УДК 621.382.032.27
DOI: 10.17277/vestnik.2019.01.pp.149-154

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ НА ПРОЧНОСТЬ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВЫВОДОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

И. С. Филатов, И. С. Армянинов, Т. Р. Маматказин

Кафедра «Материалы и технология», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия; ridder@mail.ru

Ключевые слова: золотая подложка; интегральные микросхемы; контроль качества соединений; проводники с золотым покрытием; технология сварки «шарик – клин»; ультразвуковая сварка.

Аннотация: Исследованы зависимости прочности микросварных соединений от параметров ультразвуковой микросварки: усилия прижима, величины тока, подаваемого на генератор ультразвуковых колебаний, времени сварки. Получены параметры, при которых наблюдалась наибольшая прочность соединений контактов. Решена одна из главных задач в области сборки интегральных микросхем, а именно, подобраны оптимальные параметры для соединений типа «шарик – клин», формируемые из золотой проволоки на подложке с золотым покрытием на установке ультразвуковой микросварки, при которых прочность данных соединений будет максимальной.

Метод соединения микросхем должен удовлетворять следующим требованиям: прочность соединения близка к прочности соединяемых элементов микросхем; минимальное омическое сопротивление соединения; минимально возможные основные параметры процесса соединения (температура нагрева, удельное давление и длительность выдержки), с тем чтобы не повреждались элементы схемы; выполнение соединения материалов разнообразных сочетаний и типоразмеров; после соединения не должно оставаться материалов, вызывающих коррозию; осуществление контроля качества соединений простыми и надежными методами [1]. Из общеизвестных способов сварки при производстве микроэлектронных схем применяют контактную точечную, ультразвуковую, холодную, диффузионную, электронно-лучевую, лазерную, аргонодуговую и микроплазменную [2].

Специально для монтажа микросхем разработано несколько оригинальных способов микросварки давлением: термокомпрессия, сварка давлением с косвенным импульсным нагревом, ультразвуковая сварка с косвенным импульсным нагревом, односторонняя контактная сварка (точечная и шовная).

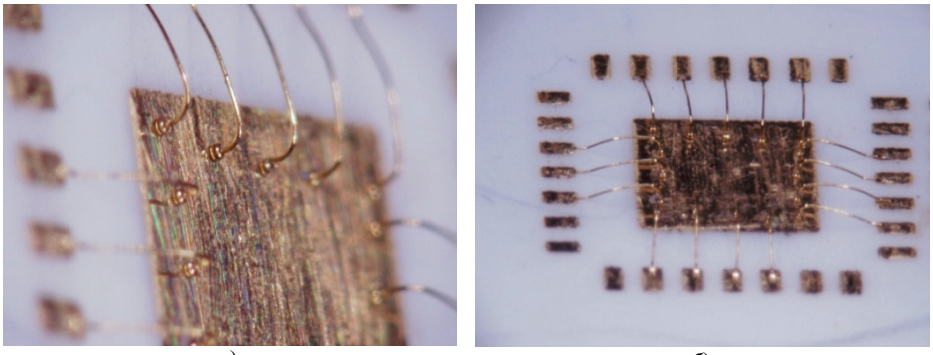
Ультразвуковая микросварка и комбинированные способы сварки успешно используются при изготовлении гибридных схем, транзисторов и интегральных схем. Основными параметрами процесса при ультразвуковой микросварке являются амплитуда колебаний рабочего торца-инструмента, которая зависит от электрической мощности преобразователя и конструктивного исполнения колебательной системы; усилие сжатия свариваемых элементов; длительность включения ультразвуковых колебаний [3]. Ультразвуковую микросварку применяют для вы-

полнения монтажа гибкими проводниками, присоединения кристалла к корпусу, беспроволочного монтажа интегральных схем методом «перевернутого кристалла», присоединения плоских выводов к кремниевым кристаллам диодов [4].

