

К. т. н. Л. И. ПАНОВ, Р. Г. СИДОРЕЦ

Украина, г. Одесса, Науч.-исследов. технологический ин-т «Темп»  
E-mail: kptra@rtf.ospu.odessa.ua

Дата поступления в редакцию  
11.05 2001 г.

Оппоненты  
к. т. н. Т. С. ЛЕБЕДЕВА («ИК НАНУ», г. Киев),  
В. И. СЛОБОДЯНИК («Одри», г. Одесса)

## ОПЫТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТОЛСТОПЛЕНОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

*Рассмотрены материалы и оборудование, разработанные для производства толстопленочных гибридных интегральных схем и монтажа на поверхность.*

Одним из наиболее перспективных путей повышения качества, надежности, потребительских свойств и конкурентоспособности электронной аппаратуры по-прежнему остается применение гибридной, особенно толстопленочной, технологии изготовления функциональных узлов [1].

Широкое применение и постоянный рост объемов использования толстопленочной технологии фирмами развитых стран обусловлены рядом ее достоинств и преимуществ. Многолетний опыт авторов в этой области позволяет отнести к их числу простоту, доступность для предприятий, разрабатывающих и выпускающих электронную аппаратуру, высокую производительность, возможность автоматизации, относительно малые капитальные затраты, небольшую стоимость средств технологического оснащения, отсутствие жестких требований к помещению. Толстопленочная технология применяется для изготовления многоуровневых схем, схем с высокой плотностью монтажа, схем высокой частоты, высокого напряжения, повышенной мощности, она обеспечивает ремонтпригодность, высокую надежность, возможность использования широкой гаммы электрорадиоэлементов и интегральных схем различного конструктивного исполнения, оперативность разработки, гибкость в смене продукции, широкий диапазон характеристик пленочных элементов и возможность уменьшения настроечно-регулирующих работ за счет статической и функциональной (динамической) подгонки. Изготовление толстопленочных плат удачно дополняется сборкой и монтажом электронных компонентов на их поверхность.

Гибридная технология не лишена и недостатков. По сравнению с традиционными платами печатного монтажа изготовление опытных образцов несколько длительнее и дороже, затруднен монтаж крупногабаритных компонентов, дороже замена неисправного модуля. В сравнении с монолитной гибридную технологию отличает более высокая стоимость, более низкая степень интеграции. Однако сочетание малых сроков разработки и освоения в производстве с рез-

ким уменьшением массогабаритных показателей делает толстопленочную технологию весьма эффективной.

Действительно [2], в мире на толстые пленки приходится 70—90% выпуска ГИС, технологией толстых пленок владеют все крупные изготовители электронной аппаратуры. Номенклатура элементной базы, выпускаемой фирмами США, Японии, стран ЕЭС и СНГ, вполне достаточна для реализации самых современных и высококачественных изделий.

**В** Украине имеется необходимая база материаловедения, которая обеспечивает возможность создания микросборок. Для толстопленочной технологии разработаны, освоены в производстве и выпускаются комплекты композиционных паст, керамические подложки и другие специальные материалы, а также специальное технологическое оборудование, средства механизации и гибкой автоматизации.

Так, в конце 1980-х годов освоено производство подложек из керамики ВК 96-1 ("Алсимаг" — 96% оксида алюминия) размерами до 96×120×0,6 мм. Применение этих подложек позволяет создавать гибридные функциональные узлы высокой сложности, изготавливать микросборки с мультипликацией, повышая производительность печати, термообработки, сборки и монтажа. Подложки, выпускаемые ПО "Титан" (г. Антрацит Луганской области) по ДЛ60.737.003 ТУ, имеют следующие характеристики:

- допуск на размер — 1%;
- прочность — не ниже 2500 кгс/см<sup>2</sup>;
- диэлектрическая проницаемость — не более 11;
- тангенс угла диэлектрических потерь — не хуже  $5 \cdot 10^{-4}$ ;
- пробивное напряжение — не меньше 10 кВ/мм;
- коэффициент теплопроводности — 6 Вт/(м·К).

Недостатком таких подложек является относительно высокая стоимость, да и размеры не полностью соответствуют требованиям разработчиков аппаратуры.

