

К. т. н. Л. П. АНУФРИЕВ, к. т. н. В. Л. ЛАНИН,
А. Ф. КЕРЕНЦЕВ, А. М. ИВАШ

Республика Беларусь, г. Минск, з-д «Транзистор»,
Белорусск. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники,
ГНПП «КБТЭМ-СО»

Дата поступления в редакцию
17.05 2000 г.
Оппонент к. т. н. В. П. МЕЛЬНИКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МОНТАЖА КРИСТАЛЛОВ МОЩНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ ВИБРАЦИОННОЙ ПАЙКОЙ

Автомат ЭМ4085-14М позволяет осуществлять качественный монтаж на припой кристаллов мощных высоковольтных транзисторов с площадью 25 мм².

Эксплуатационная надежность мощных высоковольтных транзисторов в пластмассовом корпусе определяется не только теплоэлектрическим состоянием активной транзисторной структуры, но и уровнем остаточных термических напряжений после присоединения кристаллов на припой в процессе монтажа [1]. В настоящей работе исследовался автоматизированный процесс монтажа кристаллов вибрационной пайкой на автомате модели ЭМ-4085-14М.

Нагреватель туннельного типа содержит 12 зон контролируемого и регулируемого нагрева до 450°С, блок формирования защитно-восстановительной атмосферы смешивает поступающие газы Н₂ и N₂ в отношении, соответственно, 10:90 (формир-газ) для активирующего воздействия на процесс монтажа кристаллов. Нанесение дозы расплавленного припоя в зону монтажа кристалла осуществляется автоматически проволочным дозатором, при этом программируется не только скорость вращения центрального распределительного вала, но также скорость движения вакуумного захвата и скорость съема кристаллов.

В качестве припоя использовался проволочный припой Ø1_{-0,07} мм марки ПСрОСу, намотанный на пластмассовую катушку дозатора. Подача припоя в зону лужения осуществлялась линейным шаговым двигателем (ЛШД) по управляющим импульсам.

Активация процесса присоединения кристаллов обеспечивалась принудительным движением кристаллов по программируемой криволинейной замкнутой траектории. При амплитуде колебаний кристалла более 250 мкм за 5–6 периодов колебаний (что соответствует 2,5–3 с) происходит эффективное удаление окисных пленок и шлаков за пределы активной зоны, обеспечивающее равномерную толщину припоя в соединении.

Исследовался процесс монтажа высоковольтных транзисторов типа КТ872 ($U_{кб}=1500$ В) с размерами кристаллов 5,0×5,0×0,34 мм, содержащих на непланарной стороне систему металлизации Ti–Ni–Ag. Присоединение кристаллов с помощью припоя SnAgSn на выводную рамку из медного сплава CuSn-0,15, покрытую слоем никеля толщиной 3–6 мкм, выполнялось (для сопоставления) двумя методами: пас-

сивным — на конвейере, в среде водорода, и активным — на автомате модели ЭМ4085-14М.

Предварительно были определены требования к величине силы удержания кристалла $F_{уд}$ на адгезионном носителе, оптимальная величина которой составляет 0,05 Н. Использование адгезионного носителя с $F_{уд} \gg 0,05$ Н для кристаллов площадью 25 мм² требует более тщательной настройки работы механизма съема кристаллов. При этом с целью компенсации крутящего момента, приводящего к развороту кристалла или его сбрасыванию с вакуумной присоски, необходимо корректировать в сторону увеличения угол опережения движения иглы подкола. Это приводит к росту динамического воздействия иглы на кристалл и увеличению площади дефектов.

Определены условия эффективного отрыва капли припоя в зоне лужения кристаллодержателя. Оптимальный диапазон температуры дозирования составил 370–390°С. При расчете дозы припоя учитывалось, что минимальная толщина припоя под кристаллом должна быть порядка 25–30 мкм [2]. (Это требование вызвано необходимостью снижения термических напряжений в напаянном кристалле, которые могут достигать 50–65 МПа и при воздействии термоциклических нагрузок привести к образованию трещин в кристалле.)

