

Технология встраивания пассивных компонентов

Технология встраивания пассивных компонентов (резисторы и конденсаторы) — это конкурентоспособная технология, которая эффективно используется в оборонной и аэрокосмической отрасли уже более 20 лет. Она имеет большой потенциал для высокочастотных и высокоплотных устройств, обеспечивает лучший сигнал и меньшие паразитные и перекрестные помехи. Статья описывает выбор материалов для встроенных резисторов, дает оценку резистивным материалам (фаза 1) и дублированию комплексных цифровых разработок (фаза 2). Фаза 1: для оценки были выбраны резистивные материалы (фольга 25 Ом/квадрат NiCr и 1 кОм/квадрат CrSiO) и резистивные слои (25 Ом/квадрат и 250 Ом/квадрат NiP). Фаза 2: из-за высокого уровня сложности и передовых материалов диэлектрика в качестве средства оценки был взят цифровой процессор изображений. Оценка процесса для встроенного оборудования была использована для определения существующих технологических разрывов для лазерной подгонки, изготовления материала, испытания необработанных плат и определения спецификаций для DFM и макета.

Хикмат Чаммас
(Hikmat Chammas)

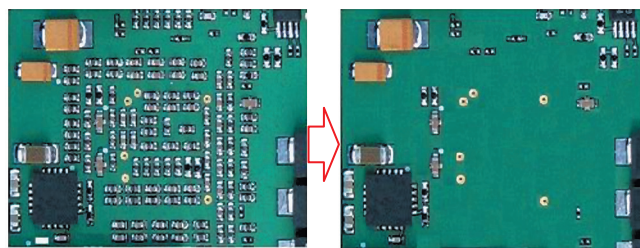
Hikmat.chammas@honeywell.com

Введение

Основная идея технологии встраивания пассивных компонентов (EPT, embedded passives technology) заключается в том, чтобы пассивные компоненты, такие как резисторы и конденсаторы (Р и К), изготавливать и помещать внутрь слоев соединительной подложки в структуре печатной платы (ПП) в процессе производства базовой основы печатной платы (подложка является электрическим соединением между компонентами, например, и печатной платой) [1]. Технология EPT учитывает запрос клиентов об увеличении функциональности при сохранении или снижении цены, что привело электронную отрасль к миниатюризации, лучшей электрической производительности, более высокой плотности размещения компонентов и технологиям с потенциалом для снижения затрат. При использовании технологии встраивания пассивных компонентов резисторы и конденсаторы могут быть встроены в подложку прямо под активными устройствами, такими как ASICs. Более близкое расстояние между встроенными пассивными и активными компонентами снижает паразитные потери, возникающие при поверхностном монтаже, что в результате дает лучшую передачу сигнала и меньшие перекрестные помехи. Снижение потерь и шума приводит к улучшению проводимости электрического сигнала, особенно на высоких частотах. Пассивные компоненты составляют 80–95% общего числа компонентов и покрывают более 40% поверхности печатной платы. Снижение количества поверхностно монтируемых компонентов увеличивает доступное пространство печатной платы и, следовательно, делает возможным более плотное размещение корпусов. Также существует возможность сокращения затрат на материалы, поскольку нужно закупать меньшее количество

компонентов, производственных материалов (флюс и припой), снижается количество дефектов на миллион возможностей (DPMO), увеличивается количество выходящей продукции, уменьшается время производственного цикла и время выхода на рынок, а также затраты на неудовлетворительное качество (COPQ). EPT может упростить процессы монтажа и тестирования и снизить реальные затраты, особенно при использовании корпусов 0201 или бессвинцового процесса производства. EPT сокращает общую стоимость продукта по сравнению с традиционным использованием технологии поверхностного монтажа (SMT) пассивных компонентов.

Группа по разработке новых производственных технологий (AME) была привлечена к оценке технологии встраивания пассивных компонентов как части разработки технологической дорожной карты по кардинальному изменению ситуации. Роль EPT в коренном изменении правил игры была разделена на три различные фазы: фаза 0 завершилась в 2009 году и определила тип доступных резистивных материалов. Фаза 1 была завершена в 2010 году, были выбраны резистивные материалы, разработано, изготовлено, собрано и испытано устройство для тестирования. Тестирование проходило при следующих условиях: с защитой от электростатического разряда (ESD), без защиты от электростатического разряда (не-ESD), испытания на образцах IST, термальное тестирование при $-55...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, долговечность, механическая вибрация и тест на перемещение. Фаза 2 — это финальная фаза исполнения, в которой была выбрана печатная плата в сборке (CCA) высокой сложности с использованием материала на базе Thermount для производства печатной платы с четырьмя слоями EPT (резистивные материалы Ticer 25 Ом и 1 кОм и емкость 3 М C-Ply) встроенных материалов в 20-слойной структуре с несколькими слоями контроля импеданса.



