

# LED 칩 제조용 사파이어 웨이퍼 절단을 위한 내부 레이저 스크라이빙 시스템 개발

김종수\*, 유병소\*, 김기범\*\*, 송기혁\*\*, 김병찬\*\*, 조명우\*\*.#

\*(주)QMC, \*\*인하대학교 기계공학과

## Development of Internal Laser Scribing System for Cutting of Sapphire Wafer in LED Chip Fabrication Processes

Jong-Su Kim\*, Byung-So Ryu\*, Ki-Beom Kim\*\*, Ki-Hyeok Song\*\*, Byung-Chan Kim\*\*,  
Myeong- Woo Cho\*\*.#

\*QMC LTD, \*\*School of Mechanical Engineering, INHA UNIV.

(Received 21 October 2015; received in revised form 9 November 2015; accepted 11 November 2015)

### ABSTRACT

LED has added value as a lighting source in the illuminating industry because of its high efficiency and low power consumption. In LED production processes, the chip cutting process, which mainly uses a scribing process with a laser has an effect on quality and productivity of LED. This scribing process causes problems like heat deformation, decreasing strength. The inner laser method, which makes a void in wafer and induces self-cracking, can overcome these problems. In this paper, cutting sapphire wafer for fabricating LED chip using the inner laser scribing process is proposed and evaluated. The aim is to settle basic experiment conditions, determine parameters of cutting, and analyze the characteristics of cutting by means of experimentation.

**Key Words :** Internal Laser Scribing(내부 레이저 스크라이빙), Laser Ablation(레이저 어블레이션), LED Chip (발광다이오드 칩), Pulse Laser(펄스 레이저), Sapphire Wafer(사파이어 웨이퍼)

### 1. 서 론

LED(Light Emitting Diode)는 높은 수명 및 낮은 소비 전력에 따른 에너지 절감, 색 온도 조절, 빠른 응답 속도, 친환경적 특성, 소형화 및 경량화 등의 장점으로 인해 휴대 전화의 스위치, LED

TV용 BLU(Back Light Unit)등에 사용되고 있으며 조명분야로 적용범위가 확대되면서 매년 사용량이 증가되고 있다.<sup>[8]</sup>

LED 제작 공정은 크게 InGaN(Indium Gallium Nitride)을 성장시키는 EPI 공정, 칩 제작 공정, 패키징(Packaging) 공정 및 모듈화 공정으로 구분된다. 칩의 제작 공정 중 스크라이빙(Scribing) 공정은 칩을 절단하기 위한 공정으로 칩의 특성과 생산량을 결정짓는 중요한 공정이다<sup>[1]</sup>. 특히 스크라이빙 가공 시 발생하는 IR(Reverse current), Double

# Corresponding Author : chomwnet@inha.ac.kr

Tel: +82-32-860-2239, Fax: +82-32-868-1716

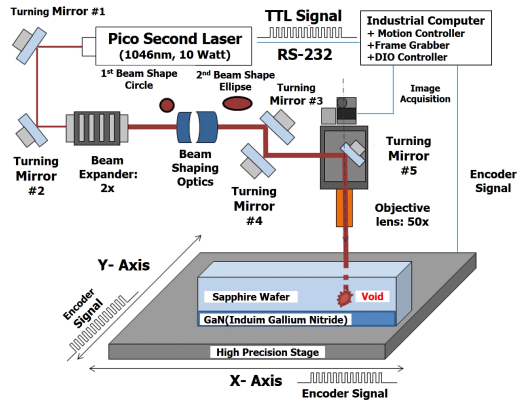


Fig. 1 Internal laser scribing system

chip, Meandering, Chipping등의 불량은 LED 칩의 생산 수율을 저하시키고, 공정의 최적화 및 정밀화를 어렵게 만드는 요소로 작용한다.<sup>[9]</sup>

