

## 레이저 다이싱에 의한 die strength 분석

### Analysis of die strength for laser dicing

이용현, 최경진, 배성창  
(YoungHyun Lee, KyungJin Choi, SungChang Bae)

**Abstract** - In this paper, the cutting qualities by laser dicing and fracture strength of a silicon die is investigated. Laser micromachining is the non-contact process using thermal ablation and evaporation mechanisms. By these mechanisms, debris is generated and stick on the surface of wafer, which is the problem to apply laser dicing to semiconductor manufacture process. Unlike mechanical sawing using diamond blade, chipping on the surface and crack on the back side of wafer isn't made by laser dicing. Die strength by laser dicing is measured via the three-point bend test and is compared with the die strength by mechanical sawing. As a results, die strength by laser dicing shows a decrease of 50% in compared with die strength by mechanical sawing.

**Key Words** : laser dicing, die strength, thin wafer, laser micromachining

#### 1. 장 서 론

웨이퍼 다이싱(wafer dicing) 공정은 웨이퍼의 각 다이(die)를 구분하는 scribe line - kerf line, dicing line 또는 street 라고도 한다 - 을 따라 절단함으로써 웨이퍼의 각각의 다이를 분리하는 공정이다.

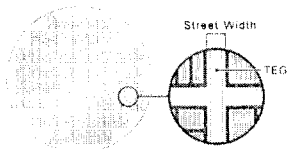


그림 1. 패턴 웨이퍼의 scribe line

웨이퍼 다이싱을 위한 일반적인 방법은 다이아몬드 톨을 이용한 기계적 절단으로 일본의 DISCO가 대표적이다. 그러나 반도체 생산 기술은 12인치 웨이퍼공정으로 진행되고 또한 전자부품의 경박단소 추세에 따라 smart card, MEMS, stacked die, photovoltaic cells나 multi-chip등을 위한 얇은 wafer (<math><150\mu\text{m}</math>)로 진행됨에 따라 기계적 절단으로 인한 chipping과 crack은 문제점으로 지적되고 있다.

얇은 웨이퍼에 대한 기계적 절단의 문제점을 해결하기 위해 최근 전 세계적으로 연구개발 되고 있는 것이 레이저를 이용한 절단이다. 이는 레이저 빔에 의해 공급된 에너지에 의한 물질의 용융 현상을 이용한다. 대표적인 기업은 스위스

의 Synova, 아일랜드의 Xsil, 일본의 DISCO이다.

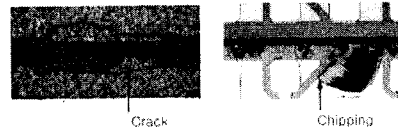


그림 2. 기계적 절단에 의한 crack과 chipping

레이저를 이용한 웨이퍼 다이싱 시 문제점으로 지적되는 것은 웨이퍼 표면의 debris, 열전도에 의한 패턴의 손상, thermal shock에 의한 micro crack의 발생, 다이싱 테이프의 작용이다. 문제점 중 웨이퍼 내부에 발생하는 micro crack은 die strength를 약화시킴으로써, 웨이퍼 다이싱 이후 공정인 die ejection, die bonding, wire bonding 시 칩이 파손되는 주된 원인이다[2,3].

따라서 본 논문에서는 기계적 절단과 레이저 다이싱을 수행한 각각의 die에 대해 3-point bending 테스트를 수행하여 die strength를 측정하고 비교 분석한다.

#### 2. 장 레이저 다이싱

##### 2.1 레이저 빔에 의한 물질의 용융

레이저에 의한 물질의 용융은 그림 3과 같이 열적 용융으로 표현된다. 레이저가 물질 표면에 조사되면, 물질내로 전파되고 이는 물질 격자의 진동으로 변하여 물질내부의 온도를 상승시킨다. 온도 상승에 따라 물질은 용융되어 기화된다[1].