Поверхностный монтаж

Технология встраивания

Рис. 1. Поверхностный монтаж и технология встраивания

Дизайн и функциональность

Предпосылки

Потребительский спрос на увеличение функциональности аэрокосмических устройств привел к тому, что устройства печатных плат с высокой плотностью стали иметь низкую производительность, высокую сложность, отклонения от DFM (производственная способность) и значительное количество скрытых заводских переделок во время сборки. ЕРТ предоставляет средства для снижения количества поверхностно монтируемых компонентов, что увеличивает производительность и освобождает пространство (рис. 1). Хотя кандидатами для встраивания являются и конденсаторы, и резисторы, и индукторы, наибольший интерес сегодня вызывают конденсаторы и резисторы, так как они представляют большинство пассивных устройств, используемых на печатных платах.

В среднем одиночная печатная плата обычно состоит из 5% интегральных схем (ASIC), 4% соединителей, 40% конденсаторов, 33% резисторов и 18% других деталей [2]. Встроенные резисторы и конденсаторы могут производиться индивидуально, а конденсаторы могут изготавливаться и в распределенной планарной форме.

Одна из проблем, связанная с ЕРТ, заключается в том, насколько эта технология экономически целесообразна. Преимущества технологии встраивания пассивных компонентов состоят в возможности снизить затраты на сборку, свести к минимуму расходы на закупку и обработку дискретных пассивных компонентов и снизить требуемый размер площади платы. Однако эти преимущества могут быть нивелированы увеличением затрат на производство платы и сокращением производительности процесса производства плат.

Тестирование материалов для встраивания

Тонкопленочный резистор из резистивного материала торговой марки Tiscer термически и электрически стабилен после термальных циклов. Температурное тестирование на долговечность было проведено с использованием параметров, приведенных в таблице 1, для 300 циклов для IPC-6012 класса 3 с усиленным профилем теплового удара. Этот профиль использовался для квалификации всех FR-4 материалов плат Honeywell AERO и гарантирует 20 лет надежности данного продукта.

Был выполнен ремонт BGA на различных подложках, где BGA были извлечены и пере-

мещены с помощью ремонтной станции SRT Model 1100 при нормальном тепловом профиле. Таблица 2 приводит тепловые параметры для извлечения и перемещения.

Тестирование электростатического разряда (ESD) выполнено с использованием двух различных лотов: один лот с лучшей в классе ESD-защитой и второй без какой-либо ESD-защиты. ESD-тест показал, что во время сборки нет разницы в процентном изменении сопротивления между платами с контролем ESD и без него (рис. 2).

Материалы Tiscer также показывают отличную тепловую стабильность. NiCr, никель-хром-алюминиевый кремний (NCAS) и оксид кремния-хрома (CrSiO) хорошо известны своей отличной тепловой стабильностью при

продолжительной нагрузке и повышении температурных параметров. Эти материалы могут подвергаться многочисленным повышениям тепловых параметров, таким как бессвинцовая пайка (RoHS) с минимальным изменением сопротивления и гарантированной продолжительной надежностью.

Спецификации материалов [3]

TCR интегрированная резистивная тонкопленочная фольга поставляется в разных вариантах ширины и толщины с использованием медной фольги третьего класса. Толщины 18 мкм (0,5 унции) и 35 мкм (1 унция) — самые распространенные. В таблице 3 приведены спецификации материалов и рекомендуемые решения по травлению.

Таблица 3. Спецификации материалов

Резистивный материал		NiCr	NCAS	CrSiO
Сопротивление слоя, Ом/квadrat		25, 50, 100	25, 50, 100, 250	1000
Допуск удельного сопротивления слоя, %		±5	±5	±7
Температурный коэффициент сопротивления, ppm/°C		<110	-20	300
Толщина базовой медной фольги, мкм		18, 35	18, 35	18, 35
Максимальная ширина, мм (дюймы)		1295 (51)	1295 (51)	1295 (51)
Максимальное рекомендуемое рассеивание энергии при +400 °C, Вт/дюйм²		25 Ом/квadrat: 250 50 Ом/квadrat: 200 100 Ом/квadrat: 150	25 Ом/квadrat: 250 50 Ом/квadrat: 200 100 Ом/квadrat: 150 250 Ом/квadrat: 75	1000 Ом/квadrat: 250
Рекомендуемые решения по травлению	первое травление	Хлорид меди	Аммиак*	Аммиак*
	второе травление	Аммиак	Кислый перманганат	Щелочной перманганат
	третье травление	—	Аммиак*	Аммиак*

Примечания. Чтобы ознакомиться с основными свойствами фольги, необходимо обратиться к спецификациям конкретного продукта.

