

LED 칩 제조용 사파이어 웨이퍼 절단을 위한 내부 레이저 스크라이빙 가공 특성 분석

송기혁¹, 조용규¹, 김병찬¹, 강동성¹, 조명우¹, 김종수^{2*}, 유병소²

¹인하대학교 기계공학과, ²(주)큐엠씨

Analysis of Cutting Characteristic of the Sapphire Wafer Using a Internal Laser Scribing Process for LED Chip

Ki-Hyeok Song¹, Yong-Kyu Cho¹, Byung-Chan Kim¹, Dong-Seong Kang¹,
Myeong-Woo Cho¹, Jong-Su Kim^{2*}, Byung-So Ryu²

¹Department of Mechanical Engineering, Inha University

²QMC. Co. LTD

요약 스크라이빙 공정은 LED 칩 생성을 위한 절단 공정으로 칩의 특성 및 생산량을 결정하는 중요한 공정이다. 기존의 기계적 방식 및 레이저 방식의 스크라이빙 공정은 칩의 열 변형 및 강도 저하, 절단 영역의 제한 등의 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 웨이퍼 내부에 공극을 생성하여 자가 균열을 유도하는 내부 레이저 스크라이빙 공정이 연구되고 있으나 LED 칩 제작을 위한 사파이어 웨이퍼의 절단에 대한 연구는 미비한 실정이다. 본 논문은 LED 칩 제작에 사용되는 사파이어 웨이퍼의 내부 레이저 스크라이빙 공정을 적용하기 위해 주요 가공 변수를 정립하고 가공 실험을 통하여 절단 특성을 분석함으로써 내부 레이저 스크라이빙 시스템 구축을 위한 기초 가공 조건을 확립하였다.

Abstract Scribing is cutting process to determine production amount and characteristic of LED chip. So it is an important process for fabrication of LED chip. Mechanical process and conventional scribing process with laser source has several problems such as thermal deformation, decreasing of material strength and limitation of cutting region. To solve these problems, internal laser scribing process that generates void in wafer and derives self-crack has been researched. However, studies of sapphire wafer cutting by internal laser scribing process for fabrication of LED chip are still insufficient. In this paper, cutting parameters were determined to apply internal laser scribing process for sapphire wafer for fabrication of LED chip. Then, foundation of cutting condition was established to set up internal laser scribing system through investigation of cutting characteristics by several experiments.

Keywords : Internal laser scribing, Laser ablation, LED chip, Pulse laser, Sapphire wafer

1. 서론

LED(Light Emitting Diode)는 저 전력, 높은 내구성, 고 휘도, 빠른 응답속도, 친환경적 특성 등으로 인해 휴대 전화의 스위치, LED TV용 BLU(Back Light Unit) 등

전자 부품으로 사용되고 있으며 조명분야로 적용범위가 확대되면서 매년 사용량이 증가되고 있다.

LED 제작 공정은 크게 InGaN(Indium Gallium Nitride)을 성장시키는 EPI 공정, 칩 생성 공정, 패키징(Packaging) 공정 그리고 모듈화 공정으로 구분된다. 칩 생성 공정 중

본 논문은 산업통상자원부 사업화연계기술개발사업(R8E0사업-투자유도형)의 일환으로 수행중인 'Z-stocked Multi Focusing 기술'을 적용한 Thick Epi-Wafer 절단용 Laser System 개발' 과제 연구비 지원으로 수행됨.

*Corresponding Author : Jong-Su Kim(QMC. Co. LTD)

Tel: +82-70-4018-8845 email: Jskim2@iqmc.co.kr

Received August 18, 2015

Revised September 9, 2015

Accepted September 11, 2015

Published September 30, 2015

스크라이빙(Scribing)은 칩을 절단하기 위한 공정으로 가공방식에 따라 칩의 특성 및 생산량이 결정되는 중요한 공정이다.[3] 특히 스크라이빙 가공 시 발생하는 IR(Reverse current), Double chip, Meandering, Chipping 등의 불량은 LED 칩의 생산 수율을 저하시키고, 공정의 최적화 및 정량화를 어렵게 만드는 요소로 작용한다.

