

# 사파이어웨이퍼의 기계-화학적인 연마 가공특성에 관한 연구

남정환 · 황성원 · 신귀수 · 김근주 · 서남섭

전북대학교

## A Study on the chemical – mechanical polishing process of Sapphire Wafers for GaN thin film growth.

Junghwan Nam, Sungwon Hwang, Gwisu Shin\*, Keunjoo Kim and Namsup Suh\*\*  
chonbuk Univ.

### 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 chemical and mechanical polishing(CMP) process. The sapphire crystalline wafers were characterized by double crystal X-ray diffraction. The sample quality of sapphire crystalline wafer at surfaces has a full width at half maximum 89 arcses. The surfaces of sapphire wafers were mechanically affected by residual stress and surface default. Sapphire wafers' s waveness has higher abrasion rate in the edge of the wafer than its center due to Newton's Ring interference.

**Key Words:** sapphire wafer, CMP process, WIWNU, DCXD, surface roughness .

### 1. 서론

최근 고휘도 LED 기술개발이 급속히 발전함에 따라 자동차, 가전제품, 신호등, 전광판, 조명등으로 활용분야가 넓어졌으며 차세대 빛 기술로서의 중요성을 인식되어 지고 있다,

질화물계 반도체인 GaN처럼 에너지 밴드 갭이 넓은 반도체 소재는 박막을 성장할 경우에 높은 열 에너지를 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 준동형의 격자간의 정합을 이룰 수 있다. 하지만 GaN 박막을 성장하는데 있어 적절한 기판이 없어 격자간의 부정합이 13.6%나 되는 사파이어 기판을 사용하고 있으며, 이러한 7:8의 격자간의 평균

적인 배치로 이루어지는 기하학적 부정합에서 결정 성장이 가능하게 하기 위해서는 사파이어 기판 표면의 결정성 확보가 필요하다<sup>[1]</sup>. 이러한 표면 확보 공정에 사용되는 평탄화 공정기술은 소자의 집적도를 향상시키고, 생산된 칩의 구조적인 신뢰를 실현하는 중요한 기술이 되고 있다.

본 연구에서는 기계-화학적인 연마(CMP)<sup>[2],[3]</sup>를 이용하여 사파이어 기판을 미세 가공하고, 그 가공량을 마이크로미터를 이용하여 측정한다. 또한 특성을 파악하기 위해 X-선 C(0006) 회절 peak에 대한 DCXD 측정 및 원자힘 현미경(AFM)으로 가공특성을 정량화 하였다

### 2. CMP 연마 메카니즘

사파이어웨이퍼 제작에서 미세한 scratch가 etching에서 검출되는 등, 반도체 초기 상태 결정성

장에 영향을 미친다 반도체의 평탄면 형성원리는 원자층 형태의 성장을 하는데 이를 보다 정밀한 성장을 하기 위해서는 반도체 형성의 기준이 되는 사파이어 웨이퍼의 가공면 초정밀 평탄화 기술의 중요성이 인식되었다. 기계-화학적 연마 (CMP) 방식은 1980년 대 말 IBM사를 통해 도입되었으며,<sup>[4]</sup> CMP 연마 가공 원리는 그림1과 같이 CMP공정에서는 웨이퍼는 패드와 슬러리에 의해 연마되어지며 패드가 부착되어진 연마 테이블은 단순히 회전운동을 하고 헤드부는 회전운동과 요동운동을 동시에 실시하며 일정한 압력으로 가압을 하여준다 웨이퍼는 표면장력 또는 진공에 의해서 헤드부에 장착이 되어지고 헤드부의 자체하중과 가해지는 압력에 의해 웨이퍼 표면과 패드는 접촉하게 된다 이 접촉면사이의 미세한 틈 사이로 가공액인 슬러리가 유동하게 되어 슬러리 내의 연마입자와 패드의 표면돌기에 의해 기계적인 제거작용이 이루어지고 슬러리 내의 화학성분에 의해서 화학적인 제거작용이 이루어진다<sup>[5]</sup>.

