

# Принципы DFM (Design-for-Manufacturing)

при проектировании современных  
цифровых изделий с BGA



**PCB**technology  
технология надёжности

Александр Игоревич Акулин  
технический директор

*В докладе использованы материалы семинаров  
компаний PCB technology, AT&S, Альтоника и др.*

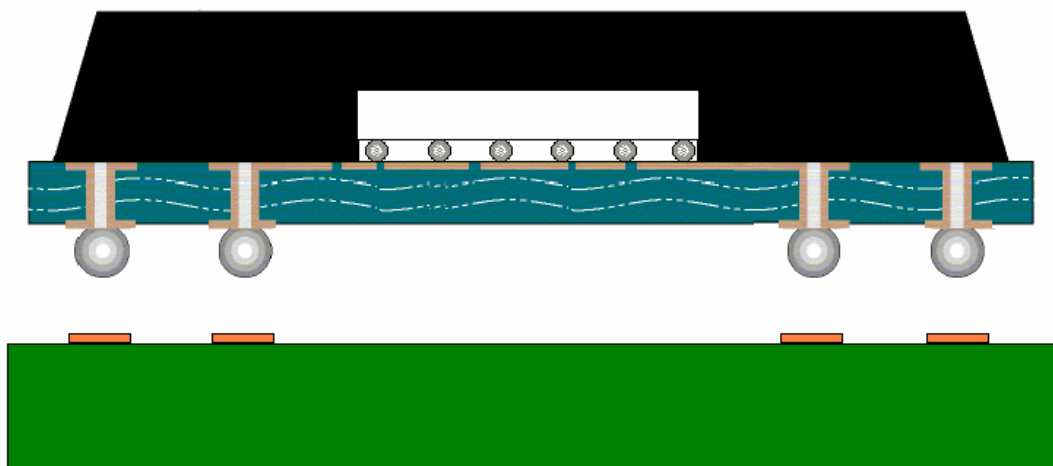
<http://www.pcbtech.ru>



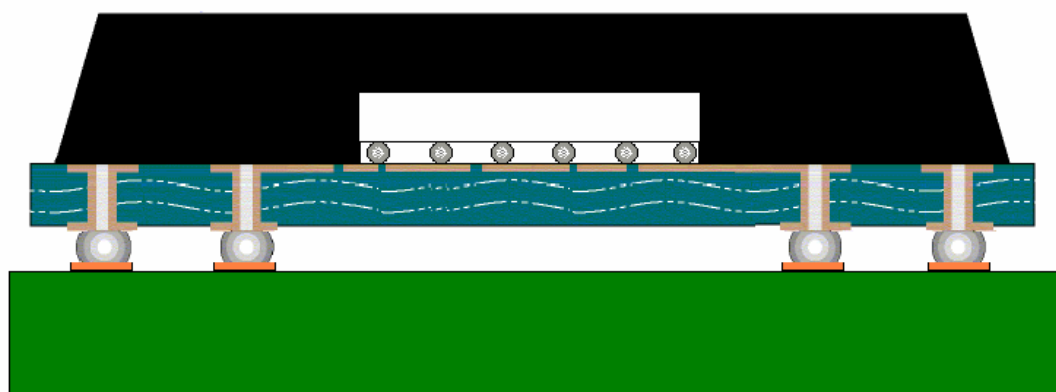
**1. Какие проблемы  
нас ждут  
при изготовлении и монтаже  
печатных плат с BGA  
?**

## Принципы пайки BGA

До пайки:

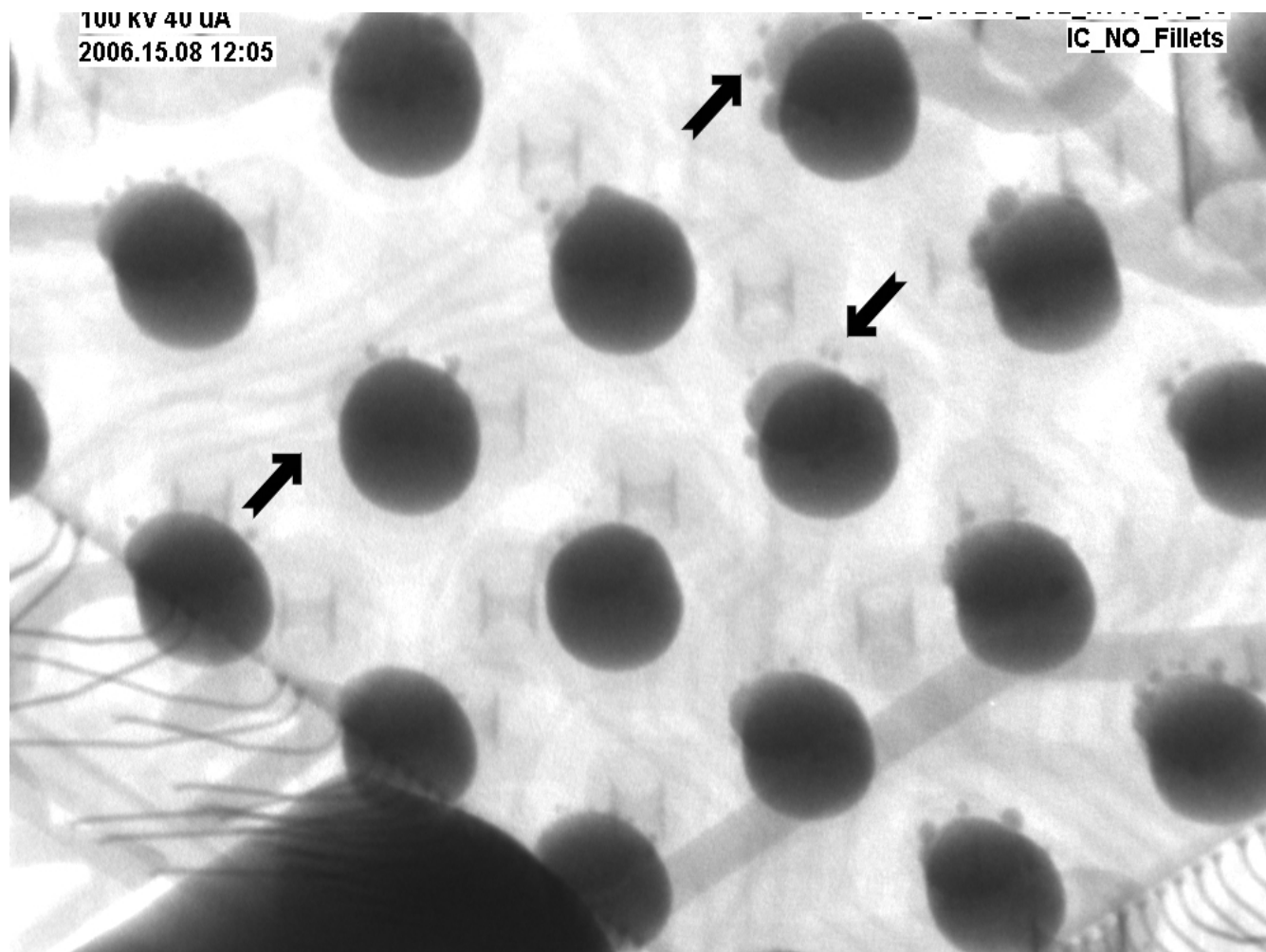


После пайки:



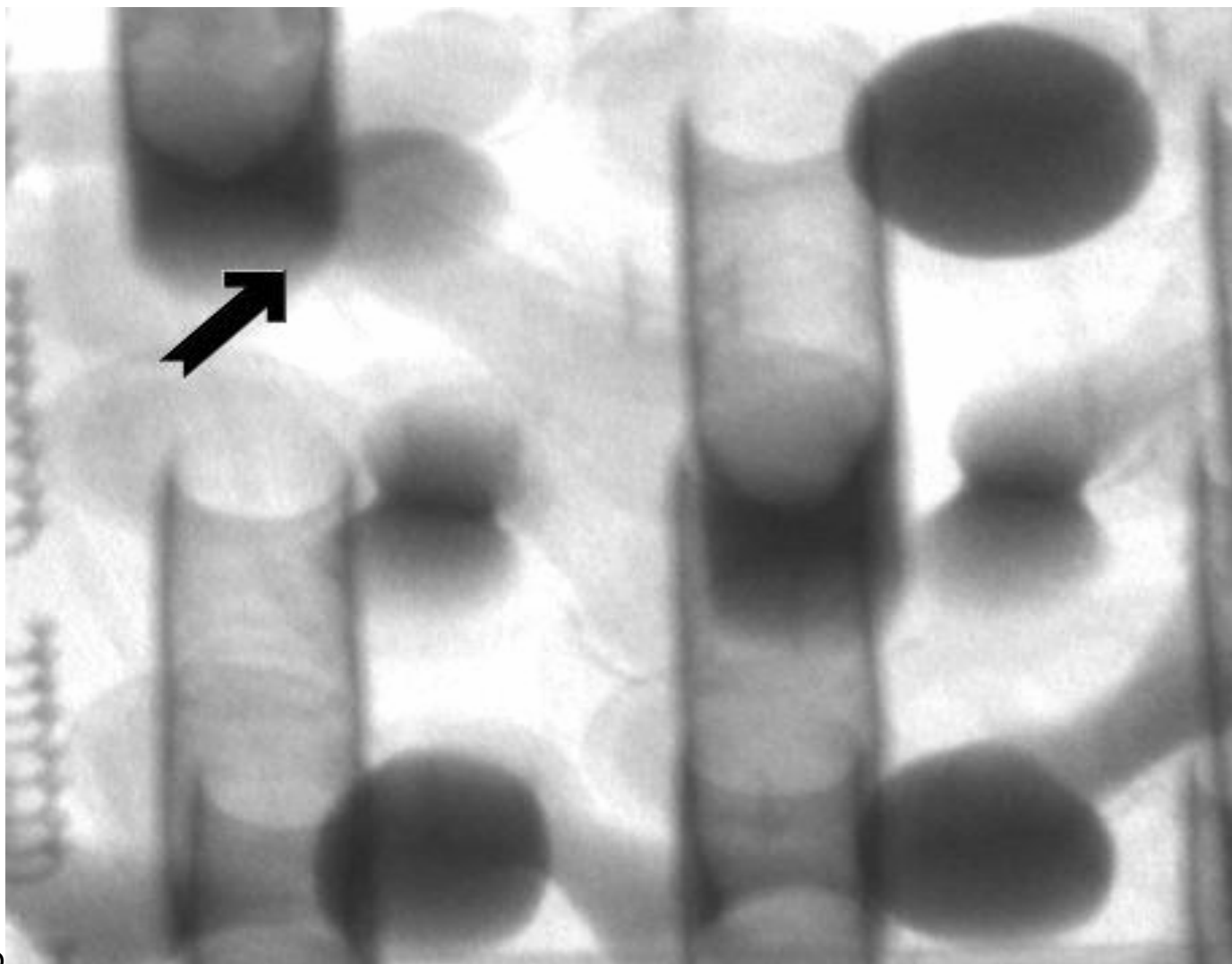
## Типовые дефекты монтажа BGA

**Холодная  
пайка,  
брызги  
припоя**



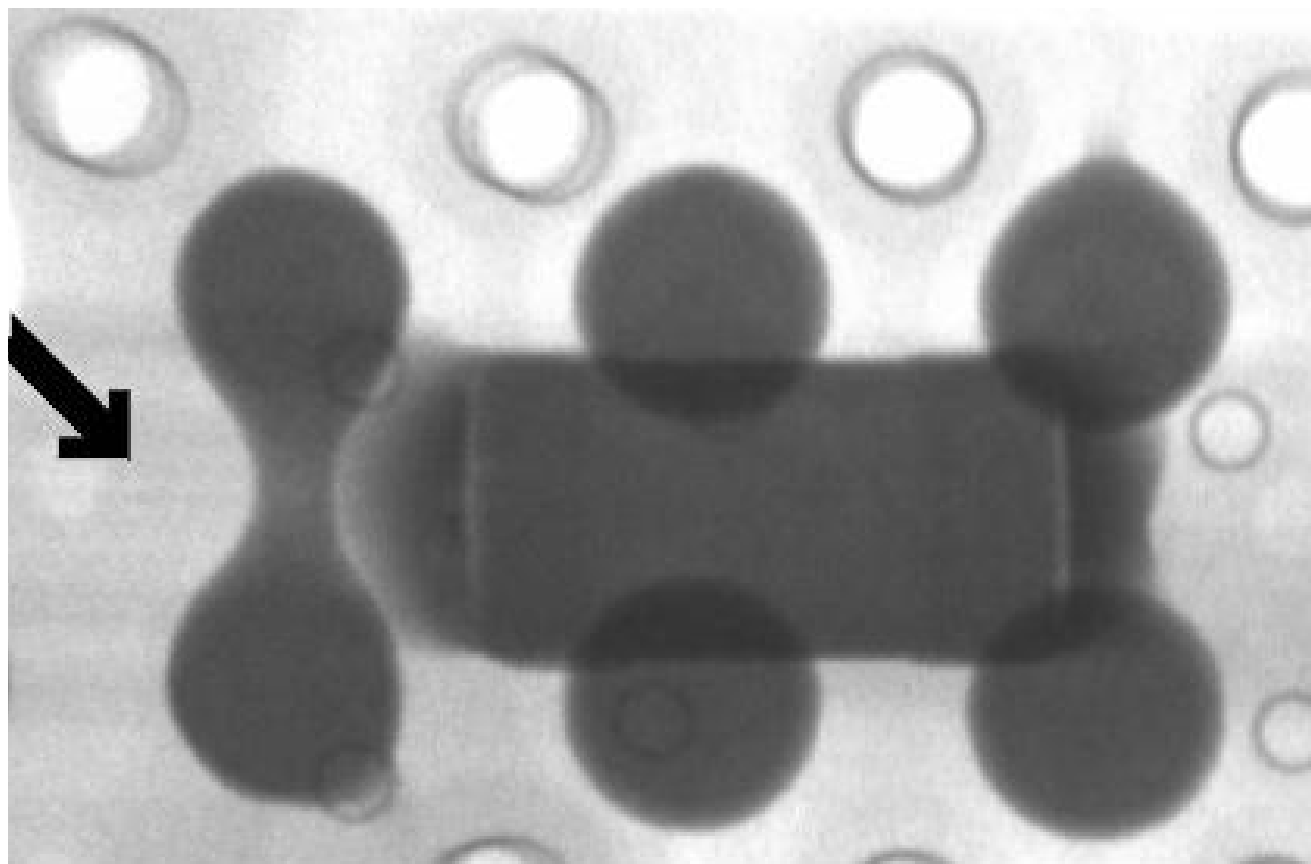
## Типовые дефекты монтажа BGA

**Отсутствие  
шарика  
BGA**



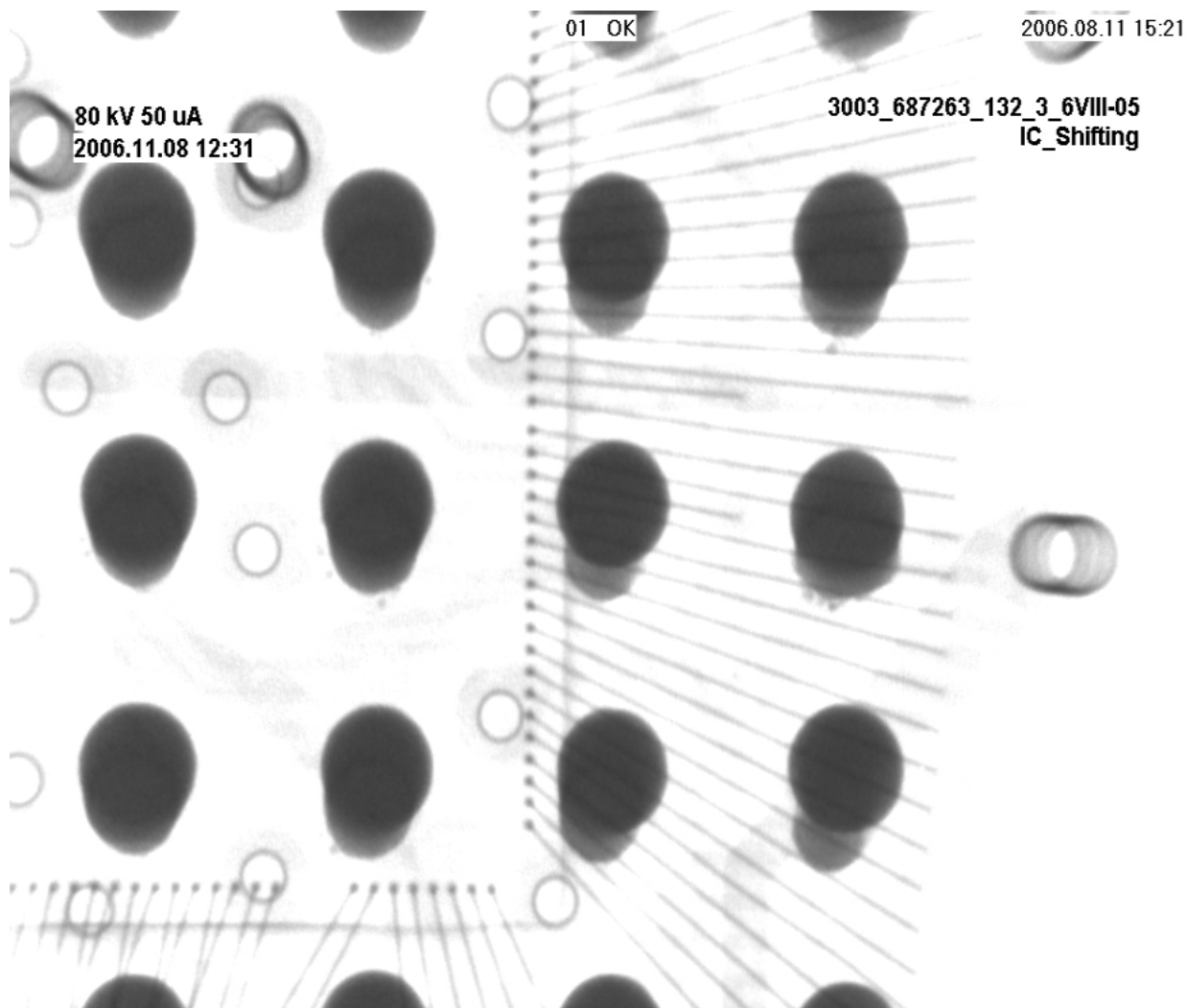
## Типовые дефекты монтажа BGA

**Замыкание  
между  
шариками  
BGA**



## Типовые дефекты монтажа BGA

**Смещение  
BGA  
относительно  
площадок  
печатной  
платы**



## Требования к печатной плате

- 1. Плоскостность**
- 2. Паяемость**

**А) По IPC максимально жесткое требование = 0.75%**

**0.75% кривизны = прогиб платы 0.3 мм на 40 мм.**

**Как обеспечить качество пайки при таких нормах?**

**Б) Нет средств прямого измерения паяемости ПП.**

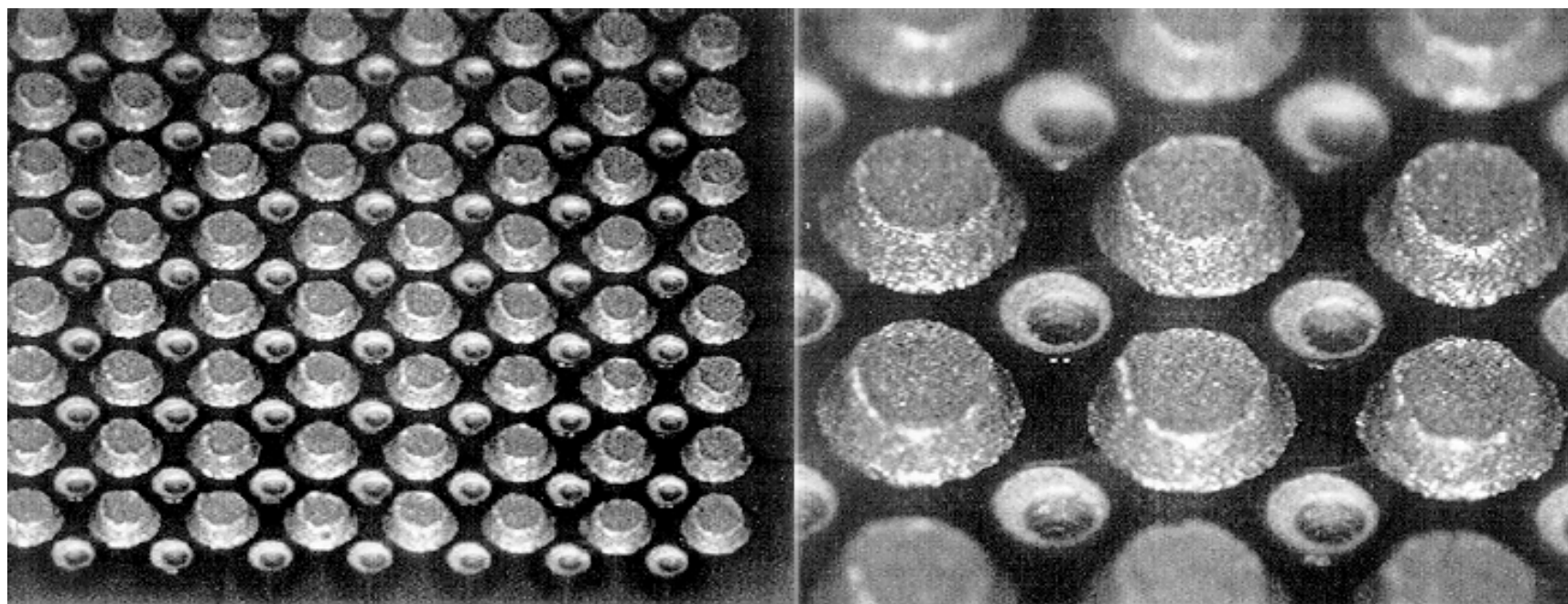
**Как обеспечить надежность всех точек пайки?**

## Качество печатной платы: наши рекомендации

1. Статистический отбор поставщиков
  2. Выбор не самых дешевых вариантов
- Использование **дешёвых** печатных плат приводит к существенному удорожанию стоимости работ и общему **росту затрат, а также – к снижению надёжности устройств.**
  - Лучшая стратегия – не экономить и покупать **наилучшие печатные платы** из тех, которые доступны вам по бюджету.

## Возможные проблемы монтажа

**Главная проблема – качество нанесения пасты.**

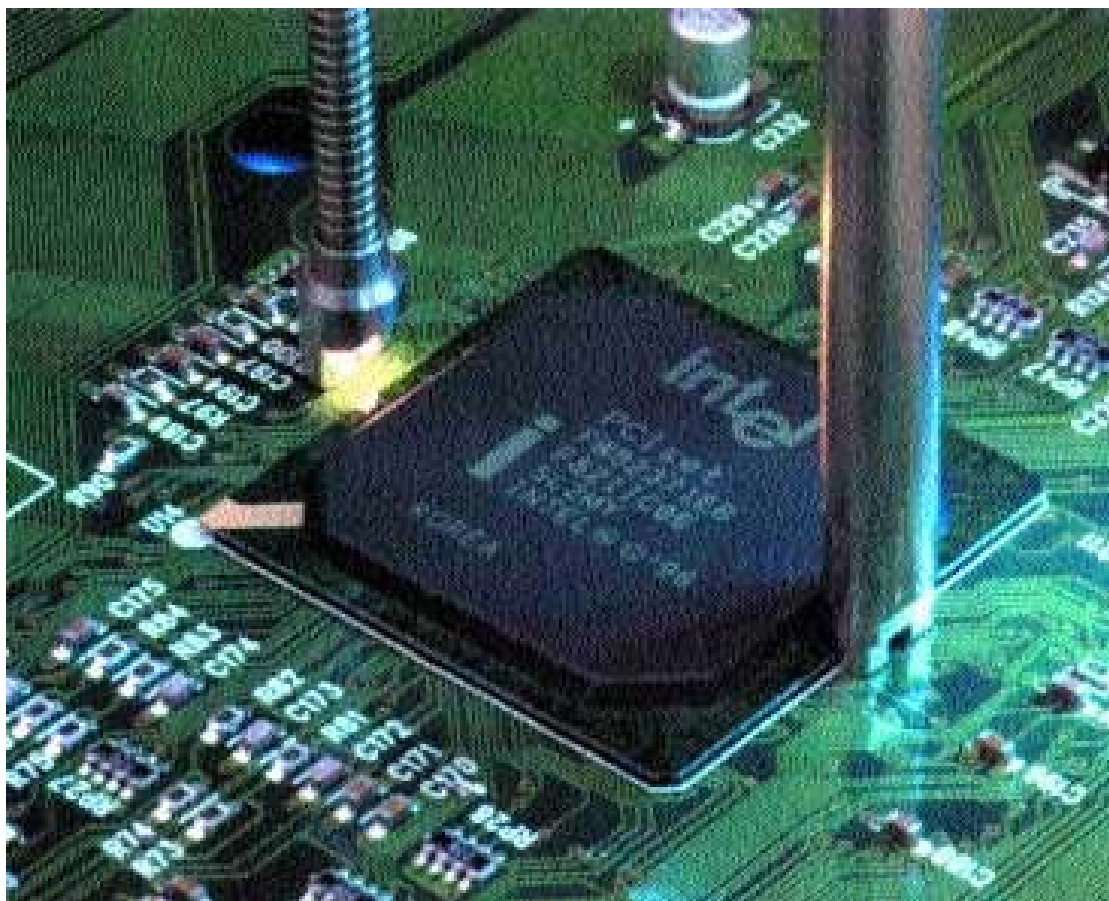


## Контроль качества пайки BGA

1. **Визуальный контроль:**
  - само-позиционирование корпуса BGA
  - вид внешних шариков с торца
2. **Рентген-контроль:**
  - самый удобный способ
  - замыкания, обрывы, пустоты
  - наиболее оптимальное использование – в случае отказа на функциональном тесте проверить, проблема в пайке или в компоненте.
3. **Микросечение пайки (разрушающий контроль)**
4. **JTAG-тестирование и ICT**
5. **Функциональный контроль**

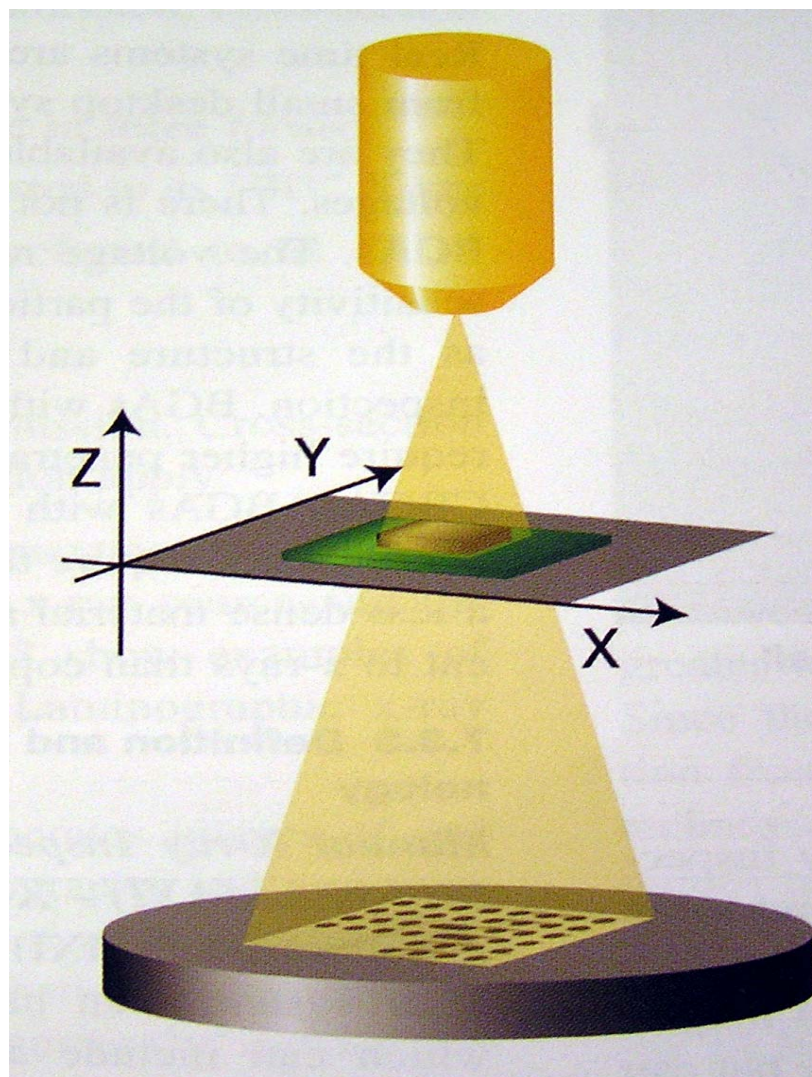
## Контроль качества пайки

### 1. Визуальный контроль (эндоскоп)



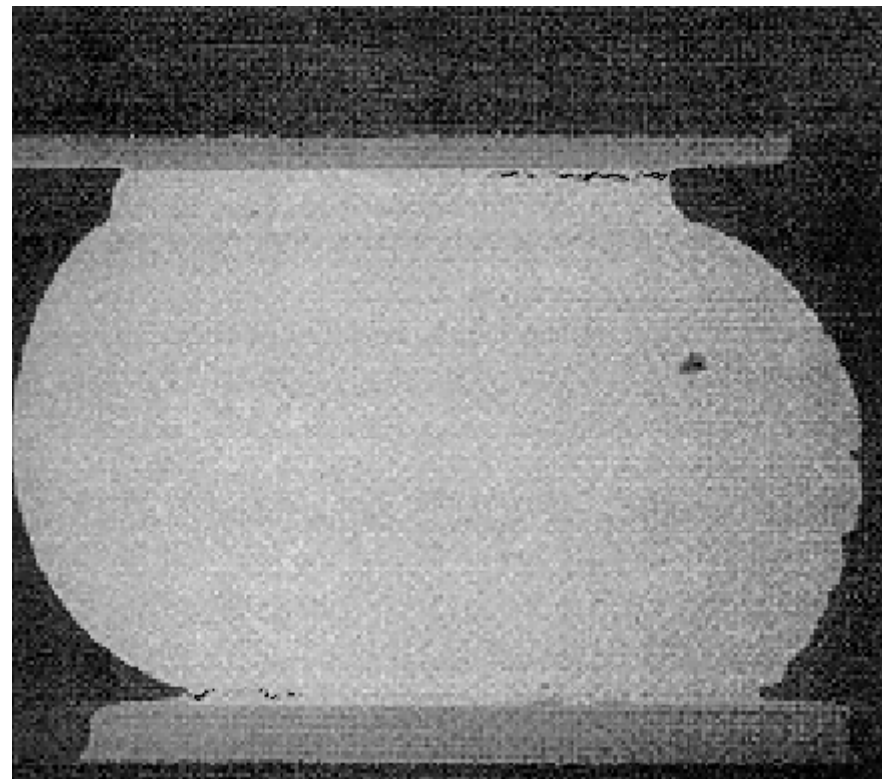
## Контроль качества пайки

### 2. Рентген-контроль



## Контроль качества пайки

### 3. Микросечение пайки



## Ремонт и замена BGA

1. Ремонт отдельной точки пайки невозможен.
2. Этапы ремонта и замены BGA:
  - Снятие дефектного корпуса BGA  
(могут быть задеты соседние компоненты)
  - Восстановление шариков на BGA
  - Очистка и подготовка посадочного места
  - Нанесение флюса или паяльной пасты  
(на плате должно быть место для трафарета)
  - Установка и позиционирование BGA
  - Пайка оплавлением, на ремонтной станции  
(близко от BGA не должно быть компонентов)

