

레이저를 이용한 웨이퍼 다이싱 특성

이용현[†] · 최경진* · 유승열**

[†]강남대학교 전자시스템정보공학부, *강남대학교 전자시스템정보공학부
**한국기술교육대학교 기계정보공학부

Characteristics of Laser Wafer Dicing

Young Hyun Lee[†], Kyung Jin Choi* and Seung Ryeol Yoo**

[†]Department of Electronic Engineering, Kangnam University

*Department of Electronic Engineering, Kangnam University

**School of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education

ABSTRACT

This paper investigates cutting qualities after laser dicing and predicts the problems that can be generated by laser dicing. And through 3 point bending test, die strength is measured and the die strength after laser dicing is compared with the die strength after mechanical sawing. Laser dicing is chiefly considered as an alternative to overcome the defects of mechanical sawing such as chipping on the surface and crack on the back side. Laser micromachining is based on the thermal ablation and evaporation mechanism. As a result of laser dicing experiments, debris on the surface of wafer is observed. To eliminate the debris and protect the surface, an experiment is done using a water soluble coating material and ultrasonic. The consequence is that most of debris is removed. But there are some residues around the cutting line. Unlike mechanical sawing, chipping on the surface and crack on the back side is not observed. The cross section of cutting line by laser dicing is rough as compared with that by mechanical sawing. But micro crack can not be seen. Micro crack reduces die strength. To measure this, 3 point bending test is done. The die strength after laser dicing decreases to a half of the die strength after mechanical sawing. This means that die cracking during package assembly can occur.

Key Words : Laser dicing, Wafer dicing, Laser micromachining, Die strength

1. 서 론

웨이퍼 다이싱(wafer dicing) 공정은 Fig. 1의 웨이퍼의 각 다이(die)를 구분하는 절단선(scribe line, kerf line, dicing line 또는 street)을 따라 절단함으로써 웨이퍼의 각각의 다이를 분리하는 공정이다. 웨이퍼 다이싱을 위한 일반적인 방법은 다이아몬드 톱날(diamond blade)을 이용한 기계적 절단으로 일본의 DISCO 사의 제품이 대표적이다. 그러나 전자부품의 경박단소 추세에 따라 smart card, MEMS, stacked die, photovoltaic cells나 multi-chip등을 위한 얇은 웨이퍼(<150 μm)로

진행되고, 실리콘 웨이퍼 이외에 GaAs웨이퍼와 같이 깨지지 쉬운 물질을 사용함에 따라 기계적 절단으로 인한 Fig. 2의 부스러짐(chipping)과 균열(crack)이 문제점으로 지적되고 있다.

얇은 웨이퍼에 대한 기계적 절단의 문제점을 해결하

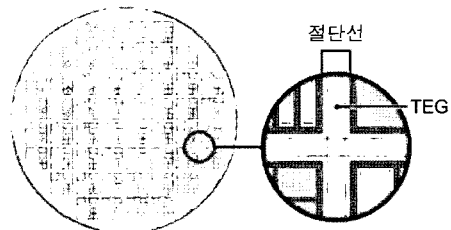


Fig. 1. 패턴 웨이퍼의 절단선

[†]E-mail : yhlee@kangnam.ac.kr

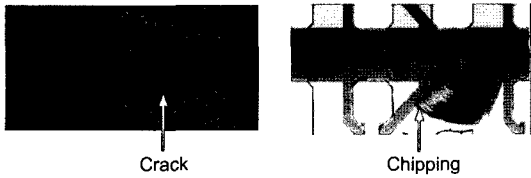


Fig. 2. 기계적 절단에 의한 균열과 부스러짐

기 위해 최근 전 세계적으로 연구개발 되고 있는 것이 레이저를 이용한 절단이다. 이는 레이저 빔에 의해 공급된 에너지에 의한 물질의 용융 현상을 이용한다. 이러한 방법을 이용하는 대표적인 기업은 스위스의 Synova, 아일랜드의 Xsil, 일본의 DISCO이다.

