

박막 패턴의 레이저 리페어 연구

A Study of Laser Repair for Thin Film Pattern

강형식*, 홍성준*, 최종윤*, 홍순국*, 전태욱**

H. S. Kang*, S. J. Hong*, J. Y. Choi*, S. K. Hong*, T. O. Jun**

*LG전자생산기술센터, **동아대학교

(1998년 6월 25일 받음)

Abstract

Laser ablation system for microscopic defect in thin film pattern was developed in this study.

For the varification of this study, several laser ablation tests were accomplished. The ablated shape of thin film and the surface of base glass were analyzed by use of microscopic tools and EPMA.

After some tests of thin film, the specification of laser and optical unit.(max. laser energy is 25mJ, wavelength is 532nm, Q-switched Nd-YAG laser, frequency is 20Hz, Auto-focus unit is LD type.)

시스템 개발을 위한 선행 과제로 미세 박막의 Laser Ablation 가공의 방법 및 가공 상태에 대하여 고찰하고 Laser의 가공 조건에 따른 박막의 가공 상태 변화를 조사하기 위하여 직접 실험을 행하였으며, 이를 바탕으로 하여 Ablation 시스템의 주요 사양 및 기능들을 선정하였다.

본 연구에서 개발한 시스템은 미세 박막의 가공성을 고려하여 박막의 표면 조사 방식에 최대 빔출력을 25mJ로 하였고, 기존의 1064nm 파장 대신 가공성이 우수한 파장 532nm의 Q-Switched Nd-YAG Laser를 사용하였으며, 가공 소요 시간을 줄이기 위하여 Laser 출사 반복율을 20Hz로 높였다. 또 작업의 편의와 Laser Energy 출력의 손실을 줄이기 위해 Auto-Focus 기구를 설치하여 대상물의 결상 거리 조절을 자동으로 수행하게 하였다.

1. 서론

최근 전기, 전자 제품의 경박단소화에 따른 고밀도화의 추구에 있어 저코스트의 생산 기술 개발이 급격히 요구되고 있으며 이에 따라 미세가공은 중요한 위치를 차지하고 있다. 지금까지 이러한 분야에서의 미세가공 및 회로의 패턴 가공용으로는 포토에칭 등의 화학적 가공에 의하여 생산성 및 요구 정도(精度)에 대응하고 있다. 그러나 나날이 발전을 거듭하고 있는 정보통신기기 및 멀티미디어 산업 분야의 핵심부품 생산에 있어 미세가공은 고생산성 및 고

정도 가공기술 등의 신공법 개발과 더불어 실용화가 가속되고 있다.

Laser에 의한 글래스 기판상의 금속 박막 가공 기술은 하이브리드 IC를 비롯한 박막저항 소자에 대한 Laser 트리밍, 마스크 및 패턴의 리페어링 프로세스 등 금속막을 국부적으로 제거하는 가공 기술이 소개되고 또 상용화되고 있다^{1,2,3)}. 따라서 대상 재료 표면의 국소부에 고밀도 에너지를 비접촉으로 극히 짧은 시간에 조사하여 가공하는 Laser 열가공 기술이 주목받고 있다. Laser에 의해 미세가공하는 기술은 Laser빔의 에너지 특성에 연관지워진 가공기구를 명확히 이해하는 것이 중요하며, 실제 산업화 현장에서는 다양하게 적용되는 박막 형성부에 대한 미세가공의 필요성이 점차 확대되고 있다.

본 연구에서는 이러한 박막 및 후막에 대하여 Q-switched Nd-YAG Laser빔을 이용하여 미세제거가공 실험을 행하고, 이를 바탕으로 하여 막이 증착된 글래스상의 패턴 결함에 대한 Laser Ablation 가공 시스템을 개발하였다.

2. Laser에 의한 결함의 수정 실험

2.1 결함의 종류

IC 및 박막 소자의 미세화와 함께 마스크, 혹은 글래스 패턴의 고품질, 고정도화가 요구되고 있는 가운데, 이들의

결함에 대한 검사와 수정 작업의 중요성이 점차 높아지고 있다.