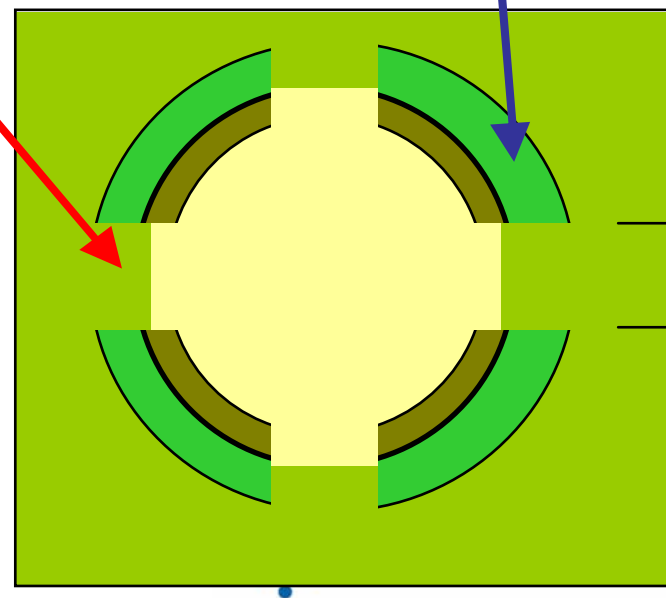
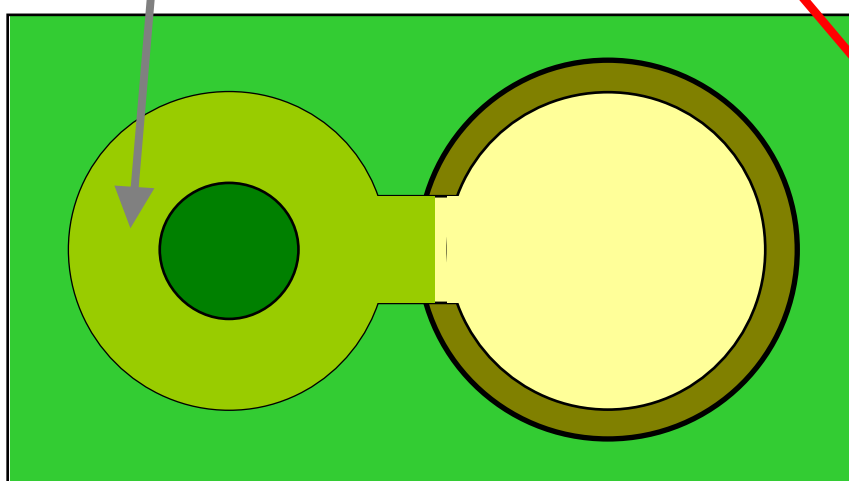
## Ключ к обеспечению надежности: корректный дизайн печатной платы

1. Используйте рекомендации **производителя микросхемы BGA.**
2. Используйте указания **технологов монтажного производства.**
3. Учитывайте и используйте технологические возможности **поставщиков печатных плат.**
4. **Не усложняйте** печатную плату без крайней необходимости.
5. Доверяйте проектирование платы с BGA только **опытным конструкторам** или передавайте в **дизайн-центр печатных плат.**

**2. Что учесть разработчику,  
чтобы при **изготовлении платы**  
не возникло проблем  
?**

## Площадка под шарик BGA

1. Переходные отверстия надо закрывать маской (чтобы не утекал припой шарика BGA и пасты).
2. Площадки BGA рекомендуется изолировать **«термально»** от полигонов и планов питания.
3. Металл около площадки BGA должен быть укрыт маской **с запасом**.

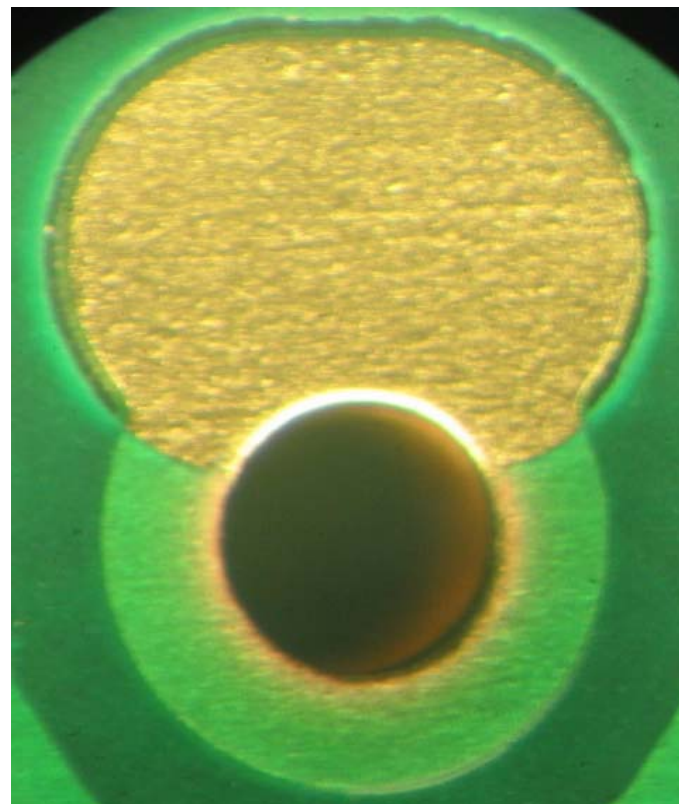
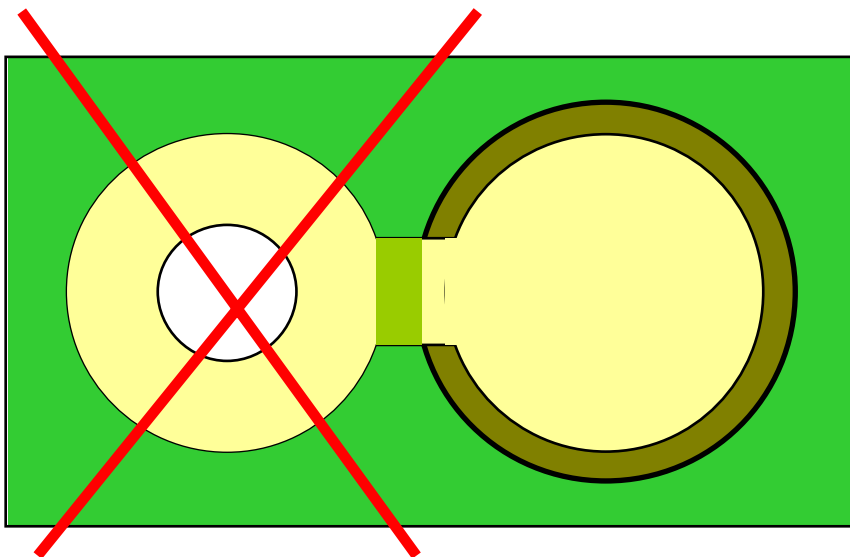


**W < 75%**  
от  $\varnothing$   
площадки

**W**

## Пример некорректного полигона

**Не закрыто  
или не полностью закрыто  
маской  
близлежащее  
отверстие**



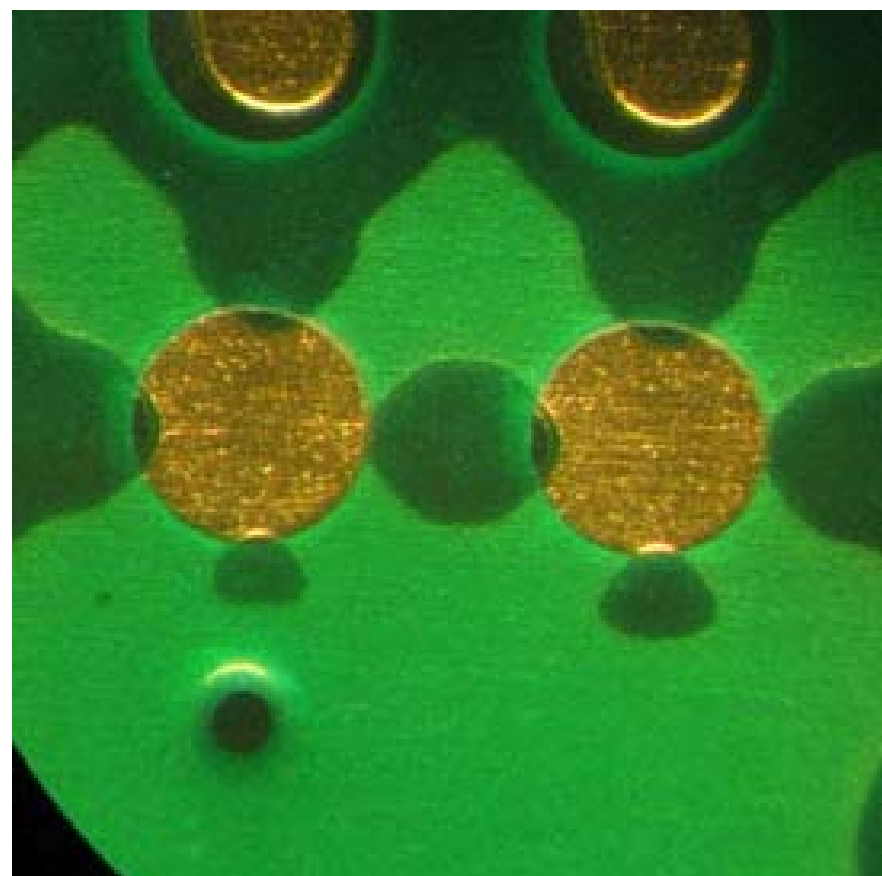
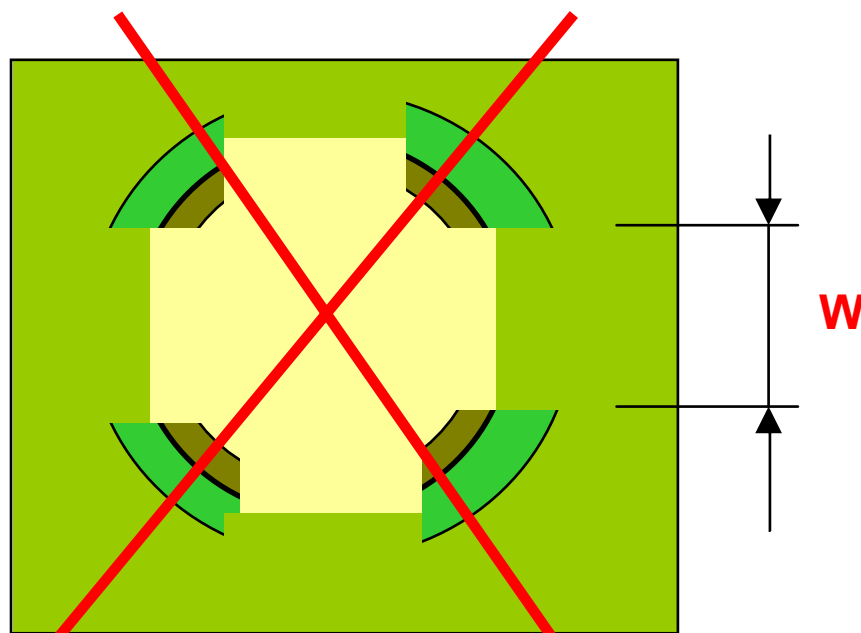
## Пример некорректного полигона

Не выполнено

условие

$W < 75\%$

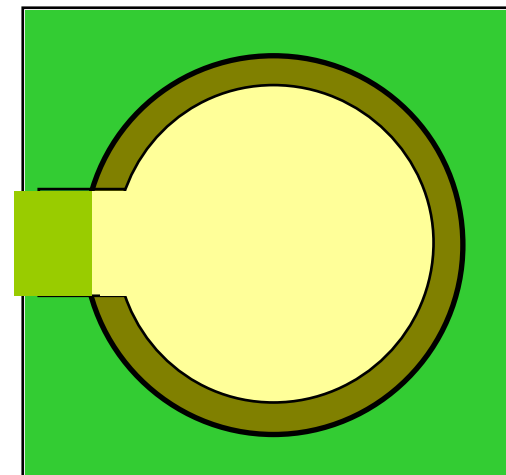
от  $\emptyset$  площадки



## Варианты вскрытия в маске

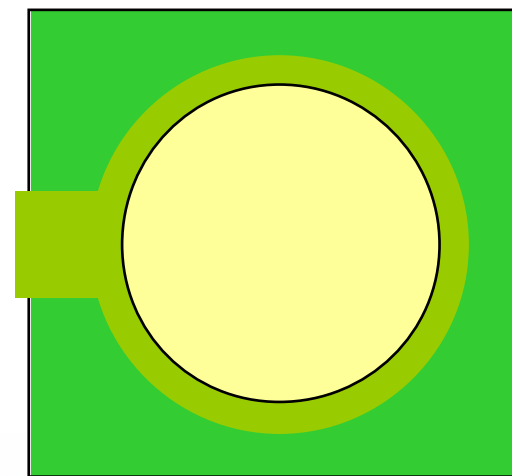
**1. «Открытая площадка» (отступ):**  
Вскрытие в маске больше на 0.15 мм,  
чем диаметр площадки

- + Больше площадь контакта
- + Точность центровки по реперам
- + Более часто применяется

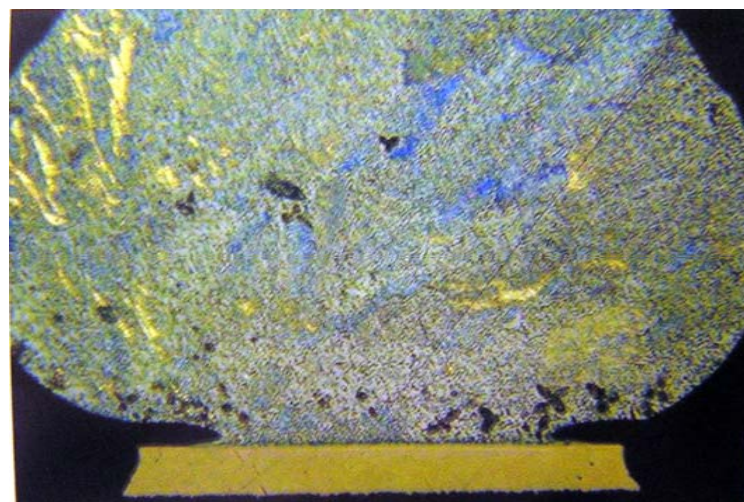
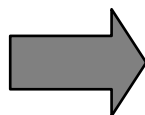
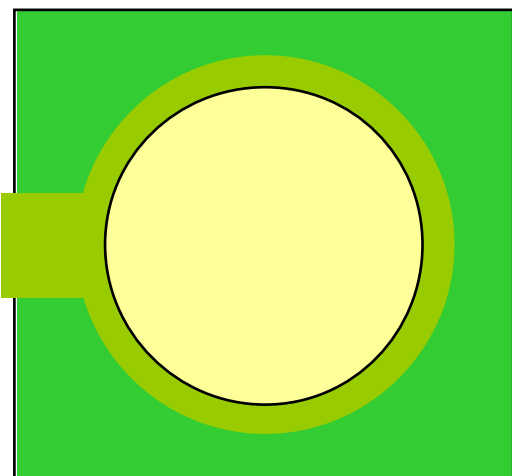
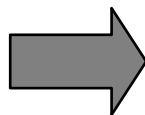
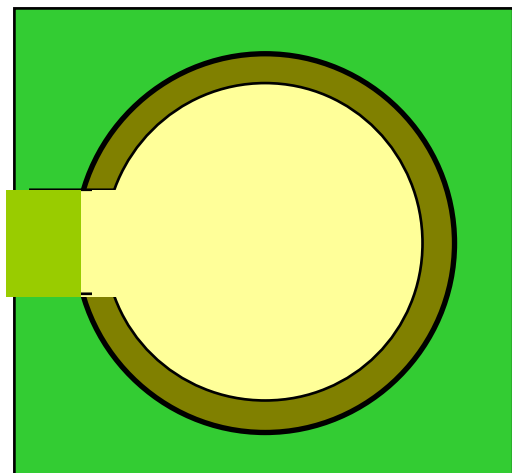


**2. «Маска на площадке» (наползание):**  
Вскрытие в маске меньше на 0.2 мм,  
чем диаметр площадки

- + Точнее размер площадки
- + Лучше адгезия площадки
- + Применение зависит  
от рекомендаций производителя



