

생산기술을 혁신하는 전기 전자분야의 레이저 가공기술

강 영 식
(LG생산기술원 책임연구원)

1. 서 언

레이저에 의한 재료가공 기술은 많은 산업 분야에서 보편화됨에 따라 그 응용 범위도 다양화되고 있다. 이러한 기술은 나날이 발전되고 있는 주변 기술들로 하여금 레이저 가공기의 고성능화로 특수한 목적의 가공기술의 연구가 한층 심화 개발되고 있다. 따라서 고도화되고 있는 전기, 전자산업이나 자동차, 통신산업 등의 신제품 생산을 위한 신공법으로 보다 많은 사례를 보이고 있다.

실제 레이저를 이용한 가공기술은 종래의 가공기술을 단순화할 뿐 아니라 운영 및 제조비용을 대폭적으로 삭감할 수 있다. 최근에는 전자, 통신분야에 있어서 새로운 멀티미디어 제품의 보급과 더불어 진보된 생산가공 프로세스로서 여러 분야에 그 요구조건을 충족시키고 있다. 그리고 기타 산업계에서도 레이저의 고밀도 빔 에너지를 효율적으로 사용하기 위하여 성능, 품질, 고신뢰도화를 바탕으로 박막가공, 미세가공, 신소재, 복합재료 가공, 청정기술 및 청정 에너지 등의 가공 분야에서 적절히 사용되고 있다.

본 자료에서는 전기, 전자산업 분야에서 실용화되고 있는 대표적인 레이저 가공 기술들을 열거하였으며 회로분야, 전자, 전기기기 등 다양한 가상 최근에 해당하는 물질 제거가공, 표면개질 및 기타 레이저 응용 가공기술 중심으로 소개한다.

2. 최근 레이저 가공기술

새로운 공법에 의하여 생산기술을 혁신하는 레이저 가공 기술은 전자, 전기 및 멀티미디어부품에 관련된 분야가 많다. 가공에 사용되어지는 레이저는 파장이 짧은 단파장대의 레이저가공기술이 실용화되어 다수 적용되고 있으며, 다음과 같은 분야에 주로 활용이 되고 있다.

- 1) 레이저 드릴링
 - Ink Jet Printer의 Nozzle Hole 가공
 - FPC 및 MLB기판의 Hole 가공

- TAB(Tape Automated Bonding) 및 Micro-BGA Hole 가공
- 2) 레이저 트리밍 및 리페어가공
 - 반고정 및 박막 저항기
 - 휴대폰용 필터 부품
 - 평판 디스플레이류의 패턴 수정
- 3) 레이저 박막형성
- 4) 레이저 표면개질
- 5) 레이저 스크라이빙 및 커팅
- 6) 레이저 패턴닝(Direct Writing)
- 7) 레이저 焼成(Curing)

이상의 가공은 CO₂, TEA CO₂ 레이저나 YAG, YLF레이저의 제2, 3, 4고조파, 엑시머 레이저, 반도체 레이저로서 가공에 적용되고 있다.

표 1. 전기, 전자산업에 있어서 대표적인 레이저 가공.

제품구분	제품	레이저 가공법
회로부품	ICD, LSI Chip회로 실장기판 기부부품 광모듈	마스크 가공, 회로 리페어 저온poly 어닐링, 트리밍 Via-Hole 가공 모터, 릴레이 부품 광모듈 집합
전자기기	디스플레이 하드디스크 프린터 휴대폰	전자총집합, 마스크집합, 패턴리페어, 패터닝 하드 디스크, 텍스츄어 가공 잉크젯 노즐 가공 필터 가공, 마킹
전 원	리튬 전지 박막태양전지	금속케이스 밀봉집합 모듈 형성용 패턴닝

특히 최근에는 새로운 분야에 대한 개발이 계속적으로 진행되고 있으며, 유리나 세라믹재료의 표면에 형성된 박막을 제거하는 레이저 패턴닝 가공은 노광 및 Wet공정에 대응하는 친환경 프로세스로서 활발히 개발중이다.

