Технология обработки поверхностей плазмой для установки корпусов флип-чип

Масару НОНОМУРА
(Masaru NONOMURA)

Перевод: Валерий РУСАНОВ
rusanov.valery@gmail.com

Технология плазменного травления была разработана для процесса производства полупроводниковых элементов и оказала огромное влияние на травление тонкого рисунка, на сухие и низкотемпературные процессы. Полупроводниковые изделия и сборки, в свою очередь, становятся легче и компактнее. Производство корпусов микросхем нуждается в высококачественных сухих процессах вместо процессов механизированной обработки или химического травления. В результате поиска таких технологий был разработан новый плазменный процесс для производства микросхем.

Процесс производства полупроводниковых устройств включает в себя множество высокоточных операций, которые ведут к улучшению качества конечных изделий. Некоторые из них показаны на рис. 1. К примеру, плазменный процесс очистки может упрочнить сварное соединение за счет удаления загрязнений с контактных площадок при помощи аргонной плазмы. Другие виды процессов обработки поверхностей плазмой с использованием кислорода позволяют лучше скрепить подложку с кристаллом. Итак, использование плазмы — ключевой процесс в поверхностной обработке при корпусировании полупроводниковых устройств. Не так давно плазменные технологии стали применять в процессах утончения подложек, таких как снятие остаточных напряжений плазмой или плазменное скрайбирование. Эти процессы в основном используются при производстве смарт-карт или корпусов SiP (Single-in-line Package).

Фирма Panasonic представила новый процесс поверхностной обработки для корпусов типа флип-чип. Эта технология завоевала популярность, так как позволила сделать корпуса меньше и тоньше, зазор между подложкой и кристаллом — исключительно малым, увеличить размер кристалла. Обработка поверхностей плазмой — перспективная технология, позволяющая повысить качество, надежность и производительность процессов травления.

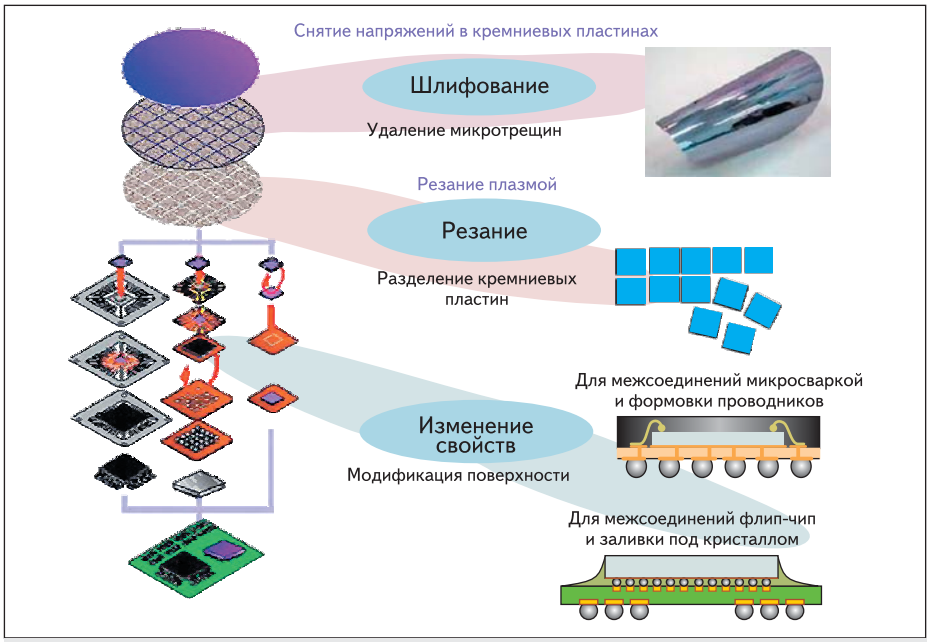

Рис. 1. Технология плазменной обработки — от пластины до сборки

Требования рынка к корпусам флип-чип

В последнее время корпуса «кристалл-на-плате» (COB — Cristall-on-Board) стали еще меньше и тоньше. Зазор между подложкой и кристаллом стал чрезвычайно малым. На рис. 2 показаны основные тенденции при производстве корпусов типа «кристалл-на-плате». В частности, происходит переход от процессов проводного соединения с подложкой к технологии флип-чип. Некоторые компоненты поверхностного монтажа могут быть установлены лишь с использованием оборудования, обладающего высокоточным позиционированием.