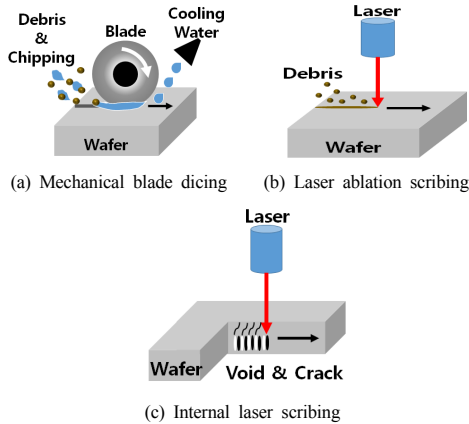


Fig. 1. Scribing method according to the process type

스크라이빙은 가공 방식에 따라 Fig. 1과 같이 다이아몬드 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.[1] 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.[1-2]

이에 따라 레이저 어블레이션 공정에서 발생하는 잔해 발생 및 열 변형을 최소화시킬 수 있는 내부 레이저 스크라이빙 공정이 최근 대두되고 있다. 이러한 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 사파이어 웨

이퍼에 대한 내부 레이저 스크라이빙 공정의 가공 메커니즘을 분석하고, 주요 가공 인자에 대한 기초 실험을 통해 사파이어 웨이퍼 절단을 위한 최적 가공 조건을 제시함으로써 내부 레이저 스크라이빙 공정의 LED 칩 절단 공정에 적용 가능성을 검토하고자 한다.

2. 내부 레이저 스크라이빙 공정

내부 레이저 스크라이빙 공정은 웨이퍼 내부에 공극을 형성시켜, 미세 균열의 전이를 통한 자가 균열을 유도하는 가공기술이다. 가공원리는 Fig. 2와 같으며, 1차 레이저 빔에 의해 웨이퍼 내부의 초점 영역에 10,000K 이상의 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.[3-5] 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.[3-5]

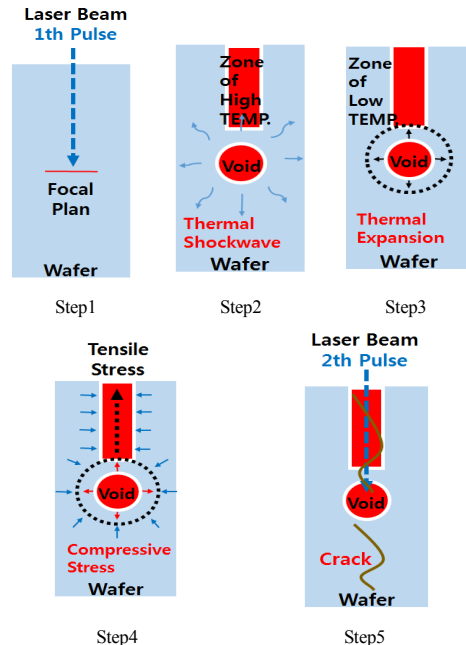


Fig. 2. Process of the internal laser scribing

3. 사파이어 웨이퍼의 재질 특성

3.1 결정 구조 분석

사파이어 웨이퍼는 Al_2O_3 이 2300K 이상에서 단결정이 성장되어 이루어진 결정체로 온도변화에 매우 안정적이며, 경도가 다이아몬드 다음으로 높고, 산과 알칼리 등 화학적 반응에 대한 안정성을 가지고 있다. 광학적 특성으로는 투과율 및 굴절률(1.769)이 높고, 금속과 유사한 열전도를 가지고 있어 LED 칩과 같은 광학 디바이스 제작에 용이하다. 내부 레이저 스크라이빙 공정은 사파이어의 결정 방향에 따라 가공 형태가 상이하게 나타나기 때문에 사파이어 웨이퍼에 대한 재료 특성 분석이 매우 중요하다. 사파이어 웨이퍼는 결정방향에 따라 Fig. 3과 같이 C-면, A-면, R-면으로 구분되며 LED 칩 제조를 위해서는 C와 R-면이 사용된다. 사파이어 웨이퍼의 내부는 A-면과 M-면으로 구분되어 내부 레이저 스크라이빙 가공 시 결정 방향의 가공의 경우 균열 전이를 고려하여 다중 경로 형태로 2회 이상 가공을 수행해야 하며, 비 결정 방향의 경우 균열의 전이가 레이저 빔의 조사 방향과 일치하므로 단일 경로로 1회 가공이 진행되어야 한다.

