

Применение технологии синтеринга

для снижения потока отказов при эксплуатации мощных тиристоров

В статье обсуждается возможность снижения деградационных и ранних отказов силовых полупроводниковых тиристоров с диаметром полупроводникового кристалла 80 мм и более за счет применения технологии низкотемпературного спекания кремниевых элементов и молибденовых термокомпенсаторов. Исследованы сравнительные зависимости параметров V_{TO}/r_T , R_{thjc} , I_{TAV} , I_{TSM} от усилия сжатия для вариантов синтеринг/сплавление и стандартная катодная прокладка/катодная прокладка из молибдена с напыленным защитным интерфейсом, а также определен оптимальный конструктивно-технологический вариант с точки зрения снижения количества ранних отказов в процессе эксплуатации.

Дмитрий Титушкин

d.titushkin@proton-electrotex.com

Алексей Сурма

a.surma@proton-electrotex.com

Александр Ставцев

a.stavtsev@proton-electrotex.com

Сергей Матюхин

sim1@mail.ru

Современные потребители силовых полупроводниковых приборов все чаще делают акцент на надежности как преобразовательной техники в целом, так и комплектации в отдельности в связи с увеличением затрат при отказе в условиях эксплуатации. Причем под отказом подразумевают деградационный отказ.

Явления деградационных отказов неизбежны, поскольку они обусловлены естественными процессами старения и износа конструкции прибора и материалов, используемых в изделии. Производители силовой полупроводниковой базы совершенствуют свои конструктивно-технологические решения для снижения вероятности деградационного отказа. Так, применение технологии синтеринга при изготовлении как однокристалльных силовых полупроводниковых тиристоров и диодов [1, 6], так и IGBT-приборов [2, 4, 5, 10] способствует снижению количества деградационных отказов на последней стадии эксплуатации объекта и увеличению срока службы прибора [3, 4, 8–10]. Сокращение количества деградационных отказов обусловлено в первую очередь высокой циклостойкостью соединения полупроводникового кристалла с термокомпенсатором, а также снижением теплового сопротивления переход-корпус [3, 4, 6, 7], что дополнительно

приводит к повышению значений предельного ударного тока [1].

Однако, помимо деградационных отказов в ходе эксплуатации, у потребителя присутствуют и ранние отказы в процессе приработки изделия, обусловленные появлением дефектов, не обнаруженных при изготовлении и приемочном контроле. При этом применение приработки приборов в условиях эксплуатации у производителя экономически нецелесообразно. То есть сокращение количества ранних отказов возможно только посредством снижения вероятности появления потенциально дефектных приборов. Как правило, большая часть силовых полупроводниковых тиристоров и диодов — это low cost-продукция, в которой соединение кремниевого элемента с молибденовым термокомпенсатором проводится по технологии сплавления на силуминовые припои. При этом наблюдается разброс теплового сопротивления по площади, обусловленный как наличием непроплавов паяного соединения, так и повышенной деформацией полупроводникового элемента после операции соединения. Особенно данная проблема актуальна для тиристоров и диодов, чья площадь кремниевого элемента больше или равна 50 см². Оптимизация профиля соединения кремниевого элемента и молибденового