스크라이빙은 가공 방식에 따라 다이아몬드가 코팅된 날을 이용하여 웨이퍼를 절단·분리하는 기계적 다이싱(Mechanical blade dicing), 웨이퍼 표면에 레이저를 조사하여 초점 부위를 미세 삭마하여 가공하는 레이저 어블레이션(Laser ablation scribing), 웨이퍼 내부에 공극 형성에 따른 자가 균열(Crack)을 유도하는 내부 레이저 스크라이빙(Internal laser scribing)으로 분류된다<sup>[2]</sup>. 그중 기계적 다이싱 공정은 가공 시 발생하는 칩의 분진과 냉각수의 혼합 오염 유체로 인해 웨이퍼 표면에 미세 균열이 발생하는 문제를 가지고 있고, 레이저 어블레이션 공정은 재료의 투과율과 흡수율에 따라 가공 조건이 달라지며 가공 중 발생하는 잔해, 열 변형문제, 열원에 의한 칩의 강도 저하와 절단영역 폭이 제한적인 문제점이 있다<sup>[2,3]</sup>.

이에 따라 최근 레이저 어블레이션 공정에서 발생하는 잔해 발생 및 열 변형을 최소화시킬 수 있는 내부 레이저 스크라이빙 공정이 대두되고 있다. 그러나 내부 레이저 스크라이빙 공정에 대한 연구는 기존 반도체 칩 제작에 사용되는 실리콘 웨이퍼의 절단에 국한되어 있고, LED 칩 제작을 위한 사파이어 웨이퍼의 절단에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 InGaN이 증착된 사파이

어 웨이퍼에 대한 내부 레이저 스크라이빙 장치를 설계하였고, 이를 위한 광학 시스템, 정밀 이송 시스템 및 측정 시스템을 구축하였다. 최종적으로 사파이어 웨이퍼의 내부 레이저 스크라이빙 실험을 통하여 개발된 시스템의 LED 칩 절단 적용 가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 내부 레이저 스크라이빙 가공

내부 레이저 스크라이빙 공정은 웨이퍼 내부에 공극을 형성시켜, 미세 균열의 전이를 통한 자가 균열을 유도하는 가공기술로 1차 레이저 빔에 의해 웨이퍼 내부의 초점 영역에 10,000K이상의 온도로 가열되고 이에 따라 웨이퍼 내부에 순간적인 기화 현상으로 인해 공극이 형성된다. 이 때 수십 ns(Nano Second)후 약 2000K의 고온 영역으로부터 열 충격파 (Thermal Shockwave)가 초점 부근으로부터 레이저 조사 방향으로 전달된다<sup>[3-5]</sup>. 열 충격파가 전달된 부분에서는 매우 큰 압축응력이 발생하여 높은 전위 밀도 층이 형성되며, 2차 레이저 빔에 의해 생긴 열 충격파가 1차 레이저 빔에 의해 형성된 높은 전위 밀도 층을 통과하여 전파될 때 균열이 진행된다. 이와 같은 현상의 반복에 따라 자가 균열이 유도되어 웨이퍼 절단 작업을 수행하게 된다<sup>[1,4,5]</sup>.

이러한 내부 레이저 스크라이빙 시스템을 구축하기 위해 사파이어 웨이퍼의 공급 장치, 정밀 가공을 위한 정밀 이송 장치, 위치 보정 및 가공 방향을 선정을 위한 비전 시스템, 내부 레이저 가공을 위한 레이저 및 광학계를 이용하여 Fig. 1과 같이 시스템을 구축하였다.

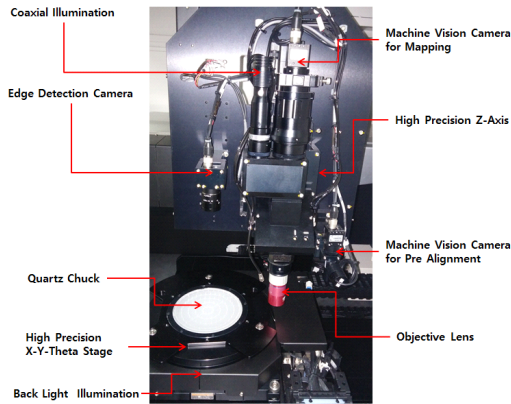
## 3. 내부 레이저 스크라이빙 시스템 구성

### 3.1 레이저 광원 및 광학계

사파이어웨이퍼 가공에 필요한 펄스 레이저 모듈은 기본적으로 사파이어 웨이퍼의 투과율과 공극생성에 필요한 출력을 고려하여 선정해야 한다.

