

# Исследование средств активации-сенсibilизации для мелкосерийного и единичного производства печатных плат

Ф. Бараковский<sup>1</sup>, С. Ванцов, к. т. н.<sup>2</sup>

УДК 621.3.049.75::621.793

В настоящей работе представлено исследование доступных мелкосерийным предприятиям средств активации-сенсibilизации для процесса прямой металлизации печатных плат по критериям стадийности процесса, времени подготовки поверхности, количества необходимой оснастки, стоимости технологической операции. Также в работе исследуется качество используемых средств активации-сенсibilизации по общим параметрам: разрешающей способности, пригодности к исследованию качества металлизации с помощью инвазивных средств контроля, проводимости слоя активатора на поверхности ПП.

Полученные результаты могут быть полезны для организации мелкосерийного или единичного производства ПП с наиболее низкой стоимостью.

## ВВЕДЕНИЕ

Производство печатных плат (ПП) является важным звеном глобальной цепочки поставок электронных устройств [1, 2]. Работоспособность, надежность и долговечность ПП в значительной мере определяются технологическими операциями металлизации, от качества которой в конечном итоге зависит качество всего устройства.

Металлизация ПП в большинстве случаев осуществляется путем химического меднения – этот процесс используют не менее 90% компаний в России [3]. Однако его реализация требует наличия громоздкой гальванической линии, состоящей как минимум из шести ванн. Их большие объемы и сложные составы содержащихся в них растворов создают сложности в обслуживании таких линий, а также в контроле состояний растворов.

Альтернативой является более перспективная, но еще недостаточно освоенная в России технология прямой металлизации [4, 5].

Наиболее распространенной системой прямой металлизации на данный момент является система на основе

палладиевого активатора. При активации на отверстиях ПП создается полукolloидальная пленка палладия, на которую впоследствии осаждается гальваническая медь. Однако растворы цикла прямой металлизации с использованием палладиевого активатора имеют большую стоимость (>80 тыс. руб. за литр), поставляются в больших объемах (от 20 л), а главное – являются для российского производства продуктом импорта. В условиях невозможности прямой покупки растворов прямой металлизации единственными альтернативами остаются параллельный импорт и переход обратно на химическое меднение. К тому же прямая металлизация также осуществляется в гальванических линиях, применение которых, в силу специфики осуществляемых на них технологических операций, оправдано только для крупносерийного производства. Приобретение расходных растворов путем параллельного импорта также проблематично для мелкосерийных предприятий и для лабораторий, в которых печатные платы изготавливаются штучно. Но в настоящее время в России основным типом производителей ПП являются именно мелкосерийные производства, а чаще – цеха в составе предприятий, для которых производство печатных узлов являются одной из составных частей изготовления основной продукции [6, 7].

<sup>1</sup> МАИ (НИУ), аспирант, barakovskyfa@gmail.com.

<sup>2</sup> МАИ (НИУ), доцент, van2851@mail.ru.

**Таблица 1.** Стадийность подготовки детали с палладиевым активатором

| Этап           | Процесс                       | Время обработки, с |
|----------------|-------------------------------|--------------------|
| 1              | Очистка поверхностей          | 420                |
| 2              | Промывка погружная            | 30                 |
| 3              | Промывка струйная             | 40                 |
| 4              | Преактивация                  | 30                 |
| 5              | Активация                     | 420                |
| 6              | Промывка погружная            | 30                 |
| 7              | Промывка струйная             | 40                 |
| 8              | Ускорение                     | 420                |
| 9              | Промывка погружная            | 30                 |
| 10             | Промывка струйная             | 40                 |
| 11             | Стабилизация (антиокислитель) | 120                |
| 12             | Промывка погружная            | 30                 |
| 13             | Сушка                         | 600                |
| Времени итого: |                               | 2 250              |

В настоящей работе исследуются две системы активации-сенсibilизации ПП перед стадией прямой металлизации, а именно активация графитом и активация комплексом на основе гипофосфита меди. Проведен сравнительный анализ этих средств активации с палладиевым активатором системы SYSTEM-S, обладающей наиболее развитой на данный момент технологией прямой металлизации. Критерии, по которым проводится сравнение, следующие:

- стадийность процесса;
- время подготовки поверхности;
- количество необходимой оснастки;
- стоимость;
- разрешающая способность;
- пригодность к исследованию качества металлизации с помощью инвазивных средств контроля;
- проводимость слоя активатора на поверхности ПП.

Процесс прямой металлизации SYSTEM-S на основе палладиевого активатора состоит из шести стадий с семью промывками между ними. Стадийность процесса представлена в табл. 1.

Процесс обеспечивает хорошую адгезию осажденного покрытия и сравнительно высокую электрическую проводимость (>1 См), при этом коллоидный характер

активатора практически не имеет пределов по разрешающей способности.