패턴상에서 나타나는 결함의 종류에는 크게 핀홀, 섬, 돌기, 결선, 단선(open), 접촉(short) 등이 있으며, Fig.1에 그 형태를 나타내었다.

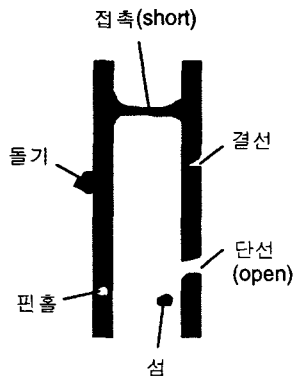


Fig. 1. Defects in Thin Film Pattern

이들 결함들을 살펴보면 결선, 단선, 핀홀 등은 결손 결함에 속하고, 섬, 돌기 등은 대표적인 잔류 결함이다. 이런 결함들의 발생 원인은 주로 공기중의 먼지, 에칭액, 시간 등의 에칭 프로세스에서 발생하는 각종 문제들에 의한 것과 취급시의 기계적 손상, 설계상의 잘못 등에 의한다.

특히 접촉(short)과 단선(open)의 경우는 소자의 작동 여부에 직접적인 영향을 주게 되어 이에 대한 방지가 필요하다.

패턴상의 결함을 방지하기 위해서는 먼지가 거의 없는 제작 환경과 프로세스의 철저한 관리, 핸들링의 자동화 및 CAD 시스템의 적용 등이 요구된다. 그러나, 패턴이 점차 미세화 됨에 따라 대상 결함의 크기가 더욱 작아지게 되고, 수정을 필요로 하는 결함의 수도 더 많아지게 됨으로써, 패턴 결함에 대한 수정도 보다 더 고정밀, 고기술을 요구하게 된다.

2.2 미세 박막의 Laser 가공

글래스 기판상의 박막을 가공하는 경우 침투 출력이 높은 Laser빔을 아주 짧은 시간에 조사하여 가공을 완료해야 한다. 이것은 금속과 같이 열전도도가 높고, 아래에 있는 기판보다 용융 온도가 높은 물질에 Laser를 조사하는 경우에 특히 중요한 사항이다. 금속에 Laser를 조사하면 열에너지에 의한 온도 상승이 일어나고 금속 박막은 용융된 후 온

도가 더 올라가면 증발한다. 금속 박막의 Ablation 가공은 이와 같은 프로세스를 거쳐 행해진다.

이와 달리, Laser조사 시간이 길어지면 주변으로의 열확산이 생기고 가공부의 주위까지 열로 인해 용융되어 가공 정밀도가 저하된다. 또 용융된 금속이 기판상에 잔재될 경우, 이 용융 금속의 열로 인하여 기판이 손상될 수도 있다.

이와 같은 열영향을 극소화시키기 위해 침투 출력이 높고 발진 시간이 짧은 Q-Switched Nd-YAG Laser를 사용하였다.

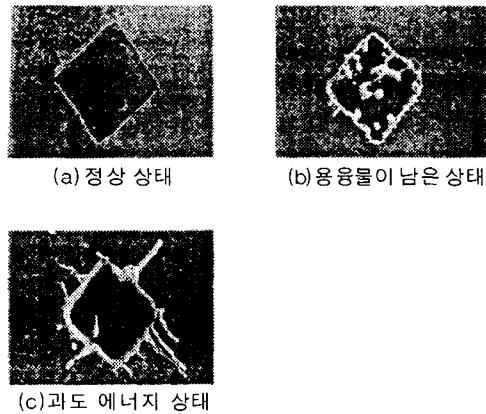


Fig. 2. Laser Ablation in various Laser Energy

Laser를 이용하여 미세 박막을 가공한 형태를 Fig.2에 나타내었다.

Fig.2에서 (a)는 정상적으로 Laser가공이 행해진 상태이고, (b)는 박막의 종류와 두께에 비해 Laser의 출력 에너지가 낮아 가공면 내의 금속 용융물이 완전히 증발되지 않은 상태이고, (c)는 박막의 두께가 두껍고 과도한 Laser 출력 에너지에 의하여 용융 비산물이 가공면 주위에 흩어진 상태이다.

Fig. 2에서와 같이 미세 박막의 Laser 가공을 위해서는 가공면의 조건에 맞는 적절한 Laser 출력 세기의 선정이 중요하다.

