

나노초 레이저를 이용한 LED 소자용 사파이어 웨이퍼 드릴링 공정 Sapphire Wafer Drilling Process for LED Devices using Nano-Second Pulse Laser

*김남성¹, #정영대¹, 성천야¹, 오경환²

*N. S. KIM¹, #Y. D. CHUNG¹(ydchung@eotechnics.com), C. Y. SEONG¹, K. W. OH²

¹(주)이오테크닉스 레이저응용 연구소, ²연세대학교 물리학과

Key words : Laser, Sapphire wafer, Laser Drilling, Via-hole Interconnection, Speckle, Fiber, Homogenizer

1. 서론

발광다이오드(LED)는 세계 시장규모가 2008년 7.4조원, 2010년에 13조원으로 예상되며 LCD TV, 모니터 등에 사용되어지고 있다. 이러한 LED의 기관인 사파이어 웨이퍼에 홀을 가공하여 금속층을 덧씌우면 상하부의 전기적 소통(interconnection) 및 빔 산란에 의한 고효율, 고휘도 구현이 가능해질 수 있다. 기존의 기계적 드릴링 방법으로는 단단한 사파이어 웨이퍼에 크랙이 발생하기 쉽고 화학적으로는 사파이어의 약한 화학 반응성으로 인하여 작업이 어려우므로, 레이저를 이용한 고속 초정밀 홀 가공 장비를 조기에 개발하여 이 신 시장에 조기진입하면 세계적인 경쟁력을 갖출 수 있다.

본 연구에서는 Nd:YVO₄ 레이저의 제2고조파인 532 nm 파장의 레이저를 사용하여 LED 소자의 기관으로 사용되는 직경 2인치, 두께 430 um의 사파이어 웨이퍼에 고속으로 미세 홀을 드릴링 할 수 있는 시스템을 개발하였다. 펄스 에너지, 반복주파수, 가공발수를 변화시킬 때 가공특성 및 홀 직경과 가공깊이변화를 조사함으로써 최적의 가공 조건 및 특성을 파악하는 실험을 진행하였다. 산업적으로 적용 가능한 직경 30um, 깊이 100um 이상 깊이를 가지는 홀들을 초당 30개 가공할 수 있는 속도를 구현하였다.

2. Sapphire Wafer Drilling

LED 소자의 기관으로 사용되는 직경 2인치, 두께 430 um인 사파이어 웨이퍼의 상하부의 전기적 소통을 위한 홀 가공용으로 532 nm 파장의 레이저를 사용하고 레이저빔의 위치 이동을 위하여 XY-축 갈바노 스캐너를 사용하여 고속으로 드릴링을 할 수 있는 시스템을 개발하였다. [Fig. 1]에 제작된 시스템을 보여주고 있다. 제작된 장비는 600 mm X 600 mm 크기의 XY-스테이지를 사용하여 웨이퍼의 위치이동을 구현하였으며 비전시스템을 사용한 위치 보정 프로그램을 사용하여 ±20 um의 스캐너 위치정밀도를 구현하였다. 제작된 장비 스테이지의 위치 오차는 ±0.87 um, 진직도는 ±1.23 um, 평탄도는 ±0.7 um, 반복정밀도는 ±0.34 um이다.

레이저의 출력 및 가공 시간을 조절하면서 홀 직경 25 ~ 40 um, 가공 깊이 100 ~ 300 um까지를 구현하는 실험을 진행하였다. 또한 30 uJ에서 450 uJ까지 펄스 에너지를 변화시키면서 홀 직경 변화 및 펄스 에너지 변화에 따른 사파이어 웨이퍼의 홀 깊이 변화에 대한 실험을 진행하였으며 [Fig. 2]에 그래프로 나타내었다.

[Fig. 3]에서 가공 홀 직경 30 um, 깊이 130um에서 초당 30홀의 가공 속도로 얻어진 가공된 홀의 입사부와 단면의 3차원 비접촉 현미경 사진을 보여주고 있으며, 이는 산업적으로 상용 가능한 수준이며 이때 레이저 펄스의 fluence는 44 J/cm² 이었다.