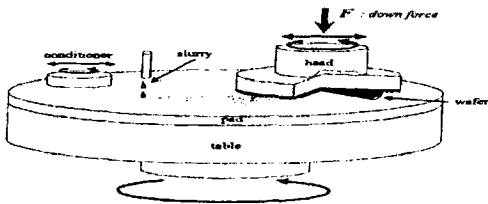


그림 1. CMP장비의 일반적인 형태

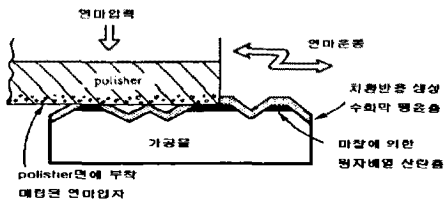


그림 2. 피막형성 및 제거에 의한 평탄화 모델

그림 2.과 같이 연마패드와 사파이어 사이에 연마입자가 현탁되어 있는 연마액(Slurry)을 공급하여 압력을 가한 상태에서 서로 상대운동을 시켜 연마하는 가공 기술로 Preston의 식에 의해서 나타낼 수 있다.<sup>[6]</sup>

$$MPR (\mu m/min) = \eta * p * \nu \quad (1)$$

$\eta$ : 가공 조건으로 정해지는 상수.  
 $p$ : 단위면적당의 각 압력.  
 $\nu$ : 웨이퍼와 패드의 상대속도.

식(1)으로부터 가공압력(p)과 상대속도( $\nu$ )가 웨이퍼의 표면 제거 속도(MPR)를 정하는 중심인자이지만 화학적 작용이 복합된 기계-화학적 연마 (CMP)에서는 Preston계수  $\eta$ 에 의해서 표면 제거 속도(MPR)가 크게 변동된다<sup>[7]</sup>

### 3. 실험

AFM측정기를 이용하여 표면 거칠기를 측정하였다, 폴리싱하여 경면 형상을 갖는 웨이퍼표면의 결정성을 조사하기 위해 결정 회절실험을 수행하면 그림 3.와 같은 회절각도에 따른 결정면 방향의 회절 피크점들이 존재하게 된다. X-선 빔을 한번 결정면(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 있으며 따라서 웨이퍼 표면은 C면(0001)으로 41.73° 로 일치함을 알 수 있으며 이에 수직인 flat cut도 a면(1120)으로 일치함을 확인할 수 있었다.

사파이어 웨이퍼 표면의 잔류응력 (residual stress)의한 표면결함(surface defect) 및 변위량을 알기 위해서 국소적인 C(0006)회절 피크점 근방에서 회절세기를 정밀 측정하기 위해 X-선 빔을 더욱 정렬시킬 필요가 있으며, X-선을 2번 결정면(Ge)에 회절시켜 빔을 정렬시킨 다음, 시료에 이중결정 X-선 회절실험(DCXD)을 수행하였다. 기계 연마공정을 수행하여 폴리싱 되어진 사파이어 기판은 표면에 남아 있는 잔류 응력(residual stress)에 의한 표면 결함(surface defect)이 존재하게 된다. 사파이어 기판의 표면가공으로 인한 결함특성을 파악하기 위해 C(0006) 피크에 대한 DCXD 회절실험을 수행하였다.

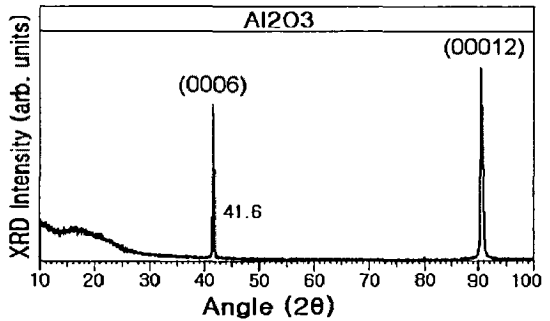


그림 3. 사파이어웨이퍼의 XRD 회절스펙트럼

그림4는 기계적인 표면가공에 의한 가공 손상층의 개략도로서 표면에 완전 결정층 위로 결정구조가 흩어진 층에는 표면가공으로 생긴 크랙 층 및 잔류 응력에 의한 스트레스 층으로 구분되어지며, 가공층 두께는 연마할 때의 연마제 크기 및 연마속도 및 압력조건에 의해 달라진다.

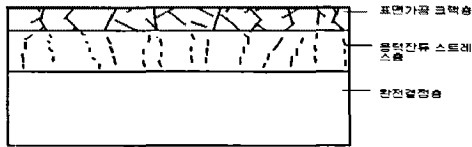


그림 4. 기계 표면가공에 의한 손상층 개략도

표면평탄도(waviness)측정은 광학원도우 (정반)를 사용하여 빛의 간섭현상을 응용한 간섭법(interferometry)으로 측정한다.

