

기획특집
778



새로운 레이저의 출현 통해 다양한 가공영역의 탄생 및 혁신 낳아

전자 및 반도체 산업에서의 레이저 응용 및 시스템 개발 현황

새로운 레이저의 출현과 고도의 생산기술 요구는 레이저 가공의 실용화를 보다 가속화 시키는 견인차가 되고 있다. 레이저 자체에 대한 산업의 규모는 크지 않으나 이를 이용한 제품의 품질향상, 고유기술 영역의 창출 그리고 생산 단가 저하 등이 가져오는 효과는 매우 크다고 하겠다.

1. 서론

레이저가공은 광범위하게, 빠르게 성장하고 있는 기술인 동시에 혁신적인 응용사례가 끊임없이 소개되고 있다.(그림 1) 이로 인해 전자 및 반도체 산업에서 새로운 활용가능성이 제시되고 있다. 레이저 가공이 적용되는 가장 큰 이유는 우선 생산단가 저하, 품질향상, 소형화 그리고 제품개발주기 단축에서 찾을 수 있다. 생산단가 저하는 수율향상, 생산 공정 단축, 유연성 그리고 high up time 등에서 이유를 찾을 수 있다.

2. 새로운 레이저의 출현 - 활용 영역 확대

다양한 레이저의 출현은 다양한 가공영역의 탄생 및 확대를 낳는다. 종래에는 불가능했던 가공이 최근 새로운 성능의 레이저의 출현에 힘입어 가능하게 되고 현장에 적용되고 있다.

90년대 중후반 다이오드 레이저 펄핑 고체레이저(DPSSL)가 소개된 후 그 고효율성과 좋은 빔특성으로 주목을 받으며 많은 개발 및 적

기획특집
174

용이 이루어져왔다. 현재는 독일 등 유럽 국가들을 중심으로 DPSSL의 응용격이라 할 수 있는 Slab Laser, Thin-disk Laser, Fiber Laser 등이 연달아 선을 보이면서 레이저 관련 업계들의 시야를 넓히고, 그동안 가공의 사각지대였던 부분들을 가능케 하거나, 기존의 가공을 저비용 및 개선된 시스템으로 교체하도록 이끌고 있다.

이 새로운 고체레이저들은 매우 좋은 빔특성(Beam quality)을 가지는 것을 주요 특징으로 하는데, 저출력(Low power)에서뿐만 아니라 고출력(High power)에서도 좋은 빔특성을 가지면서 저출력이 주로 활용되는 전자 및 반도체 산업뿐 아니라 자동차 산업이

나 선박, 항공 등 중공업 분야의 고출력 레이저 용접 및 절단 분야에서도 많은 관심을 기울이고 있다.

좋은 빔특성은 레이저 매질의 냉각(Cooling)문제를 혁신적으로 개선한 데서 비롯된다. 기존의 램프펌핑 고체레이저(Lamp-pumped solid state laser)의 경우, 펌핑에너지 및 펌핑에 쓰이지 못하고 버려지는 파장들 때문에 발생하는 많은 열로 인한 매질 내의 열적렌즈효과(Thermal lensing)로 파면(wavefront)이 흐트러져 빔특성이 나빠지거나, 이러한 열로 인한 매질의 불균일한 굴절을 변화는 이방성(Anisotropy)을 유발시켜 레이저광의 복굴절을 일으키기도 한다. 다이오드 레이저 펌핑은 이러한 문제를 많이 개선하였으나 봉(rod) 형태의 레이저 매질의 근본적인 냉각한계로 인해, 고출력의 경우엔 빔특성이 나빠지는 문제를 극복하기 힘들었다.

이에 Slab Laser는 평판형(slab) 매질을 사용하여 냉각문제를 해결한다. 좁은 옆면으로 펌핑 및 레이저증폭이 일어나고 넓은 상하면을 통해 냉각을 하게 되면 고출력이 가능하고, 전기 광학적 Q-switching 등을 통해 짧은 펄스폭을 만들어 MW급의 첨두출력이 가능하다. 현재 100W까지는 상용화되어 있으며 1kW급 이상이 개발 중이다. Thin-disk Laser는 평판원형(disk)의 매질을 10mm 내외의 지름에 0.1-0.2mm의 두께로 만들어 한쪽 면에서 펌핑하고 반대쪽 면에서 냉각을 한다. 이러한 평판원형(disk) 매질을 공진기 내에 여러 개 배치하거나 MOPA 기술과 접목하면 고출력이 가능하게 되는데, 현재 고체레이저 중 가장 좋은 빔 특성을 가진다. 제품으로는 4kW급까지 소개되고 있다. 상기 소개된 End pumping, Thin disk 및 Slab laser 들은 온도상승에 의한 열팽창 방향과 레이저 빔의 진행방향이 같으므로 Thermal lensing 효과가 비교적 적어 고출력에서도 좋은 빔의 품질을 유지할 수 있다.

