

광반도체용 사파이어웨이퍼 기계연마특성 연구

황성원*, 신귀수**, 김근주#, 서남섭**

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

Sung Won Hwang*, Gwisu Shin**, 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 double crystal X-ray diffraction. The sample quality of crystalline sapphire wafer at surface has a full width at half maximum of 250 arcsec. This value at the surface sapphire wafer surfaces indicated 0.12 μ m sizes. Surfaces of sapphire wafers were mechanically affected by residual stress and surface default. As a result, the value of surface roughness of sapphire wafers measured by AFM(Atom Force Microscope) was 2.1nm.

Key Words : Sapphire wafer(사파이어웨이퍼), Full width at half maximum(반치폭), Surface default(표면결함), AFM(원자힘현미경), Surface roughness(표면조도)

1. 서론

최근 전광판, TFT, 고효율조명용으로 수요가 급증하고 있는 광반도체용 사파이어 기판을 이용하여 청색광소자를 양산하고 있다. 질화물계 반도체인 GaN처럼 에너지 밴드 갭이 넓은 반도체 소재는 박막을 성장할 경우에 높은 열에너지를 수반한다. 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 있다. 하지만 GaN 박막을 성장하는데 있어 적절한 기판이 없어 격자간의 부정합이 13.6%나 되는 사파이어 기판을 사용하고 있으며, 이러한 7:8의

접수일: 2003년 8월 11일; 게재승인일: 2003년 11월 14일

* 전북대학교 대학원 기계공학과

** 전북대학교 기계항공시스템공학부

교신저자: 전북대학교 기계항공시스템공학부

E-mail kimk@chonbuk.ac.kr. (063) 270-2317

격자간의 평균적인 배치로 이루어지는 기하학적인 부정합에서 결정 성장이 가능하기 위해서는 사파이어 기판 표면의 결정성 확보가 필요하다.¹

광역 평탄화를 위한 연구는 반도체공정을 중심으로 광범위하게 연구가 진행되고 있으며, VLSI반도체 공정에서 광역 평탄화를 이루기 위한 CMP공정이 제시되었다.^{2,3} Nakamura⁴ 등은 웨이퍼와 폴리셔 사이에 접촉 현상을 해석하였으며, 또한 실리콘웨이퍼에서 온도효과가 웨이퍼 평탄도와 제거율에 미치는 영향을 연구하였다. Flaitz 와 Neisser⁵ 은 압력, 상대속도, 슬러리 유동과 같은 요소가 단조로운 세라믹 연마에 작용하는 효과를 연구하였다. Jeong⁶ 은 웨이퍼의 광역평탄화를 위한 연구를 하였고, Lee⁷ 등은 기계화학적연마에 초음파 진동을 적용하여 최적조건을 연구하였고, Cho⁸ 등은 알루미늄 박막의 미세한 표면을 얻는 패턴을 연구하였다. 그리고, Kim⁹ 등은 화학기계적연마 공정에서 미소 스크래치 저발생화를 위한 가공기술 연구하였다.

본 연구에서는 기계연마 공정을 이용하여 모어 경도가 9로 고난삭제인 사파이어 기판의 표면 거칠기를 고려하여 가공하고,¹⁰ 연마특성을 파악하기 위해 X-선 C(0006) 회절 최고점(peak)에 대한 이중결정 X-선 회절실험(DCXD) 측정과 원자힘현미경(AFM)으로 가공특성을 정량화 하였다.

2. 사파이어 연마 메카니즘

연마 공정에서 거울 면이 마무리되는 메카니즘의 마찰, 마멸 현상은 기계적인 또는 화학적인 작용에 의한 미세한 표면가공의 한 분야가 마이크로 트리볼로지(Microtribology) 또는 원자 표면가공의 나노트리볼로지(Nanotribology)이다.