Для повышения механической прочности и надежности изделий, производимых по технологии флип-чип, необходимы совершенные методы заливки под корпус. Сравнительно недавно стало уделяться больше внимания процессам заливки, которые могут облегчить решение проблем, связанных с уменьшением зазоров и увеличением размеров кристаллов — признаками появления нового поколения устройств, выполненных по технологии флип-чип.

Надежность устройств, созданных по технологии флип-чип, во многом зависит от качества заливки. На рис. 3 показаны основные сложности, возникающие при заливке:

а) образование «апельсиновой корки»: из-за плохой адгезии на поверхности подложки или кристалла образуются области отслаивания заливки;
б) пустоты: при заполнении зазора появляются пустоты, которые остаются в заливке;
в) трещины: при термоударе через расположенные с краю пустоты могут пройти трещины.

Эти проблемы чаще всего возникают, если перед заливкой плохо обработаны поверхности, между которыми она производится.

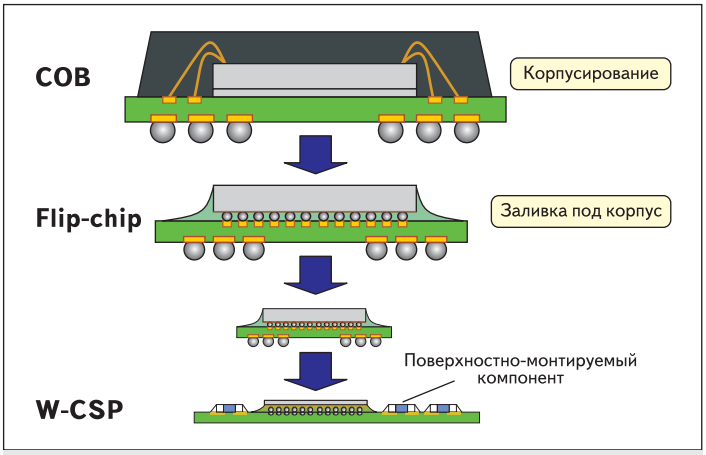

Рис. 2. Тенденции развития корпусов микросхем:
COB — межсоединения микросваркой;
Flip-chip — заливка;
W-CSP — поверхностно-монтируемые чипы

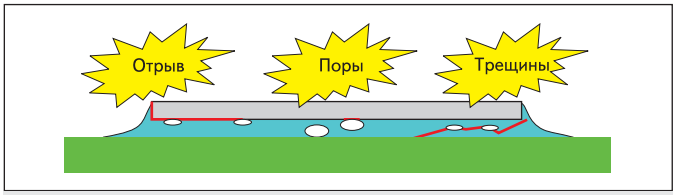

Рис. 3. Основные проблемы в процессах заливки: отрыв, поры, трещины

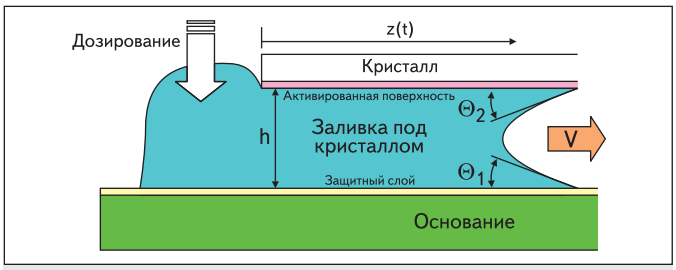

Рис. 4. Капиллярная модель заливки

К примеру, органические или неорганические загрязнения, недостаточная активация поверхностей по обе стороны зазора. Исходя из этого, контроль текучести пасты-заполнителя становится важной задачей. Специалисты компании Panasonic первыми в отрасли подробнее рассмотрели вопросы текучести пасты-заполнителя и разработали способы ее контроля.

