

Pt 코팅된 Si 기판에 제조한 KLN 박막의 구조적 특성

Structural Properties of KLN Thin Film Deposited on Pt Coated Si Substrate

박성근*, 이기직*, 백민수**, 전병역***, 김진수***, 남기홍****

(Sung-Kun Park*, Ki-Jik Lee*, Min-Soo Baek**, Byeong-Eok Jun***, Jin-Soo Kim***, Ki-Hong Nam****)

Abstract

KLN thin films were fabricated on Pt coated Si(100) wafer using an rf-magnetron sputtering method. The grown KLN thin film consists of 4-fold grains. In this experiment, the structure of 4-fold grained thin film was investigated using XRD and SEM measurements. Pt layer was also deposited using the rf-magnetron sputtering method. XRD measurement showed that the Pt thin film has Gaussian distribution form with strong (111) direction orientation. The KLN thin film has preferred-orientation of (001) direction, and the peak consists of 2 separate peaks; one with broad FWHM and the other with narrow FWHM. The sharp peak is due to single crystal, and combining with SEM results, the 4-fold grain consists of single crystals with *c*-axis normal to substrate.

Key Words : *c*-axis orientation, KLN($K_3Li_2Nb_5O_{15}$), tungsten-bronze, sputtering, ferroelectric

1. 서 론

텅스텐 브론즈(tungsten-bronze) 구조를 가지는 물질은 상대적으로 낮은 유전율을 가지고 높은 초전, 압전 계수를 가져서 초전 검지기나 압전 필터의 응용에 유리한 물질이다.[1,2] 이들 텅스텐 브론즈 구조를 가지는 물질 중 KLN($K_3Li_2Nb_5O_{15}$; potassium lithium niobate)은 모든 격자 자리가 완전히 찬 구조를 가지며 강한 초전, 압전, 광굴절,

그리고 SHG(second harmonic generation) 특성을 나타낸다.[1-3] KLN은 박막으로 제조할 때 비정질 기판에서도 *c*-축 배향성을 나타내는 특성을 가지는데, 이러한 특이한 성질은 박막 소자의 응용에 매우 유리한 점을 가진다.[4,5] 특히 Si 기판에서 *c*-축으로 성장시키는 것이 가능하다면 박막 소자 제작에 Si 공정 기술을 적용할 수가 있으며, 더 나아가서 적절한 하부 전극 위에 *c*-축 배향된 KLN 박막을 제조한다면 박막 소자 제작이 더 유리해진다. 그러나 현재까지 fused quartz, sapphire, KBN 등의 기판에 성장시킨 KLN 박막에 관한 보고들이 발표되었으나 실용적인 측면에서 더 중요하다고 생각되는 Si 기판 위에 성장시킨 KLN 박막에 관한 보고는 거의 없는 실정이다.

본 실험에서는 하부 전극으로 Pt를 사용하여 KLN 박막을 제조하였다. Pt는 화학적인 안정성, 높은 녹는점 때문에 PZT, BST 같은 강유전체 물질의 하부 전극으로 사용된다.[6,7] 게다가 Pt는 600 °C 이상의 고온에서도 KLN과 반응하지 않지

* : 하이닉스반도체
(충북 청주시 흥덕구 향정동 1번지)
Fax : 043-270-2778
E-mail : psk1225@hei.co.kr

** : 대우전자 반도체사업부

*** : 부산대학교 물리학과

**** : 경일대학교 전기전자공학과

2000년 8월 11일 접수, 2000년 11월 2일 1차심사완료

2001년 3월 23일 2차심사완료

때문에 박막 증착 공정에서 높은 안정성을 기대할 수 있다. Pt가 코팅된 Si 위에 고주파 마그네트론 방법으로 성장시킨 KLN 박막은 비정질의 1737 유리 기판 위에 성장시킨 박막과는 전혀 다른 형상을 나타내었고, 이들은 수백 nm 크기의 4-fold 그래인이 형성되는 특성을 나타내었다.[8] XRD를 사용하여 4-fold 그래인이 형성된 KLN 박막과 Pt 박막의 구조를 비교하였다. 본 실험에서는 θ scan 방법으로 박막의 배향성을 측정하였고, mesh scan 방법을 사용하여 Pt와 KLN 박막을 동시에 측정함으로써 두 박막의 구조적 차이점을 알 수 있었다. 또한 SEM과 AFM을 사용하여 박막의 형상을 관측하고 이 결과를 XRD 결과와 비교하여 4-fold 그래인을 형성한 KLN 박막의 특이한 구조를 밝힐 수 있었다.

