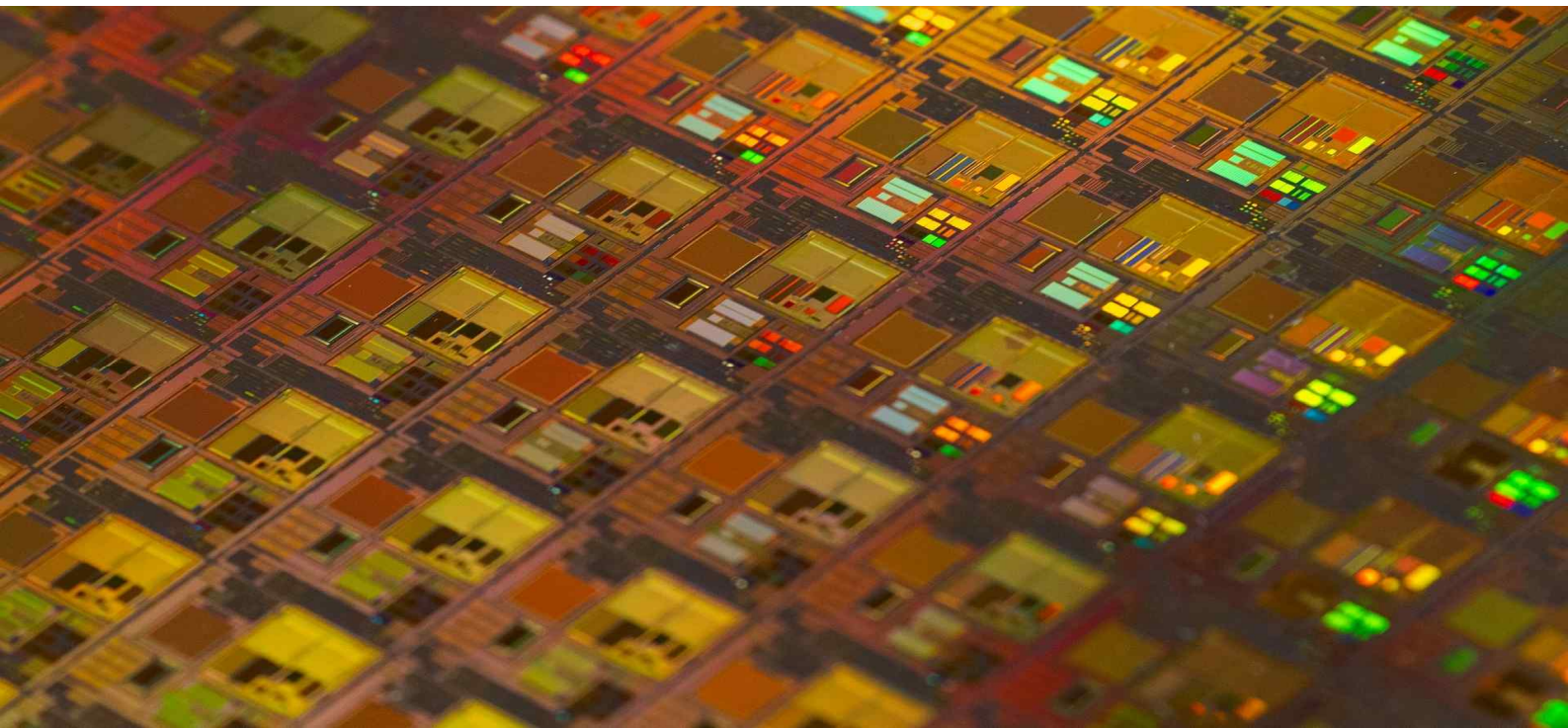




대면적 패키지의 워피지와 접합 사이클 타임

조진현 쿨스 대표 jhcho@cools.co.kr

SUMMARY

인터포저 면적이 커질수록 소재 간 열팽창계수 차이가 누적돼 패키지가 휨다. 휨은 수만 개 접속부의 높이와 가압 조건을 위치마다 다르게 만들고, 미접합과 냉납, 브리지로 이어진다. 부재 전체를 가열했다 식히는 오븐 리플로우로는 평탄한 접합면을 유지하기 어렵다. 접합이 끝나기 전에 고강성 리드로 형상을 구속하는 방식과, 열이 흐르는 경로를 전환해 가열·냉각 시간을 줄이는 방식을 함께 정리한다. 형상과 시간은 서로 다른 문제이며 하나를 풀면 다른 하나가 악화된다.

1. 면적이 커지면 흰다

여러 개의 GPU 다이와 다수의 HBM 을 하나의 인터포저 위에 올려 거대한 단일 연산장치처럼 동작시키는 구조가 추진되고 있다. 미세공정만으로 개별 칩의 성능을 계속 높이는 데 한계가 나타나면서, 여러 연산 다이와 메모리를 얼마나 가깝게 얼마나 넓은 대역폭으로 연결하느냐가 전체 시스템 성능을 결정하는 국면으로 넘어왔기 때문이다.

이 방향은 인터포저 면적을 급격히 키운다. 180x70 mm급 초대형 패키지가 논의되는 이유다. 그리고 면적이 커지는 순간 접합 공정에서 워피지가 전면에 나온다.

원인은 소재 조합에 있다. 인터포저는 실리콘 계열이고 이를 받는 기판은 ABF 같은 유기 소재다. 두 부재의 열팽창계수가 다르므로 가열과 냉각 과정에서 서로 다른 비율로 늘어나고 줄어든다. 면적이 클수록 이 차이가 누적돼 패키지가 여러 방향으로 흰다.