У данной технологии есть и существенные недостатки. Помимо раствора активации, выполненного на основе палладия, олова (а иногда и серебра), необходимо наличие других растворов для преактивации, ускорения, стабилизации, которые невозможно регенерировать; значит, помимо высокой стоимости активатора, напрямую зависящей от стоимости входящих в него драгоценных металлов, на конечную стоимость влияют все химические реактивы системы. Эксплуатация такой системы требует также наличия шести отдельных ванн для обработки деталей на каждой стадии, не считая гальванической ванны.

Процесс занимает около 37,5 мин, время металлизации до 25 мкм при идеальных условиях при плотности 3 А/дм<sup>2</sup> достигает 65 мин.

Одной из альтернатив палладиевой системе может выступать графитовая система активации, расходные материалы для которой могут быть изготовлены самостоятельно. Стадийность процесса отображена в табл. 2.

Процесс имеет меньше стадий по сравнению с System-S и длится приблизительно на семь минут меньше. Для графитовой активации может подойти графитовая смазка или спрей, растворенные в ацетоне, что обуславливает низкую стоимость такого решения.

Этот способ также имеет ряд существенных недостатков. Графитовое покрытие уступает в электропроводности палладиевой системе, а невозможность получить мелкодисперсный коллоидный раствор графита

**Таблица 2.** Стадийность подготовки детали с графитовым активатором

| Этап           | Процесс                             | Время обработки, с |
|----------------|-------------------------------------|--------------------|
| 1              | Кондиционирование                   | 420                |
| 2              | Промывка струйная                   | 30                 |
| 4              | Промывка погружная                  | 40                 |
| 6              | Активация                           | 60                 |
| 7              | Сушка                               | 600                |
| 8              | Зачистка активированной поверхности | 60                 |
| 9              | Промывка погружная                  | 30                 |
| 10             | Финальная сушка                     | 600                |
| Времени итого: |                                     | 1 840              |

**Таблица 3.** Стадийность подготовки детали с активатором на основе комплекса гипофосфита меди

| Этап           | Процесс                         | Время обработки, с |
|----------------|---------------------------------|--------------------|
| 1              | Травление                       | 30                 |
| 2              | Промывка струйная               | 30                 |
| 4              | Промывка погружная              | 40                 |
| 6              | Активация                       | 60                 |
| 7              | Сушка                           | 600                |
| 8              | Промывка струйная под давлением | 60                 |
| Времени итого: |                                 | 820                |

сказывается на разрешающей способности системы. Также графитовое покрытие обладает куда худшей адгезией. Более того, остающийся под слоем меди графит не позволяет обеспечить инвазивный контроль толщины и качества покрытия.

Еще одной системой прямой металлизации является технология на основе аммиачного комплекса гипофосфита меди. Об этом способе активации известно довольно давно [8], однако до сих пор он мало изучен даже в сравнении с графитовыми системами активации. И тем не менее использование именно этой системы активации может решить проблему невозможности эксплуатации линии прямой металлизации при отсутствии импортных реагентов.

Суть метода заключается в получении в качестве токопроводящего слоя пленки в результате термического воздействия на комплексную соль гипофосфита меди. Термическое разложение этой соли – окислительно-восстановительный процесс в твердой фазе с образованием металлической меди, гидрида меди, оксида меди. При нагревании сначала кристаллизуется соль, затем выделяется медь. Контроль полноты термолитоза осуществляют визуально по цвету образовавшегося осадка. Цвет внутри отверстий и на активированной поверхности ПП должен быть от темно-коричневого до черного. Затем осуществляется струйная промывка проточной водой. Продукты разложения удаляются с поверхности фольги механическим путем – посредством очистки влажной смесью шлифовальной извести и маршалита. Затем проводится гальваническое меднение и все последующие стандартные операции.

Стадийность процесса отражена в табл. 3. Из таблицы видно, что этот процесс занимает существенно меньше времени в сравнении с другими описанными процессами, а также имеет меньше стадий. Из дополнительных

реагентов требуется только раствор травления, имеющийся на любом предприятии или участке, выполняющем изготовление ПП хотя бы субтрактивным методом.

Данная система активации имеет ряд уникальных преимуществ:

- исключается из процесса металлизации гальваническая затяжка, что приводит к значительному экономическому эффекту: отпадает необходимость в дорогих растворах;
- возрастает производительность технологической линии металлизации до этапа гальванической металлизации, поскольку некоторое количество металлической меди осаждается из соли уже на этапе активации как один из компонентов формируемой токопроводящей пленки.
- повышается качество металлизации и надежность печатных плат, поскольку исключено контактное выделение палладия на незащищенных участках плат.