TEA CO₂ 레이저는 폴리머에 대하여 가공특성이 우수하기 때문에 전자 부품 이외에 복사기의 가열 로울러 피막제거나 가스켓의 피막제거 등 레이저 크리닝 기술로 개발중이며 또한 폴리머로 구성된 부품의 제거가공에 실용화가 가속화되고 있다.

2.1. 레이저 드릴링

프린트 기판을 비롯한 고밀도화에 따라 미세Hole의 종류 및 그 형상이 다양하고 활용분야의 수요가 크게 증가되고 있는 실정이다. 실제 프린트 기판은 고밀도화에 대응하기 위해서는 0.3 mm 이하의 미세 구멍가공이 필수적인 상황으로, 이와 같은 요구에 기존 기계적 드릴링 방식은 대응이 곤란하다. 따라서 레이저에 의한 프린트 기판 등의 미세 구멍 가공방법 및 그 장치들이 개발되어지고 있다. 또한 경박 단소 및 고밀도화와 더불어 가공 위치의 정도가 높게 요구됨에 따라 미세 정밀 표면실장기술(SMT)을 실현하는데 있어 변형이 적은 글래스 에폭시 등의 유리섬유를 포함한 복합재료가 기판의 재료로 사용된다. 이러한 종류의 재료들은 기계가공이 곤란하므로 레이저 가공법이 적용되고 있다. 국내 프린트 기판용 Via-Hole가공시스템은 현재 전량 수입하고 있으며, 상당수PCB메이커들은 적용단계에 있다. 그림 1은 레이저 드릴링 시스템의 원리를 나타내고 있으며, 그림 2는 PEI를 실제 가공한 사진이다.

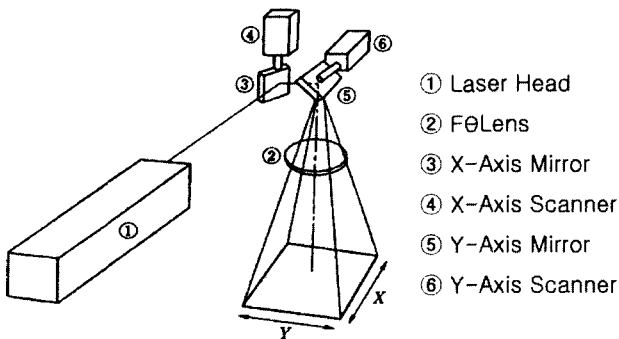
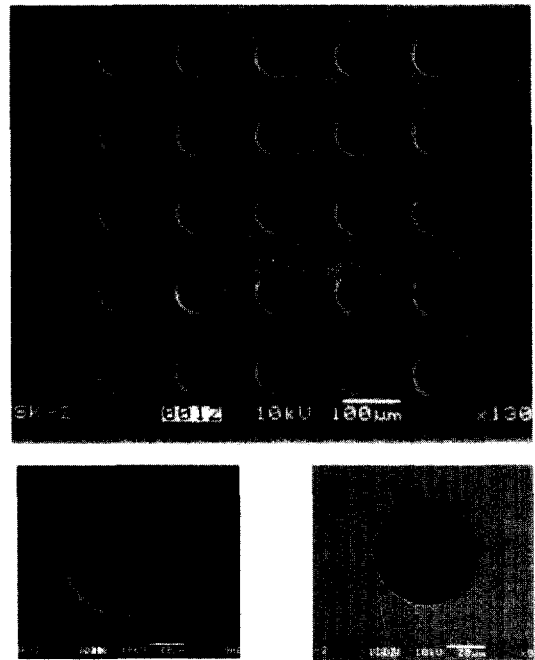


그림 1. 레이저 드릴링 시스템의 원리.

레이저 드릴링용 발진기는 종래 CO₂ 레이저를 Shot Pulse화한 것이나 TEA CO₂ 레이저 및 YAG레이저의 제4고조파가 고밀도 다층 프린트 기판의 가공에 실용화되고 있다. 이러한 레이저 가공을 이용하여 다음과 같은 가공이 가능하다.