* Для NCAS и CrSiO для травления может использоваться хлорид меди вместо аммиака.

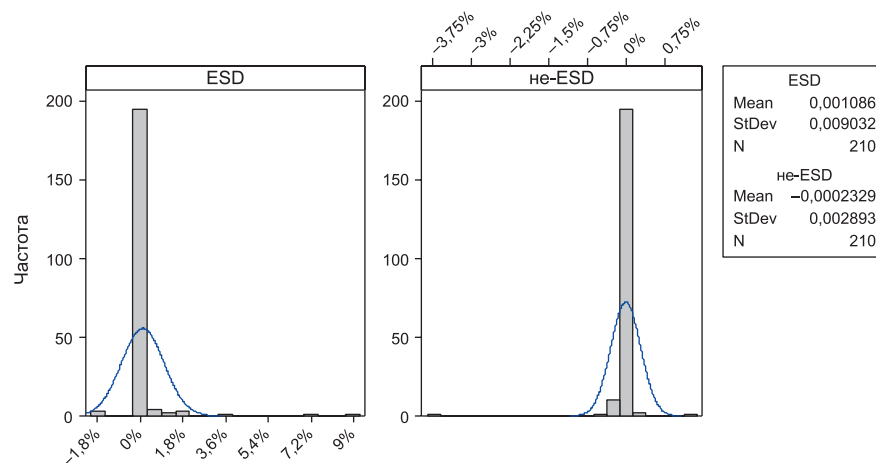


Рис. 2. Нет разницы между ESD и не-ESD

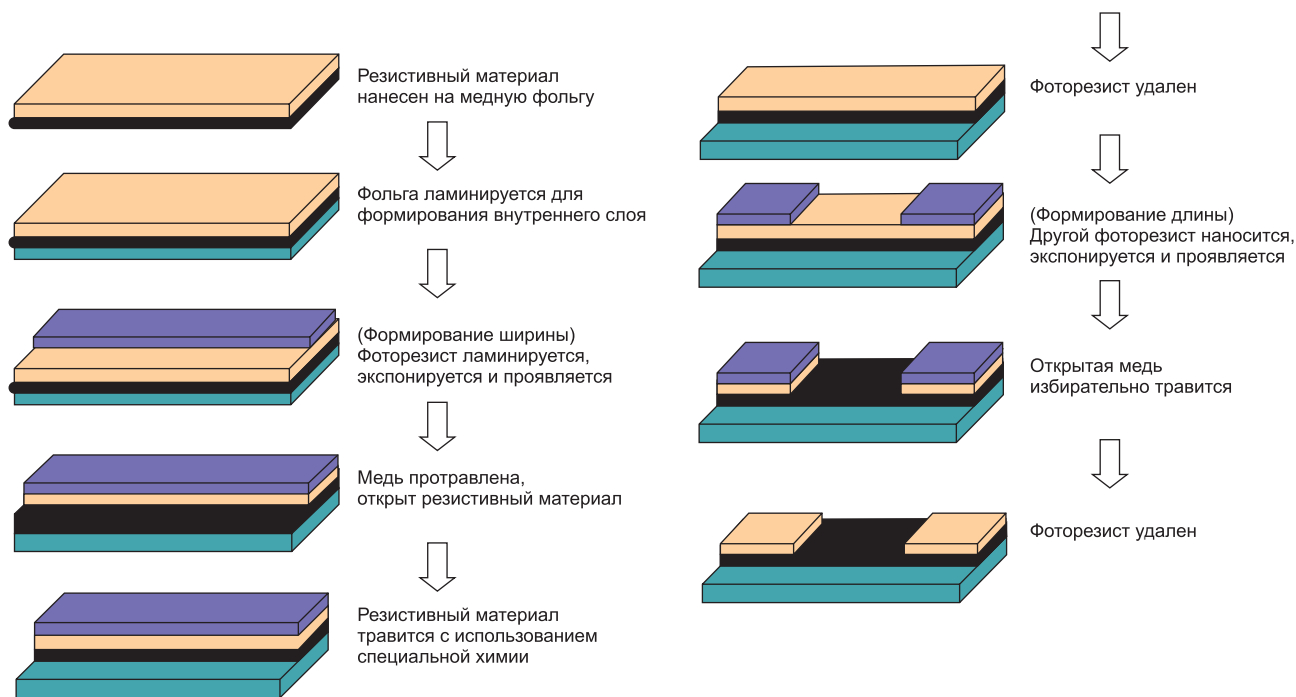


Рис. 3. Процесс производства EPT

Производство

Изготовление печатных плат с технологией встраивания пассивных компонентов (EPT, рис. 3) предусматривает те же процессы, что и традиционное производство, где встроенные резистивные материалы используются как часть штабелированной структуры. Кроме того, сплав резистора никель-хром (NiCr) сокращает этапы производства за счет отсутствия необходимости раздельного травления резистивного слоя. NiCr может быть сначала протравлен хлоридом меди, затем аммиаком, то есть тем же травильным средством, которое применяется для травления медных слоев платы. Более того, использование меди с двойной обработкой может устранить потребность в предварительной очистке покрытия и оксидной обработке. Стандартное финальное тестирование выполняется для проверки целостности платы с точки зрения непрерывности, изоляции и оценки измерений.

