

# Формообразование проволочных соединений повышенной плотности в приборах электронной техники

**При современном развитии микроэлектроники происходит увеличение степени интеграции, производительности и надежности выпускаемых изделий. С повышением степени интеграции кристаллов растет плотность межсоединений между кристаллом и корпусом, уменьшаются размеры контактных площадок и расстояния между ними. Повышение плотности соединений заставляет применять проволоку малого диаметра, а это в свою очередь определяет особые технические требования к оборудованию проволочного монтажа [1].**

**Владимир Ланин,**  
профессор

vlanin@bsuir.by

**Игорь Петухов**

petuchov@kbtcm.by

С увеличением числа выводов прибора длина проволочных межсоединений между контактными площадками выводов и корпуса также растет, и в современных изделиях она может достигать 7–8 мм при диаметре проволочных соединений  $\leq 25$  мкм. При формировании перемычек такой длины следует обеспечить прямолинейность (или минимальное отклонение по вертикальной плоскости) для исключения замыканий при герметизации пластмассой и стабильность высоты вершины петли от края кристалла (рис. 1а), а также разновысотность перемычек (рис. 1б) при расположении контактных площадок в шахматном порядке.

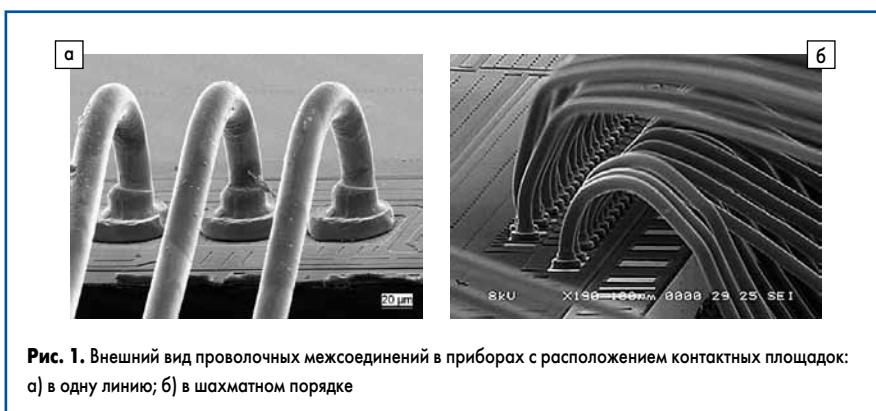
При формировании перемычек нужной формы и длины необходимо обеспечить, во-первых, прецизионное интерполированное перемещение капилляра в системе координат XYZ [2]; во-вторых, использование проволоки с определенными упругими свойствами и, в-третьих, учет эффекта образования отожженной зоны проволоки над оплавленным шариком (Heat Affected Zone в зарубежной терминологии, HAZ), с увеличенным размером зерна и уменьшенной микротвердостью. Длина этой отожженной зоны зависит от типа используемой проволоки и от установленных режимов работы блока

формирования шарика. Чем больше ток разряда и время, тем больше длина отожженной зоны.

При формировании перемычки точка перегиба образуется на участке наименьшей микротвердости в зоне HAZ, поэтому для получения низкопрофильных перемычек необходимо, во-первых, использовать специальную проволоку и, во-вторых, устанавливать минимально возможное время разряда при формировании шарика. Проведенные исследования [3] показали, что распределение микротвердости вдоль HAZ зоны имеет U-образную характеристику с минимальными значениями микротвердости на участке 0–0,2 мм.

При формировании петли без реверсивного движения капилляра в этих точках происходит изгиб микропроволоки. Схема перемещения капилляра при стандартном формировании петли показана на рис. 2а и используется в основном для микросварки к контактным площадкам, расположенным в один ряд.

После присоединения шарика к контактной площадке кристалла в точке А капилляр поднимается на программируемую высоту до точки Б, затем осуществляется реверсивное движение по отношению к выводу корпуса на величину БВ. После этого капилляр вертикально перемещается в точку Г по траектории ВГ. Участок ГД является дополнением к длине петли ввиду возможного изменения расстояния АЕ от прибора к прибору из-за погрешности посадки кристалла. При всех перемещениях капилляра из точки А в точку Д зажим проволоки открыт и капилляр свободно движется относительно проволоки. В точке Д зажим проволоки срабатывает и зажимает проволоку. Участки перемещения АБ-БВ-ВГ-ГД являются программируемыми параметрами, и их можно изменять по мере необходимости. Из точки Д капилляр с зажатой проволокой движется ко второй точке сварки Е практически по круговой траектории. В результате получается форма петли, показанная на рис. 2 пунктирной линией.