- 1) Via-Hole 가공지름 70 μm 가공
- 2) 기판 두께 50 μm 정도 다층기판에 대하여 매초 100개 정도의 Hole 가공
- 3) Hole의 위치정도는 ±20 μm 이내
- 4) 두께 1.6 mm 글래스 에폭시 기판에 지름대비 깊이가 깊은 Through-Hole 가공

레이저 드릴링 가공기술은 프린트 배선용 기판에 Hole을 형성한 후 다음 공정인Cu도금이 도전성이나 내구성이 유지되지 않으면 안된다는 점을 고려해야 한다. 글래스 에폭시



(a) 가공부 상면 (b) 가공부 하면

그림 2. PEI(Polyetherimid) 레이저 드릴링

(FR4.5) 기판의 구멍가공에서는 유리섬유가 레이저 빔과 반응하여 양호하게 가공되어지는 것도 중요한 문제로 남아 있다.

2.2. 레이저 트리밍 및 리페어링

반고정 저항기는 가변형의 기구부를 가지고 있기 때문에 구조상 진동이나 충격 등으로 설정치가 움직일 가능성이 있고, 접촉점이 기구적으로 이루어져 있으므로 장기간에 걸쳐 사용하는데 있어 안정성과 신뢰성을 가지는데 문제점이 있다. 레이저 트리밍은 박막저항기를 레이저 빔을 이용하여 저항기의 일부를 제거함으로써 저항치를 조절하는 것으로 고정도 및 고속으로 자동저항 조절이 가능하다.

YAG레이저 가공기로 트리밍을 할 경우, 온도의 보상이나 트리밍 후 저항치의 변화가 대체로 없다. 레이저 가공에 의한 트리밍은 포토 리소그라피 그 자체를 가공하는 한 패턴닝과 유사한 형태가 얻어지기 때문에 굉장히 광범위한 저항치의 조절이 가능하다.

그림 3은 레이저 트리밍 후 박막저항기의 가공된 형성을 나타내고 있다.

한편 레이저 트리밍 기술과 유사한 레이저 리페어링 기술은 전공정에서 발생된 결함이 있는 패턴을 제거하는 후 공정에서 필수 불가결한 공정기술이다. 이 기술의 주된 분야는 평판 디스플레이 장치인 LCD, PDP, FED 및 OEL 등 미세 패턴 형성시 박막 및 후막 패턴의 단락, 돌기, 섬 등의 패턴의 결함을 수정하여 수율을 향상시키는 것으로 핵심공정에 해당한다. 여기에 따른 리페어링 기술은 레이저 빔을 결상시켜 결함부를 제거하거나 미세 초점을 만들어 결함부

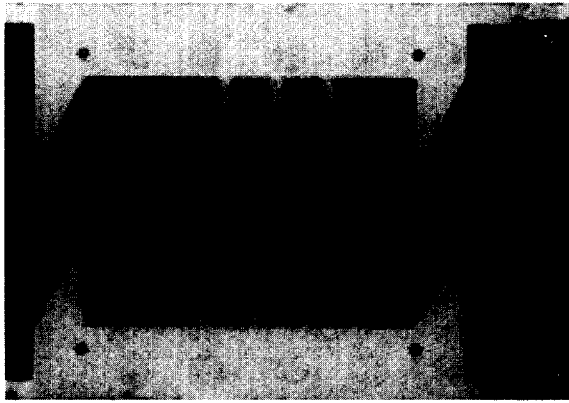
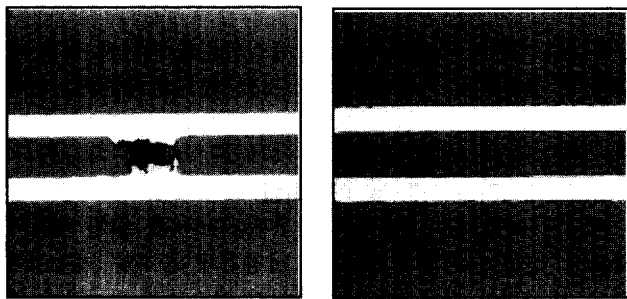


그림 3. 트리밍한 박막저항.

