

# 3D-печать в производстве печатных плат

Ю. Боброва<sup>1</sup>, Д. Мануков<sup>2</sup>

УДК 621.3.049.75:658.5.012.1 | ВАК 05.27.06

Аддитивные технологии получили широкое распространение и развитие не только в машиностроительных отраслях, но и в электронной промышленности. 3D-печать – закономерный этап развития технологии изготовления печатных плат (ПП). Интерес в трехмерной печати для производства ПП заключается в возможности производства прототипов без формирования большого парка оборудования, а также в меньшем времени изготовления одной единицы изделия [1].

## ТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ: ОГРАНИЧЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТЧИКА

Разработка любого изделия электронной техники не обходится без такого обязательного этапа, как прототипирование ПП и печатного узла (ПУ), лежащего в его основе. Наиболее распространенные в течение многих лет варианты прототипирования ПП и ПУ посредством макетных или двухсторонних плат с металлизированными отверстиями делают процесс макетирования многослойных плат сложным, если не невозможным. В таких случаях разработчикам приходится прибегать к услугам серийных производителей ПП, заказывая им единичные образцы или пилотные партии из нескольких изделий, и здесь они сталкиваются с трудностями, обусловленными особенностями промышленных технологий изготовления ПП.

В традиционно применяемом для изготовления ПП комбинированном позитивном процессе используется широкий диапазон различных конструкционных материалов, а также многочисленные расходные химические вещества, ввоз, эксплуатация и утилизация которых регламентируются нормативными документами Российской Федерации.

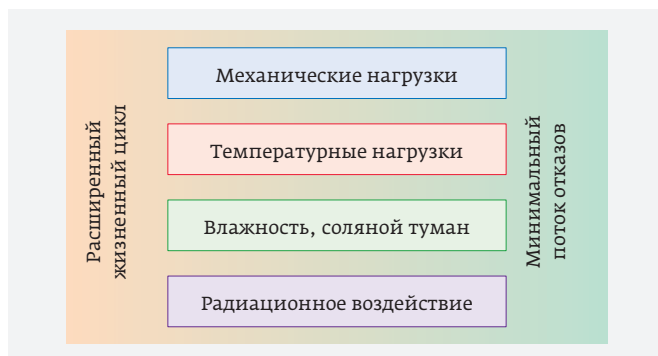
Разнообразие применяемых в традиционном производстве ПП конструкционных материалов (в частности, фольгированных диэлектриков) обусловлено в первую очередь назначением электронной аппаратуры, частью которой станет печатный узел на основе изготавливаемой платы (рис. 1), то есть условиями ее эксплуатации и требованиями к длительности безотказной работы согласно заявленным техническим характеристикам (рис. 2) [2]. Кроме того, это разнообразие играет ключевую роль в получении реальных технических характеристик



Рис. 1. Температурные диапазоны работы электронной аппаратуры

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, старший преподаватель, ju.s.bobrova@bmsu.ru.

<sup>2</sup> ООО «Остек-Сервис-Технология», младший инженер, Manukov.D@ostec-group.ru.



**Рис. 2.** Перечень требований к печатным платам для высоконадежной электронной аппаратуры

плат в пределах конструкторских допусков, поскольку они обеспечиваются не только отработанным технологическим процессом, но и физическими свойствами базовых материалов: диэлектрическими характеристиками, соответствующими частоте функционирования электронного устройства, размерной устойчивостью материала под действием механических и температурных нагрузок, высокой электропроводностью и пластичностью металлизации, стабильностью диэлектрических характеристик при различных воздействиях окружающих сред и т. д. [3–5].

Однако изготовление плат традиционным комбинированным позитивным способом сопряжено со множеством сложностей как при организации производства, так и при эксплуатации оборудования. Технологический процесс состоит из операций, являющихся разнородными по своей физической и химической сути, и некоторые из них нуждаются в поддержании климатических условий в заданных пределах, а допуски на геометрические размеры типовых элементов плат, требования к адгезии и сплошности наносимых покрытий и др. – соблюдения определенных уровней чистоты производственных помещений [6].

Производители ПП, работающие с серийной продукцией, не способны изготавливать по одной плате в запуске: некоторые из видов оборудования, применяемого в производственном процессе, например, конвейерные линии струйного травления, проявления и удаления фоторезиста, высокообъемные гальванические линии имеют ограничение по минимальной площади обрабатываемой заготовки. Значительная часть дорогостоящего оборудования – установки фотолитографии, прессования, термической обработки и др. – подобрана и закуплена для работы с заготовками типовых для конкретного производства размеров. Все это приводит к тому, что при возникновении необходимости изготовления единичной, например, прототипной ПП она симметрично мультиплицируется в центральной области заготовки типового размера в количестве, зависящем от соотношения

размеров платы и заготовки, и изготавливается с низким коэффициентом использования всех конструкционных материалов. При этом всё задействованное оборудование обрабатывает полноценный технологический цикл, расходуя электроэнергию, химические растворы, воду и т. п. Таким образом, использование большого парка оборудования для изготовления пары плат невыгодно не только с точки зрения рентабельности и возврата инвестиций по этому оборудованию, но и из-за высоких текущих эксплуатационных расходов.

Инженерное обеспечение условий производства на всех участках, необходимость организации многочисленных рабочих мест межоперационного контроля, обязательное наличие большого числа квалифицированных операторов различной специализации и многие другие статьи расходов, неизбежные для большого предприятия со сложным технологическим процессом, также вносят свой вклад в ухудшение экономики производства при выполнении нетипичных для него малообъемных заказов.

Ситуация усугубляется высокой вероятностью дальнейших изменений топологии прототипируемой платы в ходе отработки ее конструкции с последующим изготовлением очередных версий. Весь технологический процесс придется повторять, несмотря на то, что для принятия решения о правильности функционирования будущего электронного прибора на основе такой платы достаточно одного-двух годных образцов, остальные будут являться отходами производства, количество которых будет увеличиваться пропорционально количеству итераций, необходимых для получения макета платы, законченного с точки зрения разработчика.

