

Rf-magnetron sputtering 방법을 이용한 c-축 배향된 potassium lithium niobate 박막의 제작

논문
12-11-7

Fabrication of c-axis oriented potassium lithium niobate thin film using an rf-magnetron sputtering method

박성근*, 백민수*, 배승춘*, 권성열**, 김지현***, 김기완*

(Sung-Kun Park*, Min-Soo Baek*, Seung-Choon Bae*, Sung-Yeol Kwon**, Jee-Hyun Kim***, Ki-Wan Kim*)

Abstract

The c-axis oriented potassium lithium niobate(KLN : $K_3Li_2Nb_5O_{15}$) thin films were prepared by an rf-magnetron sputtering technique using the K- and Li- excess sintered KLN target. The optimum sputtering conditions were an rf power of 100 W, working pressure of 150 mTorr, and substrate temperature of 600 °C. When KLN was grown at a temperature of 600 °C with a 50~200 mTorr range of sputtering pressure, the thin film KLN was (001) oriented. The size of grain was proportional to ambient pressure and when sputtering at 100 W of rf power and 150 mTorr of sputtering pressure, the grain size was largest. The c-axis oriented ferroelectric KLN thin film having Tungsten-Bronze structure was fabricated directly on an amorphous substrate without any buffer layer.

Key Words(중요용어) : c-axis orientation(c-축 배향), KLN($K_3Li_2Nb_5O_{15}$), tungsten-bronze(텡스텐-브론즈), rf-magnetron sputtering(고주파 마그네트론 스퍼터링), ferroelectric(강유전체)

1. 서 론

강유전체 박막은 자발분극의 반전특성, 압전, 초전 특성 및 큰 전기광학 효과로 인하여 불휘발성 메모리, 탄성 표면과 필터, 적외선 센서, 광학 스위치 등 여러 가지 용도로의 적용에 큰 관심을 끌고 있다. 이러한 강유전체의 특성을 잘 활용하기 위해서는 박막 물질의 극축방향이 기판에 수직하게 배향된 박막을 얻는 것이 중요하다¹⁻³⁾. 이때 광학 소자 응용을 위해서는 에피택셜한 박막이 요구되지만, 강유전체의 압전특성 또는 초전특성을 이용하는 경우는 배향성 박

막을 사용하는 것으로도 충분히 적용이 가능하다.

기존의 벌크 세라믹의 경우에는 압전 재료로서 우수한 압전특성을 가지는 PZT($Pb(Zr,Ti)O_3$) 계열이 상용 압전체의 거의 대부분을 점유하고 있다. 그러나 박막의 경우는 PZT 보다 낮은 전기기계 결합계수를 가지는 ZnO가 더 선호 되고 있으며 이러한 ZnO 박막은 SAW(surface acoustic wave) 필터, 초음파 트랜스 듀서, 그리고 센서 등에 널리 사용된다⁴⁾. 특히 ZnO/Glass 구조는 TV/VTR용 SAW 필터로 상용화되어 현재에도 널리 생산되고 있다. 이렇게 ZnO가 널리 사용되고, 또 상용화에 성공할 수 있는 이유는 적절한 압전특성과 제조상의 용이성 그리고 박막 제조시 c-축 우선 배향성을 가지기 때문이다^{5, 6)}. ZnO는 hexagonal wurtzite 구조를 가지며, Si 이나 glass 기판상에서 c-축으로 성장된다. 반면에 tetragonal perovskite 구조를 가지는 $PbTiO_3$ 나 PZT, 그리고 PLZT는 Si 기판이나 glass 기판상에서 a-축으로 우선 배향되는 특성을 나타낸다⁷⁻⁹⁾.

