

## YAG 레이저에 의한 Cr박막가공에 관한 연구 A Study on the YAG Laser Machining of Cr Thin Films.

강 형 식\* · 홍 성 준\* · 이 충 업\*\* · 박 홍 식\*\*\* · 전 태 욱\*\*\*

\* : LG 전자 생산기술 센터

\*\* : 동아대학교 대학원

\*\*\* : 동아대학교 기계공학과

### Abstract

Laser thin film process with a Q-switch pulsed YAG laser was performed for micro machining. In this research, we performed basic Cr thin film on glass substrates removal machining experiments.

From experiments, it happens not only evaporation of thin film but also spatter and cohesion of melting substance in working region, when machining a Cr thin film by Q-switch YAG laser beam irradiation. Critical energy of surface irradiation type by irradiation direction of laser in a face composing thin film on the glass is higher than that of back irradiation type, but the latter is favorable because of spatter appearance. In case of image formation position when laser beam is irradiated, the defocus is permitted to a certain extent within focus depth. If exceeds focus depth, formation of pattern is vanishing step by step.

**Key Words** : Q-switch YAG Laser (큐 스위치 YAG 레이저), Square beam (사각형 빔), Cr thin film(크롬박막), Irradiation energy (조사 에너지), Removal process (제거 가공)

### 1. 서 론

최근 전기, 전자기기 제품의 경박단소화에 따른 고밀도화의 추구에 있어 저코스트의 생산기술 개발이 급격히 요구되고 있으며 여기에 따라 미세가공은 중요한 위치를 차지하고 있다. 지금까지 이러한 분야에서의 미세가공 및 회로의 패터닝가공으로는 포토에칭 등의 화학적 가공에 의하여 생산성 및 정도에 대응하고 있다. 그러나 나날이 발전을 거듭하고 있는 정보통신기기 및 멀티미디어산업 분야의 핵심부품생산에 대한 미세가공은 고생산성 및 고정도가공기술들의 신공법 개발과 실용화에박차를 가하고 있다.<sup>1,2)</sup>

레이저에 의한 글래스기판상에 있어 금속박막가공기술은 하이브리드IC를 비롯한 박막저항소자에 대한 레이저 트리밍, 마스크 및 패턴의 리페어링 프로세스등 금속막을 국부적으로 제거하는 가공기술이 소개되고 상용화되고있다.<sup>3,4)</sup> 따라서 대상재료표면의 국소부에 고에너지 밀도를 비접촉으로 극히 짧은 시간에 조사하여 열가공하는 레이저 열가공기술이 주목받고 있다.<sup>5,6)</sup> 레이저에 의해 미세가공하는 기술은

레이저빔 에너지 특성에 연관지워진 가공기구를 명확히 하는 것이 중요하다. 그러나 실제 산업화 현장에서는 다양하게 적용되는 박막형성부에 대해 미세가공의 필요성이 대두된다.

본 연구에서는 글래스기판상에서 1000Å, 2000Å의 두께로 증착된 Cr박막에 대하여 Q-switch YAG 레이저빔을 이용하여 미세제거가공을 행하는 것으로 레이저 집광빔의 파워밀도, 가공부크기 관계를 실험적으로 규명하였다. 또한 박막의 제거 메커니즘의 주요특성에 영향을 미치는 가공부 초점거리 및 특성등을 확인하여 박막의 레이저 미세제거가공에 대한 기본적인 지식 및 문제를 검토, 분석하였다.

### 2. 실험방법

#### 2.1 실험재료 및 실험장치

본 연구에서 사용된 실험재료는 1.27mm 두께의 파이렉스 글래스(pyrex glass) 기판위에 증착된 Cr 박막으로 박막의 두께는 1000Å 및 2000Å이다. 실험재료의 특성은 Table 1에 나타내었다.

실험장치는 Fig. 1에 나타난 바와같이 Q-switch

Pulse Nd-YAG 레이저 장치의 결상광학 구조를 나타내고 있다. 이것은 파장이  $1.064\mu\text{m}$ , 빔 모드 (beam mode)는 single 빔으로 최대출력 에너지 21 mJ, 펄스폭 8 nsec의 레이저 조사가 가능하다. 금속 박막면의 제거가공에 적용하는 레이저 광학계에 가공size를 결정하는 가변형 슬리터(slit)를 장착하였고, 빔을 집속하는 집광부는 나사조명장치가 부착된 현미경을 활용하여 제작하였으며 집광용 렌즈는 일반 관찰용 대물렌즈와 레이저 가공용 적외선 전용대물렌즈를 사용하였으며 Table 2에 가공용 대물렌즈의 사양을 나타내었다.