В процессе вибрационной пайки часть припоя (порядка 30%) выдавливается за пределы кристалла. Тогда общий объем припоя при дозировке должен быть примерно равен

$$V_{\Sigma} = V_{к} + V_{п} = 0,975 \text{ мм}^3,$$

где $V_{к}$ — объем капли припоя;
 $V_{п}$ — потери припоя.

При подаче одиночного импульса на дозатор проволока припоя перемещается в активную зону на расстояние примерно 8 мкм [3]. Для рассчитанной дозы припоя проволока припоя должна переместиться на расстояние 1,242 мм, для чего количество импульсов на ЛШД должно составить 155,2 импульса.

Для исследования диапазон дозирования припоя был выбран в пределах 120–225 имп., температура монтажа кристаллов — на 20–30°С выше температуры дозирования припоя (410°С).

Исследованы факторы, определяющие температуру нагрева кристалла и величину остаточных термических напряжений для заданной температуры пайки:

- толщина паяного соединения;
- сплошность припоя под кристаллом (наличие пустот, непропаев);
- образование зоны локальной деформации на непланирующей стороне кристалла, вызванной воздействием металлической иглы механизма съема кристаллов с адгезионного носителя.

Контроль толщины паяного соединения ($d_{пр}$) после пайки проводился индикатором часового типа. Результаты контроля для различных параметров вибрации представлены на **рис. 1**.

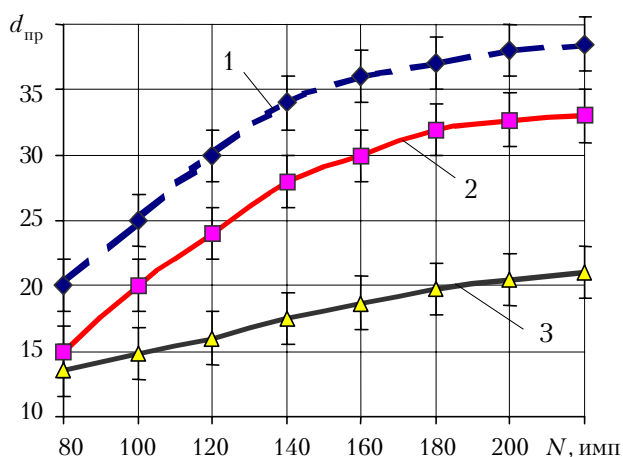


Рис. 1. Зависимость толщины паяного соединения от дозы припоя (N , имп) при различной амплитуде колебаний кристалла ($A_{x,y}$):
1 — $A_{x,y} = 250$ мкм, 2 — 500 мкм, 3 — 750 мкм

Как видно из рисунка, для обеспечения толщины паяного соединения «кристалл — кристаллодержатель» не менее 30 мкм необходимо не только увеличивать дозу припоя (более 150 имп.), но и уменьшать амплитуду колебаний кристалла в процессе монтажа. Однако уменьшение амплитуды вибраций оказывает и отрицательное влияние. Так, при $A_{x,y} < 250$ мкм качество паяного соединения резко ухудшается из-за образования локальных не смоченных припоем участков, расположенных вблизи центральной части кристалла. При этом площадь непропаев может достигать 25–30% площади активной транзисторной структуры. Образующиеся неоднородности приводят к тепловой неустойчивости однородного токораспределения, искажению теплового фронта и, как следствие, к перегреву кристалла, в результате чего отмечается снижение процента выхода годных до 88,2–93,5%.

Увеличение параметров вибрации по координатам x, y ($A_{x,y} \geq 750$ мкм) приводит к эффективному растеканию припоя за пределами активной структуры. При этом толщина под кристаллом очень слабо зависит от дозы и не превышает 15–22 мкм. При таких уровнях вибрации припой под кристаллом имеет однородную структуру, благодаря чему обеспечивается равномерное распространение теплового потока, что способствует росту выхода годных до 95,9–97,6%.