Так у разработчиков электроники возникает серьезная проблема: потребность протестировать новое устройство сталкивается с невозможностью и нежеланием компаний, занимающихся срочным изготовлением ПП в России, изготавливать единичные платы в виду низкой рентабельности. Кроме того, количество технологических операций, составляющих комбинированный позитивный процесс производства многослойных печатных плат, может достигать полутора сотен, что сказывается на времени, проходящем от момента размещения заказа в производство до его получения.

### 3D-ПЕЧАТЬ ПРОТОТИПОВ ПП: ОГРАНИЧЕНИЯ И ПРЕИМУЩЕСТВА

Технология 3D-печати – один из современных вариантов решения проблемы прототипирования ПП. Конечно, конструкционные материалы, применяемые в 3D-технологиях, пока не могут обеспечить столь широкий спектр свойств конечного продукта, какой доступен традиционным производствам. Но малая номенклатура материалов, используемых в 3D-печати, является экономически

**Таблица 1.** Оценочный расчет времени изготовления 8-слойной и 4-слойной ПП комбинированной позитивной технологией

Временной параметр производства	Значение параметра	
	Изготовление 8-слойной ПП	Изготовление 4-слойной ПП
Суммарное время изготовления $t$ , ч	14,9	13,4
Коэффициент приближения <sup>*</sup> , $k$	2	2
Скорректированное время $T = k \cdot t$ , ч	29,8	26,8
Длительность смены $t_s$ , ч	8	8
Количество рабочих смен на изготовление $M = T/t_s$	3,73	3,35

<sup>\*</sup> Коэффициент приближения аналогичен коэффициенту запаса по времени и служит для компенсации погрешности расчета суммарного времени технологического процесса, которое не нормировано и разнится от производителя ПП к производителю.

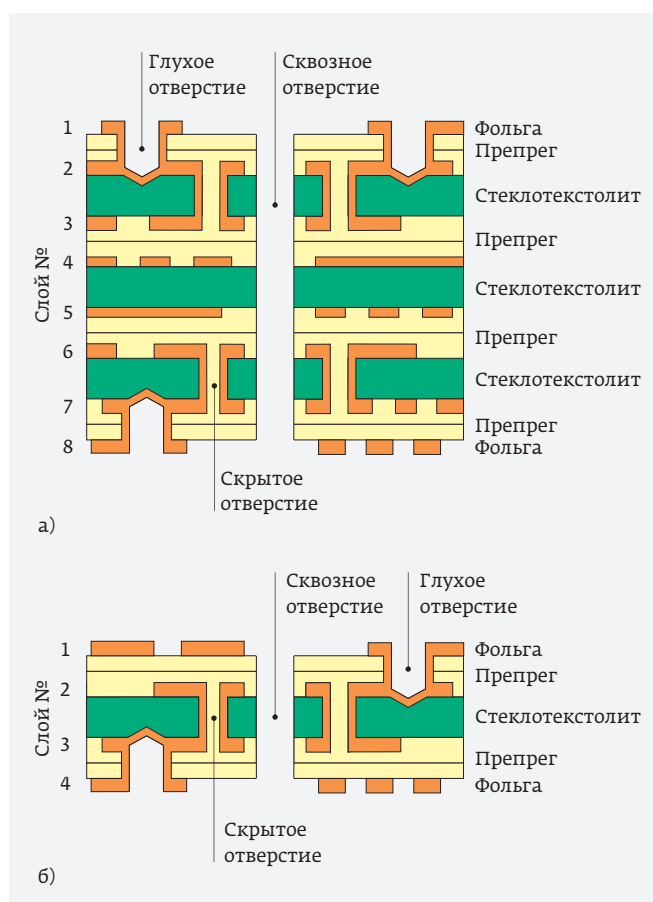
выгодной и в большинстве случаев достаточной для прототипирования или, как минимум, проверки работоспособности схемных решений. Полимерные связующие, содержащие электропроводящие частицы (металлы, вещества на основе графена) [7–13], полупроводники в виде жидких керамик и веществ на основе кремния [14] и диэлектрики, в том числе фото- и термочувствительные полимеры [7, 15] – все эти материалы, применяемые в 3D-печати, на этапе изготовления позволяют подбирать электропроводность токопроводящих материалов за счет изменения процентного содержания металлических частиц [14], поверхностное сопротивление, диэлектрическую проницаемость полупроводниковых элементов [14], диэлектрические характеристики изолирующих слоев, например, диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь [15].

При условии приемлемости ограничений по свойствам конструкционных материалов на первый план выступает основное преимущество 3D-технологии как эффективного средства ускорения и удешевления разработки печатных плат. Для количественной оценки этого преимущества коллективом авторов был проведен сравнительный анализ длительности процесса изготовления ПП по двум рассматриваемым технологиям.

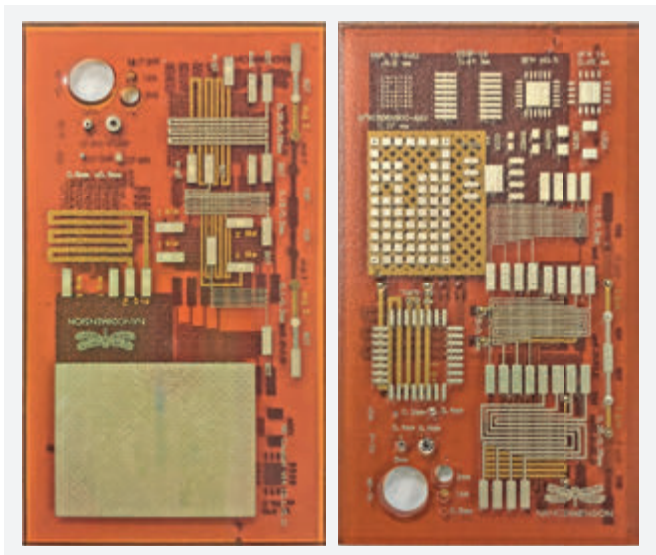
Оценочный расчет времени, затрачиваемого на изготовление разработанных ПП комбинированным позитивным методом в составе групповой заготовки, показан в табл. 1. Схематическое изображение конструкций, использованных в расчете восьмислойной и четырехслойной ПП, изображены на рис. 3.