Есть несколько ключевых процессов, которые нужно контролировать и по возможности модифицировать, чтобы убедиться в правильном определении конфигурации резисторов. При этом следует уделить должное внимание таким аспектам, как настройка оборудования для применения фоторезиста, последующее экспонирование и разработка и контроль процесса выборочного удаления меди для определения длины резистора, способной повлиять на значение и допуск.

Дизайн

Дизайн формы EPT-компонентов определяется на основе требуемого финального значения резистора и значения сопротивления встроенного материала. Тонкопленочный встроенный резистор является изотропным, поэтому схемы резисторов можно проектировать в любой ориентации, необходимой

для ввода/вывода или для оптимизации зазора. Базовая формула расчета сопротивления такова:

$$R = S(L/W), \quad (1)$$

где R — сопротивление, Ом; S — сопротивление слоя, Ом/квадрат; L — длина резистора; W — ширина резистора. Термин «квадрат» безразмерен.

Окончательный допуск сопротивления зависит от того, с какой точностью выполняет травление медью производитель печатной платы и как изменяется сопротивляемость встраиваемой пленки. Чтобы минимизировать влияние травления на допуск сопротивления, рекомендуется использовать фиксированную ширину резистора, но при этом регулировать его длину для достижения нужного значения резистора.

Другой способ улучшения допуска сопротивления — использовать большие размеры, поскольку изменение ширины линии в процессе медного травления обычно является фиксированным и, следовательно, не зависит от ширины линии. Предпочтительно проектировать ширину и длину резистора больше, чем 0,25 мм (0,01"). Можно использовать калькулятор резистора для определения рекомендованных размеров на основе допуска и рассеивания мощности. Такой калькулятор [4] можно найти на сайте Honeywell Advance manufacturing Engineer (AME).

Проблемой могут стать термальные и механические допуски по зазорам для сквозных покрытых отверстий и микроотверстий. Для медного соединения между отверстием и началом резистора рекомендуется минимальный зазор в 0,25 мм (0,01"). Это обеспечит подходящую защиту от перенапряжений, вызванных пайкой при монтаже и сверлении отверстий (рис. 4).

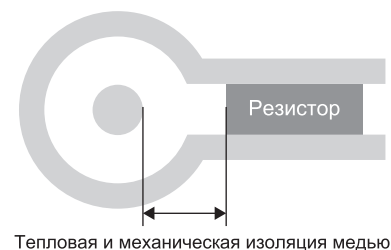


Рис. 4. Резистор в заземлении

Расчет рассеивания мощности и тепла зависит от номинальной мощности сплава резистора (мВт/мил²) и площади резистора (мил²). Когда требуется нагрузка большей мощности, резистор должен иметь соответствующий размер. Факторы, влияющие на рассеивание тепла:

- конфигурация схемы;
- толщина схемы и тип материала;
- теплопроводность диэлектрика;
- близость панелей заземления и питания к резистору;
- температура окружающей среды;
- дополнительная система охлаждения или теплоотвод;
- размер резистора (общая площадь резистора).

Все аспекты теплового рассеивания системы должны быть учтены при проектировании печатной платы. Критические требования к рассеиванию тепла могут потребовать моделирования теплового профиля или актуальных прототипов, чтобы убедиться в получении нужной конфигурации.

Дизайн-типы резисторов

Типы EPT-резистора можно выбрать на основе значения резистора и электрической функциональности. Есть несколько типов