최근들어 MgO 기판 또는 완충층을 사용하여 $PbTiO_3$ 나 PZT를 c-축 배향시키는 연구가 보고되었으나 MgO 기판은 아직까지 Si 또는 다른 glass에

* : 경북대학교 전자공학과 반도체 전공
(대구광역시 북구 산격동 1370번지, E-mail : psk1225@netian.com)

** : 경북대학교 센서공학과
(대구광역시 북구 산격동 1370번지)

*** : University of Texas, 전기 및 컴퓨터 공학과,
Austin
1999년 7월 28일 접수, 1999년 10월 19일 심사완료

비하여 고가이고 완충층을 사용하는 것 역시 강유전체 박막을 증착하는 것 이전에 또 다른 복잡한 공정을 거쳐야 한다^{3, 10)}. 비교적 간단한 고주파 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용함으로써 공정을 단순화시키고, c-축 우선배향 특성으로 상업적인 성공을 거둘 수 있었던 ZnO의 경우처럼 비정질 또는 Si 기판상에 직접 c-축 우선 배향되는 박막을 성장시킨다면, 박막 압전소자의 제작에 매우 유리하게 된다.

potassium lithium niobate(KLN ; $K_3Li_2Nb_5O_{15}$)은 완전히 찬 tungsten-bronze 구조를 가지며 큰 초전, 광굴절, 압전 특성을 나타낸다. 특히 두께 진동 모드에서 0.64의 전기기계 결합계수를 가지며, ZnO등과 같이 박막으로 제작하면 c-축 우선 배향성을 나타내어 매우 매력적인 물질이다^{11, 12)}. 현재까지 KLN의 연구는 주로 second harmonic generation(SHG) 응용을 위한 KLN 단결정 성장이 활발히 연구되고 있으며¹³⁻¹⁵⁾ 박막의 경우도 epitaxial growth of melt(EGM), metalorganic chemical vapor epitaxy(MOCVD), rf-sputtering 등 여러 가지 방법으로 시도되어지고 있다^{11, 12, 16-18)}. 특히 최근 Chikuma 등에 의하여 MOCVD 방법으로 KLN 박막을 제작하는 보고가 발표되는 등 박막 분야에서도 KLN에 대한 연구가 진행되고 있으나, 현재까지 보고된 결과는 아직까지는 PbTiO₃, PZT, PLT, SBT 등에 비하여 매우 미약한 형편이다.

본 연구에서는 고주파 마그네트론 스퍼터링(사용주파수 13.56MHz)을 이용하여 KLN 박막을 제조하였다. 현재까지 KLN 박막제조를 위한 상용 스퍼터링용 타겟을 구할 수 없었고 박막 성장중 결핍이 발생하는 원소를 보상하기 위하여 K를 60 mol %, Li를 30 mol % 과량한 스퍼터링용 타겟을 제작하였다. 기판으로는 박막의 기판의 결정성에 의한 영향을 배제하기 위하여 비정질이며 녹는점이 높은 Corning 1737 유리 기판을 사용하였고, X-ray diffraction(XRD)과 scanning electron microscopy(SEM)를 사용하여 공정변수에 따른 박막의 배향성 변화 및 표면 형상의 변화를 관찰하여 KLN 박막의 증착을 위한 최적의 조건을 알아보았다.

2. 실험방법

본 실험에서는 KLN 박막을 제조하기 위하여 K를 60 mol %, Li를 30 mol % 과량 첨가하여 타겟을 제작한 후 제작된 타겟을 사용하여 박막을 제조하였다. 표 1에 고주파 마그네트론 스퍼터링을 사용한 박막 성장조건을 나타내었다. 기판은 스테인레스로 제작

된 히터위에 고정하였으며, Chromel-Alumel 열전대를 히터의 중간에 삽입하여 온도를 측정하였다. 박막 결정의 구조 및 배향성은 XRD 측정으로 분석하고 SEM을 사용하여 박막의 두께를 측정하고 표면 형상을 관찰하였다.

표 1. KLN 박막 성장을 위한 고주파 마그네트론 스퍼터링 조건
Table 1. rf-magnetron sputtering conditions for growth of KLN films.