Для сравнения с приведенными выше данными рассмотрим 4-слойную ПП (рис. 4), полученную с помощью трехмерной печати на 3D-принтере DragonFly (Nano Dimension, Израиль). Nano Dimension на собственных стендовых принтерах, территориально расположенных в Израиле, изготавливает тестовые образцы плат

и рассылает их вместе с сопутствующей технической информацией своим контрагентам-посредникам для демонстрации на семинарах и выставках. Представленная здесь ПП имеет минимальный диаметр отверстий



**Рис. 3.** Схематическое изображение поперечного сечения печатных плат: а – 8-слойная плата; б – 4-слойная плата



**Рис. 4.** 4-слойная печатная плата размером 38×19 мм, изготовленная методом 3D-печати

(сквозных, скрытых, глухих), не превышающий 200 мкм, содержит BGA-площадку с шагом выводов 500 мкм. Время, затраченное на изготовление такого образца, составляет 8 ч.

Сравнение времени изготовления 4-слойной платы показывает, что при использовании традиционного промышленного метода разработчик получит образец примерно через четыре рабочие смены, то есть через 32 ч, а 3D-печать позволит ему сократить время до 8 ч – в четыре раза. Причем оценочный расчет не учитывает время, уходящее на организацию взаимодействия конструкторского подразделения с производством; оно может быть очень велико, особенно в том случае, если за изготовлением ПП приходится обращаться к сторонней компании. При этом понятно, что указанный эффект снижается по мере увеличения количества плат, которые требуется произвести, усложнения их топологии и увеличения слойности.

При сравнении двух классов технологий следует также учитывать, что современные системы трехмерной печати, ориентированные на применение в производстве электронных узлов, позволяют изготовить ПП размером до 200×200 мм [8, 9, 14, 16], то есть одновременное изготовление нескольких плат ограничено их размерами. За один цикл работы 3D-принтера можно изготовить четыре ПП с размерами, указанными на рис. 4, то есть в пересчете на одну плату затраченное время составит 2 ч. В процессе, расчет которого показан в табл. 1, использовалась групповая заготовка на 14 плат; соответственно, удельное время изготовления одной ПП составляет не многим менее 2 ч.

Таким образом, паритет по временным затратам между двумя классами технологий наступает уже при необходимости получения четырех плат указанного размера и сложности. Если же количество необходимых плат больше, то обычные промышленные технологии уходят далеко вперед, и не только из-за большего размера групповой заготовки, но и вследствие возможности запускать в производство большие партии заготовок. К тому же отличие длительности процесса изготовления 8-слойной и 4-слойной ПП комбинированным позитивным методом с применением групповой заготовки является несущественным (табл. 1), в то время как для 3D-печати длительность процесса во многом зависит от объема печатаемого материала.

### 3D-ПЕЧАТЬ И ЦИФРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Цифровое производство, Индустрия 4.0 и Internet of Things [17, 18] подразумевают объединение всех устройств, датчиков и оборудования в единую сеть с возможностью управления с единственного рабочего места. Безусловно, это уменьшит затраты времени, труда и т. п. для всех типов технологии. Однако на 3D-печати это скажется наиболее существенно, потому что в этой технологии принципиально отсутствует необходимость внутрицеховой логистики – переноса заготовок между участками и установками, – что обязательно в том или ином количестве будет существовать на традиционных производствах. Фактически, работа по 3D-технологии будет заключаться в своевременной доставке сырья и управлении единым компьютерным центром.

### ВИДЫ 3D-ПЕЧАТИ ДЛЯ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В соответствии с классификацией Американского общества по испытанию материалов (ASTM) выделяют семь категорий аддитивных технологий [19]:

- фотополимеризация в ванне (VAT Photopolymerization, VP);
- струйная 3D-печать (Material Jetting, MJ);
- печать связующим веществом (Binder Jetting, BJ);
- экструзия материалов (Material Extrusion, ME);
- спекание порошков (Powder Bed Fusion, PBF);
- послойная ультразвуковая 3D-печать листовыми материалами (Sheet Lamination, SL);
- послойная электронно-лучевая / лазерная плавка материала (Direct Energy Deposition, DED) [7, 11, 14, 20, 21].

При изготовлении прототипов многослойных печатных плат наиболее востребованных 3–5 классов точности (ГОСТ Р 53429-2009) к типовым элементам конструкции предъявляются следующие требования:

- толщина диэлектрического слоя  $\leq 200$  мкм;
- толщина печатной платы  $\leq 3,2$  мм;
- предельное отклонение толщины платы  $\pm 0,3$  мм;

- минимальная ширина проводника / зазора от 0,1/0,1 до 0,25/0,25 мм;
- предельное отклонение размеров проводящего рисунка от  $\pm 0,03$  до  $\pm 0,1$  мм;
- позиционный допуск расположения печатного проводника относительно соседнего элемента проводящего рисунка от 0,05 до 0,1 мм;
- минимальный диаметр сквозного металлизированного отверстия от 0,3 до 0,6 мм;
- позиционный допуск расположения осей отверстий от 0,05 до 0,08 мм.

На данном этапе развития технологий 3D-печати эти требования могут быть наиболее полно реализованы двумя ее разновидностями: методом струйной печати и методом экструзии материала.

На российский рынок поставляется целый ряд моделей 3D-принтеров, на которых успешно изготавливаются прототипы ПП. Так, послойное наплавление материалов (метод экструзии) осуществляется принтерами DragonFly 2020 Pro (производства Nano Dimension, Израиль), PJ15X (Neotech AMT, Германия), Voxel8 (Voxel8, США), V-One (Voltera, Канада). Принтер Aerosol Jet 5X (Optomec Inc., США) работает с менее вязкими материалами, в основе его работы лежит принцип струйной 3D-печати на готовом диэлектрическом основании.

