

엘레판텍, 무가압 접합이 가능한 전력 반도체용 접합재 SPhire™ D02 개발

가압 저온 접합에 이어 무가압 저온 접합을 실현하여 공정 자유도를 향상



Elephantech Inc. (엘레판텍 주식회사, 본사: 도쿄도 주오구, 대표이사 사장: 시미즈 신야)는 무가압 다이 어태치(Die Attach) 애플리케이션을 위해 설계된 저온 소결 구리 나노 페이스트 라인업인 SPhire™ 시리즈의 신제품 'SPhire™ D02'를 개발했다고 발표했습니다.

기존의 구리 소결 페이스트는 반도체 다이 어태치 과정에서 강한 접합력을 얻기 위해 가압 접합(Pressure-assisted bonding) 공정이 필수적이었습니다. 이와 달리, SPhire™ D02 는 압력을 가하지 않는 무가압 조건에서도 충분한 접합 강도를 입증하여 공정 중 가압 단계를 제거했습니다.

이러한 기술적 진보는 제조 공정의 유연성을 크게 향상시킬 뿐만 아니라, 다이 어태치는 물론 열계면소재(TIM, Thermal Interface Materials)를 포함한 전력 반도체 분야의 열 관리 문제를 효과적으로 해결합니다.

배경

그동안 전력 반도체 칩과 방열 기판을 연결하는 다이 어태치 소재로 솔더(Solder)가 널리 사용되어 왔습니다. 그러나 반도체 소자의 출력이 높아지고 발열량이 증가함에 따라, 솔더는 낮은 열전도율로 인한 방열 성능 부족 및 재용융(Remelting) 위험과 같은 심각한 열 관리 과제에 직면해 있습니다. 이에 따라 높은 동작 온도에서도 재용융 위험이 없고, 장기간 견고한 접합을 유지하며, 높은 열전도율을 제공하는 소결 접합 소재가 고출력 전력 반도체의 대안 솔루션으로 부상하고 있습니다.

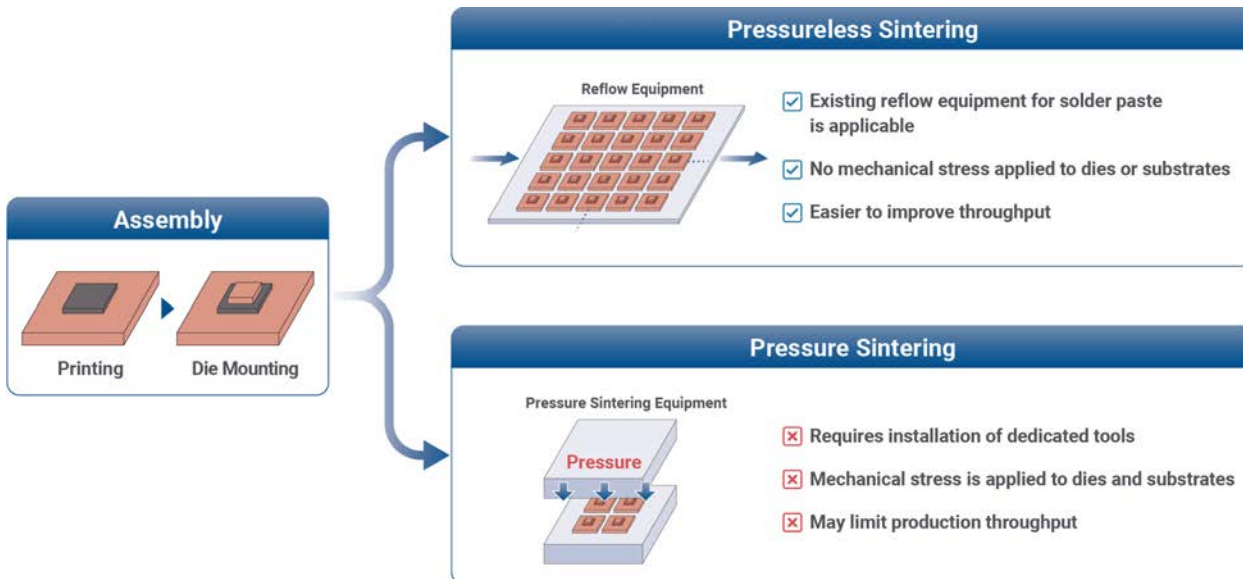
이러한 시장 요구에 대응하여 엘레판텍은 2026 년 3 월 27 일 다이 어태치용 저온 소결 구리 나노 페이스트인 SPhire™ D 를 출시한 바 있습니다(SPhire™ D). 이 소재는 회사의 독자적인 자가 조립 구리 나노입자(Self-Assembling Copper Nanoparticles) 기술을 채택하여, 극히 적은 양의 구리 나노입자를 함유하고 있음에도 우수한 저온 소결을 달성합니다.

