

# 초고속레이저의 마이크로 패키징 응용기술

정세채 · 윤대오

한국표준과학연구원 전략기술부

## 1. 서론

지속적인 공정 크기 감소는 많은 전자부품과 MEMS 구조물 제작, 의료 및 의학 분야에서의 초미세 수술기법과 살아있는 세포의 조작 등에서 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대되고 있다. 특히, 산업이 발전함에 따라 함께 사용되는 물질의 전기적, 광학적, 기계적 특성의 고품질화는 더욱 더 좋은 특성의 미세공정에 대한 기술적인 발전을 요구하고 있다. 그림 1에서 보여주는 바와 같이 최근의 전자 산업의 발전은 소자 생산에서 검토 및 채택되고 있는 기관의 물리-화학적 특성을 보여주고 있다. 이러한 극한적인 특성들은 열적, 화학적, 광학적, 전기적 및 기계적 특성에 문제를 일으켜 각각 정밀도, 내구성, 양자 효율, 유전을 및 강도 감소 등 심각한 손상을 야기할 가능성이 매우 높아졌다. 현재 대량 생산 공정에서 일반적으로 사용되고 있는 기존의 다이몬드 칼날 혹은 톱날 등에 의한 기계적인 공정이나 비교적 긴 레이저 펄스를 기반으로 하는 레이저 공정 기술들은, 이상의 첨단 소재에 적용함에 있어서 기계적 혹은 물리화학적인 변형을 최소화하며 동시에 공정 분해능이 10 마이

1. Substrate Thickness : < 30  $\mu\text{m}$
2. Substrate Hardness : ~9 (ex. Sapphire)
3. Multiple Layers : >~20 layers
4. Material in Function on Substrate : brittle
5. Optical and Electrical Performance : delicate



그림 1 Technology trend in wafer processing for industrial application

크로 이하로 낮추는 기술적 진보가 필수적이다. 한편 기존의 기계적인 공정에서는 대상 물질의 경도 및 깨짐 성질의 증가에 따라 기계적인 손상으로부터 더 이상 자유롭지 못한 실정이며, 자외선 영역의 레이저를 기반으로 한 공정기술은 물질의 광학 특성에 손상을 주고 공정 대상 물질의 두께가 감소함에 따라 발생하는 thermo-mechanical 과정에 의한 기계적인 미세 균열 발생을 피할 수 있는 기술적인 진보가 아직 이루어지지 않은 실정이다.

초고속 레이저를 기반으로 한 미세공정 기술은 기존의 미세 공정 기술들과는 다른 공정 기작을 통하여 물질이 공정되므로 대상 물질의 열적-기계적 손상을 최소화 할 수 있다. 따라서 최근 다양한 분야에서 활용 가능성에 대한 기술 개발이 전 세계적으로 매우 활발하게 진행되고 있다. 한편 초고속 레이저 미세 공정은 이상의 좋은 공정 특성을 갖는 반면 공정 속도 측면에서 타 공정 기술 대비 매우 낮은 공정속도가 현실적으로 산업 현장에 적용하는데 한계점을 갖고 있는 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 최근 IC 양산 분야에서 메모리 사이즈의 증가 및 mobile 전자 기기의 두께 감소에 대응하기 위하여 절대적으로 필요한 박형 실리콘 wafer의 미세 via-hole 공정 및 cutting 등 micro-packaging 응용을 목적으로 개발된 나노초 및 펨토초 레이저의 결합을 통하여 개발된 hybridization 미세고속 공정 원천 기술을 대면적으로 실현하기 위하여 개발된 공정 장비에 대한 최근의 연구 결과를 논의하고자 한다.<sup>1-5)</sup>

## 2. 이론적 배경

그림 2는 Vogel 등에 의하여 제안된 초고

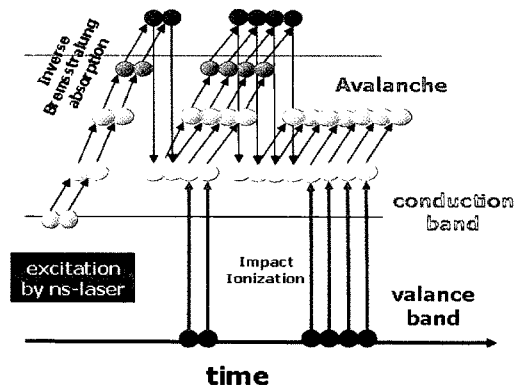


그림 2 Scheme for the enhancement of carrier density due to the pre-exposure of ns-laser during fs-laser material processing