В НИТИ "Темп" разрабатывается *стеклокерамика* — новый для гибридной микроэлектроники материал, который содержит до 50% оксида алюминия и несколько уступает по тепловым характеристикам (коэффициент теплопроводности в 2—3 раза ниже, чем у подложек "Алсимаг" и 22ХС (ВК 94-1)). Однако у подложки из стеклокерамики целый ряд преимуществ: дешевизна (стоимость меньше примерно в 10 раз), возможность изготовления многоуровневых схем (типа МКП-2), возможность изготовления

корпусов микросхем, электрических изоляторов, синтез при температурах до 900°C. Практически первой операцией изготовления толстопленочных схем может быть обжиг шликерной ленты в тех же печах, где вжигаются толстопленочные элементы.

Основные параметры стеклокерамики:

- величина диэлектрической проницаемости — 6—9;
- тангенс угла диэлектрических потерь —  $(5...20) \cdot 10^{-4}$ ;
- удельное объемное сопротивление —  $10^{14}$  Ом·см;
- пробивное напряжение — не ниже 10 кВ/мм.

Кроме оксида алюминия, в качестве наполнителя может использоваться и более теплопроводный материал, можно добиться и лучшего совмещения по ТКЛР с керамическими носителями кристаллов. Размер стеклокерамических оснований ограничивается только возможностями литья шликерной ленты и шириной муфеля печи обжига.

Разработаны, освоены в производстве и широко используются предприятиями Украины и России комплекты композиционных паст.

Для изготовления микросборок на традиционно применяемых подложках из керамики 22ХС (ВК 94-1) создана система паст повышенной стабильности "Интеграл".

В систему паст "Интеграл" входят проводниковые золотосодержащая паста 1005, серебро-платиновая паста 4205, паста на основе серебра, палладия и платины 4351 (АУКО.027.004 ТУ). Сопротивление квадрата проводниковой пленки от 0,005 до 0,05 Ом/□, адгезия к подложке не менее 60—100 кгс/см, растекаемость не более 25 мкм на сторону. Пленки облуживаются низкотемпературными припоями (ПОС-61 и ПОССр-3-58), обладают достаточной стойкостью к выщелачиванию.

Резистивные пасты серии 5000 (АУКО.027.005) в составе системы паст "Интеграл" позволяют изготавливать резисторы сопротивлением ( $R$ ) от 5 Ом/□ до 1 МОм/□ при температурном коэффициенте сопротивления (ТКС)  $\pm 150 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$  для  $R$  от 5 до 500 Ом/□ и 1 МОм/□,  $\pm 100 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$  для  $R$  от 1 до 500 кОм/□. Уровень шумов резисторов в пределах  $\pm 15$  дБ, коэффициент напряжения не более  $5 \cdot 10^{-4} 1/\text{В}$ .

Диэлектрическая изоляционная 0031 и защитная 0011 (АУКО.027.005 и АУКО.027.007 ТУ) пасты из системы паст "Интеграл" позволяют изготавливать гибридные схемы до 5—6 уровней проводников. Для пасты 0031 удельная электрическая емкость не превышает 500 пФ/см<sup>2</sup>, напряжение пробоя более 600 В, тангенс угла диэлектрических потерь не более  $10^{-3}$ . Защитная паста 0011 имеет пробивное напряжение более 300 В, изменяет сопротивление резисторов не более чем на 5%.

Система паст используется при разработке и серийном выпуске изделий специального назначения.

Высокий уровень электрических параметров паст системы "Интеграл" достигается благодаря использованию в резисторах соединения рутения, стекол, снижающих и компенсирующих ТКС, специальных стекол, в т. ч. кристаллизующихся. Для ряда заказчиков проводится приемка согласно ОТУ АУКО.027.014 ТУ.

Система паст повышенной стабильности имеет средний срок сохраняемости 6 мес. Интенсивность отказов резисторов  $1,6 \cdot 10^{-8} 1/\text{ч}$ , минимальное время безотказной работы  $1,8 \cdot 10^6$  ч, гарантийный средний срок хранения резисторов 15 лет.

Разработан комплект технологической документации на производство и применение паст. Отметим, что вжигание всех паст в течение 10—15 мин при одной температуре —  $870 \pm 5^\circ\text{C}$  (для защитной — в течение 5—7 мин при  $520 \pm 5^\circ\text{C}$ ) позволяет проводить вжигание в одной конвейерной печи.

Система паст повышенной стабильности "Аналог" (соответствует пастам 1400, 1600 фирмы Дюпон (США)) предназначена для применения с подложками из керамики «Алсимаг». В систему входят пасты проводниковые 4320 (АУКО.027.012 ТУ) на основе серебра и палладия, резистивные серии 5200 (АУКО.027.014 ТУ), а также защитная паста 0011 (из системы паст "Интеграл").