**Table 1 Specification of the beam delivery system**

Beam delivery system optics	Specification
1st Turning mirror	1 inch spherical turning mirror
Beam expander	x3
1st Beam shaper	Concave lens, f=50mm
2nd Beam shaper	Convex lens, f=200mm
2nd Turning mirror	1 inch spherical turning mirror
3rd Turning mirror	Rectangular turning mirror
Focusing lens	x50, NA 0.6 NIR



**Fig. 2 Laser head system**

사파이어 웨이퍼의 투과율은 두께 85 $\mu\text{m}$ 에서 InGaN 층이 6 $\mu\text{m}$ 로 증착 시 스크라이빙 시 광원의 파장인 1010nm~2000nm에서 87~88%로 나타났다. 사파이어 웨이퍼의 투과율을 고려하여 레이저 광원은 1064nm 파장을 가지는 피코초 레이저를 사용하였고 Expander를 장착하여 레이저 빔을 확대한 후 실린더 렌즈를 이용하여 스크라이빙 방향으로 장축을 가지는 타원 형태의 빔을 형성시켰다. 이 때 빔의 경로는 1~3차 반사경을 통해 제어하였고 빔의 경로상의 손실을 감소시키기 위해 광학계별로 투과율 및 반사율을 측정된 뒤 이를 향상시키기 위해 코팅 처리를 하였다. 최종적으로

빔의 스폿 크기를 감소시켜 공극이 생성되는 부분에 에너지를 집중시키기 위해 x50 배율의 대물렌즈를 장착하여 Fig. 2와 Table 1과 같이 광학 시스템을 구축하였다.

### 3.2 정밀 이송 시스템

LED 칩 제작을 위한 사파이어 웨이퍼는 일반적으로 2", 4", 6"를 주로 사용하며, 두께가 80~100 $\mu\text{m}$ 으로 외부 충격에 민감하여 반송 시 많은 추가 공정이 필요하다. 사파이어 웨이퍼는 내부 레이저 스크라이빙을 위해 Blue Tape에 부착되고, 반송을 위해 Steel Ring을 사용하여 스테이지에 장착되는 방식으로 처리된다. 정밀 이송을 위한 스테이지는 이동속도 최대 800mm/sec로 이송되며, 레이저 가공 시 Z축 위치 변화에 따라 초점 위치가 변화하게 됨으로, 가공 후 InGaN에 불량 발생시키거나, 공극이 미 형성되어 스크라이빙이 되지 않는 경우가 빈번히 발생한다. 이를 해결하기 위한 방법으로 스테이지 성능에서 진직도, 정확도, 반복 정밀도 등의 성능이 보장되어야 한다. 스테이지의 구성은 사파이어 웨이퍼를 안착시키기 위한 Quartz Check와 위치고정을 위한 진공 장치로 구성되어있으며, 사파이어 웨이퍼의 위치를 보정하기 위해 웨이퍼의 경계를 검출하기 위한 광학 비전 시스템으로 구성된다. 또한 구동부의 경우 Fig. 3과 같이 X-축, Y-축,  $\theta$ -축으로 구성되어, 내부 레이저 스크라이빙에 필요한 정밀 위치보정 및 가공이 가능한 형태로 구성된다. 본 연구에서는 레이저 가공을 위한 초점 위치 이동에 필요한 Z-축 이송계의 구성을 광학 부품에 구성하여 대물렌즈와 결합되어 이동하는 구조로 시스템을 구성하였다.

