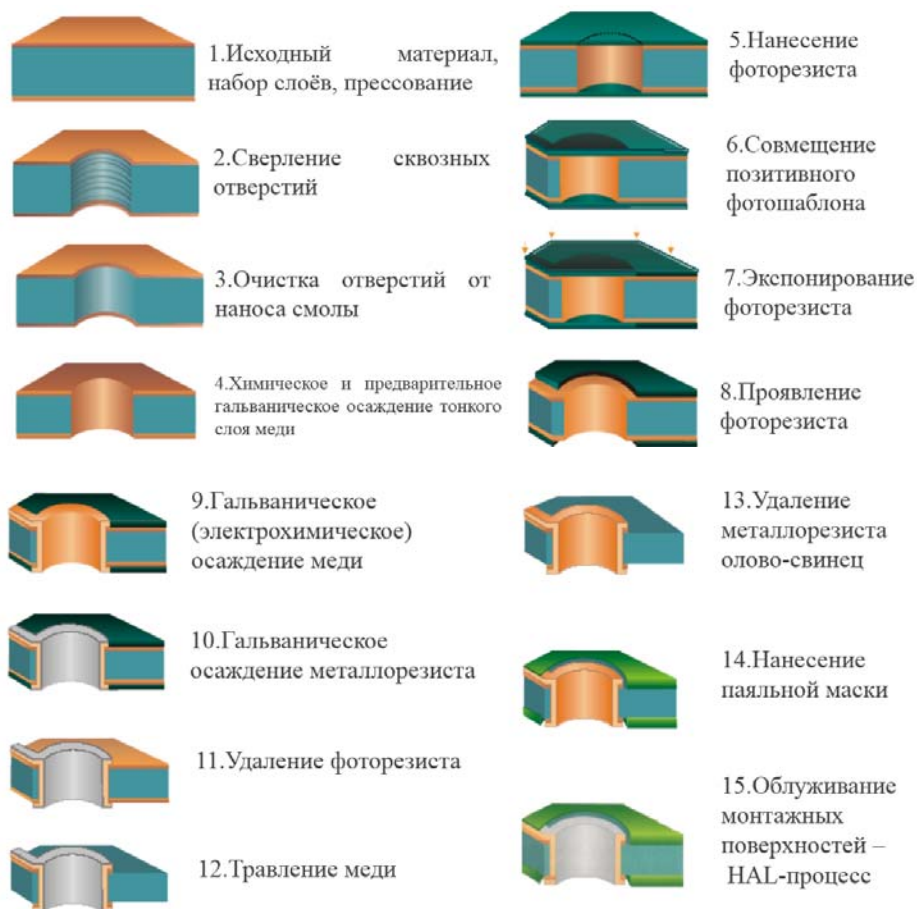


Рис. 5. Процесс изготовления МПП комбинированно-позитивным методом на предприятии РФЯЦ-ВНИИЭФ



Рис. 6. Структурная схема смешанного монтажа на предприятии РФЯЦ-ВНИИЭФ



Рис. 7. Бестрафаретный принтер



Рис. 8. Печь конвекционного оплавления



Рис. 9. Оборудование рентгеновского контроля

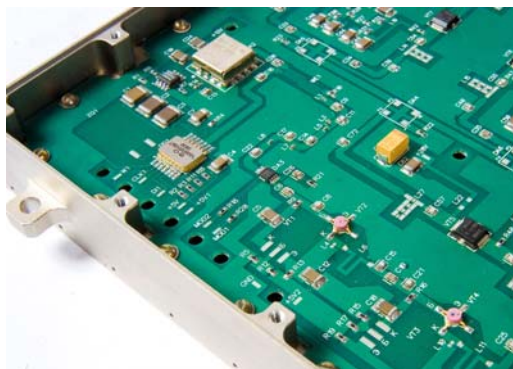


Рис. 10. ПП с покрытием «Иммерсионное олово»

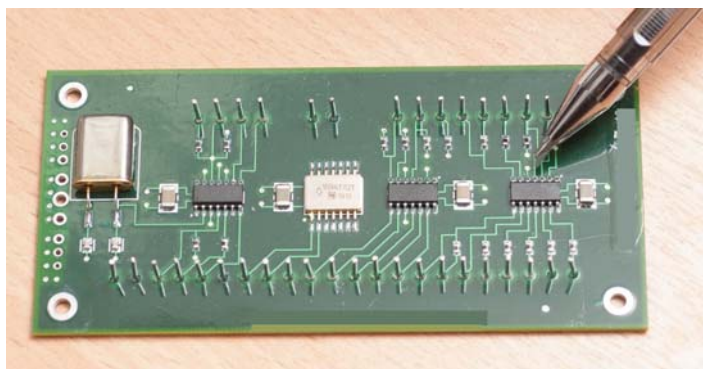


Рис. 11. Печатный узел с элементами поверхностного монтажа

– сухие пленочные защитные паяльные маски Метакрилар-2 и Динамаск, жидкая паяльная маска Imagequire Smart.

в 3D-файлы с помощью простого указания толщины. Планируется также поддержка формата Odb++.