레이저 빔에 의해 대상 물질에 공급되는 단위면적당 에너지는 fluence( $\text{J}/\text{cm}^2$ )로 정의되며, 조절 가능한 여러 매개변수 중 주파수(pulse repetition rate 또는 frequency), 빔 이동속도(beam speed), 빔 직경(beam diameter), 반복횟수(number of repetition)에 의해 변화한다.

저자 소개

- \* 이용현 : 강남대학교 전자공학과 교수
- \*\* 최경진: 강남대학교 전자공학과 대우교수
- \*\*\* 배성창: 강남대학교 전자공학과 석사과정

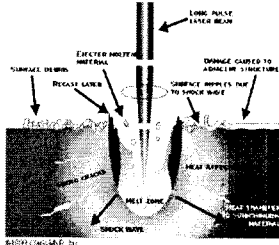


그림 3. 레이저에 의한 물질의 용융

그림 4는 주파수의 변화에 의해 fluence의 패턴을 도시한 것이고, 그림 5는 빔 이동속도의 변화에 의해 fluence의 패턴을 도시한 것이다. Laser beam spot의 명암은 파워를 의미한다. 따라서 대상 물질에 따라 최대 fluence와 패턴에 대한 최적화가 중요하다.

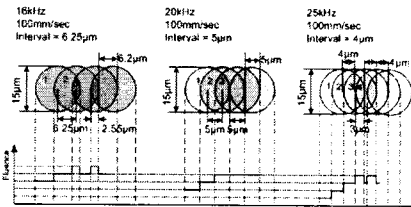


그림 4. 주파수에 의한 fluence의 변화 패턴

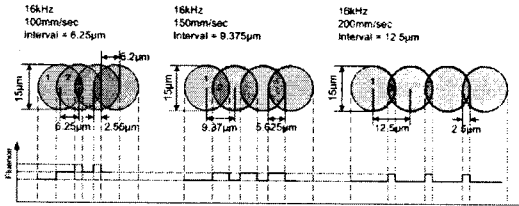


그림 5. 빔 이동속도에 의한 fluence의 변화 패턴

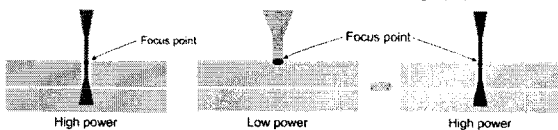
## 2.2 레이저 다이싱 공정

다이싱 공정은 그림 6과 같은 층 구조를 가지는 패턴 웨이퍼에 full cutting을 수행한다. 패턴 웨이퍼는 Si 기판 위에 급속으로 도금된 회로패턴이 생성되어 있는 웨이퍼이다. 얇은 웨이퍼의 핸들링을 위해 패턴 웨이퍼는 프레임 링에 다이싱 테이프를 이용하여 부착한다. 따라서 다이싱 공정에서 대상 패턴 웨이퍼의 최종 구조는 그림 1과 같다.



그림 6. 패턴 웨이퍼의 층 구조 및 full cutting 상태

레이저를 이용하여 패턴 웨이퍼를 다이싱 하기 위한 공정 방법은 다양하다. 이 중 생산성과 절단품질을 고려할 때 적용 가능한 것으로 판단되는 것은 다음 두 공정이다.



(a) 공정 1

(b) 공정 2

Fig. 7. 레이저 다이싱 공정방법

공정 1은 가장 단순한 공정방법으로 패턴층과 Si 층을 동시에 절단하는 방법이다. 이를 위해 레이저 빔의 초점을 표면에 위치시키고, 높은 파워로 1회 절단에 의해 패턴 웨이퍼를 full cutting 공정방법으로 빠른 절단속도를 추구할 수 있다. 공정 2는 패턴 층과 Si 층을 다른 공정 매개변수로 2회 절단 수행함으로써 각각 제거하는 공정방법이다. 1회 절단 공정에서는 큰 빔 직경의 낮은 파워로 패턴 층을 절단한다. 2회 절단 공정에서는 작은 빔 직경의 높은 파워로 Si 층을 절단한다. 공정 2는 패턴 층의 손상을 최소화할 수 있다.

