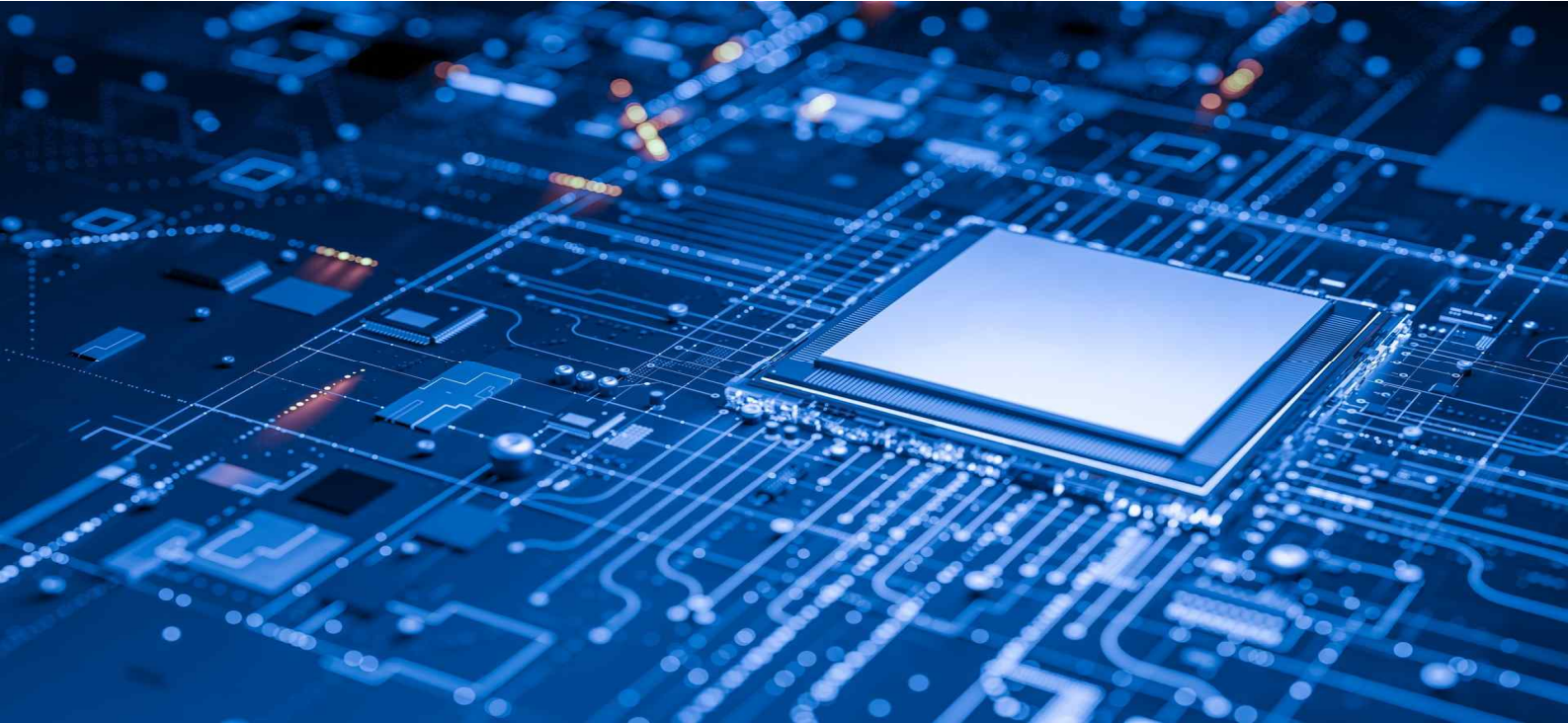




접합 계면은 뜨거워야 하고 나머지는 차가워야 한다

조진현 쿨스 대표 jhcho@cools.co.kr

SUMMARY

첨단 패키징은 접합 계면에서 빠른 반응을 요구하면서 주변 구조에는 점점 낮은 열예산을 허용한다. 조립체 전체를 데우고 식히는 방식으로서는 두 요구를 동시에 만족할 수 없다. 에너지가 결합되는 지점을 공간과 시간에 따라 전환하는 접근을 HBM 본딩과 CPO 집적 두 공정에서 정리한다. ISMP 2026 발표 초록의 국문판이며, 영문 원문을 문서 뒤에 그대로 실었다.

1. 두 요구가 충돌한다

접합 계면에서는 반응이 빨라야 한다. 온도가 높을수록 빠르다.

그런데 그 계면을 둘러싼 것들은 정반대를 요구한다. 적층된 다이, 광소자, 유전체, 이미 접합이 끝난 하부 구조는 모두 열을 받으면 안 된다. 단수가 올라갈수록, 광소자가 같은 패키지에 들어올수록 허용 되는 열예산은 줄어든다.

지금의 공정은 이 충돌을 조립체 전체를 데웠다 식히는 방식으로 다룬다. 계면에 필요한 에너지를 주기 위해 계면이 아닌 곳까지 함께 데우고, 그렇게 들어간 열을 다시 빼내느라 시간을 쓴다. 계면에 필요한 에너지와 패키지가 겪는 열이력이 하나로 묶여 있는 구조다.