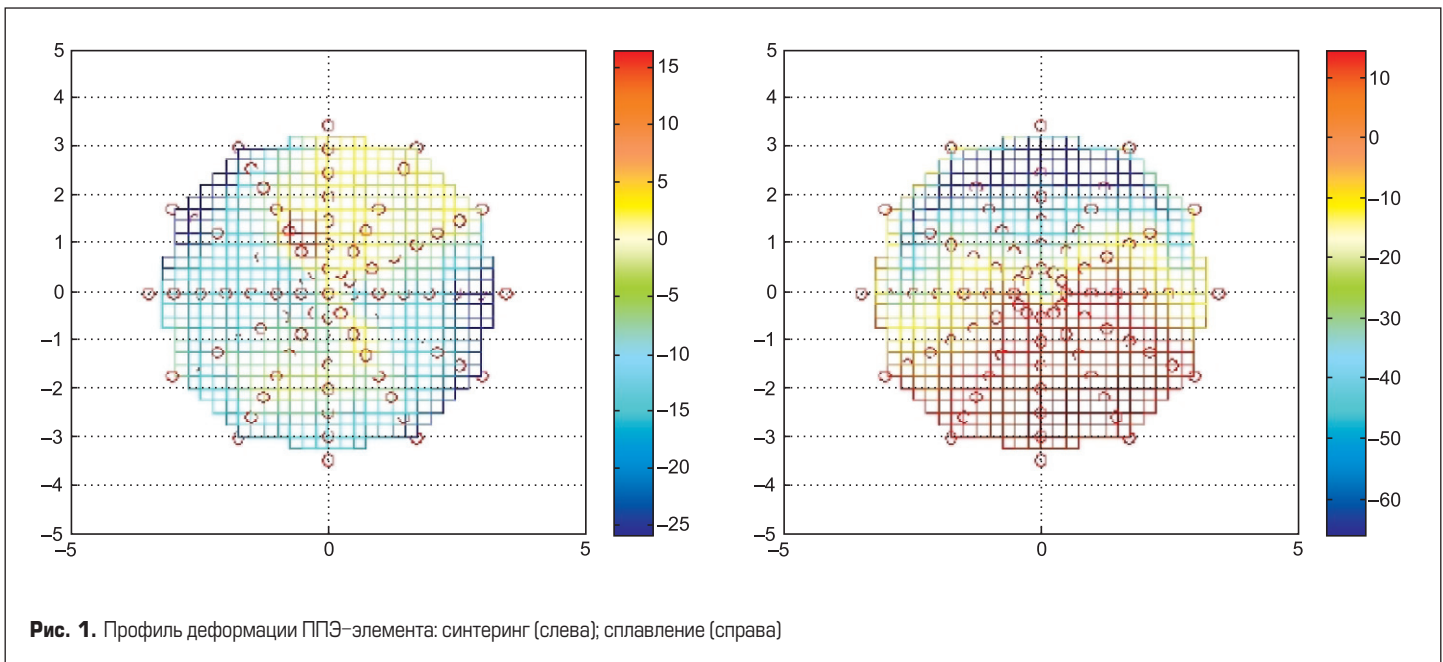


Рис. 1. Профиль деформации ППЭ-элемента: синтеринг (слева); сплавление (справа)

термокомпенсатора позволяет уменьшить количество непроплавов соединения и профиль деформации, однако, помимо профиля температуры, на количество непроплавов тоже влияет шероховатость сопрягаемых поверхностей, качество отмычки деталей и т. п.

Таким образом, применение технологии синтеринга при производстве силовых полупроводниковых приборов большой площади приводит к снижению количества не только деградационных отказов и увеличению срока службы, но и ранних отказов в процессе обработки.

Экспериментальные образцы

В качестве экспериментальных образцов использовались тиристоры ТБ173-2000-18, с диаметром полупроводникового элемента 80 мм, в которых соединение кремниевого элемента и молибденового термокомпенсатора изготавливалось как при помощи технологии сплавления на силуминовый припой, так и по технологии синтеринга на серебро-содержащие пленки. При сборке каждый из этих вариантов был укомплектован двумя катодными прокладками разных типов: стандартной катодной прокладкой и прокладкой из молибдена с напыленным защитным интерфейсом.

В качестве программы исследования было проведено следующее:

- сняты сравнительные профили деформации полупроводниковых элементов;
- сняты сравнительные зависимости вольт-амперных характеристик в проводящем состоянии (V_{TO}/r_T) от усилия сжатия в диапазоне 30–50 кН;
- сняты сравнительные зависимости теплового сопротивления переход-корпус (R_{thjc}) от усилия сжатия в диапазоне 30–50 кН;
- рассчитаны сравнительные зависимости среднего тока (I_{TAV}) от усилия сжатия в диапазоне 30–50 кН;

- определены значения разрушающего ударного тока (I_{TSM}).

Деформация полупроводникового элемента

Профили деформации изображены на рис. 1. Из рис. 1 можно сделать вывод, что профиль деформации полупроводникового элемента, изготовленного с применением технологии синтеринга, значительно ровнее, чем профиль деформации полупроводникового элемента, выполненного по технологии сплавления на силуминовый припой. Остаточный изгиб полупроводникового элемента, изготовленного методом синтеринга, составил 11 мкм. Остаточный изгиб полупроводникового элемента, изготовленного методом сплавления, составил 45 мкм.

Электрические характеристики

Данные по сравнению средних значений параметров V_{TO}/r_T , R_{thjc} , I_{TAV} и зависимости от усилия сжатия представлены на рис. 2–5.

На рисунках видно, что вариант «синтеринг, Мо-прокладка» имеет самые низкие значения V_{TO}/r_T (–5,8 и –11,2% соответственно по сравнению со стандартным вариантом «сплавление, стандартная прокладка»). Однако вариант «синтеринг, стандартная прокладка» показал самые низкие значения по тепловому сопротивлению R_{thjc} (–9,7% по сравнению со стандартным вариантом) и самые высокие значения при расчете среднего тока (+12,8% по сравнению со стандартным вариантом). Также следует отметить повышенную зависимость теплового сопротивления со стороны анода от усилия сжатия на вариантах с синтерингом по сравнению с вариантами на сплавлении. Теоретически это может быть обусловлено деформацией ППЭ с появлением на вариантах со сплавлением поверхностей третьего и более порядков, которые при приложении внешнего монтажного усилия не удается полностью распрямить. В свою очередь структура с синтерингом отличаются поверхностью формы «купол», которая распрямляется с увеличением усилия.