2.3 결함의 Laser Ablation 가공

글래스 패턴상의 결함중 섬, 돌기, 접촉(Short)에 대한 수정에 있어, 마이크로 엔드밀 등의 기계적인 방법들에 비하여 Laser에 의한 Ablation은 가공 시간이 짧고 비접촉식으로 대상물에 손상을 주지 않으며, 공구 마모 등의 장비 손실이 없는 잇점을 가지고 있다.

Fig. 3은 글래스 박막 패턴상의 접촉(Short) 결함에 대한 Laser Ablation 가공을 나타낸 것이다. 막의 두께가 1000~1500 Å의 아주 얇은 경우(a) 15mJ의 Laser 빔을 1~2회 조사하면 막이 완전히 제거되고, 두께가 24000~24500 Å로 비교적 두꺼운 막의 경우(c)는 20mJ의 Laser 빔으로 5~10회 조사하면 (d)와 같이 제거된다.

Fig. 3의 (d)에서와 같이 Laser Ablation 가공후 글래스상에 나타나는 잔류물에 대하여 회로에 미치는 영향을 조사하기 위해 Fig. 4와 같이 SEM 촬영과 EPMA 분석을 행하였다.

Fig. 4의 (a)에서 박막의 Laser Ablation 가공후 가공 부위에 Laser 조사 흔적 및 그늘음이 나타남을 볼 수 있고, (b)의 SEM 촬영을 통해 가공면의 형상을 조사해 보면 박막은 거의 제거되었음을 알 수 있다. 또 (c)의 EPMA 분석에 의해 글래스상에 남아있는 잔류물의 주된 성분은 Si로서 글래스외의 막 성분들은 거의가 산화되어 남아 있지 않은 것

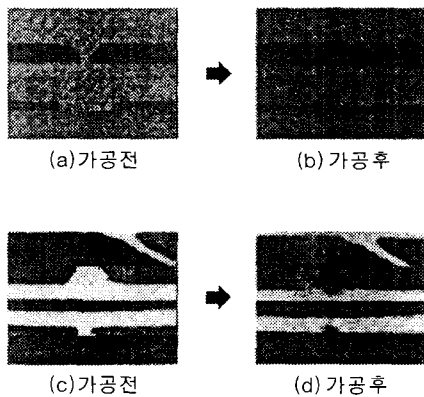


Fig. 3. Laser Ablation of Defects in Thin Film

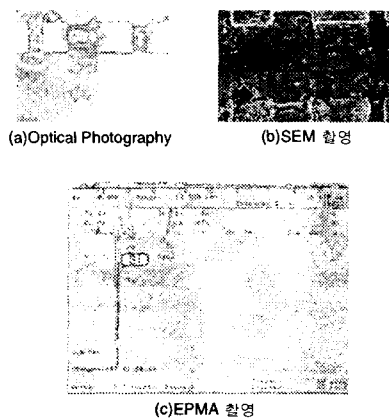


Fig. 4. Analysis of ingredients in Glass Surface

을 알 수 있다.

한편, (a)에서 Laser Ablation 가공부 주위에 열영향부가 형성된 것을 볼 수 있고, (b)의 SEM 사진에서 가공 부위의 글래스 표면이 부분적으로 마모된 것을 볼 수 있다. 이는 글래스 기판상에서 Laser 가공을 할 때, 과도한 Laser빔 출력과 조사 횟수에 의한 것이다.

이와 같은 Laser빔의 과도한 출력 에너지의 영향으로 글래스 기판 및 박막의 손상이 우려되므로, Laser Ablation 가공시 Laser빔의 에너지 세기 및 조사횟수의 범위를 사전에 고려하는 것이 중요하다.

2.4 가공 조건에 따른 가공 정도 변화

Laser Ablation 시스템 개발을 위한 선결 과제로 미세 박막의 Laser 가공 조건에 대한 영향을 조사하였다. 1.27mm 두께의 파이렉스 글래스(pyrex glass) 기판위에 증착된 두께 1000 Å, 2000 Å의 Cr박막에 대하여 Laser 출력 에너지에 따른 박막의 허용 가공 Size 및 두께의 변화와 결상 거리에 따른 가공 Size의 변화를 조사하고, 추가적으로 막 표면의 직접 가공과 글래스 뒷면에서의 Laser 조사에 의한 막이면 가공을 실시, 서로 비교함으로써 Laser에 의한 박막 가공에 있어서의 효율적인 가공 방법을 조사하였다.