다이 어태치용 구리 나노 페이스트의 차세대 개발 목표는 바로 무가압 대응력이었습니다. 구리 나노 페이스트를

사용하는 주류 저온 소결 다이 어태치 공정은 충분한 접합 강도를 확보하기 위해 가압 지원 공정이 필요합니다. 엘레판텍이 이전에 발표한 구리 나노 페이스트 SPhire™ D 역시 동일한 전제를 바탕으로 하고 있었습니다.

생산 현장에서는 가압 접합이 일반적인 관행으로 사용되고 있으나, 공정 마진을 넓히기 위해서는 일반적으로 가압에 대한 의존도를 낮추는 것이 바람직하다고 여겨집니다. 이에 따라 엘레판텍은 가압 소결 자재와 병행하여 무가압 소결용 구리 나노 페이스트를 개발해 왔습니다. SPhire™ D02의 성공적인 개발은 무가압 조건에서도 높은 접합 강도를 달성할 수 있는 새로운 자재의 탄생을 의미합니다.

무가압 vs 가압 소결의 공정 비교



SPhire™ D02 성능

이번 최신 기술은 무가압 조건에서 구리 입자 간의 소결 네트워크 형성을 가능하게 함으로써 SPhire™ D의 기술 플랫폼을 확장했습니다. 본 자재는 구리 입자 사이에 소결 개시 사이트를 효율적으로 생성하도록 설계되어, 외부 압력에 의존하지 않고도 접합 계면과 페이스트 전체에 걸쳐 치밀한 소결 구조 형성을 촉진합니다.

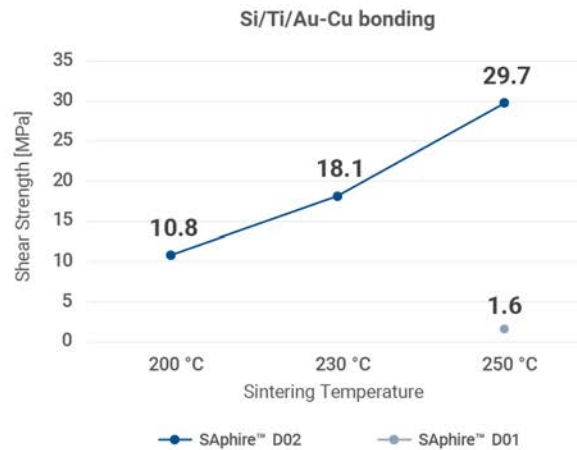
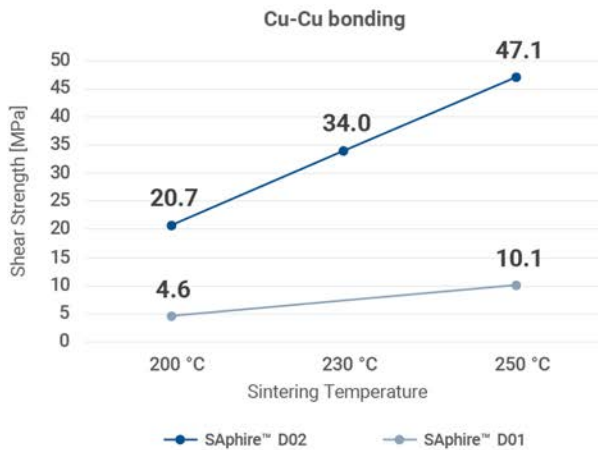
아래 그래프는 기존에 출시된 가압 구리 나노 페이스트인 SPhire™ D01과 새로 개발된 무가압 호환 자재인 SPhire™ D02의 접합 결과를 비교한 것입니다. 테스트는 Cu-Cu 기판 접합 및 Ti/Au 박막 처리된 Si 다이와 Cu 기판 접합 조건에서 모두 무가압으로 60 분간 소결하여 진행되었습니다.

