

Диоды Шоттки и особенности технологии сборки

Оптимизированы технологические параметры процессов сборки диодов Шоттки с использованием отечественного технологического оборудования, что позволяет обеспечить стабильные характеристики качества изделий.

**Аркадий Турцевич,
д. т. н.
Владимир Ланин,
д. т. н., профессор**

vlanin@bsuir.by

**Иван Рубцевич,
к. т. н.
Ярослав Соловьев,
к. т. н.
Анатолий Керенцев**

akerentsev@transistor.com.by

Свойства диодов Шоттки

Диоды Шоттки обладают уникальными электрическими характеристиками, выгодно отличающими их от обычных выпрямительных диодов. Это:

- низкие значения прямого и обратного напряжения;
- высокие значения тока утечки;
- фактическое отсутствие заряда обратного восстановления.

Две основные характеристики — низкое значение прямого напряжения и отсутствие неосновных носителей заряда обратного восстановления — дают диодам Шоттки преимущество над обычными выпрямительными диодами при их использовании в низковольтных импульсных источниках питания. На обычном эпитаксиальном диоде с быстрым восстановлением при прямом напряжении 0,9 В рассеивается до 18% выходной мощности 5-В источника питания. В то же время применение диода Шоттки позволяет снизить эти потери до 8–12%.

Использование диодов Шоттки в схемах управляемых преобразователей энергии электропривода обеспечивает минимальное напряжение прямого восстановления диода при выключении силовых ключей, а также их переключение с малыми коммутационными потерями и помехами. Это позволяет задавать высокую частоту коммутации, уменьшает количество электронных компонентов, а также их размеры, массу и стоимость [1].

Переходные процессы при коммутации напряжения и возникающие при этом электромагнитные колебания имеют меньший уровень для диодов с барьером Шоттки, чем для обычных диодов с *p-n*-переходом. Поэтому для диодов Шоттки характерны меньшее паразитное рассеяние мощности и меньшие значения электромагнитных помех.

Барьер Шоттки также имеет меньшую электрическую емкость, что позволяет заметно повысить рабочую частоту диода. Это свойство используется в интегральных микросхемах, где диодами Шоттки шунтируют переходы транзисторов логических элементов. В силовой электронике малая емкость перехода гарантирует короткое время восстановления, что дает возможность создавать выпрямители, работающие на частотах в сотни кГц и выше. Благодаря хорошим временным характеристикам, выпрямители на диодах Шоттки отличаются от традиционных диодных выпрямителей пониженным уровнем помех, поэтому в импульсных блоках питания электронной аппаратуры [2] предпочтительнее применять именно их.

Особенности сборки диодов Шоттки

В современных системных блоках питания компьютеров диоды Шоттки применяют, как правило, в виде диодных сборок, что повышает технологичность и компактность блоков питания, а также улучшает условия охлаждения диодов. Мощные диодные сборки выпускаются, в основном, в корпусах: TO-220AC (сборки с рабочими токами 6–20 А, например, 20 TQ045), TO-220AB (рабочие токи до 40 А, например, 30STQ030); TO-247AC (мощные сборки с рабочими токами 30–50 А, например, 52SPQ030 — два диода по 50 А) и TO-263-5 для поверхностного монтажа [3]. Маломощные диоды и диодные сборки изготавливаются также в корпусах для поверхностного монтажа: SOT-23-3, SOT-23-5, SOT-223-3, SOT-89 (рис. 1).

Стабильность параметров диодов во многом зависит от управляемости технологического процесса сборки. Известно, что отклонения от оптимального технологического процесса могут привести к существенным изменениям значений выходных электри-

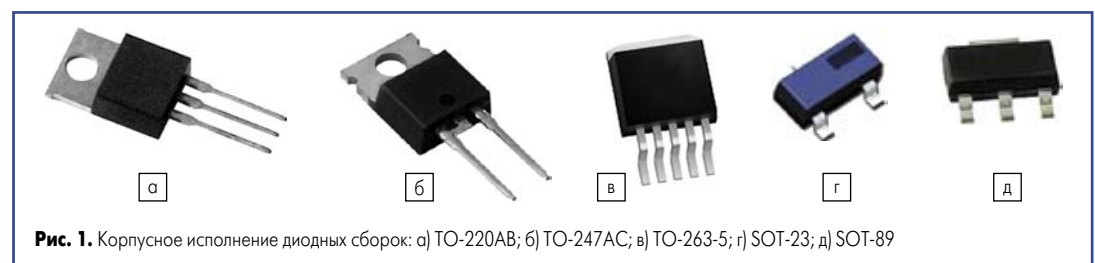


Рис. 1. Корпусное исполнение диодных сборок: а) TO-220AB; б) TO-247AC; в) TO-263-5; г) SOT-23; д) SOT-89