Все эти модели относятся к промышленному оборудованию для аддитивного производства, то есть могут представлять интерес и для крупных производителей ПП, участвующих в поисковых и экспериментальных работах по созданию образцов новой техники.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ ПЕЧАТИ ПРОТОТИПА ПЛАТЫ МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ

3D-печать позволяет изготовить печатную плату, используя лишь исходный CAD-файл, содержащий трехмерную модель объекта. В качестве примера маршрута рассмотрим процесс печати на принтере DragonFly, основанный на технологии моделирования методом послойного наплавления FDM (*Fused Deposition Modeling*). Он состоит из следующих этапов:

1. Виртуальное «расслаивание модели», в процессе которого с помощью программного обеспечения принтера модель по оси Z, соответствующей толщине платы, разбивается на слои заданной толщины.
2. Печать слоя, состоящего из участков диэлектрического и /или проводящего материала.
3. Процесс отверждения для придания слою требуемых электромеханических свойств после его печати. Принтер DragonFly оборудован двумя инструментами для отверждения: ИК-излучателем для спекания металлосодержащей токопроводящей пасты и УФ-излучателем для фотополимеризации диэлектрика.

4. Повторение шагов 2 и 3 для всех последующих слоев.

Процесс спекания (англ. *Sintering*) является наиболее важной операцией при 3D-печати ПП методом экструзии. Его особое влияние на технологический процесс заключается в том, что при спекании изменяются геометрические размеры всех видов напечатанных элементов. Учитывая достаточно высокие требования к допускам плат 3–5 классов точности (предельное отклонение диаметра металлизированного отверстия от 0,3 до 0,5 мм составляет  $\pm 0,05$  мм для всех рассматриваемых классов точности), отклонения геометрических размеров переходных отверстий в 10–15% будут находиться на границе брака изделия.

Yujia Wang с соавторами в работе [20] исследовали влияние на усадку трех основных параметров процесса спекания. Эти параметры – изотермическая температура спекания, скорость нагрева и время спекания. В ходе эксперимента производилось спекание металлопластика, содержащего более 80% объема металлических наночастиц стали 316L, моделью являлся куб с размером ребра, равным 15 мм, выходным параметром была линейная усадка по трем ортогональным осям. Дисперсионный анализ показал, что фактором, оказывающим наибольшее влияние на величину усадки, является изотермическая температура спекания. При этом был выявлен набор оптимальных параметров спекания, который позволил уменьшить величину линейной усадки до 1,5%.

Возможность получения величины линейной усадки токопроводящих элементов в пределах 1,5%, а также контроль размерной точности процесса печати при правильном подборе технологических параметров позволяет говорить о том, что технология 3D-печати может быть использована для прототипирования плат 3–5 классов точности.

## МАТЕРИАЛЫ

В настоящее время в трехмерной печати плат в качестве конструкционных материалов используют проводящие материалы: полимерные компаунды, содержащие наночастицы серебра, золота, меди, никеля, стали, графен, восстановленный оксид графена – и диэлектрики: полилактид (PLA), акрилонитрилбутадиенстирол (ABS), нейлон, поликарбонат (PC), полипропилен (PP), полиарилэфиркетон (PAEK) и др.

В табл. 2 приводится информация для сравнения различных токопроводящих паст друг с другом, а также для сравнения их основной характеристики – электрического сопротивления – с сопротивлением чистых металлов, применяемых в качестве проводников ПП.

Несмотря на то, что наибольшее распространение в традиционной технологии производства ПП нашла медь, в 3D-печати преобладают пасты на основе серебряных и золотых наночастиц, что в первую очередь

# КБТЭМ-ОМО

ОБОРУДОВАНИЕ  
ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ



Дорогие коллеги и друзья!  
Коллектив ОАО «КБТЭМ-ОМО» сердечно поздравляет  
Вас с Днём Машиностроителя!  
Приходите за подарками на ChipEXPO 2019  
(16-18 октября, г. Москва) стенд № С24.



ПРОЕКТИРОВАНИЕ



ГЕНЕРАЦИЯ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ



КОНТРОЛЬ  
ФОТОШАБЛОНОВ



РЕМОНТ  
ФОТОШАБЛОНОВ



ФОТОЛИТОГРАФИЯ



КОНТРОЛЬ  
ПЛАСТИН

## БЕЗМАСОЧНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Многоканальные лазерные генераторы изображений
- Проектная норма 0.35, 0.6  $\mu\text{m}$
- Высокая точность совмещения
- $\varnothing 200, 150, 100$  мм



## ГЕНЕРАТОРЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ

- Диапазон UV, DUV
- Проектная норма 90, 130 нм
- 16/32-лучевая архитектура
- Фазосдвигающие шаблоны
- Быстрая переналадка пластина – шаблон



## КОНТРОЛЬ ФОТОШАБЛОНОВ

- Проектная норма 90, 130, 250 нм
- Твердотельный лазер
- Контроль методом Die-to-DB, Die-to-Die
- Высокая производительность
- Контроль неплоскостности



## РЕМОНТ ФОТОШАБЛОНОВ

- Фемтосекундный лазер
- 0.15/ 0.3/ 0.5  $\mu\text{m}$  min элемент
- Размер шаблона до 9"х9"
- Ремонт копированием
- Ремонт через пелликл
- Прозрачные / непрозрачные дефекты



## КОНТАКТНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Ручная и автоматизированная загрузка
- Двусторонняя литография
- Высокая точность совмещения
- Низкий уровень генерации дефектов
- Высокая энергоэффективность



## СТЕППЕРЫ

- Проектная норма 0.35, 0.8  $\mu\text{m}$
- Автоматический масштаб
- Двустороннее совмещение
- $\varnothing 100, 150, 200$  мм
- Твердотельный источник света



