

ухудшении паяемости поверхности. Лучше всего смачиваются припоем оловянные химические и матовые покрытия. Гальванические блестящие покрытия отличаются высокой чистотой поверхности, что значительно увеличивает время релаксации смачивания. Наличие до 3% фосфора в никелевом химическом покрытии, а также его пористость обуславливают некоторое замедление смачивания и увеличение краевого угла до 58°.

Таблица 2 - Параметры смачивания оловянно-свинцовым припоем ПОС 61

| Параметр                               | Латунь | Медь | Золото | Серебро |
|--|--------|------|--------|---------|
| Натяжение смачивания, мН/м             | 238    | 221  | 260    | 165     |
| Время смачивания, с                    | 1      | 1,6  | 1      | 2,5     |
| Работа обслуживания, Дж/м <sup>2</sup> | 0,12   | 0,27 | 0,135  | 0,25    |

Исследование параметров смачивания наиболее распространенными бессвинцовыми припоями — Sn-3,4Ag-4,8Bi, Sn-4,0Ag-0,5Cu, Sn-3,5-Ag и Sn-0,7Cu — поверхностей печатных плат показало, что на свежеприготовленных образцах сила смачивания составляет 4,7–5,2 мН, а время смачивания — 2–3 с. После двух циклов нагрева в связи с ростом оксидной пленки SnO<sub>2</sub> сила смачивания снижается до 2 мН, а время смачивания растет до 8–10 с. В бессвинцовом процессе флюс должен обеспечить смачиваемость наиболее трудно смачиваемых припоев и металлических поверхностей контактных площадок и компонентов при более высокой температуре, поэтому его активность должна быть выше. Более активный флюс уменьшает число оксидов и улучшает смачиваемость. Выводы для обеспечения высокого качества паяных соединений в электронике необходимы совершенные и оперативные методы контроля паяемости выводов и контактных площадок электронных компонентов.

Современный метод баланса сил смачивания припоями позволяет объективно и достаточно точно оценить паяемость выводов различных типов электронных компонентов, финишных покрытий контактных площадок для различных припоев и флюсов при заданной температуре формирования соединений. Этот метод может успешно применяться в промышленности, что позволяет значительно сократить брак после пайки.

УДК 621.382

## **ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФАЗЫ КЕРМЕТОВ**

М. А. Карпец

Самарский университет, г. Самара

Для получения высокоомных тонкопленочных резисторов ТПР со стабильными свойствами широкое распространение получили керметы.

Важным условием получения высокоомного кермета со стабильными свойствами является правильный выбор исходных компонентов. В настоящее время в качестве металлической фазы керметов используют следующие металлы и сплавы: Cr, Ta, Al, Ni, NiCr, Re, Re-Ni, Au, W, Fe и др. Однако нет четкого представления – какой же металл лучшим образом удовлетворяет керметам, обладая одновременно высокой стабильностью и приемлемой технологичностью.

Анализ электрофизических свойств исходных металлов и свойств металлических резистивных пленок показывает, что основные свойства резисторов (ТКС, временная стабильность и др.) зависят от температуры плавления исходного материала. С увеличением температуры плавления основные электрофизические характеристики многих тонкопленочных металлических резисторов, как правило, улучшаются. Видимо и для получения стабильных керметных резисторов целесообразно использовать в качестве проводящей фазы тугоплавкие металлы. Подходящими металлами являются Ta, W, Re и другие тугоплавкие металлы. Однако использование тугоплавких металлов в составе керметов часто оказывается затруднительным, а иногда невозможным из-за резкого снижения технологичности материала и воспроизводимости свойств тонкопленочных резисторов. Поэтому для керметов необходим такой металл, который бы обладал приемлемой технологичностью и позволял достигать требуемых электрофизических характеристик ТПР. Под технологичностью материала в данном случае будем считать величину, обратную температуре испарения. Для оценки сочетания электрофизических свойств и технологичности предлагается использовать коэффициент:

$$K_{\text{соч}} = \frac{T_{\text{пл}}}{T_{\text{исп}}}, \quad (1)$$

где  $T_{\text{исп}}$  – температура испарения металла.

Установлено, что кривая, изображающая зависимость  $K_{\text{соч}} = f(T_{\text{пл}})$  для металлов с  $T_{\text{пл}} > T_{\text{исп}}$ , проходит через максимум. Максимальное значение  $K_{\text{соч}} = 1,575$  имеет хром. Таким образом, коэффициент  $K_{\text{соч}}$ , который предлагается использовать в качестве критерия выбора металлической фазы кермета и металла для металлических резисторов, в данном случае однозначно определяет “наилучший” с точки зрения оптимального сочетания свойств и технологичности металл. Возможно, что этим и объясняется широкое использование хрома в микроэлектронике.

Для более обоснованного выбора проводящей фазы керметов произведем оценку стойкости различных металлов к процессам электродиффузии. При электродиффузии в проводниках и резистивных полосках происходит перенос массы, что может привести к изменению сопротивления. Это явление для прецизионных ТПР необходимо учитывать.

Из анализа процессов, происходящих в проводниках при электродиффузии, можно заключить, что произведение удельного

сопротивления на валентность металла  $\rho \cdot z$  может быть использовано для оценки свойств тонкопленочных материалов, являющихся электронными проводниками; для оценки свойств дырочных тонкопленочных проводников и резистивных слоев можно использовать отношение  $\frac{\rho}{z}$ . Чем больше это отношение, тем выше стойкость материала к процессам электродиффузии. Соотношения между  $\rho$  и  $z$  можно использовать в качестве критериев выбора резистивных тонкопленочных материалов. Как правило, основным носителем заряда в ТПР являются электроны, поэтому в качестве критерия стойкости к электродиффузии целесообразно использовать произведение удельного сопротивления и валентности, т.е.

$$K_{\text{эл.д}} = \rho \cdot z. \quad (2)$$

Чем больше значение коэффициента  $K_{\text{эл.д}}$ , тем выше стойкость материала к электродиффузии и выше должна быть стабильность ТПР при работе под электрической нагрузкой.

Кроме того, для высокостабильных резисторов желательно использовать резистивные пленки с большими значениями  $\rho$  и размера зерен  $\Delta$ . Согласно исследованиям Левинштейна размер зерна металлической пленки зависит от температуры плавления:

$$\Delta \sim \frac{1}{T_{\text{пл}}}.$$

С учетом этого стойкость металлов к процессу электродиффузии можно оценить с помощью следующего обобщенного критерия:

$$K_{\text{эл. д}} = \frac{\rho \cdot z}{T_{\text{пл}}}. \quad (3)$$

Согласно критерию (3) наиболее эффективными металлами из рассмотренных следует считать V, Re, Cr и Nb. Однако из этих четырех металлов лишь V и Cr имеют  $T_{\text{исп}}$  менее 2000°C. Перспективными должны быть так же РЗМ, например, Y, Sm, Gd, т.к. для них  $K_{\text{эл.д.}} \geq 0,1$ . Исходя из условий (1) и (3), наиболее эффективным металлом следует считать хром. Это подтверждено также экспериментально. Возьмем его за основу металлической фазы при разработке высокоомных стабильных керметов.

УДК 621.382

## ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ФАЗЫ КЕРМЕТОВ

М. А. Карпец

Самарский университет, г. Самара

Выбор диэлектрической фазы для керметов оказывается еще более трудным. Ранее были предложены некоторые критерии выбора материала диэлектрика для керметов: коэффициент диссоциации  $\gamma_{\text{д}}$ , величина энергии поляронного состояния  $H_0$  и коэффициент поляронной активации  $K_a$ .