사파이어 연마 공정에 메탈본드숫돌을 사용할 경우 눈메움, 날무디어짐 현상이 심해 본 연구에서는 연마액 공급 방식을 사용하였다.¹¹ 미세한 연마제나 연마액(slurry)을 사용하는 경우, 마찰, 마멸의 분야에서의 마멸량은 마찰하였을 때의 주행거리와 압력에 비례한다. 이러한 상대속도, 압력, 시간의 곱에 비례하는 연마의 가공량은 Preston의 법칙에 따른다.¹²

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

여기서, H 는 패턴 철부의 높이, t 는 가공 시간, L 은 하중, A 는 면적, s 는 이동량 그리고 K_p 는 Preston 계수 이다.

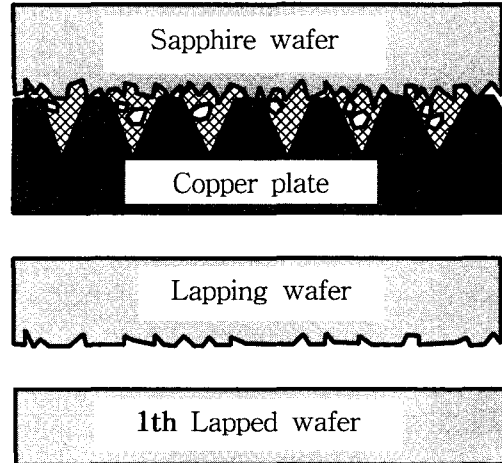


Fig. 1 The lapping process for various of surface roughness

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

연마공정을 수행하여 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.

사파이어 웨이퍼 표면의 잔류응력 및 변위량을 알기 위해서 국소적인 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.

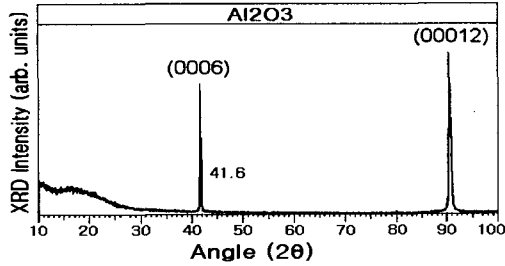


Fig. 2 XRD C-plain of sapphire wafer

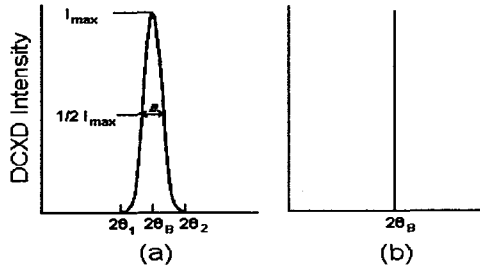


Fig. 3 DCXD spectra of the crystalline surface (a) including micro-crystallization (b) perfect crystallization

거친 표면에 대한 특성 중의 하나는 그림 Fig. 4와 같이 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.¹³ 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, σ

는 표면 높이의 표준 편차이며, $\bar{z} = z/\sigma$ 는 무차원 표면 높이이다.

Fig. 3과 같이 실제 접촉 면적 A_r 은 겉보기 면적의 0.1-10 % 이고, 모든 접촉점 면적의 합이다. 그러므로 확률 분포 $g(z)$ 는 접촉점 면적의 합을 결정하기 위하여 사용된다.