## КОНТРОЛЬ ТОПОЛОГИИ

- Контроль привносимых дефектов пластин без топологии
- Автоматический микро и макро контроль дефектов пластин с топологией
- Высокая производительность



## АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЕ

- Контроль микrorазмеров
- Контроль неплоскостности
- Контроль координат
- Контроль толщин
- Контроль рассовмещения



*Создаем традиции будущего!*

Республика Беларусь  
220033, г. Минск  
Партизанский пр-т, 2

тел: (+375 17) 226 09 82  
(+375 17) 223 71 28  
факс: (+375 17) 226 12 05

office@kbtem-omo.by  
kbtem.omo@gmail.com  
www.kb-omo.by



Таблица 2. Характеристики токопроводящих материалов

Токопроводящий материал	Материал основания	Метод нанесения пасты	Обработка после нанесения	Удельное сопротивление, $\times 10^{-8}$ Ом·м
<b>Пасты</b>				
Наночастицы серебра [23]	Полиимид	Графаретная печать	250 °С	5,6
	Бумага	Струйная печать	Без обработки	3,66
	Полиэтилентерефталат	Струйная печать	Плазма	28
Наночастицы меди	Полиимид [23]	Графаретная печать	240 °С	1,62
	Стекло [12]	Струйная печать	325 °С	1,72
Наночастицы золота [23]	Полиимид	Струйная печать	140 °С	19,9
	Бумага	Струйная печать	ИК-излучатель	0,5
Наночастицы никеля [23]	Полиимид	Аэрозольное распыление	УФ-излучатель	7,8
	Полиимид	Центрифугирование	УФ-излучатель	76,3
Наночастицы стали [22]	Стекло	Послойное наплавление	1 010 °С	2,31
Графен [23]	Полиимид	Струйная печать	250 °С	4 000
	Полиимид	Графаретная печать	300 °С	5 370
<b>Металлы</b>				
Серебро	Полиимид, стеклотекстолит	Вакуумное напыление + гальваническое осаждение	Без обработки	1,6
Медь				1,72
Золото				2,2
Никель				8,7

связано с инертностью этих металлов к кислороду при нормальных условиях. На данный момент очень небольшое число производителей токопроводящих материалов

разработали рецептуру и технологию изготовления паст и чернил на основе наночастиц меди. Но работы в этом направлении ведутся как в зарубежных научных институтах и компаниях, так и в отечественных.

Из табл. 2 видно, что полученные трехмерной печатью проводящие слои по сопротивлению не уступают, а в некоторых случаях и превосходят электрические показатели проводников из чистых металлов. Получаемые после спекания металлы представляют собой мелкозернистые структуры [10–12, 16, 22] с приемлемыми механическими свойствами, по плотности практически не уступающие листовым металлам [22].

Непроводящие материалы, или диэлектрики, применяющиеся в 3D-печати ПП, являются классическими полимерами-пластмассами. Механические и электрические характеристики основных полимеров, используемых сегодня в этой технологии, приведены в табл. 3.



50 лет  
убеждаем  
качеством

**СТЭП**  
ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ  
Комплексное проектирование  
промышленных предприятий

ОАО «Ставропольский  
Электронпроект»  
355029, г. Ставрополь,  
ул. Ленина, 468

**Луковка  
Евгений  
Александрович**  
Генеральный директор

Тел. : 8 800 222 75 76  
E-mail : [step@oboron77.ru](mailto:step@oboron77.ru)  
[www.oboron77.ru](http://www.oboron77.ru)



## ИНТЕЛЛЕКТ. КАЧЕСТВО.

АО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»  
Москва, Щелковское шоссе, д.5, стр.1  
Тел. (499) 644-21-03, (499) 644-25-62  
(многоканальный)  
Факс +7(499) 644-19-70  
E-mail: [mwsystems@mwsystems.ru](mailto:mwsystems@mwsystems.ru)  
[www.mwsystems.ru](http://www.mwsystems.ru)

- СОВРЕМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ТЕХНОЛОГИИ
- ОПТИМАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ЦЕНА/КАЧЕСТВО
- ПОЛНЫЙ СПЕКТР УСЛУГ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРОИЗВОДСТВУ МОНОЛИТНЫХ И ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ, ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ, МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЧ-УСТРОЙСТВ И БЛОКОВ РЭА (0,3 - 22 ГГц)

## АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»

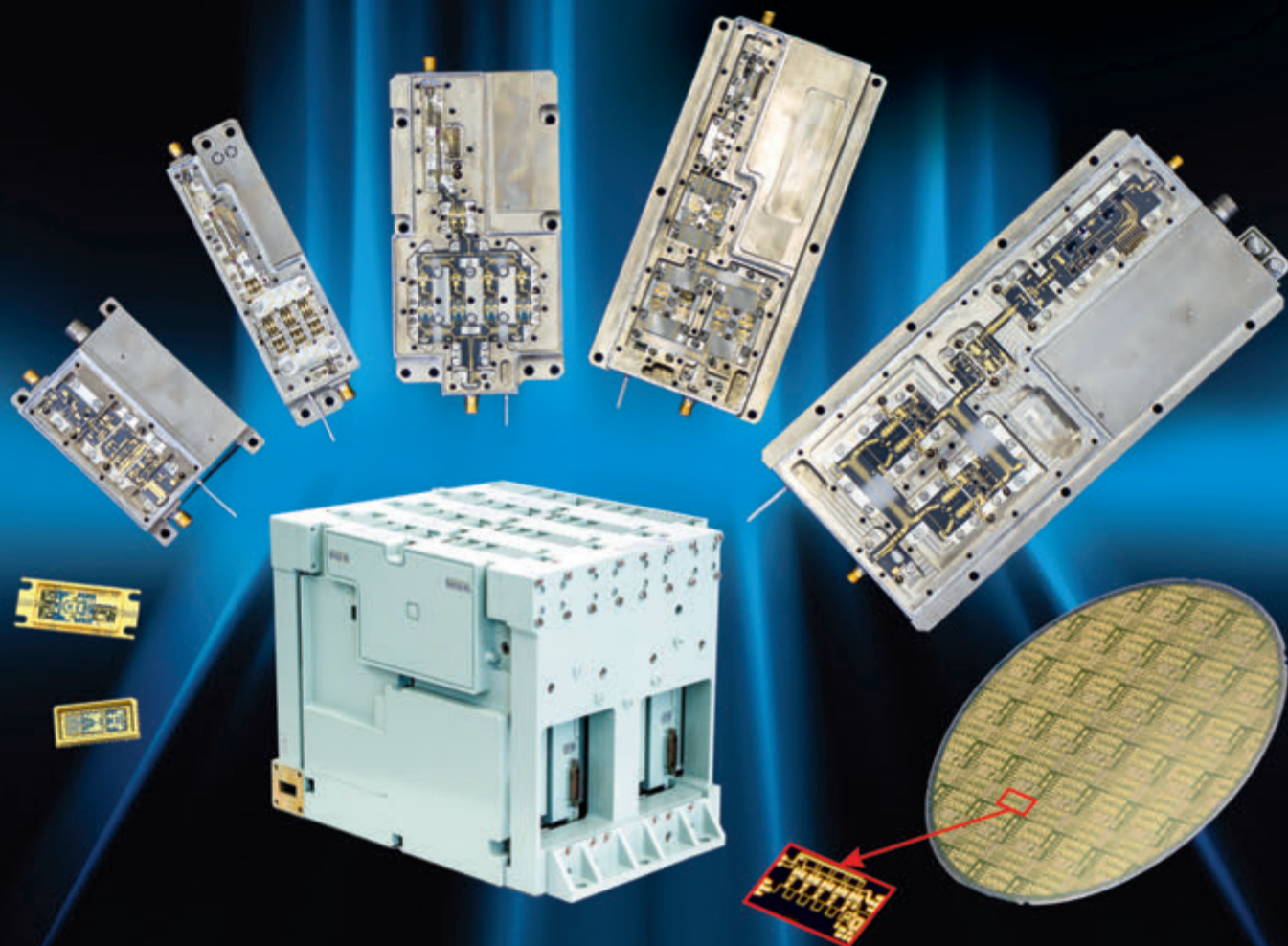




Таблица 3. Характеристики непроводящих материалов

Материал (диэлектрик)	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности, МПа	Модуль упругости, ГПа	Относительное удлинение, %	Диэлектрическая постоянная	Диэлектрическая прочность, МВ/м	Объемное сопротивление, Ом·м
Полипропилен	1,19	38	1,6	16	2,2	55	10 <sup>15</sup>
АБС	1,09	26	2,2	2	2,6-2,86	13	От 4·10 <sup>13</sup> до 3,3·10 <sup>14</sup>
Поликарбонат	1,17	52	2,6	6	2,5-3,1	23	От 5·10 <sup>12</sup> до 10 <sup>15</sup>
Полиарилэфиркетон	1,32	90	4,2	2,8	3,2-3,4	24	10 <sup>14</sup>

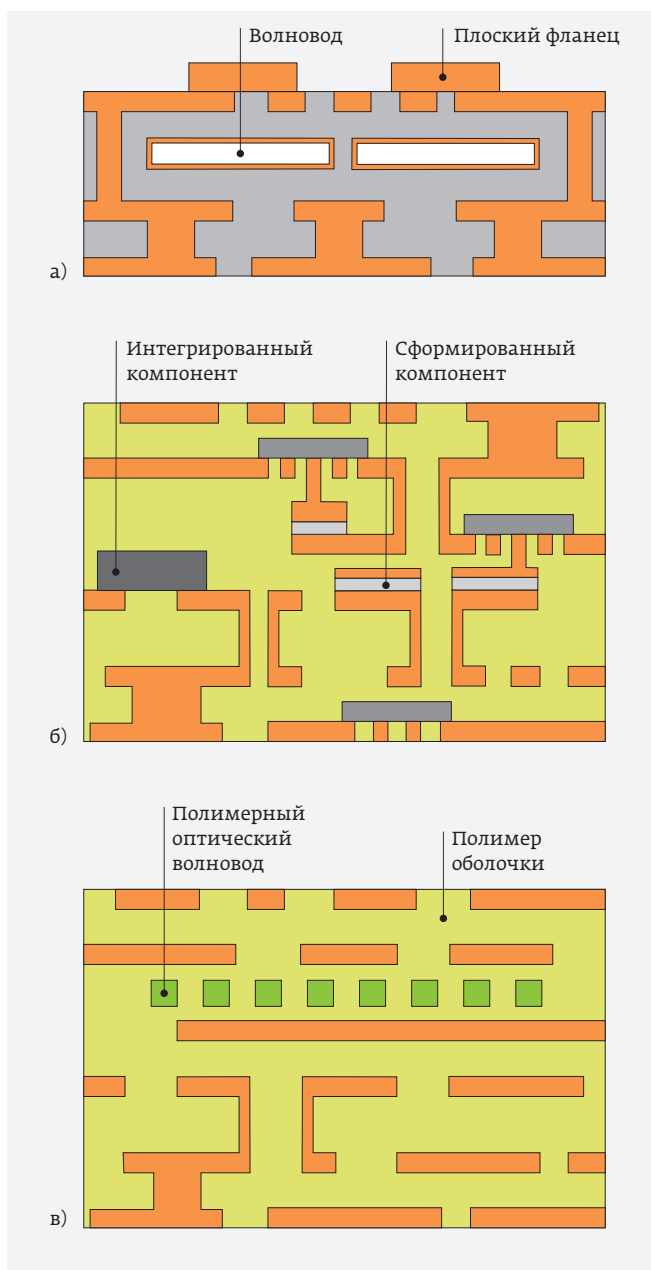
### ПЕРСПЕКТИВЫ 3D-ПЕЧАТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Сегодня технология 3D-печати многослойных ПП используется в основном для создания макетных образцов, позволяющих в лабораторных условиях проверить правильность функционирования разрабатываемого устройства, а также для изготовления прототипов электронных узлов с умеренными требованиями к электрическим и эксплуатационным характеристикам. Однако при условии проведения работ по созданию термостойких полимерных материалов для 3D-печати, обладающих более высокими и стабильными диэлектрическими характеристиками, заданными оптическими свойствами, низкой гигроскопичностью, высокой адгезией к теплопроводящим керамикам, анодированному алюминию, меди или другими востребованными свойствами, станет возможным изготавливать платы таких конструкций (рис. 5), которые не могут быть реализованы традиционно применяемыми технологиями производства ПП.

