

Сравнительная характеристика

способов монтажа кристаллов MOSFET-транзисторов

Исследованы способы монтажа MOSFET-транзисторов средней мощности эвтектической пайкой, пайкой легкоплавкими припоями, клеевой композицией и показано их влияние на тепловое сопротивление перехода кристалл-корпус, структуру соединений и выход годных изделий.

Владимир Ланин

vlanin@bsuir.by

Леонид Ануфриев

Основные требования к монтажу кристаллов MOSFET

Мощные металлооксидные полупроводниковые полевые транзисторы (MOSFET) в силу уникальных характеристик по сравнению с биполярными транзисторами, а именно наносекундной скорости переключения, высоких рабочих напряжений и температур, больших токов и значительной мощности, получают все более широкое применение в силовой электронике [1]. Современный этап производства MOSFET характеризуется непрерывным повышением требований к качеству и надежности. Надежность во многом зависит от того, насколько управляем технологический процесс, что в свою очередь связано с воспроизводимостью отдельных технологических операций в непрерывном процессе производства. Управляемость процессом становится целенаправленной, если известна зависимость значений выходных параметров изделий от их значений на отдельных операциях.

Известно, что даже малые отклонения от оптимального технологического процесса могут привести в процессе производства и при длительном хранении к существенным изменениям значений выходных электрических параметров. Чтобы избежать этого, для оптимизации технологического процесса применяют активные методы исследования и контроля. Важнейшую роль в формировании качества MOSFET на стадии сборки играет операция монтажа кристаллов в корпус [2]. Наличие высоких температур в процессе монтажа кристаллов и значительное различие в ТКЛР используемых материалов обуславливают возникновение термических напряжений в кристалле, как в процессе сборки, так и в процессе эксплуатации, особенно при термоциклических воздействиях.

Формирование неоднородностей в эвтектическом слое под кристаллом (несплошности эвтектики, микротрещины и т. п.) приводит к изменению тепло-электрического состояния прибора. Скорость деградационных процессов экспоненциально возрастает при увеличении температуры и локализуется в областях микронеоднородностей на границе раздела

«кристалл – кристаллодержатель», вызывая перегрев активной структуры и ухудшение электрических параметров транзисторов.

Поэтому в производстве MOSFET актуальной задачей является проведение исследований технологических операций сборки с последующей оптимизацией параметров процессов, обеспечивающих высокую надежность изделий.

Методика сравнительной оценки эффективности монтажа кристаллов

Для исследования различных методов монтажа кристаллов выбраны три равные группы пластин кристаллов из одной диффузионной партии. В зависимости от способа монтажа, на обратную сторону пластин каждой группы нанесен определенный вид металлизации: для эвтектической пайки — V-Au; для пайки легкоплавким припоем и для клеевой композиции — Ti-Ni-Ag. После нанесения металлизации пластины подвергались разделению на кристаллы на автомате ЭМ-2005, затем осуществлялся монтаж каждой группы кристаллов соответствующим методом в зависимости от вида металлизации.

Оценка качества присоединения кристаллов осуществлялась: визуально с использованием микроскопа (трещины, сколы, смещения и т. п.); контролем прочности соединения приложением сдвигающего усилия к кристаллу. Сборка приборов осуществлялась в соответствии с технологическим процессом, после чего проводился контроль и разбраковка приборов по электрическим и тепловым параметрам: сопротивление сток – исток $R_{св}$, остаточный ток стока $I_{с.ост}$, тепловое сопротивление «*p-n*-переход – корпус» $R_{тнк}$. Проведены испытания на безотказность изделий в течение 500 часов с замером параметров после 100 часов и на термоциклическое воздействие при $T = -196...+200$ °С, число циклов $N = 100$, замер параметров — через каждые 10 циклов.

Принцип измерения теплового сопротивления основан на определении величины температуры перегрева кристалла $\Delta T_j = T_{j\text{кон}} - T_{j\text{нач}}$ при подаче прямо-

угольного импульса испытательной мощности P_{σ} где $T_{j\text{кон}}$ — температура кристалла, достигнутая к концу импульса мощности; $T_{j\text{нач}}$ — температура кристалла непосредственно перед подачей импульса мощности. Определение величины температуры перегрева кристалла осуществлялось косвенным методом с помощью измерения температурочувствительного параметра: напряжения сток – исток ($U_{си}$) при прямом смещении перехода. Для определения величины ΔT_j проводился замер величины $U_{си}$ на сравнительно малом измерительном токе $I_{с\text{изм}}$ до подачи импульса ($U_{си\text{нач}}$) и после него ($U_{си\text{кон}}$) с задержкой $\tau_{зд}$ необходимой для исключения влияния электрических переходных процессов.

Для режима однократных испытательных импульсов температура кристалла $T_{j\text{нач}}$ перед подачей импульса мощности практически равна температуре корпуса $T_{к}$, поэтому итоговый перегрев кристалл – корпус $\Delta T_{j-к}$ равен перегреву кристалла $\Delta T_j = T_{j\text{кон}} - T_{j\text{нач}}$ или:

$$\begin{aligned} \Delta T_j &= \frac{U_{си\text{кон}} - U_{си\text{нач}}}{K_T K_{ТН}} = \\ &= \frac{U_{си\text{кон}} - U_{си\text{нач}}}{-|K_T| K_{ТН}} = \\ &= \frac{U_{си\text{кон}} - U_{си\text{нач}}}{|K_T| K_{ТН}} (^{\circ}\text{C}), \end{aligned} \quad (1)$$

где K_T — температурный коэффициент, мВ/°С, определяемый калировкой термочувствительного параметра (ТЧП) перед измерением; $K_{ТН}$ — безразмерный коэффициент учета токовой неравномерности, выбираемый из диапазона 0,5–1,0 в соответствии с ОСТ 11.073.073-82, где значение 1,0 соответствует равномерному токовому распределению.