### 3.3 경계 추출을 위한 비전 시스템

사파이어 웨이퍼의 내부 가공 전, 위치 검출을 위한 방법으로 경계 검출 방법이 필요하다. 특히 LED 칩의 경우, 칩 사이의 간격이 최소 수  $\mu\text{m}$ 에서 수십  $\mu\text{m}$ 까지 폭이 매우 협소하기 때문에, 가공 전에 웨이퍼의 위치 검출에 오류가 발생하면 가공 후, 불량 발생이 높은 문제가 발생한다. 특

히, 모든 스크라이빙 라인의 경우, X-Y-Z축 매핑 데이터와 연동되기 때문에 선형보간 (Linear Interpolation)에서 오류를 최소화하기 위해서도 웨이퍼의 경계 검출의 정확도가 가공성에 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 사파이어 웨이퍼의 내부 레이저 스크라이빙의 경우, 정상적인 웨이퍼와 분리된 웨이퍼 모두 검출이 가능해야하고, 또한 투명도가 일반 실리콘 웨이퍼에 비해 높아, 이물체에 의한 오류가 발생할 수 있어 실험 시스템 구성 시 많은 주의가 필요하다.

사파이어 웨이퍼의 경우 결정방향을 갖는 구조로 스크라이빙 시, A-면, M-면에 따라 가공방법이 다르게 진행되어야 한다. 결정 방향 가공의 경우 균열의 전이를 고려하여 다중 경로를 갖는 형태로 2회 가공이 진행되어야하고, 비 결정 방향의 경우 균열의 전이가 레이저 빔의 방향과 동일하기 때문에 단일 경로 형태로 1회 가공이 진행되어야 한다. 사파이어 웨이퍼의 경계 검출은 결정방향의 기준이 되는 경계 면을 검출하기 위한 방법으로, 경계 면의 위치에 오류가 생기는 경우, LED 칩 간 Kerf width 가공이 아닌, 칩 상에 레이저 가공이 진행되기 때문에 정확한 경계 처리 알고리즘이 필요하다.

경계 검출의 문제는 상부 조명과 하부 조명간의 균일도 문제로 인해 해당 현상이 발생한다. 따

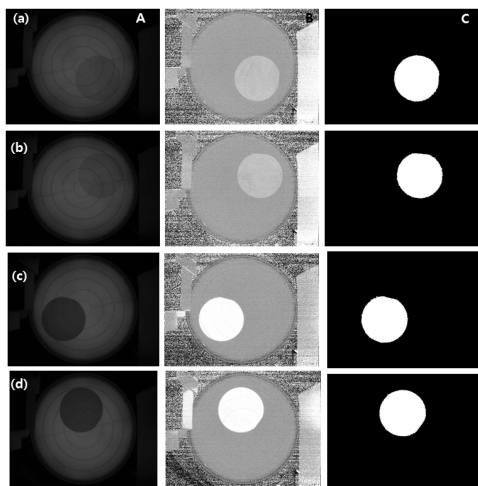


Fig. 3 Results of edge detection at different position

라서 조명의 균일도를 유지하기 위한 방법으로 균일화 알고리즘을 적용하였다. Fig. 3와 같이 원본 이미지와 조명의 명암 영역을 구분하여 이미지 처리 후, 검출 이미지를 재생성하여 영상을 분석하였다.

## 4. 사파이어 웨이퍼의 스크라이빙 실험

### 4.1 레이저 출력에 따른 스크라이빙 실험

사파이어 웨이퍼의 가공 시 레이저 출력의 설정은 가공 절단면 가공에 영향을 주는 주요 공정 인자이며, 또한 미세 균열 유도를 진행하기 위한 기본 요소이다. 특히 레이저 출력에 따라, 균열이 유도되는 방향이 수직방향으로 또는 사파이어의 결정방향으로 진행되기 때문에 InGaN에 물리적인 손상과 Kerf width 제어 시 문제를 야기할 수 있어 기초 실험에 의한 경향성 분석이 필요하다.