К таким конструкциям относятся платы с замкнутыми полостями контролируемых геометрических размеров и свойств их поверхностей. Например, конструкция платы с волноводами СВЧ-диапазона (рис. 5а), которые могут быть напечатаны не только прямолинейными, но и изогнутыми, скрученными или иметь переменное поперечное сечение.

Для реализации таких плат, помимо решения вопроса получения новых материалов со стабильными диэлектрической проницаемостью и тангенсом угла диэлектрических потерь, также необходимо решить вопросы разработки

Рис. 5. Конструкции печатных плат, доступные технологии 3D-печати: а – печатная плата с волноводами сверхвысокочастотного диапазона; б – многослойная печатная плата со встроенными компонентами; в – оптоэлектронная плата с полимерными оптическими волноводами



**interlight**  
RUSSIA

**intelligent building**  
RUSSIA

Международная выставка освещения,  
систем безопасности, автоматизации зданий  
и электротехники

**10–13 сентября 2019**

ЦВК «Экспоцентр»  
Москва

## Light



Технический свет



Компоненты



LED-технологии



Декоративный  
свет



Электрические  
лампы

## Building



Электротехника



Умный дом



Автоматизация зданий



Интегрированные  
системы безопасности



Умный город

[www.interlight-building.ru](http://www.interlight-building.ru)



messe frankfurt

специальных мер по снижению вибраций, возникающих в процессе 3D-печати. В работе [24] приводится зависимость шероховатости боковой поверхности формируемого элемента от вибраций при разных скоростях печати. Исследование показало, что вибрации оказывают малое воздействие на качество изделия при печати в стандартных диапазонах скоростей. Однако при превышении скорости печати более чем в полтора раза вибрации по оси Z принимают существенное значение. Результаты подобного рода исследований говорят о том, что при необходимости повышения производительности печати отсутствие системы виброизоляции не позволяет достигать требуемого минимального зазора между токопроводящими элементами платы, а также влияет на шероховатость боковых граней элементов по причине рассовмещения печатаемых слоев.

Большой интерес представляет возможность совмещения 3D-печати с интеграцией корпусированных пассивных электронных компонентов (рис. 5б). В работе [25] подтверждается предположение о том, что при остановке принтера в ручном режиме для установки, пайки, монтажа на клей радиоэлектронных элементов (РЭ) возможно продолжение печати без каких-либо последствий, в том числе без ухудшения качества электромеханического соединения с контактами РЭ. В работе демонстрируется функционирующее светодиодное устройство, в котором на отдельно изготовленное оптически прозрачное полимерное основание устанавливается контактами вверх диод типа 5050, а затем на том же принтере создаются проводники с помощью проводящей пасты Electrifi (Multi3D LLC, США).

При разработке материалов, позволяющих формировать пассивные компоненты (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности и т. д.) непосредственно на слоях многослойной печатной платы, а также интегрировать корпусированные компоненты без применения операции пайки, возможно получение печатных узлов того уровня надежности, который является приемлемым для изделий широкого потребления.

В связи с развитием оптоэлектронных технологий возникла необходимость исследований и разработок в области конструкций плат с оптическими межсоединениями. Трехмерная печать может быть наиболее технологичным решением при изготовлении многослойных печатных плат с полимерными оптическими волноводами (рис. 5в): процесс может быть реализован как печать на полимерном слое оболочки с коэффициентом преломления  $n_1$  оптически более плотным полимером сердцевины с коэффициентом преломления  $n_2$  ( $n_1 < n_2$ ) с последующим запечатыванием материалом оболочки и печатью электрических слоев платы [26].

В данном случае, помимо минимизации шероховатости боковых граней и повышения точности взаимного расположения оптических волноводов в плоскости XY (размер квадратного сечения сердцевины от единиц до десятков микрометров, шаг 125 мкм) за счет улучшения систем виброизоляции, необходимо разработать оптически прозрачные полимеры с заданными коэффициентами преломления на длинах волн, характерных для работы приемопередающих устройств (длины волн 780, 850 или 980 нм).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получаемые уже сегодня методами 3D-печати низкочастотные платы и устройства относятся к классу неремонтопригодных изделий с ограниченной надежностью, что является некритичным для прототипов и товаров широкого потребления, но неприемлемо для изделий специального назначения. Перспективы повышения надежности в рамках этой технологии ограничены физико-химическими свойствами применяемых материалов, такими как температурная и химическая деградация диэлектриков, их хрупкость, низкая механическая прочность, недостаточные для работы на высоких частотах значения диэлектрических параметров, а также высокие контактные сопротивления, нестабильность и ухудшение электрических характеристик проводников во времени и т. д. Реализация широкого спектра потенциальных возможностей трехмерной печати для изготовления многослойных оснований электронных узлов предполагает как серьезную научно-исследовательскую работу по усовершенствованию оборудования для 3D-печати (объединение в одном принтере нескольких методов печати двумя-тремя материалами, улучшение системы виброизоляции и др.), так и разработку новых конструктивных материалов с заданными свойствами.

Как бы то ни было, на сегодняшний день и ближайшую перспективу трехмерная печать даже для предприятий с ограниченными объемами производства печатных плат может рассматриваться только как дополнение к традиционным аддитивным и субтрактивным технологическим процессам, но не как их полноценная замена.