Калировка ТЧП осуществлялась с помощью термостатирующего устройства, в которое помещался испытываемый транзистор и на котором был задан необходимый калибровочный режим. Калировка проводилась на измерительном токе $I_{э\text{изм}}$, гораздо меньшем, чем рабочий ток $I_{к\text{рп}}$. Калибровочный режим характеризуется тем, что напряжение $U_{кк}$ подключено к стоку испытываемого транзистора, тем не менее, из-за малого уровня рассеиваемой при калировке энергии температуры корпуса и кристалла одинаковы, а разогрев транзистора осуществляется с помощью термостата.

Величина импульсного теплового сопротивления $Z_{ТПК}(t_u)$ определялась как:

$$Z_{ТПК}(t_u) = \frac{\Delta T_j}{P_K} \left| \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}} \right|, \quad (2)$$

где $P_K = I_K U_{КЭ}$ — значение амплитуды прямоугольного импульса испытательной мощности форсированной длительности.

Основная относительная погрешность $\delta_{\text{осн}}(\Delta T_j)$ измерительной установки $R_{\text{ин}}$ — 02 при определении или контроле температуры перегрева ΔT_j перехода кристалла МТ — не более $\pm 10\%$. Испытания на безотказность и долговечность проводились при воздействии аварийных электрических нагрузок по схеме, представленной на рис. 1.

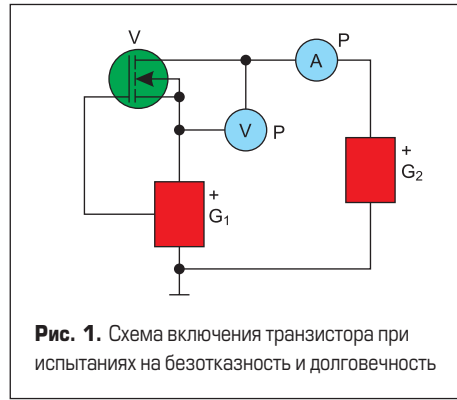


Рис. 1. Схема включения транзистора при испытаниях на безотказность и долговечность

Схема включает в себя G_1 — устройство, обеспечивающее автоматическое задание напряжения 0–20 В для поддержания заданного тока стока; G_2 — регулируемый источник напряжения 0–60 В; PV — вольтметр; PA — амперметр; VT — испытуемый транзистор.

Внутренние механические напряжения в кристаллах после напайки определялись параметрами используемых материалов, размерами кристалла, а также температурой пайки:

$$\sigma = E(\alpha_1 - \alpha_2) \times (T_n - T_0) \times F(h_1/h_2), \quad (3)$$

где E — модуль упругости кремния; α_1, α_2 — ТКЛР кремния и рамки; T_n, T_0 — температу-

ры пайки и окружающей среды соответственно; F — функция, зависящая от соотношения (h_1/h_2); h_1 — толщина кристалла; h_2 — толщина рамки.

Алгоритм сравнительной оценки эффективности способов монтажа кристаллов MOSFET-транзистора приведен на рис. 2.

Монтаж кристаллов на эвтектику

Монтаж кристаллов к выводным рамкам, содержащих серебряное покрытие, осуществлялся контактно-реактивной пайкой с образованием сложной эвтектики. Образование эвтектики Ag-Si возможно только при высоких температурах (830–850 °С), что неприемлемо для сборки. Поэтому для снижения температуры образования соединения «кристалл – рамка» обычно на непланарную поверхность кристаллов наносят систему металлизации: Ge-Au, Ti-Ge-Au, V-Au, Au-Ag. В этих системах общим является наличие слоя золота, который наносят толщиной более 1 мкм в серийном производстве на непланарную поверхность кристалла. Так как адгезия золота к кремнию недостаточная, то перед напылением в вакууме слоя золота сначала осаждают пленку титана.