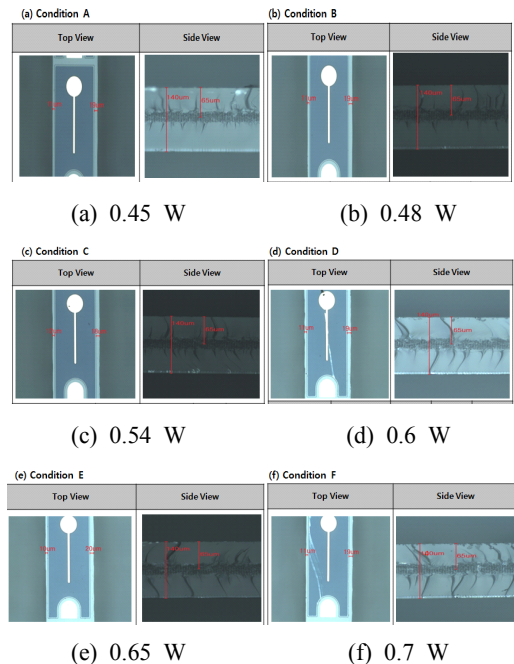


Fig. 4 Results of scribing according to laser power

**Table 2 Experimental condition according to laser power**

Pulse width	15 ps
Wavelength	532 nm
Repetition rate	100 khz
Burst mode pulse	10
Beam size	2 × 3
Stage speed	450 mm/sec
Pulse to pulse	4.5 μm

본 연구에서는 기 설정된 에너지 밴드 갭 (Energy Band Gap) 범위 중에서 에너지 밀도가  $0.44\text{J}/\text{cm}^2 \sim 11.12\text{J}/\text{cm}^2$ 인 범위를 가지는 레이저 출력인  $0.4\text{W} \sim 0.7\text{W}$ 를 설정하여 출력 변화에 따른 절단면의 상태변화를 실험하였다. 가공 조건은 Table 2와 같다. 가공 재료의 경우 두께  $140\mu\text{m}$ 이고 칩 크기가  $600 \times 260\mu\text{m}$ 으로 다이 간 거리를  $30\mu\text{m}$ 으로 기준을 설정하고 실험을 진행 하였다.

Fig.4와 같이 본 실험을 통해 레이저 출력에 따른 절단면의 변화를 확인할 수 있었다. 펄스 에너지가 높을수록 절단면이 고르지 못하기 때문에 내부가공 진행시 출력 설정에 따른 Kerf Width 문제로 인해 다이간의 간격 불균형과 칩 손상이 문제 될 수 있다는 것을 파악할 수 있었다. 또한 사파이어 웨이퍼 두께가  $140\mu\text{m}$ 임에도 불구하고 펄스 에너지가  $5.0\mu\text{J}$ 이상인 경우, 균열의 전이가 하부까지 전달되어 InGaN에 물리적인 손상을 줄 수 있다는 것을 확인하였다.

## 4.2 균열 전이 각도 측정 실험

사파이어 웨이퍼의 재료는 단결정 (Mono-crystalline)구조로 되어있다. 이러한 단결정의 구조적 특징은 사파이어 웨이퍼 C-축(상면 기준 Z축)을 기준으로 C-면 R-면, A-면으로 구분된다. 따라서 내부 레이저 스크라이빙 가공의 경우 결정 구조에 따라 가공방법이 상이하게 적용되어야 한다. A-면의 경우 내부 가공 시 수직방향으로 가공을 진행해도 결정방향과 동일하기 때문에 문제가 발생하지 않는다, 그러나 M-면의 경우  $30^\circ$  결정방향으로 결정구조가 형성되어 있어, 레이저 가공 시 균열의 전이가 결정 방향으로 진행되는

**Table 3 Angle of crack after scribing**

No.	Vertical length (μm)	Horizontal length (μm)	Angle (deg)	Focus point (μm)
1	73	7	5.48	69
2	73	10	7.80	79
3	73	7.7	6.02	72
4	74	10	7.70	78
5	75	7.8	5.94	71
6	73	5.7	4.46	62
7	73	5.8	4.54	63
8	74	4.7	3.63	53
9	72	6	4.76	64
10	74	6	4.64	63
Avg	73.4	7.07	5.50	67.4
Min	72	4.7	3.63	53.0
Max	75	10	7.80	79.0

문제가 발생한다.

본 실험은 사파이어 웨이퍼에 레이저 빔을 조사하고, 초점 위치를 변경하여 가공 후, 전이된 균열 방향을 측정하여, 웨이퍼에서 균열의 수직, 수평방향의 위치편차를 측정하여, 내부 가공 시 정밀한 균열 방향성을 제어 방법에 대해 분석하고자 실험을 진행하였다.