Недостатки системы следующие:

- наблюдаются разрывы металлизации в месте стыковки металлизированного отверстия и контактной площадки на поверхности ПП;
- существует трудность удаления продуктов термолитоза как из отверстий, так и с поверхности фольги, что создает препятствия для использования системы в полностью аддитивных технологиях изготовления многослойных ПП.

Из проведенного анализа следует вывод, что в задачах прототипирования в качестве альтернативы прямой металлизации на основе палладиевого активатора можно рассматривать и графитовую систему, и систему на основе гипофосфита меди (ГФМ). При этом для наиболее ответственных задач единственной альтернативой является система прямой металлизации на основе комплекса ГФМ.

## ЭКСПЕРИМЕНТ

Вышеизложенные общие положения экспериментально проверялись при исследовании качества металлизации монтажных отверстий на печатной плате.

Для этих целей был синтезирован электролит следующего состава:

- $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ : 90 г/л;
- $\text{H}_2\text{SO}_4$  плотность 1,84 гр./см<sup>3</sup>: 200 г/л;
- NaCl: 0,125 г/л;
- добавка J-PLATE CU-400: 6 мл/л;
- вода: 703,875 г/л.

Использовались две заготовки из стеклотекстолита толщиной 2 мм и площадью 1 дм<sup>2</sup> с отверстиями диаметром 1, 0,8, 0,5, 0,3 мм (по 10 отверстий каждого диаметра). В дальнейшем будет использоваться характеристическое отношение, представляющее собой отношение диаметра

ОРГАНИЗАТОР



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВЫСТАВОЧНЫЙ ОПЕРАТОР



МКВ  
МЕЖДУНАРОДНЫЕ  
КОНГРЕССЫ И ВЫСТАВКИ



**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ФОРУМ «АРМИЯ-2023»**

**14–20 АВГУСТА  
ПАТРИОТ ЭКСПО**

[www.rusarmyexpo.ru](http://www.rusarmyexpo.ru)

отверстия к его глубине. Например, характеристическое отношение для отверстия диаметром 0,5 мм глубиной в 2 мм будет равно 4:1.

Далее заготовки были подготовлены к электрохимической металлизации по графитовой системе и системе на основе комплекса ГФМ в соответствии с табл. 2 и 3. Заготовки поочередно подвергались операции электрохимического меднения в гальванической ванне в объеме синтезированного электролита в течение 65 мин при токе  $3 \text{ А/дм}^2$ .

Внешний вид металлизированных отверстий диаметра 0,5 мм для графитовой системы и системы на основе комплекса ГФМ приведен на рис. 1. На фотографии видно, что на активированной графитом детали металлизированная поверхность шершавая и неровная, особенно в отверстиях и рядом с ними. Это вызвано недостаточной дисперсией наносимого графита. Это видится препятствием для металлизации отверстий с большим характеристическим соотношением. Деталь, активированная с помощью комплекса ГФМ, показывает более равномерное покрытие. Неравномерность цвета осажденной меди объясняется естественными подтравками детали в кислотной среде электролита при сильно различающихся поляризациях в разных частях детали.

Контроль состояния металлизации осуществлялся двумя методами: инвазивным и неинвазивным.

Неинвазивный метод контроля состоял в использовании компьютерной томографии образцов для выявления дефектов металлизации и контроля толщины осажденного покрытия. Этот метод являлся основным ввиду существенно меньшего затрачиваемого времени на контроль параметров и возможности получить трехмерную картину образца с высоким разрешением.

Инвазивный метод контроля заключался в изготовлении микрошлифов отверстий с целью выявления пригодности инвазивных (разрушающих) средств контроля к исследуемой системе прямой металлизации, а также для создания поправочных коэффициентов в случае, если калибровка системы рентгеновского контроля была бы неточной.

Первой исследовалась графитовая система прямой металлизации. При изготовлении микрошлифов выявлено, что этот метод контроля металлизации не пригоден к использованию в исследуемой системе. Оставшийся под слоем осажденного медного покрытия графит крошится в момент изготовления микрошлифа, разрушая тем самым осажденное покрытие. На рис. 2 представлен микрошлиф отверстия диаметра 0,5 мм,

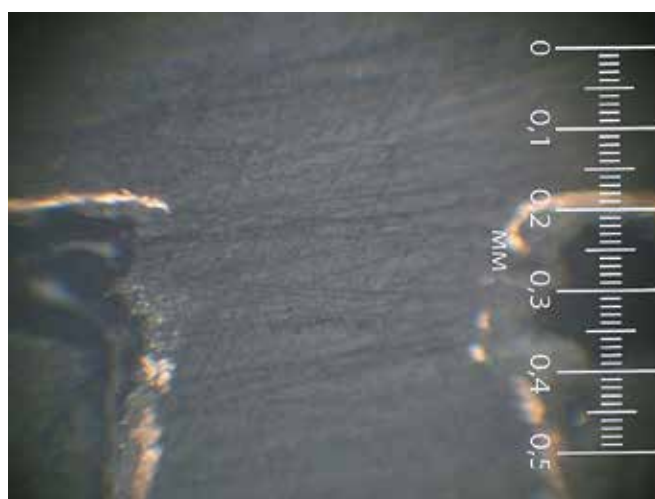


**Рис. 1.** Внешний вид заготовок после металлизации. Снято с 50-кратным увеличением. Справа – заготовка, активированная по графитовой системе, слева – с помощью комплекса ГФМ