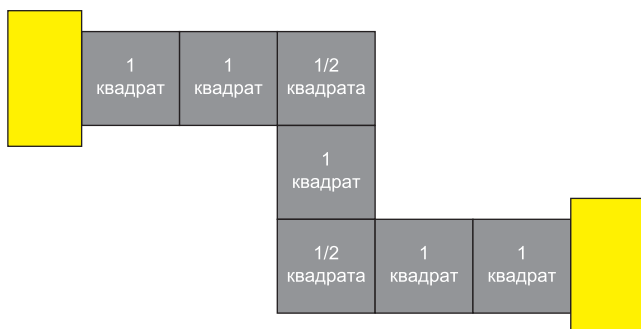


Рис. 5. Базовый расчет «квадрата» резистора

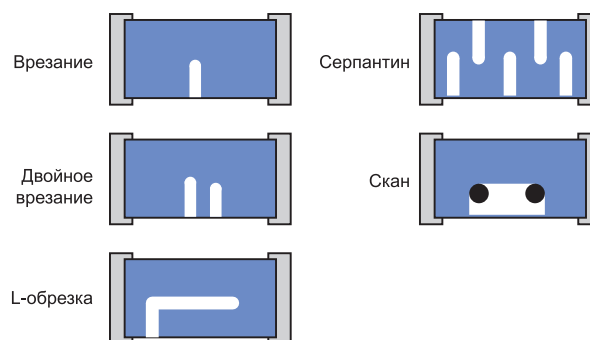


Рис. 6. Типы лазерной обрезки

резисторов, которые могут быть использованы для встраивания. Например, резисторы на базовых схемах, такие как резисторы, повышающие логический уровень, понижающие логический уровень, и прецизионные резисторы.

Резисторы, повышающие и понижающие логический уровень, используются в электронных логических схемах и позволяют убедиться, что входы в логические системы установлены на ожидаемых уровнях. На рис. 7 показана простая ЕРТ-разработка для понижающих и повышающих резисторов. Типичное значение для повышающих/понижающих резисторов может изменяться: оно варьируется в пределах 500 Ом – 10 кОм в зависимости от логики схемы. Стандартный допуск этих типов резисторов может превышать 20%.

Прецизионные ЕРТ-резисторы характеризуются значением сопротивления с низким допуском в 1%. Для получения такого допуска применяется метод лазерной подгонки.

Лазерная подгонка

Правила для процесса лазерной подгонки/нарезки [5] требуют, чтобы схемы были квадратными или прямоугольными и состояли из прямых линий, дуг или их комбинаций. «Длина» резистора — это всегда длина той стороны, которая параллельна движению тока. А «квадрат» резистора в угловой области (областях) резистора изогнутого типа в форме буквы L или серпантина должен быть рассчитан как половина значения сопротивления слоя (рис. 5).

Это можно представить в виде следующей формулы:

$$R = S \times (\text{Sum}(\text{Square}) + \text{Sum}(\text{Corner})/2), \quad (2)$$

где R — сопротивление, Ом; S — сопротивление слоя, Ом/квадрат; Square — количество квадратов; Corner — количество прямых углов.

В зависимости от сложности проекта могут быть использованы прецизионные встроенные резисторы, выполненные с помощью лазерной подгонки. При лазерной нарезке можно сделать допуск в 1%, выбрав несколько методов обрезки, таких как врезание, двойное врезание, L-врезка, серпантин и скан. На рис. 6 и в таблице 4 показаны преимущества и недостатки различных типов нарезки резистора.

Лазерная подгонка может оказаться непростой задачей, требующей тщательного проектирования и тестирования (DFM&T).

Таблица 4. Преимущества и недостатки различных типов обрезки резистора

Тип нарезки резистора	Рекомендовано для устройств	Преимущества	Недостатки
Врезание (Plunge)	DC	Минимальная стоимость	Только для DC возможность допуска
L-обрезка	DC	Большая точность, меньшие допуски	Только для DC. Немного дороже, чем plunge
Серпантин	DC — высокие значения резисторов	Большая точность, меньшие допуски. Большая гибкость конечного значения	Только для DC. Дороже, чем plunge или L-врезка (зависит от количества требуемых вырезов)
Скан (Scan)	Все	Высокочастотные устройства. Отличная точность допуска	Самая высокая стоимость

Конфигурации для различных типов резистора могут быть разными по форме. Форма резистора будет определять метод нарезки.

Типы резисторов:

- Прямоугольная конфигурация — самый распространенный тип резистора (рис. 7).
- Конфигурация в форме L — этот «квадрат» в угловой области изогнутого резистора должен рассчитываться как половина значения сопротивления слоя (рис. 8).
- Конфигурация «серпантин» (Serpentine) — этот резистор обычно используется для высоких значений резисторов. Количество углов затрудняет расчет значения. «Квадрат» резистора в угловых зонах резистора «серпантин» может быть рассчитан как половина значения сопротивления слоя (рис. 9).
- Конфигурация «цилиндр» (Top-hat), или «лепесток» (lobe type) — преимуществом этой конструкции является большой диапазон лазерной обрезки. На рис. 10 показан резистор из пяти квадратов. Используя лазер, можно сделать единственный вырез и создать девять квадратов резистора. Сопротивление можно варьировать между этими значениями, ограничивая количество прорезей. С помощью этой техники можно создать резистор с диапазоном более чем три от первоначального значения. Резистор этого типа должен быть прорезан вне зависимости от требований по допуску (рис. 11).