를 스캐닝하는 방법 등으로 각 메이커들의 기관에 따라 프로세스 및 장비들을 개발되고 있다. 이렇게 하여 평판 디스플레이 장치의 제조 수율 및 생산성을 향상시키는데 리페어링 시스템이 크게 기여하고 있고, 포토 마스크의 패턴 결함을 수정하는 용도로도 이용되고 있다.

그림 4는 패턴의 대표적인 결함 형상과 이를 레이저 빔으로 수정한 패턴을 나타내고 있다.



a)리페어 전

b)리페어 후

그림 4. FPD용 패턴 리페어

2.3. 레이저 박막형성

펄스폭이 수십 ns 이하의 고강도 단펄스의 레이저빔을 타겟에 조사하여 타겟 재료를 어블레이션(Ablation)하면 플룸(plume)이라는 발광영역에서 펄스의 형태로 발생한다. 그림 5는 SrTiO₃ 타겟을 1.3Pa의 산소분위기 중에서 레이저 어블레이션 시켜서 발생하는 플룸의 사진이다. 플룸을 구성하는 원자나 이온의 속도는 수eV~수십eV로 증발이나 스퍼터링 등의 박막 형성시키는 방법보다도 속도가 빠르다. 이러한 방법으로 기관에 대상 박막을 증착시켜 박막을 형성한다. 레이저 박막을 형성하는 방법은 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

- 1) 조성의 오차가 적다.
- 2) 고압의 가스 분위기에서도 가능하다.
- 3) 비교적 저온에서의 박막형성이 가능하다.

이상의 특징으로 초전도체, 유전체, 자성체 등의 기능성 박막을

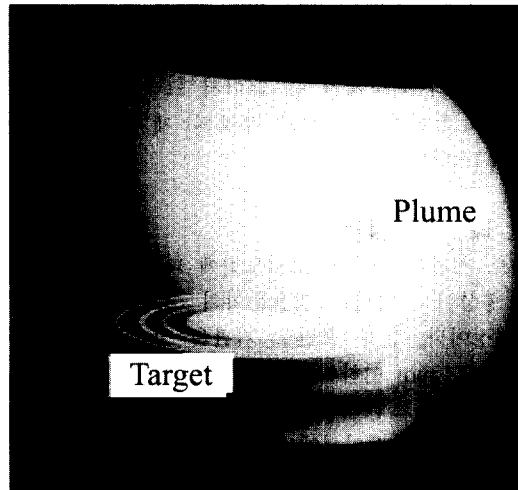


그림 5. 타겟 재료에서 발생하는 플룸.

이용하여 전자부품의 연구나 개발에 있어서 폭넓게 이용되고 있다. 따라서 레이저 어블레이션에 의한 금속박막과 軟자성 페라이트 박막의 형성을 비롯하여 응용분야가 확대되고 있다.

이러한 금속 박막의 형성 방법은 레이저 빔이 투과하는 기관재료에 타겟재료를 놓은 다음 타겟에 해당되는 금속층에 레이저를 조사하여 기관에 금속층을 형성시키는 것이다. 이 방법으로 수정 진동자의 전극부에 금속막을 증착시켜서 주파수 조정이 가능하다. 그림 6은 수정 진동자의 전극부 금속 박막의 증착 개요도를 나타내고 있다. 그림 7은 글래스 기관상에 패턴의 일부를 재생하기 위하여 패턴의 결함 수정용 장치를 나타내고 있다. 진공 챔버내에 원료가스를 투입하고 레이저 빔을 조사하면 금속층을 형성하게 된다. 이때 오픈된 패턴은 LCVD(Laser Chemical Vapor Deposition)에 의해 통전이 가능한 패턴이 된다. 그림 8은 LCD 패널에 실제 수정한 실례를 나타낸 것이다. 광학계에 국부적으로 빔을 집중시켜 그림과 같은 패턴을 형성하고 있으며 현재 LCD 및 PDP 리페어링 시스템에 적용되고 있다.