при изготовлении которого часть металлизации потеряна вследствие разрушения графитового слоя. Это также говорит о плохой адгезии покрытия, осаждаемого этим способом.

Толщина осажденного покрытия при изготовлении ПП за весь цикл металлизации методом на основе графита составляет не более 20 мкм, что сулит большие затраты времени на цикл металлизации по сравнению с палладиевой системой, в которой за тот же временной цикл при токе в  $3 \text{ А/дм}^2$  осаждается не менее 25 мкм меди.

В дальнейшем исследовались металлизированные отверстия, полученные при активации комплексом ГФМ. На рис. 3 продемонстрирована нижняя и верхняя части отверстия. Слой металлизации плотно прилегает к текстолитовому основанию, отсутствуют разрывы металлизации. Также проведен анализ деталей с помощью компьютерной томографии (КТ) для исследования равномерности осажденного покрытия. Скриншот



**Рис. 2.** Разрыв металлизации отверстия ПП при изготовлении микрошлифа



САМОЕ ПОСЕЩАЕМОЕ ОТРАСЛЕВОЕ  
МЕРОПРИЯТИЕ СЕВЕРО-ЗАПАДА  
РОССИИ!\*

XXIII МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
РАДИОЭЛЕКТРОНИКА  
& ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

27-29  
СЕНТЯБРЯ  
2023

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
КВЦ ЭКСПОФОРУМ



\*Выставку 2022 года посетили более 7 964 специалиста



[www.radelexpo.ru](http://www.radelexpo.ru)  
(812) 718-35-37

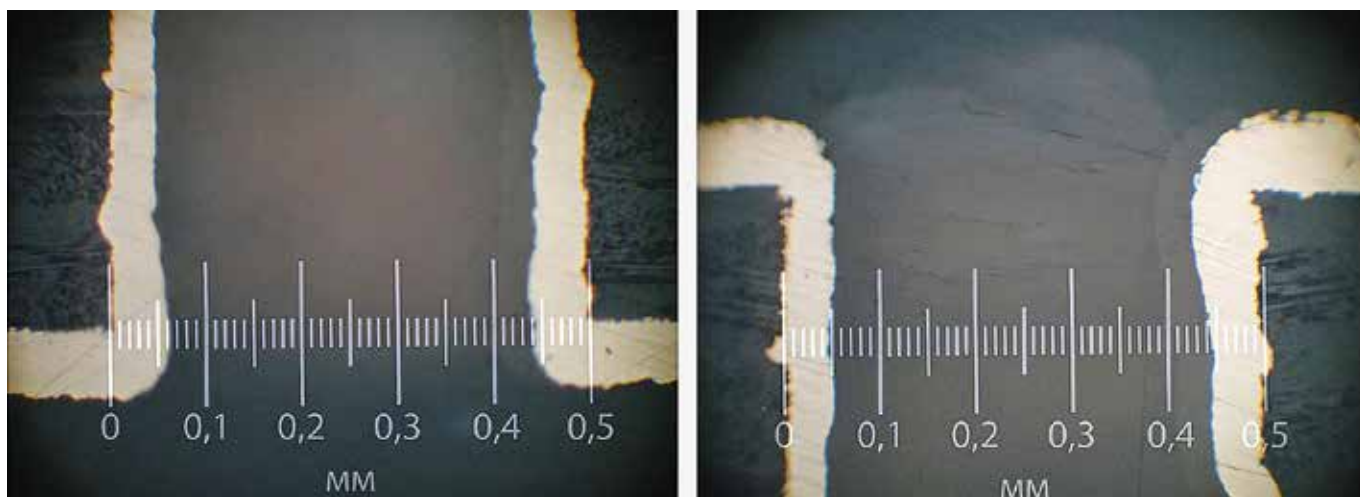


Рис. 3. Микрошлиф отверстия 0,5 мм, металлизированного с помощью комплекса ГФМ

реконструкции компьютерной томограммы (для отверстия диаметром 0,5 мм) представлен на рис. 4, где изображен срез двух отверстий на трехмерной реконструкции КТ.