실험에 사용된 Laser 장비는 Q-Switched Nd-YAG Laser(파장 1064nm)로서 Single빔 모드에 최대 출력 에너지는 21mJ, 펄스폭은 8nsec이다.

실험에 사용된 Laser 장비는 Q-Switched Nd-YAG Laser(파장 1064nm)로서 Single빔 모드에 최대 출력 에너지는 21mJ, 펄스폭은 8nsec이다.

실험에 사용된 Cr 박막 재료와 Pyrex glass의 물성치는 표1과 같다.

두께 1000 Å, 2000 Å의 Cr박막에 대하여 Laser출력 에너지에 따른 박막의 허용 가공 Size는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5에서 Laser Energy의 세기가 커짐에 따라 박막의 Table 1. Property of Materials

	Cr (1000 Å, 2000 Å)	pyrex glass (1.27mm)
melting point(°C)	1800	835
boiling point(°C)	2330	-
latent heat of evaporation(cal/g)	1400	-
heat conductivity (cal · S · 1 · cm · °C)	0.2	0.003
density(g · cm-3)	0.7	3
specific heat(cal · °C ⁻¹)	0.12	0.3
absorptivity(%)	40	1>

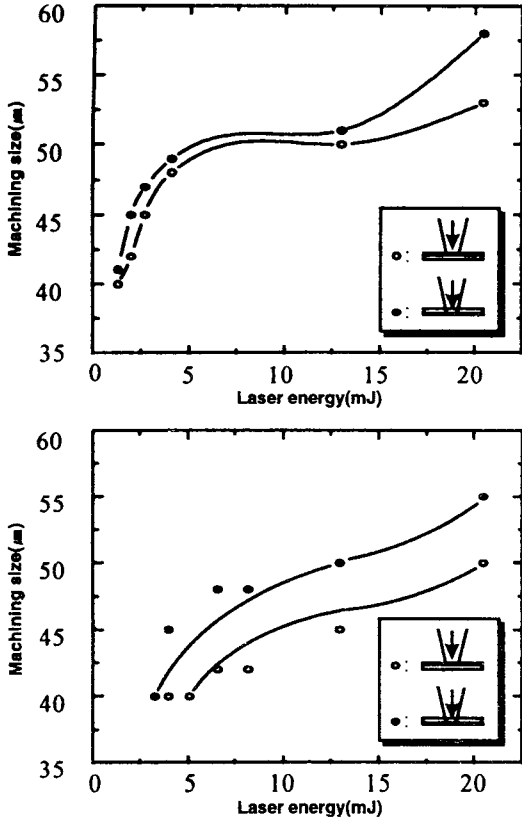


Fig. 5. Change of Machining Size by Laser Energy

허용 가능 Size가 역 S자의 형태로 증가함을 알 수 있다. 또 막의 표면과 이면의 조사 방식에 있어서 글래스를 투과해 막의 이면에 조사하는 것이 표면에 직접 조사하는 것보다 가공이 더 잘되는 것으로 나타난다. 이것은 이면 조사 방식이 박막과 글래스의 경계면(접합면)을 직접 조사하는 형태이기 때문인데, 글래스의 반사율이 투과율에 비해 상대적으로 높은 경우는 이와 반대의 결과가 나타날 수도 있다.

한편, (a), (b)에서 박막의 두께가 얇을수록 가공성이 더 좋아지는 것을 알 수 있다.

박막 두께에 대한 임계 Laser Energy의 값은 Fig. 6과 같다.

그림에서 박막의 두께가 두꺼울수록 임계 Laser Energy는 증가하고 있으며, 1000 Å 두께에서 이면부는 표면과 거의 유사하나 2000 Å 두께의 경우, 이면부는 비교적 작은 Energy에서도 쉽게 가공됨을 알 수 있다.