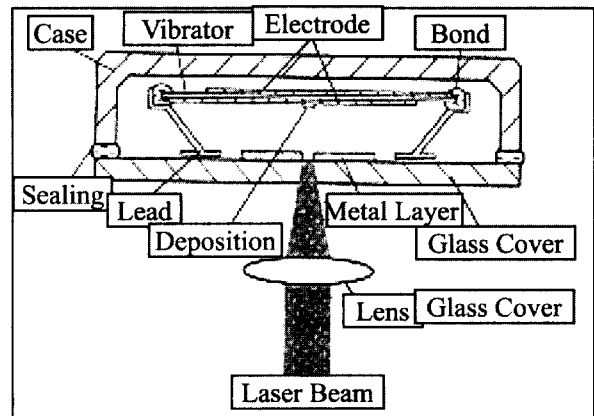


그림 6. 전극에 의한 금속입자의 증착.

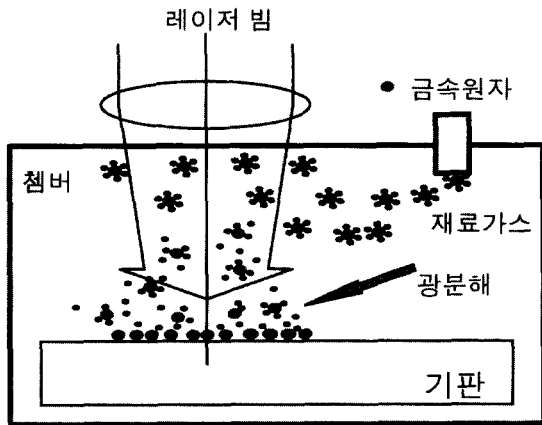


그림 7. LCVD 개념도(Direct Writing).

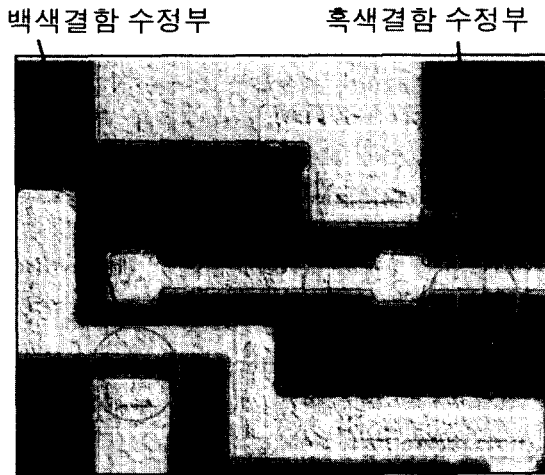


그림 8. LCD 패턴 수정부.

2.4. 레이저 표면개질

박막에 레이저 빔을 조사하여 표면의 성질을 변화시키는 표면개질 기술도 개발되고 있다. 세라믹과 금속의 접합으로 엑시머 레이저를 세라믹의 표면에 조사하여 접합을 용이하게 하는 방법, 세라믹에 조사하여 기계가공을 용이하게 하는 방법, 불소수지나 금속에 조사해서 표면개질하여 조직을 변화시킨 후 접착강도를 크게 향상시키는 방법, 또한 불소수지에 레이저 빔을 조사하여 표면개질된 것을 금속 도금하는 등 여러 방법들이 계속하여 개발이 진행되고 있다.

한편으로 대표적인 평판 디스플레이용으로 주목받고 있는 엑시머 레이저 가공기술로 드라이브 일체형 다결정 Si(Polycrystalline : Poly-Si) TFT LCD를 어닐링하는 기술이 실용화 되었다. 레이저를 이용한 어닐링 방법은 일반적으로 YAG, CO₂, Ar 레이저 등을 이용하여 시료에 빔을 조사하여 온도를 상승시켜 가열하는 프로세스이다. 그러나, Poly-Si TFT LCD의 어닐링 기술은 글래스 기판상에서 형성된 박막이 500Å의 a-Si막을 가공하는 것으로 기판에 열적 손상을 부여하지 않고 결정화시키는 기술이다. 그림 9는 엑시머 레이저 어닐링 장치의 개략도이다. 레이저 빔은 반

사경, 빔균일화 장치 등을 거쳐 a-Si막이 증착된 글래스 기판위에 선형 빔의 형태로 조사된다. 이 방법으로 X-Y Stage를 이동하면서 Poly-Si막을 형성한다. 그림 10은 엑시머 레이저에 의한 Poly-Si막의 온도에 따른 SEM사진을 나타내고 있다.