ческих параметров как в процессе производства, так и при длительном хранении. Чтобы избежать этого, для оптимизации технологического процесса применяют активные методы исследования и контроля. Важнейшую роль в формировании качества диодов Шоттки на стадии сборки играет операция монтажа кристаллов в корпус. Наличие высоких температур в процессе монтажа кристаллов и значительное различие в ТКЛР используемых материалов обуславливают возникновение термических напряжений в кристалле в процессе сборки и эксплуатации при воздействии внешних возмущающих факторов. Образование неоднородностей в соединительном слое под кристаллом (неплотности, микротрещины и т. п.) в процессе монтажа приводит к изменению теплоэлектрического состояния прибора, что вызывает перегрев активной структуры и ухудшение электрических параметров. Поэтому при изготовлении диодов Шоттки высокого качества актуальны задачи по исследованию и оптимизации параметров технологических процессов сборки.

Монтаж кристаллов и сборка полупроводниковых приборов начинаются после создания активных структур в составе пластины и включают такие операции, как разделение пластины на модули, контроль и разбраковка, посадка кристаллов в корпус или на коммутационную плату, электрическое соединение выводов кристалла с контактными площадками корпуса или платы, герметизация. Операция посадки кристалла в корпус — наиболее ответственная в технологическом процессе, так как она должна обеспечить требуемое расположение кристалла, прочное механическое соединение, надежный электрический контакт и хороший теплоотвод. Присоединение кристаллов выполняют контактно-реактивной пайкой с образованием эвтектики золото-кремний, а также с помощью низкотемпературных припоев и токопроводящих клеев с серебряным наполнителем.

При контактно-реактивной пайке кремниевый кристалл приводят в соприкосновение с золотой контактной площадкой кристаллодержателя при температуре, превышающей температуру образования эвтектики. Кремний кристалла, взаимодействуя с золотом, образует эвтектический сплав. Для ускорения образования жидкого эвтектического сплава кристалл принудительно перемещают по поверхности контактной площадки. Существенное влияние на характеристики соединения оказывают состояние поверхности и толщина золотого покрытия корпуса. Установлено, что для образования качественного соединения требуемая толщина золотого покрытия составляет 6–9 мкм. При малых размерах кристалла, менее 0,7×0,7 мм, толщину покрытия можно уменьшить, при недостаточной толщине золотого покрытия или для ускорения процесса образования соединения между кристаллом и корпусом помещают таблетку из эвтектического сплава или прокладку из эвтектики AuSi в виде фольги. Для интенсификации процесса образования соединения в зону контакта вводят механические колебания с частотой от нескольких Гц до $(40–60) \times 10^3$ Гц. Оптимальные ре-

жимы присоединения кристалла кремния размером 1×1 мм к золоченой поверхности: температура — 390...420 °С, время — 3–5 с, давление на кристалл — $(30–49) \times 10^3$ Н/м² [4].

Основным недостатком контактно-реактивной пайки является значительный расход драгоценных металлов. Поэтому вместо золотой прокладки используют сплав 75% Au, 23–24% Sn, 1–2% Bi или сплавы с температурой плавления 355...410 °С, не содержащие драгоценных металлов. При использовании сплава Zn-Al-Ge его предварительно наносят на подложку в виде пятна диаметром 4,5 мм и толщиной 10 мкм по технологии локальной металлизации методом электрического взрыва фольги. Прочность присоединения кристаллов увеличивается в 2–4 раза за счет более высокой адгезии к керамике этого сплава по сравнению с золотосодержащей пастой. При этом термические напряжения в больших кристаллах снижаются на 10–15% после монтажа и на 20–25% после термоциклирования без снижения механической прочности соединения.

При пайке кристаллов легкоплавкими припоями, например ПОС-10 и ПСр-2,5, на обратную сторону кремниевого кристалла наносят тонкую пленку не окисленного металла, хорошо смачиваемого припоем. Пленки толщиной 0,05 мкм быстро растворяются в Pb-Sn припое с образованием интерметаллидных соединений. С увеличением содержания свинца в припое степень растворения пленок серебра и золота снижается, при этом уменьшается доля интерметаллидов в паяном шве и повышается качество и надежность соединений.

Металлизация непланарной стороны кристалла позволяет существенно улучшить качество соединения, снизить переходное сопротивление кристалл — подложка, увеличить прочность соединения, улучшить металлургическую совместимость паяемых материалов и повысить воспроизводимость параметров соединения. На обратную поверхность кремниевого кристалла в вакууме наносят последовательные слои титана-никеля и серебра.