속 레이저의 물질 여기에 따른 고체상 플라즈마 형성을 통한 대상 물질의 어블레이션 과정을 설명하는 모식도이다.<sup>6)</sup> 최초 레이저 빔이 물질에 조사되면 원자 내 구속되어 있던 전자는 광자를 흡수하여 밴드 간 혹은 밴드 내 전이에 따라 자유 전자화 한다. 이때 각각의 전이 과정에는 특정한 밴드 간 전이 에너지가 결정되어 있다. 예를 들어 실리콘의 경우 직접 밴드 간 전이 (direct interband transition, DIT) 및 간접 밴드 간 전이 (indirect interband transition, IIT)의 광자 에너지는 각각 3.4 eV 및 1.12 eV이다. 한편 파장이 800 nm의 초고속 레이저 빔을 응용하는 경우 광자 에너지가 1.56 eV이므로 단일 광자에 의하여 IIT를 통하여 전자의 전이가 가능하나, DIT 전이를 위해서는 3 개 이상의 광자가 작용하는 다광자 여기 과정을 반드시 거쳐야 한다. 이상의 어떠한 경우든 레이저 빔의 조사는 궁극적으로 전자를 valence band에서 conduction band로의 전이함으로써 자유 운반자를 물질 내에 생성하는 것이다. 생성된 자유 전자는 여분의 광자를 Inverse Bremsstrahlung 흡수 과정을 통하여 운동 에너지가 증가한다. 충분한 정도의 운동 에너지를 갖는 자유 전자는 물

질의 격자내의 타 원자와 충돌을 통한 또 다른 전자를 Impact Ionization을 통하여 발생되는 것이다. 이상의 두 과정이 반복적으로 일어나는 경우 물질에 레이저 빔이 조사된 미세한 영역 내에 자유 전자 및 정공의 밀도는 매우 빠르게 증가한다. 한편 이러한 자유 운반자 밀도가 증가함에 따라 기존의 전자-정공 충돌 및 격자에 포논을 생성하면서 일어나는 다양한 소멸과정 등이 또한 빠르게 일어난다. 이러한 운반자의 소멸과정은 각각 물질에서의 운반자 mobility등 고유의 특성에 의하여 결정됨으로 물질의 공정을 설계-실시함에 있어서 매우 중요하게 고려되어야하는 사항이다. 레이저 조사량 증가함에 따라 운반자 밀도의 증가 속도가 전자-전자간의 충돌과정이 전자-격자와의 충돌에 의한 소멸 속도보다 충분히 커지면 물질내 운반자의 밀도는 급격하게 증가하여 더 이상 독립적인 운동을 하지 않고 플라즈마와 같은 collective motion을 하게 된다. 이러한 상황에 대한 이론적 실험적인 연구 결과들은 일반적으로 운반자의 밀도가  $p > 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  보다 큰 경우 물질 내에서 ablative reaction이 가능하고 궁극적으로 물질이 어블레이션한다고 알려져 있다. 이상의 Solid Plasm Formation 기작은 특히 광학적인 penetration depth가 thermal penetration depth에 비하여 작은 경우 그 효과가 매우 긍정적으로 나타난다. 그러나 공정에 투여

된 펨토초 레이저의 power가 클수록 thermal 효과는 비록 펄스 폭이 100~200 fs이하인 경우에도 현저할 수 있다. 따라서 펨토초 레이저의 공정 특성을 충분히 갖는 첨단 마이크로 패키징 기술을 확립하기 위하여서는 펨토초레이저의 power를 충분히 낮출 수 있는 새로운 원리의 공정 기술을 반드시 개발하여야만 할 것이다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 사진 1에서 보여주는 바와 같은 12 inch 크기의 반도체 기판의 공정이 가능한 371 mm × 418 mm의 XY-stage를 기본으로 하는 공정 시스템을 설계 제작하였다. 최종으로 제작된 stage의 최대 속도는 초당 200 mm이며 정밀도는 X 축으로는 0.71 um이고 Y 축은 0.50 um이며 분해능은 각각 10 nm로 매우 우수하게 설계-제작되었다. 개발되는 장비의 기 개발된 hybridization 공정속도 향상 기술을 효율적으로 결합하기 위하여 다양한 파장의 레이저가 가능하도록 광학계를 설계-제작되었다. 특히 나노초 및 펨토초 레이저 빔을 결합하기 위한 설계를 성공적으로 완료하였다. 결합된 두 다른 레이저 빔은 working distance가 20 mm 이상