본 실험의 가공 조건은 레이저 출력을  $0.35\text{W}$ , 반복률  $100\text{khz}$ , 스테이지 이동속도  $480\text{mm}/\text{sec}$ 으로 설정하고 실험하였다. 균열의 전이 각도에 대한 측정은 사파이어 웨이퍼 표면을 기준으로 깊이가  $63\sim 79\mu\text{m}$ 지점에서의 전이된 균열과 이루는 각을 확인하였다. Table. 3은 생성된 균열의 전이 각을 측정한 결과로 초점이 평균  $67.4\mu\text{m}$ 인 지점을 기준으로 레이저 가공에 의해 생성된 공극으로 인하여 전이된 균열은 수직방향으로 평균  $6\mu\text{m}$ 가공이 진행되고, 수평방향으로 평균  $4.07\mu\text{m}$ 이 진행된 것을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 균열 각도는 평균  $5.5^\circ$ 으로 확인되었다.

## 4.3 레이저 침투에 따른 Crack shift 측정

레이저 내부 스크라이빙에 의한 균열의 전이는 가공에 의해 생성된 공극 위치를 기준으로 수평, 수직 방향으로 진행된다. 진행방향과 공극 생성

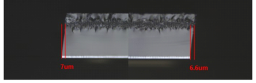
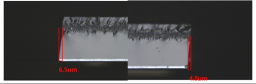
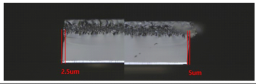
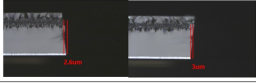
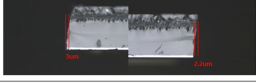
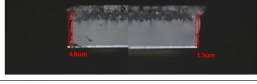
Focusing Point (μm)	1 <sup>st</sup> Shift Side (μm)	2 <sup>nd</sup> Shift Side (μm)	Shifting Result
30	7	6.6	
40	6.5	4.8	
50	2.5	5	
Focusing Point (μm)	1 <sup>st</sup> Shift Side (μm)	2 <sup>nd</sup> Shift Side (μm)	Shifting Result
60	2.6	3	
70	3	2.2	
80	4.6	1.5	

Fig. 5 Results of crack shift measurement

위치에 따라서 가공 후, 익스팬더 시스템에 의해 웨이퍼가 확장 시 Breaking Shift 양이 변경될 수 있다. 이것은 레이저 침투 깊이에 따라 InGaN에 물리적인 손상 또는 다이 사이의 Street Width에 대한 문제를 발생시키게 되므로 레이저 침투 깊이에 따른 Crack Shift의 측정이 필요하다. 본 실험에서는 초점 위치를 사파이어 웨이퍼 표면을 기준으로 30 ~ 80μm 까지 10μm 단위로 변경하고, 동일한 가공 조건인 레이저 출력을 0.35W, 반복률 100khz, 스테이지 이동속도 480mm/sec으로 설정하고 실험을 실시하였다.

실험결과 초점 50μm 이상의 조건에서 가공할 경우, Breaking Shift가 3μm이하로 진행되는 것을 확인할 수 있었다. 본 실험을 통하여 균열 전이에 따른 InGaN의 물리적인 손상을 최소화하고, 절단 너비를 확보할 수 있는 초점과 Crack Shift 량을 확인할 수 있었다.

## 5. 결론

본 연구는 InGaN이 증착된 사파이어 웨이퍼의 절단을 위한 내부 레이저 스크라이빙 시스템 구축

및 가공에 대한 연구로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1) 내부 레이저 스크라이빙 공정을 위해 사파이어 웨이퍼의 공급 장치, 정밀 가공을 위한 정밀 이송 장치, 위치 보정 및 가공 방향을 선정을 위한 비전 시스템, 내부 레이저 가공을 위한 레이저 및 광학계를 이용하여 시스템을 구축하였고, 이에 대한 기초 실험을 진행하였다.