### Программное обеспечение

Программное обеспечение, которым оснащен 3D-принтер, помимо управления оборудованием, имеет функцию преобразования 2D-файлов Gerber и Excellon, традиционных для печатных плат,

### Используемые материалы

Применяемый в 3D-печати диэлектрик по электрическим параметрам и основным механическим характеристикам близок к стеклотекстолиту, проводимость токопроводящих чернил на текущий момент немногим более чем вдвое уступает меди. Диэлек-



трическая проницаемость применяемого полимера равна 3,2 при 1 МГц и 2,9 при 1 ГГц. Основное текущее ограничение материала – максимальная температура пайки, которая составляет 140 градусов.

### Актуальность использования 3D-принтера на предприятии РФЯЦ-ВНИИЭФ

В 2019 г. были выполнены запросы компании Остек о рекомендациях технологического процесса электро монтажа для электронных компонентов (ЭК) с проволочными выводами, которые устанавливаются в отверстия ПМПП и ЭК поверхностного монтажа (ПМ). Оказалось, что общепринятый оловянно-свинцовый припой применить невозможно – требуются специальные материалы.

Проводники ПМПП выполнены из сложных материалов с нано-структурой, которые теряют свою проводимость при контакте с олово-свинцовыми припоями и жалом паяльника. Поэтому для монтажа необходимо использование специальных материалов.

Специалистами Остек было предложено подробное описание процесса низкотемпературной пайкой оплавлением припоя, которое совместимо с ПМПП, выполненными 3D-печатью на принтере.

После групповой пайки изготовления компонентов возможна доустановка ЭРИ ручной пайкой. Рекомендуемая паяльная паста представляет собой проволочный припой, предназначенный для низкотемпературной пайки, с низкой температурой плавления.

Поскольку на сегодняшний день нет международных стандартов по изготовлению ПМПП в 3D-принтере, для выполнения требуемого качества монтажа необходимо обязательное соблюдение технологических условий, заявленных компанией Остек.

### Подготовка проекта

Для подтверждения целесообразности использования 3D-принтера в подразделении приборной тематики ВНИИЭФ был выбран типичный проект МПП. Внешний вид МПП представлен на рис. 12, рис. 13.

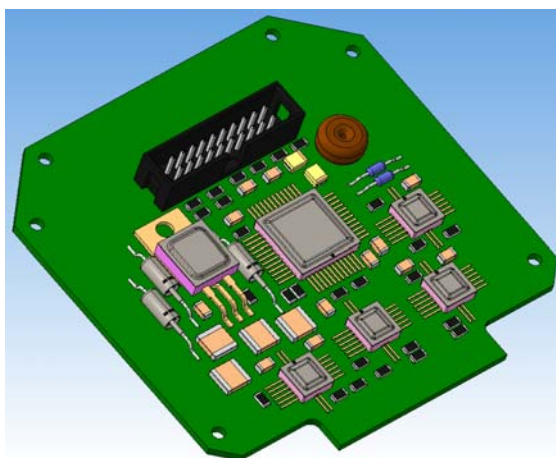


Рис. 12. Внешний вид МПП, вид сверху

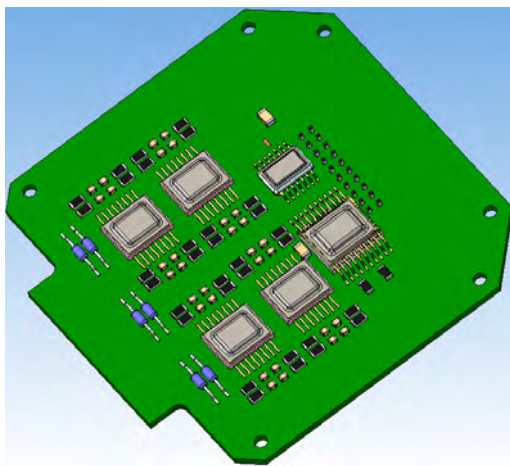


Рис. 13. Внешний вид МПП, вид снизу

Проведено редактирование проекта в соответствии с рекомендациями Остек, подготовлены Gerber-файлы из проекта МПП и переданы в Остек.

После изготовления ПМПП, на площадке Остек планируется произвести монтаж одного печатного узла, провести его проверку, произвести этап ПМ на других МПП на производстве ВНИИЭФ.

### Заключение

В докладе рассмотрены методы изготовления ПМПП на собственном производстве предприятия РФЯЦ-ВНИИЭФ и на 3D-принтере, проведен сравнительный анализ процесса изготовления и характеристик готовых МПП.

Выполнены запросы компании Остек о рекомендациях технологического процесса электро монтажа для ЭРИ с проволочными выводами, которые устанавливаются в отверстия ПМПП и ЭК ПМ. Изучены специальные материалы, используемые при групповой пайке. Для подтверждения использования 3D-принтера в подразделении приборной тематики ВНИИЭФ был выбран типичный проект МПП, топология проекта была передана на предприятие Остек для дальнейшей работы.

С учетом рекомендаций Остек и предоставленных технологических материалов необходимо воспроизвести на собственном предприятии технологию ПМ на изготовленных в ОСТЕК ПМПП.

### Литература

1. Хесин С. М. Революция в изготовление многослойных печатных плат. 2018. Т. 39, № 4, С. 38–41.
2. Суханов Д. В. Инновационность – ключ к технологической независимости. 2019. Т. 43, № 3, С. 8–12.
3. Производство и монтаж печатных плат, справочник инженера-конструктора. 2009. С. 2–33.
4. Сигаев А. Б. Технологии изготовления печатных плат. 2000. № 1, С. 2–10.