## Варианты вскрытия в маске



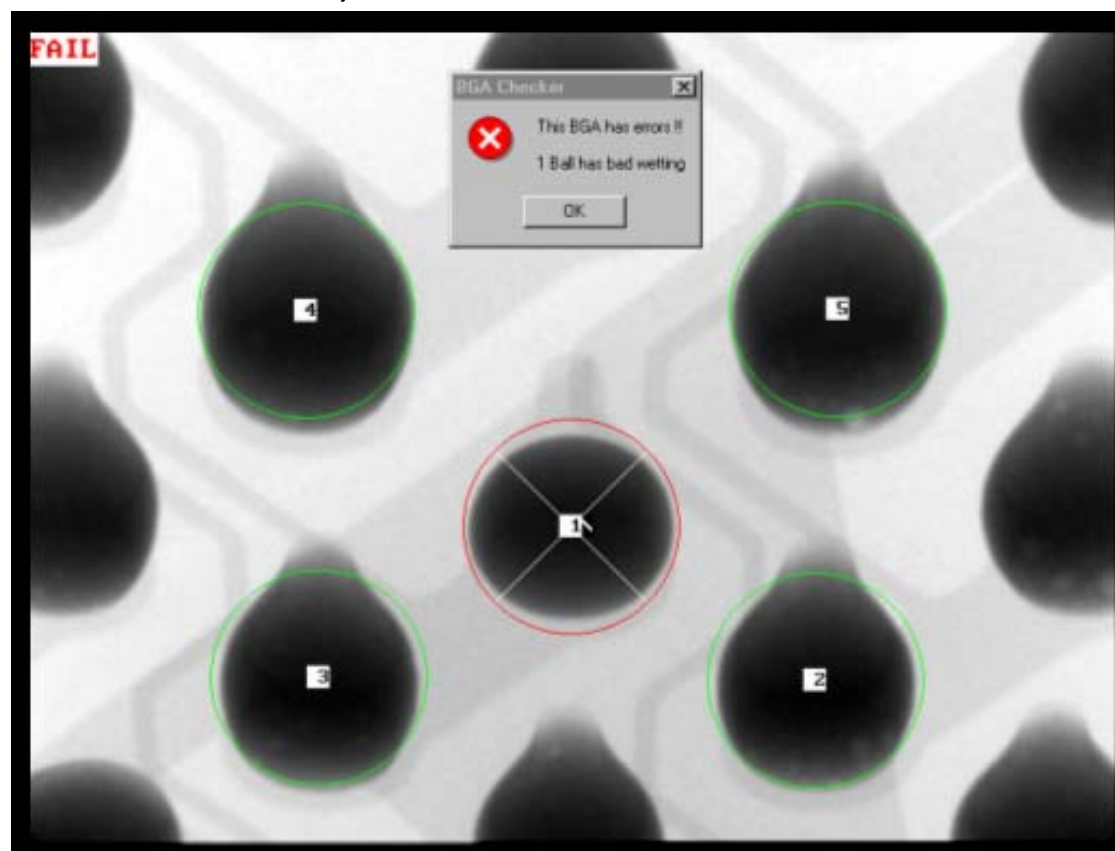
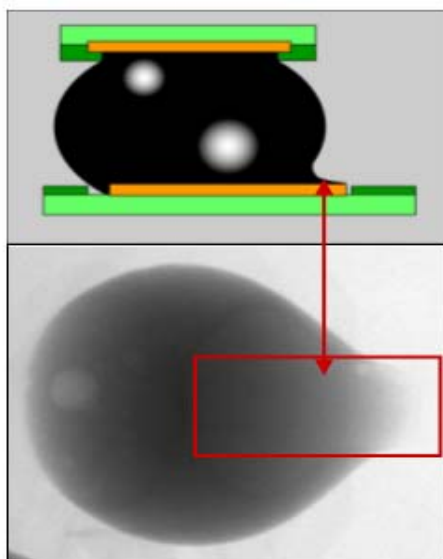
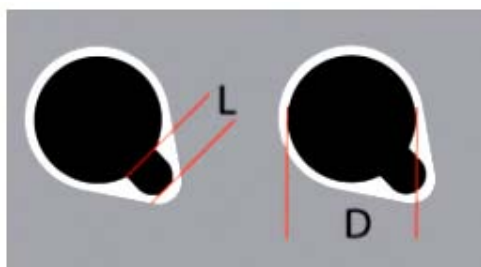
## Маска - наши рекомендации

- **Используйте такой же метод вскрытия маски и такой же размер площадки, как на микросхеме, если производитель не указал иное в документации.**

## Оптимизация под рентген-контроль

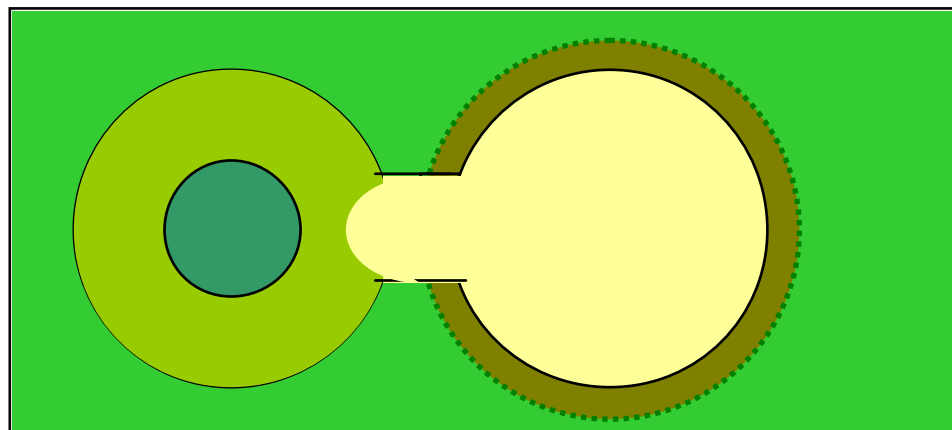
«Оптимизированная» площадка для автоматизации контроля – выступ на  $\frac{1}{2}$  диаметра площадки в любом направлении.

Автоматически обнаруживаются пайки ненадлежащего качества (рекомендуется для серийных заказов):

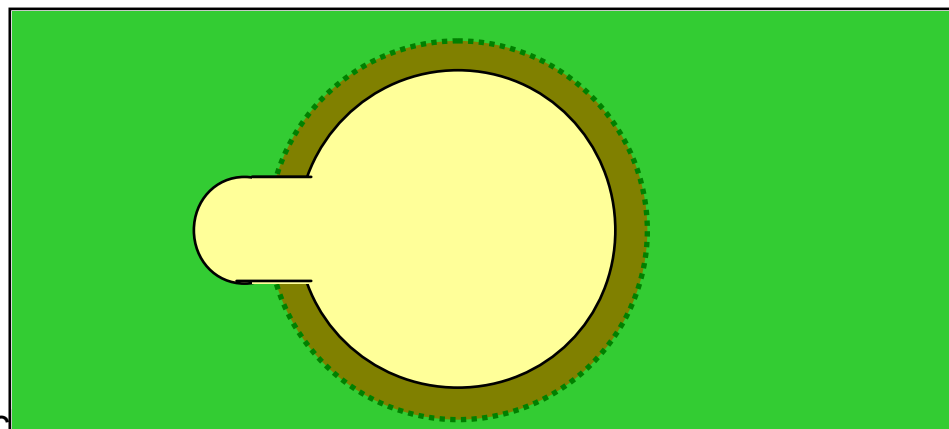


## Оптимизация под рентген-контроль

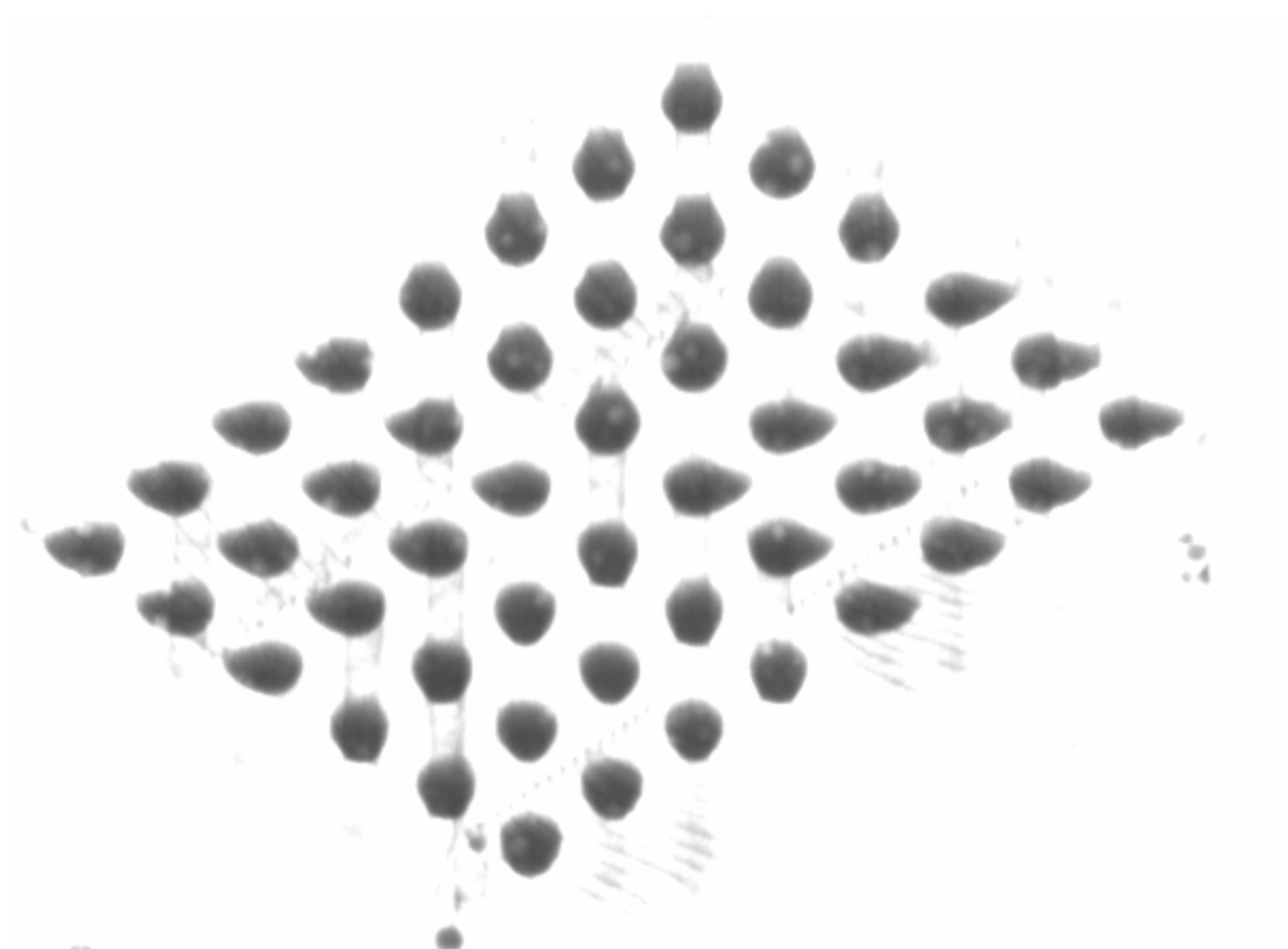
Вариант А. Дополнительное вскрытие прилегающего проводника из-под маски.



Вариант Б. На площадке без проводника – небольшой отросток, вскрытый из-под маски.



## Оптимизация под рентген-контроль. Пример рентгеновского снимка



## Общие правила разводки BGA

1. Закрывайте переходы под корпусом BGA тентированием (указывайте опцию BGA «via plugging» в бланке заказа)

2. Оптимизируйте площадки BGA под монтаж и под рентген-проверку

3. Не подсоединяйте площадки BGA к полигону напрямую. Используйте термальные зазоры, иначе пайка будет ненадежной

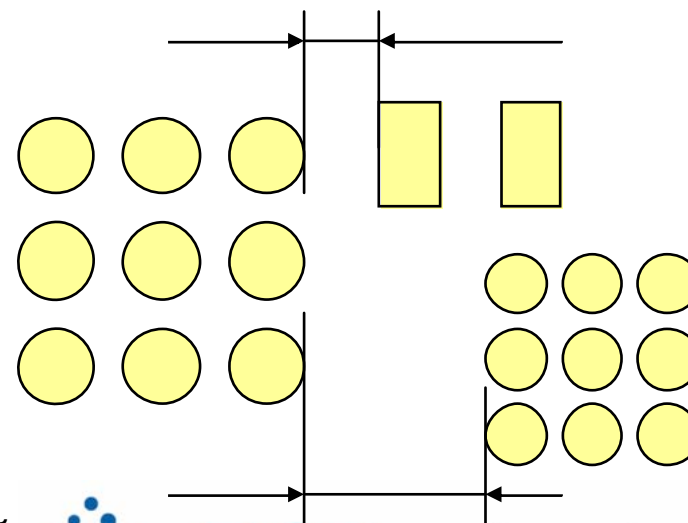
4. Размещайте компоненты SMT и BGA свободнее:

- не очень близко к краю ПП
- не очень близко друг к другу
- не очень близко к другим BGA

(по конкретным рекомендациям монтажного производства)

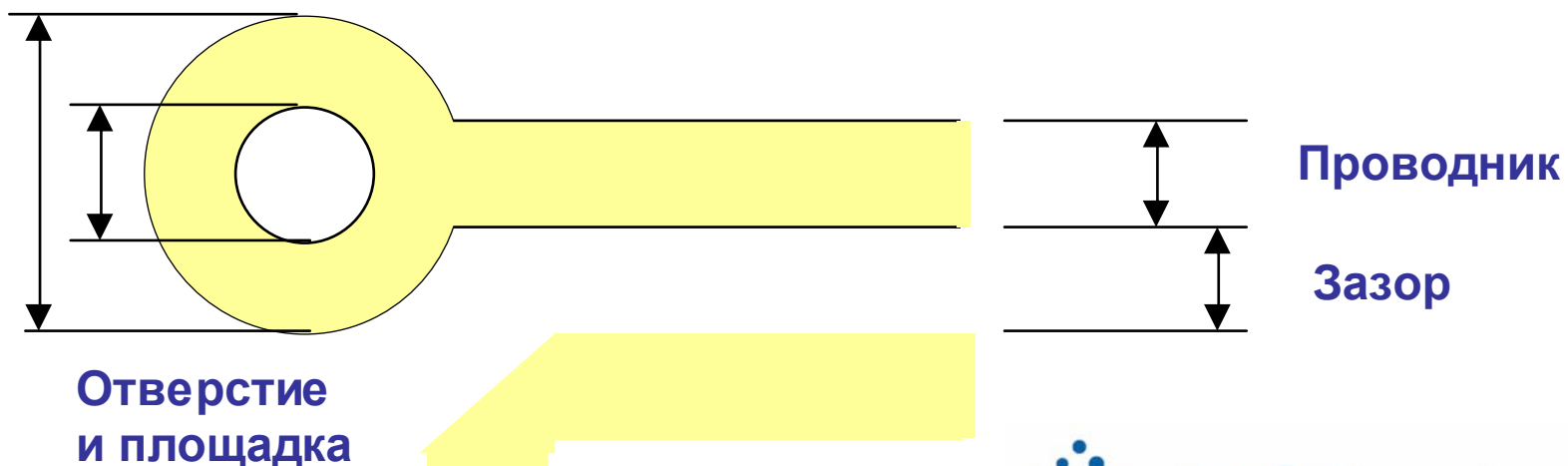
5. Используйте проводники, зазоры и отверстия минимального размера только в наиболее узких местах,