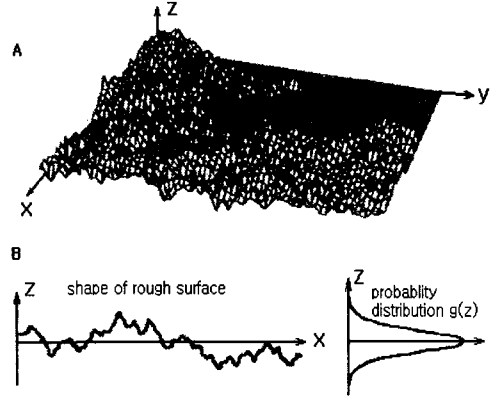


Fig. 4 The schematic of surface roughness

3. 사파이어 연마기공특성

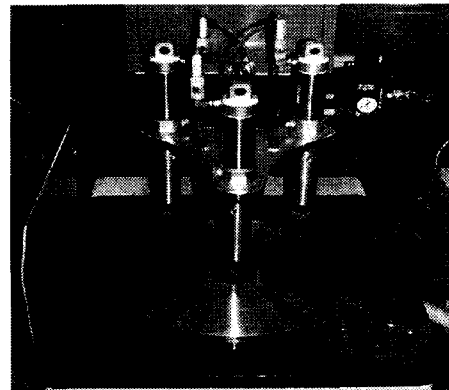


Fig. 5 The lapping machine of surface roughness

고 경도인 사파이어웨이퍼를 평탄하고 왜곡이 없도록 광역 평탄화하기 위해서는 정밀한 공정이 필요하다. 먼저 다이아몬드 스톨에 웨이퍼를 밀어 맞춰서 단면의 모따기를 행하고 세정 후 웨이퍼를 스테인레스 강 평판에 왁스로 접촉한다. 접촉의

정밀도에 의해 연마후의 웨이퍼 형상 정밀도가 좌우되므로 고도의 접착 기술이 필요하다. 또한 접착시 가공용 웨이퍼에 의해 스며나온 여분의 왁스는 완전히 제거하여야 한다. 가공은 3개의 캐리어에 각 캐리어당 9장의 웨이퍼를 부착함으로써 총 27장의 웨이퍼가 광역 평탄화하여 가공 된다.

연마공정은 12,000 mesh (2.5 μ m) 입도의 다이아몬드 연마재를 이용하여 그림 Fig. 5와 같이 제작된 동정반에서 수행되었다. 동정반에 나선형 V홈을 형성하여 마찰열과 슬러리의 회전을 양호하게 하였다. 정반이 회전하면서 지그(jig)에 부착된 기판을 공압으로 밀착하게 되며 압력은 1-3기압 정도이다. 연마공정은 연삭공정에서 형성된 긁힌 자국(scratch) 또는 1-5 μ m의 두께편차를 제거하여 표면이 경면화되기 시작한다.

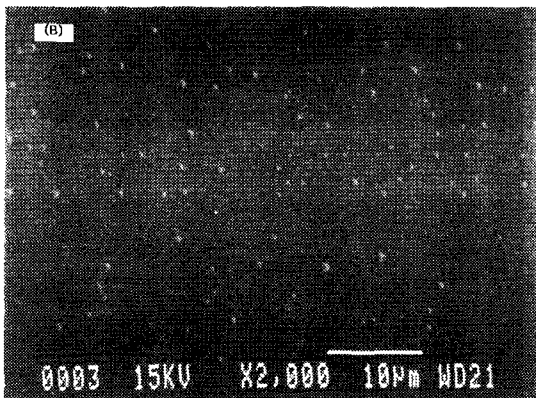
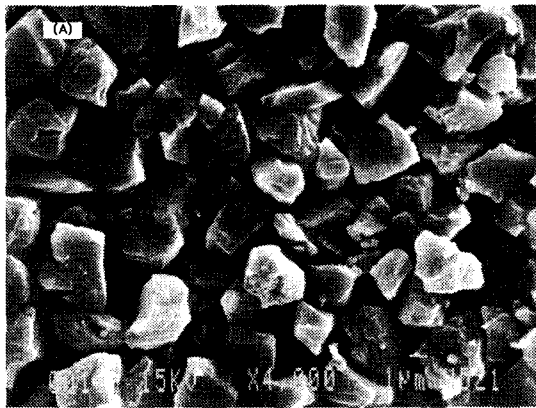


Fig. 6 The size of diamond slurry and lapped surface of sapphire wafer

Fig. 6은 입도 12,000의 2.5 μ m의 랩핑용 다이아몬드 연마재 입자의 크기를 나타내는 SEM사진으로 Mohs 정도 12의 다이아몬드 단결정입자의 각진 부위가 잘 나타나 있다.

4. 결과 및 고찰

4.1 사파이어 기판 가공 두께 평가

기판간 총 두께는 2인치 직경 사파이어 웨이퍼 100매를 접촉식 두께측정기로 측정되었으며, 본 실험에서는 Fig. 7에서처럼 326-335 μ m 범위 내에서의 두께편차로 양호한 결과를 얻었다. 또한 Fig. 8에서처럼 100매 기준 각 매간 5 point에서 측정된 기판내 총 두께 최대편차 크기를 분류하여, 편차 분포를 평가 할 수 있다.

