

화학기계적 연마에 의한 리튬니오베이트의 광학 특성에 관한 연구

정석훈* · 김영진* · 이현섭* · 정해도†

(2008년 11월 20일 접수, 2008년 12월 29일 수정, 2009년 2월 13일 심사완료)

Study on Optical Properties of Lithium Niobate Using CMP

Suk-Hoon Jeong, Young-Jin Kim, Hyun-Seop Lee and Hae-Do Jeong

Key Words : Lithium niobate(리튬 니오베이트), Chemical mechanical polishing(화학기계적 연마), Optical property(광학 특성), Roughness (거칠기)

Abstract

Lithium niobate (LN:LiNbO₃) is a compound of niobium, lithium and oxygen. The characteristics of LN are piezoelectricity, ferroelectricity and photoelectricity, and which is widely used in surface acoustic wave (SAW). To manufacture LN devices, the LN surface should be a smooth surface and defect-free because of optical property, but the LN material is processed difficult b traditional processes such as grinding and mechanical polishing (MP) because of its brittleness. To decrease defects, chemical mechanical polishing (CMP) was applied to the LN wafer. In this study, the suitable parameters such as down force and relative velocity, were investigated for the LN CMP process To improve roughness, the LN CMP was performed using the parameters that were the highest removal rate among process parameters. And, evaluation of optical property was performed by the optical reflectance.

1. 서론

리튬 니오베이트(LN:LiNbO₃)는 일루메나이트구조를 갖는 강유전체로서 우수한 압전효과, 전기광학, 비선형 광학 특성을 가지고 있다.⁽¹⁻³⁾ 초기, 리튬 니오베이트 단결정은 중요한 강유전성 물질의 하나로써 우수한 압전성, 높은 큐리온도(Tc), 높은 기계적 품질계수(mechanical quality factor) 및 낮은 탄성손실로 인하여 표면 탄성파(SAW:surface acoustic wave) 소자로 사용되어 왔으며, 최근에는 우수한 전기 광학 효과와 비선형 광학 특성으로 인하여 광정보처리 및 광통신 등의 핵심 부품인 광지배, 광변조, 광편향, 광도파로 및 광

메모리 소자로서 주목받고 있다.⁽³⁻⁶⁾ 그러나, 이러한 우수한 성질을 지니고 있는 리튬 니오베이트 단결정 소재는 강도가 큰 물질로써 전통적 입자가공인 그라인딩(grinding)이나 다이아몬드(diamond)와 같은 높은 경도의 연마입자(abrasive)를 이용한 기계적 연마 공정(MP:mechanical polishing)에 의하여 표면에 스크래치(scratch)와 같은 표면 결함이 발생되며, 이는 광소자로서의 물리적 및 광학적인 성질에 직접적인 영향을 미친다.^(2,7) 그러므로, 높은 물리적 및 광학적 성질의 디바이스(device) 제조를 위하여 리튬 니오베이트의 무결점 표면제어가 필요하게 되었다. 이러한 무결점 표면제어를 위하여 반도체 공정에서 평탄화(planarization) 목적을 위하여 사용되는 화학기계적 연마(CMP:chemical mechanical polishing) 공정을 본 연구에서 적용하였다. 화학기계적 연마는 표면 평탄화를 위하여 연마재 표면을 화학적으로 변화시켜, 낮은 경도의 실리카(silica) 연마입자를 이용한 연마공정이다.^(8,9) 이러한 메커니즘(mechanism)의 화학기계적 연마는 연마 시 발생하는 표면의 연마결함을 최소화 할 수 있다. Fig. 1 에서 우선 연마재 표면에 연마액(slurry)의 화학

[이 논문은 2008년도 생산 및 설계공학부문 춘계학술대회 (2008.6.4-5. 제주오리엔탈호텔) 발표논문임]