Плазменные процессы для корпусов флип-чип

На рис. 4 представлена схема для моделирования процесса заливки. Пренебрегая действием силы тяжести, по закону Уоршберна время затекания T может быть вычислено по формуле:

$$T = \frac{k \times \eta \times z^2(t)}{h \times \gamma (\cos\Theta_1 + \cos\Theta_2)}, \qquad (1)$$

где $z(t)$ — длина отрезка для затекания; h — величина зазора; γ — коэффициент поверхностного натяжения пасты-заполнителя; η — вязкость пасты-заполнителя; Θ_1 — статический угол контакта с подложкой; Θ_2 — угол контакта с поверхностной протравкой кристалла.

Видим, что можно повлиять на четыре переменные: γ, η, Θ_1 и Θ_2. Существует два способа уменьшить время протекания процесса:

1) изменение характеристик пасты-заполнителя путем изменения материала для заливки;
2) изменение показателя смачивания внутри зазора при помощи процесса плазменной очистки.

Вариант 1 предполагает проведение множества долговременных испытаний на надежность и повторную оценку конечного продукта. Подобный подход может быть отвергнут рынком.

Вариант 2 — изменение поверхностных свойств веществ. Скорость затекания в зазор может быть увеличена без изменения материала заливки — при помощи плазменной технологии фирмы Panasonic. Инженеры достигли успеха в разработке этой технологии. Далее она будет рассмотрена более детально.

Проверка технологии плазменной обработки

Мы использовали аргоновую плазму для удаления никельсодержащих структур из позолоченных контактных площадок, предназначенных для микросварки и ультразвукового монтажа. Аргонная плазма возбуждалась между параллельными плоскими электродами. На рис. 5 показан механизм реакции ионного травления. В данном процессе ионы аргона взаимодействуют только с верхней стороной подложки. Поэтому поверхность под кристаллом внутри зазора между корпусом флип-чип и подложкой не может быть обработана аргонной плазмой.

Было принято решение использовать кислородную плазму (рис. 6). Она содержит электроны, молекулы кислорода, ионы кисло-