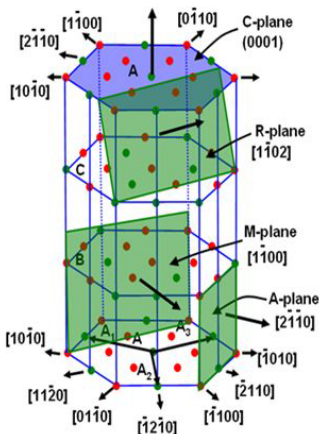


Fig. 3. The crystal lattice of sapphire [6]

3.2 사파이어 웨이퍼의 투과율 분석

스크라이빙 공정 이전에 슬리밍(Slimming) 공정으로 래핑 공정이 사용된다. 이 때 래핑 공정에 따른 투과율 변화량을 확인하기 위해 웨이퍼의 래핑 전, 후 파장대별 투과율을 측정하였다. 측정 파장은 200nm의 UV 영역에서부터 2200nm의 NIR 영역이다.

래핑 전 사파이어 웨이퍼의 두께는 430um, InGaN의 두께는 6um이며 래핑 공정 이후 85um의 두께로 측정되었다. Fig. 4는 래핑 공정에 따른 투과율 측정 결과로 래핑 전 후로 파장이 1000nm 이상에서 87%의 투과율을 나타내었다. 이 때 InGaN이 증착된 경우 재료 혼합으로 인한 오차 범위가 넓어 정량화가 불가능 하였으나 70% 이상으로 나타났고 래핑 공정 이후 500nm에서 1000nm 사이의 파장에서 InGaN 증착에 의한 투과율 편차가 줄어드는 것을 확인하였다. 투과율 측정을 통해서 내부 레이저 스크라이빙 공정에 필요한 레이저의 파장은 532nm와 1064nm가 적절한 것으로 판단되었고 이를 이용하여 내부 레이저 스크라이빙 기초 실험을 수행하였다.

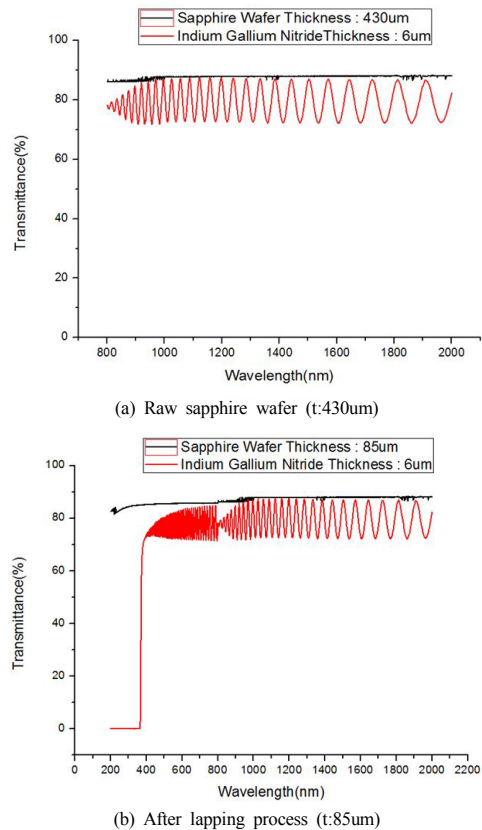


Fig. 4. Transmittance of sapphire wafer

4. 기초 실험을 통한 가공 특성 분석

LED 칩의 특성은 InGaN에 의해 결정되기 때문에 InGaN에 미치는 열 영향을 최소화시키기 위해서 내부

레이저 스크라이빙 시 인가되는 에너지를 최소화시키는 가공조건 수립이 필요하다. 특히 가공 깊이가 GaN층에 근접했을 경우, 가공 에너지에 의한 백점 또는 IR 불량이 발생되기 때문에 레이저의 침투깊이에 따른 에너지 밸런스를 조정하는 것이 중요하다.