† 책임저자, 회원, 부산대학교 기계공학부

E-mail : hdjeong@pusan.ac.kr

TEL : (051)510-3210 FAX : (051)518-8442

* 부산대학교 대학원 기계공학과

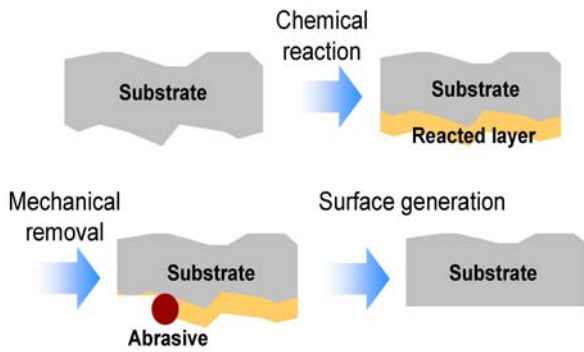


Fig. 1 Mechanism of CMP

화학적 변화를 통하여 연마재의 강도(hardness) 보다 낮은 패시베이션(passivation)층을 형성시켜, 이 패시베이션층을 실리카와 같은 낮은 경도의 연마입자를 통하여 단차(setp-height)가 큰 곳은 연마가 되며, 단차가 낮은 곳은 패시베이션층에 의하여 보호되어 연마가 일어나지 않는다.^(8,9) 그러므로, 연마 시 발생되어지는 표면 연마결함을 최소화 할 수 있다. 본 연구에서는 화학기계적 연마를 통하여 표면의 결함을 최소화하며, 표면 거칠기 개선을 통한 리튬 니오베이트 소재의 광학적 특성을 파악하였다.

2. 리튬 니오베이트 CMP 의 실험조건

최적의 리튬 니오베이트 CMP 공정 조건을 선정하기 위하여 압력(pressure) 및 속도(velocity)에 대한 실험조건을 Table 1 에 나타내었다. 실험에 사용되어진 연마패드(polishing pad)는 예비 실험에서 상대적으로 낮은 경도의 연마패드보다 높은 재료 제거율(MRR:material removal rate)을 보이는 경도(hardness)가 높은 단일기공 연마패드(closed-cell type pad)를 사용하였다. 그리고, 연마액은 예비 실험에서 수산화칼륨(KOH) 용액의 콜리달 실리카(colloidal silica)보다 높은 재료 제거율을 보이는 pH 10 을 가지는 알칼리(alkali) 용액인 수산화암모늄(NH₄OH) 용액의 흡드 실리카(fumed silica)를 함유한 현탁액을 사용하였다. Fig. 2 는 리튬 니오베이트 CMP공정을 위하여 사용되어진 G&P사의 Poli-400 장비를 나타내었으며, 리튬 니오베이트의 재료 제거율은 연마 전, 후의 무게(weight)를 측정 및 계산하였다.

Table 2 는 가장 높은 재료 제거율을 보이는 리튬 니오베이트 CMP 공정의 공정 인자를 선택하여 광학적 특성 평가를 위한 공정 조건을 나타내었다. CMP 공정 중 4 분의 연마공정마다 1 분씩의

Table 1 Experimental condition for selecting optimal LN CMP process condition

Pressure	200, 400, 600, 800 g/cm ²
Velocity (Head/Platen)	30/30, 60/60, 90/90, 120/120 rpm
Flow rate	150 ml/min
Polishing pad type	Closed-cell type (IC 1400 K-groove TM)
Slurry type	Fumed silica in NH ₄ OH (pH 10.7 @ 25°C)
Processing time	1 minute

Table 2 Experimental CMP condition for evaluating optical property

Pressure	800 /cm2
Velocity (Head/Platen)	120/120 rpm
Flow rate	150 ml/min
Polishing pad type	Closed-cell type (IC 1400 K-groove TM)
Slurry type	Fumed silica in NH ₄ OH (pH 10.7 @ 25°C)
Processing time	48 minutes (Ex-situ conditioning per 4 miutes)

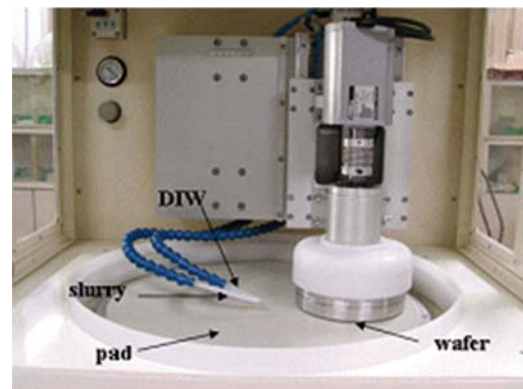


Fig. 2 Poli-400 equipment for LN CMP process

컨디셔닝(conditioning) 공정을 실시하였다. 이는 연마패드에 잔류하는 연마물 및 연마입자를 제거하며, 연마패드의 거칠기를 재현해주는 목적이 있다. 그리고, 연마 전, 후의 표면 상태 평가를 위하여 광학적 표면 측정 장치인 Nano-view 장비(Nano System Co.)를 사용하였으며, 그리고 광학적 특성 평가를 위하여 입사된 가시광선의 강도를 비교하였다.