따라서 빔의 조사 방향에 따라 임계 Laser Energy가 달라질 수가 있으며, 본 실험에서는 동일 Laser Energy에 대

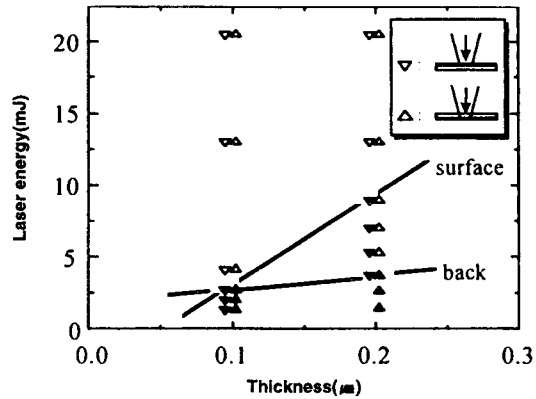


Fig. 6. Change of Laser Energy by Film Thickness

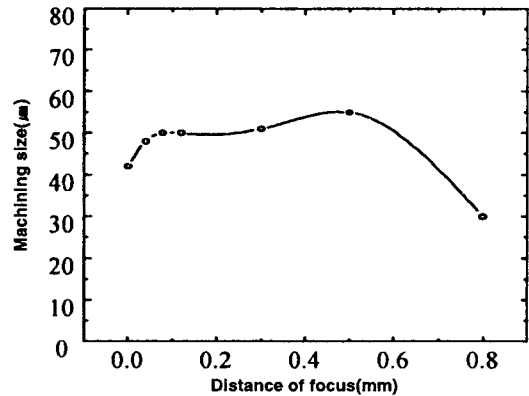


Fig. 7. Change of Machining Size by Distance of Focus

해 가공 가능한 박막의 두께는 이면 조사 방식이 더 두껍게 나타났다. 그러나 이면 조사 방식의 경우 가공시의 용융물이 많이 발생된다는 단점을 가지고 있다.

Fig. 7은 결상 거리에 따른 가공 Size의 변화를 나타낸다. 그림에서 결상 거리의 변화는 그 범위가 미세할 경우 가공 Size에의 영향이 작고, 결상 거리가 어느 정도 멀어지면 가공성에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

3. Laser 리페어 시스템 구성

3.1 구성

본 연구에서 개발한 Laser Ablation 시스템은 크게 Laser 발진기부, 광학계부, X-Y 스테이지부 및 시스템 제어부로 나뉘어지며 그 구성도는 Fig. 8과 같다.

3.2 Laser 발진기부

Laser 발진기는 앞서 행한 가공실험의 결과로부터 최대

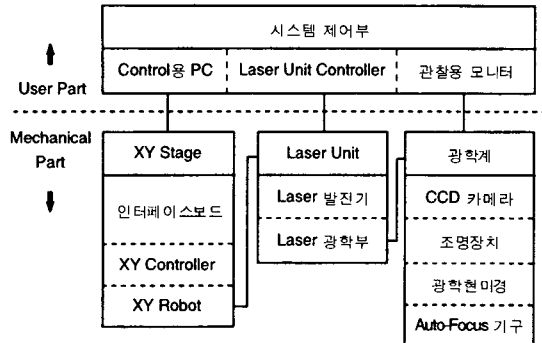


Fig. 8. Laser Ablation System

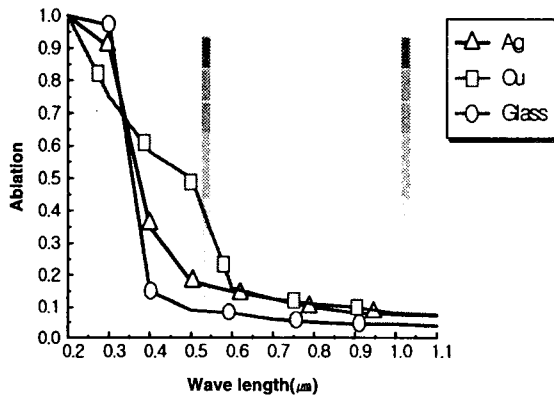


Fig. 9. Wavelength-Absorption Graph

출력을 25mJ로 하였으며, 기존의 파장 1064nm Q-Switched Nd-YAG Laser를 사용하였다 Fig. 9는 Laser의 발진 파장에 대한 Ag, Cu, Glass 등의 박막 가공면에 대한 흡수율을 나타내며 흡수율이 높을 수록 가공이 용이하다. 따라서, 기존의 파장 1064nm의 Nd-YAG Laser에 비해 가공 정도(精度)가 더 우수하다.