## 2.2 실험방법

본 실험에서는 실험재료의 가공부에 레이저를 금속박막면(표면)에 조사하는 것을 기본실험 파라미터(parameter)로 하고, 추가적인 실험으로 글래스를 뒤집은 뒷면(이면) 즉, 빔을 글래스로 통과시켜 글래스와 박막이 접합된 면에 조사하는 방법으로 제거가공을 실시하였다. 가공용 대물렌즈의 배율은 각각 10배, 50배를 사용하였다. 여기서 레이저 에너지 밀도를 변화시켜 그 영향을 분석하기 위하여 레이저 빔 조사시 빔 크기를 제어하지 않고 결상 광학계 구조에서 형성되는 빔 패턴(beam pattern)과 가변 슬리터를 사용하여 스퀘어 빔(square beam) 형태로 하여 조사크기를  $40\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$ (10배) 및  $8\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$ (50배)의 사각패턴으로 가공하여 관찰하였다. 그리고 레이저 빔에 의한 글래스의 손상은 본 실험에서 무시하였다.

또한 초점은 결상 광학계에서 실험재료의 박막 대상부에 관찰용 대물렌즈에서 결상초점을 맞춘 위치와 가공용 대물렌즈의 초점이 다르기 때문에 관찰용 대물렌즈에서 초점을 맞추어 가공용 렌즈로 이동하여 결상이 가장 선명하게 나타나도록 초점을 조절하였다. 한편 초점에서 벗어난거리(defocus)에서 레이저 가공의 영향을 분석하기 위하여 레이저 조사를 초점에서 원거리 방향으로 이동시켜 defocus 하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 빔 패턴 형태의 영향

Fig. 2는 10배의 가공 렌즈를 사용하여 레이저의 출력 에너지를 변화 시켜서 빔을 조사하여 가공한 것으로 (a)는 1000Å 두께의 Cr박막에 레이저 가공한 현미경 사진과 (b)는 2000Å 두께의 Cr박막에 레이저 가공한 현미경 사진을 나타내고 있다. 각각 에너지 변화량에 의해 가공된 빔 패턴의 크기가 변화되는데 조사 에너지값이 높을수록 가공부의 면적이 증가하고 있다. 패턴상에서 가공무늬 및 미가

공면도 에너지 레벨에 따라 구별되어 나타나고 있다. (a)에 있어서 조사 에너지값이 높을 때 가공 경계부 또는 주변에 열영향 및 용융물 응집등 비산된 Cr입자는 (b)보다 비교적 적게 발견 할수있으며 또한 조사 에너지가 4.1mJ 이하에서는 적은 열영향 현상과 가공 주변부가 청결하였다. (b)는 조사 에너지값이 높을 때 가공 경계부 또는 주변에 열영향 및 용융물 응집등 비산된 Cr입자가 다소 많이 나타나고 있고, 조사 에너지가 4.1mJ 이하에서는 상대적으로 재료두께에 비하여 저에너지의 영향에 기인하여 열영향등으로 Cr조직이 박리직전 또는 부분적인 가공부가 나타나고 있다. 따라서 (a)의 1000Å 두께에서 Cr박막가공의 경우 용융물 비산이나 응집보다 증발에 의해 가공되는 경향이 크고 (b)의 2000Å 두께에서는 상대적으로 박막의 두께가 1000Å 보다 두껍기 때문에 가공시 Cr박막의 증발과 비산 및 용융 응집을 수반하는 것으로 생각된다. 이상의 가공상태에서 알수 있듯이 Cr박막에 대한 레이저 제거가공의 영향은 가공부의 증발 뿐만아니라 용융물의 비산 또는 경계부에 응집현상을 일으킨다고 생각된다.

Fig. 3에서는 50배의 가공 렌즈를 사용하여 레이저의 출력 에너지를 변화 시켜서 빔을 조사하여 가공한 1000Å 두께의 Cr박막표면에 레이저 가공한 현미경 사진을 나타내고 있다. Fig. 2와 마찬가지로 에너지 변화량에 의해 가공된 빔 패턴의 크기가 변화되는데 조사 에너지값이 높을수록 가공부의 면적이 증가하는 한편 13mJ 이상에서는 본래의 둥근 패턴 주변에 폭넓은 열영향 및 용융물 응집등 비산된 Cr입자를 발견 할수 있으며 가공정도도 만족하지 않는것으로 판단된다. 또한 저 에너지 레벨에서의 패턴부 중심부에 가공무늬 및 미가공면은 발견되지 않고 비교적 선명한 가공이 이루어지고 있다. 이러한 현상은 50배의 가공용 대물렌즈를 사용한 영향으로 전체적으로 조사 에너지가 국부적으로 집속하여 상대적으로 에너지 분포가 좁은 범위에 걸쳐 이루어 지므로 부분적인 과도한 에너지에 의한 열영향으로 주변부의 경계가 불명확한것으로 보아진다.