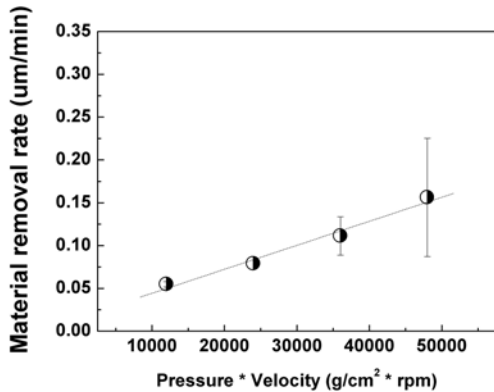


Fig. 3 The MRR along the product of pressure and velocity

3. 결과 및 고찰

Fig. 3 은 압력 및 속도에 따른 리튬 니오베이트의 재료 제거율을 보여준다. Fig. 3 상의 X축은 프레스턴 방정식(Preston's equation)에서 사용하는 압력 및 속도의 곱의 향으로 나타내었다. 이는 식 (1) 처럼 CMP 공정의 재료 제거율을 지배하는 방정식인 프레스턴 방정식, 즉 재료 제거율은 압력과 속도의 곱으로 표현되어진다.⁽¹⁰⁻¹²⁾

$$MRR = k \times P \times V \quad (1)$$

(1) 식에서 k 는 공정 온도 등과 같은 연마조건에 필요한 프레스턴 상수이며, P 는 적용 압력, V 는 상대속도를 나타낸다. 프레스턴 방정식에서 나타내듯이 압력과 속도의 곱에 비례하여 리튬 니오베이트의 재료제거율이 증가하는 것을 Fig. 3 에서 보여주고 있다. 이는 상대속도의 증가로 인하여 리튬 니오베이트 소재의 표면이 연마액에 의한 화학적 반응이 빠르게 진행되며, 변화되어진 리튬 니오베이트 소재의 표면은 공정 압력의 증가로 인하여 연마액에 포함되어진 연마입자의 단위 압력의 증가로 이루어져 재료 제거율이 증가하게 된다.

위 실험결과에서 연마압력과 연마속도가 증가할수록 재료 제거율이 상승되며, 이에 따른 표면의 연마결함이 생성되지 않아 연마 전, 후의 리튬 니오베이트의 광학적 성질을 비교하기 위하여 800 g/cm²의 압력과 120 rpm의 연마속도로 실험을 실시하여, 0.14 um/minute의 재료 제거율을 얻었다. Fig. 4 는 연마전, 연마 8분 후 및 연마 48분 후의 표면을 광학측정 장치를 이용하여 찍은 표면사진이며, Table 3 은 각각의 시간대에 따른 표면거칠기를 나타내었다.

Table 3 Roughness of each step in LN CMP process

	R _a	R _z	R _q	R _t
Before CMP	1.8 um	99.8 um	5.3 um	102 um
After 8 minutes	44.8 nm	1.8 um	81.2 nm	2.7 um
After 48 minutes	1.9 nm	23.3 nm	2.4 nm	34.9 nm