В массовом производстве для автоматизации процесса монтажа кристаллов применяют различные припойные пасты на основе золота, свинца, олова и других металлов, состоящие из мелкодисперсных порошков металлов и органических добавок, выполняющих функцию флюса. Температура плавления припоев лежит в интервале 200...450 °С (таблица).

Припой наносят методом трафаретной печати или с помощью дозаторов (для ленточного или проволочного припоя). Перспективным явля-

ется использование экологически чистых процессов на основе бессвинцовых припоев типа Sn₅₀-Ag₂₅-Sb₂₅ или ПСрОСр-8 (Sn_{84,5}-Ag₈-Sb_{7,5}).

Различие ТКЛР кристалла и элементов корпуса способствует возникновению термических напряжений, которые после пайки кристалла достигают 50–65 МПа и при воздействии термоциклических нагрузок могут приводить к образованию трещин в кристалле. Для снижения термических напряжений и повышения надежности изделий с размерами кристаллов до 5×5 мм и более целесообразно выбирать толщину паяного соединения в пределах 30–50 мкм.

Монтаж кристаллов с помощью электропроводных клеев получил широкое распространение при сборке приборов, что объясняется рядом преимуществ клеевых соединений. Склеиванием соединяют разнородные материалы, включая тугоплавкие и хрупкие, электропроводные и диэлектрики. Свойства и структура материалов не изменяются, швы получают герметичные с равномерно распределенными напряжениями, а механические напряжения в ряде случаев намного меньше напряжений при пайке. Технология склеивания проста, не трудоемка и производительна благодаря автоматизации.

К недостаткам клеевых соединений следует отнести сравнительно низкую стойкость при повышенных температурах, пониженную прочность при неравномерном отрыве, необходимость применения давления, дефицитности, а также токсичность составляющих клеевых композиций и газовыделение. Еще одним недостатком клеев является выделение различных соединений и влаги. Так, сорбция влаги клеевыми материалами приводит к увеличению абсолютной влажности в корпусах приборов при повышенных температурах, поэтому их выбор необходимо осуществлять с учетом температурной зависимости влажностных характеристик. Выделения клеевых материалов оказывают влияние на содержание влаги в герметичных корпусах, качество микросварных соединений и на электрофизические характеристики кристалла.

Для достижения высокой воспроизводимости и управляемости процесса монтажа кристаллов необходимо применять автоматизированное программно-управляемое оборудование.

Технологическое оборудование для сборки на ленточные носители

В современных установках для присоединения кристалла к основанию корпуса все операции осуществляются автоматически, в том числе вспомогательные: подача кристалла, захват кристалла с помощью вакуумного инструмента, перенос кристалла на позицию пайки, подача корпуса, опускание инструмента на позицию пайки кристалла. Посадку полупроводниковых кристаллов эвтектической пайкой и на клей при сборке диодных и транзисторных матриц, СВЧ-приборов и многокристалльных модулей ведут на установке присоединения кристаллов ЭМ-4025АМ с производительностью до 2000 шт./ч (рис. 2а).

Таблица. Припои для посадки кристаллов и подложек [4]

Состав	Температура, °С	
	ликвидуса	солидуса
80% Au 20%Sn	280	280
92,5%Pb 2,5%Ag 5%In	300	300
97,5%Pb 1,5%Ag 1%Sn	309	309
ПОС-10	269	299
88%Au 12%Ge	356	356
98%Au 2%Si	370	370
ПСрОСр-8	235	250



Рис. 2. Установки присоединения кристаллов: а) ЭМ-4025АМ; б) ЭМ-4075А

Установка оснащена 8-инструментальной револьверной головкой, нагреваемым рабочим столом с двумя зонами нагрева, чашечным или пневматическим дозатором для нанесения клея, двумя газовыми паяльниками для пайки в атмосфере защитного газа. Привод вертикального перемещения по координате Z обеспечивает мягкое касание при монтаже кристаллов [5].

В мелкосерийном и опытном производстве для присоединения полупроводниковых кристаллов вибрационной эвтектической пайкой в ручном режиме применяют установку ЭМ-4075А (рис. 2б), которая оснащена вибрационной головкой присоединения кристаллов с нагревателем инструмента, рабочим нагреваемым столом, газовым нагревателем для пайки в среде защитного газа, предметным столиком для кристаллов россыпью, световым указателем. Захват кристаллов осуществляется вакуумом с предметного столика или многорядной ячеистой кассеты. Корпуса или подложки устанавливаются в рабочую зону нагреваемого стола дискретно.