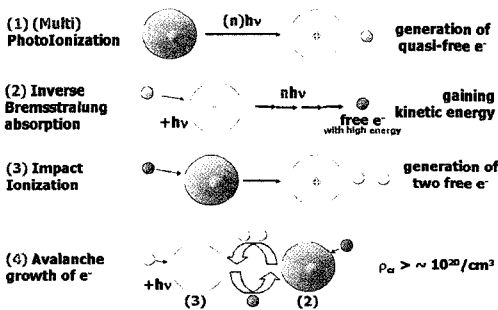


그림 3 Formation of solid plasma upon photoexcitation with fs laser

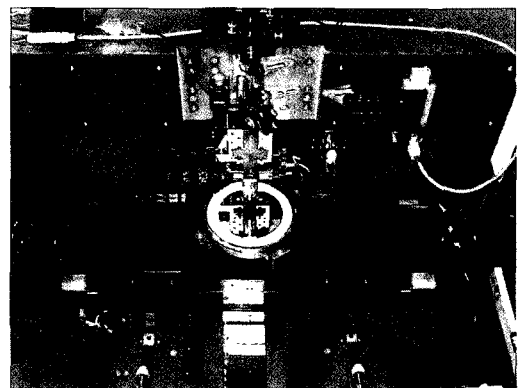


사진 1 Photography of fs laser micro-machining workstation

인 대물렌즈를 통하여 집속되어 공간적으로 동일화 하였으며, 시간적으로 delay generator를 이용하여 공정 속도를 최적화할 수 있도록 제어하였다.

레이저의 가능한 특히 본 연구에서 채택하고 있는 펄초레이저 공정의 정밀도를 현실적으로 이룩하기 위하여 반드시 필요한 레이저 집속부와 기관의 표면과의 거리를 약 5  $\mu\text{m}$  정도의 정밀도를 공정상 유지하기 위하여 그림 4와 같은 위치감지센서 (Position Sensitive Detector, PSD)를 채용한 auto-focusing 장치를 자체 제작하여 결부하였다. 그림에서 보여주는 바와 같이 HeNe laser 빔을 광학 현미경을 통하여 기관 표면에 집속한 후 반사되는 빔의 휘어짐의 정도를 PSD로 측정하여 거리의 변이 정도를 측정한다. 측정된 PSD 시그널은 Stepping motor로 구동되는 정밀 직선운동장치를 feedback 형태로 구동함으로써 최초 지정된 거리를 일정하게 유지할 수 있도록 하였다. 이때 사용된 stage의 속도는 최대 4 mm/s이며 정밀도는 3  $\mu\text{m}$  이내이다. 이러한 구동 장치의 구동 성능을 평가하기 위하여 본 연구에서는 두 다른 높이로 형성된 terrace 형태를 갖는 기관을 이용하여 가공 정밀도를 판별하였다. 이때 측정된 최대 성능은 400  $\mu\text{m}$ 의 terrace 높이에서 1 mm/s의 공정속도에서 그 공정 정밀도가 광학 현미경상에서 구별할 수 없을 정도로 훌륭하였다.

## 참 고 문 헌

1. M. Park, et al. Optics and Lasers in Engineering, vol. 44, 138-146, 2006.
2. M. A. Seo et al. Optics Express, vol. 14, 3694-3699, 2006.
3. M. A. Seo et al, Optics Express, vol. 14, 4908-4914, 2006.
4. J. R. Nam et al. Chem. Phys. Lett.,

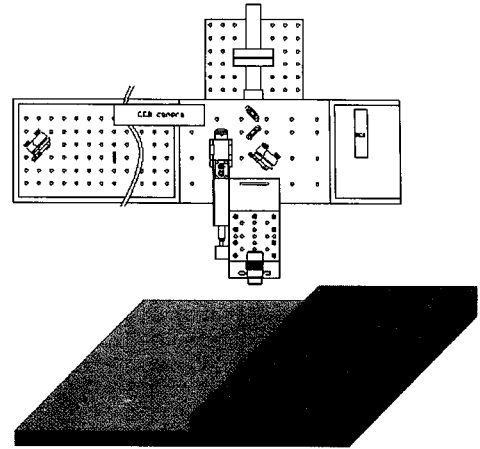


그림 4 Schematic diagram for auto-focusing system

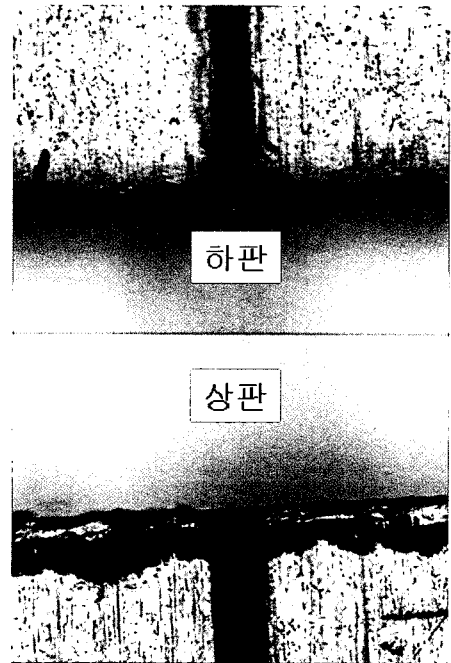


그림 5 본 공정 장치에 그림 5와 같은 성능 평가장치를 이용하여 측정된 공정물 사진

- Vol. 427 210-214, 2006.
5. J. S. Yahng et al. Optics Express, vol. 14, 9544-9550 2006.
6. A. Vogel et al. Appl. Phys. B 81, 1015-1047 2005.