

## 광반도체용 사파이어웨이퍼 기계연마특성 연구

황 성 원(전북대학교 대학원) · 김 근 주(전북대학교 기계항공시스템공학부)  
· 서 남 섭(전북대학교 기계항공시스템공학부)

### A Study on the Micro-lapping process of Sapphire Wafers for optoelectronic devices

Sungwon Hwang\*, Keunjoo Kim\*\* and Nam Sup Suh\*\*\*

#### ABSTRACT

The sapphire wafers for blue light emitting devices were manufactured by the implementation of the surface machining technology based on micro-tribology. This process has been performed by Micro-lapping process. The sapphire crystalline wafers were characterized by DCXD(Double Crystal X-ray Diffraction). The sample quality of crystalline sapphire wafer at surface has a FWHM(Full Width at Half Maximum) of 250 arcsec. This value at the sapphire wafer surfaces indicated 0.12 $\mu$ m sizes. Surfaces of sapphire wafers were mechanically affected by residual stress and surface default. Also Surfaces roughness of sapphire wafers were measured 2.1 by AFM(Atom Force Microscope).

**Key Words** : sapphire wafer, FWHM(Full Width at Half Maximum), surface default, DCXD(Double Crystal X-ray Diffraction), AFM(Atom Force Microscope), surface roughness

#### 1. 서론

최근 전광판, TFT, 고효율조명용으로 수요가 급증하고 있는 광반도체용으로 사파이어 기판을 이용하여 청색광소자를 양산하고 있다. 갈화물계 반도체인 GaN처럼 에너지 밴드 갭이 넓은 반도체 소재는 박막을 성장할 경우에 높은 열에너지를 수반한다. 이러한 청색 계통의 광소자용 결정을 성장하기에는 고온 성장동안 결정구조를 유지시킬 수 있는 재료를 기판으로 사용하여야 하며, 또한 기판과 박막과는 결정의 격자상수가 적절히 일치되어야만 두 물질사이의 계면에서 변형 응력을 적게 받고 준동형(pseudo-morphic)의 격자간의 정합을 이룰 수 있

다. 하지만 GaN 박막을 성장하는데 있어 적절한 기판이 없어 격자간의 부정합이 13.6%나 되는 사파이어 기판을 사용하고 있으며, 이러한 7:8의 격자간의 평균적인 배치로 이루어지는 기하학적 부정합에서 결정 성장이 가능하게 하기 위해서는 사파이어 기판 표면의 결정성 확보가 필요하다.<sup>[1]</sup>

본 연구에서는 기계연마 공정을 이용하여 Mohs 강도가 9로 고단삭제인 사파이어 기판을 가공하고,<sup>[1]</sup> 연마특성을 파악하기 위해 X-선 C(0006) 회절 최고점(peak)에 대한 이중결정 X-선 회절실험(DCXD) 측정 과 원자힘 현미경(AFM)으로 가공특성을 정량화 하였다.

## 2. 사파이어 연마 메카니즘

연마 공정에서 거울 면이 마무리되는 메카니즘의 마찰, 마모 현상은 기계적인 또는 화학적인 작용에 의한 미세한 표면가공의 한 분야가 마이크로트리볼로지(Microtribology) 또는 원자 표면가공의 나노트리볼로지(Nanotribology)이다.<sup>[1][2]</sup>

미세한 연마제나 연마액(slurry)을 사용하는 경우, 마찰, 마모의 분야에서의 마모량은 마찰하였을 때의 주행거리와 압력에 비례한다. 이러한 상대속도, 압력, 시간의 곱에 비례하는 연마의 가공량은 Preston의 법칙에 따른다.<sup>[3]</sup>

$$\frac{\delta H}{\delta t} = K_p \cdot \frac{L}{A} \cdot \frac{\delta s}{\delta t} \quad (1)$$

여기서, H : 패턴 질부의 높이

t : 가공 Time

L : 하중

A : 면적

s : 이동량

$K_p$  : Preston 계수

Fig. 1과 같이 연마패드와 사파이어 사이에 연마입자가 현탁되어 있는 연마액(Slurry)을 공급하여 압력을 가한 상태에서 서로 상대운동을 시키 연마하는 가공 기술로 가공속도는 주로 부분적 압력에 의존하고 있고 하중, 접촉면적, 웨이퍼 표면상을 통과하는 패드의 이동속도에 의해 결정된다.