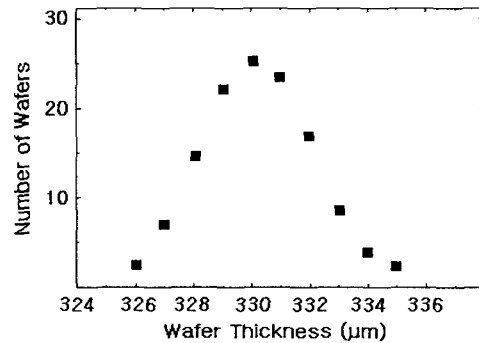


Fig. 7 Deviation of total thickness

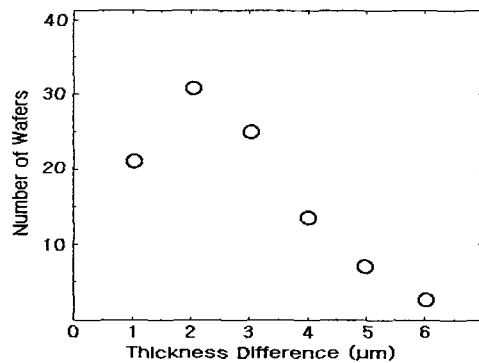


Fig. 8 Thickness difference within sapphire wafer

4.2 사파이어 기판 결정 X-선 평가

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

연마 공정을 수행한 시료 Fig. 9와 같이 표면조도가 거칠어질수록 반치폭(Full-width at half maximum: FWHM)가 증가하며 250 arcsec의 영역을 갖는 비교적 큰 수치를 나타내며, 이는 조도가 클수록 표면의 접면적이 커지고 회절각의 산포가 증가됨을 알 수 있다. 조도에 따른 미세 결정간의 crack이나 전위(dislocation) 밀도가 매우 높음을 의미한다.

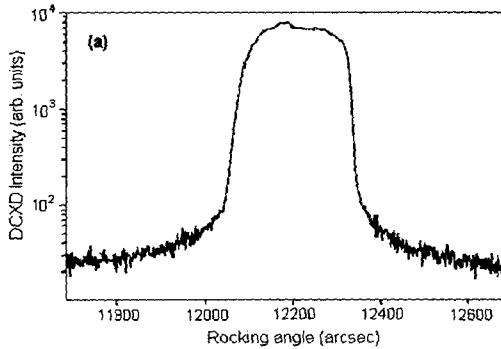


Fig. 9 DCXD spectra of Al₂O₃ C(0006)

이러한 이중결정 X-선 회절실험(DCXD) 측정 회절곡선에서 반치폭의 변화에 따른 표면의 크랙 상태를 확인하기 위해 표면상의 결정립의 직경크기를 해석하였다. Bragg식으로 부터 정확한 마이크로크랙의 직경은 다음 식으로 주어진다.

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

여기서, λ 는 X-선의 입사파장($\text{Cu}(K\alpha)=1.54 \text{ \AA}$)이고, B 는 반치폭이며, θ_B 는 (0002)면의 회절 피크점의 각도(radian)이다.

C(0006)면에서의 회절각도는 20°이며, 연마한 시료의 250 arcsec의 반치폭에 대해서 Cu ($K\alpha$)선의 파장 1.54 Å에 대해 결정립의 직경은 0.12 μm

크기를 갖는다. 이러한 결정립의 직경은 연마 과정에서 발생한 기계적인 스트레스에 기인하며, 이를 개략도로 표현하면 Fig. 10과 같다.

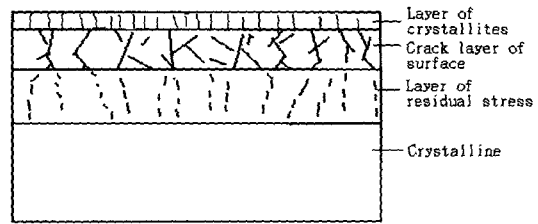


Fig. 10 Diagram of micro-crack of sapphire wafer surface

4.3 사파이어 기판 표면 조도 평가

원자힘 현미경(AFM)으로 국소적인 미세표면 거칠기를 확인하였다.(스캔면적은 $1 \times 1 \mu\text{m}^2$)

Fig. 11은 연마 후 사파이어 표면의 AFM 이미지 결과이며, 특히 최고봉과 최저곡사이의 최대조도가 33.9 Å이며 중간조도는 7.5 Å 이고 평균조도는 2.1 Å, 표준조도는 2.9 Å이었다.