Использование системы металлизации Ti-Ge-Au позволяет осуществлять эвтектичес-

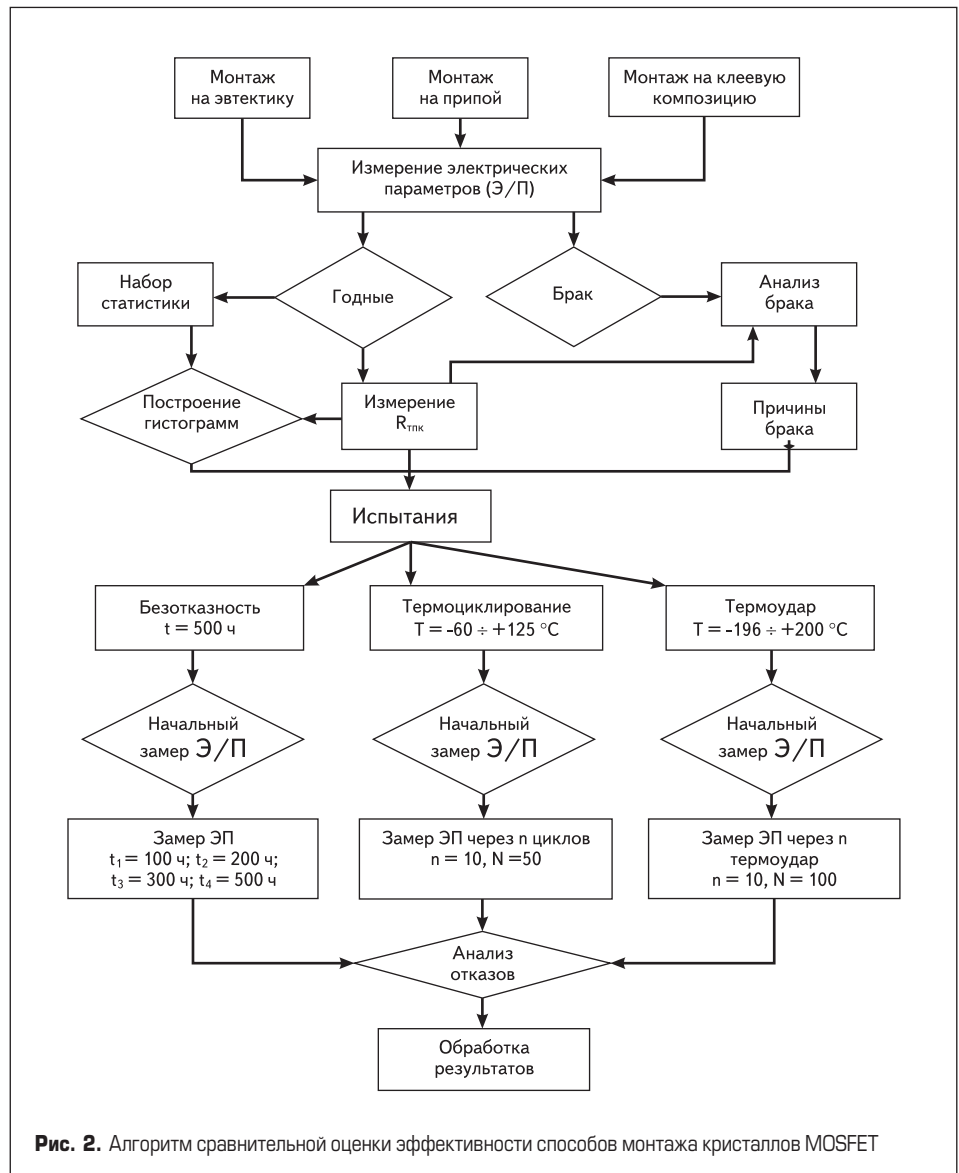


Рис. 2. Алгоритм сравнительной оценки эффективности способов монтажа кристаллов MOSFET

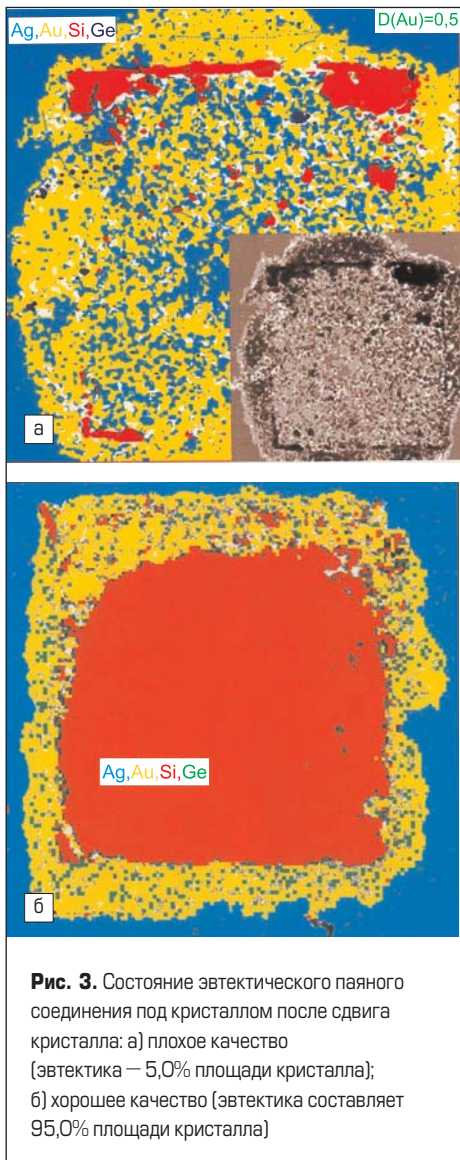


Рис. 3. Состояние эвтектического паяного соединения под кристаллом после сдвига кристалла: а) плохое качество [эвтектика – 5,0% площади кристалла]; б) хорошее качество [эвтектика составляет 95,0% площади кристалла]

кую пайку кристаллов на выводную рамку со слоем серебра с образованием эвтектики сложного состава: Au-Ge-Si-Ag. Однако выявлено значительное влияние процесса формирования металлизации на непланарной поверхности кристаллов на воспроизводимость качества монтажа и выход годных по электрическим параметрам R_{cu} , $I_{c\text{ост}}$, $U_{cu\text{пред}}$. При этом некачественное присоединение кристаллов приводит к их отслаиванию от рамки и росту потерь.