В ходе проделанной работы исследованы зависимости прочности полученных соединений от параметров ультразвуковой микросварки, таких как усилие прижима, величина тока, подаваемого на генератор ультразвуковых колебаний, время сварки. Получены параметры, при которых обеспечивалась наибольшая прочность соединений контактов. Контроль качества сварных соединений производился в две стадии. Сначала визуальный осмотр соединения на соответствие геометрических параметров общим требованиям [5], затем следовало механическое испытание на отрыв. Температура нагрева изделия также влияет на качество соединений, поэтому проведены исследования и эксперименты по влиянию данного параметра.

Тестируемые соединения сделаны на установке для ультразвуковой сварки микропроволочных соединений фирмы Kulicke&Soffa 4700AD. Тесты на прочность получившихся соединений проводились на установке немецкой фирмы TPT H52 Dynamic Search, визуальный контроль сварных соединений – на цифровом оптическом микроскопе Hirox, плазменная очистка – с использованием установки Nordson March AP–600

На рисунках 1 и 2 показаны общие виды соответственно тестируемых петель и оторванных соединений.



а) *б*)

Рис. 1. Общий вид тестируемых петель:
а – отдельных; *б* – общая сборка

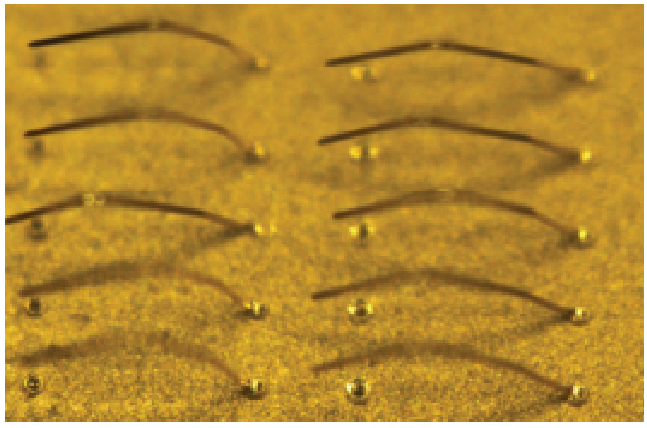


Рис. 2. Общий вид оторванных соединений

В таблице 1 приведены параметры сварочной установки для золотой проволоки диаметром 20 и 25 мкм.

Таблица 1

Параметры сварочной установки для золотой проволоки диаметром 20 и 25 мкм

Параметр	Точка сварки									
	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110
Первая точка сварки (сварка «шарика»), Ø 20 мкм										
Мощность сварки, усл. ед.	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
Усилие прижима, усл. ед.	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
Продолжительность сварки, усл. ед	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4
Усилие на отрыв, г:										
предварительно очищенная в плазме	3,0	4,5	6,5	7,5	9,0	8,0	7,1	6,0	4,0	2,9
предварительно не очищенная	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	3,2	2,9	2,0	1,6	1,1
Вторая точка сварки (сварка «клина»), Ø 20 мкм										
Мощность сварки, усл. ед.	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
Усилие прижима, усл. ед.	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8
Продолжительность сварки, усл. ед	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2	7,6
Усилие на отрыв, г:										
предварительно очищенная в плазме	5,0	5,9	6,0	8,2	9,3	10,1	8,9	8,1	6,0	4,4
предварительно не очищенная	2,2	2,6	3,2	3,5	4,0	3,2	2,8	2,0	1,3	1,1
Первая точка сварки (сварка «шарика»), Ø 25 мкм										
Мощность сварки, усл. ед.	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
Усилие прижима, усл. ед.	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
Продолжительность сварки, усл. ед	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0
Усилие на отрыв, г:										
предварительно очищенная в плазме	3,3	4,8	6,6	7,6	9,2	10,1	7,2	6,1	4,1	3,0
предварительно не очищенная	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	3,0	2,4	1,8	1,3
Вторая точка сварки (сварка «клина»), Ø 25 мкм										
Мощность сварки, усл. ед.	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
Усилие прижима, усл. ед.	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0
Продолжительность сварки, усл. ед	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2	7,6
Усилие на отрыв, г:										
предварительно очищенная в плазме	3,3	4,8	6,6	7,6	9,2	10,1	7,2	6,1	4,1	3,0
предварительно не очищенная	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	3,0	2,4	1,8	1,3