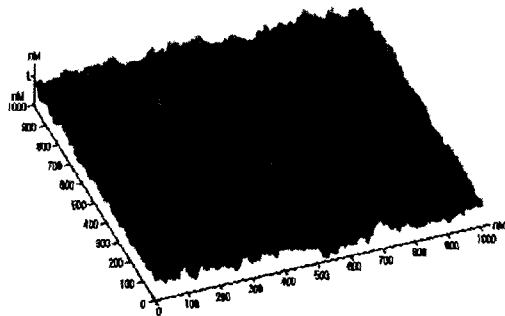


Fig.11 AFM image of sapphire wafer

Table 1 Measurement data of DCXD and AFM

Sample	DCXD		AFM		
	Peak position (deg)	FWHM (arcsec)	R _{0-v} (Å)	R _{rms} (Å)	R _{ave} (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 1은 X-선 C(0006) 회절 peak에 대한 DCXD 실험 반치폭과 원자힘 현미경(AFM)의 표면조도 측정 Data로 가공특성을 정량화 하였다.

5. 결론

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

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

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

후 기

이 논문은 2002년도 전북대학교의 지원 연구비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Kim, K and Koh, J. C., "GaN epitaxial growths on chemically and mechanically polished sapphire wafers grown by Bridgeman method," J. of KACG, Vol. 10, No. 5, pp. 350-355, 2000.
2. Ali, I., Roy and S.r. G. Shinn, "Chemical-Mechanical Polishing of Interlayer Dielectric: A review," Solid State Technology Vol. 37, pp. 63-70, 1994.
3. Desai, M., Jairath, M., Stell, M. and Tolles, R., "Chemical Mechanical Polishing for Planarization in Manufacturing Environment," Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 337, pp. 99-104, 1994.
4. Nakamura, T., Akamatsu, K. and Arakawa, N.,

"A Bowl Feed and Double Sides Polishing for Silicon Wafer for VLSI," Bull. Japan Soc. prec. Eng. Vol. 19, No. 2, pp. 120-125, 1985.

5. Flaiz, P. L. and Neisser, M., "Polishing of Substrates" Americal Ceramic Society Bulletin Vol. 73, No. 5, pp. 42-46, 1994.
6. Jeong, H. D. "A Global Planarization of Interlayer Dielectric Using Chemical Mechanical Polishing for ULSI Chip Fabrication," J. of the KSPE, Vol. 13, No. 11, pp. 46-56, 1996.
7. Lee, S. H. et al, "A Study on Novel Conditioning for CMP," J. of the KSPE, Vol. 16, No. 5, pp. 40-47, 1999.
8. Cho, W. et al "Chemical Mechanical Polishing of Aluminum Thin Films," J. of the KSPE, Vol. 19, No. 2, pp. 49-57, 2002.
9. Kim, S. J., Ahn, Y.M., Kim, Y. K. and Baek, C. W., "Study on Chemical Mechanical Polishing for Reduction of Micro-Scratch," J. of the KSPE, Vol. 19, No. 8, pp. 134-140, 2002.
10. Ha, S., et. al., "Grinding Characteristics of Structural Ceramics," J. of KSPE, Vol. 16, No. 10, pp 182-186, 1999.
11. Itoh, N. and Ohmori, H. "Finishing Characteristic of ELID-lap Grinding Using Ultra Fine Grain Lapping wheel," International Journal of JSPE, Vol. 30, pp 305-308, 1997.
12. Preston, F. W., "The Theory and Design of Plate Glass Polishing Machines," J. Soc. of Glass Tech., pp.214-256 (1927).
13. Gutsche, H. W. and Moody, J. W. "Polishing of sapphire with colloidal silica," J. of Electrochem. Soc., Vol. 125, pp. 136, 1978.