Deposition parameters	Value
Target	Li 30 mol % and K 60 mol % excessed Sintered ceramic target
Substrate	Corning 1737 glass
Sub. to target distance	45 mm
Ar/O ₂	60/40
Target diameter	3 inch
RF power	80~140W
Working pressure	50~200 mTorr
Sputtering time	2 hs
Substrate temperature	600 °C

3. 결과 및 논의

그림 1은 화학량론적 세라믹 KLN과 K가 60 mol % 그리고 Li가 30 mol % 과량인 세라믹 타겟의 XRD 패턴을 나타낸 것이다.

그림 1의 (a)는 원료 분말을 24시간 동안 불밀하고 750 °C에서 2시간 하소한 후 다시 분쇄하여 1000 °C에서 2시간 소결한 타겟의 XRD 패턴이고, 그림 1(b)는 K와 Li를 각각 60 % 그리고 30 % 과량한 후 600 °C에서 하소하고 750 °C에서 소결하여 제작한 타겟의 XRD 패턴이다. K와 Li를 과량한 조성에서 이렇게 낮은 하소, 소결온도를 사용한 것은 K 및 Li를 과량함에 따라 녹는점이 낮아졌기 때문이다. 화학량론적인 경우와 과량한 타겟의 XRD 패턴을 비교하여 특별한 피크의 차이는 발견할 수 없었으나, 과량 타겟의 경우 피크의 분리가 뚜렷하지 않고 일부 KLN과 관련된 피크들이 나타나지 않았다.

분위기 압력에 따른 KLN 박막의 XRD 패턴을 그림 2에 나타내었다.

이 그림에서 기판의 결정성의 영향을 배제하기 위

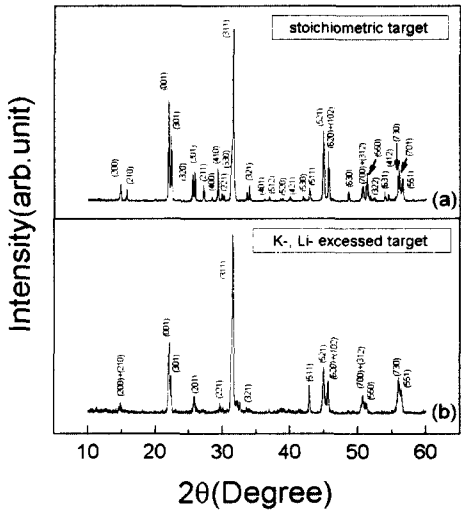


그림 1. KLN 스퍼터링용 타겟의 XRD 패턴. (a) 화학량론적 조성의 타겟, (b) K와 Li 과량의 타겟.

Fig. 1. XRD pattern of target for sputtering of KLN. (a) stoichiometric target, (b) K and Li excess target.

하여 비정질의 Corning 1737 유리 기판을 사용하였다. 고주파 전력은 100 W로 고정하였고 산소의 결핍을 방지하기 위하여 스퍼터링 가스비는 Ar:O₂가 60:40을 사용하였으며 기판온도가 580 ℃ 이하인 경우는 낮은 결정성을 나타내었으므로 기판의 온도를 600 ℃로 고정하였다.

그림 2 (a)는 스퍼터링 압력이 50 mTorr 인 경우를 나타내었다. 박막은 상대적으로 낮은 결정성을 나타내었으나 (001) KLN 피크와 (002) KLN 피크만을 나타내었다. 그림 2 (b), (c) 그리고 (d)에서 볼 수 있듯이 KLN 박막은 100 mTorr 이상의 높은 분위기 압력에서 제조될 때 높은 XRD 강도를 나타내고 더욱 뚜렷한 (001) 그리고 (002) 방향의 배향성을 나타내었으며 100 mTorr에서 200 mTorr까지의 높은 분위기 압력에서는 분위기 압력의 변화가 결정성이나 배향성에 특별한 영향을 주지는 않았다.