## 3. 장 Die strength

다이싱 공정 후 다이싱 테이프에서 절단된 다이를 분리하기 위해 그림 8과 같은 die ejection 공정을 수행한다. 이를 위해 일반적으로 UV 조사 공정을 수행하여 다이싱 테이프의 접착력을 제거한다. 그러나 레이저 다이싱의 경우 thermal shock에 의한 다이 내부에 crack이 발생할 수 있으며, 이는 die strength의 약화를 초래한다. 또한 용융과정에서 다이싱 테이프와 Si이 녹아 섞여 웨이퍼의 뒷면에 고착될 경우 다이싱 테이프의 접착력은 UV 조사 공정에 의해 제거되지 않으며, 레이저 절단을 따라 추가적인 접착력을 발생할 수 있어 die ejection 공정에서 다이가 깨지는 현상이 발생할 수 있다.

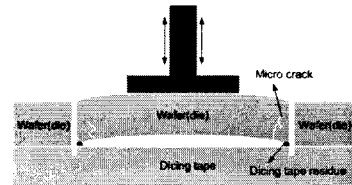


그림 8. Die ejection 공정

다이 내부의 crack은 육안으로 관찰하기 어렵다. 따라서 휨(bending) 테스트를 통해 레이저에 의해 절단된 다이의 강도를 측정하고, 기계적으로 절단된 다이의 강도와 비교한다. 일반적으로 강도를 측정하기 위해 그림 9와 같이 로드셀(load cell)을 이용한 3-point bend 테스트를 수행한다[3].

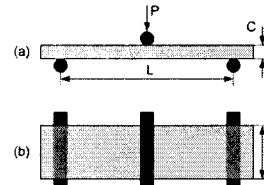


그림 9. 3-point bend 테스트 구조

Die strength는 로드셀을 통해 다이가 파손되는 시점에서의 최대 부하를 측정하고, 식(1)을 통해 계산한다.

$$\sigma = \frac{3L}{2tc^2} P \quad (1)$$


여기서 L은 하단 지지점의 거리, t는 시편의 폭, c는 시편의 두께, P는 최대부하(peak load),  $\sigma$ 는 다이의 최대 장력(tensile stress)이다.

## 4. 장 실험

#### 4.1 레이저 다이싱 실험 결과

표 1은 실험에 사용된 레이저 시스템과 사양이다. 레이저 소스는 Nd:YAG이며, 파장은 355nm, 최대 파워는 10W 이하다.

표 1. 레이저 시스템 및 사양

	laser source	UV LPSS
	wavelength(nm)	355
	power(W)	max. 10
	energy( $\mu$ J)	max. 1000
	frequency(kHz)	15~20
	beam diameter( $\mu$ m)	15
	process speed(mm/sec)	max. 200