따라서 본 기초 실험에서는 레이저의 펄스 조건 및 렌즈의 N.A(Numerical Aperture) 조건, 에너지 밀도에 따른 가공 실험을 통해 InGaN 증착 웨이퍼에 대한 내부 레이저 스크라이빙 공정의 적용 가능성을 확인하고 이에 대한 최적의 가공 조건을 분석하였다. 이를 위해 사용된 내부 레이저 스크라이빙 장치의 구성은 Fig. 5와 같다.

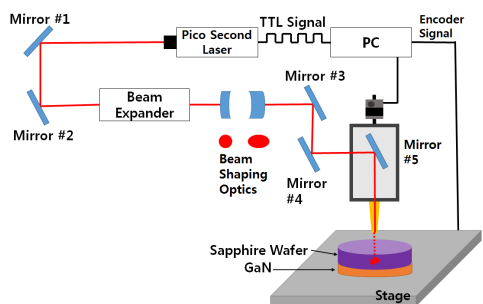


Fig. 5. Schematic diagram of the internal laser scribing

4.1 펄스 조건에 따른 가공 특성 분석

4.1.1 레이저 및 가공 변수 선정

레이저의 광원은 내부 레이저 스크라이빙 공정에서 가장 중요한 인자 중 하나로서 가공 소재인 사파이어 웨이퍼에 대한 투과율이 80%이상 유지되어야 하며 광자 에너지가 3.32eV 이하의 기준을 만족함과 동시에 높은 광 강도의 구현이 가능한 펄스 레이저를 사용하는 것이 필요하다.[6]

또한 사파이어 웨이퍼 내부 가공에서 공극 형성 시 발생하는 이온화 임계점(Ionization threshold)을 넘기기 위한 방법으로 레이저 발생기의 출력 및 펄스폭을 조절하여 최종 출력 광 펄스 프로파일을 제어하는 레이저 버스트 모드(Burst mode)가 가능해야 한다.[7] 특히 InGaN의 경우 발광소자로서 레이저 조사 시 발생하는 에너지의 영향을 받아 광 출력 특성이 변화되는 경향이 있어 적절한 레이저 광자 에너지를 선정하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 레이저 광자에너지와 투과율을 고려하여 광원의 파장과 광자 에너지가 523nm(2.33eV)인 레이저를 이용하여 내부 레이저 스크라이빙 실험을 수행하였

다. Table 1은 실험에 사용된 레이저 광원의 사양이고, 실험을 위한 공정 변수는 Table 2에 정의하였다.

Table 1. Specification of the laser source

Parameter	Value
Wavelength	532nm
Pulse Width	7ps
Output Power	4.2W
Repetition Rate	100khz

Table 2. Experimental condition according to pulse

Objective Lens	100x, NA 0.7
Beam Shaping	-100, +200mm Cylindrical 2x
Repetition Rate	100khz
Feed rate	450mm/sec
Power	0.36W
Focus Point	28um

4.1.2 펄스 조건에 따른 가공 실험

레이저 버스트 모드를 이용하여 1 펄스부터 10 펄스까지 변경하면서 4회씩 스크라이빙 기초 실험을 진행하였고 벽면이 생성된 시간, 진행 높이를 확인하였다. 1, 2 펄스에 대한 가공 결과 벽면 형성은 10초 이내에 진행되었으나, 내부에 가공영역이 불균일하게 생성되었다. 또한 가공 후 벽면은 최소 16.6um~18.3um로 비교적 균일하게 형성되었으나, 다이 형태로 분리 시 외력이 증가하는 문제가 발생하였다.