Сопротивление проводниковой (4320) пленки не превышает 0,02 Ом/□, величина адгезии к подложке не менее 50 кгс/см<sup>2</sup>, растекаемость на сторону не более 50 мкм. Проводник облуживается припоями ПОС-61 (стойкость 5—6 с), ПСр0С3-58 (стойкость 7—9 с).

Резистивные пасты серии 5200 обеспечивают получение толстопленочных резисторов сопротивлением 250 Ом от 100 Ом/□ до 1 МОм/□ (декадная шкала) при ТКС не более  $\pm 100 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ , уровне шумов  $\pm 20$  дБ. Изменение сопротивления резисторов после воздействия термоциклирования (5 циклов  $-60...+125^\circ\text{C}$ ) — 0,5% для резисторов без подгонки, 1% — для подогнанных лазером резисторов. Аналогичные данные по стабильности характерны и после воздействия расплавленного припоя ( $+235^\circ\text{C}$ , 10 с), повышенной ( $+150^\circ\text{C}$ , 48 ч) температуры, электрической нагрузки 10 Вт/см<sup>2</sup> (46 ч,  $85^\circ\text{C}$ ), а также при воздействии повышенной влажности ( $+40^\circ\text{C}$ , 98%, 30 сут).

Система паст "Аналог" также имеет комплект технологической документации на изготовление и применение, пасты внедрены на ряде предприятий для изготовления профессиональной аппаратуры.

Высокая стабильность и повторяемость результатов достигается применением в составе паст рутената висмута (для резисторов) и специальных стекол.

Пасты вжигаются при температуре  $855 \pm 5^\circ\text{C}$  (10—15 мин). После нанесения их высушивают при температуре 120—150°C в течение 10—20 мин. Применение органического связующего на основе раствора этилцеллюлозы в терпинеоле с сосновым маслом позволяет не только обеспечить высокое разрешение печати, но и использовать касетирование плат в автоматизированном оборудовании.

В настоящее время завершена разработка диэлектрической изоляционной пасты, дополняющей комплект системы "Аналог", при этом разработка пасты проводилась с целью гарантировать перечисленные параметры и после нанесения резистивных паст серий 5000 и 5200 на диэлектрический изоляционный слой.

Применение толстопленочной технологии в производстве микросборок для массовой электронной аппаратуры могло бы стать особенно эффективным, если бы удалось исключить применение при

изготовлении плат драгоценных металлов. С этой целью разработана система бездрагметалльных паст "Виза". В нее включены:

— проводниковые пасты 0920 (АУКО.027.021 ТУ) на основе меди и 0760 (АУКО.027.022 ТУ) на основе никеля;

— резистивные пасты на основе молибдена ПРМ (100, 500,  $10^3$ ,  $3 \cdot 10^3$ ,  $6 \cdot 10^3$ ,  $20 \cdot 10^3$  Ом), 9700 (30, 60,  $5 \cdot 10^4$ ,  $10^5$ ,  $5 \cdot 10^5$ ,  $10^6$  Ом);

— диэлектрические изоляционные 0025 и 0026 (АУКО.027.003 ТУ);

— пасты защитные 0911 и ТГ-90 (ТГО.027.003 ТУ и АУКО.027.022 ТУ).

Пасты без драгоценных металлов характеризуют следующие параметры.

Никелевые и медные проводниковые пасты имеют удельное сопротивление соответственно  $0,06 \text{ Ом}/\square$  при толщине проводника  $25 \pm 5 \text{ мкм}$  и  $0,02 \text{ Ом}/\square$  при толщине  $14 \pm 3 \text{ мкм}$ . Величина адгезии составляет не менее  $50 \text{ кгс}/\text{см}^2$ , растекаемость паст на сторону —  $50 \text{ мкм}$ .

Медные проводники, вжигаемые под маской, облуживаются припоем ПОС-61 (допускают 3 цикла лужения по 5—6 с).

Резистивные пасты имеют удельное сопротивление от  $30 \text{ Ом}/\square$  до  $1 \text{ МОм}/\square$ . Всего в сериях ПРМ и 9700 12 номиналов паст с ТКС от  $\pm 150$ — $200$  до  $\pm 1000 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ . Пасты совместимы с никелевыми и серебро-палладиевыми проводниковыми пастами. Могут использоваться на подложках из керамики 22ХС (ВК 94-1), "Алсимаг", а также на ситалловых основаниях СТ-50. При этом уровень шумов составляет  $\pm(5 \dots 20) \text{ дБ}$ , коэффициент напряжения —  $(10 \dots 30) \cdot 10^{-4} 1/\text{В}$ .