레이저를 이용한 웨이퍼 다이싱 시 문제점으로 지적 되는 것은 웨이퍼 표면의 파편(debris), 열전도에 의한 패턴의 손상, 열 충격(thermal shock)에 의한 미소균열(micro crack)의 발생, 다이싱 테이프의 작용이다. 문제점 중 웨이퍼 내부에 발생하는 미소균열은 다이 내구성(die strength)을 약화시킴으로써, 웨이퍼 다이싱 이후 공정인 다이 적출(die ejection), 다이 접합(die bonding), 와이어 접합(wire bonding)시 칩이 파손되는 주된 원인이다[1, 2]. 따라서 본 논문에서는 실리콘 웨이퍼에 대한 레이저 다이싱을 수행하고 그 특성을 분석한다. 또한 기계적 절단과 레이저 다이싱을 수행한 각각의 다이에 대해 굽힘 테스트(bending test)를 수행하여 다이 내구성을 측정하고 비교 분석한다.

2. 레이저 다이싱

다이싱 공정은 Fig. 3과 같은 층 구조를 가지는 패턴 웨이퍼에 다이싱을 수행한다.

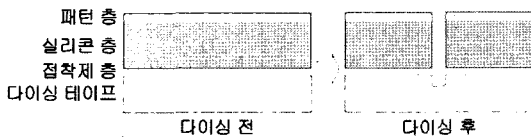


Fig. 3. 패턴 웨이퍼의 층 구조와 다이싱 상태

패턴 웨이퍼는 실리콘 층 위에 금속으로 도금된 회로패턴이 생성되어 있는 웨이퍼이다. 얇은 웨이퍼의 핸들링을 위해 패턴 웨이퍼는 프레임 링에 다이싱 테이프를 이용하여 부착한다.

레이저를 이용하여 패턴 웨이퍼를 다이싱 하기 위한 공정방법은 다양하다. 이 중 생산성과 절단품질을 고려할 때 적용 가능한 것으로 판단되는 것은 Fig. 4의 두

공정이다. Fig. 4의 공정 1은 가장 단순한 공정방법으로 패턴 층과 실리콘 층을 동시에 절단하는 방법이다. 이를 위해 레이저 빔의 초점을 표면에 위치시키고, 높은 파워로 1회 절단에 의해 패턴 웨이퍼를 절단하는 공정방법으로 빠른 절단속도를 추구할 수 있다. Fig. 4의 공정 2는 패턴 층과 실리콘 층을 다른 공정 매개변수로 2회 절단 수행함으로써 각각 제거하는 공정방법이다. 1회 절단공정에서는 큰 빔 직경의 낮은 파워로 패턴 층을 절단한다. 2회 절단 공정에서는 작은 빔 직경의 높은 파워로 실리콘 층을 절단한다. 공정 2는 패턴 층의 손상을 최소화할 수 있다.

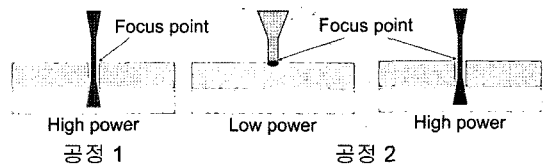


Fig. 4. 웨이퍼 다이싱 공정 전략

3. 다이 내구성(Die Strength)

다이싱 공정 후 다이싱 테이프에서 절단된 다이를 분리하기 위해 Fig. 5와 같은 다이 적출 공정을 수행한다.

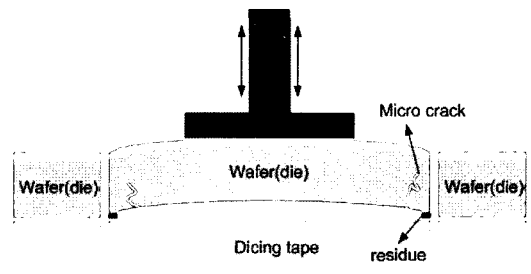


Fig. 5. 다이 적출 공정

이를 위해 일반적으로 UV 조사 공정을 수행하여 다이싱 테이프의 접착력을 감소시킨다. 그러나 레이저 다이싱의 경우 열 충격에 의한 다이 내부에 미소균열이 발생할 수 있으며, 이는 다이 내구성의 약화를 초래한다. 또한 용융과정에서 다이싱 테이프와 실리콘 웨이퍼가 녹아 섞여 웨이퍼의 뒷면에 고착될 경우 레이저 절단을 따라 추가적인 접착력을 발생할 수 있어 다이 적출 공정에서 다이가 깨지는 현상이 발생할 수 있다. 뿐만 아니라 웨이퍼 뒷면에 남아있는 찌꺼기는 다이 본딩과 와이어 본딩 공정에서 다이가 깨지는 원인이 될 수 있다. 다이 내부의 미소균열은 육안으로 관찰하