### 3.2 슬리트상에서의 가공 영향

Fig. 4는 1000Å 두께의 시료를 10배의 가공 렌즈상에서 가변형 슬리트에 의해 빔 사이즈를  $40\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$ 의 사각패턴으로 셋팅하여 표면과 이면에 레이저를 조사하는 방식으로 가공한 것을 나타내고 있다. 각 에너지 레벨에 따라서 가공되는 패턴의 크기가 다를수 있다. Fig. 5는 2000Å 두께의 시료를 Fig. 4와 같이 사각패턴으로 표면과 이면에 레이저를 조사 가공하여 에너지 레벨에 따라 나타낸 것

이다. 마찬가지로 에너지의 크기에 따라 패턴의 상태 및 크기가 변화되고 있다. Fig. 4, 5 똑같이 출력에너지가 13mJ 이상에서는 주변부에 용융물의 비산 및 응집된 것을 볼 수 있다. 또한 저에너지 레벨에서 레이저 빔을 표면조사 방식으로한 경우 가공부위에 제거되지 않은 용융 잔류물 및 글래스상 미세 거 잔류 박막이 이면조사 방식보다 다소 많이 남아 있다. Fig. 6은 에너지 레벨별 패턴크기를 나타내고 있다. 박막 두께 및 레이저 에너지의 증가에 따라 이면부의 패턴의 크기가 증가 하고 있다. 이러한 현상은 동일 레이저 에너지를 조사할 때 표면에 조사하는 경우 글래스의 온도 등에 의한 표면에 낮은 온도때문인 것으로 생각되고, 이면의 경우 박막과 글래스의 경계면(접합면)을 직접 조사하는 형태이기 때문에 작은 에너지에서도 쉽게 박막이 증발되는 것으로 생각된다.

이상의 실험에서 얻어진 빔 조사방향, 박막의 두께에 대한 에너지 레벨별 임계가공한도의 관계를 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서 박막의 두께가 두꺼울수록 패턴가공의 임계 에너지는 증가하고 있으며, 1000Å 두께에서 이면부는 표면과 거의 유사하나 2000Å 두께에서는 이면부가 작은 에너지에서도 가공됨을 알 수 있다. 따라서 빔의 조사 방향에 의해 임계가공 에너지량이 다르고 동일 에너지량으로 제거 가능한 박막 두께는 이면 조사방식이 두껍다.\*)

### 3.3 결상거리의 변화에 따른 가공 영향

Fig. 8은 Cr박막 가공시 초점거리의 영향을 조사하기 위하여 2000Å 두께의 박막재료에 표면조사방식에서 대물렌즈 10배를 사용한 사각 빔으로 결상면에 레이저 조사한것과 결상거리를 이동시켜 먼방향으로 떨어진 디포커스(defocus)에 따른 가공부 형상 및 가공면적의 관계를 나타내고 있다. 그림에서 결상거리로부터 0.08mm 까지 디포커스 했을때는 가공면적이 다소 증가하고 가공경계부의 형상도 결상점에서와 마찬가지로 임을 알 수 있다. 그러나 디포커스 0.08mm를 초과할 경우에는 디포커스량이 커질수록 사각패턴의 가공형태가 상실되고 가공면적도 줄어들고 있는 것이 확인된다. 이러한 이유는 결상광학계상에서 초점거리가 어느정도 디포커스 되어도 레이저 조사 에너지의 크기와 슬리트에 의한 집광이 유지되는 초점심도\*)에 의한 영향으로 보아지며 디포커스량이 커질수록 결상이 이루어지지 않아 레이저 조사 에너지 밀도가 떨어지고 가공형태가 불안정하게 되는 것으로 생각된다.