Разрывов внутри отверстий обнаружено не было, однако наблюдаются дефекты в виде неравномерности покрытия некоторых отверстий (рис. 5), которых можно избежать добавлением в электролит специальных выравнивающих добавок [9].

Данные о минимальной толщине покрытия при осаждении в течение 65 мин при токе 3 А/дм<sup>2</sup> для отверстий разных характеристических отношений обобщены в табл. 4.

Из проведенных опытов можно сделать вывод, что в качестве альтернативы палладиевой системы прямой металлизации имеет смысл рассматривать только систему на основе комплекса ГФМ, так как графитовая система прямой металлизации не поддается контролю толщины и равномерности осажденного покрытия с помощью микрошлифов и не показала достаточной адгезии, так что слой металлизации рухнет даже при изготовлении шлифа.

Заготовка, активированная комплексом ГФМ, показала неразрывное покрытие. Полученная минимальная толщина металлизации отверстий с соотношением 4:1, равная 40 мкм, существенно больше, чем типичное значение толщины покрытия для палладиевого активатора

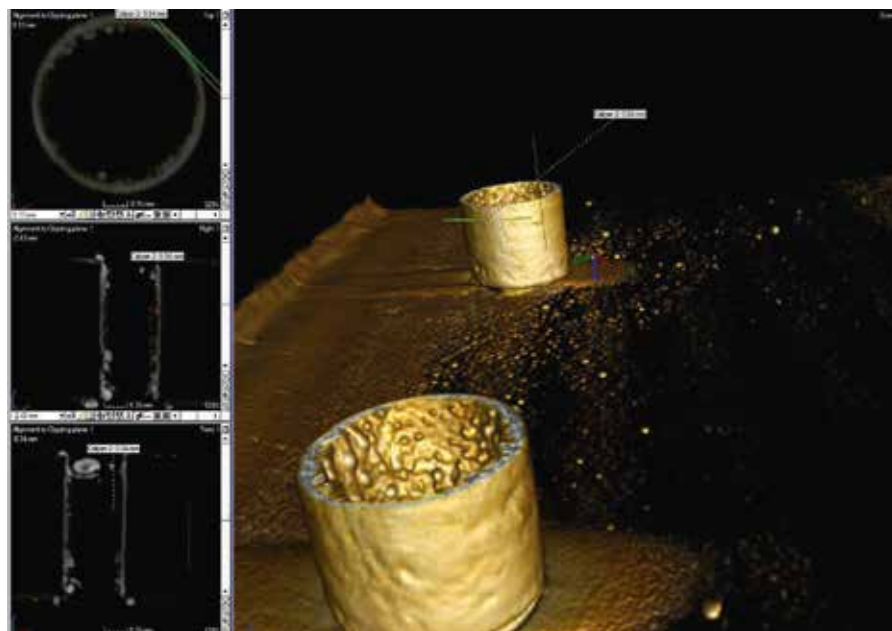


Таблица 4. Зависимость толщины осажденного покрытия от характеристического отношения

| Характеристическое отношение | Минимальная толщина покрытия, мкм |
|------------------------------|-----------------------------------|
| 6,7 : 1                      | 30                                |
| 4 : 1                        | 40                                |
| 2,5 : 1                      | 40                                |
| 2 : 1                        | 44                                |

Рис. 4. Исследование равномерности и толщины металлизации отверстий ПП для отверстия диаметром 0,5 мм в среде VGS Studio



**Рис. 5.** Неравномерность толщины покрытия ПП (выделено красным)

за тот же цикл – 25 мкм. Можно сделать вывод, что использование активатора на основе комплекса ГФМ позволит уменьшить время изготовления ПП ввиду сокращения времени подготовки поверхности к металлизации больше чем в 2,5 раза.

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

В результате анализа стадийности процессов прямой металлизации выявлено, что предложенные альтернативные системы прямой металлизации требуют сравнительно меньше времени для подготовки поверхности. Наиболее «выигрывает по времени» система прямой металлизации на основе ГФМ, время подготовки поверхности в этой системе составляет всего 820 с, что более чем в 2,5 раза меньше в сравнении с палладиевой системой SYSTEM-S. Сокращение цикла подготовки детали к металлизации дает основания ожидать в конечном итоге уменьшения времени изготовления ПП.

В результате экспериментов получены металлизированные образцы ПП с отверстиями с характеристическими

отношениями 6,7:1, 4:1, 2,5:1 и 2:1. Минимальная толщина осажденного покрытия для активированной графитом детали составила 10 мкм, максимальная – 20 мкм. Этот показатель ниже, чем при металлизации активированной палладием детали, в результате которой при тех же входных параметрах среднее значение толщины металлизации составляет 25 мкм. В ходе экспериментов выявлено также, что к инвазивным средствам контроля качества металлизации образцы, изготовленные с помощью графита, непригодны, так как графитовое покрытие крошится при их изготовлении, разрушая также слой металлизации.