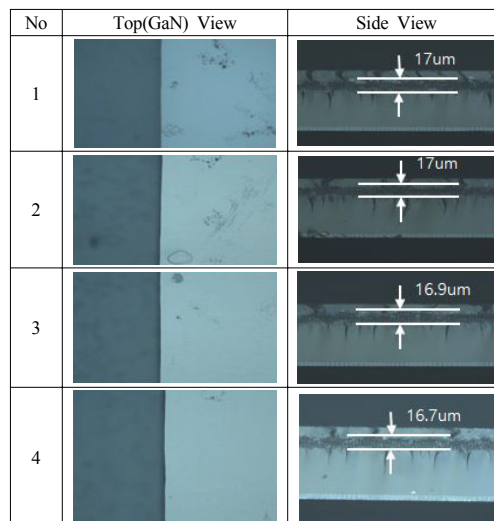


Fig. 6. Experimental results of internal laser scribing according to the 4 pulse processing

3 펄스에 대한 가공 결과 벽면 형성은 10초 이내에 진행되었으며, 다이 형태로 분리 시 감소하였다. Fig. 6 은 4 펄스로 가공 시 가공과 동시에 벽면이 생성되었으며, 다이 형태로 분리 시 적은 외력으로 인해 분리가 용이하였다. 5~6 펄스에서도 가공 특성은 4 펄스일 때와 유사한 경향을 보였으나 7 펄스 이상부터 벽면 형성 시간이 30초 이상으로 증가하였다. 따라서 본 논문에서는 4 펄스를 최적 조건으로 선정하였다.

4.2 렌즈의 개구수에 따른 가공 특성 분석

렌즈의 개구수(Numerical aperture : N.A)는 레이저 내부 가공 시 빔을 조사할 때 사파이어 웨이퍼 내부로 에너지를 균일하게 전달하기 위한 주요 요소로 작용한다.

본 논문에서는 대물렌즈의 배율이 100배이고 N.A가 0.7인 경우와 50배이고 N.A가 0.55 값을 가지는 2가지 렌즈에 대해 레이저의 출력에 따른 가공 특성 분석 실험을 진행하였다. 가공물의 이송속도는 400mm/s로 설정하였으며 레이저의 파장은 532nm로 가공하였다.