Процесс присоединения кристаллов методом пайки заключается в нагреве соединяемых элементов до температуры образования жидкой фазы соединяемых материалов с последующим наложением колебаний в горизонтальной плоскости при помощи эксцентрикового привода и создания усилия сжатия

соединяемых элементов. При недостаточной толщине металлизации монтажной площадки для выполнения качественной пайки используют промежуточную прокладку, которая может быть присоединена к монтажной площадке непосредственно на установке. Прокладку укладывают на предметный столик, рядом с кристаллами, и переносят вакуумным захватом. Для подачи в зону пайки горячего защитного газа служит газовый нагреватель. Он же позволяет осуществлять локальную пайку отдельных кристаллов [5].

В крупносерийном производстве присоединение кристаллов в корпуса транзисторов типа SOT-23 и SOT-89 на непрерывной ленте эвтектической пайки ведут на автомате монтажа кристаллов ЭМ-4485 с производительностью 5000 шт./ч (рис. 3). Подача ленты на шаг, выбор годных кристаллов с полупроводниковой пластины, съем кристаллов с пластины, присоединение кристаллов, контроль качества присоединения выполняются автоматически. Механизм присоединения кристаллов оснащен высокоскоростным линейным шаговым приводом с обратной связью, обеспечивающим высокую скорость, точность и надежность. Подкол кристаллов осуществляется с помощью «звуковой катушки» с обратной связью. Изделия в зону присоединения подаются загрузочно-разгрузочным устройством (ЗРУ) с катушки на катушку.



Рис. 3. Автомат монтажа кристаллов ЭМ-4485



Рис. 4. Автоматы монтажа кристаллов: а) ЭМ-4105-М; б) ЭМ-4085-14М

Автомат оснащен микропроцессорным управлением и системой диагностики, упрощающей поиск и устранение неисправностей. Погрешность присоединения составляет по координатам X, Y $\pm 0,025$ мм, а по углу — $\pm 2,5^\circ$.

Автомат ЭМ-4105-М предназначен для присоединения кристаллов размером от 0,4×0,4 мм на ленточные носители методом эвтектической пайки и на клей (рис. 4а). Этот автомат построен на базе линейных шаговых двигателей (ЛШД) и позволяет с высокой точностью осуществлять захват кристаллов с адгезионного носителя и их присоединение. Он имеет системы распознавания кристаллов на пластине и визуального контроля присоединенных кристаллов, а также возможность сборки многокристалльных приборов. Монтаж кристаллов с приложением вибраций с амплитудой 0,5–1 мм в плоскости основания позволяет обеспечить равномерное растекание припоя и до минимума свести дефекты в паяном соединении в виде пустот.

Для присоединения кристаллов размером от 1×1 до 20×20 мм к корпусам полупроводниковых приборов широкой номенклатуры с приложением вибраций используют автомат ЭМ-4085-14М (рис. 4б). Он позволяет вести монтаж кристаллов в корпуса мощных транзисторов типа ТО-220 или ТО-218 на припой в защитной среде с производительностью 2000 шт./ч. В его состав входят микропроцессорный контроллер, оптико-телевизионная система распознавания кристаллов, линейный шаговый двигатель перемещения кристаллов, двухкоординатный стол сварочной головки и магазинный механизм автоматической подачи корпусов. Многомагазинная система подачи обеспечивает возможность загрузки дополнительного магазина с рамками без перерыва в работе установки. Автомат оснащен микропроцессорным управлением и системой диагностики, которая упрощает поиск и устранение неисправностей.

Автоматизированный процесс монтажа кристаллов на припой на установке ЭМ-4085-14М обладает рядом особенностей, позволяющих осуществлять монтаж на выводные рамки из медного сплава, покрытые никелем. Нагреватель в автомате туннельного типа содержит 12 зон контролируемого нагрева до 450 °С.