한편 Fiber Laser는 수백 μm 의 지름을 가진 수십m 길이의 공진기 형태를 띠어 부피 대비 냉각면적이 가장 크다고 할 수 있다. EDFA 등 광통신을 위해 개발되었던 다이오드 레이저들이 Fiber Laser쪽으로 전용되고, 다이오드 레이저 펌핑 광과 광섬유 사이의 커플링 방법이 개발되면서 고출력 Fiber Laser 개발이 급속히 이루어졌다. Fiber Laser는 시스템의 부피가 매우 작아질뿐만 아니라 유지관리 비용이 거의 들어가지 않는다는 장점을 가진다. 현재 단일모드(single-mode)로는 수백 W의 출력이 가능하고, 다중모드(multi-mode)로는 10kW 급의 제품이 나오고 있다.

이러한 새로운 고체레이저들은 20~50%에 이르는 높은 효율의 레이저발진을 하면서 고출력의 좋은 빔특성을 가지기 때문에 기존의 고출력 레이저용접 및 절단 응용분야에 큰 관심을 불러일으키고 있다.

미세가공 기술의 발전은 초단펄스(Ultra-short pulse) 레이저의 출현으로 넓은 영역에서 가속화되고 있다. 기존의 레이저 가공은 열에 의해 가공부위의 품질변화를 유발하는데, 레이저 조사시간이 열의 침투시간보다 짧게 함으로써 열 영향 부위를 최소화 하는 것이 초단펄스 레이저에서 가능하다. 대표적으로 Ti:Saphir 레이저가 있다.

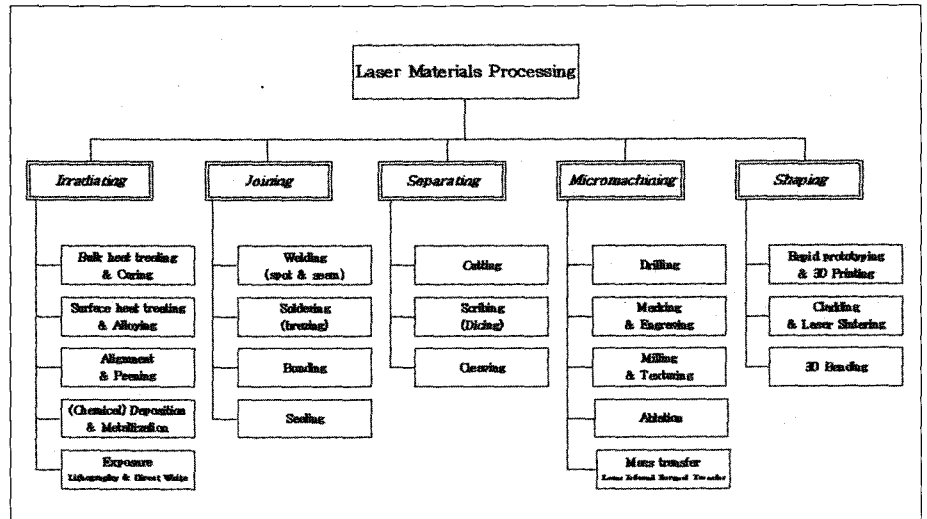


그림 1. 레이저 가공의 종류

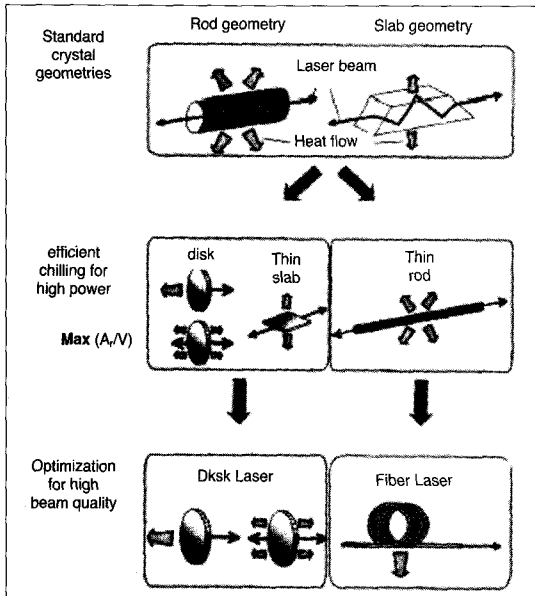


그림 2. 고체레이저 매질의 발전단계(발해: Stewen C. Scheiblenaser mit kW-Dauer-Strichleistung, ISFW technical report)

3. 가공 기술 및 시스템 현황

3.1 플라스틱 용접

플라스틱 용접의 전제조건은 용접대상중 적어도 1개 재질은 레이저 빔을 흡수해야 한다. 조인트 형상으로 맞대기용접(I-butt joint) 과 겹침용접(Overlap joint)이 대표적이다. 고출력 다이오드 레이저의 출현으로 플라스틱 용접은 점차 확대 적용되는 추세이다.

