

МОНИТОРИНГ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ГЕРМЕТИЗАЦИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

*Солодуха В.А., Турцевич А.С., Соловьев Я.А., Рубцевич И.И., Керенцев А.Ф.,
Довженко А.А., Чирко И.В.*

ОАО «ИНТЕГРАЛ», г. Минск, Республика Беларусь

Высокая надежность интегральных схем специального назначения в металлокерамических корпусах на стадии производства достигается в результате минимизации содержания влаги в корпусе и постоянного измерения параметров среды герметизации. Показано, что использование приборов контроля режимов контактной сварки и приборов для комплексного измерения параметров атмосферы установки герметизации позволило осуществить постоянный мониторинг параметров технологического процесса – тока сварки, температуры, точки росы и относительной влажности инертной атмосферы. В результате мониторинга процесса шовно-роликовой сварки достигнуто увеличение выхода годных по герметичности более 99,0 % и снижение влаги в корпусах интегральных схем до 0,01–0,2 % объёмных. (E-mail: AKerentsev@integral.by)

Ключевые слова: интегральная схема, влага, мониторинг.

Введение

Эксплуатационная надежность интегральных схем (ИС) в герметичных корпусах в значительной мере зависит от содержания влаги в подкорпусном объеме. При этом влага, конденсированная на поверхности полупроводникового кристалла, непосредственно участвует в деградационных электрохимических процессах, а также способствует развитию отказов из-за электромиграции или миграции атомов металла [1]. Доля таких отказов ИС в керамических корпусах достигает 60 % [2]. Для снижения содержания подкорпусной влаги герметизация ИС в металлокерамических корпусах выполняется методом контактной шовно-роликовой сварки при токах более 50 А в инертной среде с относительной влажностью не более 2 %. Использование приборов и методов измерения параметров процесса, а также датчиков и комплексов для контроля состояния атмосферы в скафандре установки позволяет оперативно управлять качеством герметизации в режиме реального времени.

Актуальность данной работы связана с решением задачи воспроизводимого обеспечения выхода годных ИС и низкого уровня влаги в их корпусах на стадии производства.

Анализ герметизации методом шовно-роликовой сварки и приборов для мониторинга параметров процесса

Согласно [3] контактная шовная сварка – термомеханический процесс образования неразъемных сварных швов, состоящих из ряда точечных соединений, который осуществляется концентрированным местным нагревом материала электрическим током, проходящим через контакт свариваемых элементов, и пластической деформацией зоны шва под действием усилия сжатия до появления расплавленной зоны (литых ядер).

Особенность шовной сварки состоит в том, что она выполняется с помощью двух (или одного) вращающихся дисковых электродов-роликов, между которыми с усилием сжаты и прокатываются соединяемые детали (рисунок 1).

Для герметизации корпусов ИС широкое применение находит полуавтомат 03КС-700-2 с односторонней шовно-роликовой сваркой. В основе работы полуавтомата лежит принцип шовной контактной сварки перекрывающимися сварными точками с прерывистым протеканием сварочного тока, формируемого от однофазной сети переменного тока промышленной частоты и конвейерным перемещением герметизируемых корпусов [4]. К роликам подводится сварочный ток,

который, как и при точечной сварке, нагревает металл в месте соединения до температуры от 1000 до 1500 °С и расплавляет его.

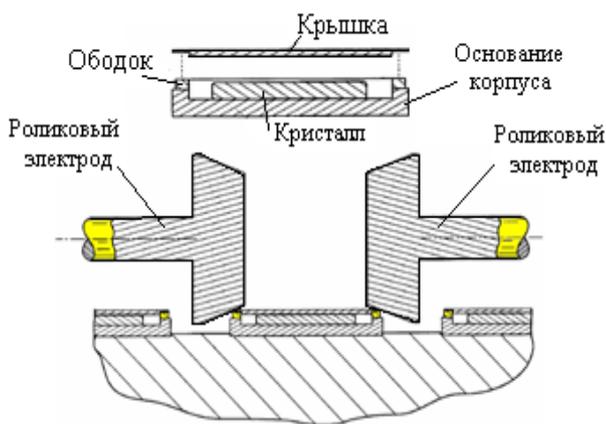


Рисунок 1 – Схема герметизации интегральных схем методом односторонней шовно-роликовой сварки

Полуавтомат представляет собой конструкцию с блочной компоновкой, выполняющую операцию герметизации двумя головками и одним сварочным трансформатором. Выводы вторичной обмотки трансформатора подсоединены к токоподводам электродов, ведущих герметизацию по длинной и короткой сторонам корпуса микросхемы. Процесс герметизации осуществляется в импульсном режиме с дискретно-регулируемой длительностью паузы между пачками сварочных импульсов. Управление режимом герметизации осуществляется фазоимпульсным методом путем изменения угла включения тиристоров, которые коммутируют ток в первичной обмотке сварочного трансформатора. Управление углами тиристоров позволяет регулировать длительность сварочного импульса, что эквивалентно изменению величины действующего значения сварочного тока (рисунок 2).