### 3. 결과 및 고찰

표면광택의 폴리싱(polishing) 공정은 기계적으로 래핑된 표면의 조도를 원자적으로 평탄하게 하기 위한 경우로 주석 정반이나 폴리우레탄 정반 위에서 표면흡착성이 우수한 수용액(surfactant)을 이용하여 화학반응을 고려한 기계-화학적인 연마 (CMP)를 수행한다. 현탁수용액(slurry)속에 0.007 $\mu\text{m}$  크기의 silica (SiO<sub>2</sub>) 콜로이드 (colloid)상태의 미립연마제 (abrasive particle) 2-10 wt%와 증류수 (de-ionized water), pH stabilizer, 계면활성용 surfactant를 넣어 가공하게 되다. 기계-화학적인 연마가공에서는 음이온 전위를 갖는 웨이퍼 면에서 양이온 활성제를 첨가하면 해리 된 활성제 양이온이 고체면에 흡착되기 시작하여 흡착층을 형성하고 표면전위가 감소되면서 표면전위의 부호가 역전되는 현상을 갖는다. 따라서 폴리싱 공정에서 slurry 용액 pH를 안정화시켜, 연마입자가 갖는 표면 potential (Zeta potential:  $\zeta$ )의 음이온 장벽의 크기를 극대화함으로써 전기적 반발력에 의해 입자들의 분산을 촉진시킬 수 있다. 실리카 콜로이드 경우 NaOH, KOH, NH<sub>4</sub>OH, NaOCl 등의 염기성의 물질이 분산을 촉진하며 주로 사용된다.

그림 5에서 연마 및 폴리싱 공정 후 세정한 표면의 시료에서의 조도에 따른 회절된 X회절세기의 스펙트럼을 나타내며 FWHM은 76 arcsec를 나타낸다.

대체로 폴리싱을 수행한 시료는 표면조도가 거칠어 질수록 FWHM이 증가하며 63 - 89 arcsec의 영역을 갖는 비교적 큰 수치를 나타낸다, 이는 조도가 클수록 표면의 접 면적이 커지고 회절각의 산포가 증가됨을 알 수 있다. 조도에 따른 미세 결정간의 crack이나 전위(dislocation)밀도가 매우 높음을 의미한다

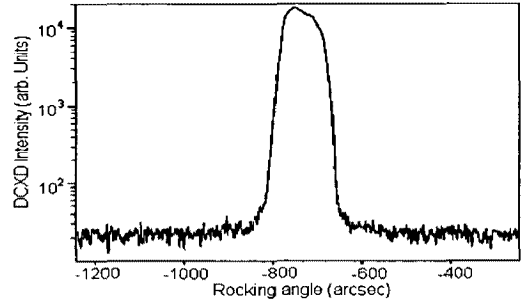


그림 5. 사파이어웨이퍼 C면(0006)의 표면처리 따른 DCXD회절 특성 (폴리싱 공정 직후)

표1. polishing 처리에 따른 반치폭 측정

sample	F10	F5	G5	G2	G8	A1
FWHM (arcsec)	88.9	82.6	76.2	72.5	69.3	63.4

사파이어기판 표면 조도 평가는 원자힘 현미경 (AFM)으로 그림6.과 같이 웨이퍼의 5 point를 선택하여 국소적인 미세표면 거칠기를 확인하였다.(스캔 면적은 1 $\times$ 1 $\mu\text{m}^2$ , 표준조도1Å내외)

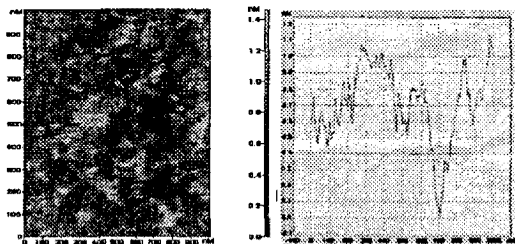


그림 6. 사파이어 웨이퍼 표면의 AFM 이미지

사파이어 기판 표면 평탄도 평가는 웨이퍼위에 원

도우를 놓은 상태에서 555nm의 단색광을 입사시키면 뉴턴링의 간섭상이 나타난다. 웨이퍼가 가공으로 인해 웨이퍼의 중심부가 불룩하게 곡율이 존재하며 가장자리부위가 중심부보다는 얇아지면서 마모율이 크게 됨을 알 수 있다. 또한 줄 간격이 동심원형으로 부분적인 흠집이나 요철부위가 없이 연마되어짐을 알 수 있다.