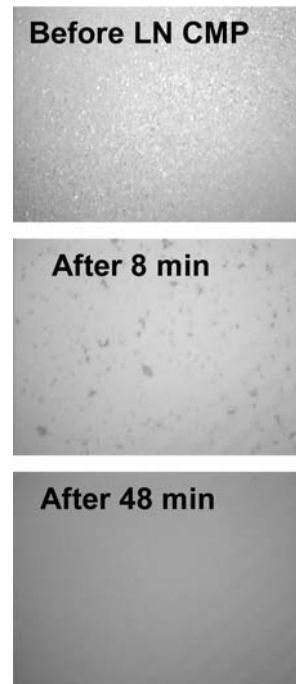


Fig. 4 Picture of each step in LN CMP process

리튬 니오베이트의 초기 표면 형상과 거칠기는 그라인딩과 같은 연삭면이기 때문에 아주 거친 형상 및 거칠기를 보여준다. 그러나, LN CMP 공정 8분 후의 표면 형상은 연삭 시 발생되어진 하부 층 잔존 결함이 표면에 나타났지만, 표면 거칠기에서 초기 거칠기 대비 38 ~ 400 배 수준으로 낮아졌다. LN CMP 공정 48분 후 표면 형상은 무결점의 표면형상을 보여주며, 표면 거칠기 또한 1.9 ~ 34.9 nm로 낮아진 것을 볼 수 있다. 이는 화학기계적 연마가 진행되어질수록 결함 및 표면 거칠기는 개선되어지는 것을 알 수 있다. 이것은 연마액에 의하여 변형되어진 표면층이 흡수 실리카에 의하여 스크래치와 같은 결함의 발생없이 연마가 진해된다는 것을 알 수 있다. Fig. 5 는 연마 전, 후의 FT-IR 분석을 보여준다. Fig. 5 에서 3481 cm⁻¹ 영역에서 연마 후 피크(peak)가 발생되었으며, 이는 수소결합기의 수산화층이 리튬 니오베이트 표면에 발생되어진 것을 알 수 있다.⁽¹³⁾

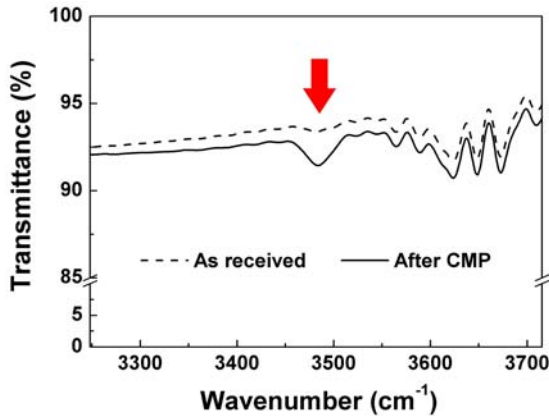


Fig. 5 Result of FT-IR analysis

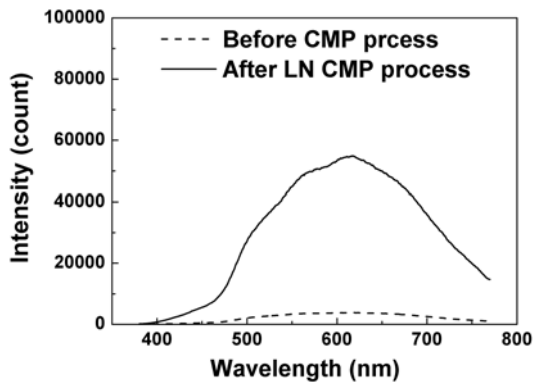


Fig. 6 Intensity of reflectance

Fig. 6 은 LN CMP 공정 전, 후의 리튬 니오베이트 표면에 수직으로 조사한 가시광선 영역에 대한 반사 강도를 나타낸다. CMP 공정 전에 비하여 CMP 공정 후의 반사강도가 조사한 가시광선 영역대인 380 ~ 770 nm 의 파장에서 10 배 정도 높은 반사강도를 보이고 있다. 이는 CMP 가공에 의하여 리튬 니오베이트 단결정 소재 표면에 결함 감소 및 표면 거칠기 개선으로 인하여 입사되어진 빛이 리튬 니오베이트 소재의 표면에서 난반사가 일어나지 않고 반사되어 집광기로 들어오는 빛의 양이 많기 때문이다.