При монтаже кристаллов с амплитудой $A_{x,y} = 500$ мкм не только образуется бездефектное пая-

ное соединение (как при $A_{x,y} = 750$ мкм), но и достигается заданная толщина припоя в пределах 30–35 мкм. Качественное присоединение кристаллов позволяет получить выход годных по электрическим параметрам на уровне 95,5–97,8%.

Контроль выхода годных приборов после изготовления контрольных партий при использовании различных режимов вибрации в процессе пайки кристаллов показал, что при малой дозе припоя ($N = 100$ имп.) выход годных составляет 93,5–95,0%. При этом малая амплитуда колебаний кристалла (в пределах 250 мкм) не позволяет получить сплошной паяный шов под кристаллом. При дозах припоя более 150 имп. выход годных находился в пределах 96,3–97,8%, при этом припой, эффективно заполняя все пространство под кристаллом, вытекал со всех сторон кристалла. Паяный шов образуется без пор, пустот и щелей.

Для оценки эффективности выбранных технологических режимов автоматизированного монтажа кристаллов были проведены испытания изготовленных приборов на воздействие термоударов ($T = -196 \pm 200^\circ\text{C}$, 100 циклов) с замером электрических параметров через каждые десять термоударов. Как видно из **рис. 2**, увеличение амплитуды колебаний $A_{x,y}$ в процессе монтажа кристаллов приводит к снижению толщины припоя под кристаллом и, соответственно, к снижению надежности приборов

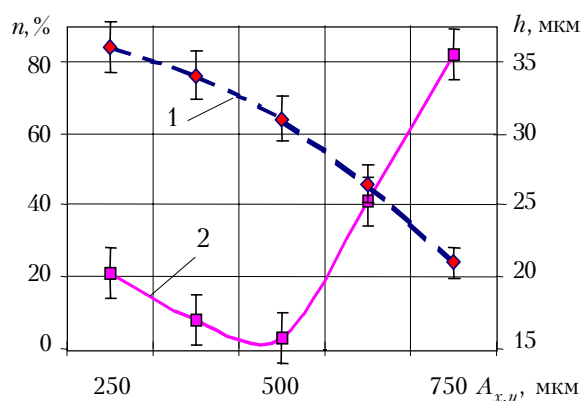


Рис. 2. Зависимости количества отказов (n) и толщины припоя в соединении (h) от амплитуды колебаний:
1 — толщина припоя; 2 — количество отказов после термоударов

из-за развития термомеханических напряжений в системе «кристалл — припой — кристаллодержатель».

На **рис. 3** показан внешний вид припоя под кристаллом после вибрационной пайки и при пассивном процессе монтажа, когда кристалл находится в состоянии статического равновесия (вариант пайки кристалла в конвейерной водородной печи ЖК 4007). Для пассивного монтажа характерно образование локальных пустот и непропаев под кристаллом, которые, являясь концентраторами, способствуют росту напряжений после термоциклического воздействия более чем в 2 раза. Это приводит также к ухудшению воспроизводимости по температуре перегрева кристалла, увеличивая ΔT_j до 40–90°C и снижая

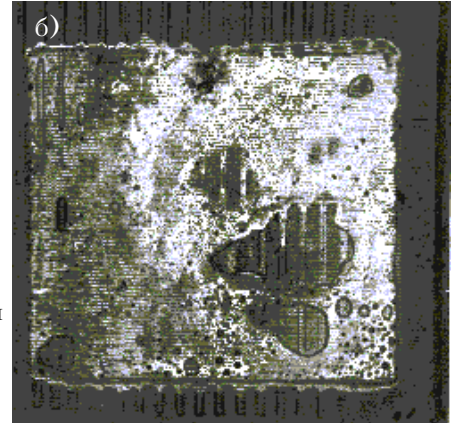
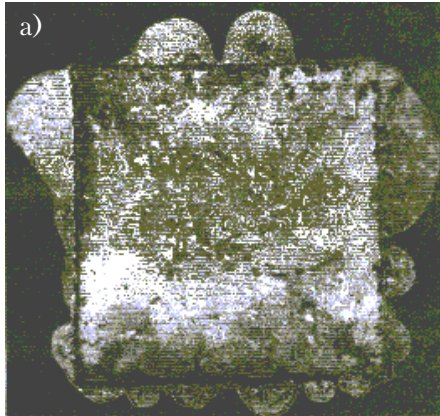