Для детали, активированной с помощью комплекса ГФМ, минимальная толщина осажденного покрытия существенно выше в сравнении с палладиевой системой. Так, например, для отверстия с характеристическим отношением 4:1 минимальная полученная толщина металлизации составляет 40 мкм. Исходя из средней толщины покрытия палладиевой системы в 25 мкм, можно сказать, что металлизация ПП с помощью ГФМ проходит существенно быстрее.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Флёров В. Н.** Химическая технология в производстве радиоэлектронных деталей. М.: Радио и связь, 1988. 106 с.
2. **Vasilyev F., Isaev V. and Korobkov M.** The Influence of the PCB Design and the Process of their Manufacturing on the Possibility of a Defect-Free Production // *Przeglad Elektrotechniczny*. 2021. No. 97 (3). PP. 91–96. <https://doi.org/10.15199/48.2021.03.18>
3. **Медведев А. М. и др.** Системы прямой металлизации // *Компоненты и технологии*. 2003. № 4.
4. **Медведев А.** Каким быть российскому производству электроники? Ч. 1 // *Компоненты и технологии*. 2007. № 69. С. 231–238.
5. **Бараковский Ф. А.** Струйный метод получения проводящего рисунка печатных плат // 12-й Всероссийский конкурс «Молодежь и будущее авиации и космонавтики – 2020». 23–27 ноября 2020 года. М.: Сборник аннотаций конкурсных работ.
6. **Медведев А.** Технология производства печатных плат. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2005. 360 с.
7. Информационно-аналитический «Центр современной электроники». Отчет исследования российского рынка печатных плат // ООО «СОВЭЛ», 2018. 90 с.
8. А. С. 921124 СССР, М. Кл. Н 05 К 3/10. Способ металлизации отверстий печатных плат / Ю. И. Михайлов, А. М. Маккаев, О. И. Ломовский, В. В. Болдырев. – № 2772501/18–21; заявл. 19.06.79; опубл. 17.04.82, Бюл. № 14. – 3 с.
9. **Слипченко Н. И., Юзвизин В. Ф.** Исследование процессов скоростной металлизации печатных плат и путей ее реализации // *Радиоэлектроника и информатика*. 1999. № 4. С. 26–30.



## Комплементарные биполярные транзисторы 2Т544А9 – В9, 2Т545А9 – В9

ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» освоены в серийном производстве высокочастотные комплементарные биполярные p-p-n транзисторы 2Т544А9, 2Т544В9, 2Т544В9 и p-n-p транзисторы 2Т545А9, 2Т545В9 и 2Т545В9 по АЕЯР.432140.832 ТУ. Транзисторы предназначены для применения в радиоэлектронной аппаратуре, устойчивой к специальным внешним воздействующим факторам.

Транзисторы изготавливаются в малогабаритных металлокерамических корпусах типа КТ-99-1 и функционируют при температуре от  $-60$  до  $125^{\circ}\text{C}$ .

Функциональными аналогами транзисторов 2Т544А9, 2Т544В9 и 2Т544В9 являются соответственно транзисторы BC847А, BC847В, BC847С компании NXP Semiconductor.

Функциональными аналогами транзисторов 2Т545А9, 2Т545В9 и 2Т545В9 являются соответственно транзисторы BC857А, BC857В, BC857С компании NXP Semiconductor.

**Таблица 1. Значения электрических параметров транзисторов 2Т544А9–В9 и 2Т545А9–В9 при приемке и поставке при температуре среды ( $25 \pm 10$ )  $^{\circ}\text{C}$**