4. 결 론

본 연구에서는 리튬 니오베이트 소재의 표면 결함 감소 및 표면 거칠기의 개선을 위하여 화학 및 기계적 복합 가공인 화학기계적 연마 공정을 적용하였다. 리튬 니오베이트의 CMP 공정은 연마액과 소재 표면층의 화학적인 반응을 통하여 연마하기 쉬운 상태의 표면상태로 변환 후, 흡드 실리카의 연마입자를 통하여 스크래치 등의 표면 결함이 발

생되지 않고, 평탄하게 연마되어지며, 이로 인하여 표면 거칠기가 개선되었다. 그리고, 개선되어진 표면 거칠기에 의하여 입사된 광에 대하여 난반사가 줄어들어 반사율이 향상되어졌다. 이러한 무결점 표면상태의 리튬 니오베이트 단결정 소재는 다양한 광소자로서 광학적 특성을 향상할 수 있음을 예측하였다. 그러나, 높은 연마 압력과 연마속도에 비하여 상대적으로 다른 소재보다 낮은 연마율을 보이므로, 연마율 개선에 관한 연구가 차후 진행할 필요성이 있다.

후 기

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터사업(R15-2006-022-01003-0) 및 2008 년도 2 단계 두뇌한국(BK)21 사업에 의하여 지원되었음.

참고문헌

- (1) Sun, L., Wang, J., Lv, Q., Liu, B., Guo, F., Wang, R., Cai, W., Xu, Y., and Zhao, L., 2006, "Defect Structure and Optical Damage Resistance of In:Mg:Fe:LiNbO₃ Crystals with Various Li/Nb Ratio," *J. of Crystal Growth*, Vol. 297, pp. 199~203.
- (2) Cho, H. C., Jeong, S. H., Park, J. H., Lee, H. J., Oh, J. H., Kim, H. J., and Jeong, H. D., 2008, "Experimental Analysis in Lithium Niobate CMP For Room Temperature Bonding," *Material Science Forum*, Vol. 569, pp. 129~132.
- (3) Wu, C. C., Horng, R. H., Wu, D. S., Chen, T. N., Ho, S. S., Ting, C. J., and Tsai, H. Y., 2006, "Thinning Technology for Lithium Niobate Wafer by Surface Activated Bonding and Chemical Mechanical polishing," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 45, No. 4B, pp. 3288~3827.
- (4) Kityk, I. V., Makowska-Janusik, M., Fontana, M. D., Aillerie, M., and Abdi, F., 2001, "Nonstoichiometric Defects and Optical Properties in LiNbO₃," *J. Phys. Chem.*, Vol. 105, pp. 12242-12248.
- (5) Zheng, Y., Shi, E., Wang, S., Lu, Z., Cui, S., Wang, L., and Zhong, W., 2004, "Domain Structures and Etching Morphologies of Lithium Niobate Crystal with Different Li Contents Grown by TSSG and Double Crucible Czochralski Method," *Cryst. Res. Technol.*, vol. 39, No. 5, pp. 387~395.
- (6) www.crystaltechnology.com
- (7) Subhadra, K. G., Rao, K. K., and Sirdeshmukh, D. B., 2000, "Systematic Hardness Studies on Lithium Niobate Crystal," *Bull. Master. Sci.*, Vol. 23, No. 2, pp. 147~150.
- (8) Oliver, M. R., 2003, *Chemical-Mechanical Planarization of Semiconductor Materials*, 1st ed., Springer, Heidelberg.
- (9) Li, S. H., and Miller, R. O., 2000, *Chemical Mechanical Polishing in Silicon Processing*, 1st ed.,

Academic Press, San Diego.

- (10) Runnes, S. R., Kim, I. K., Schleuter, J., Karlsrud, C., and Desai, M., 1998, "A Modeling Tool for Chemical-Mechanical Polishing Design and Evaluation," *IEEE Transactions of Semiconductor Manufacturing*, Vol. 11, No. 3, pp. 501~510.
- (11) Shaw, D., and Chang, J., 2001, "A Method to Improve the Efficiency of CMP Process," *IEEE Transaction on Components and Packaging Technologies*, Vol. 24, No. 4, pp. 661~666.
- (12) Feng, T., 2007, "Nonuniformity of Wafer and Pad in CMP_Kinematic Aspects of View," *IEEE Transaction on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 20, No. 4, pp. 451~463.
- (13) Kong, Y., Zhang, W., Chen, X., Xu, J., and Zhang, G., 1999, "OH- Absorption Sepctra of Pure Lithium Niobate Crystals," *J. Phys.: Condens. Matter*, Vol. 11, pp. 2139~2143.