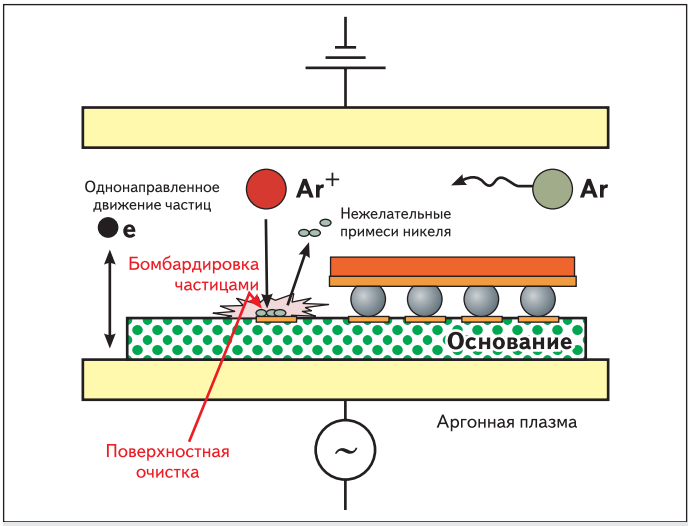

Рис. 5. Аргонная плазма: очищенные поверхности

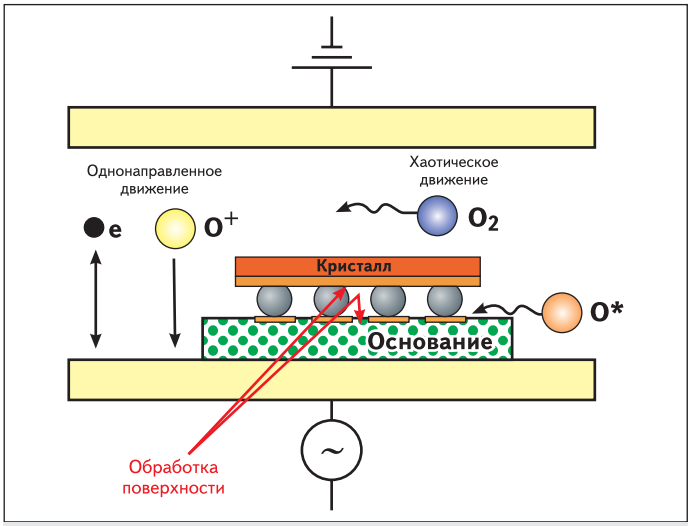

Рис. 6. Кислородная плазма: модифицированные поверхности

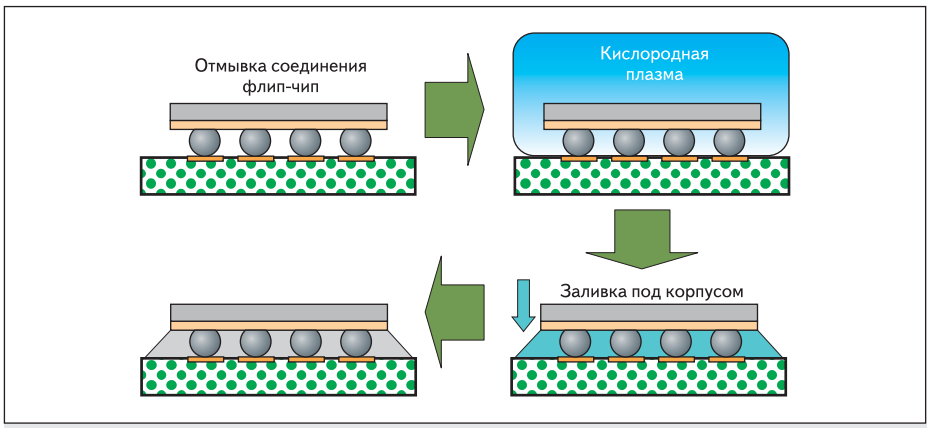

Рис. 7. Плазменная обработка поверхности для технологии флип-чип

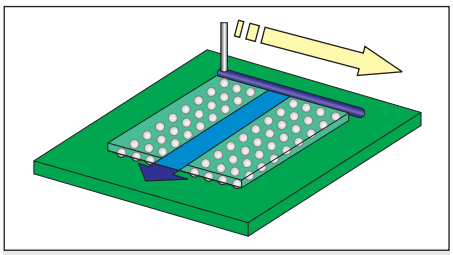

Рис. 8. Направление заливки

рода и атомарный кислород. Атомарный кислород очень активен как электрически, так и химически. Данный процесс позволяет атомам кислорода проникать в зазор, улучшая смачиваемость, что дает возможность химически активировать и кристалл, и подложку. Таким способом могут быть улучшены время затекания в зазор и форма галтелей.

На рис. 7 изображен общий ход процесса, в котором присутствует плазменная обработка. Обработка плазмой проводится перед заливкой. Эффект от применения плазмы проверялся в лаборатории. Для эксперимента была выбрана квадратная микросхема флип-чип с размером стороны 7,2 мм и подложка из материала FR-4. В качестве заливки использовался материал U8439-1 (NAMICS). На рис. 8 показано направление заливки. Во время эксперимента замерялось время затекания заливки. Оно было определено как время, прошедшее с начала заливки до 100%-ного появления заливки с другой стороны. Время протекания процесса без использования и с использованием кислородной плазмы отражено на рис. 9. Без использования плазмы процесс длится 58 с. Галтель получается неправильной формы. При использовании плазмы время сокращается до 39 с. Со всех четырех сторон галтели получаются правильной формы, причем при использовании односторонней заливки. Как видно, использование процесса плазменной поверхностной обработки позволяет сократить время и объем заливки.

Использование новой технологии для последующих стадий развития корпусирования

С уменьшением размеров корпусов зазоры между компонентом и платой, между кристаллом и подложкой уменьшаются. Сложнее становится применение плазмы — из-за снижения скорости проникновения реактивных групп в тонкие зазоры. Именно поэтому внимание вновь привлек процесс заливки — в связи с необходимостью решения проблем, связанных с уменьшением зазора и увеличением матрицы выводов при предстоящем совершенствовании технологии флип-чип. Была разработана новая модификация плазменной технологии для корпусов меньшего размера. Встал вопрос: как увеличить скорость проникновения радикалов кислорода в узкий зазор между чипом и подложкой в корпусах малого размера? Ранее коэффициент диффузии изменялся путем изменения концентрации плазмы, а необходимый эффект мог быть достигнут при большем времени протекания процесса. Но существует вероятность повредить микросхему, если слишком сильно увеличивать эти показатели. Поэтому была предпринята попытка улучшить коэффициент проникновения радикалов кислорода иными способами. Коэффициент диффузии атомарного газа может быть рассчитан по формуле:

$$D_1 = \frac{4}{3\pi \times n \times d_1^2}\left(\frac{kT}{\pi \times m}\right)^{1/2}, \qquad (2)$$

где T — температура газа; m — молярная масса; n — молекулярная плотность; d — диаметр молекулы; k — постоянная Больцмана.