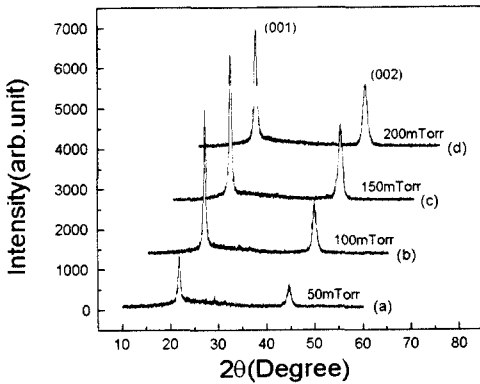


그림 2. 기판온도 600 ℃, 100 W의 고주파 전력에서 증착한 KLN 박막의 XRD 패턴. 스퍼터링 압력 (a) 50 mTorr, (b) 100 mTorr, (c) 150 mTorr, (d) 200 mTorr

Fig. 2. XRD patterns of KLN thin films deposited at a substrate temperature of 600 ℃ and 100 W of rf power. Sputtering pressure of (a) 50 mTorr, (b) 100 mTorr, (c) 150 mTorr, (d) 200 mTorr.

그림 3. 기판온도 600 ℃에서 증착된 (001) 배향 KLN 박막의 SEM 사진. 스퍼터링 압력은 (a) 50 mTorr, (b) 100 mTorr, (c) 150 mTorr, (d) 200 mTorr.

Fig. 3. SEM photography of (001) textured KLN films deposited at a substrate temperature of 600 ℃. Sputtering pressure of (a) 50 mTorr, (b) 100 mTorr, (c) 150 mTorr, (d) 200 mTorr.

그림 3에 스퍼터링 압력에 따른 KLN 박막의 SEM 사진을 나타내었다.

그림 3 (a)는 50 mTorr의 스퍼터링 압력으로 증착한 박막의 SEM 사진이며, 특별한 결정립의 성장은 나타나지 않고 주름진 형태로 나타났다. 그림 3 (b)는 스퍼터링 압력을 100 mTorr로 증가시킨 것으로 50 mTorr에서 증착한 박막에서와 같은 주름진 형태의 표면 위에 새로운 결정립들이 나타나기 시작한다. 그림 3 (c)는 150 mTorr에서 증착한 것으로 결정립의 크기가 더 증가하고 있으며, 그림 3 (d)는 200 mTorr에서 증착한 것으로 너무 많은 결정립들이 동시에 성장되어 미세 결정립이 형성된 것으로 생각된다. 스퍼터링 압력에 따른 XRD 패턴과 SEM 사진을 비교해보면 스퍼터링 공정압력이 증가할수록 새로운 결정립들이 형성되며 이런 결정립들의 생성과 XRD 세기가 비례하는 것을 알 수 있었다.

XRD 패턴에서 큰 세기를 가지는 (001) 그리고 (002) KLN 피크는 KLN 박막이 c-축으로 우선 배향된다는 것을 나타내며 이러한 c-축 배향성은 Adachi 등의 실험결과와 일치한다. Adachi 등은 고주파 마그네트론 스퍼터링을 사용하였으며 fused quartz, (001) KBN 그리고 sapphire 기판으로 사용할 때 분위기압력 9.0×10^{-3} Torr, 고주파전력 140 W 그리고 480 ℃ 이상의 기판온도에서 (001) 방향 우선 배향성을 나타낸다고 보고하였다. 본 실험에서