Измерение амплитуды сварочного тока можно осуществлять бесконтактным методом с помощью токоизмерительных клещей переменного тока типа ЕСТ-650. Этот прибор является одной из самых популярных моделей среди специалистов. Прибор успешно прошел сертификационные испытания в Российской Федерации и включен в Государственный реестр средств измерений за №19196-00. Прибор работает в частотном диапазоне 45–400 Гц. Предел допускаемой основной погрешности ЕСТ-650 не превышает 1 %. Результаты измерений отображаются на жидкокристаллическом индикаторе.

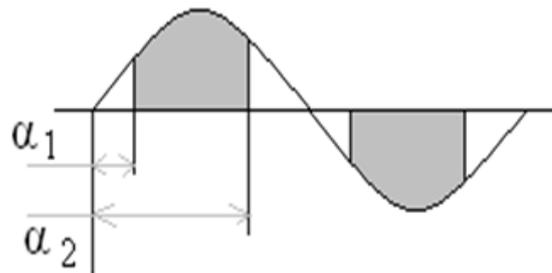


Рисунок 2 – Изменение длительности сварочного импульса путем управления углами тиристоров

Также следует отметить, что условия проведения герметизации определяющим образом оказывают влияние на содержание паров в подкорпусном пространстве, превышение которых приводит к снижению эксплуатационной надежности ИС. Поэтому дополнительными параметрами техпроцесса, включенными в мониторинговый регламент, являются параметры атмосферы в установке герметизации – температура, точка росы и относительная влажность инертной атмосферы. Для контроля этих параметров эффективно применение многоканальных датчиков типа ИВГ-1/8 МК. Данная модификация прибора предназначена для контроля микровлажности газов по нескольким каналам – от одного до восьми. При подключении компьютера имеется возможность постоянного мониторинга параметров атмосферы восьми установок в течение рабочей смены.

Выносные зонды, конструктивно оформленные в виде проточной камеры, закрепляются в скафандре установки герметизации. Количество выносных зондов – до 8 штук. Конструктивное исполнение зондов может изменяться в зависимости от решаемых задач. Индикация показаний осуществляется с помощью светодиодного индикатора, на котором одновременно отображаются: номер канала, по которому производятся измерения, влажность (в градусах Цельсия по точке росы, ppm, мг/м³) и температура (в градусах Цельсия).

Однако следует отметить, что обеспечение требуемых параметров атмосферы герметизации является необходимым, но явно недостаточным условием для обеспечения низкого содержания влаги во внутреннем объеме приборов из-за десорбции влаги с поверхности и из пор керамики, тугоплавких металлов и гальванопокрытий внутри корпуса, из клеевых материалов и полимерных пленок, применяе-

мых для сборки приборов (особенно после длительных термообработок) [5]. Так, в корпусе, герметизированном в среде с уровнем влажности 0,004 % об., но без предварительной термообработки основания и крышки, через некоторое время была обнаружена влажность до 1,5 % об. [6]. Установлено, что наиболее эффективными оказываются процессы герметизации с ИК-сушкой или термическим отжигом непосредственно перед герметизацией, которая должна выполняться в сухой атмосфере герметичного бокса. Отжиг на воздухе даже длительностью до 48 ч не дает существенного эффекта, если перед герметизацией детали корпуса находились в контакте с атмосферой цеха даже незначительное время. Это объясняется высокой сорбционной способностью керамики на основе окислов алюминия из-за наличия в ней поверхностных пор и частичной гидратацией окислов, входящих в ее состав. Поэтому было разработано устройство ИК-нагрева с вакуумированием, которое размещается в атмосферной камере установки 03КС-700-2 и используется непосредственно перед герметизацией ИС.

Обсуждение полученных результатов

В процессе мониторинга параметров атмосферы внутри скафандров четырех установок герметизации определено минимальное время продува азотом с точкой росы не хуже минус 70 °С для достижения минимально уровня влажности. При этом на всех установках получено разное значение минимального уровня относительной влажности от 0,72 до 4,0 % об. (рисунок 3).