2. 실험 방법

기판은 Pt/Ti/SiO₂/Si(100) 구조를 사용하였는데 이때 고주파 마그네트론 스퍼터링 방법으로 Pt/Ti 층을 제조하였고, Ti와 SiO₂는 Pt와 Si의 부착력을 개선하고 상호 확산을 방지하기 위하여 완충층으로 사용하였다. Pt/Ti 전극을 형성하는데는 각각 순도가 99.999 %인 Pt와 99.999 %의 Ti를 사용하였다. Pt와 Ti의 두께는 각각 1500 Å과 150 Å이

표 1. Pt/Ti 및 KLN 박막의 증착 조건.
Table 1. Conditions of Pt/Ti and KLN thin film.

Parameter	Deposition conditions	Deposition conditions
Target composition	99.999 % Pt 99.999 % Ti	K _{0.5} Li ₂ Nb ₅ O ₁₅ + (K 60mol, Li 30 mol %)
Target size	76 mm (4")	76 mm (3")
Substrate to target distance	80 mm	45 mm
Input power	100W	100 W
Substrate temperature	room temperature (self heating)	600 °C
Gas pressure	7.6 mTorr	150 mTorr
Sputtering gas ratio	Ar	Ar : O ₂ = 60 : 40
Deposition time	15 min : Pt 30 sec : Ti	120 min
Initial pressure	< 6.0 × 10 ⁻⁷ mTorr	< 1 × 10 ⁻⁵ Torr

었다. KLN 박막은 박막 성장 중의 재증발을 보상하기 위하여 K와 Li가 각각 60 및 30 % 과량된 타겟을 사용하여 제조하였다. 표 1에 Pt/Ti 및 KLN의 증착에 사용된 조건을 나타내었다. 일반적으로 박막의 구조는 하부층의 결정성에 의해 크게 영향을 받기 때문에 하부층의 구조를 함께 비교하는 것이 중요하다. 박막의 구조는 XRD를 사용하여 69.13°의 Si(400) 피크를 기준으로 분석하였으며, $\theta-2\theta$, θ scan 및 mesh scan 방법을 사용하였다. SEM을 사용하여 박막의 표면 및 단면 형상을 관측하였고, tapping mode AFM을 사용하여 높이와 위상을 동시에 측정하여 SEM 사진과 비교 분석하였다.

3. 실험 결과 및 논의

그림 1은 (a) Pt/Ti/SiO₂/Si(100) 기판의 XRD 패턴을 그리고 (b)는 이 기판 위에 제조된 400 nm 두께의 KLN 박막의 XRD 패턴을 나타낸 것이다.

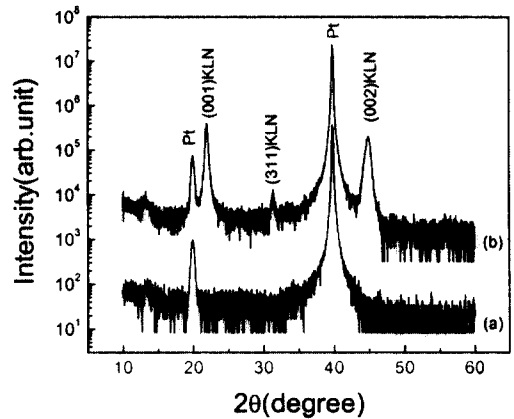


그림 1. XRD $\theta-2\theta$ 측정 (a) Pt/Ti/SiO₂/Si(100), (b) KLN/Pt/Ti/SiO₂/Si(100).
Fig. 1. XRD $\theta-2\theta$ scan of (a) Pt/Ti/SiO₂/Si(100), (b) KLN/Pt/Ti/SiO₂/Si(100).