**Рис. 1.** Внешний вид проволочных межсоединений в приборах с расположением контактных площадок: а) в одну линию; б) в шахматном порядке

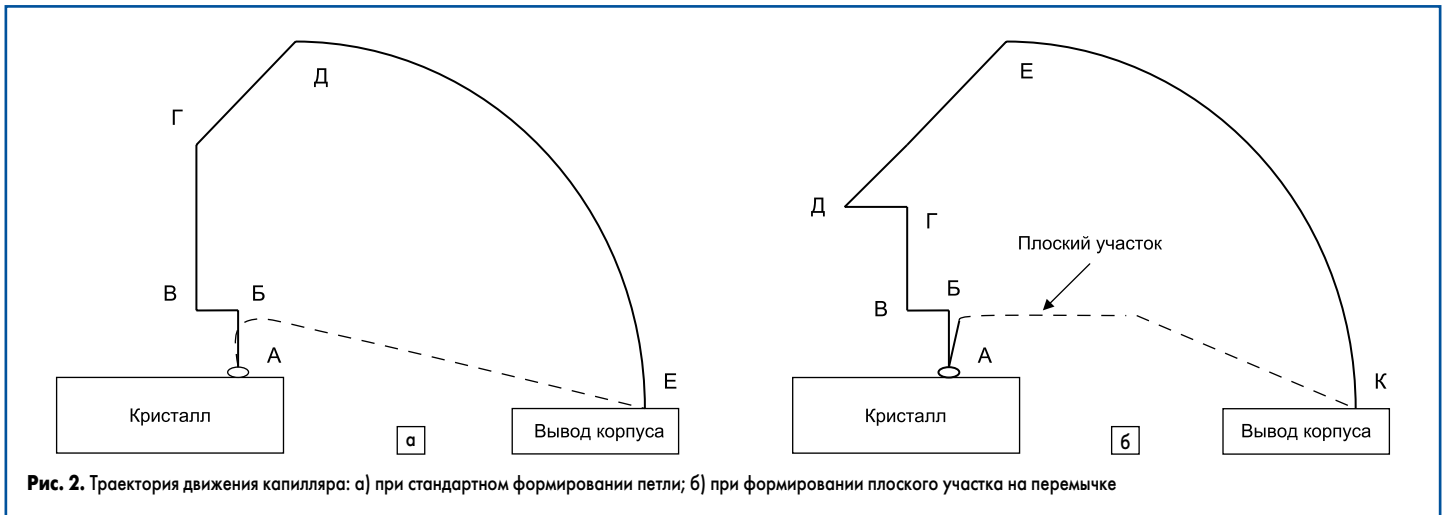


Рис. 2. Траектория движения капилляра: а) при стандартном формировании петли; б) при формировании плоского участка на перемычке



Рис. 3. Оптический микроскоп Planar MICRO 200



Рис. 4. Гистограмма высоты проволочных перемычек

Высота участка АВ и величина реверсивного движения определяют высоту петли, а минимальная высота определяется величиной зоны НАЗ: чем она меньше, тем ниже можно получить высоту петли. На первый взгляд, задание профиля перемычки кажется сложной процедурой. Действительно, необходимо корректно установить точку подъема Д, в противном случае может произойти натяг петли или ее обрыв. Но это было характерно для ручных установок присоединения выводов. Современные автоматы присоединения выводов с помощью встроенного программного обеспечения вычисляют необходимые перемещения по заданным координатам сварных точек с указанием их разности высотности. Более того, погрешность посадки кристалла в корпус автоматически учитывается системой технического зрения. Для задания необходимой формы перемычки можно также использовать библиотеку перемычек установки.

Для получения профиля перемычки с плоским участком, который необходим, когда края контактные площадки находятся далеко от края кристалла или контактные площадки расположены в несколько рядов, используют дополнительные реверсивные движения. На рис. 2б показана траектория для подобных случаев.

В отличие от траектории, изображенной на рис. 2а, для формирования плоского участка вводятся дополнительные точки второго реверсивного движения после точки Е: В-Г-Д. Заметим, что любое реверсивное движение создает на проволоке точку последующего изгиба. Таким образом, первый реверс А-Б-В

определяет высоту перемычки над кристаллом, а второй реверс В-Г-Д определяет длину плоского участка, показанного на рис. 2б пунктирной линией. Индивидуально программируя участки реверсивных движений для определенных перемычек, можно обеспечить заданную форму проволочных петель. Стабильность высоты и формы перемычек определяется в первую очередь точными перемещениями капилляра и сварочной головки в целом, а значит, техническими параметрами установки присоединения выводов.