Это обусловлено недостаточной герметичностью входных, выходных шлюзов и резиновых нарукавников в области закрепления. После доработки скафандров на всех установках было достигнуто содержание уровня влажности менее чем 1,0 % об. В процессе исследований установлено, что при уменьшении расхода азота с 2000 до 1500 л/ч наблюдается повышение температуры точки росы с – 45,0 до – 37,0 °С (рисунок 4). Поэтому для поддержания требуемого уровня влажности в скафандре необходимо подбирать оптимальное избыточное давление азота.

Герметизация рабочих партий выполнялась в защитной атмосфере, уровень влажности и температура которой, изменялась после за-

грузки кассет с ИС, прошедшими стадию термообработки при 150 °С, 48 ч (рисунок 5).

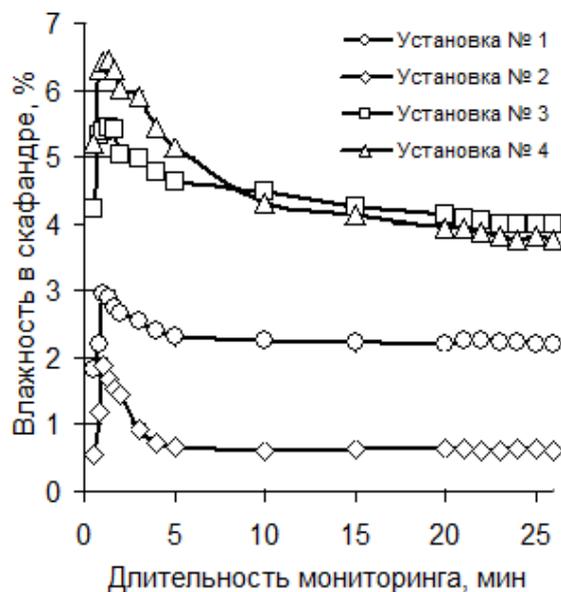


Рисунок 3 – Изменение уровня влажности в скафандре установки после загрузки кассеты с интегральными схемами

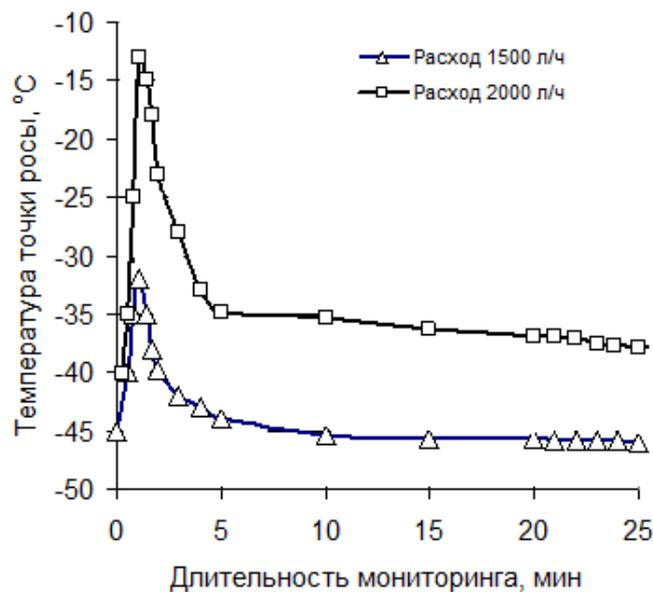


Рисунок 4 – Влияние расхода азота на уровень температуры точки росы после загрузки кассеты с интегральными схемами

После открытия шлюза в скафандре и загрузки кассет отмечается рост относительной влажности с 0,5 до 2,5 % об., но после его закрытия восстановление влажности происходит за время приблизительно 10 мин (рисунок 5).

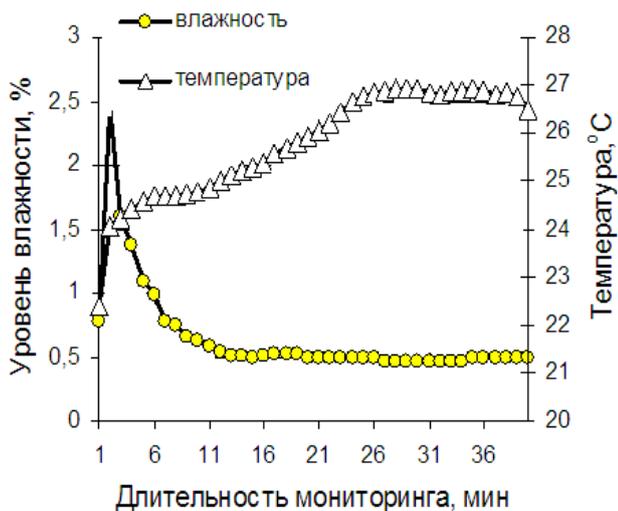


Рисунок 5 – Изменение влажности и температуры азота в скафандре в процессе герметизации