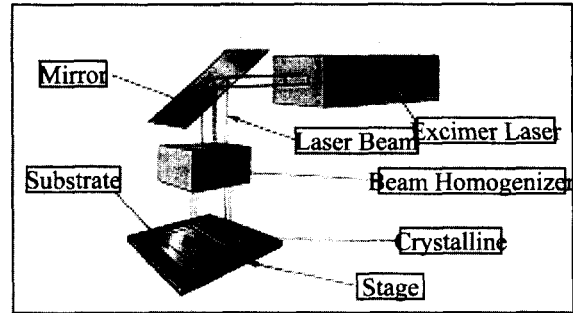
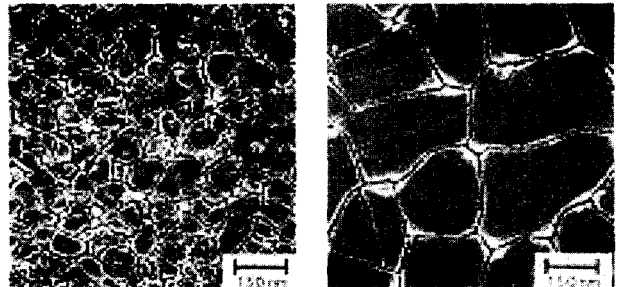


그림 9. 엑시머 레이저에 의한 어닐링 시스템의 원리.



a) 기판온도: 상온 b) 기판온도: 400°C

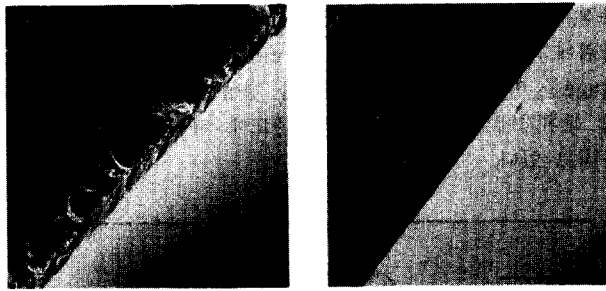
그림 10. 엑시머 레이저에 의한 어닐링 (Poly-Si의 SEM사진)

이와 비슷한 방법으로 기판상의 불순물을 활성화시키는 방법 등도 실용화되고 있으며 반도체 재료 프로세스의 스텝퍼에도 활용이 기대된다.

2.5. 글래스 스크라이빙 및 커팅

유리 제품의 절단을 위한 지금까지 소개되어진 기술 중에서 보편화된 기술이 다이아몬드 팁 또는 초경 카바이드 휠을 이용하는 휠 스크라이빙이 주류를 이루고 있다. 그러나 최근에는 레이저를 이용하여 유리를 용융하지 않고 레이저의 국부적인 열원을 이용하여 열충격에 의하여 스크라이빙 또는 커팅 방법이 최근에 Prototype 수준에서 양산화 가능한 장비로 개발되고 있다.

이 기술은 유리의 흡수 가공성이 우수한 CO₂ 레이저 발진기를 이용하여 광학계로 특수한 빔 형상을 구현하여 유리 표면에 가열하면서 이동시키고 이 가열된 부위를 국부적으로 급랭시켜 열충격을 가하게 하는 것이다. 이와 같이 열충격에 의해 유리에 균열을 유도하여 절단하는 유리 절단공법이다. 그림 11은 기존 및 레이저로 절단한 절단 단면의 형상을 나타내고 있다. 기존 절단면은 미세균열이 존



a) 종전 절단 단면 형상 b) 레이저 절단 단면 형상

그림 11. 레이저 글래스 커팅의 단면 형상.