Fig. 1. Image of sapphire wafer drilling system

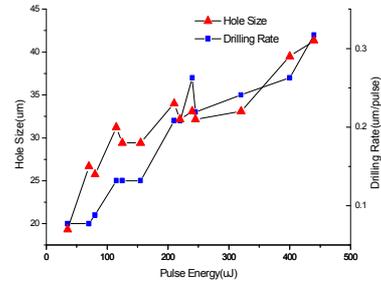


Fig. 2 Drilled hole size and depth according to pulse energy

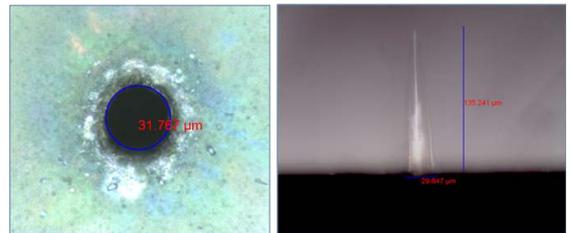


Fig. 3 Microscope image of sapphire wafer drilled by nano-second pulse green laser

가공 시 발생하는 기관의 열적 변형에 의한 홀의 진원도 불량문제를 해결하기 위해 기관을 전기적으로 냉각시키는 냉각척(cooling chuck)을 사용하였으며 가공소프트웨어 알고리즘을 최적화하여 인접한 홀에 열적손상이 최소화되도록 가공 순서를 조절하는 방식을 구현하였다.

웨이퍼 레이저 드릴링 시스템에서 사용된 레이저 발진 제어장치와 스캐너의 구동 장치는 이오테크닉스의 자체 기술로 제작된 20MHz 고속 동작 클럭을 사용한 제어보드를 사용하여 제어하였으며, 이를 통하여 레이저의 정확한 발진제어 및 스캐너 위치오차 최소화를 실현하였다. Percussion 및 trepanning, spiral 방식의 드릴링 가공을 지원하는 구동소프트웨어를 제작하였으며, 비전을 이용하여 기관 축 교정 및 가공탐색이 가능하도록 하였다. 또한 비전을 이용하여 스캐너의 위치왜곡오차를 +/-20um 미만으로 보정할 수 있었다.

가공된 홀을 측정하기 위하여 2인치 사파이어 웨이퍼의 표면을 12개 영역으로 분할하여 각 영역에서 9개의 홀들을 3차원 비접촉 현미경을 사용하여 홀의 정확도를 측정하였다. 측정된 홀 직경은 수직방향 31.080 um, 수평방향 30.929 um, 평균 직경 31.005 um로 측정되었으며, 평균 진원도는 99 %로 측정되었다. (수평, 수직의 평균에 대한 진원도)

3. Fiber Homogenizer

레이저 가공에 광섬유 (Optical fiber)를 이용한 레이저 파워전송 (Laser power delivery)이 많이 활용되고 있으며 특히 접속 상의 편의를 위해 대구경멀티모드 (Large core multi mode) 광섬유가 널리 이용되고 있다. 그러나 멀티모드 광섬유의 경우, 광섬유 내부의 모드 간 간섭현상에 의한 스펙클이 발생하여 레이저빔 단면에서 파워가 불균일하도록 만들 수 있다. 또한 멀티모드

광섬유를 사용하면 일반적으로 flat-top빔 프로파일을 유지하게 되는데 스펙클 현상에 의해 flat-top 프로파일의 균일도가 매우 떨어질 수 있다. 본 실험에서는 이와 같은 멀티모드 광섬유를 사용한 레이저파워전송시의 스펙클과 같은 문제점을 해소하기 위해 새로운 방식의 acousto-optic fiber optic laser beam homogenizer를 제안하고 실험적으로 그 가능성을 확인하였다.