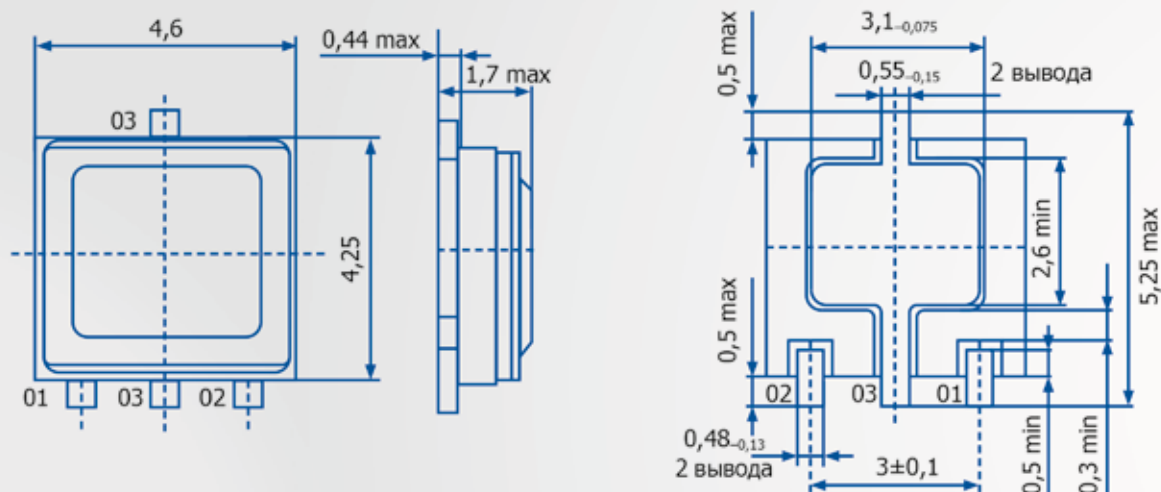
| Условное обозначение транзистора | Наименование параметра, единица измерения, (режим измерения)   | Буквенное обозначение параметра | Норма параметра |           |
|----------------------------------|--|---------------------------------|-----------------|-----------|
|                                  |  |                                 | не менее        | не более  |
| 2Т544А9–В9                       | Обратный ток коллектора, мкА<br>( $U_{КБ} = 50 \text{ В}$ )  | $I_{КБ0}$                       | –               | 10        |
| 2Т545А9–В9                       | Обратный ток коллектора, мкА<br>( $U_{КБ} = -50 \text{ В}$ )   | $I_{КБ0}$                       | –               | $ -10 $   |
| 2Т544А9–В9                       | Обратный ток эмиттера, мкА<br>( $U_{ЭБ} = 6,0 \text{ В}$ )   | $I_{ЭБ0}$                       | –               | 0,1       |
| 2Т545А9–В9                       | Обратный ток эмиттера, мкА<br>( $U_{ЭБ} = -5,0 \text{ В}$ )  | $I_{ЭБ0}$                       | –               | $ -0,1 $  |
| 2Т544А9–В9                       | Обратный ток коллектор-эмиттер, мА<br>( $U_{КЭ} = 45 \text{ В}$ , $R_{ЭБ} = \infty$ )  | $I_{КЭ0}$                       | –               | 0,2       |
| 2Т545А9–В9                       | Обратный ток коллектор-эмиттер, мА<br>( $U_{КЭ} = -45 \text{ В}$ , $R_{ЭБ} = \infty$ )   | $I_{КЭ0}$                       | –               | $ -0,2 $  |
| 2Т544А9                          | Статический коэффициент передачи тока<br>( $I_{К} = 2,0 \text{ мА}$ ; $U_{КЭ} = 5,0 \text{ В}$ ; $t_{и} \leq 2,0 \text{ мс}$ ; $Q \geq 50$ )       | $h_{21Э}$                       | 110             | 220       |
| 2Т544В9                          |  |                                 | 200             | 450       |
| 2Т544В9                          |  |                                 | 420             | 800       |
| 2Т545А9                          | Статический коэффициент передачи тока<br>( $I_{К} = -2,0 \text{ мА}$ ; $U_{КЭ} = -5,0 \text{ В}$ ; $t_{и} \leq 2,0 \text{ мс}$ ; $Q \geq 50$ )     | $h_{21Э}$                       | 125             | 250       |
| 2Т545В9                          |  |                                 | 220             | 475       |
| 2Т545В9                          |  |                                 | 420             | 800       |
| 2Т544А9–В9                       | Напряжение насыщения коллектор-эмиттер, В<br>( $I_{К} = 100 \text{ мА}$ ; $I_{Б} = 5,0 \text{ мА}$ ; $t_{и} \leq 2,0 \text{ мс}$ ; $Q \geq 50$ )   | $U_{КЭ \text{ нас}}$            | –               | 0,4       |
| 2Т545А9–В9                       | Напряжение насыщения коллектор-эмиттер, В<br>( $I_{К} = -100 \text{ мА}$ ; $I_{Б} = -5,0 \text{ мА}$ ; $t_{и} \leq 2,0 \text{ мс}$ ; $Q \geq 50$ ) | $U_{КЭ \text{ нас}}$            | –               | $ -0,65 $ |
| 2Т544А9–В9                       | Напряжение насыщения база-эмиттер, В<br>( $I_{К} = 100 \text{ мА}$ ; $I_{Б} = 5,0 \text{ мА}$ ; $t_{и} \leq 2,0 \text{ мс}$ ; $Q \geq 50$ )        | $U_{БЭ \text{ нас}}$            | –               | 1,0       |
| 2Т545А9–В9                       | Напряжение насыщения база-эмиттер, В<br>( $I_{К} = -100 \text{ мА}$ ; $I_{Б} = -5,0 \text{ мА}$ ; $t_{и} \leq 2,0 \text{ мс}$ ; $Q \geq 50$ )      | $U_{БЭ \text{ нас}}$            | –               | $ -1,0 $  |