는 480 ℃의 온도에서는 결정성을 나타내지 않았으며 580 ℃ 이상의 온도에서 확실한 결정성을 나타낼 수 있었다. 그러나 공정압력은 Adachi 등에 의한 조건과 상당히 일치함을 확인하였다. 일반적으로 고주파 마그네트론 스퍼터링은 일반적인 고주파 스퍼터링에 비하여 더 낮은 압력에서 공정할 수 있는 장점을 지닌다. 그러나 본실험에서는 마그네트론 방식을 사용하였음에도 불구하고 25 mTorr 이하의 공정압력에서는 단일상(single phase)의 KLN 박막을 성장시킬 수 없었으며 100 mTorr 이상의 비교적 높은 공정압력을 사용하였을 때만이 단일상의 KLN을 성장시킬 수 있었다. 이러한 원인은 K와 Li의 휘발에 기인하는 것으로 생각되는데, 스퍼터링 공정을 이용하여 박막을 성장시키는 경우 타겟에서 스퍼터된 박막물질은 중간에 산소와 반응하는 원자들을 제외하면 원자단위로 기판에 충돌한다. 이때 진공도가 높아질수록 물질의 휘발점이 낮아져서 스퍼터링중 기판상에서 결합되지 못한 K나 Li 같은 낮은 휘발점의 원소들이 높은 기판온도가 가해진 상황에서 휘발해 버리기 때문이다. 일반적으로 물질의 휘발점은 진공도가 높아질수록 낮아지는데 K는 상압에서 774 ℃, 1 Torr에서 341 ℃ 그리고 Li는 상압에서는 1372 ℃, 1 Torr에서는 723 ℃의 휘발온도를 가진다. 이들 원소들은 고진공 상태로 될수록 낮은 휘발점을 가지기 때문에 스퍼터링 압력이 낮을수록 기판의 표면에서 화합물로 결합하기 위한 충분한 시간을 가지지 못하고 기판 표면에서 다시 재증발(re-evaporation)하는 비율이 높아지게 된다.

그림 4는 고주파 전력에 따른 KLN 박막의 XRD 패턴을 나타낸 것이다. 기판온도와 공정압력은 각각 600 ℃와 150 mTorr로 고정하였다.

그림 4 (a)는 80 W의 고주파 전력으로 증착한 것으로 100 W 또는 120 W로 증착한 그림 4 (b), (c) 보다 결정성이 떨어짐에도 불구하고 (001) 방향의 우선 배향성을 나타내었다. (100) 방향의 XRD 피크 세기는 고주파 전력이 120 W로 증가할 때까지 거의 유지되었으나 140 W로 증착하는 경우 XRD의 세기는 감소하였다. 고주파 전력이 120 W, 140 W로 높아짐에 따라 KLN이 아닌 피크들이 관측되었고 이것을 그림 4에 표시(▼)해 놓았다.

그림 5는 고주파 전력에 따른 KLN 박막의 SEM 사진이다. 그림 5 (a)에서 80 W로 증착한 박막은 작은 결정립들이 모여있는 모습을 하고 있다. 그림 5 (b)는 100 W로 증착한 것으로 결정립들이 뭉쳐지면서 결정립의 개수는 줄어들고 그 크기가 커짐을 알 수 있다. 그림 5 (c)와 (d)는 120 W, 140 W에서

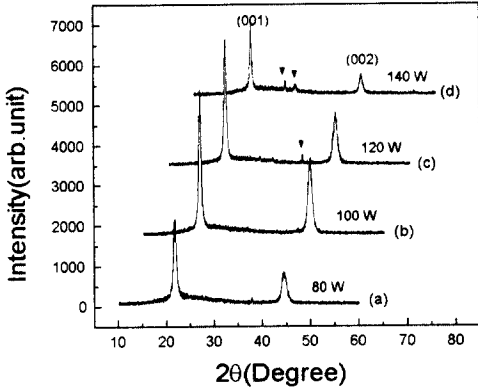


그림 4. 기판온도 600 ℃, 스퍼터링 압력 150 mTorr에서 증착한 KLN 박막의 XRD 패턴. 고주파전력 (a) 80 W, (b) 100 W, (c) 120 W, (d) 140 W.

Fig. 4. XRD patterns of KLN thin films deposited at a substrate temperature of 600 ℃ and sputtering pressure of 150 mTorr. Rf power of (a) 80 W, (b) 100 W, (c) 120 W, (d) 140 W.