기 어렵다. 따라서 굽힘 테스트를 통해 레이저에 의해 절단된 다이의 강도를 측정하고, 기계적으로 절단된 다이의 강도와 비교한다. 일반적으로 강도를 측정하기 위해 Fig. 6과 같이 로드셀(load cell)을 이용한 3점 굽힘 테스트를 수행한다[2]. 다이 내구성은 로드셀을 통해 다이가 파손되는 시점에서의 최대 부하를 측정하고, 식 (1)을 통해 계산한다.

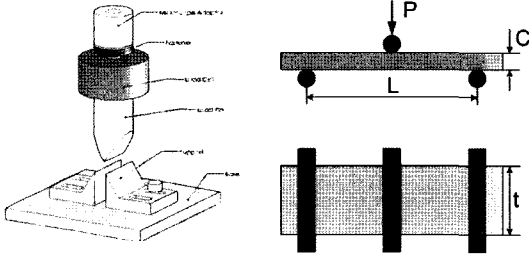


Fig. 6. 3점 굽힘 테스트 구조

$$\sigma = \frac{3LP}{2tC^2} \quad (1)$$

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

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 7은 실험에 사용된 R&D 레이저 시스템과 사양이다. 레이저 소스는 Nd: YAG이며, 파장은 355 nm이다. 실험에 사용된 패턴 웨이퍼의 두께는 60 μm 이며, 다이싱 테이프에 의해 프레임 링에 부착된 상태이다. 실험을 통해 웨이퍼를 Fig. 3과 같이 절단하기 위한 레이저 및 공정매개변수 최적화를 수행한 후 웨이퍼의 표면 상태, 절단면, 다이싱 테이프와의 접촉면의 상태를 조사하였다. 또한 수용성 보호 물질을 사용한 웨이퍼 표면 보호 및 세정 실험과 다이 내구성 측정 실험을 수행하였다.

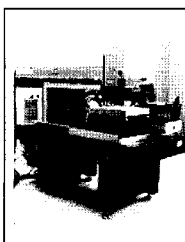
	laser source	UV LPSS
	wavelength (nm)	355
	power (W)	max. 10
	energy (μJ)	max. 1000
	frequency (kHz)	15~50
	beam diameter (μm)	15
	process speed (mm/sec)	max. 200

Fig. 7. R&D 레이저 시스템 및 사양

4.1. 레이저 다이싱 절단 특성

4.1.1 표면상태

레이저 시스템을 이용한 패턴 웨이퍼의 다이싱 후 표면상태는 Fig. 8과 같이 레이저 빔에 의해 기화되었던 물질의 파편이 절단선 뿐만 아니라 이웃한 다이 표면까지 분산되어 있음을 알 수 있다. 웨이퍼의 표면은 패시베이션 공정을 통해 생성된 산화막으로 보호된다. 그러나 와이어본딩을 위한 접촉패드에는 산화막이 제거되어 있는 상태이므로 레이저 다이싱에 의해 생성되는 파편이 와이어본딩을 위한 접촉패드에 존재할 경우 문제점으로 지적된다.

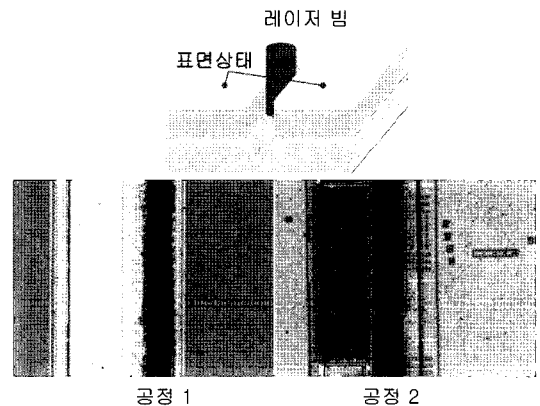


Fig. 8. 레이저 다이싱 후 표면 상태

Fig. 9는 파편이 절단면에 응착되어 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. 웨이퍼 다이싱 공정은 얇게 연마된 웨이퍼를 프레임 링에 다이싱 테이프를 부착한 후 수행된다.