3.2 유리가공

유리가공의 대표격은 CO₂ 레이저를 이용한 절단이라고 할 수 있다. 레이저가 조사된 부위가 급랭하게 되면 인장응력이 발생되어 파단에 이르게 된다. 파단의 속도와 레이저 빔의 이송속도를 동일시하는 것이 관건이라고 할 수 있다. 유리의 파단속도는 통상 음속의 3배이나 레이저 절단에서는 그보다 느린 속도에서 파단이 진행되어야 한다. 현재 스크라이빙/브레이킹 방법이 주로 쓰이고, 소위 순수 레이저 절단, 즉 브레이킹 공정이 없는 Full body separation 은 여러 이유에서 양산 공정에서 활용되고 있지 않다. 본 공법은 기계적인 절단의 단점인 유리파편이 없어 디스플레이 산업에서 각광을 받을 것이다.

최근 침투출력이 높은(0.6MW 이상) Diode pumped slab 레이저의 출현으로 유리가공에 새로운 가능성을 제시하고 있다. 우리는 고체레이저 빔이 투과하므로 UV 레이저로 가공이 가능했으나, 침투출력이 충분히 높으면 초점부위에서 이상흡수 현상이 나타나 흡수율이 거의 100%에 가깝게 증가한다. 향후 Slab 레이저를 이용한 유리가공이 활발하게 전개되리라 예상된다.

3.3 웨이퍼 절단

웨이퍼의 두께가 얇아지고 있다. 이는 집적밀도를 높이기 위한 3차원 Packaging 필요, 처리속도의 증가로 인한 발열량의 증가에 대응하기 위해 또는 경박단소화(스마트칩)를 추구하기 위해서이다. 웨이퍼 두께가 얇아짐에 따라 기존의 다이아몬드 휠을 이용한 기계적인 절단 방법의 한계에 이르게 되어, 대체 방법 중의 하나로 레이저 절단이 주목을 받고 있다.

레이저 절단에는 우선 Water jet guided laser cutting 방법을 꼽을 수 있다. 원리는 광도파관 역할을 하는 물줄기에 레이저빔을 인입시켜 물줄기와 레이저빔이 동시에 가공물에 작용하도록 한다. 물은 도파관 역할 및 냉각효과를 하여 가공부위의 온도상승을 억제하고, 가공찌꺼기를 제거하는 역할도 한다. 1064, 532 그리고 355nm 파장의 레이저빔 모두 활용가능하며, 그간 10년에 걸친 연구 실적이 절맞게 많은 기술적인 장애를 극복하여 현재 일부 업체에서 활용하고 있다. 장점으로 100W 급의 레이저를 사용할 수 있어 절단속도가 유사 장비보다 빠르다. 단점으로 물을 사용함에 따라 물에 의한 변수가 많아진 것이다. 즉 물의 품질, 압력, 온도 그리고 레이저빔을 물줄기에 인입하기 위한 정밀정렬의 안정성 확보 등이 아직 미흡하다. 실리콘에 흡수가 잘되는 355nm의 레이저를 사용하여 건식 절단방법이 소개되고 있다. 이는 아직 나노초의 펄스길이의 한계인 열적 손상을 극복하는 것이 큰 숙제로 남아있다. 일부에서는 실리콘이 1064nm 에 투과되는 점을 이용하여 웨이퍼 내부에 집중적으로 흡수시켜 열응력을 이용해 절단을 시도하기도 한다. 그러나 실리콘 웨이퍼는 단결정이므로 절정방향에 따라 파단강도가 다르므로 이를 해결하는 것이 관건이라고 할 수 있다. 기존의 기계절단기를 생산하던 업체에서는 웨이퍼 표면의 Low K 물질을 레이저로 제거한 후 기계적 절단을 응용한 소위 하이브리드 절단방법을 소개하고 있다. 그러나 얇은 웨이퍼에는 기계적 절단의 단점인 칩핑 현상으로 적용에 문제가 있다고 사료된다.