재하는 반면 레이저 절단법은 가공면의 정도가 우수하고 글래스의 부스러기가 발생되지 않는 후가공이 필요 없는 공법으로 되어 있다. 따라서 LCD 등 평판 디스플레이용 패널에 있어 후공정의 연마 및 세정이 불필요하다. 본 장치는 최근 라인용 설비가 개발되어 상용화 되었으며 LCD, PDP, OEL 및 FED에 반도체 웨이퍼나 브라운관 봉지 공정 등 모든 유리 제품의 커팅 공정에 적용 가능하리라 사료된다.

2.6. 레이저 패턴닝

레이저 패턴닝 가공은 기판상에 스퍼터링 혹은 막형성된 것을 레이저 빔을 이용하여 패턴폭에 해당하는 양만큼 직접적으로 제거가공하는 기술이다. 그림 12는 ITO막을 레이저 패턴닝한 것을 나타낸 것이다. 이것은 기존의 노광 등 Wet공정에 대응하는 친환경 프로세스로서 Wet 공정의 PR 코팅, 노광, 현상, 세정 등 획기적인 공정 단축이 가능하다. 레이저 패턴닝 기술은 1985년 미국의 Peter Barbee가 레이저를 이용하여 ITO막을 부분적으로 제거하는 기술로부터 시작되었다. 사용되는 레이저는 CO₂ 및 YAG 레이저 가공기를 사용하고 있으나 고정세화를 위하여 Nd:YLF를 이용하여 선폭 2 μm까지 구현하고 있다. 이것은 펄스를 극히 좁은 폭(≤ 1 ps 이하)으로 하여 열영향을 최소화하고 대면적 대응을 위한 가공속도 향상을 위해 이용되고 있다.

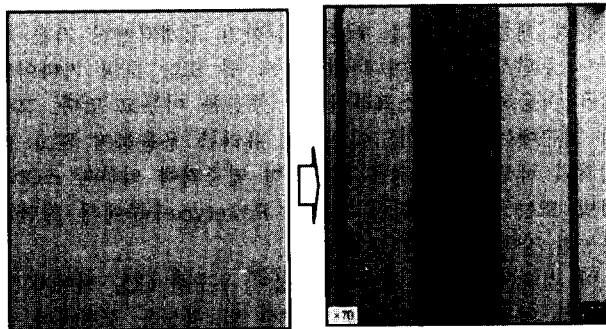


그림 12. ITO막의 레이저 패턴닝 형상.

실제 ITO전극의 패턴형성에 있어서 레이저를 이용한 패턴닝 공법은 공정수 단축(6工程 → 1工程), 투자비 등을 절감하며 대화면 및 고정세화 되고 있는 PDP, LCD 등의

FPD용 디바이스에 급속히 발전하고 있는 생산시스템으로 대응 가능하다.

2.7. 레이저 燒成기술

레이저를 이용한 가공법 중 물질을 가열하여 경화 시키는 방법으로 대상물질과 레이저의 특정 파장을 선정하여 적당한 에너지를 부과하면 페이스트상의 재료 혹은 고형재를 재용융하여 경화시키는 것이 가능하다. 이러한 방법을 응용하여 평판 디스플레이 장치의 글래스 상하 기판을 합착하는 용도로 이용되고 있다. 기존의 합착 방법은 일정 온도로 유지된 가열로에서 소성시킨다. 이와 같은 방법은 장시간 예열, 온도유지, 후열 공정이 수반되므로 가공시간이 많이 소요되는 단점을 가지고 있다. 레이저 소성 기술은 저온 영역에서 소성부의 기밀 및 강도의 신뢰성이 유지되면서 고속으로 가공이 가능하지만 아직 연구단계에 있다. 특히 평판 디스플레이 장치에서 기대되는 프로세스이며 레이저 실링(sealing) 기술이라고 볼 수 있다. 그림 13은 실제 평판 디스플레이 장치에 적용하여 레이저 실링한 것을 나타낸 것이다. 이와 같이 평판 디스플레이용 패널의 프리트(frit)소성 공정에 있어, 패널내 진공도 향상, 패널내 불순물 극소화, 가스 충전율 향상 등 품질적 측면과, 소성 공정의 리드타임 단축, 에너지 절감, 설비 스페이스 절감 등 생산코스트 측면의 경쟁력을 확보하기 위하여 레이저를 이용한 실링 공법이 개발되고 있다.