Исследования проводились для двух систем металлизации: Ti-Ge-Au и V-Au. После фор-



Рис. 4. Распределение компонентов эвтектики под кристаллом

мирования MOSFET-транзисторных структур типа BSS295 обратная сторона пластин подвергалась утоньшению фрезерованием с 460 до 340 мкм. Затем после отмывок и обработки в растворе HF проводилось напыление на установке «Оратория 9» указанных систем металлизации. Напыление подслоя Ti-V осуществлялось электронно-лучевым методом, напыление золота толщиной 0,6–1,5 мкм — термическим испарением. Режимы напыления подслоя Ti-V: вакуум $(5-8) \cdot 10^{-4}$ Па, температура 320 ± 20 °С, время 40 с. Золото распрыскивалось термическим испарением из двух испарителей в два этапа: I этап — температура 280 °С, время 10 мин; II этап — температура 150 °С, время 12 мин.

Пайка кристаллов выполнялась на автомате ЭМ-4105 при варьировании технологических режимов по температуре ($T = 400...500$ °С) и параметров вибрации инструмента (количество периодов колебаний $N_{x,y} = 1-40$ ед). После пайки кристаллов на рамку проводился контроль качества как визуально, так и путем воздействия нормированной нагрузки на срез (до разрушения кристалла).

Внешний вид зоны монтажа кристалла эвтектической пайкой после воздействия сдвигающей нагрузки показан на рис. 3, распределение компонентов эвтектики под кристаллом — на рис. 4. Установлено, что для данного процесса сборки основными причинами, приводящими к снижению выхода годных, являются отслаивание кристаллов из-за неполного образования эвтектики по площади кристалла, образование микротрещин и растрескивание кристаллов после напайки и термокомпрессионной разварки выводов.

Анализ причин отслаивания кристаллов показал, что образование эвтектики произошло только в мелких локальных зонах, а при ма-

лых толщинах (менее 1,0 мкм) золота не хватает для образования эвтектики тройного состава. На рис. 5 показана зависимость количества отслаиваний кристаллов от толщины слоя золота на кристалле. Это обусловлено тем, что на первой стадии взаимодействия должна образоваться фаза Au-Si, которая уже на второй стадии будет участвовать в образовании Au-Si-Ag. Однако образование фазы Au-Si на первой стадии затруднено из-за присутствия барьера в виде толстого слоя Ti, а также из-за присутствия тонкой оксидной пленки SiO₂, которая не была полностью удалена перед напылением металлов.

При толщине остаточного оксида кремния более 50 Å и температуре пайки 400... 500 °С взаимодействие Ti с Si не происходит, и кремний не может проникнуть в золото в необходимом количестве. Поэтому площадь образования эвтектики под кристаллом мала и происходит его отслаивание. Реакция между Ti и Si в этом случае может проходить только при 900 °С с образованием TiSi₂.

В случае малой толщины остаточного оксида < 50 Å при температуре пайки образуется TiSi₂, и в результате межзеренной диффузии атомы Si проникают в глубь золота с образованием сначала эвтектики AuSi, а затем эвтектики тройного состава AuSiAg. Толстый слой титана, являясь эффективным геттером, захватывает атомы кислорода из атмосферы в подколпачном устройстве установки напыления с образованием оксида $Ti + Si \rightarrow TiO_2$. Это также затрудняет проникновение атомов Si в слой Au, что приводит к ухудшению процесса напайки кристаллов. ОЖЭ-спектроскопией при послойном анализе металлизации на непланарной стороне кристалла установлено наличие кислорода для Ti-Ge-Au и его отсутствие для V-Au. Поэтому для повышения воспроизводимости качества эвтектической пайки кристаллов целесообразно заменить титан на подслое из ванадия и использовать систему V-Au, что позволяет значительно уменьшить количество брака по отслаиванию кристаллов от рамки после монтажа.

После сборки приборов по технологическому маршруту были проведены измерения электрических параметров. Выход годных изделий для различных типов металлизации составил: 49,2% (Ti-Ge-Au с $t_{mp} < N$ в HF), 86,6%(Ti-Ge-Au) и 93,2% (V-Au).

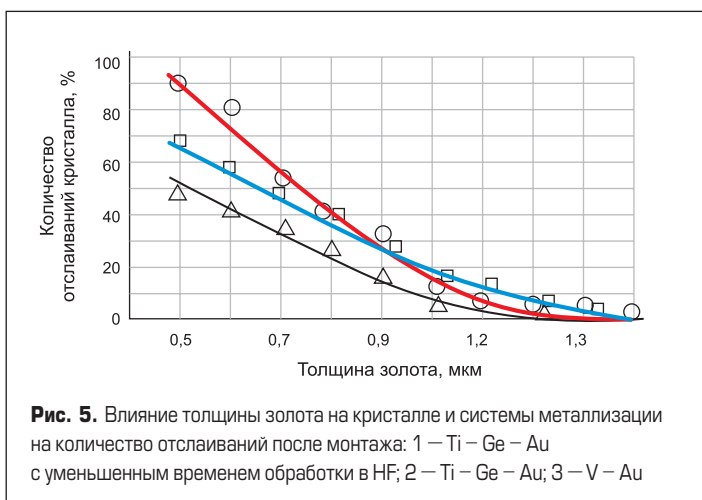


Рис. 5. Влияние толщины золота на кристалле и системы металлизации на количество отслаиваний после монтажа: 1 – Ti – Ge – Au с уменьшенным временем обработки в HF; 2 – Ti – Ge – Au; 3 – V – Au