Fig. 9는 Fig. 8의 가공조건에서 빔 집속도가 높은 50배용 가공용 대물렌즈를 사용했을 때 사각패턴

((8 $\mu$ m  $\times$  8 $\mu$ m)의 가공부 형상을 나타내고 있다. 초점에서 0.04mm 정도만 벗어나도 완전히 패턴형상이 상실되며 가공부의 면적도 현저히 줄어들음을 알 수 있다. 0.30mm 에서는 패턴이 전혀 제거가 이루어지지 않고 막이 박리직전인 크랙상의 형태를 보이고 있다. 이것은 가공부의 렌즈가 배율이 높을 경우 초점심도가 알아지는 현상으로 고배율에 따른 초점거리의 영향은 민감하게 되며 디포커스량이 극히 작아도 조사 에너지의 균일성 및 적정패턴형상의 유지가 어렵다고 보아진다.

### 3.4 SEM에 의한 가공부 관찰

Fig. 10은 1000Å 박막두께의 시료에 10배의 가공 렌즈를 사용하여 박막의 표면부(a)와 이면부(b)를 사각패턴(40 $\mu$ m  $\times$  40 $\mu$ m)형의 슬리트를 통하여 가장 Sharpness가 양호한 2.7mJ의 에너지를 조사한 것에 주사식 전자현미경으로 관찰하여 나타내었다. 그림(a)와 같이 표면에서 빔을 조사한 경우 가공부 주변에 비산된 용융응고물등이 미량 발견되었고 중앙부에 일부 잔류물이 남아 있는 것을 볼 수 있다. 또한 주변 경계부의 확대 사진을 보면 용융물에 의해 베리어(barrier) 형태로 용융물이 부풀어 올라 있다. 반면 그림(b)와 같이 이면에서 빔을 조사했을때 가공부 주변의 용융응고된 비산물은 표면 조사방식보다 비교적 많은 비산물이 발견되고 있다. 마차가 지로 이러한 경계부를 확대 사진으로 관찰해 보면 용융비산물의 비산 방향 및 형태가 명확히 나타나 있고 경계부의 베리어는 용융물이 부풀어 올라 있지만 표면 조사부의 폭보다 좁음을 알 수 있다.

Fig. 11은 1000Å, 2000Å 박막두께의 시료에 50배의 가공 렌즈를 사용하여박막의 표면에 조사하는 방식으로 에너지를 조사한 것에 주사식 전자현미경으로 관찰하여 나타내었다. 조사된 에너지는 본 실험장치에서 에너지 집속도를 고려하여가장 낮은 에너지 레벨에 해당하는 1.69 mJ 로 하였다. (a)는 1000Å의 두께로서 가공면은 완전하게 패턴상이 나타나도록 제거가공이 이루어지고 있으나 박막가공 주변부에 용융물이 다소 비산되어있다. (b)는 (a)의 2배 두께인 2000Å 박막재료로 동일 레이저 에너지 조사시 가공면은 과도한 에너지 가공 패턴과 유사하게 완전히 제거가공이 이루어진 형태이다. 반면 가공부 주변에 용융물이 현저하게 존재하고 있으며 비산물의 크기도 1000Å의 두께보다 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 저에너지의 빔 조사상태에서 50배의 가공용 대물렌즈로 빔을 집속시켜주는 효과에 기인하여 국부적인 에너지 집속도가 높기 때문이고, 박막의 두께가 두꺼울수록 가공시 미증발되

어 잔류하는 용융물이 상대적으로 많은 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 1.27mm 두께의 파이렉스 글래스에 1000Å 및 2000Å으로 Cr박막이 증착된 2 종류의 시험재료를 Q-switch YAG 레이저에 의하여 가공면의 표면 및 이면부를 미세제거가공하여 레이저 빔의 파라미터 즉, 레이저 에너지, 슬릿 및 초점거리의 영향 등을 비교, 분석하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Cr박막에 대하여 Q-switch YAG 레이저 빔을 조사하여 제거가공시 가공부에 박막의 증발 뿐만 아니라 용융물의 비산 및 응집이 일어난다.
2. 글래스상에서 박막을 구성하는면이 레이저 조사 방향에 따른 입계 에너지값의 크기는 표면 조사 방식보다 이면 조사 방식이 적으나, 용융 비산물이 많이 발생되어 표면 조사 방식이 유리하다.
3. 레이저 조사시 결상위치의 경우 초점심도에 따라 디포커스가 어느정도 허용되고 초점심도를 초과하면 패턴의 형상이 점차로 상실한다.
4. SEM 관찰상에서 Cr박막이 얇으면 가공면이 깨끗하나, 두꺼울수록 미가공 잔류물이 많이 생기고 용융물의 비산이 증가한다.
5. 10배의 가공용 대물렌즈보다 50배의 가공용 대물렌즈를 사용 했을때 에너지의 집속도가 높아 가공부에 열영향을 많이 받게 되며 가공가능한 디포커스 거리도 짧다.