Алгоритмы движения капилляра, описанные выше, реализованы в установках типа ЭМ-4260 и ЭМ-4360 производства УП «КБТЭМ-СО» ГНПО «Планар». Для оценки воспроизводимости высоты формируемых перемычек была взята выборка в количестве 100 перемычек для золотой проволоки диаметром 25 мкм. Были заданы следующие требования технологического процесса: нижний предел допуска перемычки от поверхности кристалла по высоте равен 270 мкм, а верхний предел — 360 мкм. При измерении использовался микроскоп Planar MICRO 200 с оптическим увеличением  $\times 200$  с цифровым контроллером перемещений объектива (рис. 3). Результаты контроля высоты проволочных перемычек в виде гистограммы приведены на рис. 4.

Согласно этой гистограмме получены: минимальное значение высоты перемычки — 144 мкм; максимальное значение — 171 мкм; среднее значение — 157 мкм и  $S = 6,12$ . Известно, что коэффициент точности техно-

логического процесса  $K_T$  вычисляется из следующего соотношения:

$$K_T = \frac{T}{6S} = \frac{H_{в} - H_{н}}{6S}, \quad (1)$$

где  $S$  — стандартное отклонение;  $T$  — допуск отклонения или разность верхнего и нижнего допуска.

Используя соотношение (1), получаем значение коэффициента точности, которое равно 2,45, что дает основание считать процесс стабильным.

После контроля высоты перемычек проведен разрушающий тест контроля прочности тянущим усилием с зацеплением перемычки крючком на установке DAGE 4000 (рис. 5).



Рис. 5. Установка контроля прочности перемычек тянущим усилием сварных соединений на сдвиг


**Рис. 6.** Установка микросварки ЭМ-4320У

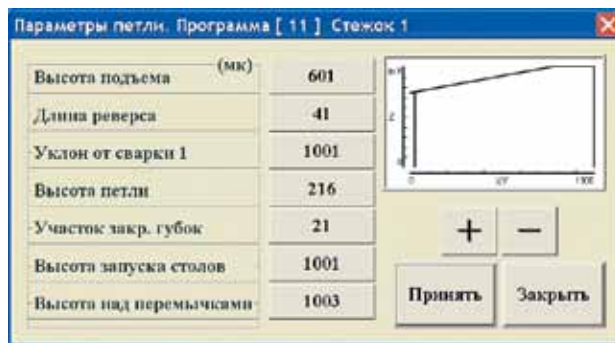
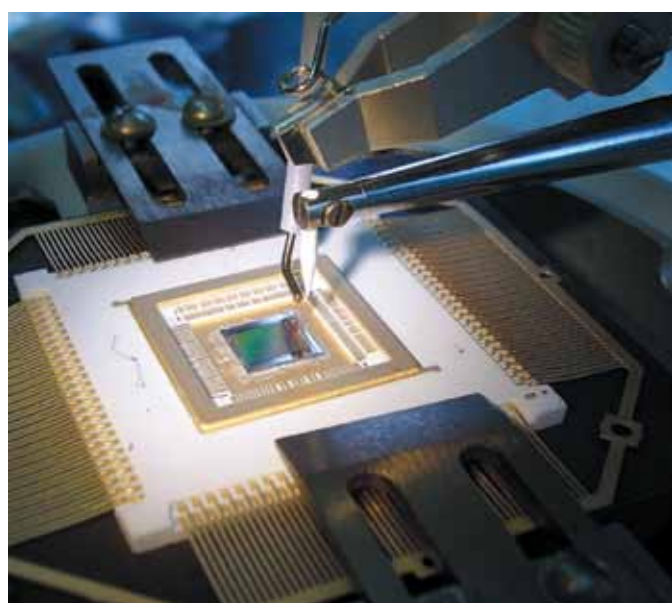
Статистическая обработка данных ста измерений показала, что минимальное значение усилия — 4,6 г; максимальное значение усилия — 9,33 г; среднее значение усилия — 7,55 г;  $S = 0,94$ . Наибольшее значение усилия обрыва перемычки, равное усилию обрыва самой проволоки, составило 14 г. Минимальное значение прочности лимитировалось утвержденным техпроцессом и составляло 4 г. Используя соотношение (1), получаем значение коэффициента точности, которое равно 1,77, что дает основание также считать процесс стабильным.

С учетом требований современного производства электронных изделий в УП «КБТЭМ-СО» ГНПО «Планар» разработана новая полуавтоматическая установка микросварки ЭМ-4320У. Эта установка позволяет применять три метода микросварки — термозвуковую сварку методом «шарик-клин» для золотой проволоки, «клин-клин» (УЗС и ТЗС) для алюминиевой и золотой проволоки и контактную сварку расщепленным электродом для золотой, медной и платиновой проволоки, а также проволоки из сплавов золота с палладием и золота с платиной. Методы УЗС, ТЗС и контактной сварки применяют также при использовании ленточных выводов. Установка комплектуется тремя быстросменными сварочными головками: для ТЗС «шарик-клин», УЗС (ТЗС) «клин-клин» и контактной сварки расщепленным электродом. Программное обеспечение позволяет в меню ЭМ-4320У быстро выбрать соответствующий способ сварки после установки соответствующей сварочной головки.