연마하여 경면 형상을 갖는 웨이퍼표면의 결정성을 조사하기 위해 결정 회절실험을 수행하면 그림 Fig. 2와 같은 회절각도에 따른 결정면 방향의 회절 피크점들이 존재하게 된다. X-선 빔을 한번 결정편(Ge)을 통하여 분리시킨 다음 시료표면에 조사하는 회절실험(single crystal X-ray diffraction: XRD)에서는 사파이어 기판이 (0006)면과 (00012)면에서 회절이 일어남을 알 수 있다.

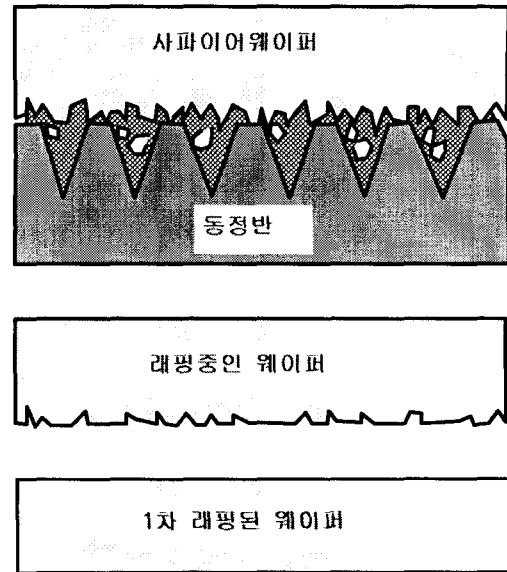


Fig. 1 Change of wafer surface roughness by lapping process

사파이어 웨이퍼 표면의 잔류응력 및 변위량을 알기 위해서 극소적인 C(0006)회절 피크점 근방에서 회절세기를 정밀 측정하기 위해 X-선 빔을 더욱 정렬시킬 필요가 있으며, X-선을 2번 결정편(Ge)에 회절시켜 빔을 정렬시킨 다음, 시료에 조사하는 이중결정 X-선 회절실험(DCXD)을 수행하였다. 기계 연마공정을 수행하여 연마되어진 사파이어 기판은 그림 Fig. 3와 같은 표면에 남아 있는 잔류응력(residual stress)에 의한 표면 결함(surface defect)이 존재하게 된다.