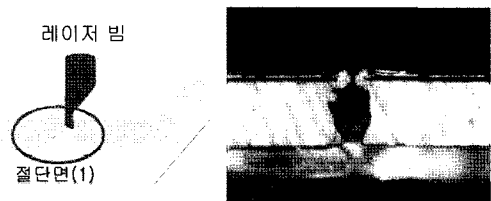


Fig. 9. 레이저 다이싱에 의한 절단면(1) 상태

따라서 패턴 웨이퍼의 표면을 보호하기 위한 방법과 파편을 제거하기 위한 방법이 필요하다. 웨이퍼 표면의 패턴을 보호하고 파편을 제거를 위한 실험은 4.2에서 기술한다.

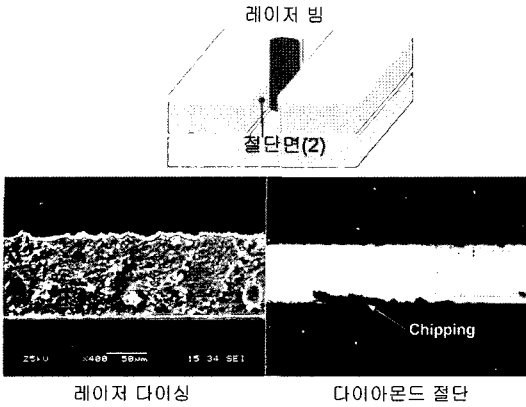


Fig. 10. 절단면(2) 상태

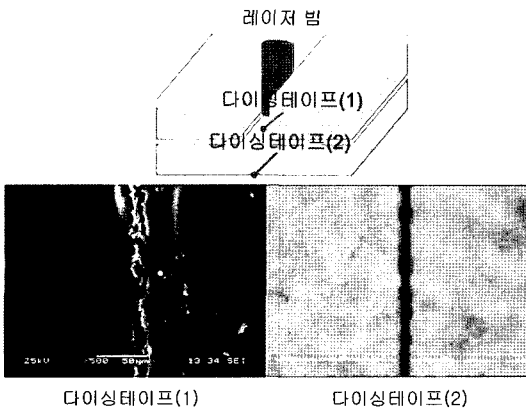


Fig. 11. 레이저 다이싱 후 다이싱테이프의 상태

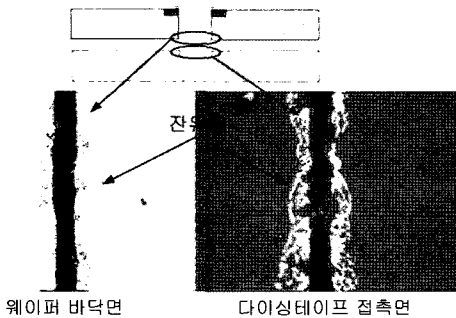


Fig. 12. 레이저 다이싱 후 잔유물

4.1.2 절단면 상태

Fig. 10은 레이저 빔에 의해 절단된 실리콘 기판 절단면의 시각적인 상태이다. 기계적 절단과 비교하여 레이저 다이싱은 절단면이 굉장히 불규칙한 상태이다. Fig. 10에서는 다이아몬드 톱날을 이용한 기계적 절단의 문제점인 부스러짐이 관찰되나 레이저 다이싱에서는 관찰되지 않는다. 또한 레이저 다이싱에 의한 실리콘

