# 그린 피코초 레이저를 이용한 시스템-인-패키지 (SiP) 재료의 절단

시스템-인-패키지 (SiP)는 연산력을 밀도 있게 더욱 증가시키기 위한 칩 패키징 방식입니다. 반도체 축소 속도가 느려지면서 산업계는 반도체 공정 치수 (나노미터-마이크로미터)와 인쇄 회로 기판 (PCB) 치수 사이에 존재하는 대략 3배 정도 되는 공간 격차로 눈을 돌렸습니다. 이렇게 큰 치수의 불일치는 추가적인 소형화를 위한 다양한 접근 방식을 가능하게 합니다. 기능적으로 SiP는 메모리, 로직, 무선 주파수(RF) 칩과 같이 별개로 분리된 구성 요소들을 상호 연결 설계된 공유 인쇄 회로 기판(PCB)위에 단일 패키지로 통합하여 성능 향상을 달성합니다. SiP 기술은 스마트폰이나 시계, 이어팟 같은 웨어러블 기기 및 기타 여러 가지 모바일 소비자 가전에 보편화되었습니다.

SiP 디바이스의 개별칩화를 위해서는 나노초 펄스의 UV 나 Green 파장의 레이저가 적합할 수 있습니다. 그러나 디바이스의 직접도가 높아진다면 과도한 열은 감당할 수 없게 됩니다. 이것은 열영향부(HAZ)를 감소시키기 위해서 더 짧은 펄스폭을 이용한 공정에 대한 관심으로 이어집니다. 만약에 땜납이나 접착제같이 과도한 열 부하에 의해 고장을 야기할 수 있는 열에 민감한 본딩 매개체를 사용하는 캡슐화가 있다면 그러한 예가 될 수 있습니다. 또한, SiP 합판 내에 포함되어 있는 구리 트레이스는 과도하게 뜨거워지면 층 박리가 생길 수 있는 가능성이 있어 극초단 펄스(USP) 레이저 공정이 바람직할 수 있습니다. 이러한 고려 사항을 염두에 두고, MKS 스펙트라 피직스 IceFyre® GR50 고출력 그린 피코초 레이저를 이용하여 SiP 관련 재료의 절단 공정을 최적화하기 위한 실험을 수행했습니다.

SiP 기판의 주요 구성 요소는 얇은 (또는 “초박형”) 유리 강화 에폭시 합판(FR4) 재료로, 일반적인 두께는 100~250 μm 입니다. FR4 레이저 절단은 서로 다른 광학적 및 열적 특성을 가진 유리 섬유와 에폭시 수지의 이종 구성으로 인해 까다롭습니다. 레이저로 두꺼운 FR4 를 가공할 때는 과도한 열과 용융으로 인한 원치 않는 탄화가 생기지 않도록 주의를 기울여야 합니다. 더 얇은 FR4는 피코초 펄스를 사용하면 과도한 열 영향을 피하기가 상대적으로 더 쉽습니다. 그림1은 IceFyre GR50 레이저로 절단한 200 μm 두께 FR4의 입사부와 출사부 표면입니다

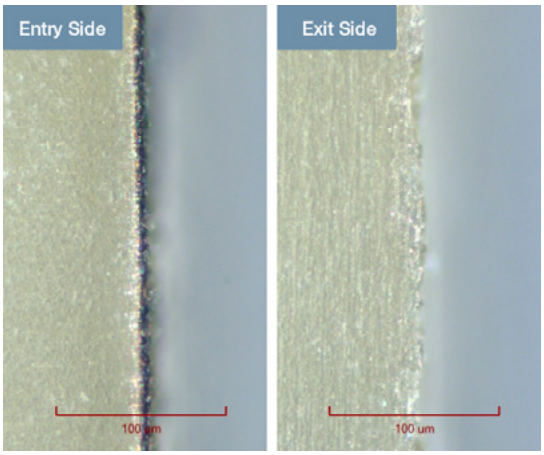


그림 1. 그린 피코초 펄스를 이용한 200 μm 두께의 FR4 기판 절단의 레이저 입사부 (좌측)와 출사부(우측) 현미경 사진

500 kHz 펄스 반복률(PRF)에서 50 W의 레이저 출력으로 4 m/s 스캔 속도에서 최적화된 고속, 다중 패스 공정으로 83 mm/s의 유효 절단 속도 결과를 얻었습니다. 입사 표면은 최소한의 퇴적물 잔해와 약 ~10 μm 정도의 열 영향부(HAZ)를 식별할 수 있습니다. SEM 이미징 (그림2)으로 횡단면을 봤을 때도, 각각의 섬유가 쉽게 구분되고 아주 약간의 용융 흔적만 찾을 수 있는 것으로 확인되었습니다.