**Таблица 2. Предельно допустимые электрические режимы эксплуатации**

| Наименование параметра, единица измерения, (режим измерения)   | Буквенное обозначение параметра | Норма параметра |
|--|---------------------------------|-----------------|
| Максимально допустимое постоянное напряжение коллектор-база, В<br>2Т544А9, 2Т544В9, 2Т544В9<br>2Т545А9, 2Т545В9, 2Т545В9     | U <sub>КБ0 max</sub>            | 50<br> -50      |
| Максимально допустимое постоянное напряжение коллектор-эмиттер, В<br>2Т544А9, 2Т544В9, 2Т544В9<br>2Т545А9, 2Т545В9, 2Т545В9  | U <sub>КЭ0 max</sub>            | 45<br> -45      |
| Максимально допустимое постоянное напряжение база-эмиттер, В<br>2Т544А9, 2Т544В9, 2Т544В9<br>2Т545А9, 2Т545В9, 2Т545В9       | U <sub>ЭБ max</sub>             | 6,0<br> -5,0    |
| Максимально допустимый постоянный ток коллектора <sup>1)</sup> , А<br>2Т544А9, 2Т544В9, 2Т544В9<br>2Т545А9, 2Т545В9, 2Т545В9 | I <sub>К max</sub>              | 0,1<br> -0,1    |
| Максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность коллектора <sup>2)</sup> , Вт (при температуре от -60 до +25 °С)     | P <sub>К max</sub>              | 0,6             |
| Максимально допустимая температура перехода, °С  | T <sub>пер max</sub>            | 150             |
| Тепловое сопротивление переход-среда, °С/Вт  | R <sub>θ пер-окр</sub>          | 208             |

1) При условии не превышения T<sub>пер max</sub>.  
 2) В диапазоне температур окружающей среды от +25 до +125 °С максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность коллектора P<sub>К max</sub>, Вт, рассчитывается по формуле:  

$$P_{К max} = (T_{пер max} - T_{окр}) / R_{θ пер-окр}$$


**Рис. 1. Общий вид, габаритные, установочные и присоединительные размеры транзисторов в корпусе КТ-99-1**

Транзисторы 2Т544А9 – В9 по стойкости к специальным внешним воздействующим факторам 7.И, 7.С и 7.К по ГОСТ РВ 20.39.414.2 имеют следующие значения характеристик: 7.И<sub>1</sub> – 3Ус; 7.И<sub>6</sub> – 4Ус; 7.И<sub>7</sub> – 4Ус; 7.С<sub>1</sub> – 5Ус; 7.С<sub>1</sub> – 4Ус; 7.К<sub>1</sub> – 0,9×2К; 7.К<sub>1</sub> – 0,9×1К.

Транзисторы 2Т545А9 – В9 по стойкости к специальным внешним воздействующим факторам 7.И, 7.С и 7.К по ГОСТ РВ 20.39.414.2 имеют следующие значения характеристик: 7.И<sub>1</sub> – 0,9×2Ус; 7.И<sub>6</sub> – 4Ус; 7.И<sub>7</sub> – 4Ус; 7.С<sub>1</sub> – 5Ус; 7.С<sub>1</sub> – 4Ус; 7.К<sub>1</sub> – 1,3×2К; 7.К<sub>1</sub> – 1,3×1К, 7.К<sub>11</sub> (7.К<sub>12</sub>) – до уровня 60 МэВ см<sup>2</sup>/мг по катастрофическим отказам.

Транзисторы 2Т544А9–В9 и 2Т545А9–В9 включены в Перечень ЭКБ.



**ТЕХНОСФЕРА**  
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

**100% ГАРАНТИЯ**  
ПОЛУЧЕНИЯ ВСЕХ НОМЕРОВ



Стоимость 2200 р. за номер  
Периодичность: 10 номеров в год  
[www.electronics.ru](http://www.electronics.ru)



Стоимость 1450 р. за номер  
Периодичность: 8 номеров в год  
[www.photonics.ru](http://www.photonics.ru)



Стоимость 1450 р. за номер  
Периодичность: 6 номеров в год  
[www.j-analytics.ru](http://www.j-analytics.ru)

# ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

[www.technosphere.ru](http://www.technosphere.ru)



Стоимость 1300 р. за номер  
Периодичность: 8 номеров в год  
[www.lastmile.ru](http://www.lastmile.ru)



Стоимость 1300 р. за номер  
Периодичность: 8 номеров в год  
[www.nanoindustry.ru](http://www.nanoindustry.ru)



Стоимость 1800 р. за номер  
Периодичность: 4 номера в год  
[www.stankoinstrument.ru](http://www.stankoinstrument.ru)