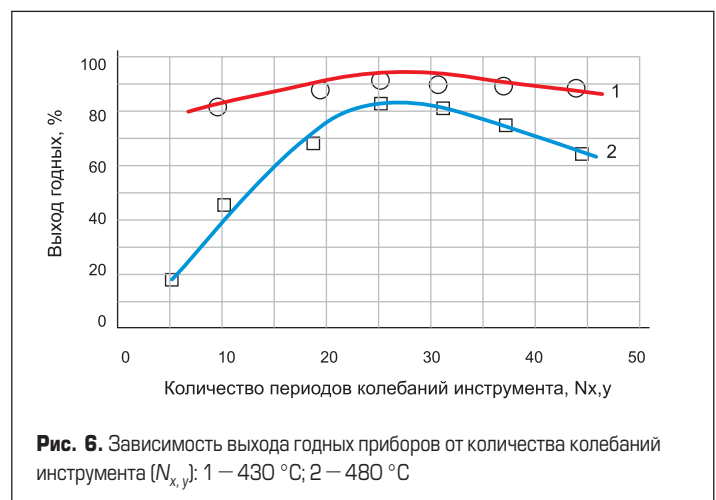


Рис. 6. Зависимость выхода годных приборов от количества колебаний инструмента ($N_{x,y}$): 1 – 430 °С; 2 – 480 °С

Анализ забракованных приборов выявил образование трещин и расслоений кристаллов. Причем для варианта с уменьшенным временем обработки в HF брак по $R_{сш}$ обусловлен некачественной напайкой, то есть эвтектика образуется не по всей площади кристалла и составляет 90%, а 10% обусловлены наличием трещин в кристаллах. Таким образом, повышение качества напайки, которое отмечается для варианта V-Au, способствует снижению брака по $R_{сш}$ с 28% до 2,5%, но отмечается увеличение брака по $I_{сост}$ с 2,8% до 7–8%. Установлено, что повышение сплошности эвтектики под кристаллом приводит к росту количества приборов с трещинами в кристаллах. Это связано с тем, что трещины в напаянных кристаллах образуются по причине возникновения внутренних механических напряжений из-за существенного различия ТКЛР используемых материалов: Si — $4,2 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, Cu — $18,6 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, AuSi — $14 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$.

С целью выявления режимов пайки на растрескивание кристаллов были изготовлены приборы с различными режимами. После пайки при 430 и 480 °C при параметрах вибрации $T = 1-40$ периодов колебаний при $A_{x,y} = 1$ ед. выполнялась разварка Au-проволокой толщиной 30 мкм при 300 °C, $t_{св} = 45$ мс, $P_{кр} = 0,4$ Н, $P_{тп} = 0,9$ Н, и приборы проходили полный технологический маршрут изготовления. Влияние режимов пайки на выход годных по электрическим параметрам представлено на рис. 6.

Увеличение количества колебаний инструмента при пайке кристаллов приводит к уменьшению брака по электрическим параметрам $R_{сш}$ и $I_{сост}$, отмечается снижение количества приборов с микротрещинами и растрескиванием кристаллов.

Длина нагревательного столика для пайки кристаллов на эвтектику составляет 10 см, а зона, где проводится пайка, расположена на расстоянии четырех кадров рамки от края нагревательного столика. Время присоединения кристалла при $N = 1$ ед. составляет 50 мс, при $N = 40$ колебаний инструмента время составляет 2000 мс. На рис. 7 условно показано расположение зоны пайки кристаллов по длине нагревательного столика.

Анализ температурного цикла пайки рамки показал, что во время пайки пятого кристалла первый кристалл уже вышел за пределы нагревателя. По мере выхода рамки из зоны нагревателя происходит снижение температуры кристалла в результате отдачи тепла окружающей среде. При высокой скорости напайки при $N = 1$ ед. ($t = 50$ мс) резкое снижение температуры кристалла наступает, когда 30% выводной рамки выйдет за пределы нагревателя. В этом случае скорость снижения температуры превышает 300 °C/c, что приводит к значительным внутренним напряжениям в кристалле.

При малой скорости пайки кристалла ($t = 2000$ мс, $N = 40$ ед.) за счет более длительной выдержки происходит плавное охлаждение рамки за пределами нагревателя в результате конвективного теплообмена с воздухом. Чем дальше кадр рамки от нагревателя, тем ниже скорость охлаждения кристалла, которая составляет 15–20 °C/c. Таким образом, высокая