Коэффициент диффузии смеси двух газов рассчитывается по формуле:

$$D_{1+2} = \frac{8(2kT)\left(\frac{1}{m_1}+\frac{1}{m_2}\right)}{3\pi(n_1+n_2)(d_1+d_2)}. \qquad (3)$$

Сравнивая формулы (2) и (3), можно увидеть, что изменение коэффициента диффузии может быть достигнуто с добавлением еще одного вида газа. Долговременные исследования позволили найти особый газ, увели-

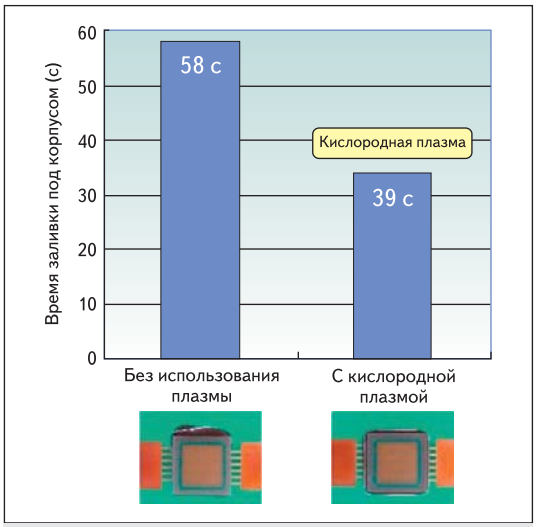

Рис. 9. Эффект от применения кислородной плазмы

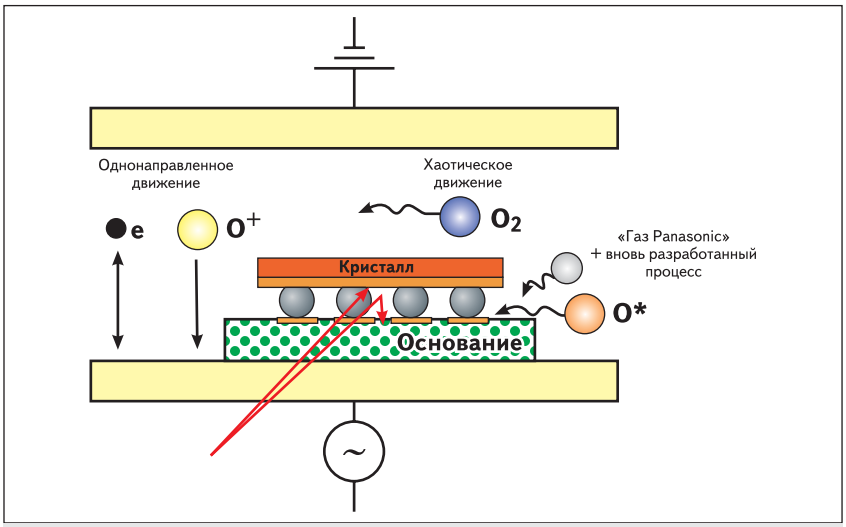

Рис. 10. Оригинальный процесс фирмы Panasonic

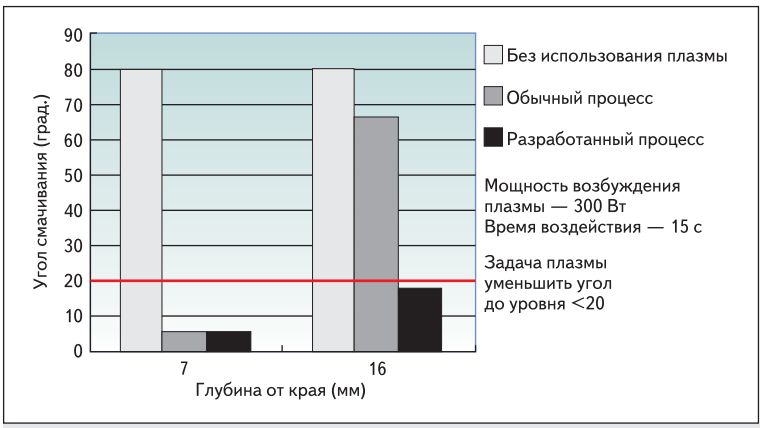

Рис. 12. Зависимость угла смачивания от глубины проникновения и вида процесса обработки