Диэлектрические изоляционные пасты 0025 и 0026 предназначены для применения соответственно на подложках из керамики 22ХС (ВК 94-1) и на ситалловых подложках для изготовления переходов (кроссоверов). Удельная емкость слоев не превышает  $500 \text{ пФ}/\text{см}^2$ , напряжение пробоя не менее  $500 \text{ В}$ , растекаемость не превышает  $50 \text{ мкм}$  на сторону. Диэлектрические защитные пасты С911 и Т-90 обеспечивают при совместном использовании пробивное напряжение не менее  $300 \text{ В}$ , растекаемость на сторону не более  $65 \text{ мкм}$ .

Элементы плат, изготовленные при использовании системы паст "Виза" и защищенные полимерным эластичным компаундом, выдерживают воздействие пяти термоциклов ( $+125 \dots -60^\circ\text{C}$ ), повышенной (до  $+85^\circ\text{C}$ ) рабочей температуры в течение 1000 ч (удельная мощность рассеяния до  $3 \text{ Вт}/\text{см}^2$ ), повышенной относительной влажности воздуха (98%) (при температуре  $+40^\circ\text{C}$  в течение 10 сут — проводники, в течение 30 сут — резисторы).

На систему паст "Виза" разработана технологическая документация — и на изготовление, и на применение паст.

К пастам для толстопленочных микросборок относятся и пасты серии ПЛ — лудящие, которые могут применяться для монтажа электронных компонентов на поверхность как плат микросборок, так и плат печатного монтажа. Это ПЛ-111, -211, -112, -312, -423 на основе неокисленных частиц сферической формы

(размером от 5 до  $100 \text{ мкм}$ ) порошков припоя ПОС-61, ПОС К 50-18, ПОССу 61-0,5 или ПерОС 3-58.

Флюсы-связки паст — на основе канифольных композиций (только ПЛ-111, -211 — на основе использования активатора — гидразина солянокислого). Остатки связки отмываются хлористым метиленом, ацетоном или другими органическими растворителями (ПЛ-111, -211 — водой). Температура пайки лудящими пастами составляет  $180 \dots 240^\circ\text{C}$  в зависимости от типа припоя, растекаемость паст при оплавлении не превышает  $150 \text{ мкм}$ . Пасты, обладая высокой клеящей способностью, обеспечивают возможность установки и фиксации навесных компонентов.

Средний срок сохраняемости лудящих паст обычно составляет 3 мес. Пасты поставляются в готовом к применению виде и в виде полуфабрикатов, что существенно (до 6—12 мес и более) увеличивает срок сохраняемости. Пасты могут наноситься трафаретной печатью через сетчатый, фольговый или комбинированный трафарет, а также дозаторами или штемпелеванием.

Для выпуска паст разработан комплект специального технологического оборудования (СТО), который изготавливается в небольшом объеме для оснащения собственного производства. Комплект СТО включает шаровые и шаровые планетарные мельницы, пастотерки, смесители и др. Применение его позволяет увеличить объем одной партии с 30 до  $120 \text{ г}$ , а с учетом перемешивания в планетарных смесителях — усреднять партии до 3—6 кг. Это повышает качество паст и воспроизводимость параметров толстопленочных элементов.

Повышению качества толстопленочных элементов служит также применение комплекта СТО "Темп", предназначенного для оснащения гибкого автоматизированного производства и включающего гибкие производственные модули трафаретной печати, сушки, вжигания, контроля, подгонки, скрайбирования и гибкую автоматизированную линию сборки микросборок. Все оборудование объединено манипуляторами и роботами, что значительно повышает производительность.

Одним из перспективных направлений развития технологии изготовления монтажных оснований для узлов и блоков бытовой электроники является толстопленочная технология с применением полимерных паст, позволяющая изготовить аддитивным методом основания для схемных плат.