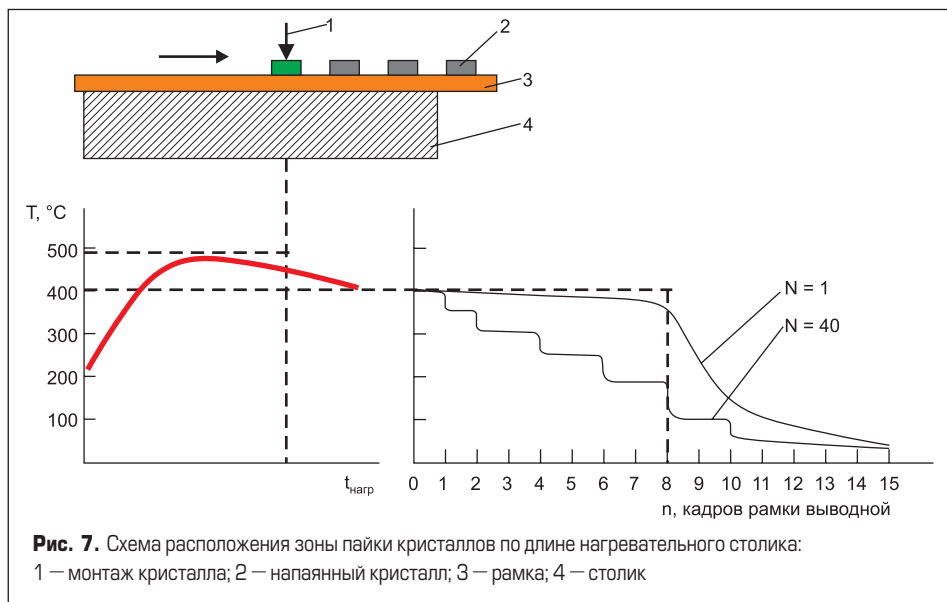


Рис. 7. Схема расположения зоны пайки кристаллов по длине нагревательного столика: 1 — монтаж кристалла; 2 — напаянный кристалл; 3 — рамка; 4 — столик

скорость пайки вызывает значительный градиент температур, что приводит к своеобразному термоудару, в результате которого и возникают термомеханические напряжения в кристаллах, способствующие образованию микротрещин и растрескиванию кристаллов. Таким образом, при использовании эвтектической пайки для снижения брака по $R_{сш}$ необходимо:

- обеспечить подготовку непланарной поверхности перед вакуумным осаждением V-Au (обработка в HF для удаления остаточного оксида SiO_2);
- при формировании металлизации получить толщину Au 1,3–1,5 мкм;
- обеспечить плавное охлаждение кристаллов после пайки.

Монтаж на токопроводящую клеевую композицию

Для монтажа кристаллов на токопроводящую клей необходимо предварительно сформировать систему металлизации на непланарной поверхности кристалла. Поскольку в этом случае элементы системы металлизации на непланарной стороне кристалла не участвуют в образовании эвтектики, то для опытных образцов применена металлизация Ti-Ni-Ag, широко используемая в производстве MOSFET-транзисторов в пластмассовом корпусе TO-220 (рис. 8). Для

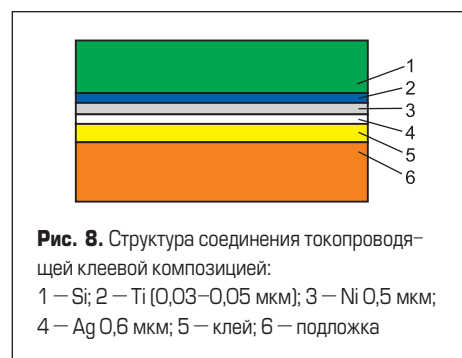


Рис. 8. Структура соединения токопроводящей клеевой композицией: 1 — Si; 2 — Ti (0,03–0,05 мкм); 3 — Ni 0,5 мкм; 4 — Ag 0,6 мкм; 5 — клей; 6 — подложка

монтажа кристаллов применена токопроводящая клеевая композиция на основе эпоксидной смолы с наполнителем в виде мелкодисперсного серебряного порошка и содержанием растворителя 10%. Время отверждения клея на потоке во время приклеивания — 1 минута. Типовые свойства неотвержденного адгезива: содержание серебра — 81%, вязкость при температуре 25 °C — 32 000, срок хранения при температуре 40 °C — 6 месяцев.

Типовые свойства отвержденного адгезива: температура стеклования — 78 °C, коэффициент линейного теплового расширения $\alpha = 57$ дюйм/°C, теплопроводность — $1,3 \cdot 10^{-2}$ Вт/см·°C; разрушающее напряжение клеевого соединения при сдвиге — 70 МПа, удельное объемное электрическое сопротивление (3–6) 10^{-6} Ом/см, рабочая температура — 250 °C.

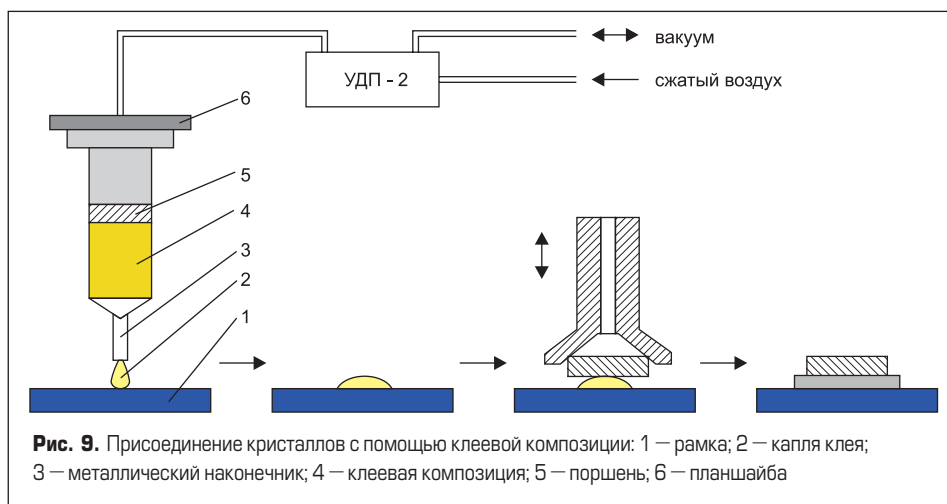


Рис. 9. Присоединение кристаллов с помощью клеевой композиции: 1 — рамка; 2 — капля клея; 3 — металлический наконечник; 4 — клеевая композиция; 5 — поршень; 6 — планшайба

Свойства электропроводящих клеев зависят не только от типа наполнителя, но и от его концентрации, увеличение которой повышает электропроводность клея. Однако применение большого количества наполнителя приводит к ухудшению механических свойств.