**ослабляя нормы проектирования** в остальной части платы.



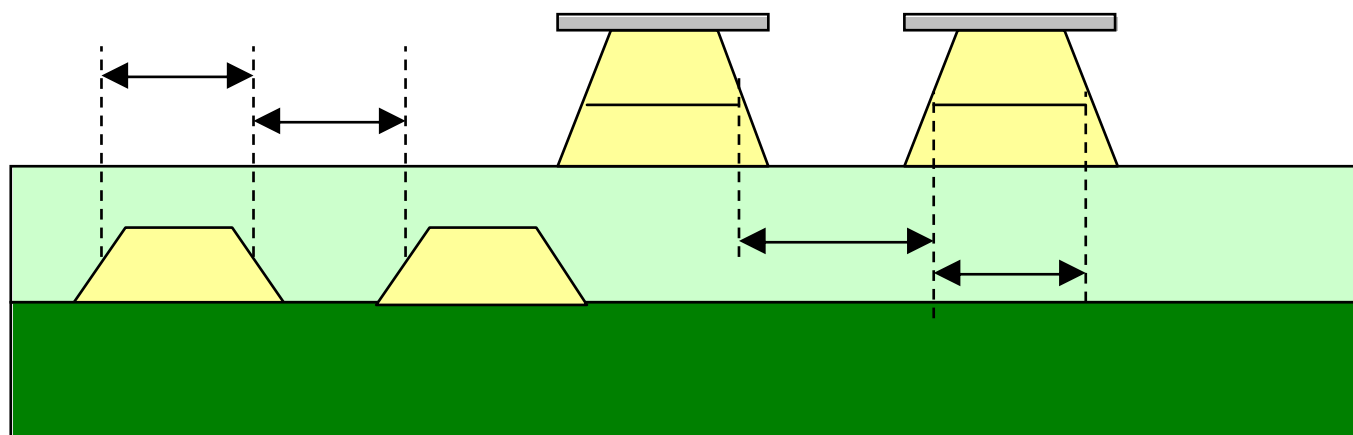
## Нормы проектирования ПП

| Класс точности<br>ПП (ГОСТ 23752) | Проводник,<br>мм | Зазор,<br>мм | Перех. отверстие /<br>площадка, мм |
|-----------------------------------|------------------|--------------|------------------------------------|
| 3-й                               | 0.25             | 0.25         | 0.5 / 1.0                          |
| 4-й                               | 0.15             | 0.15         | 0.3 / 0.6                          |
| 5-й                               | 0.1              | 0.1          | 0.2 / 0.45                         |
| <i>Выше 5-го</i>                  | <i>0.75</i>      | <i>0.75</i>  | <i>0.15 / 0.35</i>                 |



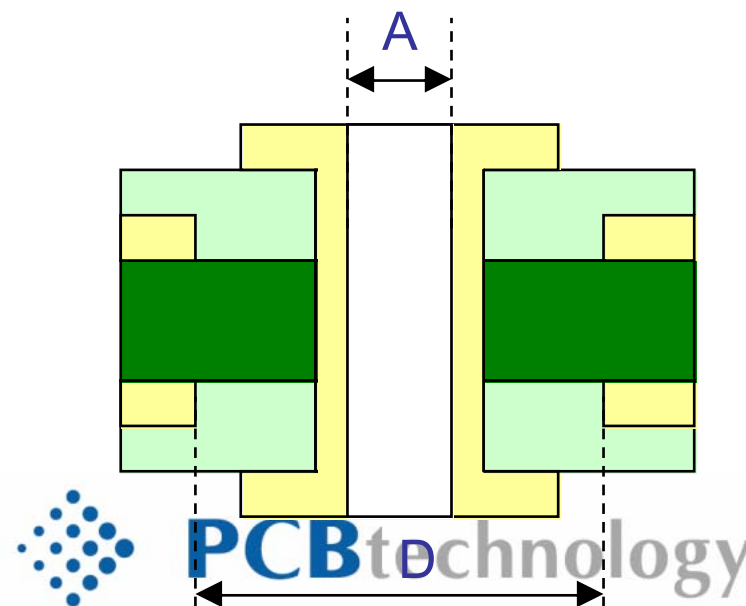
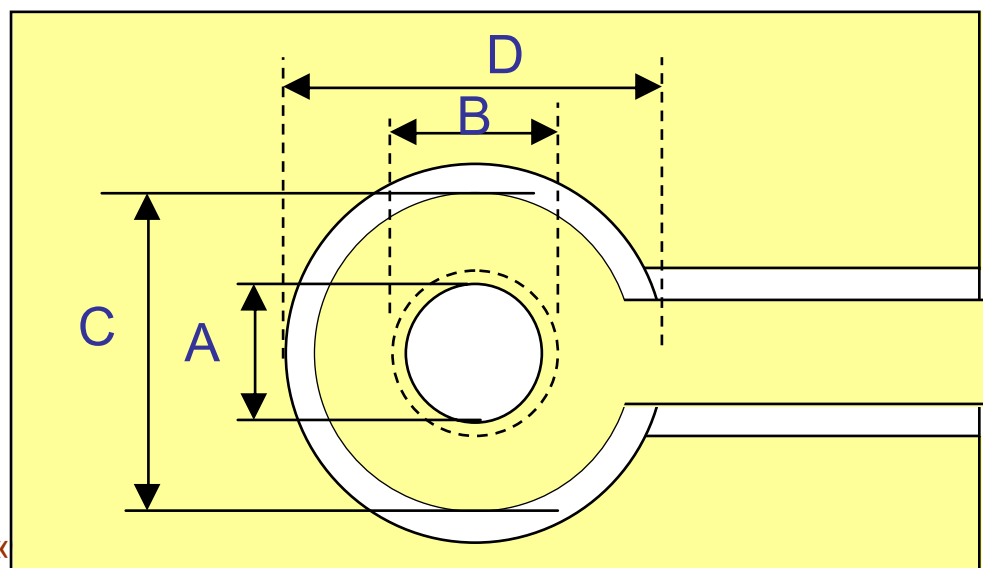
## Минимальный проводник и зазор

| Конечная<br>толщина меди | Подтрав с<br>2 сторон | Проводник<br>и зазор, мм | Возможные<br>отклонения, мкм |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|
| 17.5 мкм                 | -9 мкм                | 0.075                    | ±12.5                        |
| 35 мкм                   | -17.5 мкм             | 0.1                      | ±20                          |
| 45 мкм                   | -22.5 мкм             | 0.125                    | ±25                          |
| 55 мкм                   | -27.5 мкм             | 0.125...0.15             | ±30                          |
| 70 мкм                   | -35 мкм               | 0.2                      | ±40                          |

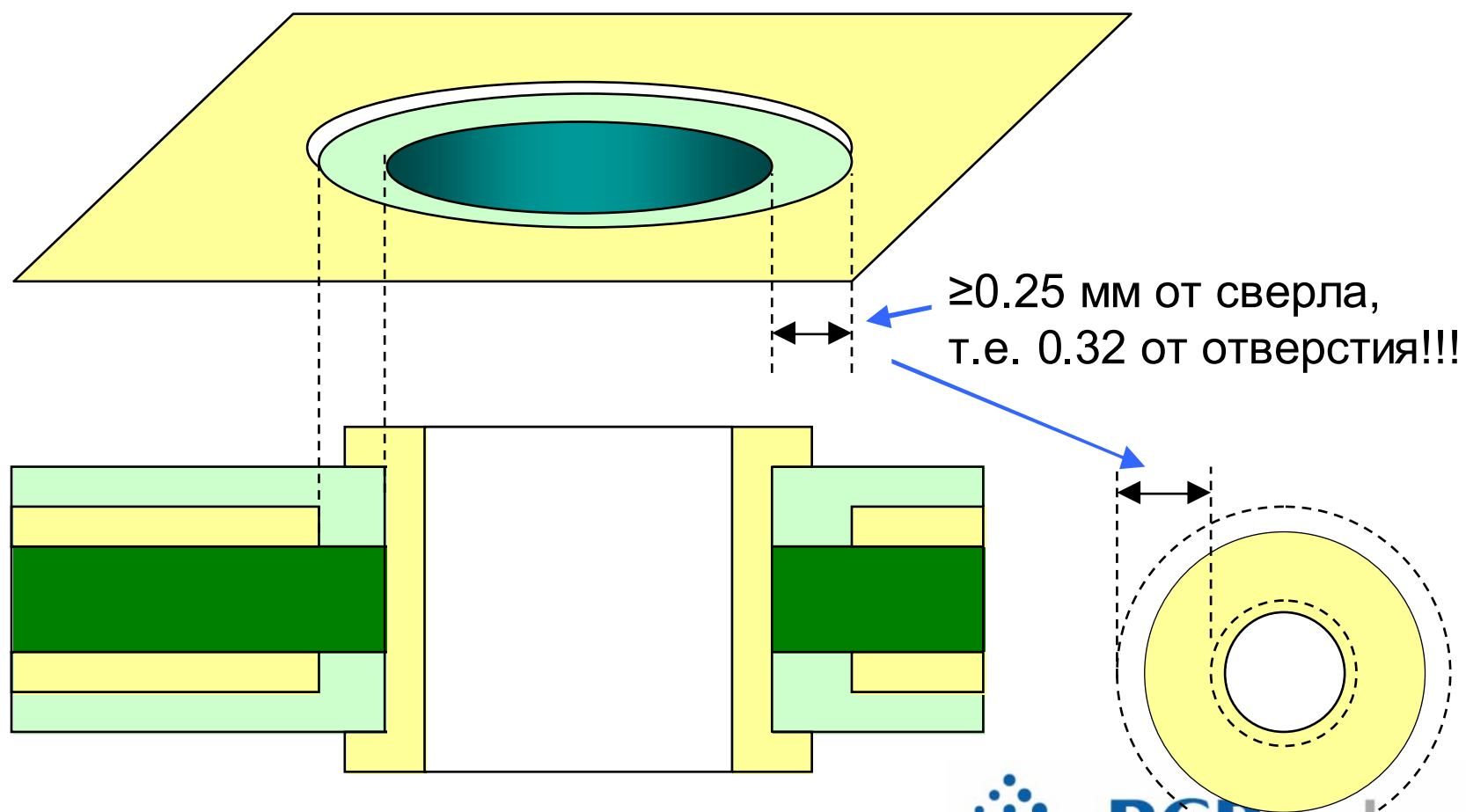


## Диаметр отверстия, сверла и площадки

| А. Диаметр<br>отверстия, мм | В. Диаметр<br>сверла, мм           | С. Диаметр<br>площадки, мм | Д. Диаметр выреза<br>в полигоне, мм |
|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| <b>A</b>                    | <b><math>A + 0.1...0.15</math></b> | <b><math>A+0.35</math></b> | <b><math>A+0.65</math></b>          |
| 0.3                         | 0.45                               | 0.65                       | 0.95                                |
| 0.2                         | 0.35                               | 0.55                       | 0.85                                |
| 0.15                        | 0.25                               | 0.45                       | 0.8                                 |



## Вырез в полигоне – особое внимание!

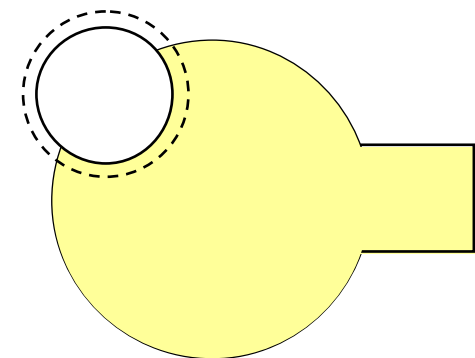
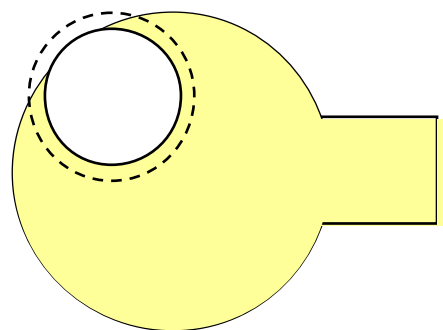
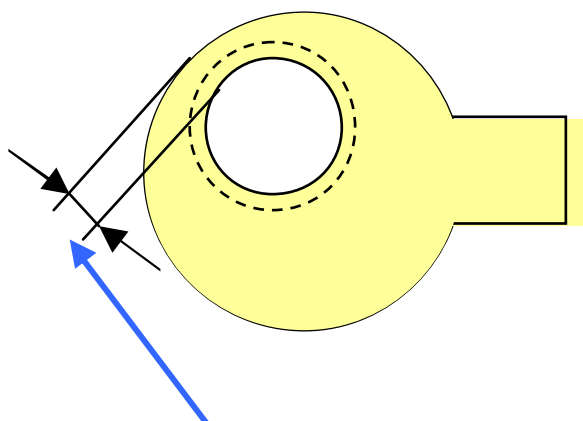


## Гарантийный поясок — особое внимание!

IPC class 3:  $\geq 25$  мкм

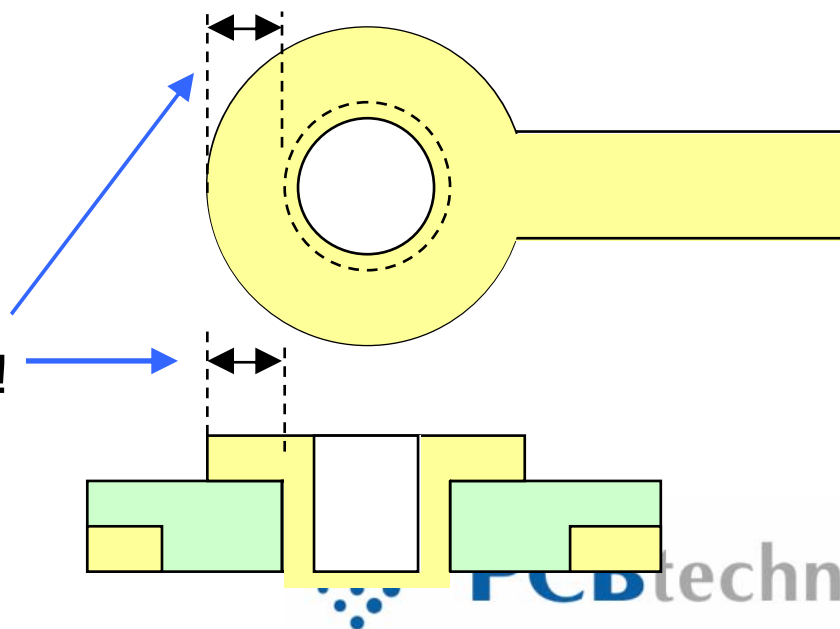
IPC class 2: допустимо

Недопустимо



На готовой плате:  
поясок  $\geq 25$  мкм от отверстия

В дизайне РСВ:  
площадка  $\geq 100$  мкм от сверла!!!