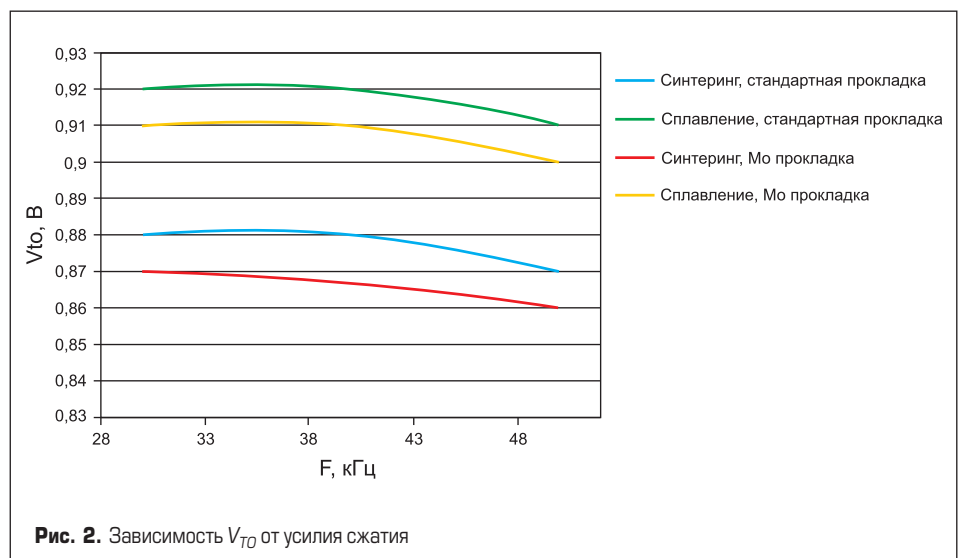


Рис. 2. Зависимость V_{TO} от усилия сжатия

Это также доказывают абсолютные значения теплового сопротивления со стороны анода, представленные ниже на вариантах с синтерингом.

С точки зрения значений разрушающего ударного тока варианты «синтеринг, Мо-прокладка» и «синтеринг, стандартная прокладка» показали повышение значе-

ний разрушающего ударного тока на 5,7% по сравнению со стандартным вариантом.

Выводы

Исследованы сравнительные зависимости параметров V_{TO}/r_D , R_{thje} , I_{TAV} , I_{TSM} от усилия сжатия для вариантов «синтеринг/сплавление» и «стандартная катодная прокладка/катодная прокладка из молибдена с напыленным защитным интерфейсом». Показано, что с точки зрения снижения количества ранних отказов у потребителя в качестве базового конструктива необходимо использовать вариант «синтеринг, стандартная прокладка», поскольку данный вариант продемонстрировал самые низкие значения по тепловому сопротивлению и самые высокие значения по среднему току.

Литература

- Schwarzbauer H. Novel Large Area Joining Technique for Improved Power Device Performance // IEEE Transactions on Industrial Applications. 1991. Vol. 27. Iss. 1.
- Knoerr M., Kraft S., Schletz A. Reliability Assessment of Sintered Nano-Silver Die Attachment for Power Semiconductors // IEEE Electronics Packaging Technology Conference. 2010. No. 12.
- Scheuermann U., Wiedl P. Low Temperature Joining Technology-A High Reliability Alternative to Solder Contacts. Workshop on Metal Ceramic Composites for Functional Application. Vienna, 1997.
- Göbl C., Beckedahl P., Braml H. Low temperature sinter technology Die attachment for automotive power electronic applications. Proc. Automotive Power Electronics. Paris, 2006.
- Bai J. G., Lu G.Q. Thermomechanical Reliability of Low-Temperature Sintered Silver Die Attached SiC Power Device Assembly // IEEE Transactions on Device and Materials Reliability. 2006. Vol. 6. Iss. 3.
- Chernikov A., Stavtsev A., Surma A. Features of wafer. Mo joining by sintering of silver paste for large area silicon devices. Proc. EPE'2013. Lille, 2013.
- Titushkin D., Surma A. New ways to produce fast power thyristors // Bodo's Power Systems. 2015. No. 8.
- Steger J. With sinter-technology forward to higher reliability of power modules for automotive applications // Power electronics Europe. 2012. No. 2.
- Amro R., Lutz J., Rudzki J., Thoben M., Lindeman A. Double-Sided Low-Temperature Joining Technique for Power Cycling Capability at High Temperature. Proc. EPE'2005. Dresden, 2005.
- Göbl C., Faltenbacher J. Low temperature sinter technology Die attachment for power electronic applications. Proc. CIPS 2010. Nuremberg, 2010.