Клеевая композиция Ablebond поставляется в пневмошприце, поэтому для ее использования необходимо применять пневмодозатор (рис. 9). Особенность такого процесса сборки заключается в том, что для кристаллов, монтируемых эвтектической пайкой, применяется термокомпрессия выводов. Отмечено влияние дозы клея на непланарной поверхности кристаллов на процент брака по внешнему виду (рис. 10).

Монтаж кристаллов на легкоплавкой припой

Осаждение металлизации Ti-Ni осуществлялось в установке 01 НИ-7-015 непрерывного действия с магистральной системой распыления при следующих режимах: давление в камере менее $6 \cdot 10^{-5}$ Па, ток нагрева — 3,5 А, мощность магнетрона для титана — 2 кВт, мощность магнетрона для никеля — 3 кВт, скорость конвейера — 100 мм/мин.

После формирования Ti-Ni выполнялось осаждение припоя в установке электронно-лучевого испарения в вакууме. Напыление проводилось тремя слоями: I слой Sn — 2 мкм, II слой Pb — 7 мкм, III слой Sn — 1 мкм. Режимы напыления: температура напыления — 280 °С, напряжение — 6 кВ; ток эмиссии — 0,5 А, время напыления: Sn₁ — 240 с, Pb-Sn — 480 с, Sn₂ — 120 с.

Наличие тонкого слоя припоя на непланарной поверхности определяет необходимость использования сквозного разделения пластин на кристаллы на автомате ЭМ-2005 с использованием адгезивного носителя ЛС-1А.

Напайка кристаллов выполнялась на установке ЭМ-4105, используемой для эвтектической пайки кристаллов. Режимы напайки: температура $T = 250 \dots 320$ °С, нагрузка на инструмент $P = 0,7$ Н, амплитуда колебаний инструмента $A_{x,y} = 1-15$ ед. В процессе напайки кристаллов важно получить полное соединение по всей площади кристалла без пор, пустот и непропаев. Это достигалось выбором оптимальной температуры и амплитуды вибрации в плоскости x, y (рис. 11).

Для получения качественного присоединения кристаллов на рамку с полосой серебра необходимо обеспечить температуру 290 ± 10 °С и придать колебательные движения напаваемому кристаллу (количество колебаний — 5) с амплитудой по оси X и Y в пределах 10–15 ед. В оптимальном режиме были напаяны кристаллы, содержащие напыленный припой.

В процессе разварки выводов методом термокомпрессии выявлены трудности, обусловленные отпаиванием кристаллов. Поэтому был использован автомат разварки выводов ЭМ-4060П с термовзвучком. С помощью введения УЗ-колебаний удалось повысить качество микросварки при пониженной температуре 270 °С. При температурах 250... 260 °С отмечается резкое ухудшение качества разварки выводов, появляются «отлипы» микросварных соединений до 50% (рис. 12).

В связи с тем, что получены невоспроизводимые результаты по разварке выводов мето-

дом термовзвучковой сварки, разварку выводов опытных приборов производили на приборах ЭМ-4020 Б методом ультразвуковой сварки с использованием алюминиевой проволоки АКП-50. Использование алюминиевой проволоки для формирования проволочных соединений увеличивает количество обрывов соединений. Это обусловлено тем, что алюминиевая проволока имеет относительное удлинение всего 1–2%, а золотая проволока — до 10%.

Сравнительная характеристика способов монтажа кристаллов

Для проведения сравнительной оценки различных способов монтажа кристаллов проводился контроль уровня электрических параметров изготовленных MOSFET, по результатам которого построены гистограммы распределения приборов по параметрам $R_{cu\text{отк}}$, $I_{c\text{осм}}$, $U_{нор}$ (рис. 13). При анализе представленных данных ясно, что для параметров $R_{cu\text{отк}}$ и $I_{c\text{осм}}$ наблюдается определенная зависимость от способа монтажа кристаллов. Так, для $R_{cu\text{отк}}$ отмечается ухудшение воспроизводимости (увеличивается количество приборов с повышенными уровнями $R_{cu\text{отк}}$) для монтажа кристаллов в ряду — эвтектика, клей, припой. Для параметра $I_{c\text{осм}}$ наилучшее распределение приборов получено при монтаже на клей и припой, а монтаж на эвтектику способствует увеличению уровня $I_{c\text{осм}}$ что связано с ростом внутренних механических напряжений в активной структуре и возникновением микротрещин. Введение демпфирующей прослойки между кристаллом и выводной рамкой (припой, клей) позволяет значительно уменьшить уровень термомеханических напряжений в активной структуре кристалла и тем самым уменьшить уровень $I_{c\text{осм}}$.

На величину параметр $U_{нор}$ способ монтажа влияния не оказал. Распределение приборов по $U_{нор}$ практически одинаково для всех исследуемых методов монтажа.