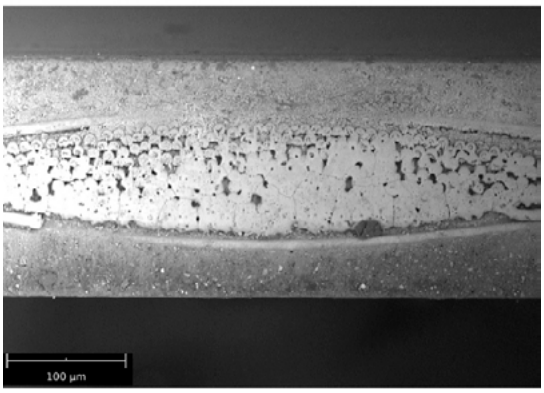


그림 2. 섬유 종단면에서 약간의 용융만 관측되는 그림 1 절단의 SEM 측면 이미지

USP 레이저로 수행되는 많은 공정의 경우, 이미 괜찮은 품질의 결과를 개선하면서 더 좋은 결과를 달성하는 것이 종종 가능합니다. 예를 들어, FR4 절단 시 유리 섬유 용융 양을 더 줄이고자 한다면, 레이저 펄스 에너지 또는 PRF를 줄이거나 스캐닝 속도를 증가시키는 방법 등으로 그림 3에 보이는 것과 같이 뛰어난 결과물을 만들어낼 수 있습니다. 이 결과는 USP 레이저가 민감한 재료를 매우 낮은 열화로 뛰어난 절단 결과를 만들어 낼 수 있음을 명확하게 제시하고 있습니다.

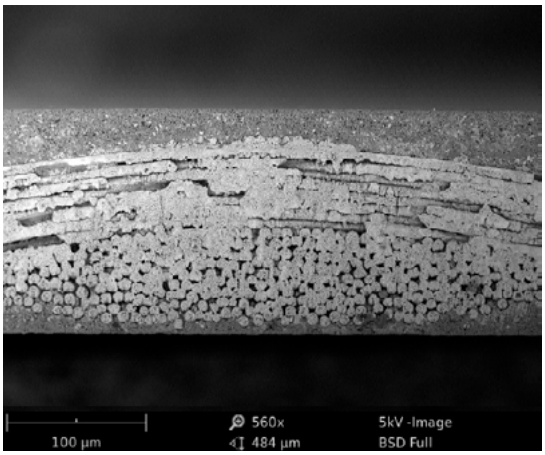


그림 3. 뛰어난 품질과 최소한의 섬유 용융을 보여주는 FR4 절단 SEM 측면 이미지

더 나아가서, 얇은 FR4로 뛰어난 절단 품질을 확보하고 속도를 최적화 한 후에 SiP PCB 기판 재료를 절단해 봤습니다. 재료는 폴리머 솔더 마스크 보호 레이어가 있는 100 µm 두께 이하의 초박형 FR4 로 구성되어 있으며 양면에 라미네이트되어 있고 절단 경로에는 간헐적으로 매립된 구리 트레이스 라인을 포함합니다. 전체 두께는 200 µm 입니다. 매립된 구리 트레이스 라인을 포함한 여러 층의 존재를 고려해서 일부 공정만 미세조정한다면 최고 품질 결과를 달성할 수 있을 것으로 예상되었습니다. 그래서, 높은 생산성을 목표로 하는 프로세스를 정의한 후 품질에 초점을 맞추는 공정 파라미터 조정이 이루어졌습니다.

결과는 이러한 접근 방법이 근거 있음을 보여줍니다. 고속 가공을 위해 레이저의 최대 출력을 이용하는 공정 기법을 적용했을 때 절단 입사면의 하향식 현미경 사진 (그림4)은 매립된 구리가 실제로 절단 품질에 어느 정도 영향을 미친다는 것을 나타냅니다. 절단 끝면의 품질이 좋고 약간의 잔해 정도만 있는 등 전체적으로 표면 품질이 우수한 반면에 구리층 주변의 과도한 열은 그 주변의 폴리머/FR4 재료를 약간 부식시키면서 측벽에서 구리가 살짝 돌출될 수 있음을 보여주었습니다. 이 공정의 유효 절단 속도는 57 mm/s입니다.