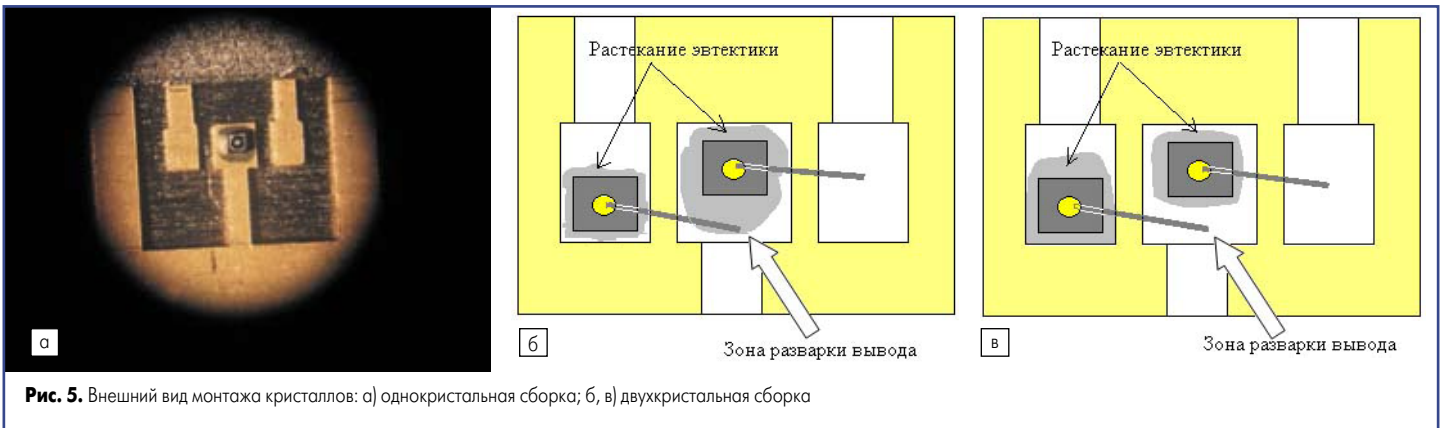


Рис. 5. Внешний вид монтажа кристаллов: а) однокристалльная сборка; б, в) двухкристалльная сборка

Блок формирования защитно-восстановительной атмосферы смешивает поступающие газы H_2 и N_2 в соотношении 10:90 (формиргаз) для активирующего воздействия на процесс монтажа кристаллов.

Нанесение дозы расплавленного припоя на зону монтажа кристалла осуществляется автоматически проволочным дозатором, при этом программируется не только скорость вращения центрального распределительного вала, но и скорость движения вакуумного захвата, а также скорость съема кристаллов. В качестве припоя используется проволочный припой, намотанный на пластмассовую катушку, закрепленную в дозаторе. Припой в зону пайки подается линейным шаговым двигателем (ЛШД), на который поступают управляющие импульсы, количество которых программируется.

Таким образом, автоматизированный монтаж кристаллов позволяет получать требуемый уровень качества сборки, но для каждого типа диодов Шоттки необходимы дополнительные исследования по оптимизации технологических параметров присоединения.

Влияние технологии монтажа кристаллов на параметры диодов

Для обеспечения высокого качества изделий необходимо определить конструктивные

и технологические факторы, существенно влияющие на прочностные характеристики и электрические параметры диодов Шоттки в процессе эксплуатации, а также оптимизировать технологию сборки и повысить воспроизводимость качества диодных сборок.

Исследованы различные варианты монтажа двухкристалльной сборки:

1. Первый кристалл присоединяется на центральный вывод, а второй — на площадку траверсы.
2. Первый кристалл присоединяется на площадку траверсы, а второй — на центральный вывод.

Отмечено существенное отличие первого и второго вариантов по площади растекания эвтектики. Так, для кристаллов, напаянных вторыми, растекание эвтектики небольшое, а для кристаллов, напаянных первыми, растекание эвтектики продолжает увеличиваться и частично перекрывает зону разварки выводов на кристаллодержателе центрального вывода (рис. 5). Поэтому использование схемы посадки кристаллов по первому варианту недопустимо.

Для оценки уровня электрических параметров осуществлялась сборка диодов по существующему технологическому маршруту. Пластины разделялись на кристаллы размером $0,42 \times 0,42$ мм сквозной дисковой резкой на установке ЭМ-2005, а затем проводилась эв-

тектическая пайка при различных технологических режимах по температуре и параметрам присоединения (количество периодов колебаний инструмента и его амплитуда по осям ОХ и ОУ). Выборочный контроль механической прочности крепления кристаллов проводили путем воздействия сдвигающей нагрузки на боковую поверхность кристалла с помощью специального приспособления. При этом прочность на сдвиг напаянного кристалла должна быть не менее 2 Н, а остаточная площадь кремния после воздействия сдвигающей нагрузки — не менее 50% площади кристалла.

Поэтому при активации процесса монтажа кристаллов программированием на автомате ЭМ-4105-1 были заданы оптимальные параметры присоединения, которые обеспечивали принудительное криволинейное перемещение кристалла по поверхности кристаллодержателя по осям ОХ и ОУ [6]. При отработке режимов монтажа кристаллов на выводную рамку с плакированной полосой золота установлено, что образование эвтектики происходит только при повышенных температурах. Для сравнения осуществляли монтаж кристаллов на рамки со сплошным гальваническим золотом толщиной от 2,8 до 5,4 мкм. Для этих рамок положительные результаты получены при температуре 430 °С, как для кристаллов с золотом на обратной стороне, так и без золота.