#### 참 고 문 헌

1. I Hayashi et al, Process of thin Cu film removal by KrF excimer laser, ICALEO, 1995.
2. NEC Catalogue, SL453C, 1992.
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 昭ら, LCD用カラー-フィルタの微細加工, 電子材料, pp. 37-42, 1990. 2.
5. 川澄 轉通ら, レーザ加工技術, 日刊工業新聞社, 1991.
6. 官崎 俊行ら, レーザ加工技術, 産業圖書, 1991
7. 四方山 和彦, レーザリペア 装置, 月刊 Semi conductor World, pp. 116-120, 1996. 10.

Table 1. The specification of objective lens.

magnification	focus length (mm)	working distance (mm)	N.A
10 ×	15	18.5	0.25
50 ×	-	6.0	0.55

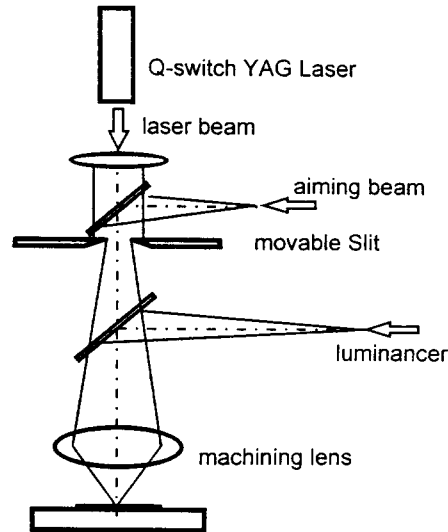


Fig. 1 Schematic diagram of laser unit apparatus.

Table 2. The characteristics of test material.

	Cr	pyrex glass
melting point(°C)	1800	835
boiling point(°C)	2330	-
latent heat of evaporation(cal/g)	1400	-
heat conductivity (cal · s <sup>-1</sup> · cm <sup>-1</sup> · °C)	0.2	0.003
density(g · cm <sup>-3</sup> )	7.0	3
specific heat (cal · °C <sup>-1</sup> )	0.12	0.3
absorptivity(%)	40	1 >

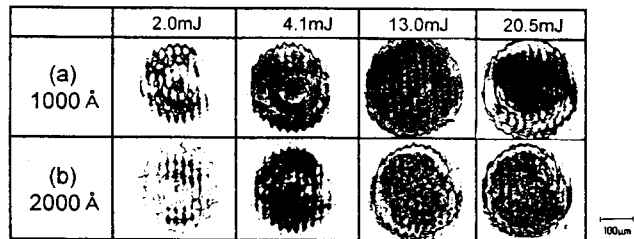


Fig. 2 Burn pattern views of thin film surface irradiated at each irradiation energy.(mag. 10×)

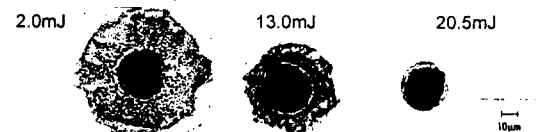


Fig. 3 Burn pattern views of thin film surface irradiated at each irradiation energy.(mag. 50×, 1000 Å)

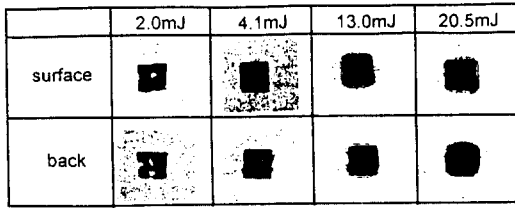


Fig. 4 Photograph of machining formation at 1000 Å thickness. (machining size:  $40\mu\text{m} \times 40\mu\text{m}$ )

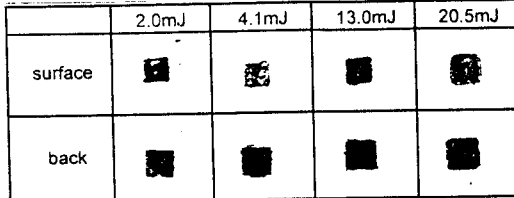


Fig. 5 Photograph of machining formation at 2000 Å thickness. (machining size:  $8\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$ )