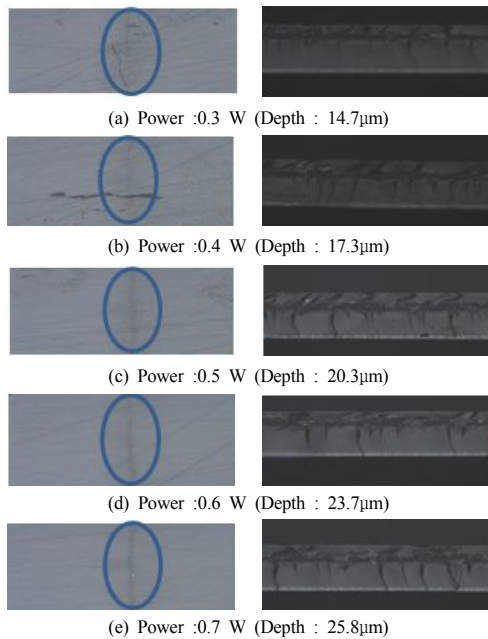


Fig. 7. Experimental results of internal laser scribing using 100x, N.A 0.7 lens

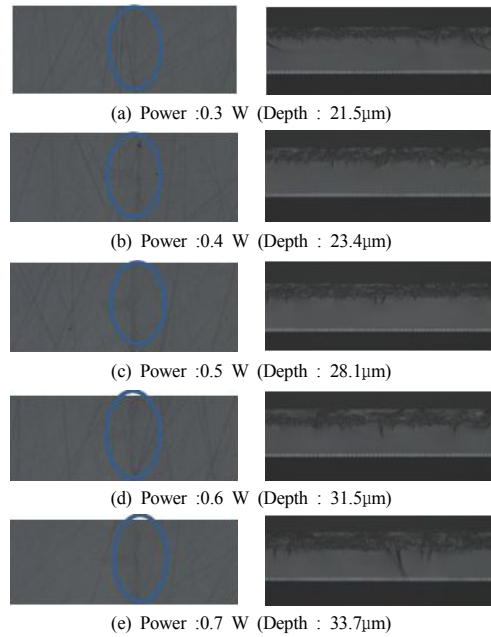


Fig. 8. Experimental results of internal laser scribing using 50x, N.A 0.55 lens

각 렌즈에 따른 실험 결과는 Fig. 7, 8에서 나타내었다. 실험 결과 레이저의 출력과 절단 깊이는 비례하는 경향을 보였으며 N.A가 0.55인 50x 렌즈의 경우 0.7인 100x 렌즈보다 벽면이 깊게 형성되었다. 그러나 레이저 출력에 따른 절단 깊이는 100x 렌즈에서 선형적으로 변화하고 적은 가공 편차를 가짐을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 가공의 안정성을 확보하기 위해 100x 렌즈로 장치를 구성하였다.

4.3 에너지 밀도에 따른 가공 특성 분석

4.3.1 에너지 밴드 갭 영역 설정

에너지 밴드 갭(Energy band gap)은 InGaN에 인가된 에너지 정도에 따라 반응이 일어나는 최소 가공 임계 에너지 밀도에서 부터 최대 에너지 밀도 범위를 의미한다.[8]

Table 3. Experimental condition for measurement of the energy band gap

Pulse Width	Power	Beam Diameter	Divergence
<10ps	4W @500kHz	<1.3mm	0.6mrad

본 연구에서는 레이저 광원의 파장을 532nm를 기준으로 계산하였으며 빔 전달 시스템 중 빔 익스팬더(Beam expander)를 제외하고, 초점 거리 40mm 위치를 기준으로 레이저 출력의 측정을 통해 최저 가공 임계 에너지 밀도를 계산하였다. 측정조건은 Table 3에 나타내었으며 에너지 밀도는 식 1을 통해 계산할 수 있다.

$$Energy = \frac{Power}{Repetition Rate} (J)$$

$$Energy Density = \frac{Energy}{Beam Size} (J/cm^2) \quad (1)$$

$$Peak Power Density = \frac{Energy Density}{Pulse Width} (W/cm^2)$$

Table 4는 초점 거리 위치 부분의 빔 직경인 10.7 μ m를 기준으로 레이저 출력에 따른 에너지 밀도 값을 나타내고 있으며 최소 에너지 밀도는 0.06J/cm² 이고, 최대 에너지 밀도는 30.03J/cm² 로 나타났다.

Table 4. Calculation of laser energy density (Rep. rate 100,000[Hz])

No.	Power (W)	Density (J/cm ²)
1	2.7	30.03
2	2.5	27.80
3	1.5	16.68
4	1.0	11.12
5	0.5	5.56
6	0.1	1.11
7	0.08	0.89
8	0.06	0.67
9	0.04	0.44
10	0.02	0.22
11	0.01	0.11
12	0.005	0.06

4.3.2 에너지 밀도에 따른 가공 실험

에너지 밀도에 대한 계산 값을 기준으로 가공 실험을 진행하였으며 레이저에 의한 스폿(Spot) 생성 결과는 Fig. 9에 나타내었다. 최대 에너지가 증가함에 따라 열영향부가 증가하여 스폿의 크기도 증가하였는데 최대 에너지 밀도로 가공한 경우 중첩 정도에 따라 InGaN 층이 손상되었다. Fig. 10은 에너지 밀도가 30.03J/cm²일 때 중첩 정도에 따라 생성된 벽계면을 나타낸 것으로 중첩 정도가 적을 때는 InGaN층이 손상되지 않았지만, 중첩 횟수가 증가할수록 InGaN층에 백점(White spot)이 발생하는 등 손상되었다. 최저 에너지 밀도로 가공한 경우 역

시 중첩 정도에 따라 InGaN층이 손상되었다. 본 실험을 통해 InGaN층의 손상은 레이저의 에너지 밀도보다 중첩 정도에 더 큰 영향을 받는 것을 확인하였다.