**ЗАО "Руднев-Шиляев"**

Разработка и производство:

- платы сбора данных
- измерительные приборы
- виброакустические системы
- инструментальные решения задач заказчика

Москва (495) 787-63-67  
(495) 787-63-68

www.rudshel.ru  
adc@rudshel.ru

# POWER ELECTRONICS



16-я Международная выставка  
компонентов и модулей  
силовой электроники

**22–24 октября 2019**  
Москва, Крокус Экспо

## Силовая Электроника

ufi  
Approved  
Event

Единственная в России  
специализированная  
выставка компонентов  
и модулей силовой электроники  
для различных отраслей  
промышленности

Организатор — компания MVK  
Офис в Санкт-Петербурге



Международная  
Выставочная  
Компания

+7 (812) 380 6009/00  
power@mvk.ru

Подробнее о выставке:

**powerelectronics.ru**

12+

## ЛИТЕРАТУРА

- Мануков Д. А., Башенов Р.** 3D-печать в прототипировании печатных плат. [Электронный ресурс] // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции. – М.: ООО «КванторФорм», 2019. URL: studvesna.ru?go=articles&id=2558 (дата обращения: 23.04.2019).
- Фурман И.** Электронные компоненты для высоконадежных приложений // Новости электроники. 2008. № 15. С. 3–4.
- Медведев А., Можаров В., Мылов Г.** Печатные платы. Современное состояние базовых материалов // Печатный монтаж. 2011. № 5. С. 148–162.
- Богданов Ю., Кочемасов В., Хасьянова Е.** Фольгированные диэлектрики – как выбрать оптимальный вариант для печатных плат ВЧ/СВЧ-диапазонов. Часть 1 // Печатный монтаж. 2013. № 2. С. 156–168.
- Богданов Ю., Кочемасов В., Хасьянова Е.** Фольгированные диэлектрики – как выбрать оптимальный вариант для печатных плат ВЧ/СВЧ-диапазонов. Часть 2 // Печатный монтаж. 2013. № 3. С. 142–147.
- Медведев А., Сержантов А., Семенов П.** Инженерное обеспечение производства электроники // Технологии в электронной промышленности. 2006. № 6. С. 70–75.
- Ruitao Su, Sung Hyun Park.** 3D printed electronic materials and devices // Robotic Systems and Autonomous Platforms. 2019. P. 309–334.
- Yun Mou, Yuru Zhang.** Fabrication of highly conductive and flexible printed electronics by low temperature sintering reactive silver ink // Applied Surface Science. 2018. № 459. P. 249–256.
- Sen Wai Kwok, Kok Hin Henry Goh.** Electrically conductive filament for 3D-printed circuits and sensors // Applied Materials Today. 2017. № 9. P. 167–175.
- Razieh Hashemi Sanatgar.** Investigation of the adhesion properties of direct 3D printing of polymers and nanocomposites on textiles: Effect of FDM printing process parameters // Applied Surface Science. 2017. № 403. P. 551–563.
- Vadim Bromberg, Siyuan Ma.** High-resolution inkjet printing of electrically conducting lines of silver nanoparticles by edge-enhanced twin-line deposition // Applied Physics Letters. 2013. № 102.
- Bong Kyun Park, Dongjo Kim.** Direct writing of copper conductive patterns by ink-jet printing // Thin Solids Films. 2007. № 515. P. 7706–7711.
- Tuan Sang Tran, Naba Kumar Dutta.** Graphene inks for printed flexible electronics: Graphene dispersions, ink formulations, printing techniques and applications // Advances in Colloid and Interface Science. 2018. № 261. P. 41–61.
- Zhangwei Chen, Ziyong Li.** 3D printing of ceramics: A review // Journal of the European Ceramic Society. 2019. № 39. P. 661–687.
- John Ryan C. Dizon, Alejandro H. Espera Jr., Qiyi Chena, Rigoberto C. Advinculaa.** Mechanical characterization of 3D-printed polymers // Additive Manufacturing. 2018. № 20. P. 44–67.
- Sochol R. D., Sweet E.** 3D printed microfluidics and microelectronics // Microelectronic Engineering. 2018. № 189. P. 52–68.
- Липкин Е.** Индустрия 4.0: Умные технологии – ключевой элемент в промышленной конкуренции. – М.: Остек-СМТ, 2017. 224 с.
- Frank A. C., Dalenogare L. S.** Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies // International Journal of Production Economics. 2019. № 210.
- ASTM/ISO 52900:2015(en). «Additive manufacturing. General principles. Terminology».
- Yujia Wang, Yaoyao Fiona Zhao.** Investigation of sintering shrinkage in binder jetting additive manufacturing process // Procedia Manufacturing. 2017. № 10. P. 779–790.
- Tofail S. A. M., Koumoulos E. P.** Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities // Materials Today. 2017. № 21. P. 22–37.
- Hauijun Gong.** Material properties and shrinkage of 3D printing parts using ultrafuse stainless steel 316 LX filament // MATEC Web of Conferences. 2018. № 249.
- Kamyshny A., Magdassi S.** Conductive nanomaterials for 2D and 3D printed flexible electronics // The Royal Society of Chemistry. 2018. № 6.
- Zbigniew Pilch.** The impact of vibration of the 3D printer table on the quality of print // Selected Problems of Electrical Engineering and Electronics (WZEE). 2015.
- Flowers P. F., Reyes C.** 3D printing electronic components and circuits with conductive thermoplastic filament // Additive Manufacturing. 2017. № 18. P. 156–163.
- Боброва Ю. С., Андроник М., Самадов Б. Б. и др.** Особенности нанесения жидких фотополимеров при формировании планарных оптических волноводов // Фотоника, 2017. № 2. С. 34–41.

ООО  
СМП



ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН

www.SMD.ru

электронные  
для поверхностного  
монтажа

КОМПОНЕНТЫ

НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК



- Сдвигные переключатели на 2 и 3 положения
- Керамические радиаторы для микросхем

Москва, Ленинградский пр., 60 к. 32; e-mail: sale@smd.ru  
Тел. (499) 158-7396, (495) 940-8244, (499) 943-8790