Внешний вид универсальной модели ЭМ-4320У показан на рис. 6. Она содержит два блока управления: справа расположен блок со встроенным малогабаритным компьютером и сенсорным 7-дюймовым монитором, а слева — блок управления приводом и периферийными устройствами. Система управления осуществляет программируемые перемещения сварочной головки по координате Z (по вертикали) и рабочего столика по координате Y (в направлении от оператора), а также управление программируемым приводом механизма отрыва-подачи. Все сварочные параметры программируются через дисплей и сохраняются в памяти установки. Каждая точка сварки и сама форма петли могут быть индивидуально запрограммированы и сохранены в памяти установки.

Особенностью ЭМ-4320У является применение в механизме отрыва-подачи малоомощного шагового привода для программируемого перемещения зажимных губок проволоки. Это позволило стабилизировать подачу проволоки под инструмент и запрограммировать скорость отрыва проволоки после второй сварки. При определении скорости отрыва необходимо также учитывать разрывное усилие проволоки и ее относительное удлинение, особенно при контактной микросварке.

Прецизионные приводы по координатам X и Y и их программная интерполяция позволяют формировать петли стабильной формы при длине 150–200 мкм. Гибкость формирования петлеобразования обеспечивается набором программируемых параметров, показанных на рис. 7. В правой части окна программирования петли отображается траектория перемещения микроинструмента, что помогает при подборе параметров петлеобразования.


**Рис. 7.** Программирование параметров петли

**Рис. 8.** Сварочный капилляр и электрод разрядника, установленные в волноводе на 110 кГц

Испытания микросварных соединений алюминиевой проволокой диаметром 27 мкм тянущим усилием за центр перемычки показали прочность 9–11 г без отслоения сварных точек. Тестовые присоединения золотой проволоки диаметром 20 мкм проводились на никелевых подложках с напылением серебра при температуре нагрева рабочей зоны 140 °С. Разрушающие тесты показали прочность перемычек 5–6 г при исходном разрывном усилии проволоки 8 г и относительном удлинении 4%.

Цикл формирования шарика на установке ЭМ-4320У можно представить следующим образом. На электрод разрядника, входящий в состав сварочной головки, подается высоковольтный импульс положительной или отрицательной полярности длительностью от 2,5 до 15 мс в зависимости от диаметра проволоки. В момент подачи высоковольтного импульса конец электрода находится от конца проволоки на расстоянии 1–1,5 мм. Это обеспечивается за счет фиксации электрода в сварочной головке (рис. 8). Для электрического пробоя такого воздушного промежутка требуется напряжение порядка 3,5–4,5 кВ. Возникающий разряд разогревает газ между электродом и проволокой до температуры, необходимой для расплавления конца проволоки. Под действием сил поверхностного натяжения расплав формируется в шар. Применение технологии образования шарика с использованием отрицательной полярности на электроде минимизирует отжиг проволоки, что позволяет формировать низкопрофильные перемычки.

### Выводы

При термозвуковой микросварке в изделиях электронной техники с повышенной плотностью соединений возникает необходимость использования проволоки пониженного сечения  $\leq 25$  мкм и обеспе-

чения прямолинейности проволочных перемычек на длине до 4,5–5 мм для исключения их провисания и касания при герметизации приборов пластмассой. Для решения этой проблемы необходимы алгоритмы прецизионного перемещения капилляра с помощью реверсивных движений. Прецизионные приводы по координатам X и Y и их программная интерполяция в универсальной установке микросварки ЭМ-4320У позволяют форми-

ровать петли стабильной формы при длине 150–200 мкм.

#### Литература

1. Prasad S.K. Advanced Wire Bond Interconnection Technology. N. Y.: Springer, 2004.
2. Wang F., Chen Y., Han L. Effect Capillary Trace on Dynamic Loop Profile Evolution in Thermosonic Wire Bonding // IEEE Trans. on

Comp., Packaging and Manuf. Technology. 2012. No 9.

3. Ohno Y., Ohzeki Y., Aso T., Kitamura J. Factors governing the Loop Profile in Au Bonding Wire. Proceeding 42<sup>nd</sup> Electrical Components and Technology Conf., 1992.
4. Ковальчук Г., Петухов И., Ланин В. и др. Новое поколение установок термозвуковой микросварки // Технологии в электронной промышленности. 2011. № 7.