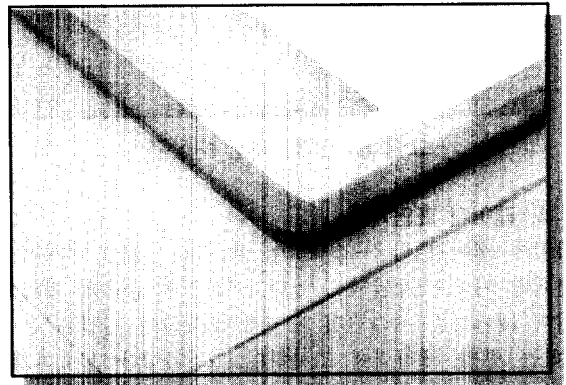


그림 13. 평판 디스플레이용 상하판 레이저 실링.

3. 결 언

이상으로 생산기술을 혁신하는 레이저 가공의 대표적인 기술을 나열하였다. 아직 미성숙 단계의 레이저 가공 기술은 전기, 전자산업 및 멀티미디어 분야에서 고속, 고정도화, 고신뢰성을 추구하기 위하여 계속적으로 기술의 개발에 박차를 가하고 있으며, 실제 생산라인에서는 저 코스트화와 불량률 감소를 위하여 엔지니어들은 새로운 공법에 대하여 대단히 의욕적이다. 그래서 새로운 방식의 레이저나 레이저 가공기술을 응용하여 생산기술에 적용할 때 부가가치를 더

속 높일 가능성이 큰 분야중의 하나이다. 현재 연구 개발이 진행되고 있지만 레이저 크리닝 기술이나 Sub-ns, fs의 Short Pulse 레이저에 의한 우수한 발전 특성으로 실용화되면서 가장 큰 혜택을 받을 수 있는 분야가 전기, 전자분야가 될 것으로 생각된다. 또한 지구의 온난화 대책으로 에너지원의 친환경적 요구에 따라 박막 태양전지의 저 코스트화로 광범위한 보급이 예상되면서 태양 전지 분야의 모듈 형성용으로 레이저 패터닝 가공 등이 혁신적으로 이용되고 있다.

따라서 레이저 가공 기술은 전기, 전자분야뿐 아니라 전 산업의 공통기술로서 높은 응용도에 따라 더욱 비약적인 발전이 예상되며 생산기술 분야를 선도할 핵심 기술로 주목받음과 동시에 신 성장 기술로서 전략적인 육성이 필요하다.

참 고 문 헌

[1] E. Byer et al, New Aspects in Laser Welding with an Increased Efficiency , Proc. ICALEO94.
 [2] S. Takeno and M Moriyasu, Applications of Laser and Electro-optics , Proc. 11th, 1992, p495.
 [3] X. Liu, D. Du and G. Mourou, IEEE J. Quantum Electron. QE-33, 1997, 1706.
 [4] P. R. Herman, G. Goodno et al, Proc. SPIE, Vol.3618, 1999.

[5] J. Zhang, K. Sugioka and K. Midorikawa, Appl. Phys. A67, 1998, 499.
 [6] J. Zhang, K. Sugioka and K. Midorikawa, Appl. Phys. A67, 1998, 545.
 [7] K. Funami, J. Nishii, H. Yamanaka and H. Hosono, Phy. Rev. B52,1995, 1184.
 [8] T. Hino et al, PLD of Tantalum-Oxide Films Using 5%-Ozone Gas, ICALEO97.
 [9] J. Wang, H. Niino and A. Yabe, Appl. Phys. A68, 1999, 111.

저 자 소개



강 형 식 (姜 焜 植)

LG생산기술원 책임연구원(공박). Laser Material Processing전공. 오사카대 위탁연구원(1994). 장영실상 수상1회, KT 2회, NT 1회. Advanced Laser Glass Cutting기술개발/FPD Laser Repairing기술개발. Laser Patterning기술개발/Laser 미세가공기술 개발. Laser Joining Monitoring 기술개발/Laser Inside Glass 가공 기술개발.