또 작업시 소요되는 가공 시간을 최소화하기 위해 Laser 출사 반복율을 20Hz(초당 20회 Laser 출사)로 하였다.

3.3 광학계부

광학계의 구성도를 Fig. 10에 나타내었다. 그림에서와 같이 가공 유니트와 관찰 유니트가 일체형으로 되어 있고 광학 렌즈는 가공용과 관찰용 두 가지로 나누어져 있으며 전동 리블버식으로 서로 교체시킬 수 있다. 또 CCD Camera를 통하여 Laser 가공 장면을 직접 화면상에 나타낸다.

대물 렌즈의 양편에는 Auto-Focus 기구를 설치하여 대상물에 대한 초점 조절을 자동으로 수행함으로써 작업자

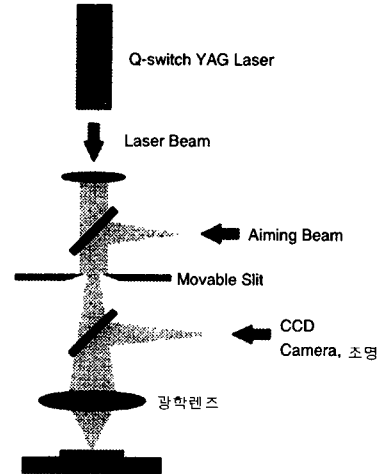


Fig. 10. Laser Optics Unit

의 편의와 함께, 실험에서 나타난 결상거리의 편차에 따른 Laser Energy 성능의 손실을 최소화시켰다.

3.4 X-Y 스테이지부

X-Y 구동축은 $\pm 2.5\mu\text{m}$ 의 반복위치 정도를 가지며 고정밀의 미세가공에 적합하다. 또 X-Y 스테이지 상단에 설치되는 Laser유니트는 발진기부를 가로로 눕혀 높이와 크기를 줄임으로써 X-Y 구동축의 이송시 떨림을 방지하였다.

3.5 시스템 제어부

Laser Ablation 시스템의 제어부는 Fig. 8에서와 같이 PC 제어부, Laser 유니트 제어부 및 관찰용 모니터부로 구성된다.

PC를 통하여 대상 기관의 크기 결정과 결함 위치의 인식, X-Y 구동축의 이송 등을 제어하고, Laser 유니트로 Laser의 가공 조건 설정과 Laser 가공을 행한다. 또 관찰용 모니터를 통해 가공 상태를 직접 관찰한다.

Laser Ablation 시스템의 구성 내역을 표2에 나타내었다.

Table 2. Specification of System

항목	구격 및 성능
레이저	종류 파장 최대출력 펄스폭 Q-switched Nd-YAG 532nm 25mJ/20Hz 5~7nsec
광학계	배율 조명방식 Focusing 2.5×(관찰용) 10×, 20×(가공용) 낙사/배사 LD식 Auto-focus
X-Y Stage	반복위치정도 ± 2.5μm
적용대상	Cr, ITO, CrCuCr, Ag, Au

4. 결론

본 연구에서는 미세 박막 가공시 수반되는 패턴상의 결함을 수정하기 위하여 Laser를 이용, 제거 작업을 하는 Laser Ablation 시스템을 개발하였다.

개발에 앞서 시스템의 적절한 가공 방법 및 조건을 선정하기 위하여 박막에 대한 Laser 빔의 출력과 조사 횟수에 따른 가공면의 형태를 조사하였고, 1.27mm 두께의 Pyrex 글래스 기판 위의 1000 Å, 2000 Å 두께의 Cr 박막에 대한 Laser Ablation 가공을 행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

(1) Laser 출사 Energy가 커짐에 따라 박막의 허용 가능 Size도 커지지만 가공부 주위의 열영향부가 증가되는 문제점이 발생하였으며, Laser빔의 세기는 두께 1000 Å 정도의 얇은 막의 경우 15mJ, 24000 Å 정도의 비교적 두꺼운 막의 경우는 20~25mJ의 Laser빔 출력이 적절하였다.