XRD 피크의 상대적인 차이가 너무 크게 나타났기 때문에 피크의 세기는 대수적으로 표시하였다. 그림 (a)의 40°에서 나타나는 피크는 Pt(111)에 의한 피크이며, 20°에서 나타나는 피크는 Pt(111)에 의한 조화 피크(harmonics)로 확인되었다. 그림 (b)는 Pt/Ti/SiO₂/Si(100) 기판 위에 KLN 박막을 제조한 다음 측정된 것이다. KLN 박막은 기판 온도 600 °C, 스퍼터링 압력 150 mTorr에서 증착되

었다. 이러한 증착 조건에서 KLN 박막은 4-fold 그래인을 형성하게 된다.[8] 그림 (a)와 비교하여 22.1° 및 45.1° 에서 발생한 피크는 KLN(001) 및 KLN(002)에 의한 것이고 20° 및 40° 에서 발생한 피크는 Pt(111) 피크 및 이의 조화 피크이다. 주의할 것은 KLN(311) 피크인데 이 피크는 비정질의 1737 유리 기판 및 SiO₂/Si 기판 위에 제조하는 경우에는 나타나지 않고 Pt를 하부층으로 사용한 경우에만 발생하게 된다.

그림 1에서 Pt 기판 위에 증착된 KLN 박막은 (001)면과 (002)면 및 (311)면에 의한 피크만을 나타내고 있다. (311)면과 (001) 및 (002)면의 세기 차이는 100배 이상으로 매우 큰 편으로서 KLN 박막은 (001) 방향으로 우선 성장함을 알 수 있다. 그러나 (311) 방향 피크의 발생은 이 박막이 완전한 c-축 배향된 4-fold 그래인 만으로 이루어진 것은 아니라는 것을 나타낸다. JCPDS data[9]에 의하면 KLN(311) 피크는 주 피크로써, 박막 성장시 나타나는 KLN(311) 피크 역시 다결정 상태와 연관관이 있을 것으로 생각된다. JCPDS data의 다결정 상태의 KLN에서 (001) 및 (002) 피크는 각각 주 피크인 (311) 피크 크기의 6 % 및 3 %의 세기를 가진다. 성장된 박막에서 주피크가 (001)인 것을 고려하면 KLN이 (001) 방향으로 배향하는 정도는 세라믹에 비하여 약 600배 이상이 된다.

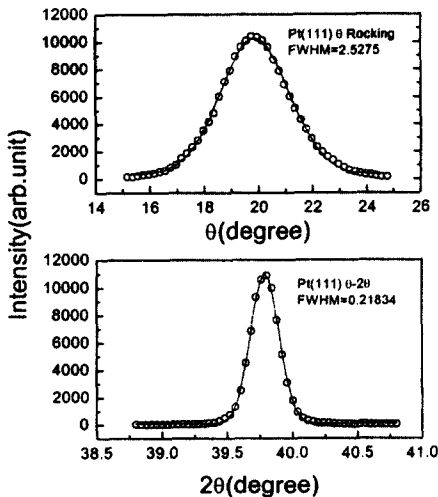


그림 2. Pt(111) 면에 대한 XRD θ - 2θ 측정과 θ 측정.

Fig. 2. XRD θ - 2θ scan and θ scan of Pt(11) peak.

그림 2에 Pt 박막의 (111) 피크에 대한 θ - 2θ scan과 θ scan을 나타내었다.

모든 측정에서 Pt 박막은 배향성 박막에서 나타나는 전형적인 가우시안 분포를 따르고 있음을 알 수 있다. θ scan에서 Pt(111) 면의 반치폭은 2.5 3° 를 나타내었으며 이는 스퍼터링에 의해 증착된 Pt 박막이 (111) 방향으로 우선 배향하였음을 나타낸다. Pt는 물리적, 화학적으로 매우 안정하고 Si 기판과 열팽창 계수의 차이가 커서 직접 Si 위에 증착하는 경우 박막의 부착성이 떨어진다. 그러므로 일반적으로 Ti, Ta 또는 Ni-Cr 같이 Pt 보다는 화학적으로 반응성이 좋은 물질을 Si 기판과 Pt 박막 사이에 중간층으로 사용하여 부착성을 향상시키는 것이 일반화되어 있다.