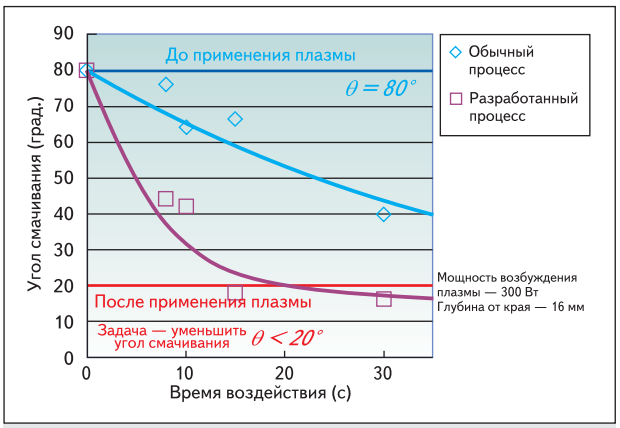

Рис. 13. Зависимость угла смачивания от времени воздействия плазмы

чивающий коэффициент диффузии (рис. 10). Добавление этого газа (Panasonic gas) позволяет увеличивать коэффициент диффузии в два раза. Были найдены оптимальные параметры процесса: состав газовой смеси, технология смешивания газов и показатели давления. Специальная конструкция оборудования, например новой камеры, позволяет добиться еще большего улучшения результатов.

Эффективность нового процесса

Для проверки эффективности нового процесса был использован образец — как показано на рис. 11.

Размер зазора между поверхностью кристалла и алюминиевым блоком при эксперименте равнялся 100 мкм. Был измерен угол смачивания поверхности травления каплей воды до и после применения плазмы. На рис. 12 показан результат измерения угла смачивания. До применения плазмы угол смачивания равен 80°. Практика показывает, что для хорошей заливки и адгезии необходим угол меньше 20°. Итак, целью стало уменьшение угла смачивания. Средний столбик иллюстрирует типичный процесс с использованием чистого кислорода. Правый столбик иллюстрирует новый процесс, где применяется "Panasonic gas". На графике показано, как новый процесс улучшает смачивание, особенно в труднодоступных областях.

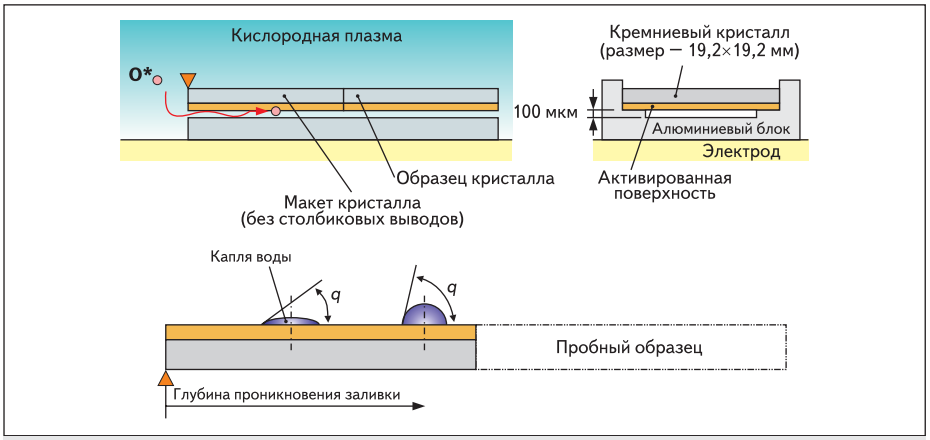

Рис. 11. Пробный образец для проверки эффекта плазменного воздействия

На рис. 13 показана зависимость угла смачивания от времени воздействия на обрабатываемые поверхности плазмы. Типичный процесс требует долгой обработки для улучшения смачивания в труднодоступных местах. Усовершенствования же позволяют существенно улучшить смачивание в труднодоступных местах в сочетании с уменьшением времени воздействия плазмы. Зависимость угла смачивания от мощности возбуждения плазмы показана на рис. 14. Традиционные процессы нуждались в сильном возбуждении для улучшения смачиваемости. Но увеличивался и риск повреждения микросхемы. Преимуществом нового процесса является снижение мощности возбуждения плазмы в сочетании с сохранением эффекта от плазменной обработки. Это утвержде-