그림 3. 기판온도 600 ℃에서 증착된 (001) 배향 KLN 박막의 SEM 사진. 스퍼터링 압력은 (a) 50 mTorr, (b) 100 mTorr, (c) 150 mTorr, (d) 200 mTorr.

Fig. 3. SEM photography of (001) textured KLN films deposited at a substrate temperature of 600 ℃. Sputtering pressure of (a) 50 mTorr, (b) 100 mTorr, (c) 150 mTorr, (d) 200 mTorr.

증착한 박막으로 급격하게 표면의 모습이 바뀌는데 100 W의 고주파 전력으로 증착했을 때보다 고주파 전력이 커질수록 기판으로 입사하는 박막물질도 더 큰 운동에너지를 가지게 되어 결정립들이 더 크게 뭉쳐진 것으로 생각된다.

실험에 사용된 모든 조건에서 KLN 박막은 (001) 우선 배향성을 나타내었는데 이러한 c-축 우선 배향성은 KLN의 최소표면 에너지를 가지는 면이 (001) 면이라는데 기인한다. KLN 단결정의 벽개면(cleavage)은 (001) 면으로 알려져 있으며 일반적으로 벽개면은 면간의 결합에너지가 약한면이기 때문에 박막이 성장할 때 가장 낮은 표면 에너지를 가지게된다. 이런 배향성은 MOCVD 등 다른 박막의 성장 방법 보다는 스퍼터링 방법으로 제작한 박막에서 두드러지

게 나타나는 독특한 성질이며 이런 우선 배향된 박막은 특히 압전소자의 제작에 유리할 것으로 판단된다. 또한 구성 성분의 강한 휘발성으로 인하여 특정 성분을 과량 첨가한 타겟을 사용했음에도 불구하고 고주파 마그네트론 방식으로는 비교적 고압인 영역에서 단일상을 가진 박막을 성장시킬 수 있었다.

4. 결 론

고주파 마그네트론 스퍼터링 방법으로 K와 Li가 각각 60%, 30% 과량된 타겟을 사용하여 KLN 박막을 제조하였다. 기판의 결정성이 성장되는 박막의 구조에 미치는 영향을 배제하기 위하여 비정질의 Corning 1737 유리기판을 사용하였으며, XRD와 SEM을 사용하여 고주파 전력, 스퍼터링 압력을 변화시키면서 박막의 구조 및 배향성 그리고 표면 형상을 조사하였다. 본 실험에서 조사한 최적의 성장조건은 고주파전력 100 W, 스퍼터링 압력 150 mTorr, 기판온도 600 °C이다.

고주파전력 80 W~140 W, 스퍼터링 압력 50~200 mTorr 인 공정조건에서 KLN 박막은 (001) 면으로 성장되었다. KLN은 (001) 면이 최소 표면에너지를 가지는 면이므로, KLN이 박막으로 제작될 때 최소 표면에너지를 가지는 방향으로 성장된다는 것을 알 수 있었다. 일반적인 마그네트론 스퍼터링에서 사용되는 스퍼터링 압력보다 비교적 높은 압력에서 완전하게 c-축 배향된 단일상의 KLN 박막이 얻어진 것은, 압력을 높임으로써 휘발성이 높은 원소들의 휘발을 방지할 수 있었기 때문으로 생각된다.

KLN은 PbTiO₃ 계열의 강유전체 물질과는 달리 비정질의 기판위에 박막화 시킬 때 ZnO 등과 같이 압전소자 응용에 유리한 c-축 우선 배향성을 나타내었다. 이러한 c-축 우선 배향성과 박막의 우수한 압전특성을 이용한다면 기존의 ZnO/glass 구조를 사용하는 SAW 필터같은 박막 압전소자를 대체할 수 있는 강유전체 압전소자의 개발에 유리할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 1998년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비(1998-001-E00650)에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. K. Nashimoto, D. K. Fork, and T. H. Geballe, "Epitaxial growth of MgO on