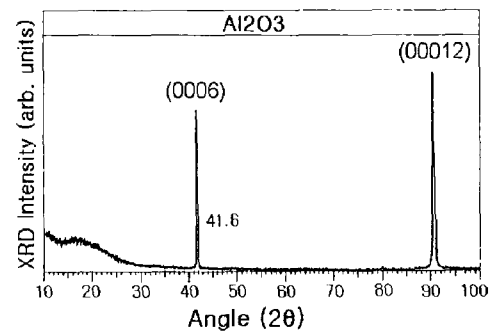


Fig. 2 XRD of sapphire wafer

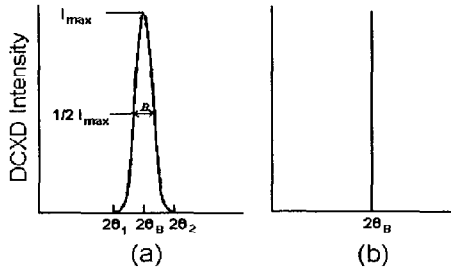


Fig. 3 (a) Crystalline particle of surface is existence (b) ideal curved line

거친 표면에 대한 특성 중의 하나는 표면 높이  $g(z)$ 의 확률 분포로 나타낼 수 있고, 높이  $z$ 와  $z+dz$  사이에서 표면이 서로 마주칠 수 있는 확률은  $g(z)dz$ 이다. 그러므로 거칠거나 완벽한 소성 표면이 단단하고 완벽한 평면에 접촉하고, 확률 분포  $g(z)$ 가 접촉하는 과정 동안 변하지 않고 남아 있다고 가정한다면, 실제 접촉 면적  $A_r$ 와 겉보기 면적  $A_a$ 의 비율은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\frac{A_r}{A_a} = \int_d^{\infty} g(z)dz = \sigma \int_{d/\sigma}^{\infty} g(\bar{z})d\bar{z} \quad (2)$$

여기서,  $d$ 는 평면(flat surface)사이의 간격이고,  $\sigma$ 는 표면 높이의 표준 편차이며,  $\bar{z} = z/\sigma$ 는 무차원 표면 높이이다.

### 3. 사파이어 연마특성 평가

연마공정은 12,000 mesh (2.5 $\mu$ m) 입도의 다이아몬드 연마제를 이용하여 제작된 동정판에서 수행되었다. 동정판에 나선형 V홈을 형성하여 마찰연과 slurry의 회전을 양호하게 하였다. 정판이 회전하면서 지그(jig)에 부착된 기판을 공압으로 밀착하게 되며 압력은 1-3기압 정도이다. 연마공정은 연삭공정에서 형성된 굵은 자국(scratch) 또는 1-5  $\mu$ m의 두께편차를 제거하여 표면이 강면화되기 시작한다.

기관간 총 두께는 2인치 직경 사파이어 웨이퍼 100매를 접촉식 두께측정기로 측정되었으며, 본 실험에서는 326-335 $\mu$ m 범위 내에서의 두께편차로 양호한 결과를 얻었다. 100매 기준 각 매간 5 point에서 측정한 기관내 총 두께 최대편차 크기를 분류하여, 편차 분포를 평가 할 수 있다.

사파이어 웨이퍼의 표면가공으로 인해 형성된 결함의 특성을 파악하기 위해 X-선 C(0006) 회전 최고점(peak)에 대한 이중결정 X-선 회절실험(DCXD) 측정실험을 수행하였다.

연마 공정을 수행한 시료는 Fig. 4와 같이 표면 조도가 기질이갈수록 반폭치(FWBM)가 증가하며 250 arcsec의 영역을 갖는 비교적 큰 수치를 나타내며, 이는 조도가 갈수록 표면의 집면적이 커지고 회전각의 산포가 증가됨을 알 수 있다. 조도에 따른 미세 결정간의 crack이나 전위(dislocation) 밀도가 매우 높음을 의미한다.

이러한 이중결정 X-선 회절실험(DCXD) 측정 회절곡선에서 반치폭의 변화에 따른 표면의 크랙상태를 확인하기 위해 표면상의 결정립의 직경크.

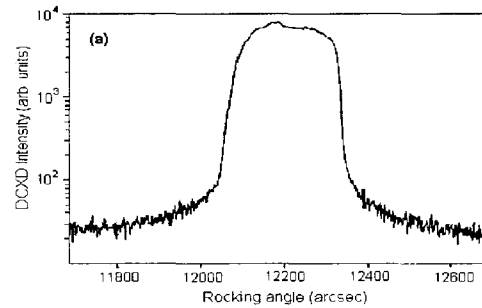


Fig. 4 DCXD spectra of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> C(0006) 값을 해석하였다.

Bragg식으로 부터 정확한 마이크로크랙의 직경은 다음 식으로 주어진다.

$$d = \frac{0.9\lambda}{B \cos \theta_B} \quad (3)$$

여기에서  $\lambda$ 는 X-선의 입사파장(Cu(K $\alpha$ )=1.54 Å)이고,  $B$ 는 반치폭(Full-width at half maximum: FWHM)이며,  $\theta_B$ 는 (0002)면의 회전 피크점의 각도

(radian)이다.