그림 1의 Si/Ti/Au-Cu 결과를 살펴보면, SPhire™ D01은 250°C 조건에서 전단 강도가 1.6 MPa에 불과한

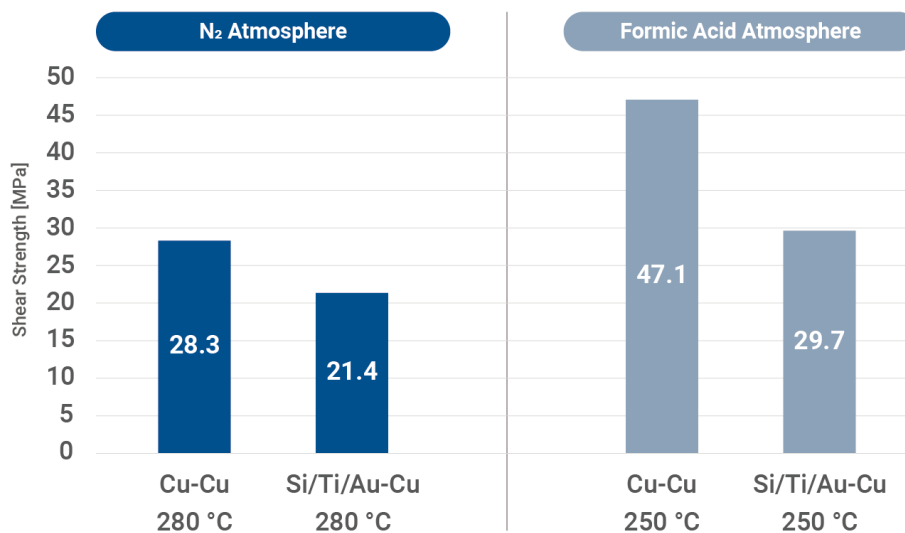


반면, SAphire™ D02 는 동일한 조건에서 대폭 향상된 수치를 입증했습니다. 약 20 MPa 수준인 솔더의 접합 강도와 벤치마킹할 때, SAphire™ D02 는 무가압 소결 조건 하에 Cu-Cu 접합의 경우 200°C 에서, Si/Ti/Au-Cu 접합의 경우 250°C 에서 이미 대등한 수준에 도달했습니다.

또한 그림 2 에서 보듯이, 온도를 280°C 로 높이면 포름산(Formic acid)을 사용하지 않고 N₂ 분위기의 무가압 소결 조건에서도 충분한 접합 강도가 확보됨을 알 수 있습니다.

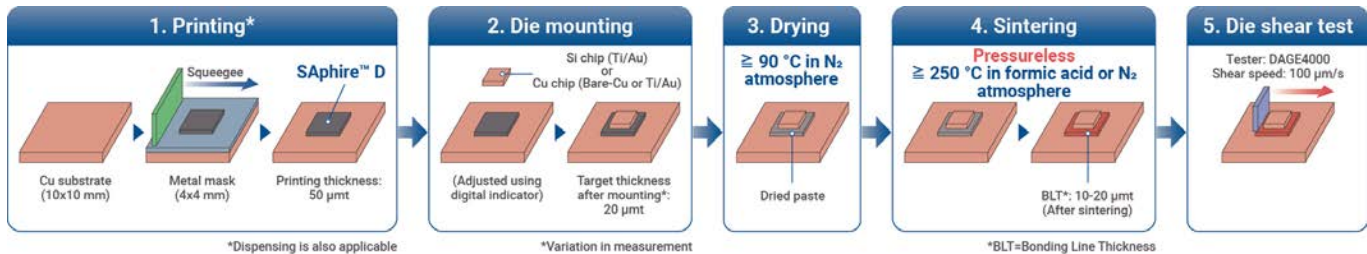


- N₂ 분위기 (280°C): Cu-Cu = 28.3 MPa / Si/Ti/Au-Cu = 21.4 MPa
- 개미산 분위기 (250°C): Cu-Cu = 47.1 MPa / Si/Ti/Au-Cu = 29.7 MPa



무가압 소결 공정 플로우 (Pressureless Sintering Process Flow)

1. Printing*



Cu substrate (10x10 mm) → Metal mask (4x4 mm) + Squeegee → Saphire™ D (Printing thickness: 50 μm)

*디스펜싱 방식도 적용 가능 (*Dispensing is also applicable)

2. Die mounting

Si chip (Ti/Au) or Cu chip (Bare-Cu or Ti/Au) → (디지털 인디케이터를 사용해 조정 / Adjusted using digital indicator) → 마운팅 후 목표 두께: 20 μm (Target thickness after mounting* 20 μm) / *측정 시 미세 편차 존재 (*Variation in measurement.)