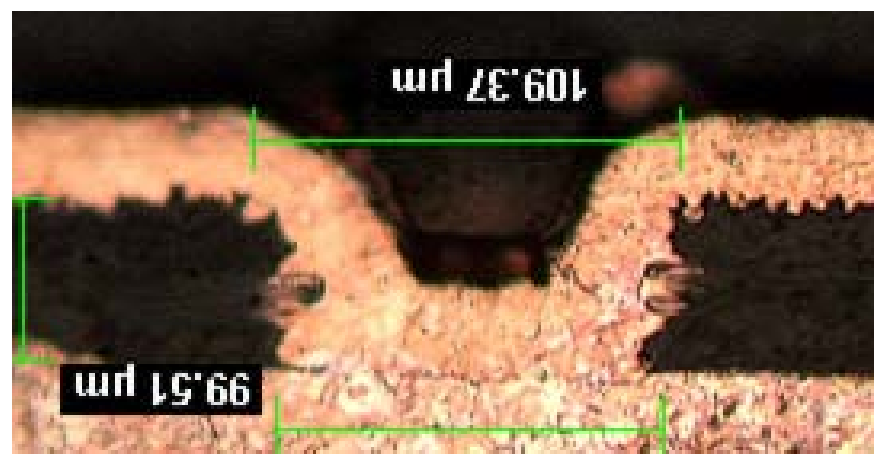
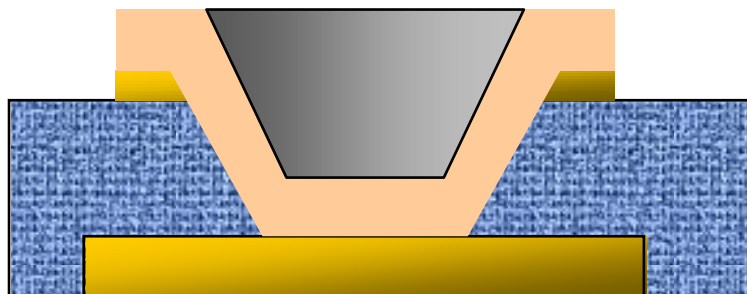


## Нормы проектирования МПП, в зависимости от шага выводов BGA

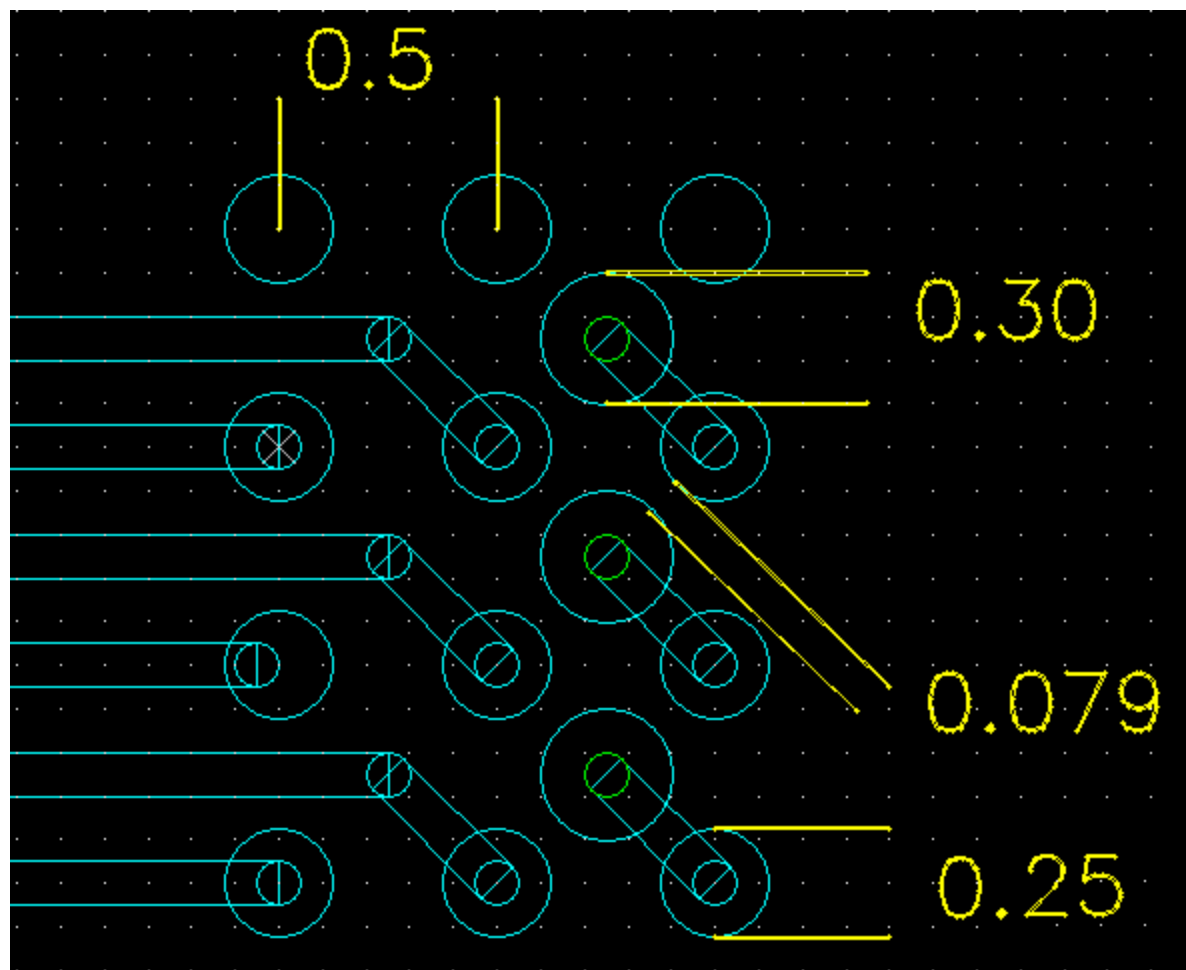
| Шаг BGA        | Класс<br>точности ПП | Проводник,<br>мм  | Зазор,<br>мм      | Глухие<br>отверстия |
|----------------|----------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| <b>1.25 мм</b> | 4-й                  | 0.15...0.12       | 0.15...0.12       | Нет                 |
| <b>1 мм</b>    | 5-й                  | 0.1               | 0.1               | Нет                 |
| <b>0.8 мм</b>  | <i>5-й и выше</i>    | <i>0.1...0.75</i> | <i>0.1...0.75</i> | <i>Иногда</i>       |
| <b>0.5 мм</b>  | <i>Выше 5-го</i>     | <i>0.75</i>       | <i>0.75</i>       | <i>Обязательно</i>  |

## Параметры глухих отверстий (лазерные микроотверстия)

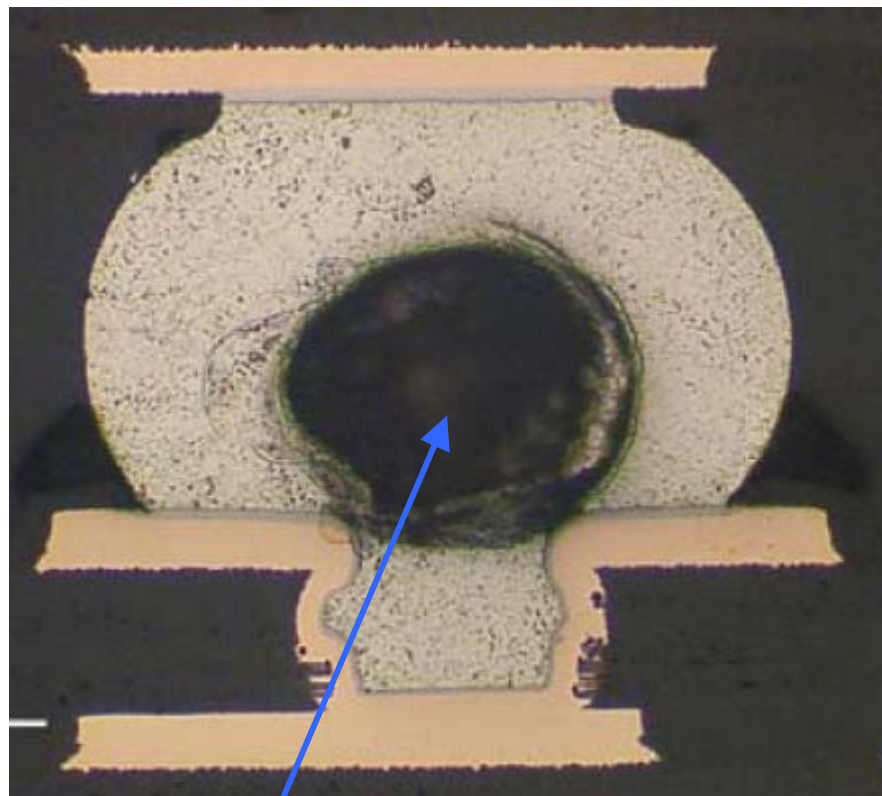
| Уровень сложности | Отверстие, $\mu\text{m}$ | Площадка, $\mu\text{m}$ |
|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| Стандарт          | 120                      | 350                     |
| Экстра            | 100                      | 300                     |
| Специальный       | 90                       | 250                     |



## Варианты трассировки BGA 0.5 мм



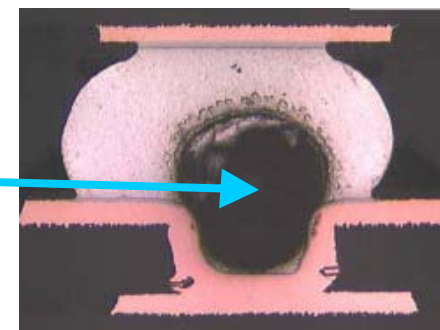
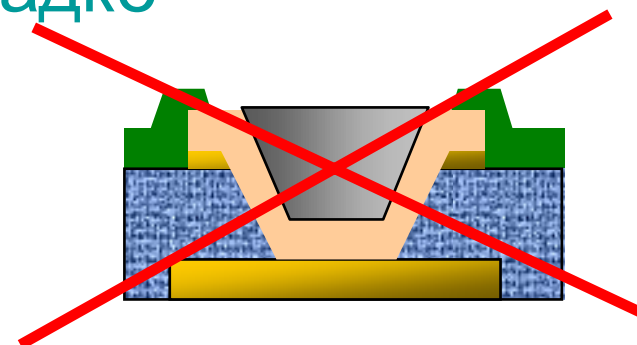
## Переходы в площадке.



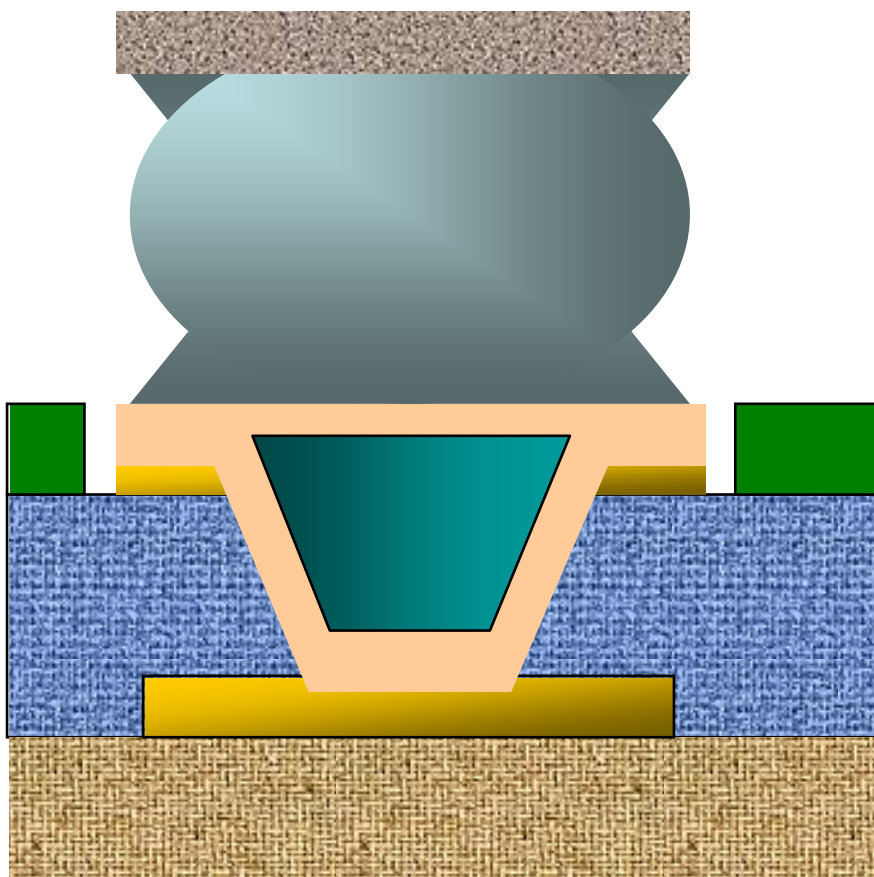
**Возможно образование  
пустот и ненадежное  
соединение**

## Микропереход в площадке

**При использовании  
«микропереходов в площадке»  
не применяйте вариант  
«маска на площадке» -  
это снижает надежность пайки  
из-за образования пустот.**



## Металлизация поверхности $\mu$ Via

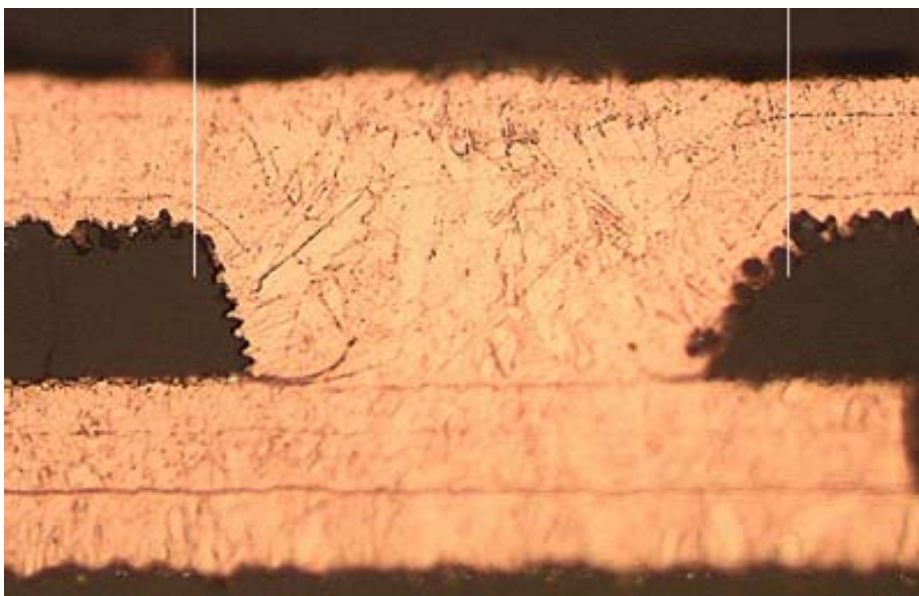


**Плоская площадка:**  
Микроотверстие заполняется смолой и металлизуется для обеспечения плоской поверхности под шарик BGA.

**Стоимость:**  
Надбавка до 30%

## Заполнение $\mu$ Via медью

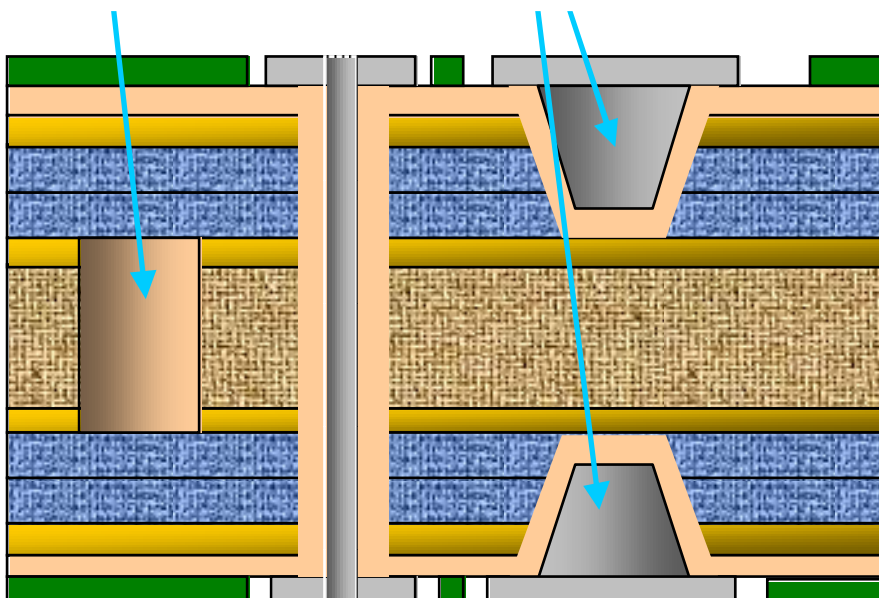
**$\mu$ Via с заполнением медью  
(можно ставить  
в центре  
площадки BGA)**



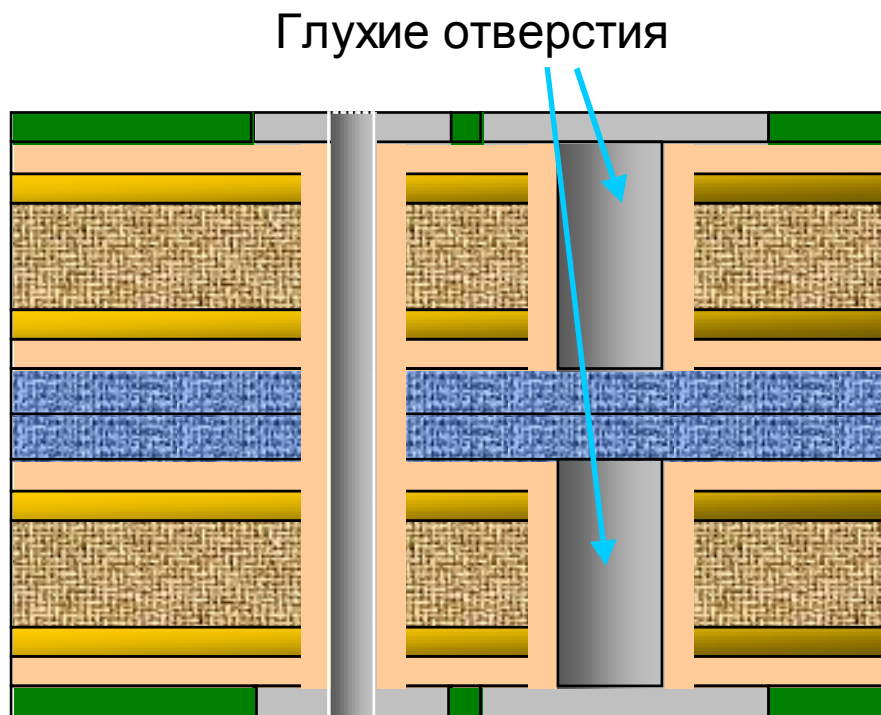
## Типовая конструкция 4-слойной ПП с микроотверстиями

Скрытое  
отверстие

Глухие  
отверстия

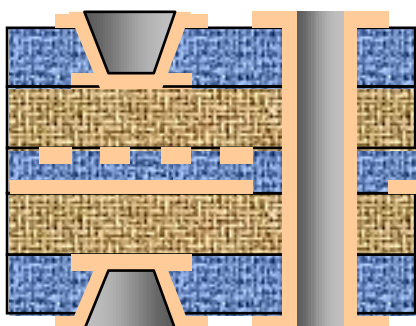
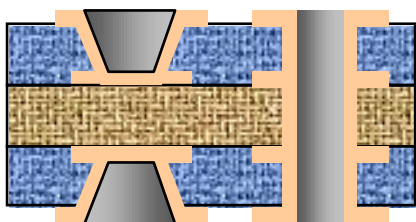


## Типовая конструкция 4-слойной ПП с глухими отверстиями



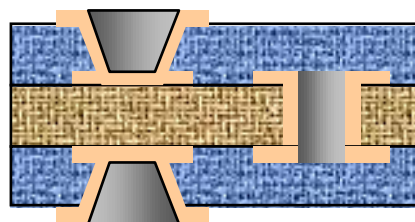
# Типовые конструкции МПП с микроотверстиями

Только глухие отв.