2. 힘이 만드는 불량률의 연쇄

워피지는 그 자체로 불량률 아니다. 문제는 그다음이다.

패키지가 휘면 수만 개에 이르는 접속부의 높이가 위치마다 달라진다. 높이가 달라지면 가압 조건도 위치마다 달라진다. 어떤 자리는 충분히 눌러지지 않아 접속부가 붙지 않고(미접합), 어떤 자리는 용융이 불완전하게 끝나며(냉납), 어떤 자리는 과하게 눌러 인접 접속부와 단락된다(브리지).

접속부 하나의 문제가 아니라 면 전체에 걸친 편차의 문제이기 때문에, 면적이 커질수록 누적 변형량이 커지고 불량률은 함께 올라간다. 부재 전체를 오븐에서 통째로 가열했다가 식히는 기존 방식으로는 평탄한 접합면을 유지하기 어렵다. 초대형 패키지의 수율을 끌어내리는 구조적 원인이다.

3. 형상을 잡는다: 접합 전 고강성 리드

고강성 리드 자체는 새로운 부품이 아니다. 굽힘강성이 높은 덮개 구조물로, 통상 방열과 기계적 보호를 위해 접합이 모두 끝난 뒤에 부착한다.

순서를 바꾸는 것이 이 접근의 핵심이다. 인터포저와 기판의 접합이 완료되기 전에 고강성 리드를 결합하고, 리드의 굽힘강성으로 패키지 전체를 평탄하게 구속한 상태에서 압착 접합을 수행한다. 솔더가 완전히 응고할 때까지 가압을 유지한다.

기존 방식이 흰 뒤에 사후 교정하는 접근이라면, 이쪽은 애초에 휘지 못하게 구속하는 접근이다. 리드가 패키지 전체의 형상을 지배하므로 인터포저와 기판의 열팽창계수가 완전히 일치하지 않아도 평탄한 접합면을 유지할 수 있다. 소재 조합의 정합성에 의존하지 않고 구조로 문제를 푼다.

4. 리드가 만드는 새 병목

형상은 잡히지만 대가가 있다. 고강성 리드는 두껍고 열용량이 크다.