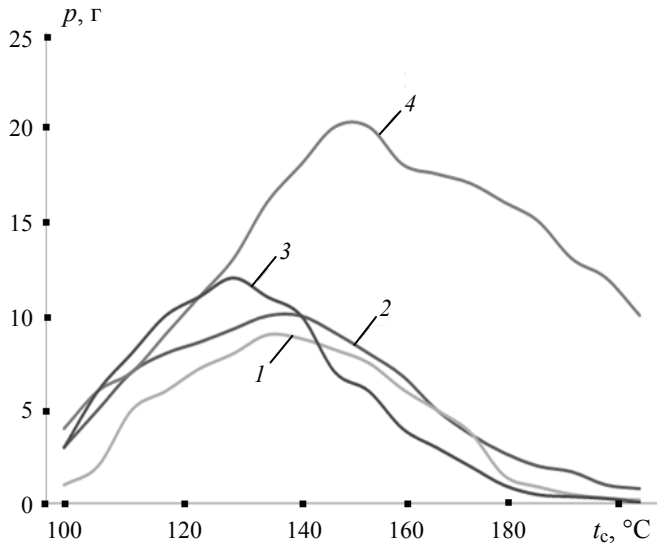


Рис. 3. График зависимости прочности сварных соединений *p* от температуры столика t_c для проволоки Ø, мкм:
1 – 20; *2* – 25; *3* – 30; *4* – 50

В ходе проведения исследований выявлено, что на прочность соединений методом ультразвуковой сварки существенное влияние оказывает температура столика. График зависимости прочности сварного соединения от температуры столика (при других постоянных параметрах сварки) показан на рис. 3.

Температура столика, на котором устанавливается плата (подложка) перед сваркой проволочных выводов, для каждого размера поперечного сечения золотой проволоки подбирается в зависимости от режима сварки. Для подобранного режима сварки проволоки Ø20 мкм соответствует интервал температур 133…146 °С; Ø25 мкм – 136…145 °С; Ø30 мкм – 125…133 °С; Ø50 мкм – 143…157 °С.

Исходя из проведенных исследований сделан вывод о многогранности факторов, влияющих на прочность соединений проводников электронных микросхем, учитывая которые можно добиться существенного увеличения качества соединения выводов изделий полупроводниковой техники. Полученные данные позволяют провести отработку технологического процесса сварки проводников с учетом их материала и толщины, что способствует дальнейшим исследованиям.

Список литературы

1. Хорин, И. А. Технологии электронной компонентной базы : учеб. пособие / И. А. Хорин. – Саратов : IPR Медиа, 2018. – 278 с.

2. Фомин, Д. В. Основы компьютерной электроники : учеб. пособие / Д. В. Фомин. – Саратов : Вузовское образование, 2017. – 107 с.

3. Конюшков Г.В. Специальные методы сварки плавлением в электронике : учеб. пособие / Г. В. Конюшков, В. Г. Конюшков, В. Ш. Авагян. – М. : Дашков и К, 2017. – 144 с.

4. Чуриков, А. А. Метод неразрушающего теплофизического контроля образцов малых геометрических размеров из твердых материалов / А. А. Чуриков, Л. Л. Антонова // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2005. – Т. 11, № 3. – С. 618 – 624.

5. Москвитин, С. П. Метод и система контроля характеристик качества биметалла / С. П. Москвитин, А. П. Пудовкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 15, № 2. – С. 315 – 320.