Park 등은[10] Pt/Ti 구조를 500 °C 이상에서 열처리하면 상호 확산(inter diffusion)에 의하여 PtTi 합금을 형성한다고 보고하였다. 본 실험에서는 PtTi 합금에 의한 피크는 관측할 수 없었으며, 이러한 이유는 본 실험에서 사용한 Ti는 부착층(glue layer) 역할을 하도록 50 Å 정도의 얇은 두께로 증착되어 XRD 피크의 세기가 매우 약하였기 때문이다.

그림 3은 동일한 시료의 KLN(001) 면에 대한 θ scan을 나타낸 것이다. 이 그림에서 피크는 2개의 서로 다른 형태로 구성되어 있으며, 가우시안(Gaussian) 피팅을 통하여 예리한 피크와 넓은 피크를 분명하게 구별할 수 있다. 폭이 넓은 피크는 단결정 그래인들이 모자이크 구조를 가짐으로 인하여 발생하는 것으로는 생각되지 않으며, 앞의 θ - 2θ scan에서 작지만 확실한 (311) 피크가 나타난 것으로 미루어 예측할 수 있었던 것처럼 다결정질의 박막에 의한 영향이라고 추측할 수 있다. 폭이 넓은 피크는 반치폭이 5.54° 로서 배향성 다결정상을 나타내고 있으며, 폭이 좁은 피크는 반치폭이 0.37° 로서 단결정에 의한 피크이다. 이 측정에서 KLN 박막은 단결정 상태의 그래인으로만 이루어진 것이 아니며, 일부는 c-축으로 배향된 다결정 구조의 그래인을 형성하고 있음을 알 수 있다. 또한 단결정 그래인은 기판과 수직한 방향에서 약 0.5° 기울어짐을 알 수 있었다. Nashimoto 등은 [11] sapphire 기판 위에 LiNbO₃ 단결정을 형성시키면서 그림 3과 유사한 넓은 tail과 예리한 피크를 가진 rocking curve를 관측하였는데, 이때 예리한 피크의 반치폭은 0.07° 를 나타내었다. 본 실험의 경우 반치폭이 0.37° 로 상당히 큰 편인데, 이것은 Nashimoto 등이 제조한 박막은 넓은 영역에

결쳐서 단결정상을 나타내는 epitaxial 박막이지만, 본 실험에서 나타나는 단결정 피크는 넓은 면적에서 단결정 상을 가지는 것은 아니고 그레인 하나 하나만이 단결정상을 나타내는 4-fold 그레인에 의한 것이기 때문이다.

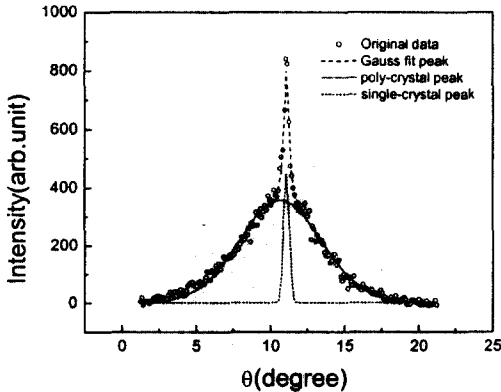


그림 3. KLN(001)의 θ scan XRD 측정.

Fig. 3. θ scan XRD measurement of KLN(001).