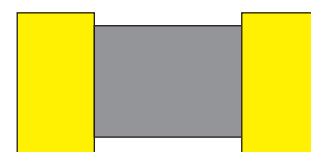


Рис. 7. Прямоугольная конфигурация

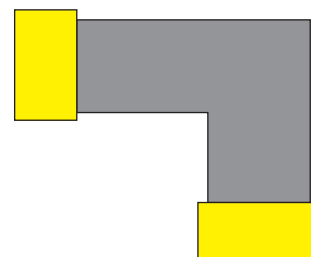


Рис. 8. Конфигурация в форме L

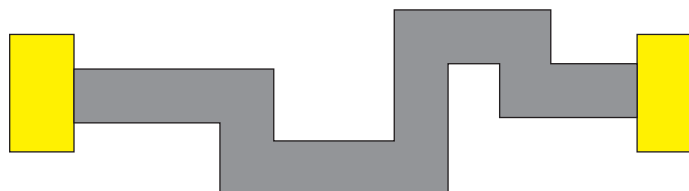
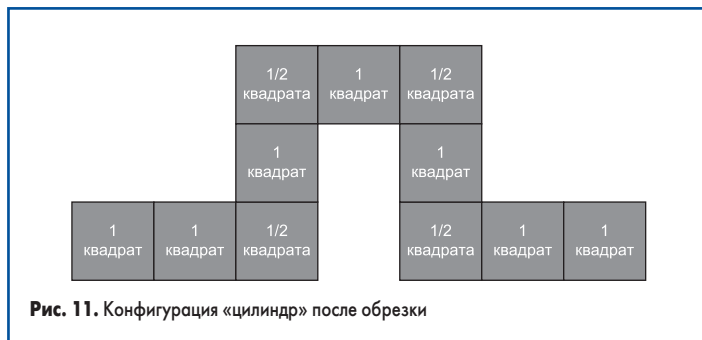


Рис. 9. Конфигурация «серпантин»

Следует помнить, что существуют определенные инструкции и требования, предъявляемые к инструментам и нарезке. Зондовые платы необходимы для измерения всех резисторов, так как они нарезаны лазером. Лучше проектировать зондовую плату для одновременного измерения 15–20 резисторов. Могут понадобиться многократные карты для конструкций,



где используется больше синхронизированных резисторов. Это повлияет на схему, инструментарий и стоимость установки. Резисторы со значениями 50 Ом или меньше предполагают четырехточечное зондирование по типу Кельвина, чтобы обеспечить нужную точность. Количество зондовых плат может быть снижено за счет применения DFM-модели и определения уникальных значений, форм и геометрического положения резисторов.

Точка лазера (YAG) составляет примерно 35–40 мкм в диаметре, в зависимости от материала объекта. С новой оптикой это значение можно уменьшить примерно до 25 мкм. Высокоточную нарезку (допуск $\pm 0,5\%$) лучше всего выполнять для резисторов размером больше, чем $0,02 \times 0,02$ дюйм² (250×250 мкм), которые нарезаются в зависимости от материала и значений сопротивления.

Некоторые области для проектирования прецизионного резистора:

- тепловой эффект во время лазерной нарезки;
- электрический ток и потенциал во время тестирования и нарезки;
- тепловой коэффициент сопротивления может значительно снизить общую производительность и итоговые допуски;
- мощность и потенциальный коэффициент сопротивления могут значительно снизить общую производительность и итоговые допуски;
- данные CAD могут быть использованы для планирования и программирования процесса до того, как реальные детали будут получены;
- итоговый допуск резистора может измениться после процессов производства платы после лазерной нарезки.

Способность работы при заданной мощности

Способность работы при заданной мощности тонкопленочного встроенного резистора — это вопрос управления тепловым режимом, где наблюдается зависимость от размера и формы резистора и конструкции печатной платы. Относительно низкая температура разложения органики определяет важность управления тепловым режимом.

Стабильная передача тепла по плате определяется формулой:

$$Q = K \times A1 \times (Tr - Ts) / d, \quad (3)$$

а стабильная конвекция тепла с платы формулой:

$$Q = U \times A2 \times (Ts - To), \quad (4)$$

где Q — тепло, Вт; Tr — температура резистора; K — теплопроводность; $A1$ — площадь резистора; $A2$ — площадь платы; U — коэффициент теплоотдачи; Ts — температура поверхности на внешнем слое; To — температура окружающей среды.

Для того чтобы избежать нарушений резистора, $Tr < Tmp$ материала резистора (например, NiCr $\sim +1400$ °C); $Tr < Tg$ окружающей органики (например, FR4 $\sim +170$ °C), где Tmp — температура точки плавления; Tg — температура стеклования.