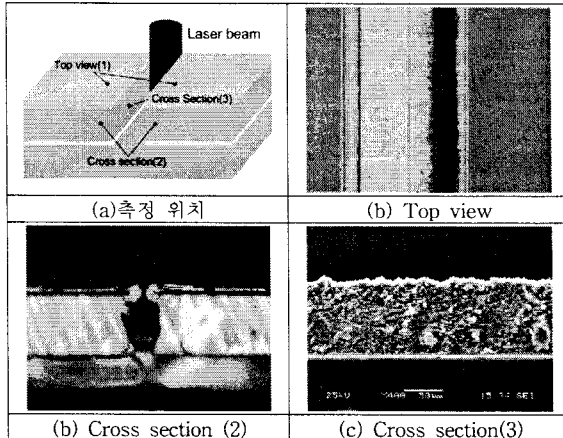


그림 10. 패턴 웨이퍼에 대한 레이저 다이싱 결과

레이저 시스템을 이용한 패턴 웨이퍼의 다이싱 실험 결과는 그림 10과 같다. (a)는 debris가 scribe line에 이웃한 다이 표면까지 분산되어 있어 패턴 웨이퍼의 표면을 보호하고 붙어 있는 debris를 제거하기 위한 방법이 필요하다. (b)는 debris가 scribe line의 절단면에 끼어 입구 부분을 막은 상태이다. 이러한 현상은 레이저 용융과정에 의해 발생된다. 레이저 빔에 의해 공급된 에너지에 의해 물질은 공기 중으로 기화된다. 이 과정에서 일부는 공기 중으로 나가 웨이퍼 표면에 쌓이게 되고, 일부는 절단면에 달라붙어 이러한 현상이 나타난다. (c)는 기계적 절단의 경우 웨이퍼 표면에서 chipping과 다이싱 테이프와의 접촉면에서 crack이 관찰되나 레이저 다이싱의 경우 chipping과 crack은 관찰되지 않는다. 절단면의 상태는 기계적 절단과 비교하여 레이저 다이싱은 절단면이 굉장히 불규칙한 상태이다.

#### 4.2 Die strength 측정 및 분석

Die strength를 측정하기 위한 조건을 표 2에 나타내었다. 대상은 실리콘 배어웨이퍼(bare wafer)를 사용하였다.

측정에 사용된 3-point bending test 장비를 그림 11에 나타내었으며, 사용된 로드셀(load cell)은 250N 이하의 인장 및 압축력의 측정이 가능하다. 지지대 위에 웨이퍼 다이를 올려 놓고 힘을 가하여, 다이가 파손되는 시점에서의 힘을 측정한다. 측정된 힘(N)을 이용하여 식(1)로부터 장력(tensile stress), 즉 die strength를 계산한다. 각각 25개의 샘플을 측

정하였으며 측정 결과를 표 3에 나타내었다.

표 2. die strength 측정 조건

가공방법	die size(mm)	thickness(mm)	span(mm)
laser	5.8*5.8	0.1	5
diamond	5.8*5.8	0.1	5

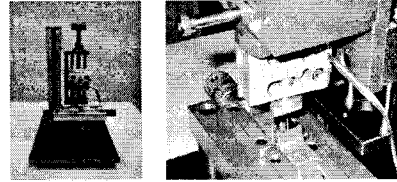


그림 11. 측정 장비

표 3. die strength 측정 결과( $\sigma$ (MPa))

가공방법	최대값	최소값	평균값	표준편차	샘플수
laser	352.500	79.681	185.948	72.875	25
diamond	641.418	186.724	349.397	124.588	25

기계적 절단에 의한 다이의 die strength 평균값은 349.397 MPa(2.702N)로 측정되었고 레이저 다이싱에 의한 다이의 die strength의 평균값은 185.948 MPa(1.438N)로 측정되어 레이저를 이용하였을 경우 최대, 최소 및 평균 die strength가 절반정도로 작게 측정되었음을 알 수 있다.

#### 5. 장 결론

본 논문에서는 기존의 다이아몬드 톱날을 이용한 기계적 절단의 대안으로 레이저를 이용한 다이싱 공정에 대한 실험 결과와 die strength를 측정결과를 제시하였다. 레이저 다이싱의 경우 표면과 절단면의 debris 제거가 문제점으로 지적되었다. 또한 레이저 다이싱에 의한 다이들의 강도가 다이아몬드를 이용하여 절단된 다이들의 강도보다 50% 정도 감소한 상태므로, 패키징을 위한 die ejection 공정에서 다이가 파손되는 문제점이 예상된다. 따라서 레이저 다이싱을 적용하기 위해서는 debris의 제거 방법, die strength의 약화 원인 분석이 필요하다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Philippe Bado, William Clark and Ali Said, "Introduction to Micromachining with Femtosecond Laser Pulse", Clark-MXR Inc. Micromachining Handbook V2.3, 2001
- [2] G. White, E. Perfecto, D.McHerron, T.DeMercurio, T. Redmond, and M. Norcott, "Large Format Fabrication-a Practical approach to Low Cost MCM-D", IEEE Trans. Comp., Packaging, and Manufact. Tech.-Part B, Vol.18, No.1, pp.37-41, Feb., 1995.
- [3] J.D. Wu, C.Y. Huang, C.C. Liao, "Fracture strength characterization and failure analysis of silicon dies", Microelectronics Reliability, Vol.43, pp.269-277, 2003.