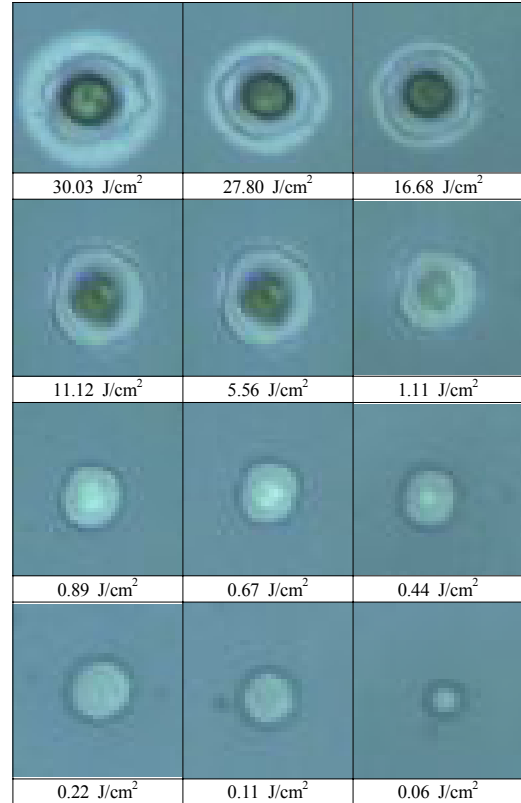
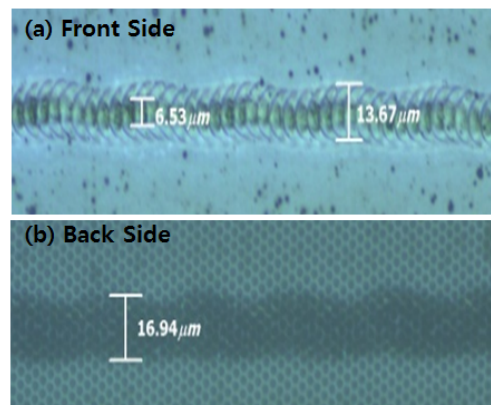
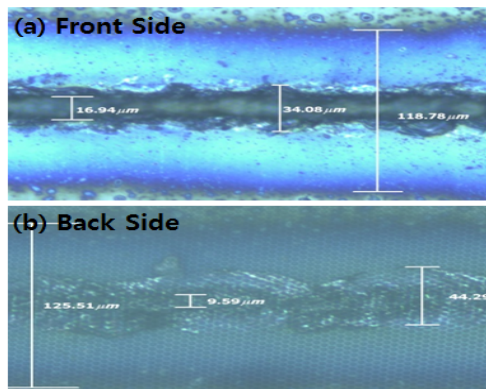


Fig. 9. Experimental results of generation of laser spot according to energy density



(a) 2.14 pulse



(b) 10.7 pulse

Fig. 10. Generated cutting surface according to overlap

5. 결론

본 연구는 InGaN이 증착된 사파이어 웨이퍼의 절단을 위한 내부 레이저 스크라이빙 가공에 대한 연구로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1) 버스트 모드를 적용한 모든 펄스 조건에서 벽면이 형성되는 것을 확인할 수 있었으며, 펄스가 1에 가까울수록 가공 편차가 심하게 발생함을 확인할 수 있었다. 펄스가 작을수록 다이 형태로 분리되는데 있어 효율이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 이에 따라 다이 형태로 분리하기 위한 최적의 펄스 조건은 4 펄스임을 알 수 있었다.

2) 400mm/s 이송속도에서 레이저 출력과 비례하여 선형적으로 절단 깊이를 유지 할 수 있고 가공 편차가 적은 N.A 0.7의 100x 대물렌즈가 내부 레이저 스크라이빙 시 적합한 것을 확인하였다.

3) 본 실험을 통해 InGaN의 최저 가공 에너지 밀도는 $0.06\text{J}/\text{cm}^2$, 최대 가공 에너지 밀도는 $30.03\text{J}/\text{cm}^2$ 로 나타났으며, 중첩 정도가 증가할수록 백점과 같은 InGaN층의 손상 정도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

위 실험 결과를 토대로 LED 공정에 사용되고 있는 사파이어 웨이퍼에 대한 내부 레이저 스크라이빙 공정의 적용 가능성을 확인할 수 있었으며 시스템 구축을 위한 기초 가공 조건을 확립 할 수 있었다.