그림 4는 Pt(111)에 의한 조화 피크와 KLN(001) 피크의 mesh scan을 나타낸다. 이 그림의 등고선 그림에 $\theta-2\theta$ scan line을 표시해 놓았다. 이 그림에서 Pt(111) 피크와 KLN(001) 피크의 형태가 다르게 나타난 것을 확인할 수 있다. Pt(111)의 조화 피크는 피크의 정상 부분이 완만한 커브를 그리는데 반하여 KLN(001)에 의한 피크의 모양은 완만한 피크 위에 예리한 불연속적인 피크의 형태를 가짐을 알 수 있다. 또한 Pt(111)에 의한 피크는 등고선 위에 표시된 $\theta-2\theta$ line을 따라 지나가지만 KLN(001)에 의한 불연속적인 단결정 피크는 $\theta-2\theta$ line에서 약간 벗어난 곳에서 나타난다. 완만한 피크가 다결정 상태의 KLN(001)에 의한 것이라고 생각한다면, 그림 4의 등고선 그림에서 보면 $\theta-2\theta$ 선은 Pt(111)의 피크를 지나가고 또 KLN(001)의 완만한 피크를 지나가는 것을 알 수 있으며, 이것으로 Pt(111)과 다결정질의 KLN(001)은 동일하게 기판에 수직인 방향으로 성장됨을 알 수 있다. 이와 같이 일반적인 $\theta-2\theta$ 측정에서는 KLN(001) 방향에서 발생하는 단결정에 의한 불연속적인 피크를 볼 수 없으며 단결정 피크 아랫 부분의 완만한 다결정에 의한 피크의 세기만을 표시하게 된다. 이러한 이유는 단결정이 기판에 완전한 수직이 아닌 약간 기울어진 상태로 성장하였기

때문이다. 이와 같이 XRD $\theta-2\theta$ scan에서는 완전한 단결정 피크를 관측할 수 없고 다결정질의 피크만을 관측하게 되므로 일반적인 $\theta-2\theta$ XRD 측정에서 나타내는 피크의 세기만으로는 결정성을 알아볼 수가 없다.

그림 4. Pt(111)의 조화 피크와 KLN(001) 피크에 대한 XRD 그물 측정.

Fig. 4. XRD mesh scan of harmonics of Pt(111) and KLN(001) peak.

Pt 기판 위에서 4-fold 그레인이 발생하는 것에 관한 정확한 발생 원인은 아직까지 밝혀진 것이 없지만, Pt(111) 면은 강한 배향성의 다결정 상이므로 KLN 박막에 어떤 영향을 주었기 때문에 비정질 기판에서 증착한 경우와 다른 성장 양상을 나타내게 된다. 또한 Pt 기판에 제조한 KLN 박막을 유리 기판에 제조한 박막과 비교할 때 비정질 기판에서와는 달리 KLN(311) 피크가 발생하였고 이때 4-fold 그레인을 형성할 수 있었다.

그림 5에 KLN 박막의 SEM 사진을 나타내었다. 이 사진에서 명확하게 구분된 4-fold 그레인과 그레인들 사이의 깊은 골을 관측할 수 있다. 평균 그레인 크기는 약 400 nm이고 4-fold 그레인의 방위는 서로 무질서하게 배향되어 있으며, 4-fold 그레인의 표면은 얇게 주름진 형태를 하고 있었다. 그림 5 (b)의 단면 사진에서 KLN 박막은 Pt 박막과 뚜렷하게 구별되며, 4-fold 그레인은 평탄하지 않고 거친 면을 나타내지만 뚜렷한 4-fold 그레인을 형성함을 알 수 있었다.

KLN은 Li을 포함하여 일반적으로 박막의 조성 분석에 사용되는 AES나 XPS 같은 조성 분석 장

비로도 분석이 불가능하여 그 분석이 어려운 점이 있다. 본 실험에서는 Scott 등[12]에 의한 조성에 따른 물질의 격자 상수와 본 실험에서 제조한 박막의 격자 상수를 비교하여 Pt 기판 위에 제조된 KLN 박막이 정확히 정방정 텅스텐 브론즈 구조의 한 가운데에 위치하고 있는 것을 확인하였으며, 또한 이 결과는 KLN 박막이 정방정 텅스텐 브론즈 구조를 가지는 경우에만 4-fold 그래인이 발생할 수 있으므로 격자 상수로 예측한 결과와 서로 일치함을 보여준다.