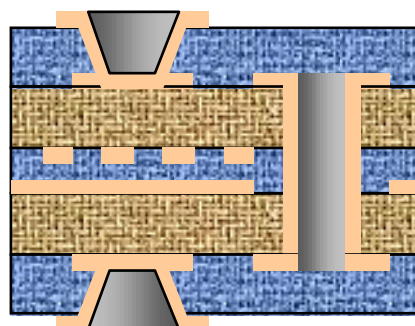


**Стоимость**  
+30...50%

Глухие и скрытые

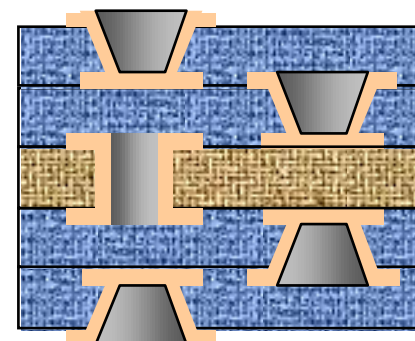


1-2-1

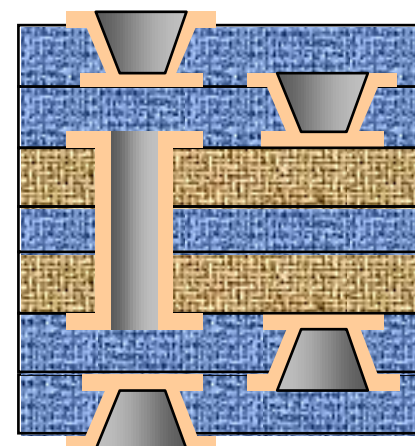


1-N-1

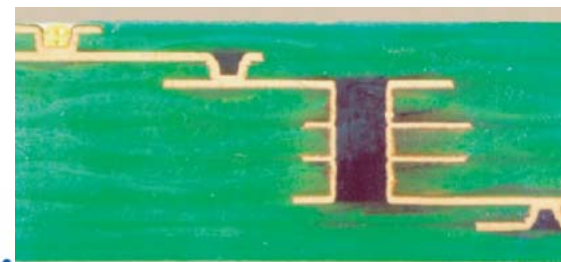
**Стоимость**  
+100%



2-2-2

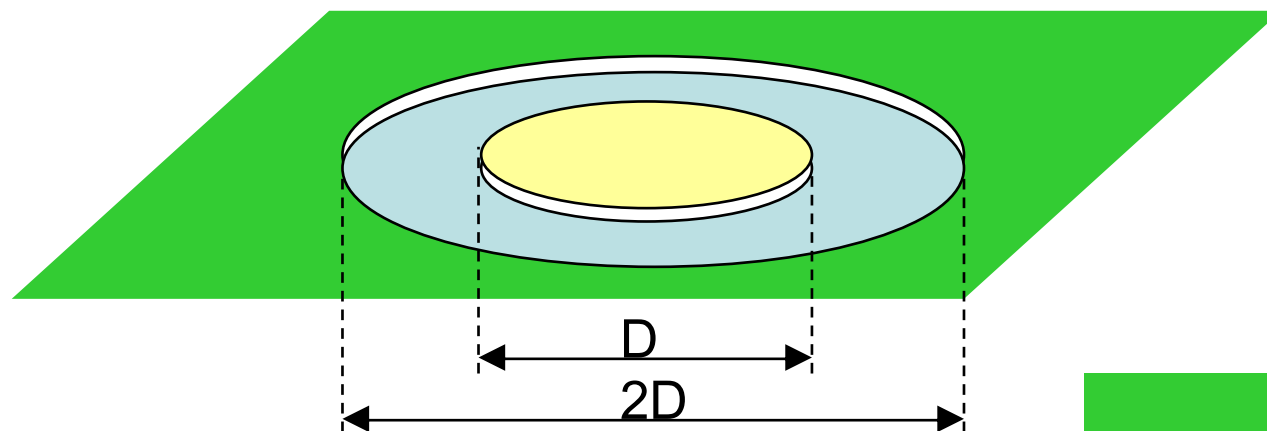


2-N-2, N от 4 до 12

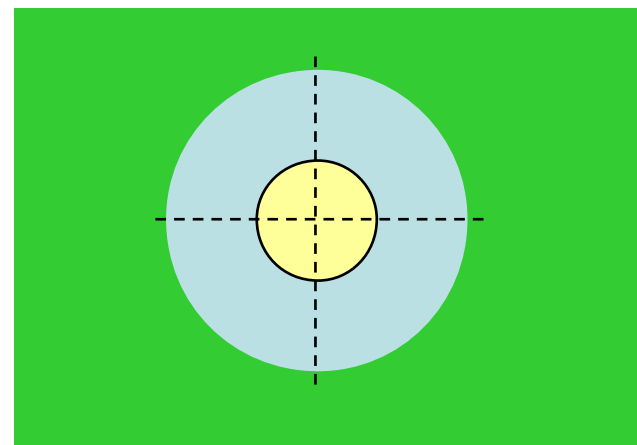


**3. Что учесть  
для того,  
чтобы **монтаж**  
не превратился в головную боль  
?**

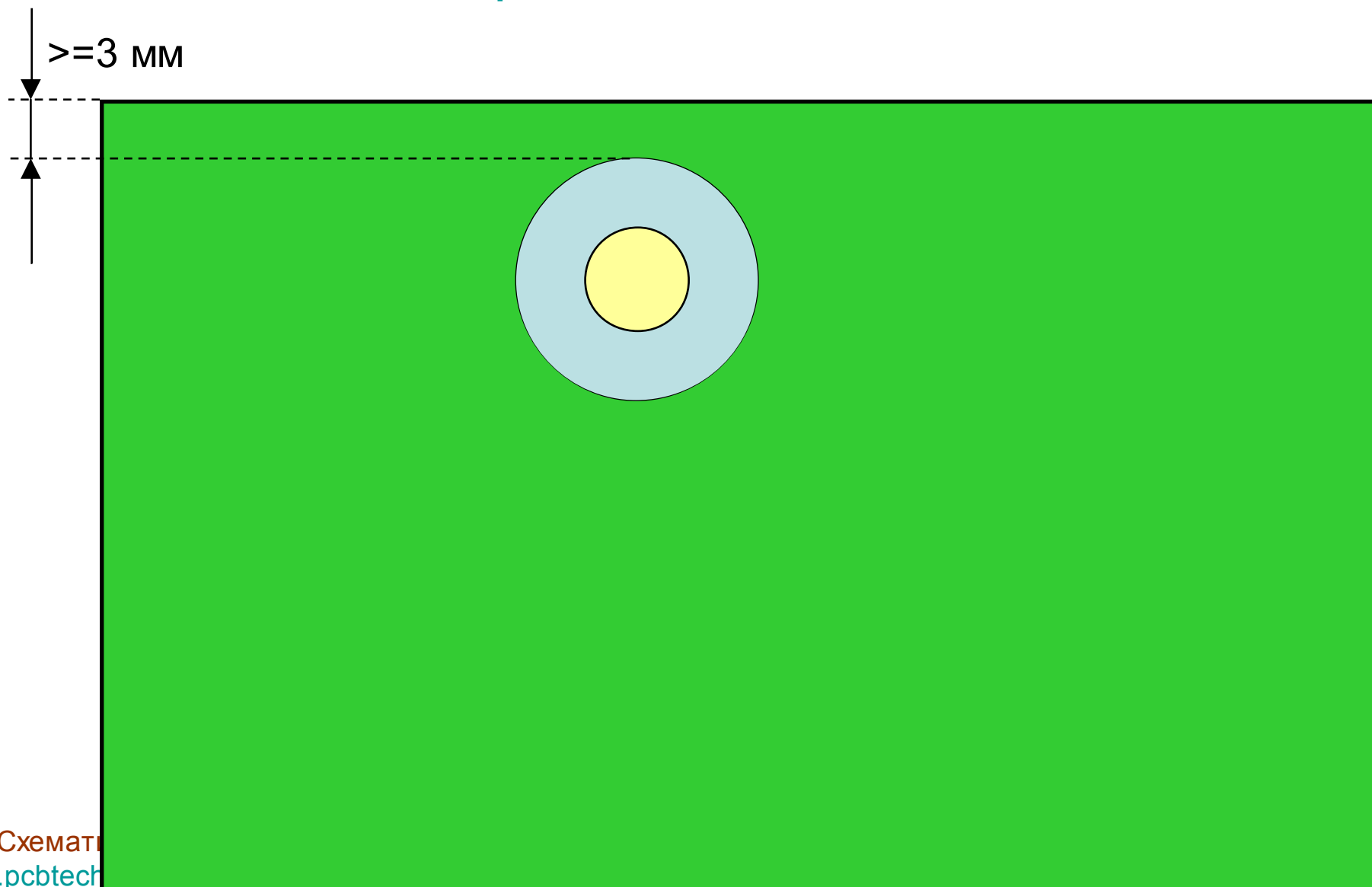
## Реперные знаки



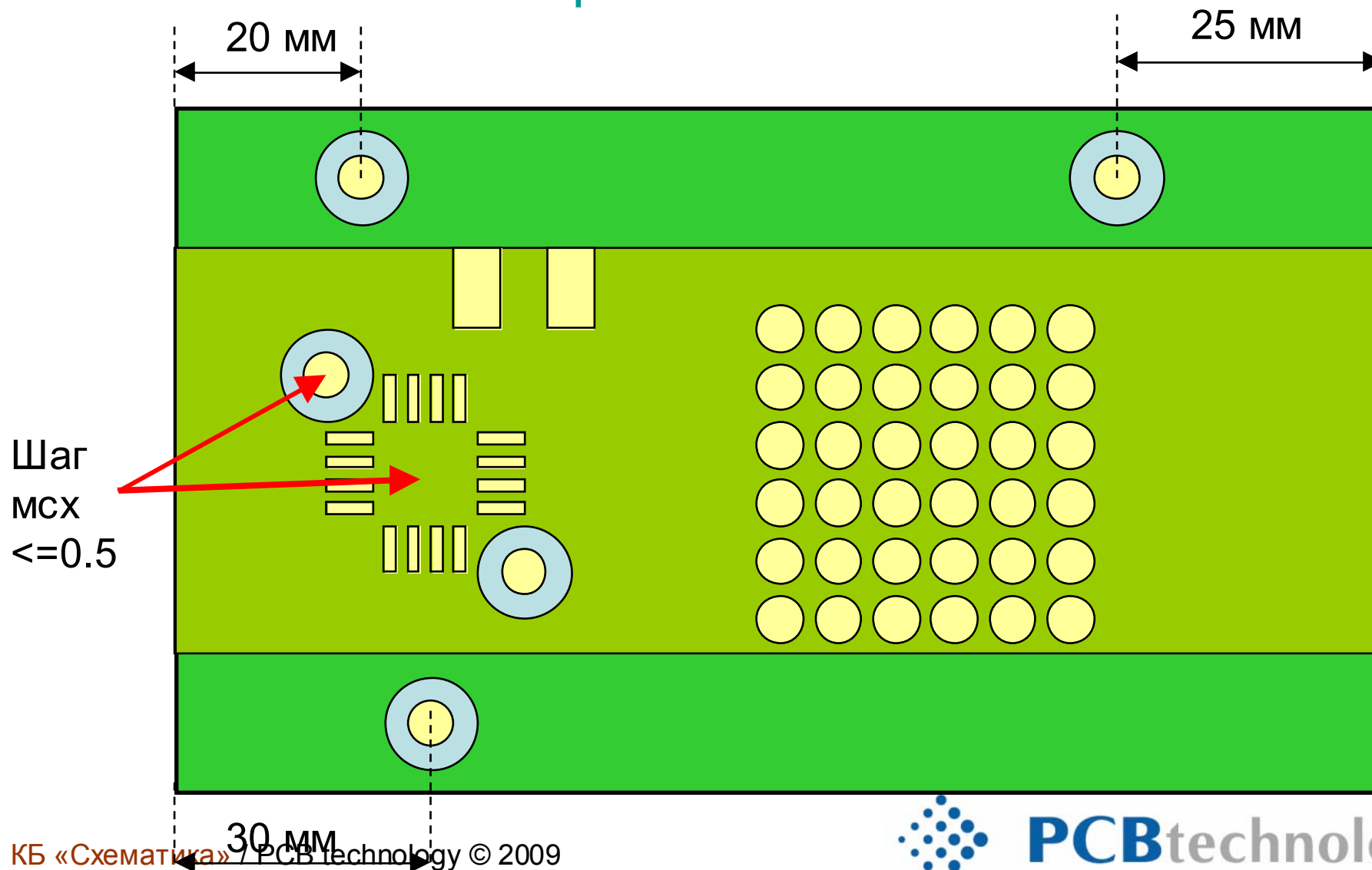
Оптимальный диаметр точки = 1 мм,  
вырез в маске – 2 мм или 3 мм.