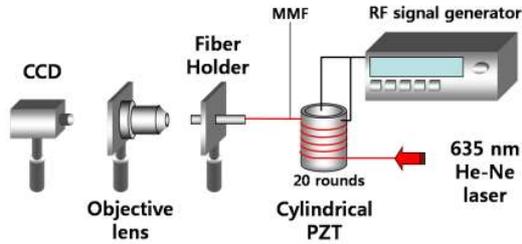


Fig. 4 Schematic of system

[Fig. 4]에 시스템 배치도를 나타내었으며 레이저를 광섬유로 전송시킨 후 PZT vibration을 이용하여 광섬유에 진동을 유도하여서 광섬유 내부모드간의 coupling을 활성화하고 그 출력을 CCD 카메라로 측정하였다.

실험결과는 [Fig. 5]에 나타내었다. 특정한 주파수로 PZT를 진동시켰을 때 광섬유모드 간 coupling이 극대화되는 것이 관찰되었다. 해당 주파수의 RF입력에 대해 스위치를 온-오프 하면서 광섬유 출력 이미지를 CCD 카메라로 측정하였다. 그 결과 vibration on 상태에서 보다 균일한 power 분포가 측정되었으며 또한 laser beam의 flatness도 개선됨을 실험적으로 확인하였다.

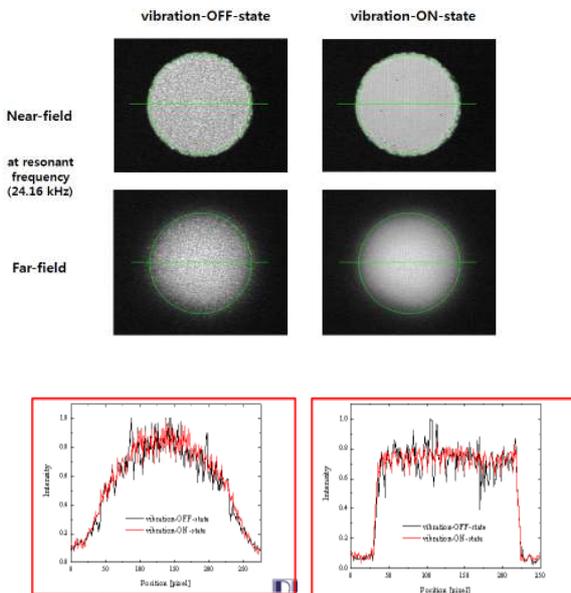


Fig. 5 PZT vibration에 의한 speckle pattern의 변화

4. 결론

레이저 빔을 이용하여 고속으로 홀을 가공하는 장비를 개발함으로써 LED 소자의 기관이 되는 사파이어 웨이퍼의 효율 및 공정개선을 가능하게 하는 제작기술을 확보하여 LED 제작시 저가격 고성능의 제품 개발이 가능하게 만들었다. 또한 PZT vibration을 이용한 빔 Homogenizer 개발을 통하여 균일한 빔 특성을 구현할 수 있었으며 향후 가공에 적용할 수 있게 되었다.

후기

본 연구는 지식경제부 지원의 차세대신기술개발사업의 첨단레이저 응용 미세가공기술 개발 2단계 사업 (과제 번호10030268)의 지원에 의해 이루어진 실험입니다.

참고 문헌

1. 한국투자증권리서치본부 (2008년)
2. 백색LED의 신기술 동향 (전기전자재료 제17권 제9호)
3. LED 기술동향분석보고서 (한국과학기술정보연구원)
4. P. J. Kajenski, P. L. Fuhr, and D. R. Huston, "Mode coupling and phase modulation in vibrating waveguides," J. Lightwave Technol. 10, 1297-1301 (1992).
5. Ken-IchiSatoandKoichiAsatani,"Speckle noise reduction in fiber optic analog video transmission using semiconductor laser diodes,"IEEET.COMMUN.COM-29,1017-1023(1981).
6. A.P.Povilus,S.E.Olson,R.R.Mhaskar,B.-K.Teo,J.R.Guest, and G.Raithel,"Time averaging of multimode optical fiber output for a magneto-opticaltrap,"J.Opt.Soc.Am.B22,311-314 (2005).