2. 묶인 것을 푼다

다른 길은 전체를 데우지 않는 것이다. 에너지가 결합되는 지점을 공간과 시간에 따라 전환하면 된다. 필요한 순간에 필요한 자리에만 경로를 연결하고 나머지 구간에서는 끊는다.

쿨스는 이 원리를 두 공정에 적용하고 있다. 열의 경로를 전환하는 것과 빛의 흡수 경로를 전환하는 것이다.

3. 열의 경로를 전환한다

HBM 열압착 본딩에서는 가열 단계에 히터와 결합되는 열질량을 최소화한다. 데워야 할 대상이 줄어 든다.

접합이 끝난 직후에는 고열전도 AlN 열수용체를 히터 뒷면에 접촉시킨다. 이 시점부터 냉각은 공기 대류가 아니라 고체 전도로 일어난다. 기체가 열을 실어 나르는 속도와 고체가 열을 전달하는 속도는 자릿수가 다르다.

열을 받은 수용체는 분리되어 별도의 히트싱크에서 재생된다. 이 재생이 다음 다이를 집어 정렬하는 동안 이루어지므로, 열을 버리는 시간이 본딩 택트타임에 들어가지 않는다.

양산용 TCB 히터를 개조한 검증에서 11mm×11mm HBM3E 다이로 10 회 반복 사이클을 측정했다. 본딩 사이클이 7.0 초에서 3.4 초로 51% 단축되었다. 히터 구조는 교체하지 않았다.

4. 빛의 흡수 경로를 전환한다

CPO 집적에서는 같은 원리가 빛으로 구현된다.

1.45~1.60 마이크로미터 파장의 빛은 실리콘 포토닉 집적회로(Si PIC)를 거의 손실 없이 통과한다. 실리콘의 밴드갭보다 에너지가 낮아 흡수되지 않기 때문이다. 이 빛은 EIC와 PIC 사이 접합선에 도달해야 흡수된다. Ti와 TiN, TaN 같은 얇은 계면층이 1.5 마이크로미터 흡수체 역할을 하도록 설계되어 있다.

짧은 광펄스를 쓰면 접합에 필요한 계면 온도만 올라간다. Si PIC 본체와 Si/SiN 도파로, 전자 다이, 주변 유전체로 열이 퍼지기 전에 가열이 끝난다.

5. 같은 구조

서멀클러치는 열이 흐르는 경로를 전환하고, 옵티컬클러치는 빛이 흡수되는 경로를 전환한다. 다루는 물리량은 다르지만 구조는 같다. 접합을 계면에만 선택적으로 에너지를 전달하는 문제로 다시 정의하는 것이다.

이 관점에서 보면 HBM 조립을 빠르게 하는 것과 CPO 접합에서 벌크 열예산을 거의 없애는 것은 서로 다른 과제가 아니다.

원문 (ISMP 2026 제출 초록)

Thermal Clutch and Optical Clutch: Selective Energy-Coupling Platforms for HBM Bonding and Co-Packaged Optics

Jinhyun Cho[†]

Cools Inc., Changwon, Republic of Korea

[†]E-mail: jhcho@cools.co.kr

ABSTRACT

Advanced packaging increasingly requires high interfacial reaction rates while imposing a progressively lower thermal budget on surrounding dies, optical devices, dielectrics, and assembled stacks. This work presents two Cools clutch platforms that decouple the energy required at a bonding interface from the thermal history of the package. The common principle is to switch energy coupling in space and time instead of heating and cooling the complete assembly. For HBM thermocompression bonding, the Thermal Clutch minimizes the thermal mass coupled to the heater during the heating stage and, immediately after bonding, engages a high-conductivity AlN thermal receiver with the heater backside. Cooling therefore changes from air convection to direct solid-state heat conduction. The heat-loaded receiver is then disengaged and regenerated at a separate heat sink while the next die is picked and aligned, preventing heat rejection from becoming part of the bonding time. In a retrofit evaluation using a production TCB heater, 11 mm x 11 mm HBM3E dies, and ten repeated cycles, the bonding cycle was reduced from 7.0 s to 3.4 s, corresponding to a 51% reduction without replacing the heater architecture. For CPO integration, the Optical Clutch uses 1.45-1.60 micrometer light that is transmitted through a substantially sub-bandgap-transparent silicon photonic integrated circuit (Si PIC) and absorbed selectively at an engineered EIC-PIC bond line. Ti, TiN, TaN, or related thin interfacial layers act as 1.5 micrometer optical absorbers and convert the transmitted light directly into heat at the bond line. Short optical pulses rapidly raise only the interfacial temperature required for bonding while limiting heat diffusion into the Si PIC body, Si/SiN waveguides, electronic die, and surrounding dielectrics. The purpose is selective formation of the CPO bonding interface while minimizing the thermal exposure of the complete assembly. Together, the Thermal Clutch switches the heat-transfer path and the Optical Clutch switches the optical absorption path. The resulting architecture treats bonding as state-selective interfacial energy delivery, providing a common route toward faster HBM assembly and near-zero-bulk-thermal-budget CPO bonding.

Keywords: Thermal Clutch; Optical Clutch; HBM bonding; co-packaged optics; interface-selective bonding