Чтобы понять влияние размера резистора на рассеивание мощности [6], были проведены эксперименты с тонкопленочными резисторами для измерения критической мощности и из-

менения сопротивления тонкопленочных резисторов при различных нагрузках. Результаты эксперимента выражены формулой:

$$Pb = Ib \times 2R / A, \quad (5)$$

где Pb — критическая мощность; Ib — критический ток; R — сопротивление; A — площадь резистора.

Взаимозависимость критического тока и размера резистора показана на рис. 12. На графике видно, что способность тонкопленочного резистора рассеивать тепло зависит от его длины и ширины, а также от размера резистора. Чем меньше ширина и длина, тем выше плотность критической мощности, потому что путь прохождения тепла до окружающей среды короче. При увеличении размера резистора плотность критической мощности снижается, хотя общая мощность увеличивается из-за большего физического размера резистора, это указывает на то, что отношение между общим рассеиванием мощности и размером тонкопленочного резистора нелинейно. Было определено, что резистор должен работать на уровне мощности не более 30–40% от критической мощности, чтобы удерживать низкую температуру резистора без значительных изменений в сопротивлении.

Изменение сопротивления тонкопленочного резистора при различных нагрузках показывает следующее: при увеличении подачи мощности температура тонкопленочного резистора повышается, что в свою очередь приводит к изменению сопротивления. При различных плотностях мощности изменение сопротивления, рассчитанное из нагрузки

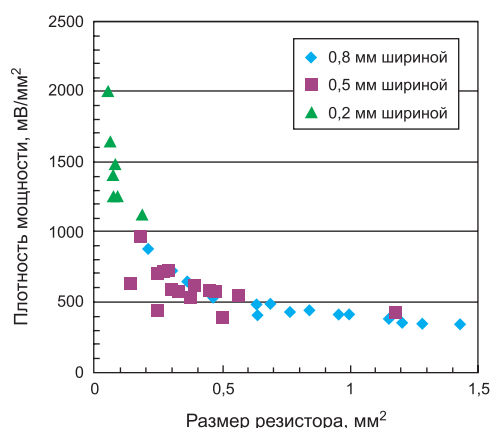


Рис. 12. Критическая мощность тонкопленочного NiCr резистора

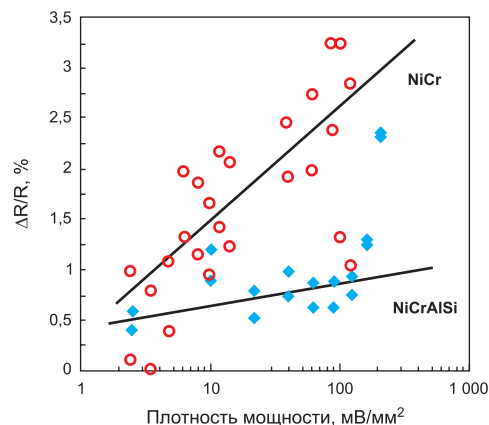


Рис. 13. Изменения сопротивления при силовой нагрузке, резистивная фольга была покрыта с одной стороны препрегом FR4, размер резистора 30×30 мил

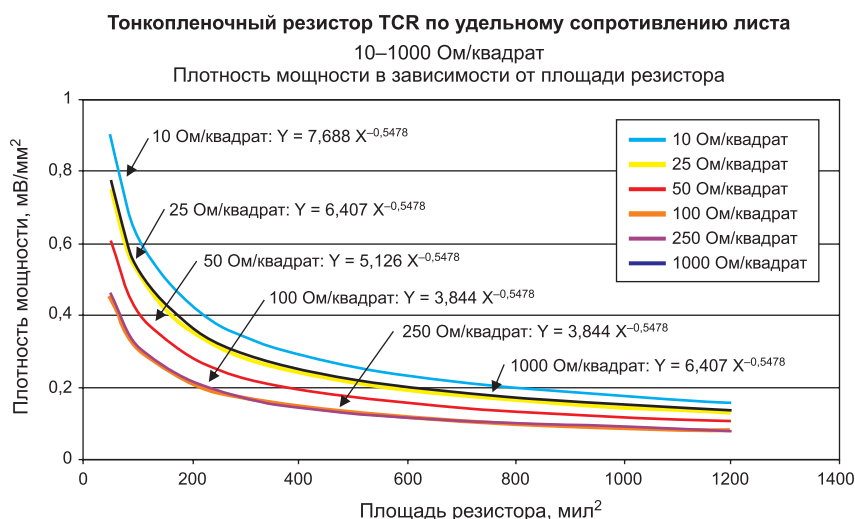


Рис. 14. Зависимость плотности мощности от площади резистора

и размера резистора, показано на рис. 13, 14. Были оценены оба материала резистора — NiCr и никель-хром-алюминий-силикат (NiCrAlSi). На рис. 13 изменение сопротивления происходит из-за силовой нагрузки и последующего изменения температуры и зависит от теплового коэффициента сопротивления материала (TCR). Это изменение сопротивления реверсивно при охлаждении резистора.