The Effect of Ultrasonic Welding Parameters on the Strength of Contact Joints of Integrated Circuit Pins

I. S. Filatov, I. S. Armyaninov, T. R. Mamatkazin

Department of Materials and Technology, TSTU, Tambov, Russia; ridder@mail.ru

Keywords: gold substrate; integrated circuits; quality control of compounds; gold plated conductors; ball–wedge welding technology; ultrasonic welding.

Abstract: The dependences of the strength of micro-welded joints on the parameters of ultrasonic micro-welding, such as pressing force, current supplied to the ultrasonic oscillator and welding time are investigated. The parameters for the highest strength of the contact connections are obtained. One of the main tasks in the field of assembling integrated circuits has been solved; the optimal parameters have been selected for joints of the “ball – wedge” type formed from gold wire on a gold coated substrate on an ultrasonic micro welding system, at which the strength of these joints is maximum.

References

1. Khorin I.A. *Tekhnologii elektronnoy komponentnoy bazy* [Technologies of electronic component base], Saratov: IPR Media, 2018, 278 p. (In Russ.)

2. Fomin D.V. *Osnovy komp'yuternoy elektroniki* [Basics of computer electronics], Saratov: Vuzovskoye obrazovaniye, 2017, 107 p. (In Russ.)

3. Konyushkov G.V., Konyushkov V.G., Avagyan V.Sh. *Spetsial'nyye metody svarki plavleniyem v elektronike* [Special methods of fusion welding in electronics], Moscow: Dashkov i K, 2017, 144 p. (In Russ.)

4. Churikov A.A., Antonova L.L. [Method of non-destructive thermal and physical control of samples of small geometric dimensions of solid materials], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2005, vol. 11, no. 3, pp. 618-624. (In Russ., abstract in Eng.)

5. Moskvitin S.P., Pudovkin A.P. [Method and system for monitoring the quality characteristics of a bimetal], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2009, vol. 15, no. 2, pp. 315-320. (In Russ., abstract in Eng.)

Die Wirkung von Ultraschallschweißparametern auf die Festigkeit der Kontaktverbindungen integrierter Schaltkreisausgänge

Zusammenfassung: Es sind die Abhängigkeiten der Festigkeit der Mikroschweißverbindungen von den Parametern des Ultraschall-Mikroschweißens untersucht: Druckkraft, Stromstärke, die dem Generator von Ultraschallschwingungen

zugeführt wird, Schweißzeit. Es sind die Parameter erhalten, bei denen die höchste Festigkeit der Kontaktverbindungen beobachtet wurde. Eine der Hauptaufgaben im Bereich der Montage von integrierten Schaltkreisen ist gelöst, und zwar: es sind die optimalen Parameter für Verbindungen vom Typ “Kugelkeilverbindungen” ausgewählt, die aus Golddraht auf einer goldbeschichteten Unterlage mit der Ultraschall-Mikroschweißanlage hergestellt werden, bei denen die Festigkeit dieser Verbindungen maximal ist.

Influence des paramètres du soudage par ultrasons sur la résistance des connexions de contact des bornes des circuits intégrés

Résumé: Sont étudiées les dépendances de la résistance des micro-soudures des paramètres de micro-soudage par ultrasons: force de serrage, valeur du courant fourni au générateur d'oscillations à ultrasons, temps de soudage. Sont obtenus les paramètres dans lesquels les contacts sont les plus forts. Est résolue une des principales tâches dans le domaine de l'assemblage des circuits intégrés, à savoir, les paramètres optimaux pour les connexions du type “perle – coin” formés à partir du fil d'or sur le substrat avec un revêtement d'or sur l'installation de micro-soudage par ultrasons, dans lequel la force deces de assemblages sera maximale.

Авторы: ***Филатов Иван Сергеевич*** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материалы и технология»; ***Армянинов Иван Сергеевич*** – магистрант; ***Маматказин Тимур Рифатович*** – магистрант, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: ***Дмитриев Олег Сергеевич*** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физика», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.