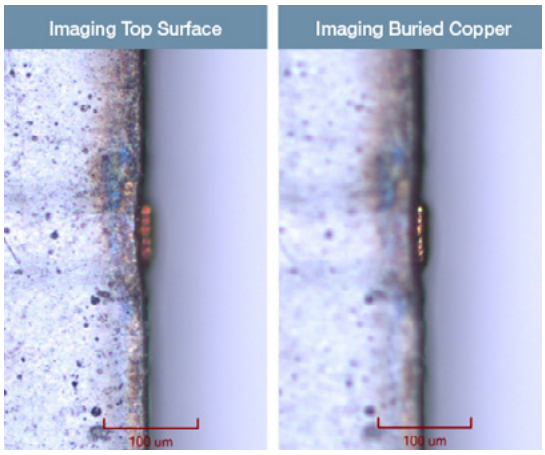


그림 4. 고속 절단 결과 우수한 절단 표면 품질을 나타내지만 매립된 구리 트래이스 주변에서 일부 가열의 증거가 관측되는 레이저 입사부 현미경 이미지

따라서 생산성 중심의 공정 프로세스는 일반적으로 괜찮은 품질을 달성하지만 개선의 여지가 있습니다. 50% 정도 감소된 레이저 출력 수준을 사용하고 다양한 파라미터를 조정했을 때 그림5에서 보이는 것처럼 품질은 더욱 향상되었습니다. 이 결과는 38 mm/s 순 절단 속도를 달성하였습니다. 그럼으로 2빔 분할 구성으로 출력을 완전히 사용하면 전체적인 절단 속도는 76 mm/s 인데, 이것은 단일 빔으로 최대 출력에서 달성하는 속도보다 33% 더 빠릅니다.

그림 5의 왼쪽이 폴리머 표면인데 최대 출력에서의 결과와 비교해서 약간의 잔해 침착을 보여주지만 절단 경로의 편차는 감지되지 않았습니다. 오른쪽 이미지는 절단 모서리에서 멀어지는 방향으로 매립된 구리 트레이스는 거의 감지할 수 없는 돌출 정도만 보여줍니다. 레이저 절단 측벽 단면을 보면 아래 그림 6 SEM

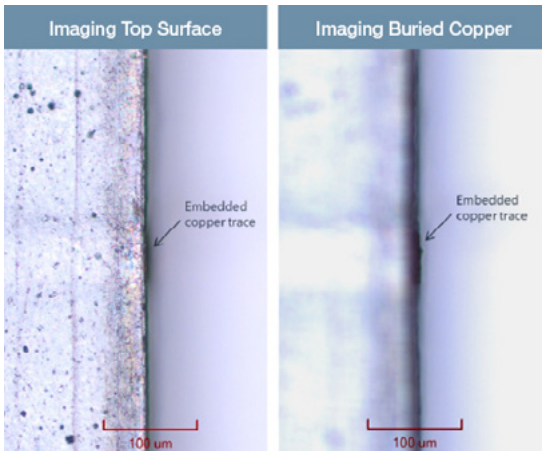


그림 5. 최대 출력으로 달성한 이미 좋은 결과에 대해서 50%의 레이저 출력으로 더욱 개선한 입사면 절단 사진.

이미지는 50% 레이저 출력으로 깔끔하게 절제된 측벽을 보여주고 있습니다. 뛰어난 품질의 명확한 지표로서 용융이 거의 없는 각각의 섬유 끝단면, 층간 박리가 없으면서 구리 내부 및 주변 용융 또는 변형 없는 구리 트레이스가 명확히 보여집니다.

SiP 아키텍처는 유래 없이 줄어들고 있는 폼 팩터에서 전자 장치 성능을 향상시킬 수 있으며 패키지의 레이저 싱귤레이션은 그 전반적인 노력에서 중요한 요소입니다. 나노초 펄스 레이저가 때때로 요구 사항을 충족할 수 있지만 다양한 하위 패키지 구성 요소와 함께 조밀하게 포장된 IC의 근접은 문제가 될 수 있습니다. USP 레이저 기술, 특히 그린 (그리고  자외선 또는 UV) 파장에서 높은 생산성을 달성할 수 있습니다. 좀 더 세심한 레이저 및 공정 파라미터 조정을 통해 열 영향은 소화하면서 탁월한 절단 품질을 실현할 수 있습니다.