К настоящему моменту разработаны технологические процессы и материалы для изготовления одно- и двухсторонних плат на подложках из нефольгированного стеклотекстолита и алюминия. Сущность технологии заключается в нанесении методом трафаретной печати полимерной проводниковой пасты с последующим химическим меднением. Разработаны метод и оборудование для толстопленочной металлизации отверстий путем нанесения на их стенки полимерной проводниковой пасты. Применение этих методов является новым в отечественной и зарубежной практике. Трудоемкость изготовления двухсторонних схемных плат по новой технологии взамен обычных пе-

чатных плат составляет 3—5 н-ч на 1 м<sup>2</sup>, стоимость материалов составляет 20—23 грн за 1 м<sup>2</sup>.

Дополнительными преимуществами этого направления являются применение недефицитного нефольгированного стеклотекстолита СТЭФ-1, исключение хлористого палладия из технологии металлизации отверстий и исключение процесса регенерации или очистки насыщенных отработанных травильных растворов.

Разработанная технология позволяет изготавливать двухсторонние платы, соответствующие печатным платам 2—3-го классов точности.

Завершается разработка перспективной системы полимерных паст, включающей проводниковую пасту, не требующую дополнительного меднения. Это позволит осуществлять изготовление односторонних, двухсторонних и многослойных плат на нефольгированных диэлектриках толсто пленочным методом, полностью исключив операции, требующие очистки сточных вод либо регенерации растворов. Вместе с медной проводниковой пастой в разрабатываемую систему входят диэлектрические пасты с высокой разрешающей способностью, при отверждении которых применяется ультрафиолетовое излучение (межслойная изоляция и паяльная маска), а также проводниковая паста, позволяющая исключить золочение контактов клавишных коммутационных панелей.

Расчетное сокращение затрат при применении указанных паст составляет (на 1 м<sup>2</sup>):

— по трудоемкости — для односторонних плат 0,5—0,8 н-ч, для двухсторонних — 6,0—7,0 н-ч, для многослойных — 5,0—8,0 н-ч;

— по стоимости материалов — для односторонних плат 1,5—2 грн, для двухсторонних — 15—20 грн, для многослойных — 25—30 грн.

**П**рименение разработанных систем паст и специального технологического оборудования толсто пленочной технологии в производстве специальной, профессиональной и бытовой электронной аппаратуры обеспечивает значительное повышение конкурентоспособности изделий. Опыт разработки и выпуска таких изделий подтвердил:

— возможность уменьшения массы и габаритов изделий бытовой РЭА в 3—5 раз;

— повышение надежности в 4—5 раз за счет уменьшения числа паяных контактов, использования керамических или ситалловых оснований, композиционных стеклосодержащих проводников и резисторов;

— возможность усложнения изделий, повышения функциональных характеристик бытовой радиоэлектроники наряду с сохранением (или уменьшением) массы и габаритов, что позволяет повысить потребительские свойства, качество и сервисные возможности (блоки электроники имеют одноплатную групповую конструкцию);

— возможность создания изделий бытовой электроники на мировом уровне по массе, габаритам, электрическим параметрам;

— возможность гибко дополнять изделия введением новых узлов, обеспечивающих повышение конкурентоспособности при сохранении базовых конструкций, массы, габаритов и надежности показателей;

— при использовании микросборок наиболее полно и эффективно используется прогрессивный функционально-узловой принцип конструирования;

— при производстве узлов и блоков на микросборках сокращается доля механообработки и, что особенно важно, за счет статической и функциональной подгонки резко снижается объем настроечно-регулируемых и ремонтных работ.

\*\*\*

В связи с дальнейшим развитием технологии изготовления электронной аппаратуры по линии применения технологии монтажа на поверхность (ТМП), которая является логическим продолжением толсто пленочной технологии, роль методов и технологии толсто пленок для электронной аппаратуры возрастает.

Наиболее эффективным при создании изделий электронной аппаратуры является сочетание всех видов технологии с использованием сильных сторон каждой из них. Поэтому дополнение технологии печатного монтажа в ТМП гибридной технологией (в первую очередь толсто пленочной) позволяет значительно повысить эффективность изделий.

Разработанное в Украине технологическое обеспечение толсто пленочной технологии позволяет при создании электронных средств использовать и сочетать все виды современных технологий и преодолеть целый ряд ограничений и недостатков электронной аппаратуры.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Толсто пленочная микроэлектроника / В. Г. Гребенкина, В. С. Доброер, Л. И. Панов, Ю. П. Тризна. — Киев: Наук. думка, 1983.
2. Панов Л. І. Конструювання і технологія радіомонтажу на поверхню.— Одеса: ОДПУ, 1998.