2) 레이저 출력에 따른 절단면의 변화 실험을 통해 펄스 에너지가 높을수록 절단면이 고르지 못하기 때문에 내부가공 진행시 출력 설정에 따른 Kerf Width 문제로 인해 다이간의 간격 불균형과 칩 손상이 문제될 수 있다는 것을 파악할 수 있었고, 최적의 레이저 출력을 0.35W로 설정하였다.

3) 스크라이빙 공정 시 사파이어 웨이퍼에서 나타나는 균열 전이 각을 측정 한 결과, 초점이 평균 67.4μm인 지점을 기준으로 레이저 가공에 의해 생성된 공극으로 인하여 전이된 균열은 수직방향으로 평균 6μm 가공이 진행되고, 수평방향으로 평균 4.07μm이 진행된 것을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 균열 각도는 평균 5.5°로 확인되었다.

4) 레이저 침투에 대한 InGaN층의 안정성 실험 결과, 초점 50μm 이상의 조건에서 가공할 경우, Breaking Shift가 3μm이하로 진행되는 것을 확인할 수 있었고 균열 전이에 따른 InGaN의 물리적인 손상을 최소화할 수 있었다.

위 실험 결과를 토대로 LED 공정에 사용되고 있는 사파이어 웨이퍼에 대한 내부 레이저 스크라이빙 공정의 적용 가능성을 검토할 수 있었으며 제작된 시스템의 유효성에 대해 확인하였다.

## 후 기

“이 논문은 산업통상자원부 사업화연계기술개발사업(R8E0사업-투자유도형)의 일환으로 수행중인 ‘Z-stocked Multi Focusing 기술을 적용한 Thick Epi-Wafer 절단용 Laser System 개발’ 과제 연구비 지원으로 수행되었음.”

## REFERENCES

1. Ohmura, E., Kumagai, M., Nakano, M., Kuno, K., Fukumitsu, K. and Morita, H., "Analysis of Processing Mechanism in Stealth Dicing of Ultra Thin Silicon Wafer," J. Adv. Mech. Des. Syst. Manuf., Vol. 2, No. 4. pp. 540-549, 2008.
2. Fukuyo, F., Fukumitsu, K. and Uchiyama, N., "Stealth Dicing Technology and Applications," Proc. 6th Int. Symp. Laser Precision Microfabrication, pp. 1-7, 2005.
3. Rezaei, S., "Burs-Train Generation for Femtosecond Laser Filamentation-driven micromachining," A Thesis for a Doctorate, University of Toronto, Canada, 2011.
4. Monodane, T., Ohmura, E., Fukuyo, F., Fukuitsu, K., Morita, H. and Hirata, Y., "Thermo-Elastic-Plastic Analysis on Internal Processing Phenomena of Single-Crystal Silicon by Nanosecond Laser," J. Laser Micro/Nanoengineering, Vol. 1, No. 3, pp. 231-235, 2006.
5. Ohmura, E., Kawahito, Y., Fukumitsu, K., Okuma, J. and Morita, H., "Analysis of Internal Crack Propagation in Silicon Due to Permeable Pulse Laser Irradiation: Study on Processing Mechanism of Stealth Dicing," J. Mater. Sci. Eng., pp. 46-52, 2011.
6. Karnakis, D., Illy, E. K., Knowles, M. R. H., Gu, E. and Dawson, M. D., "High Throughput Scribing for the Manufacture of LED Components," Integrated. Optoelectronics. Devices, pp. 207-211, 2004.
7. Choi, J., Bernathm, R., Ramme, M. and Richardson, M., "Increase of Ablation Rate using Burst Mode Femtosecond Pulses," Conf. Lasers and Electro-Optics p. JThD101, 2007.
8. Kim, B. C., "System Calibration Method for Silicon Wafer Warpage Measurement" J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 13, No. 6, pp. 139-144, 2014.
9. Hwang. J. H., Kwak. T. S., Lee. D. W., Jung. M. W. and Lee S. M., "A Study on the ELID Grinding Properties of Single Crystal Sapphire Wafer using Ultrasonic Table", J. Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 12, No. 4, pp. 75-80, 2013.