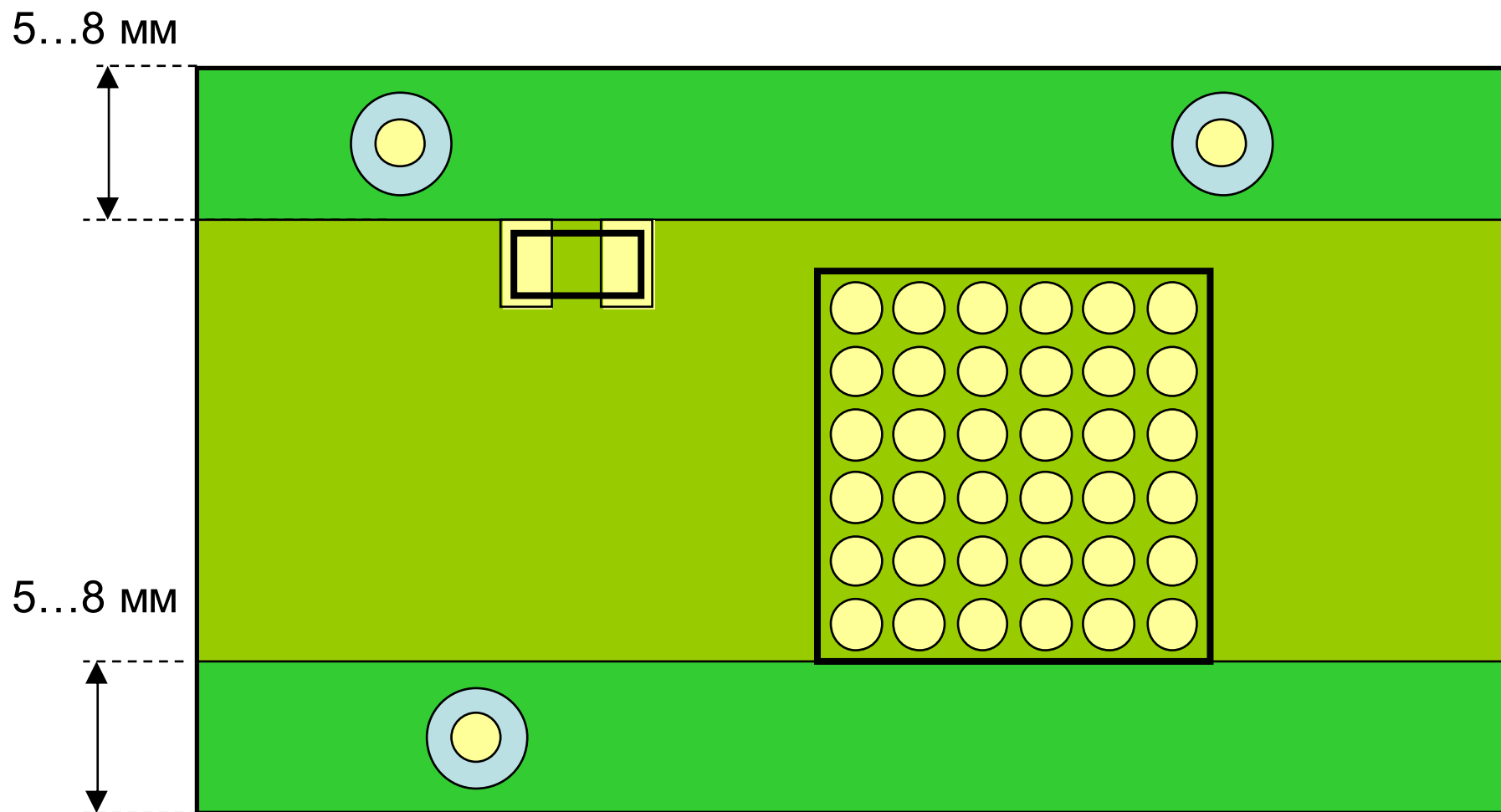
## Реперные знаки



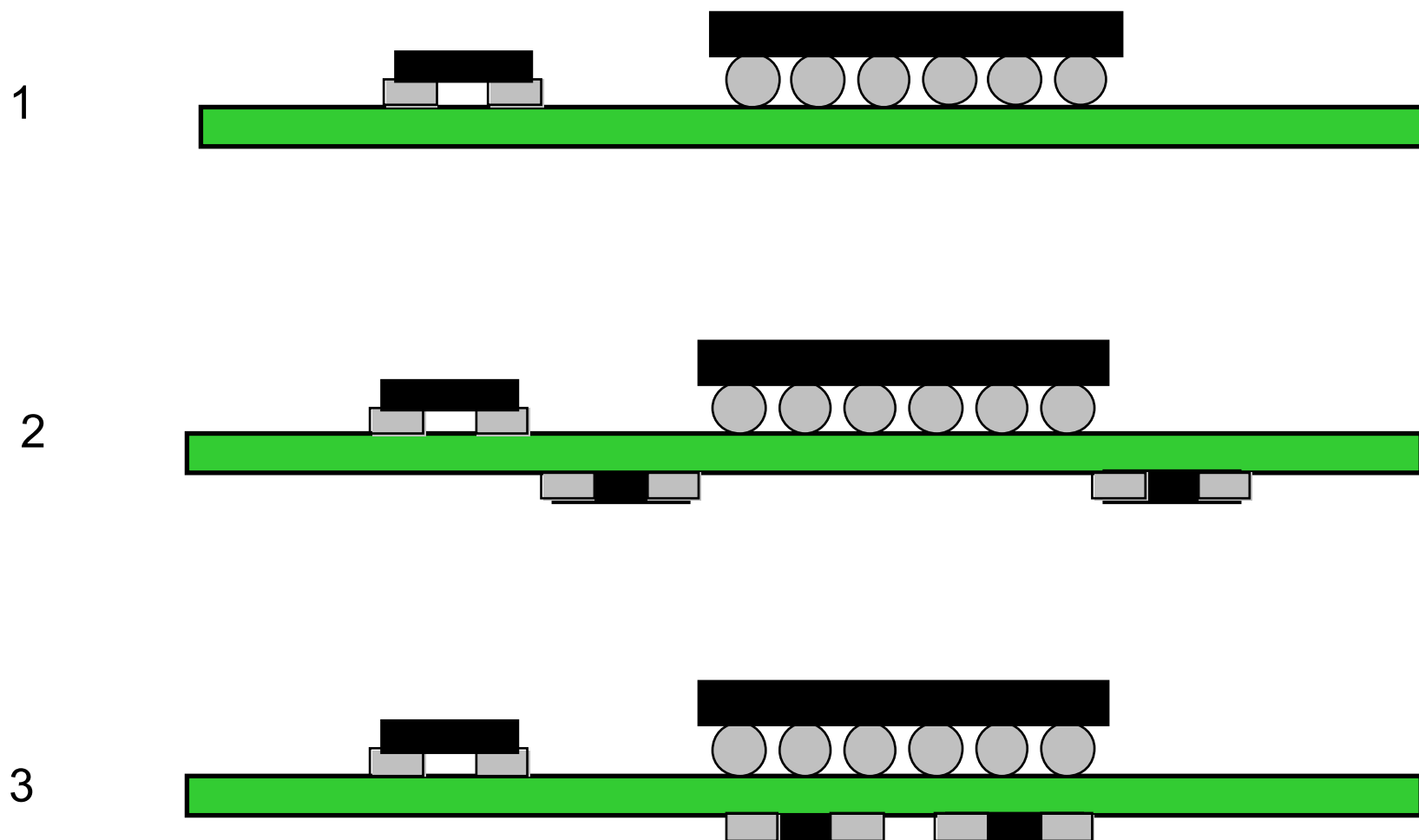
## Реперы глобальные и локальные



## Поля для монтажа

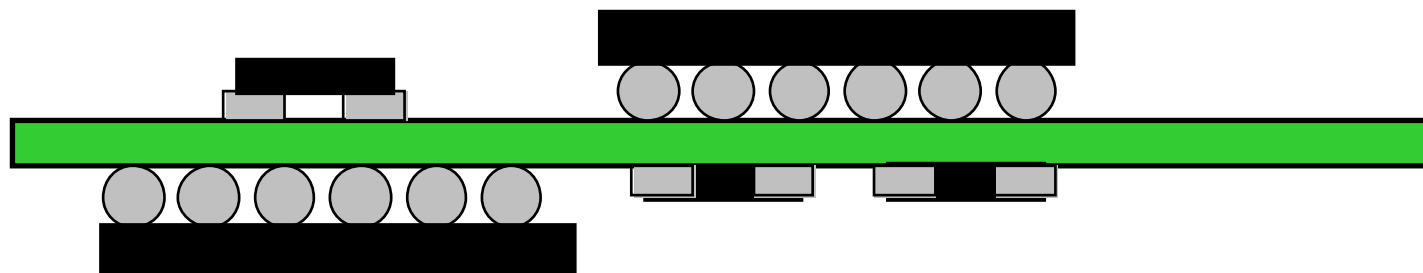


## Расположение компонентов

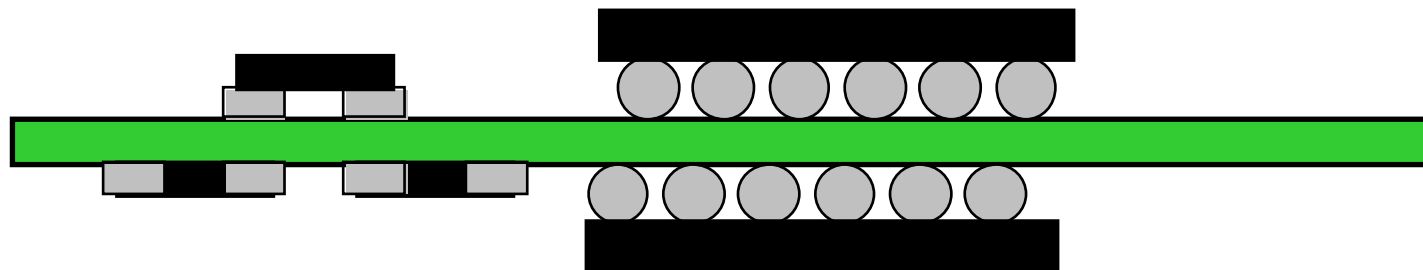


## Расположение компонентов

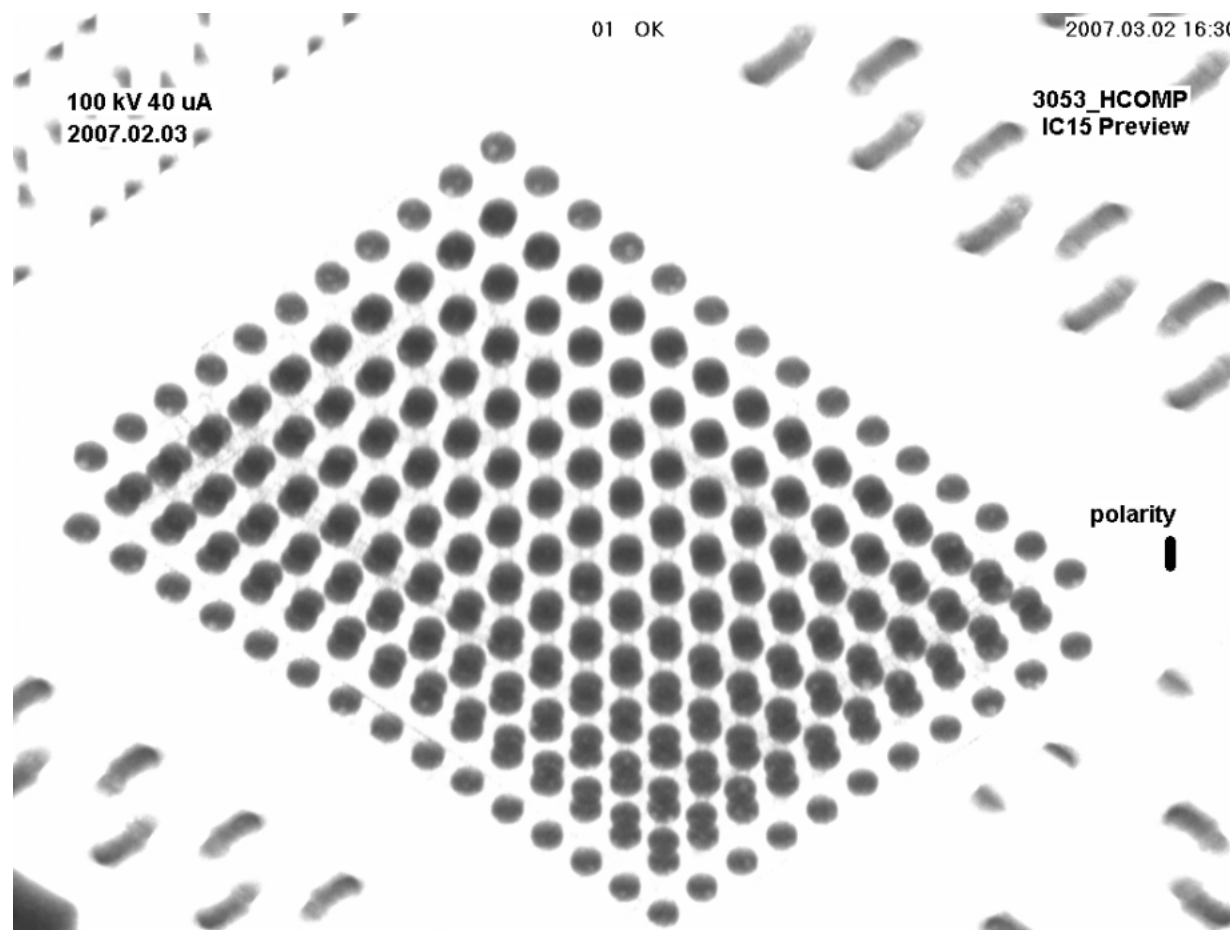
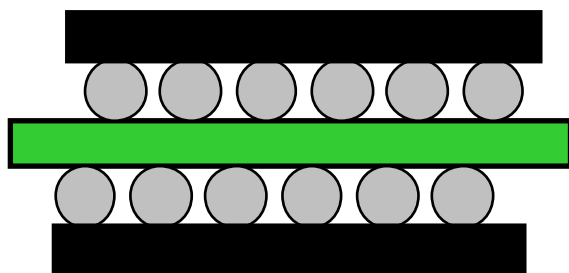
4



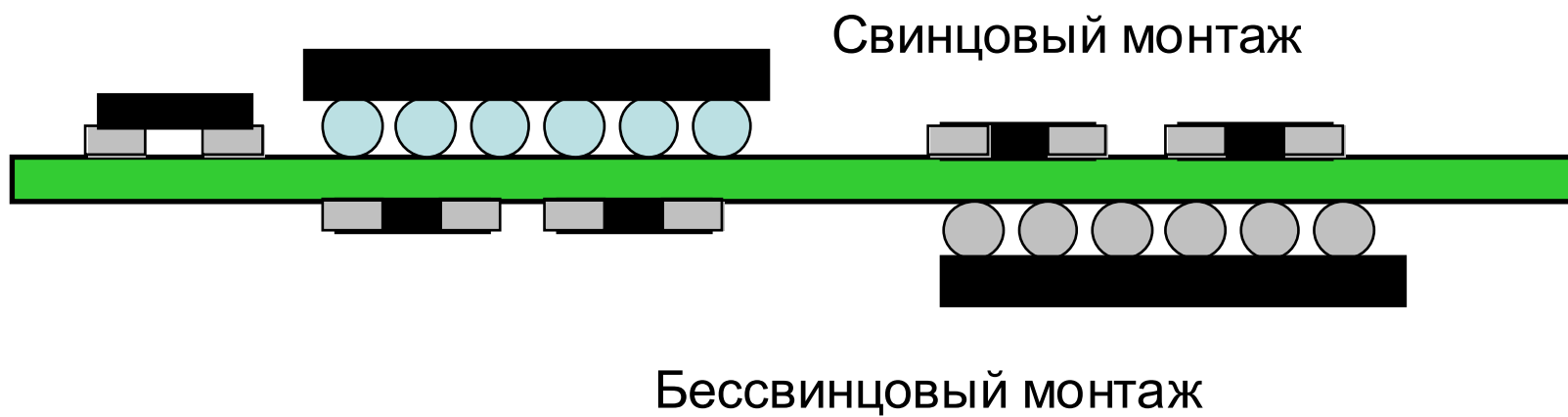
5



## Расположение компонентов



## Бессвинцовые BGA



# Резюме

## Дефекты пайки BGA

- Требования к качеству МПП
- Контроль качества пайки BGA
- Сложности ремонта и замены BGA

## Тонкости проектирования печатной платы

- Параметры площадки под шарик BGA
- Варианты вскрытия в маске
- Оптимизация под рентген-контроль
- Общие правила разводки BGA
- Нормы проектирования МПП с BGA
- Вырез в полигоне, гарантийный пояс
- Лазерные микроотверстия, микропереход в площадке
- Типовые конструкции МПП

## Монтаж

- Реперные знаки
- Расположение компонентов

**Есть вопросы по проектированию?**

**Обращайтесь к нашим консультантам...**

**E-mail [pcb@pcbtech.ru](mailto:pcb@pcbtech.ru)**



**Спасибо за внимание!**

**Есть ли у вас вопросы?**

Александр Игоревич Акулин

КБ «Схематика» (дизайн-центр печатных плат)

PCB technology (многослойные печатные платы,  
контрактное производство)

<http://www.pcbtech.ru>