(2) 막의 표면과 이면의 조사 방식에 있어서 글래스를 투과해 막의 이면에 조사하는 것이 표면에 직접 조사하는 것보다 넓은 면적을 차지하는 잔류물 제거에 있어 다소 유리한 것으로 나타났다. 그러나 막의 이면에 조사할 경우, 가공시 용융물이 많이 발생된다는 문제점을 가지고 있었으므로, 미세한 크기의 박막 결함의 경우 막의 표면에 직접 Laser 빔을 조사하는 것이 바람직한 방법이라 할 수 있다.

(3) 가공시 결상 거리의 변화는 그 범위가 미세할 경우 가공 Size에 영향이 작고 결상 거리가 어느 정도 멀어지면 가공성에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 Laser가공시 Energy 성능의 손실을 줄이기 위해서 결상 거리를 적절하게 조절해 주는 것이 중요하다.

이상의 실험 결과를 Laser 가공 조건 및 방법에 적용하여 다음과 같은 미세 박막에 대한 Laser Ablation 시스템을 개발하였다.

(1) 시스템은 크게 Laser 발전기부, 광학계부, X-Y 스테이지부의 Mechanical Part와 시스템 제어부의 User Part로 나누었다.

(2) Laser 발전기는 최대 출력을 25mJ로 하였으며, 가공성 및 생산성을 고려하여 532nm 파장에 출사 반복율 20Hz의 Q-Switched Nd-YAG Laser를 사용하였다.

(3) 광학계부는 전동 리볼버식 대물렌즈를 사용하여 사용자의 편의를 도모하였으며, Auto-Focus 기능을 부가하여 결상 거리 편차에 따른 Laser System의 손실을 줄였다.

(4) X-Y 구동축은 반복위치 정도를 ±2.5 μm로 하여 고정

밀 미세가공에 적합하게 하였다.

(5) Laser 가공은 막의 표면 조사 방식으로 하였으며, 대상 기판의 크기 결정과 결함 위치의 인식, X-Y 구동축의 이송 등은 모두 PC를 통하여 제어하게 하였다.

본 연구에서 개발한 Laser Ablation 시스템은 Fig. 11과 같으며, 고가의 외제 장비를 대체할 수 있는 독자적 개발 시스템이다.

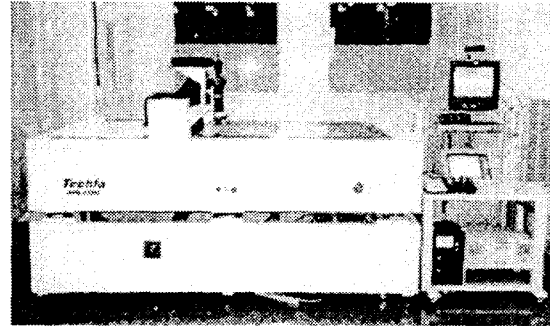


Fig. 11 . Laser Repair System

참고문헌

1. Y. Fujimori, "Laser Material Processing in Electric Industries", LAMP '92, pp. 981~982,(1992)
2. 木本康雄ら, "マイクロ應用加工", 共立出版(株), pp. 30~39(1984)
3. 梶川敏和, "レーザによるマイクロ加工", 表面改質 Vol. 40, No.8, pp.12~17,(1989)
4. 池上ら, "LCD用カラーフィルの微細加工", 電子材料, pp.37~42, (1990)
5. "Pulsed Laser Etching of Indurme Tin Oxide Thin Films", Vacuum Vol 40, No1, 2(1990)
6. 四方山和彦, "レーザーリペア装置" 月刊 Semi-Conductor World, pp. 116~120(1996)
7. 阿部知好, "レーザによる金屬薄膜除去加工", レーザ加工, pp.135~142
8. "Laser Trimming of Thick Film Metal Resistors on Aluminum nitride Substrates", IEEE Trans. Compon Hybrids Manufacture Tech. Vol 14, pp.204~210(1991)