3. Drying

N_2 분위기에서 90°C 이상 ($\geq 90^\circ\text{C}$ in N_2 atmosphere) → 건조된 페이스트 (Dried paste)

4. Sintering

무가압 (Pressureless) / 포름산 또는 N_2 분위기에서 250°C 이상 ($\geq 250^\circ\text{C}$ in formic acid or N_2 atmosphere) → BLT*: 10-20 μm (소결 후 / After sintering) / *BLT = 접합 두께 (Bonding Line Thickness)

5. Die shear test

테스터기: DAGE4000 (Tester: DAGE4000) → 전단 속도: 100 μm/s (Shear speed: 100 μm/s)

무가압 접합의 기술적 돌파구

전력 반도체 다이 어태치

무가압 소결을 통해 제조 공정이 단순해짐에 따라, 다이 어태치 페이스트의 도입이 훨씬 더 광범위하고 쉬워질 것입니다. 상술한 바와 같이 기존 다이 어태치 소재인 솔더는 열적 성능의 한계를 겪는 반면, 비교적 쉽게 녹아 접합되므로 압력 없이 단순한 공정 플로우가 가능했습니다. 소결 접합 페이스트는 상당한 성능 상의 이점을

제공함에도 불구하고, 가압 장비 및 고정 지그(Fixture)에 대한 투자 부담으로 인해 도입이 지체되거나 적용 범위가 제한되는 경우가 많았습니다.

구리 소결 나노 페이스트의 핵심 제약 중 하나였던 '접합 시 가압 필수성'을 극복함으로써, SAphire™ D02 는 광범위한 애플리케이션에 걸쳐 전개될 수 있는 다각적인 구리 나노 페이스트 솔루션이 될 것으로 기대됩니다.

전력 반도체 TIM

전력 반도체 패키징에서는 반도체 칩과 기판 사이의 다이 어태치뿐만 아니라, 기판과 방열판을 접합하는 TIM(Thermal Interface Material) 역시 매우 중요한 역할을 담당합니다.

다이 어태치는 칩 크기에 맞춰 사이즈가 작기 때문에 다루기 비교적 용이한 반면, 기판과 방열판 사이의 TIM 접합 면적은 현저히 넓기 때문에 강력한 압력을 균일하게 가하기가 매우 어렵습니다. 이 때문에 TIM 애플리케이션에서는 무가압 대응 능력에 대한 요구가 훨씬 더 강력합니다.

예를 들어, 20 MPa 의 접합 조건을 요구하는 가압 생산 공정의 경우, 5mm 스퀘어 크기의 다이 어태치에 가해지는 힘은 500 N(약 51 kg)인 반면, 50mm 스퀘어 크기의 TIM 에 요구되는 힘은 50 kN(약 5.1 톤)에 달하게 됩니다.

구리 나노 페이스트를 이용한 저온 무가압 접합을 실현함으로써, 본 기술은 전력 반도체 TIM 애플리케이션에 소결 접합 자재의 도입을 용이하게 하여 전력 반도체의 성능 향상에 기여합니다.

향후 전망

저온 소결 구리 나노 페이스트 SAphire™ D 시리즈는 글로벌 선두 전력 반도체 제조업체들과 다이 어태치 및 TIM 애플리케이션을 위한 샘플 평가 단계에 진입했습니다. 이번 최신 기술적 돌파구를 바탕으로 엘레판텍은 양산 공정 도입을 가속화할 것입니다.

나아가 엘레판텍의 구리 나노 페이스트 제품군인 SAphire™는 반도체 고도화의 가장 치명적인 병목 현상 중 하나인 열 관리 과제를 효과적으로 해결합니다. 앞으로도 회사는 파워 모듈 내의 다양한 접합 계면뿐만 아니라 높은 방열성과 내열성을 요구하는 전자 부품, 광학 소자, AI 컴퓨팅 관련 기기 전반에 걸쳐 소자 성능 향상을 지속적으로 지원할 것입니다.

문의처

엘레판텍 잉크젯 장비 및 소재 사업부 영업부

ijis-sales-unit@elephantech.co.jp