Одним из важнейших параметров, определяющих максимальную мощность рассеяния $P_{c\text{max}}$ является переходное тепловое сопротивление $R_{mтк}$ p-n-переход/корпус, определение

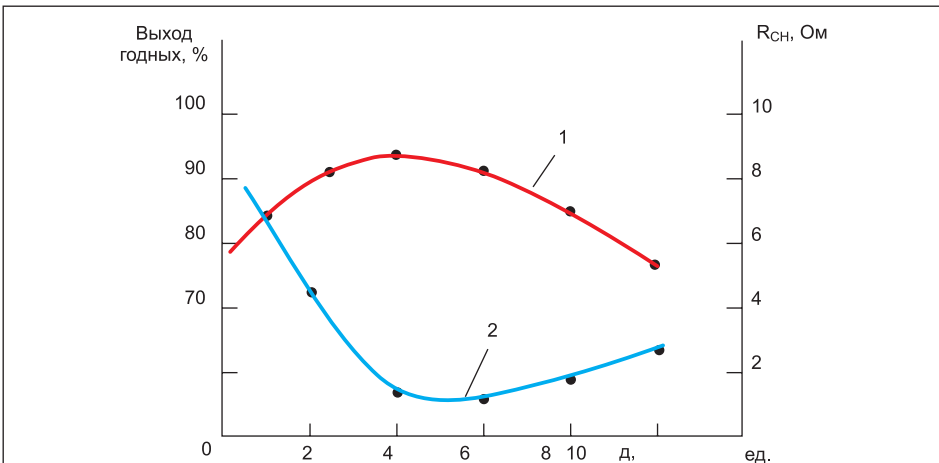


Рис. 10. Влияние дозы клея на выход годных изделий (1) и величину брака по R_{си} (2)

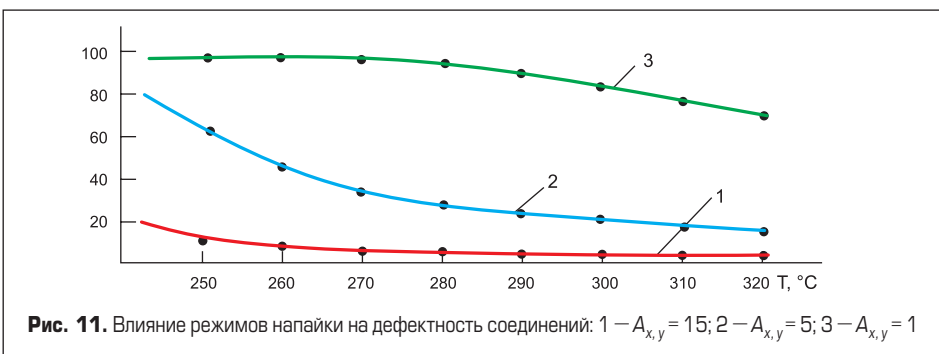


Рис. 11. Влияние режимов напайки на дефектность соединений: 1 — A_{x,y} = 15; 2 — A_{x,y} = 5; 3 — A_{x,y} = 1

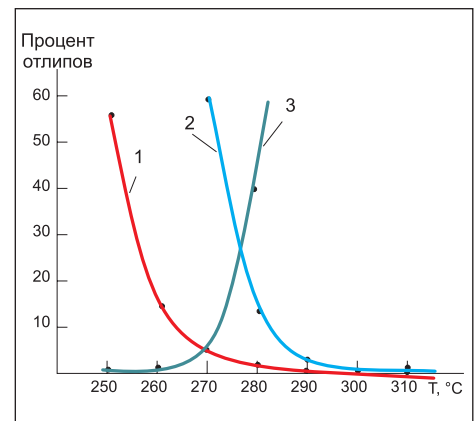


Рис. 12. Влияние температуры разварки выводов на количество «отливок»: 1 — термовзвучковая сварка; 2 — термокомпрессионная сварка; 3 — количество отслаиваний кристаллов

которого основано на измерении термочувствительного параметра — прямого падения напряжения диода «исток – сток» после воздействия импульса мощности. Наиболее низкое переходное сопротивление (120... 130 °C/Вт) получено для монтажа на легкоплавкий припой, более высокое — для пайки на эвтектику и 140–150 °C/Вт — для монтажа клеевой композиции.

Таким образом, способ монтажа кристаллов оказывает существенное влияние как на качество приборов, выхода годных, так и на их надежность (устойчивость при испытаниях под электрической нагрузкой и термомоциклических воздействиях в экстремальных условиях эксплуатации). По результа-

Выводы

там испытаний и анализа забракованных приборов установлено, что причины отказов следующие:

- при эвтектической пайке кристаллов образование трещин в кристаллах вызвано значительными термомеханическими напряжениями в слое эвтектики;
- при монтаже на легкоплавкий припой трещины в кристаллах отсутствуют, однако наблюдается отслаивание кристаллов из-за высоких температур при разварке выводов (более 260 °C);
- при монтаже на токопроводящую клеевую композицию отказов нет.

Наиболее эффективными способами монтажа кристаллов, удовлетворяющими предъявленным требованиям, являются: на электропроводящую композицию для изделий рассеиваемой мощностью до 1 Вт; на легкоплавкий припой для изделий с мощностью рассеивания более 1 Вт.

Литература

1. Baliga V. J. Silicon RF Power MOSFETS // N. Jersey, World Scientific. 2005.
2. Керенцев А. Ф., Ланин В. Л. Конструктивно-технологические характеристики MOSFET-транзисторов // Силовая электроника. 2008. № 1.
3. Ануфриев Л. П., Керенцев А. Ф., Ланин В. Л. Автоматизированный монтаж кристаллов транзисторов вибрационной пайкой // Технологии в электронной промышленности. 2006. № 3.
4. Ланин В. Л., Керенцев А. Ф., Турцевич А. С. Сборка силовых полупроводниковых приборов с бессвинцовой припойной композицией // Силовая электроника. 2008. № 2.