Рис. 3. Припой под кристаллом (кристалл удален травлением):
a — пайка на ЭМ4085-14М; *б* — пайка в печи ЖК4007

выход годных до 90–95%. Для варианта автоматизированного процесса присоединения кристаллов выход годных составил 97,2–98,6%, а ΔT_j — 40–55°C.

Термомеханические напряжения в кристаллах до и после пайки на припой контролировались рентгенодифракционным методом на двухкристалльном спектрометре ДТС-1. Величина напряжений составила до пайки 5–15 МПа, после пайки на автомате — 10,5–65 МПа, а в печи — 100–170 МПа.

Таким образом, автомат ЭМ4085-14М для присоединения кристаллов позволяет осуществлять монтаж кристаллов площадью 25 мм² на припой с высоким качеством и изготавливать высоковольтные транзисторы с процентом выхода годных по элект-

рическим параметрам 95,8–97,8%. При этом для обеспечения высокой устойчивости к термоциклическим нагрузкам при $T = -196 \pm +200^\circ\text{C}$ необходимо соответственно выбирать параметры вибрационной пайки и дозы припоя.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Синкевич В. Ф. Физические основы диагностики предельных состояний и обеспечения надежности мощных транзисторов // Электронная промышленность. — 1990. — Вып. 6. — С. 19–26.
2. Левицкий Л. М. Электропроводящие клеи для микроэлектроники // М.: ЦНИИ "Электроника". — Зарубежная электронная техника. — 1989. — № 7. — С. 62–68.
3. Современное сборочное оборудование для микроэлектроники в Беларуси // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 1998. — № 3–4. — С. 7–8.

НОВЫЕ КНИГИ

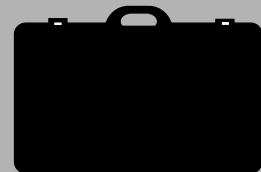


Игнатъев В. В. Основы современных электронных технологий. — М. : МГИЭТ, 1999. — 92 с.

Основная цель предлагаемого конспекта лекций — помочь студентам экономико-гуманитарного факультета в изучении вопросов, связанных с созданием миниатюрных электронных приборов и интегральных схем на их основе. С учетом специфики факультета конспект лекций составлен таким образом, что студенты имеют возможность познакомиться с основными этапами развития электроники, с классификацией интегральных микросхем, с основами их проектирования и технологическими процессами изготовления кремниевых интегральных микросхем (ИМС). Уровень изложения материала не требует специальной физико-математической подготовки для понимания проблем микроэлектроники. Достаточно внимания уделено связи проектирования ИМС с технологией их изготовления, а также проблемам обеспечения надежности кремниевых ИМС и экономической эффективности микроэлектронного производства.

Дополнительная информация по тел. (095) 532-9832, e-mail: ipk@rnd.miee.ru

в портфеле редакции



в портфеле редакции

в портфеле редакции

в портфеле редакции

в портфеле редакции

в портфеле редакции

в портфеле редакции

в портфеле редакции

в портфеле редакции

- Сравнительный анализ методов уменьшения переходной составляющей ошибки системы фазовой автоподстройки. *Т. В. Бурсова, Б. Я Костик (Украина, г. Киев)*
- Модели анализа неисправностей цифровых систем на основе FPLD, CPLD. *В. И. Хаханов, Хак Х. М. Джахирул, Масуд М. Д. Мехеди (Украина, г. Харьков)*
- Транзисторные усилители с высоким КПД: общие условия реализации. *В. Г. Крыжановский, Ю. В. Рассохина, А. Н. Рудякова, И. Н. Шевченко (Украина, г. Донецк)*