C(0006)면에서의 회전각도는 20°이며, 연마한 시료의 250 arcsec의 반치폭에 대해서 Cu (K<sub>α</sub>)선의 파장 1.54 Å에 대해 결정립의 직경은 0.12 μm 크기를 갖는다. 이러한 결정립의 직경은 연마 과정에서 발생한 기계적인 스트레스에 기인한다.

원자힘 현미경(AFM)으로 국소적인 미세표면 거칠기를 확인하였다. (스캔면적은 1×1μm<sup>2</sup>)

Fig. 5는 연마 후 사파이어 표면의 AFM 이미지 결과이며, 특히 최고봉과 최저곡사이의 최대조도가 33.9Å이며 중간조도는 7.5 Å 이고 평균조도는 2.1 Å, 표준조도는 2.9 Å이었다.

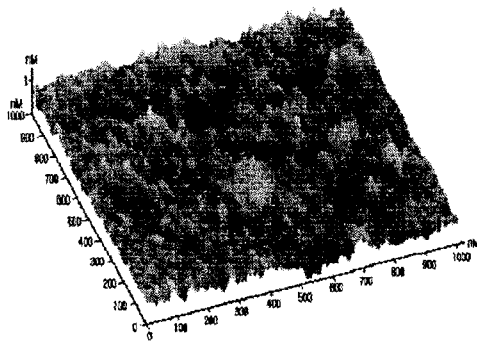


Fig.5 AFM image of sapphire wafer surface

Sample	DCXD		AFM		
	Peak position (deg)	FWHM (arcsec)	R <sub>max</sub> (Å)	R <sub>ms</sub> (Å)	R <sub>ave</sub> (Å)
A	20.8736	257	33.9	2.9	2.1
B	20.4607	247	23.8	2.8	1.6
C	20.5381	249	25.2	2.8	1.8

Table 1 Measurement data of DCXD and AFM

Table 1은 X-선 C(0006) 회절 peak에 대한 DCXD 실험 반치폭과 원자힘 현미경(AFM)의 표면조도 측정 Data로 가공특성을 정량화 하였다.

#### 4. 결 론

형색광소자용 기판으로 사용하기 위한 고경도 사파이어 웨이퍼를 기계연마하여 가공특성을 연구 하였다.

연마공정을 수행한 웨이퍼 표면으로부터 이중결정 회절에 의한 반치폭은 250 arcsec을 갖는다. 이를 통해 사파이어 기판표면에 형성된 결정입자의 직경이 0.12μm 크기임을 확인하였으며, 이는 기계적인 스트레스에 의해 결정성이 손상됨을 알 수 있었다. 또한 연마공정을 수행한 웨이퍼 표면을 원자힘 현미경(AFM)으로 표면조도를 측정된 결과 2.1nm를 얻었다.

광반도체용으로 사파이어 기판을 제조하기 위해서는 표면 손상을 해결해야 하며, 차후 CMP공정 연구 및 임지리 공정의 개발이 필요하다.

#### 참고문헌

1. 김근주, 고재천, "수평 Bridgeman법으로 성장된 사파이어기판 가공 및 GaN 박막성장", 한국결정성장학회 (10), 350 (2000).
2. 허상백 외, "구조용 세라믹스의 연삭특성에 관한 연구", 한국정밀공학회지, Vol. 16, No 10, pp 182-186 (1999).
3. N.Itoh,H.Ohmori, "Finishing Characteristic of ELID-lap grinding using Ultra Fine Grain Lapping wheel", International Journal of JSPE, Vol.30,pp 305-308 1985 (1997).
4. H. W. Gutsche and J. W. Moody, "Polishing of sapphire with colloidal silica", J. Electrochem. Soc. (125), 136 (1978).
5. F. W. Preston, "The Theory and design of plate glass polishing machines", J. Soc. of Glass Tech., pp.214-256 (1927).