- GaAs(001) for growing epitaxial BaTiO₃ thin films by pulsed laser deposition", *Appl. Phys. Lett.* Vol. 60, No. 10, pp. 1199-1201, 1992.
2. W. Hsu and R. Raj, "MgO epitaxial thin films on (100)GaAs as a substrate for the growth of oriented PbTiO₃" *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 60, No. 25, pp. 3105-3107, 1992.
3. R. Takayama, Y. Tomita, K. Iijima and I. Ueda, "Pyroelectric linear array infrared sensors made of c-axis oriented La modified PbTiO₃ thin films", *J. Appl. Phys.*, Vol. 63, No. 12, pp. 5869-5872, 1988.
4. B. Wacogne, M. P. Roe, T. J. Pattinson, C. N. Pannel, "Effective piezoelectric activity of zinc oxide films grown by rf planar magnetron sputtering", *Appl. Phys. Lett.* Vol. 67, No. 12, pp. 1674-1676, 1995.
5. B. T. Khuri-Yakub, J. G. Smiths and T. Barbee, "Reactive magnetron sputtering of ZnO", *J. Appl. Phys.* Vol. 52, No. 7, pp. 4772-4774, 1981.
6. T. Yamamoto, T. Shiosaki and A. Kawabata, "Characterization of ZnO piezoelectric films prepared by rf planar-magnetron sputtering", *J. Appl. Phys.* Vol. 51, No. 6, pp. 3113-3120, 1980.
7. B. S. Kwak, E. P. Boyd and A. Erbil, "Metalorganic chemical vapor deposition of PbTiO₃ thin films", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 53, No. 18, pp. 1702-1704, 1988.
8. C. V. R. Vasant Kumar, M. Sayer, R. R. Asual, D. T. Amm and Z. Wu, "Lead zirconite titanate films by rapid thermal processing", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 58, No. 11, pp. 1161-1163, 1991.
9. T. Ogawa, A. Senda, T. Kasanami, "Controlling the crystal orientations of lead titanium thin films", *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 30, No. 9B, pp. 2145-2148, 1991.
10. J. Senzaki, O. Mitsumaga, T. Uchida, T. Ueno and K. Kuroiwa, "Fabrication of c-axis oriented PZT thin films on Si(100) substrate using MgO intermediate layer", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 35, No. 8, pp. 4195-4198, 1996.
11. M. Adachi, M. Hori, T. Shiosaki and A.

- Kawabata, "Epitaxial growth of potassium lithium niobate single-crystal films on potassium bismuth niobate single crystals by RF sputtering", *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 17, No. 11, pp. 2053-2054, 1978.
12. 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.
 13. B. A. Scott, and H. D. Edmonds, A. W. Smith, G. Burns, "Nonlinear optical properties of potassium-lithium niobates", *J. Appl. Phys.*, Vol. 42, No. 2, pp. 684-686, 1971.
 14. D. H. Yoon, M. Hashimoto and T. Fukuda, "Growth and characterization of $K_3Li_{2-x}Nb_{5+x}O_{15+2x}$ micro single crystals formed by the μ -PD method for blue SHG applications", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 33, No. 6A, pp. 3510-3513, 1994.
 15. J. J. E. Reid, "Resonantly enhanced, frequency doubling of an 820 nm GaAlAs diode laser in a potassium lithium niobate crystal", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 62, No. 1, 1993.
 16. M. Adachi, T. Shiosaki and A. Kawabata, "Epitaxial growth of potassium lithium niobate single-crystal films for optical waveguides", *Ferroelectrics*, Vol. 27, pp. 89-92, 1980.
 17. M. Adachi, T. Shiosaki and A. Kawabata, "Epitaxial growth of potassium lithium niobate single-crystal films on potassium bismuth niobate single crystals by the EGM technique", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 18, No. 1, pp. 193-194, 1979.
 18. K. Chikuma, A. Onoe and A. Yoshida, "Waveguiding epitaxial potassium lithium niobate single-crystal films deposited by MOCVD", *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 37, No. 10, pp. 5582-5587, 1998.