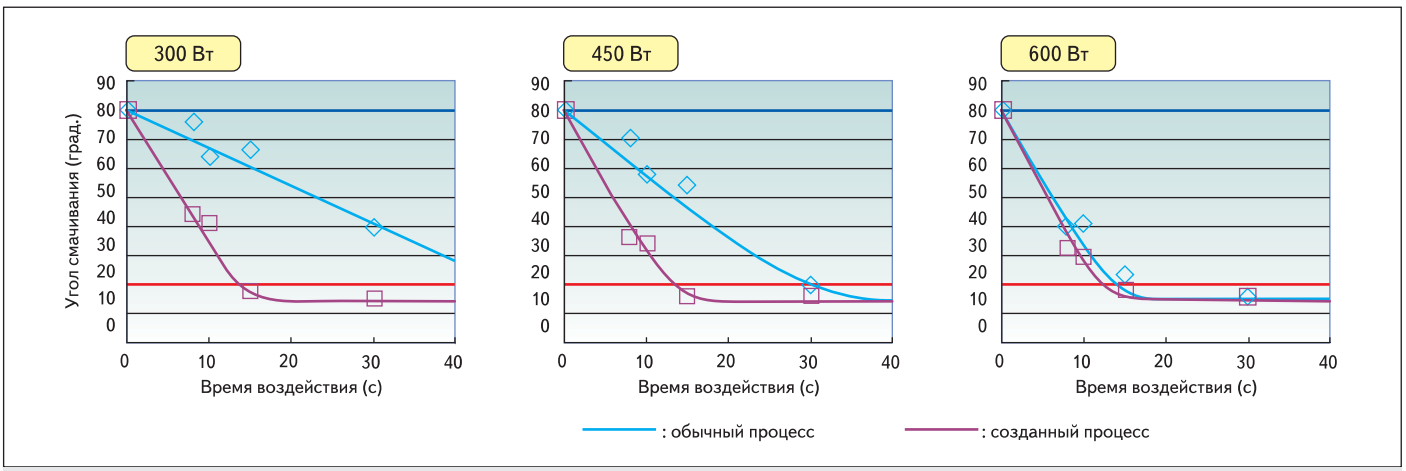

Рис. 14. Зависимость угла смачивания от мощности возбуждения

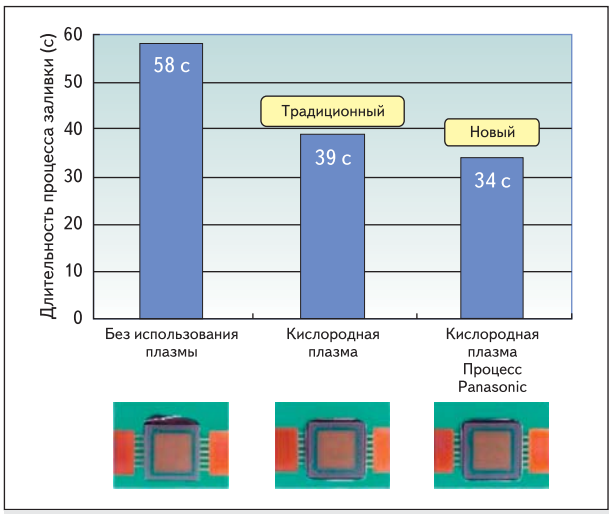

Рис. 15. Эффект от нового процесса плазменного воздействия

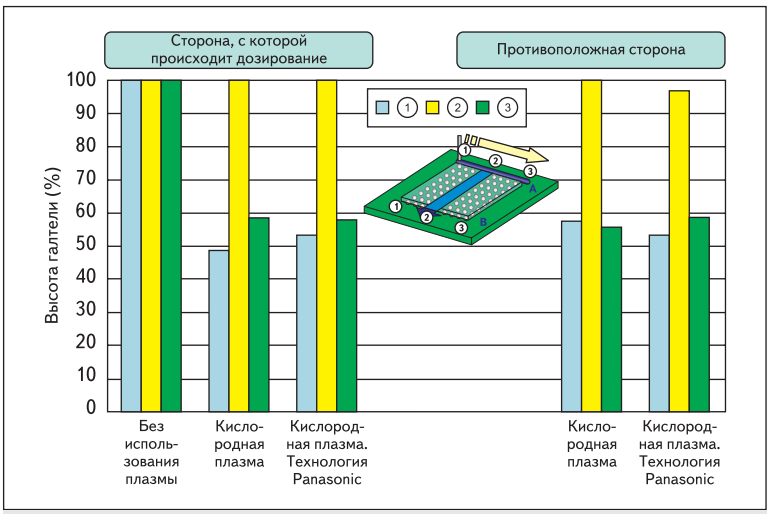

Рис. 17. Контроль высоты галтелей

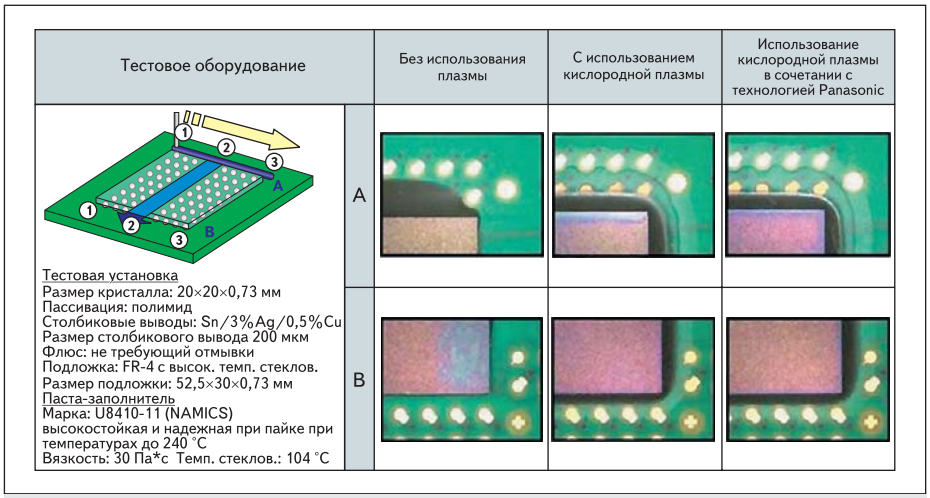

Рис. 16. Контроль формы галтелей

ние проиллюстрировано рис. 15. Данные были получены при обработке образца микросхемы флип-чип, аналогичного рассмотренному выше. Время заливки сократилось до 34 с. Это заметно меньше, чем при традиционной обработке (39 с). Основные преимущества нового процесса — снижение стоимости производства за счет снижения времени заливки и уменьшение вероятности повреждения микросхемы из-за перегрева. На рис. 16 представлены изображения галтелей, полученных в каждом из трех процессов: без плазменной обработки, с использованием кислородной плазмы и с применением новой технологии. Мы использовали образец флип-чипа, представляющий собой кремниевый кристалл со сторонами 20 мм и подложку из FR-4. В качестве заливки использовался материал U8410-11 (NAMICS). При воздействии плазмы формы галтелей получились со всех четырех сторон стабильно правильные при односторонней заливке. На рис. 17 показаны высоты галтелей со стороны заливки и с противоположной стороны. Аналогично, при односторонней заливке высота галтелей одинакова при плазменной обработке.

Заключение

Очевидно, можно говорить о появлении новой технологии обработки поверхностей для технологии флип-чип, которая позволяет улучшить качество заливки. Время протекания процесса и правильная форма галтелей — подтверждение преимуществ разработанного метода. Результаты исследований, приведенные в данной статье, — это взгляд в будущее, когда новые технологии производства корпусов позволят уменьшить размеры устройств, увеличить размеры микросхем и уменьшить зазор между кристаллом и подложкой. Применение новых процессов и оборудования поможет преодолеть сложности, возникающие с переходом к новому, более современному поколению корпусов типа флип-чип.