본 실험에서 관측한 4-fold 그래인은 박막 강유전 물질에서는 드물게 나타나는 것으로 이 특정한 형태의 그래인을 확실히 관측할 필요가 있다. AFM의 높이 측정 방법을 사용하여 SEM에서 관측한 표면 형상을 다시 확인하고 박막 물질의 균일성을 위상 측정 방법으로 조사하였다. 그림 6에 AFM으로 측정된 KLN 박막의 표면 형상을 나타내었다.

그림 5. (a) KLN 박막의 표면, (b) KLN 박막의 단면.

Fig. 5. (a) Surface image of KLN thin film, (b) Cross section image of KLN thin film.

1737 기판에 증착한 KLN 박막은 기판 사이에 응력이 크게 작용하여 격자 상수가 변화하였는데, Pt/Ti/SiO₂/Si 기판 위에 제조된 KLN 박막의 경우 형성되는 박막이 서로 떨어진 작은 단결정 그래인을 형성하면서 성장하기 때문에 큰 응력이 작용되지 않는 것으로 생각된다. 일반적으로 K₂O-Li₂O-Nb₂O₅에서 강유전성을 나타내는 Nb의 조성이 0.51~0.55 안에 드는 경우 정방정 텅스텐 브론즈 조성의 KLN(K₃Li₂Nb₅O₁₅)이라고 표기한다.

그림 6. KLN 박막의 AFM 측정 (a) 높이 측정, (b) 위상 측정.

Fig. 6. AFM images of KLN thin film (a) height modes.

이때 (a)는 높이 모드로 측정된 결과이고, (b)는 위상 모드로 측정된 결과이다. 표면 형상을 관측할 때 tapping 측정 방법을 사용하여 단차가 큰 표면

형상을 자세히 관측할 수 있었고, 또한 이때 위상 모드를 동시에 측정하여 박막이 정확히 4-fold 그레인을 형성하는지 확인할 수 있었다. 그림 6 (a)의 KLN 박막의 AFM 사진은 SEM 사진에서와 같이 작은 4-fold 그레인으로 구성되어 있고 4-fold 축, 즉 c -축이 기판에 수직하게 배향되어 있지만 c -축을 중심축으로 보면 a -축은 무질서하게 배향되어 있었다. KLN 박막은 4-fold 그레인의 c -축을 중심으로 한 a -축 방향의 무질서 배향으로 인하여 3차원적으로 성장되며 SEM 사진에서 확인할 수 없었던 이러한 3차원 성장을 AFM 사진에서 뚜렷하게 확인할 수 있었다. 하지만 SEM 사진과 같이 뚜렷한 영상을 얻지는 못하였는데, 이것은 AFM 측정용 tip의 두께가 유한하기 때문에 높이 차이가 많이 나는 4-fold 그레인을 측정할 때 완전한 영상을 얻지 못하였기 때문이다. 그림 6 (b)에서 z 축은 위상의 변화를 나타내며 4-fold 그레인들은 모두 동일한 위상 신호를 나타낸 것을 알 수 있다. 하지만 일부 매우 큰 위상 차이를 보인 신호도 나타나는데 이것들은 높이 차이에 의하여 적절한 신호를 검출하지 못한 것으로 생각할 수 있다고 판단된다.

4. 결 론

Pt 코팅된 Si 기판에 고주파 마그네트론 스퍼터링 방법으로 KLN 박막을 형성시켰다. 기판으로 사용한 Pt 하부막 역시 고주파 마그네트론 방법으로 성장되었다. XRD 측정 결과 하부막으로 사용된 Pt 박막은 일반적인 Gaussian 형태를 가지는 (111) 방향으로 배향된 다결정 박막이었다. KLN 박막은 약간의 (311) 방향의 피크가 검출되었으나 대부분 (001) 방향으로 배향된 박막으로 이루어져 있었으며, JCPDS data와 비교하면 (311) 방향에 대한 (001) 방향의 피크의 세기는 600배나 강하게 검출된다. 또한 θ scan XRD 분석 결과 KLN 박막은 다결정질의 배향성 박막에 의한 피크와 구별되는 단결정에 의한 피크가 검출되었다. mesh scan 방법으로 Pt(111)에 의한 조화 피크와 KLN(001) 피크를 동시에 측정한 결과 Pt(111)은 Gaussian 분포를 따르는 전형적인 배향성 박막인데 반하여 KLN(001)은 다결정질의 배향성 이외에 예리한 단결정성에 의한 피크를 나타내는 것을 뚜렷이 알 수 있었다.