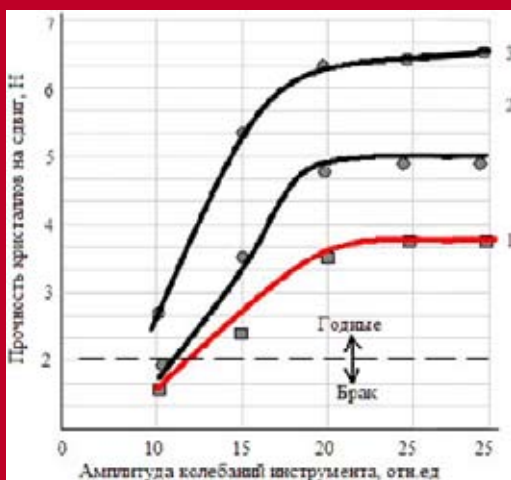


Рис. 6. Механическая прочность паяных кристаллов для разной амплитуды колебаний при $T = 430$ °С: 1 — рамка, плакированная золотом 3,7 мкм; 2 — рамка с гальваническим золотом толщиной 2,8 мкм; 3 — рамка с гальваническим золотом толщиной 5,4 мкм

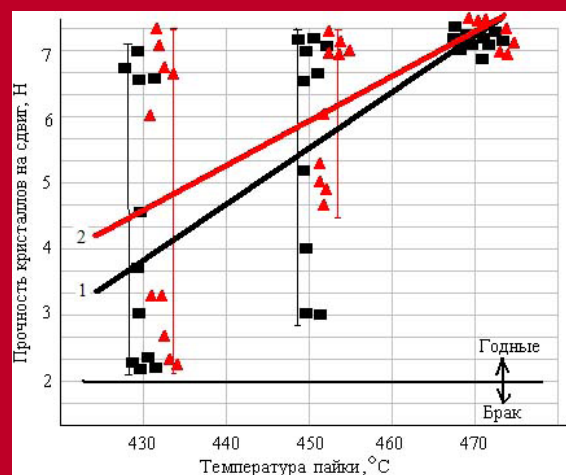


Рис. 7. Зависимость механической прочности пайки кристалла на рамке, плакированной золотом, от температуры: 1 — кристалл с золотом; 2 — кристалл без золота

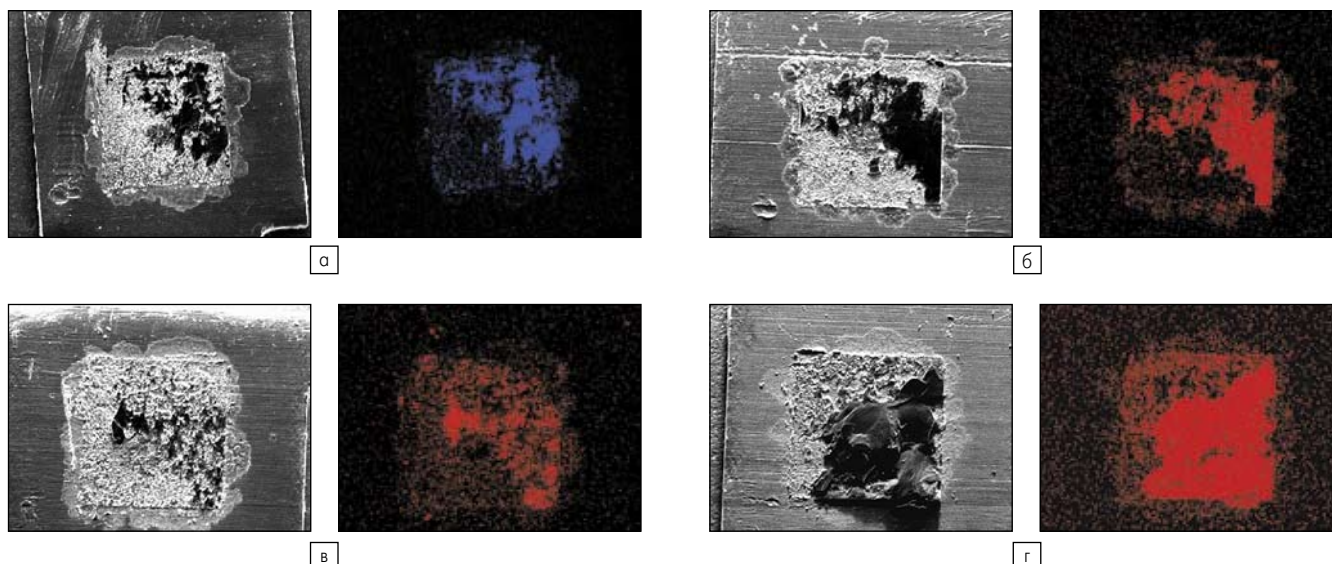


Рис. 8. Внешний вид остаточной части кремния после воздействия сдвигающей нагрузки на кристалл (слева) и интегральное распределение кремния (справа): а) рамка с отжигом в водороде; б) рамка без отжига; в) с подачей азота в зону монтажа; г) без подачи азота в зону монтажа

Исследованиями установлено, что механическая прочность паяных кристаллов растет с увеличением амплитуды колебаний до определенного предела (рис. 6). При температуре 430 °С механическая прочность удовлетворяет требованиям с минимальным запасом, а по такому параметру, как остаточная площадь кремния после сдвигающей нагрузки на кристалл, соответствует лишь 20% образцов. При выполнении напайки при температуре 470 °С этому требованию соответствует уже 100% образцов (рис. 7). Внешний вид остаточной части кремния и интегральный спектр его распределения в зоне монтажа представлены на рис. 8.