References

[1] F. Fukuyo, K. Fukumitsu, N. Uchiyama, "Stealth Dicing

Technology and Applications", Proceedings of 6th International Symposium on Laser Precision Microfabrication, pp.1-7, 2005.

- [2] S. Rezaei "Burst-Train Generation for Femtosecond Laser Filamentation-driven micromachining" Canada, University of Toronto, 2011.
- [3] E. Ohmura, M. Kumagai, M. Nakano, K. Kuno, K. Fukumitsu and H. Morita 'Analysis of Processing Mechanism in Stealth Dicing of Ultra Thin Silicon Wafer', Journal of Advanced Mechanical Design, systems, and Manufacturing, Vol 2, No. 4. p 540-549, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1299/jamdsm.2.540>
- [4] T. Monodane, E. Ohmura, F. Fukuyo, K. Fukumitsu, H. Morita, and Y. Hirata 'Thermo-Elastic-Plastic Analysis on Internal Processing Phenomena of Single-Crystal Silicon by Nanosecond Laser', JLMN-Journal of Laser Micro/Nanoengineering Vol.1, No.3, p231-235, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.2961/jlmn.2006.03.0016>
- [5] E. Ohmura, Y. Kawahito, K. Fukumitsu, J. Okuma and H. Morita 'Analysis of Internal Crack Propagation in Silicon Due to Permeable Pulse Laser Irradiation: Study on Processing Mechanism of Stealth Dicing', Journal of Materials Science and Engineering, A1 46-52 2006.
- [6] D. Karnakis, E.K. Illy, M. R. H. Knowles, E. G. M. Dawson 'High throughput scribing for the manufacture of LED components', Journal of Vacuum Science Technology, B 24, 2852 - 2856, 2006.
- [7] J. Choi, R. Bernath, M. Ramme and M. Richardson 'Increase of ablation rate using burst mode femtosecond pulses' Optical Society of America 2007.
- [8] R. Paetzel, C. Gmbh, 'Excimer Laser Processing and Laser-Lift-Off of High Brightness LEDs', Semicon Europe October, 11, 2012.

송기혁(Ki-Hyeok Song)

[준회원]



- 2015년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 기계공학과 박사과정

<관심분야>
레이저 가공, 금형

조 용 규(Yong-Kyu Cho)

[정회원]



- 2012년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 기계공학과 박사과정

<관심분야>
레이저 가공, Maskless Lithography

김 병 찬(Byung-Chan Kim)

[준회원]



- 2014년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 기계공학과 석사과정

<관심분야>
초정밀 연마

강 동 성(Dong-Seong Kang)

[정회원]



- 2015년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 기계공학과 대학원 박사과정

<관심분야>
반도체, LED 정량 토출 시스템, 마이크로 생산 시스템

조 명 우(Myeong-Woo Cho)

[정회원]



- 1983년 2월 : 서울대학교 기계설계과 (공학사)
- 1985년 2월 : 서울대학교 기계설계과 (공학석사)
- 1985년 ~ 1989년 : 한국생산성본부 자동화 사업부 전문위원
- 1992년 2월 : University of Illinois (공학박사)
- 1993년 ~ 1997년 : 대우전자 시스템 사업부 부장
- 1997년 2월 ~ 현재 : 인하대학교 기계공학과 교수

<관심분야>
머신 비전, 마이크로 생산 시스템

김 종 수(Jong-Su Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2015년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2011년 11월 ~ 현재 : ㈜큐엠씨 연구실장

<관심분야>
LED packaging, 반도체,

유 병 소(Byung-So Ryu)

[정회원]



- 1994년 2월 : 청주대학교 물리광학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 청주대학교 응용광학과 (공학석사)
- 1997년 3월 ~ 2003년 3월 : ㈜과이컴 사업부장
- 2003년 7월 ~ 현재 : ㈜큐엠씨 대표이사

<관심분야>
LED packaging, 반도체