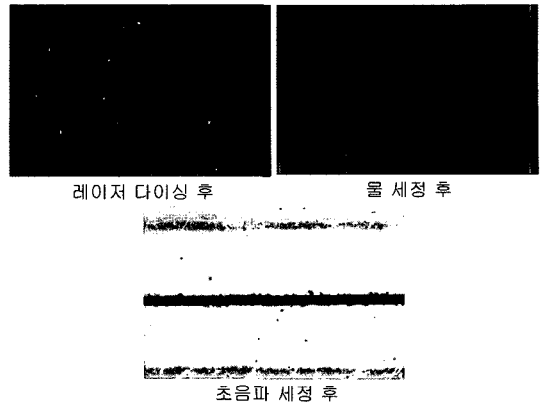


Fig. 13. 수용성 표면 보호 물질을 이용한 실리콘 웨이퍼 표면 보호 및 세정 실험결과

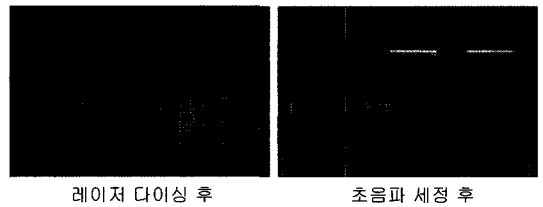


Fig. 14. 패턴 웨이퍼의 초음파 세정 실험결과

큰 기관 내부의 미소균열은 관찰되지 않는다. 다이싱 후 절단면의 상태는 패키징 공정 중 다이 적출공정, 본딩 공정을 위한 다이의 내구성과 관련을 가진다. 다이 내구성에 대한 실험은 4.3에서 기술한다.

4.1.3 다이싱 테이프 접촉면

레이저 다이싱에 의한 다이싱 테이프의 상태는 Fig. 11과 같다. Fig. 11의 다이싱 테이프(2)에서 보듯이 기계적 절단의 문제점인 웨이퍼와 다이싱 테이프의 접촉면에서의 균열은 관찰되지 않는다. 그러나 실리콘 웨이퍼와 다이싱 테이프의 접촉면에서는 레이저 빔에 의해 Fig. 12와 같이 레이저 절단선을 따라 실리콘과 다이싱 테이프가 녹아 응고된 찌꺼기가 관찰된다. 이 찌꺼기에 의해 일반적인 다이싱 테이프의 접착력 이외에 추가적인 접착력이 발생하고, 다이 적출공정 시 다이가 깨지는 현상의 원인이 될 수 있다. 또한 웨이퍼 바닥면에 존재하는 찌꺼기는 다이 본딩과 와이어 본딩 시 가해지는 압력에 의해 웨이퍼가 깨지는 현상이 발생할 수 있으므로, 실제 본딩 공정테스트를 통해 이에 대한 검증이 수행되어야 한다.

4.2. 표면 보호 및 세정

레이저 가공은 레이저 빔에 의해 공급된 에너지에

의한 용융과정에 의한 것이다. 공급된 에너지에 의해 실리콘은 기화되고 다시 응고되어 웨이퍼의 표면에 응착되어, 웨이퍼 표면의 패턴을 손상시킨다. 레이저 다이싱에 의한 웨이퍼 표면의 파편을 제거하고 표면의 패턴을 보호하기 위해 수용성 표면 보호 물질을 사용한 실험과 초음파 세척 실험을 수행하였다.

Fig. 13은 실리콘 웨이퍼 위에 수용성 표면 보호 물질을 도포한 후 레이저 다이싱을 수행하고, 물 세정과 물 세정 후 초음파 세정을 수행한 결과이다. 물 세정한 결과 대부분의 수용성 표면 보호 물질과 파편은 제거된 상태이다. 그러나 레이저 절단선 주변에만 수용성 보호 물질이 일부 남아 있는 것이 관측되며, 그 위에 존재하는 파편 또한 제거되지 않은 상태이다. 이것은 보호 물질이 레이저 빔에 의해 공급된 열에 의해 웨이퍼 표면에 고착된 것으로 판단된다. 초음파 세정 후 또한 표면 보호 물질이 완전히 제거되지 않음을 알 수 있으며 파편 또한 완전히 제거 되지 않음을 알 수 있다. 따라서 적절한 표면 보호 액 및 세정 공정에 대한 연구 및 개발이 필요하다.

Fig. 14는 패턴 웨이퍼에 대해 수용성 표면 보호 물질 없이 레이저 다이싱 후 초음파 세척 테스트를 수행한 결과이다. Fig. 13에서의 초음파 세척의 결과와 달리 파편은 거의 제거된 상태이다. 그러나 초음파 세척으로 인해 웨이퍼 표면의 패턴이 분리되어 이탈되는 현상이 발생할 수 있는 문제점을 가지고 있다.