Контактно-реактивная пайка на плакированную полосу золота затруднена, что связано с высокой плотностью полосы золота, подвергнутой воздействию обжимающих усилий валками на прокатном стане при плакировании, а также повышенными напряжениями сжатия. Использование гальванического золота позволяет при этой же температуре получить выход годных до 100%.

Улучшение смачивания поверхности кремния при повышении температуры пайки обусловлено тем, что уменьшается вязкость и поверхностное натяжение жидкой фазы, а также

изменяется соотношение поверхностного натяжения на границе жидкой фазы и соединяемых твердых тел.

Изготовленные диоды Шоттки подвергались контролю электрических параметров на измерительном комплексе 14ТКС100-001. Установлено, что температура пайки кристаллов оказывает существенное влияние на уровень прямого падения напряжения диода U_F при токе $I_F = 1$ мА (рис. 9).

Так, диоды при температуре монтажа кристаллов 435 °С полностью соответствуют требованиям ТД по уровню параметров. С ростом температуры пайки отмечается резкое увеличение U_F при $I_F = 1$ мА до 0,429 В, и после пайки при 450 °С выход годных снижается до 50%, а при 480 °С — до 5%.

Для анализа параметров рассмотрим эквивалентную схему диода Шоттки (рис. 10). В этой

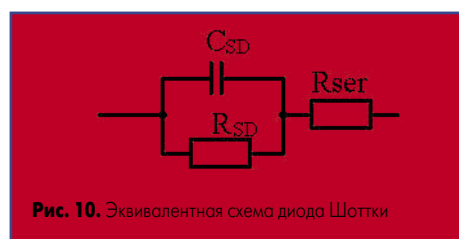


Рис. 10. Эквивалентная схема диода Шоттки

схеме C_{SD} — емкость диода, R_{SD} — сопротивление контакта металл — полупроводник, R_{ser} — последовательное сопротивление, состоящее из суммарного сопротивления объема полупроводника и омического контакта.

Емкость C_{SD} определяется из выражения:

$$C_{SD} = C \times S = (\epsilon_s / W) S, \quad (1)$$

где C — емкость перехода; S — площадь контакта металл — полупроводник; ϵ_s — диэлектрическая постоянная; W — ширина обедненной области.

Сопротивление контакта металл полупроводник R_{SD} определено как:

$$R_{SD} \equiv \frac{1}{S} \frac{\partial V}{\partial J}, \quad (2)$$

где V — объем полупроводника; J — протекающий ток.

С учетом падения напряжения на последовательном сопротивлении выражение для прямого напряжения диода Шоттки имеет вид [7]:

$$V_F = \phi_{Bn} + \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_F}{A^{**} T^2 S} \right) + I_F R_{ser}, \quad (3)$$

где ϕ_{Bn} — высота потенциального барьера Шоттки; k — постоянная Больцмана; T — абсолютная температура; q — величина заряда электрона; I_F — прямой ток, протекающий через диод; A^{**} — постоянная Ричардсона; S — площадь барьера Шоттки; R_{ser} — последовательное сопротивление объема полупроводника и омического контакта.

Из выражения (3) следует, что прямое напряжение диода Шоттки зависит от параметров барьера металл — полупроводник и последовательного сопротивления, существенный вклад в которое вносит омический контакт, формируемый при монтаже кристаллов.

Для определения степени влияния барьера и последовательного сопротивления на U_F для диодов с пайкой кристаллов при температу-