3.4 웨이퍼 다이 마킹(Wafer backside marking)

Chipscale packaging에서는 웨이퍼를 몰딩공정없이 웨이퍼 상태의 칩으로 사용한다. 따라서 종래의 몰딩표면에 마킹하던 것을 웨



이퍼에 직접 마킹하게 되었다. 마킹의 목적은 제품의 추적을 위한 것이며 동시에 유사제품 구별 또는 변조 등을 방지하기 위함이다. 웨이퍼 뒷면에 마킹을 하게 되고 통상 532 nm를 사용하여 3um 깊이 정도로 마킹하여 내부 회로에 손상이 없도록 한다. 현재 다이 크기가 0.7×1.0mm 까지 마킹되고 있고 점차 적어지는 추세에 있어 높은 마킹 정밀도가 요구된다. 웨이퍼가 300mm 화됨에 따라 마킹 영역은 확대되는 동시에 정밀도 향상요구를 충족해야하는 이중고를 겪고 있다.

3.5 레이저 드릴링

회로의 고집적화는 PCB 기판의 고집적화를 요구하게 되어 비아홀의 크기의 축소뿐 아니라 홀의 밀도 또한 증대되어 가고 있다. 홀 위치의 정밀도 향상요구는 Large window 공법의 채택으로 위치정밀도 15um 에 이르게 되었다. 속도의 향상요구는 Multihead 드릴러의 출현을 강요했고 심지어 4 Head 드릴러의 출현이 예고되고 있다. 현재 CO₂ 레이저를 이용한 드릴러가 주종을 이루나 향후 홀 직경이 50um 이하로 내려갈 경우 UV 드릴러가 주인공 역할을 하게 될 전망이다.

3.6 레이저 클리닝

레이저 클리닝의 장점인 건식, 유연성, 선택적인 점과 환경 부담감에 따른 습식방법의 원가상승 그리고 클리닝에 적합한 새로운 레이저의 출현이 서로 상승작용을 하여 향후 레이저 클리닝의 가파른 상승이 예고된다. 레이저 클리닝을 선택하는 또 다른 이유로 비아홀 직경이 적어짐에 따라 기존의 플라즈마 또는 습식 클리닝의 한계에 도달했다는 것이다.

3.7 레이저 패터닝(Laser patterning/Laser dry etching)

대표적인 예로써 ITO(Indium Tin Oxide) 건식에칭을 들 수 있다. PET 필름 또는 유리위에 도포된 ITO 박막을 레이저로 직접 주사하여 회로패턴을 만드는 것으로 종래 습식에칭의 단점인 마스크 가공, 초기시설 투자비 과다 및 환경오염 등이 없다. 그러나 다품종 소량생산에는 적합하나 다량생산시 습식에 비해 생산단가 및 가공시간 면에서 아직 불리하다. 그러나 점차 환경친화적 공법이 각광을 받음에 따라 수요가 증대 될 것으로 사료된다.

4. 결론

그림 3은 고체레이저의 펄스길이 대비 첨두 출력과 평균 출력을 정리한 것이다. 짧은 펄스에 높은 첨두 출력뿐 아니라 높은 평균 출력을 갖는 레이저의 출현은 새로운 가공영역의 확대뿐 아니라 높은 생산 속도도 기대할 수 있어 경제성 확보도 수반된다고 판단된다. 이와 같이 새로운 레이저의 출현과 고도의 생산기술 요구는 레이저 가공의 실용화를 보다 가속화시키는 견인차가 되고 있다. 레이저자체에 대한 산업의 규모는 크지 않으나 이를 이용한 제품의 품질향상, 고기술 영역의 창출 그리고 생산단가 저하 등이 가져오는 효과는 매우 크다고 하겠다.

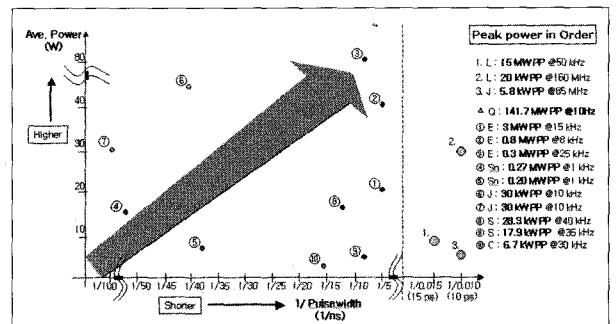



그림 3. DPSSL Trend Map of 1064nm

참고문헌

- 박정래, 한유희, 전창수 : 파이버레이저를 이용한 원거리 용접의 이론적 고찰 추계 레이저 가공학회 학술대회. 2003. 10.30.



한유희
 (주)이오테크닉스 부사장
 레이저공학 박사