180×70 mm급 초대형 패키지를 일반 열압착접합(TCB)으로 접합하면, 고강성 리드와 대면적 패키지 전체를 가열하고 다시 냉각하는 데 1분 이상이 걸린다. 워피지는 해결되지만 접합 사이클이 길어져 양산 생산성이 급격히 떨어진다.

리드가 워피지를 해결하는 대신 새로운 생산성 병목을 만드는 구조다. 형상과 시간 가운데 하나를 풀면 다른 하나가 악화된다.

5. 시간을 잡는다: 열 경로의 전환

열용량이 큰 부재를 통째로 데웠다 식히는 것이 시간을 잡아먹는다면, 데우는 대상을 바꾸는 것이 아니라 열이 흐르는 경로를 바꾸는 방법이 있다.

서멀클러치는 가열과 냉각 과정에서 열의 전달 경로를 전환하는 기술이다. 자동차의 클러치가 동력 전달 경로를 끊고 잇듯 열의 경로를 끊고 잇는다.

가열 구간에서는 본드헤드의 열이 냉각부로 빠져나가지 않도록 열경로를 차단한다. 열이 접합계면에 집중되어 빠르게 승온한다.

접합이 끝나는 즉시 열경로를 냉각측으로 연결한다. 고강성 리드와 접합부의 열이 빠르게 배출된다.

냉각 중에도 가압은 유지한다. 솔더가 액체에서 고체로 변하는 구간까지 패키지를 평탄하게 붙들기 위해서다. 형상 구속과 시간 단축이 같은 구간에서 동시에 작동해야 하는 이유다.

6. 역할 분담

고강성 리드는 패키지의 형상을 잡고, 서멀클러치는 가열과 냉각 시간을 잡는다. 둘은 대체 관계가 아니라 보완 관계다.

두 가지가 결합되면 오븐 리플로우에 의존하던 공정을 대면적 계면 선택가열 TCB로 전환할 수 있다. 부재 전체를 가열하는 방식에서 접합계면을 선택적으로 가열하는 방식으로 넘어가는 것이며, 저워피지와 양산 생산성을 동시에 확보하는 경로에 해당한다.

쿨스가 제시하는 성능값은 180×70 mm급 패키지 기준 가열·냉각 시간 10초 이내, 접합 후 워피지 0.1mm 이하다. 일반 TCB의 1분 이상과 대비된다. 0.1mm 이하는 180×70 mm 면적 전 영역의 힘을 그 범위로 억제한다는 의미이며, 접속부 높이 편차를 접합 가능 범위 안으로 묶는 수준이다.

7. 용어

워피지(warpage). 가열과 냉각 과정에서 패키지가 휘는 현상. 소재 간 열팽창계수 차이로 발생하며 면적이 클수록 심해진다.

인터포저(interposer). 연산 다이와 메모리 등 여러 칩을 그 위에 올려 서로 연결해주는 중간 배선층.

ABF 기판. Ajinomoto Build-up Film 소재를 사용하는 고밀도 패키지 기판. 인터포저와 메인보드를 잇는다.

TCB. 열압착접합(Thermo-Compression Bonding). 열과 압력을 동시에 가해 칩을 접합하는 방식. 오븐 리플로우. 부재 전체를 오븐에서 가열해 솔더를 녹여 접합하는 전통적 방식.

고강성 리드(stiffener lid). 굽힘강성이 높은 덮개 구조물. 통상 방열과 보호 목적으로 접합 후 부착된다.

서멀클러치(thermal clutch). 가열과 냉각 시 열 전달 경로를 전환해 접합계면만 선택적으로 급속 승온·냉각하는 기술.

본드헤드(bond head). TCB 장비에서 칩을 잡고 열과 압력을 가하는 헤드.

미접합·냉납·브리지. 대표적 접합 불량. 각각 접속부가 붙지 않음, 불완전 용융, 인접 접속부 간 단락을 뜻한다.