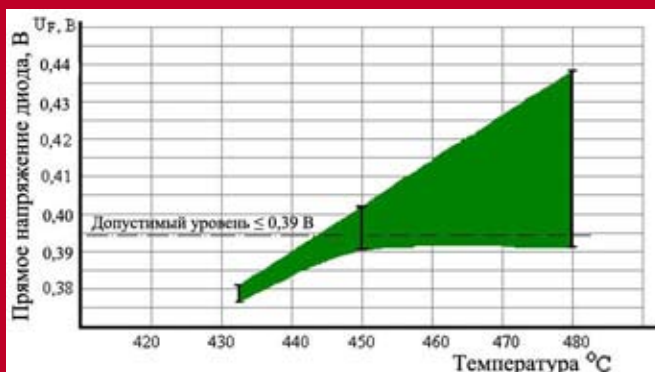


Рис. 9. Влияние температуры монтажа кристаллов на прямое напряжение диода

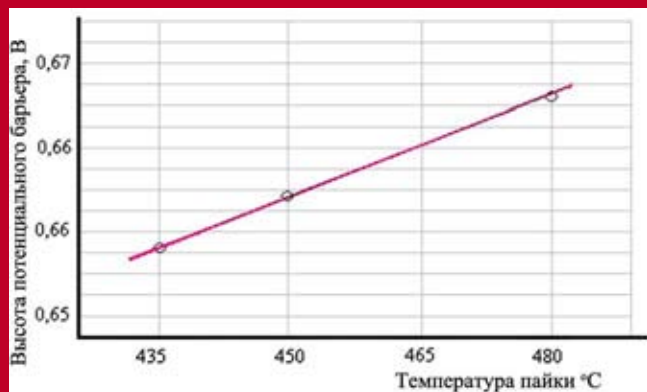


Рис. 11. Влияние температуры пайки кристаллов на высоту барьера Шоттки

рах 435, 450 и 480 °С исследована зависимость $U_F = f(I_F)$ в диапазоне токов от 1 мкА до 50 мА. Установлено, что диоды имеют практически одинаковые значения U_F при $I_F = 50$ мА, не зависящие от температуры пайки, а на токе 1 мА прямое падение напряжения существенно зависит от температуры. По данным замеров прямой ВАХ проведен расчет параметров эквивалентной схемы диода Шоттки и построена зависимость высоты барьера Шоттки от температуры пайки кристаллов, которая имеет линейный характер (рис. 11).

При увеличении температуры пайки с 435 до 480 °С отмечается рост прямого напряжения $\Delta U_F = 0,0405$ В и последовательного сопротивления $\Delta R_{сер}$ до 3 Ом. Вклад этого сопротивления в общее прямое напряжение диода составляет $0,001 \times 3 = 0,003$ В, что соответствует 7,4%, а вклад барьера: $0,0405 - 0,003 = 0,0375$ В, что соответствует 92,6%.

Идеальность прямой ВАХ диода, оцениваемой по величине прямого напряжения (U_F) на малом токе, в значительной мере зависит от высоты барьера, которая в свою очередь

также зависит от температуры монтажа кристаллов (рис. 12).

Таким образом, ограничение температуры монтажа кристаллов позволяет получить прямую ВАХ диода Шоттки с высоким коэффициентом идеальности, что крайне важно для повышения воспроизводимости и стабильности параметров полупроводниковых барьерных структур.

Выводы

Автоматизированный монтаж кристаллов диодов Шоттки методом эвтектической пайки на выводную рамку с покрытием золотом или серебром возможен при оптимальных параметрах вибрации.

Для достижения коэффициента идеальности прямой ВАХ не менее 1 необходимо выполнять монтаж кристаллов при температуре не выше 430 °С.

Площадь остаточного кремния после воздействия сдвигающей нагрузки составляет до 40% от площади кристалла при использо-

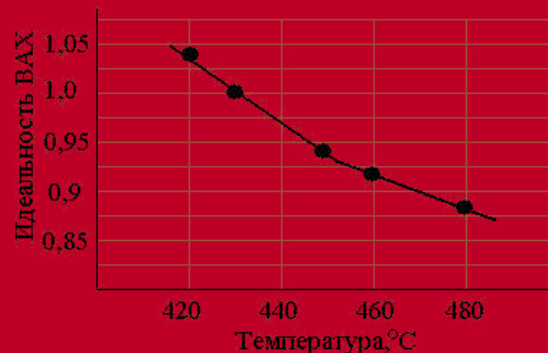


Рис. 12. Влияние температуры монтажа кристаллов на коэффициент идеальности прямой ВАХ диода Шоттки

вании золота и серебра, нанесенных методом плакирования, и около 100% — для гальванического золота толщиной 5 мкм.

Литература

1. Попов С. Диоды Шоттки для преобразовательной техники // Электронные компоненты. 2002. № 8.
2. www.platan.ru
3. www.symmetron.ru
4. Онегин Е. Е., Зенькович В. А., Битно Л. Г. Автоматическая сборка ИС. Минск: Высшая школа, 1990.
5. www.planar.by
6. Ланин В. Л., Рубцевич И. И., Керенцев А. Ф. Программно-управляемый монтаж кристаллов силовых транзисторов вибрационной пайкой в защитной атмосфере // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 5.
7. Ланин В. Л., Соловьев Я. А., Керенцев А. Ф. Конструктивно-технологическая оптимизация параметров диодов Шоттки // Технологии в электронной промышленности. 2011. № 1.