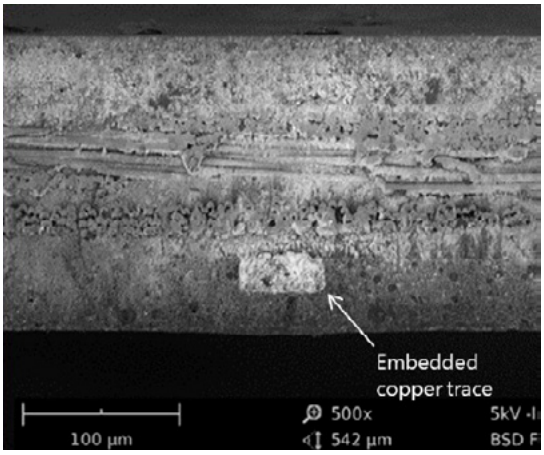


그림 6. 50%의 레이저 출력으로 절단한 SiP 보드의 SEM 단면 사진.

## 제품

### IceFyre 산업용 피코초 레이저

IceFyre GR50는 500 kHz 에서 >50 W 이상의 그린 출력, >100 µJ 이상의 펄스 에너지를 제공합니다. IceFyre UV50은 시장에서 가장 성능이 뛰어난 UV ps 레이저로 1.25 MHz (>40 µJ)에서 50 W 이상의 UV 출력을 제공하며 버스트 모드에서는 100 µJ의 펄스 에너지와 10 ps의 펄스폭을 제공합니다. IceFyre UV50은 고출력뿐만 아니라 싱글샷에서 10 MHz까지 폭넓은 반복률로 새로운 표준을 제시합니다. IceFyre UV30은 60 µJ 이상의 펄스 에너지로 (버스트 모드에서는 더 높은 에너지 가능) 30 W 이상의 출력을 제공하며 싱글샷에서 3 MHz까지 이르는 뛰어난 성능을 전달합니다. IceFyre IR50는 400 kHz 단일 펄스에서 50 W 이상의 IR 출력을 만들어 내며 싱글샷에서 10 MHz까지 뛰어난 성능을 제공합니다.

IceFyre 레이저 고유의 TimeShift™ 디자인은 파이버 레이저의 유연함과 Spectra-Physics 만의 독점적인 출력 증폭 기능을 채택하여 프로그래밍이 가능한 버스트 모드 기술 TimeShift ps 로 업계에서 가장 다양한 기능과 가장 넓은 범용성을 제공합니다. 각각의 IceFyre 모델마다 표준 waveform 세트가 제공됩니다. 선태사양으로 TimeShift ps 전용 프로그램을 이용하여 사용자 정의 waveform 을 만들 수 있습니다. IceFyre 레이저는 동급 최저의 타이밍 지터로 진정한 POD 와 PSO가 가능하도록 설계되어 폴리곤 스캐너와 같은 고속 스캔에서 고품질 가공을 가능하게 합니다.

| | IceFyre GR50 | IceFyre UV30 | IceFyre UV50 | IceFyre IR50 |
|---|---|---|---|---|
| 파장 | 532 nm | 355 nm | | 1064 nm |
| 출력 | >50 W @ 500 kHz | >30 W typical @ 500 kHz<br>>25 W @ 800 kHz<br>>20 W typical @ 1 MHz | >50 W @ 1250 kHz | >50 W @ 400 kHz |
| 최대 펄스 에너지, 보통(Time Shift ps 으로 burst 로 더 큰 펄스에너지 구현 가능) | >100 µJ @ 500 kHz | >60 µJ typical @ 500 kHz<br>>31 µJ @ 800 kHz<br>>20 µJ typical @ 1 MHz | >40 µJ @ 1250 kHz | >200 µJ @ 200 kHz |
| 반복률 범위 | Single shot to 10 MHz | | | |
| 펄스폭, FWHM 반치전폭 | <15 ps (13 typical) | <12 ps (10 ps typical) | | <15 ps (13 typical) |
| TimeShift ps | yes | | | |
| 펄스 간 에너지 안정성 | <2.0% rms, 1 σ | | | <1.5% rms, 1 σ |
| 출력 안정성(온도안정화 후) | <1%, 1 σ, over 8 hours | | | |

mks | Spectra-Physics®
www.spectra-physics.com

Application Note_62_11/22/22
©2022 MKS Instruments, Inc.
Specifications are subject to change without notice.

MKS products provided subject to the US Export Regulations. Diversion or transfer contrary to US law is prohibited.
Spectra-Physics® and IceFyre® are registered trademarks, and TimeShift™ is a trademark of MKS Instruments, Inc. or a subsidiary of MKS Instruments, Inc.