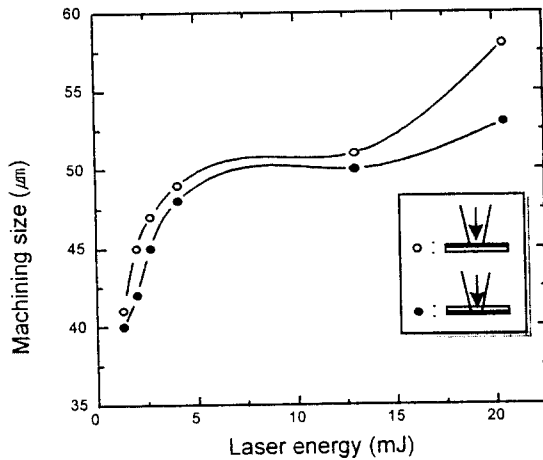


Fig. 6 Effect of machining size according to laser energy.

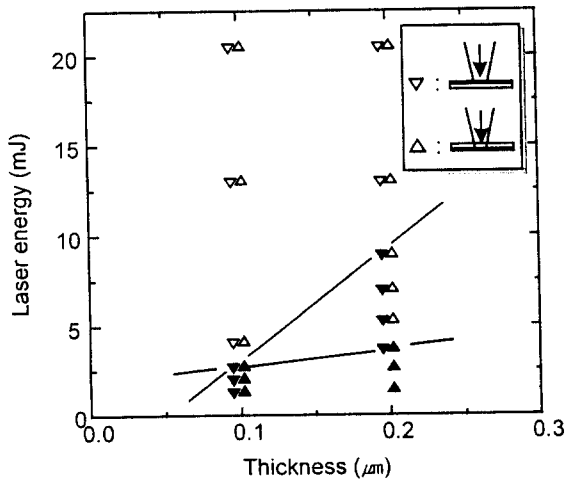


Fig. 7 Effect of machining size according to thin film thickness.

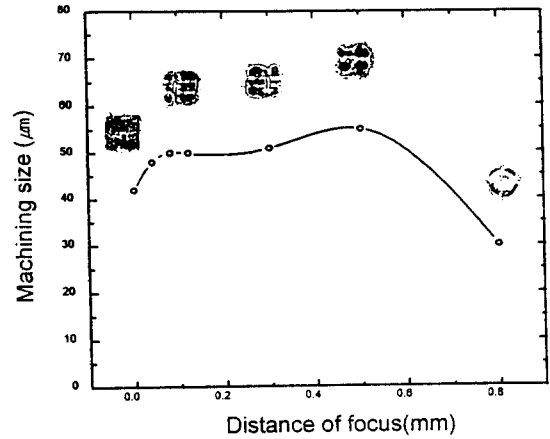


Fig. 8 Effect of machining size according to defocus distance.

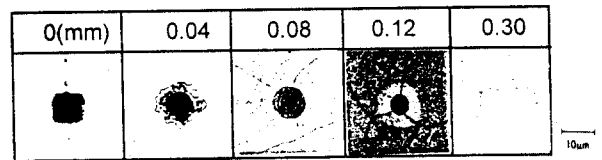
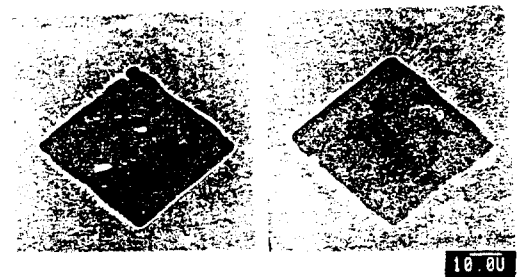
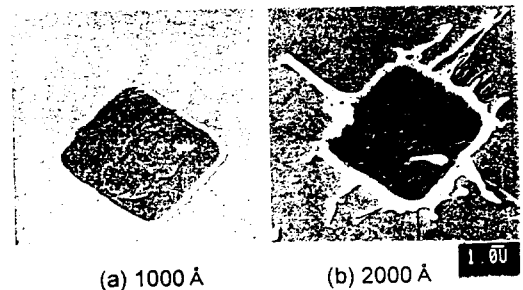


Fig. 9 Photograph of machining formation according to defocus distance. (2000 Å)



(a) surface irradiation (b) back irradiation  
Fig. 10 SEM views of machining residues at each irradiation direction. (mag. 10 $\times$ )



(a) 1000 Å (b) 2000 Å  
Fig. 11 SEM views of machining residues at each difference thickness. (mag. 50 $\times$ )