Расчет площади резистора

Значение резистора с использованием встроенного тонкопленочного сопротивления рассчитывается как сопротивление слоя в Ом/кв.мил, умноженное на отношение длины к ширине пленки — «количество квадратов»:

$$R = (\rho/t) \times (L/W) = R_s \times N_s, \quad (6)$$

где R — сопротивление, Ом; $R_s = \rho/t$ — сопротивление слоя, Ом/кв.мил; L и W — длина и ширина полосы материала; $N_s = L/W$ — количество квадратов.

Далее приводится пример расчета с помощью калькулятора резистора Ticer для определения размера резистора на основе следующих параметров:

- необходимое значение резистора: 100 Ом,
- необходимая мощность: 200 мВт,
- используемая тонкопленочная фольга: 25 Ом/кв.мил.

Для того чтобы получить значение 100 Ом, нужно четыре квадрата в 25 Ом.

Формула мощности для 25 Ом/кв.мил определяется как:

$$p(\text{мВт/мил}^2) = 6,407 A(\text{мил}^2)^{-0.5478} \quad (7)$$

(из рис. 13),

где p — плотность мощности; A — площадь резистора.

Расчет для A :

$$P = p \times A = 6,407 A^{-0.5478} = 6,407 A^{1-0.5478} = 6,407 A^{0.4522}, \quad (8)$$

$$A = (P/6,407)^{0.4522},$$

$$A = (200/6,407)^{0.4522} = 2016,9 \text{ мил}^2.$$

Расчет ширины и длины резистора проводится по формуле:

$$A = w(w \times n), \quad (9)$$

где w — ширина резистора; n — количество квадратов, при $w = (A/n)^{0.5}$; $w = (2016,9/4)^{0.5} = 22,45$ мил; $l = n \times w = 22,45 \times 4 = 89,9$ мил.

Калькулятор Ticer создан для того, чтобы предоставить проектировщикам инструкцию, с помощью которой можно определять размер резистора на основе таких переменных, как значение резистора, рассеивание мощности, допуск и допуски по травлению. Калькулятор также помогает определить форму резистора, чтобы оптимизировать схему резистора на базе сопротивления слоя. Этот калькулятор доступен на сайте AME.

Выводы и заключения

Технологическая группа Advanced Manufacturing Engineering (AME) занималась оценкой технологии встраивания пассивных компонентов как части технологии кардинальных изменений правил игры.

Технология встраивания пассивных компонентов — это жизнеспособная технология, которая надежно использовалась в оборонной и авиационной отраслях в последние 20 лет. Ценность технологии EPT — в освобождении

пространства на переполненной печатной плате, где необходимы более активные компоненты. Встроенные резисторы и конденсаторы могут увеличить функциональность платы без увеличения ее размера. Это также обеспечивает лучшую производительность сигнала, снижает перекрестные и паразитные помехи. EPT может увеличить надежность за счет сокращения поверхностно монтируемых компонентов и дефектов, связанных с процессами монтажа, такими как размещение и пайка.

Многие производители печатных плат в США уже имеют опыт использования технологии встраивания пассивных компонентов. Помощь для проектировщиков, включая калькулятор резистора Ticer, можно найти на сайте AME.

Литература

1. Integrated passive Component technology. R. Ulrich and L. Schaper editors. Wiley-IEEE Press, 2003.
2. Marcanti L., Dougherty J. Embedded passives: promising improved performance. Circuits Assembly, July 2001.
3. Ticer technologies, next generation Integrated thin Film Resistor. www.ticertechnologies.com
4. TCR resistor calculator. www.ticertechnologies.com/technical-literature/
5. Laser resistor trimming design rules. www.inseto.co.uk/wp-content/uploads/2018/12/ATP-LaserResistorTrimGuide.pdf
6. Wang J., Davis M., Hilburn R., Clouser S. Power Dissipation of embedded resistors. IPC, 2003.
7. Davis M., Wang J. Heat dissipation of laser trimmed resistors. Gould Electronics, March 2002.

Сергей ШИХОВ, технический директор «А-контракт»:

«Наша компания имела опыт производства электронных блоков, в состав которых входили печатные платы со встроенными конденсаторами. Данная технология позволяет избавиться от множества «блокировочных» конденсаторов. При этом характеристики готового изделия не только не хуже, чем при использовании традиционных SMD-элементов, но даже лучше, за счет отсутствия лишних цепей, соединенных с чип-конденсаторами. Технология встроенных резисторов, на мой взгляд, более экзотична, но может быть применена в некоторых изделиях».