При выполнении процесса шовно-роликовой сварки контролируемые параметрами являются углы включения и выключения тиристоров. Пределы регулирования углов тиристоров заданы в техническом описании

установки герметизации [4] и технологической документации и соответственно равны: 40–45° для угла включения (α_1) и 55–60° для угла выключения (α_2). Установлено, что для допустимых значений углов возможно возникновение сварочного тока 50 А и 100 А. Увеличение амплитуды сварочного импульса ($I_{св}$) при заданной длительности (t) и сопротивления соединительной линии ($R_{св}$) приводит к росту мощности сварки и повышению тепловой энергии, выделяемой в сварочном шве, согласно закону Джоуля–Ленца $Q = I_{св}^2 R_{св} t$, что создает дополнительный перегрев стеклоизоляторов, толщина которых составляет порядка 1,75 мм. При этом возникающий термический удар приводит к росту механических напряжений в системе «стеклоизолятор–вывод» или «стеклоизолятор–ободок» и образованию микротрещины. Экспресс-контроль герметизации пока-зал существенный рост выхода годных по герметичности ИС при выполнении процесса шовно-роликовой сварки током не более 80 А (процесс герметизации с 10-го по 26-й на рисунке 6).



Рисунок 6 – Выход годных по герметичности интегральных схем при герметизации сварочным током 80–95 А (процессы 1–10) и сварочным током 60–80 А (процессы 11–26)

Для повышения эффективности удаления влаги из корпусов разработанное устройство ИК-нагрева с вакуумированием размещалось в скафандре для исключения взаимодействия ИС с атмосферой воздуха. Экспериментально установлено, что проведение ИК-отжига с вакуумированием в защитной атмосферной камере непосредственно перед герметизацией ИС повышает эффективность удаления монослоев влаги, содержащихся на поверхности корпуса, в том числе на стенках пор (капилляров), и обеспечивает вос-

производимое содержание подкорпусной влаги на уровне (0,01–0,2) % объемных.

Заключение

Задача повышения качества и надежности на стадии производства интегральных схем решается использованием приборов и методов измерения параметров процесса, а также применением датчиков и комплексов контроля среды герметизации в режиме реального времени.

Дополнительное применение устройства ИК-нагрева с вакуумированием в атмосферной камере установки герметизации и ограничение сварочного тока в пределах 60–80 А повышает воспроизводимость качества и выход годных изделий по герметичности с 95,3 до 99,8 %.

Список использованных источников

1. Чернышов, А. А. Контроль влажности в корпусах интегральных микросхем / А. А. Чернышов, С. А. Крутоверцев, А. И. Бутурлин // Зарубежная электронная техника, 1987. – № 2. – С. 3–63.
2. Lowry Harsh environment and volatiles in sealed enclosures. SMT association international Technical conference. – October 2010. – Orlando., Fl., USA. – P. 380–386.
3. РД 11 14.5002-85 Типовой технологический процесс контактной шовной сварки.
4. Полуавтомат герметизации микросхем 03КС-700-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации М2.332.022 ТО, 1981.
5. *Баринов, П.Е.* Влияние способов герметизации и материалов внутренних элементов конструкции интегральных схем на состояние газовой среды в подкорпусном объеме / П.Е. Баринов, А.И. Андреев // Технологическое оборудование и материалы. – 1998. – № 5. – С. 32–34.
6. *R. Tumalla, Rao.* Microelectronics packaging handbook. Semiconductor packaging part. 2 Second Edition. / Rao R. Tumalla, Eugene G. Rymaszewski, Alan G. Klopfenstein. – Boston, London, Dordrecht. 1999. – 1030 pp.

Saladukha V.A., Turtsevitch A.S., Solovjov J.A., Rubtsevitch I.I., Kerentsev A.F., Dovzhenko A.A., Chirko I.V.

Monitoring of IC encapsulation process

High reliability of ASICs in metal-ceramic packages at the stage of manufacturing is achieved as a result of minimization of moisture content inside the package and due to continuous measurements of parameters of the encapsulation environment. It is shown that the use of instruments for checking the conditions of contact welding and the instruments for complex measurements of parameters of the ambient environment of the encapsulation system has allowed to provide a continuous monitoring of the process parameters: welding current, temperature, dew point and relative humidity of an inert ambient environment. As the result of seam welding, increase of yield fitted in hermeticity over 99,0 % and decrease the moisture content inside the IC package to vol. 0,01–0,2 % has been reached. (E-mail: AKerentsev@integral.by)

Key words: integrated circuits, moisture, monitoring.

Поступила в редакцию 30.01.2013.