4.3. 다이 내구성 측정 실험 결과

다이 내구성을 측정하기 위한 대상은 0.1 mm 두께의 실리콘 웨이퍼를 사용하였고, 다이 크기는 5.8 mm×5.8 mm이며, Span (L)은 5 mm로 설정하였다. 휨 측정을 위해 사용된 로드셀은 250 N 이하의 인장 및 압축력의 측정이 가능하다.

Fig. 15와 같이 지지대 위에 웨이퍼 다이를 올려놓고 힘을 가하여, 다이가 파손되는 시점에서의 힘을 측정한다. 측정된 힘 (N)을 이용하여 식 (1)으로부터 장력, 즉 다이 내구성을 계산한다. 각각 25개의 샘플을 측정하였으며 측정 결과를 Table 2에 나타내었다. 기계적 절단에 의한 다이의 다이 내구성 평균값은 349.397 MPa (2.702 N)로 측정되었고 레이저 다이싱에 의한 다이 내구성의 평균값은 185.948 MPa (1.438 N)로 측정되어 레이저를 이용하였을 경우 최대, 최소 및 평균 다이 내구성이 약 50% 작아짐을 알 수 있다. 이것은 레이저 다이싱 시 발생하는 열에 의한 웨이퍼의 조직 변화, Fig. 10의 절단면(2)의 상태 및 미소균열 발생 등의 영향으로 판단된다. 더욱이 실험 수행 시 수동으로 웨이

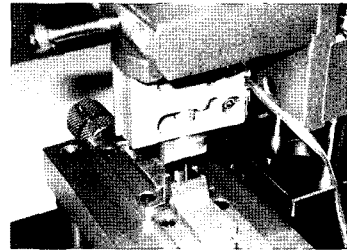


Fig. 15. 굽힘 테스트 시스템

퍼를 분리하는 과정에서 다이에 미소균열이 발생했을 가능성도 있다. 따라서 패키징 공정 장비를 통한 보다 정밀한 검증이 수행되어야 할 것이며, 이러한 문제점은 다이 적출공정, 다이 본딩 및 와이어 본딩 시 기존의 패키징 공정 매개변수에 의해 다이의 깨지는 문제점이 발생할 것으로 판단된다.

Table 1. 다이 내구성 실험결과

절단 공정	최대값	최소값	평균	표준편차	샘플수
Laser	352.500	79.681	185.948	72.875	25
Diamond	641.418	186.724	349.397	124.588	25

5. 결 론

본 논문에서는 레이저에 의한 웨이퍼 다이싱 절단 상태를 조사하여 문제점을 도출하였고, 굽힘 테스트를 수행하여 레이저 다이싱 후 다이의 내구성과 다이아몬드 절단 후 다이의 내구성을 비교하였다. 레이저 다이싱 실험 결과로써, 웨이퍼의 표면에는 기화된 실리콘 물질이 응고된 파편이 관측되었다. 표면의 파편을 제거하기 위해 수용성 표면 보호 물질을 이용한 물 세정 실험과 초음파 세정 실험을 수행한 결과, 열에 의해 직접 영향을 받은 영역에서 수용성 표면 보호 물질과 파편이 제거되지 않아 와이어 본딩을 위한 접촉 단자위에 파편이 존재할 경우 문제점으로 지적된다. 레이저 다이싱의 경우 기계적 절단과는 달리 절단면은 거친 상태이나 부스러짐과 미소균열은 관찰되지 않았다. 그러나 다이의 내구성을 측정하기 위해 굽힘 테스트를 수행한 결과, 레이저 다이싱에 의한 다이 내구성이 기계적 절단에 의한 다이 내구성보다 작음을 확인 할 수 있었고, 이는 패키징 공정에서 다이가 깨지는 문제점을 야기시킬 것으로 예상된다.

따라서 레이저 다이싱을 적용하기 위해서는 파편에 의한 표면 보호 방법 및 세정 방법에 대한 연구 및 개

발, 다이의 내구성 약화의 원인 분석 및 해결방법에 대한 연구 방법이 필요하다.

참고문헌

1. 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.
2. J. D. Wu, C. Y. Huang and C. C. Liao, "Fracture strength characterization and failure analysis of silicon dies", Microelectronics Reliability, Vol.43, pp.269-277, 2003.