표면 조도 및 흠집상태 측정은 반도체 연마의 기계-화학적 폴리싱(CMP)방법으로 먼저 실리콘 단결정 기판에 있어서는 실리콘이 알칼리에 용해되는 것을 이용하여 SiO<sub>2</sub> 나 ZrO<sub>2</sub> 등의 스톱분말에 NaOH, NaOCl, NH<sub>4</sub>OH 등을 첨가한 가공액을 사용하여 기계연마하고 무 왜곡 실리콘기판을 얻고 있는데 반하여, 사파이어 기판의 경우에는 통상의 연마장치를 사용하여 0.02μm의 SiO<sub>2</sub> 스톱분말과 폴리싱용 우레탄 천에 의한 폴리싱을 행하여 왜곡이 없는 표면조도 0.001μm Rz 정도의 면을 얻는다. 별도의 화학반응에 의한 것으로 콜로이드 실리카와 폴리싱 천을 사용하는 방법에 의하면 pH 8, 82℃, 16wt%, SiO<sub>2</sub> (실리카겔)을 포함하는 그란족스 연마액으로 0.4μm/min의 가공속도에서 기판에 사용할 수 있는 정도의 양호한 면을 얻을 수 있다. 단 물이 필수적이다.

X-선 평가 와 표면 전위밀도측정은 C면(0006)에서의 회절 스펙트럼으로부터 사파이어 웨이퍼를 정량적으로 평가 할 수 있으며, 결정내의 전위결함이 이 반치폭이 비례하고 전위밀도는 다음 식으로 표현된다.

$$\rho_D = \frac{\Delta^2}{9b^2} \quad (2)$$

여기서  $\rho_D$ (cm<sup>-3</sup>)는 전위밀도이고,  $\Delta$ 는 반폭치(radian),  $b$  ( $a[11\bar{2}0]=4.765 \text{ \AA}$ )는 선단형 전위(edge-type dislocation)의 Burgers 벡터이다. 박막내의 전위밀도는 각각  $0.59 \times 10^6/\text{cm}^2$  을 나타낸다. 이는 표면 식각 관찰에 의한 결과보다 다소 적은 전위밀도를 보이며, 이러한 전위밀도의 차이는 기계적인 연마공정에 의한 결함의 진행에 기인될 수 있음을 의미한다

#### 4. 결 론

청색광소자용 기판으로 사용하기 위한 사파이어

웨이퍼를 기계-화학적 연마(CMP) 가공하여 사파이어 웨이퍼 가공 최적 조건을 연구하였다.

기계-화학적 연마(CMP) 공정을 수행한 웨이퍼 표면으로부터 이중결정 X-선 결정회절에 의한 반치폭(FWHM)은 63-89 arcsec의 영역의 비교적 큰 수치를 갖으며, 표면이 기계적인 스트레스에 의해 결정성이 손상됨을 알 수 있었다.

사파이어 웨이퍼의 평탄도는 뉴턴링 간섭상의 존재로 웨이퍼의 가장자리가 중심부보다 마모율이 큰 것을 알 수 있었다.

#### 후 기

이 논문은 2002년도 전북대학교의 지원 연구비에 의하여 연구 되었음.

#### 참고 문헌

- (1) 김근주, 고재천, 2000, "수평 Bridgeman법으로 성장된 사파이어기판 가공 및 GaN 박막성장", 한국결정성장학회 (10), 350.
- (2) PeterH, Singger, march,1992, Semiconductor International, pp44.
- (3) William C. O'mara, july,1994, Semiconductor International, pp140.
- (4) S. Pennington, S. Luce, June 1992, VMIC Conference, pp168-172.
- (5) 정해도,1996,"차세대반도체 제조를 위한 초정밀 가공기술", 대한기계학회지,36(3), pp 221-230.
- (6) F. W. Preston, "The Theory and design of plate glass polishing machines", J. Soc. of Glass Tech., pp.214-256 (1927).
- (7) L, M.Cook, J. Non-cryst, 1990, solids, 120, pp 152.