SEM 및 AFM 측정 결과 박막의 표면은 약 400 nm 크기의 c -축 방향으로 성장된 단결정 그레인으로

구성되어 있음을 확인할 수 있었다. 이 그레인들은 a -축 방향이 서로 무질서한 배향을 하고 있었으며 이러한 무질서 때문에 θ scan XRD의 반치폭이 넓게 나타난 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] Y. Xu, *Ferroelectric Materials and Their Applications*, (North-Holland, Amsterdam, 1991) Chap. 6
- [2] R. R. Neugaonkar, W. K. Cory, J. R. Oliver, L. Eric Cross, "Growth and properties of tungsten bronze $K_3Li_2Nb_5O_{15}$ single crystals", *Mat. Res. Bull.*, Vol. 24, pp. 1025-1030, 1989.
- [3] Y. Furukawa, S. Makio, T. Miyai, M. Sato, H. Kitayama, Y. Tamiuchi, and T. Fukuda, "Growth and characterization of $K_3Li_2(Ta_xNb_{1-x})_5O_{15}$ crystals for blue second harmonic-generation applications", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 68, No. 6, pp. 744-746, 1996.
- [4] M. Adachi, A. Kawabata and F. Takeda, "Ferroelectric thin films of tungsten-bronzes", *Ceramic Transactions*, Vol. 25, *Ferroelectric Films*, edited by A. S. Bhalla and K. M. Nair, pp. 303-312, 1992.
- [5] M. Adachi, A. Kawabata and F. Takeda, "Preparation of Tungsten-Bronze thin films", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 30, No. 9B, pp. 2208-2211, 1991.
- [6] 이 상우, 김 광호, 이 원종, "RF 스퍼터링법을 이용한 $LiNbO_3/Si$ 구조의 전기적 및 구조적 특성", *전기전자재료학회논문지*, Vol. 11, No. 2, pp. 106-110, 1998.
- [7] 정 병직, 신 동석, 윤 회성, 김 병호, "MOD법에 의한 강유전성 $Sr_xBi_yTa_zO_{9-\sigma}$ (SBT) 박막의 제조 및 후열처리 효과에 관한 연구", *전기전자재료학회논문지*, Vol. 11, No. 3, pp. 229-236, 1998.
- [8] Sung-Kun Park, Min-Soo Baek, Seung-Choon Bae, Sung-Yul Kwon, Jee-Hyun Kim, Ki-Wan Kim, "Growth of four-fold grained $K_3Li_2Nb_5O_{15}$ thin film using rf-magnetron sputtering", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 38, No. 11, pp. 6483-6486, 1999.
- [9] 박 성근, 백 민수, 배 승춘, 권 성열, 김 지현,

김 기완, "Rf-magnetron sputtering 방법을 이용한 c-축 배향된 KLN 박막의 제작," 전기전자재료학회논문지, Vol. 12, No. 11, pp. 1033-1039, 1999.

- [10] JCPDS data(#34-0122)
- [11] K. H. Park, C. Y. Kim, Y. W. Jeong, H. J. Kwang, K. Y. Kim, J. S. Lee, and S. T. Kim., "Microstructure and interdiffusion of Pt/Ti electrodes with respect to annealing in the oxygen ambient", J. Mater. Res., Vol. 10, No. 7, pp. 1790-1794, 1995.
- [12] K. Nashimoto, H. Moriyama and E. Osakabe, "Controll of crystallinity in sol-gel derived epitaxial LiNbO₃ thin films on sapphire", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 35, No. 9, pp. 4936-3940, 1996.
- [13] B. A. Scott, E. A. Giess, B. L. Olson, G. Burns, A. W. Smith, D. F. O'kane "The tungsten bronze filled in the system K₂O-Li₂O-Nb₂O₅", Mat. Res. Bull., Vol. 5, pp. 47-56, 1970.