

다층구조박막으로부터 PbTiO₃ 박막 제조시 요소층이 상형성 및 유전특성에 미치는 영향

서도원, 남승민, 최덕균

한양대학교 무기재료공학과, 서울, 133-791

An effect of component layers on the phases and dielectric properties in PbTiO₃ thin films prepared from multilayer structure

Do-Won Seo, Song-Min Nam and Duck-Kyun Choi

Dept. of Inorganic Materials Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

요 약 선행연구[1] 즉, TiO₂/Pb/TiO₂(900 Å/900 Å/900 Å) 3층구조박막으로부터 열확산에 의해 상형성이 가능하였던 PbTiO₃ 박막의 특성을 개선하기 위하여 스퍼터링법을 이용하여 Si 기판위에 각 요소층의 두께를 200~300 Å으로 얇게하고 적층수를 3, 5, 7, 9, 11층(TiO₂/Pb/.../TiO₂)으로 변화시켜가며 다층구조박막을 형성한 후 이를 RTA 처리하여 PbTiO₃ 박막을 제조하였다. 그 결과 500°C 이상에서 단일상의 PbTiO₃가 형성되었다. 또한 요소층의 두께를 얇게하고 적층수를 늘려서 열처리한 결과 Pb-silicate 및 void 생성이 억제되어 우수한 계면상태를 유지하였으며 조성도 보다 균일해지는 양상을 나타내었다. PbTiO₃ 박막의 MIM 구조에서 C-V 특성으로부터 측정된 유전상수는 열처리 조건에 따른 경향을 나타내지 않았으나 적층수가 많아져 박막의 두께가 증가할수록 유전상수가 증가하였다. MIS 구조의 PbTiO₃ 박막의 I-V 특성 측정 결과 절연파괴장도는 최고 150 kV/cm이었다.

Abstract To improve the properties of PbTiO₃ thin films successfully grown by thermal diffusion of 3 component layers of TiO₂/Pb/TiO₂(900 Å/900 Å/900 Å) in preceding research, 3, 5, 7, 9, and 11 multilayer structures(TiO₂/Pb/.../TiO₂) with thinner component layer of 200~300 Å thick were deposited on Si substrate by RF sputtering, which were followed by RTA to form PbTiO₃ thin films. As a result, PbTiO₃ single phase was formed above 500°C. When the thick-

ness of component layer reduced and the number of component layers increased, suppression of Pb-silicate and voids formation resulted in relatively sharp interfaces and the film composition became more homogeneous. Relative dielectric constants in MIM structure were independent of the annealing condition, but they increased with increasing thickness of the PbTiO_3 thin films. The maximum breakdown field in MIS structure reached 150 kV/cm.

1. 서 론

최근 전자 및 전기광학적 응용분야에서 소형화, 집적화, 고속화 및 고신뢰성의 추세에 따라 BaTiO_3 , BST, PbTiO_3 , PZT [$\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$], PLZT [$(\text{Pb},\text{La})(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$] 등과 같은 perovskite 구조를 가진 강유전체 박막에 대한 연구가 활발히 진행중이다. 1976년 Oikawa[2] 등이 전자빔 증발법을 이용하여 PZT 박막을 증착한 이후 Pb계 perovskite 강유전체 박막의 제조가 연구되어 왔으며 특히 1987년 미국의 연구자들에 의하여 PZT 박막을 이용한 불휘발성 메모리의 발표[3, 4] 이후 반도체 디바이스, 강유전체 그리고 박막에 관련된 많은 연구자들의 커다란 관심을 모으고 있다.

Pb계 perovskite 강유전체중 PbTiO_3 는 상유전상과 강유전상의 전이온도인 curie point가 490°C 로 매우 높고 자발분극과 tetragonality도 매우 크며 비교적 높은 유전율과 우수한 초전계수를 보이는 장점을 가지고 있어[5] 메모리 소자와 IR detector로의 응용 가능성이 매우 높은 물질이다. 이를 박막으로 제조하는 방법에는 vacuum evaporation, sputtering, sol-gel, CVD, laser ablation 등 여러가지 증착법이 사용되고 있으나 본 연구에서는 비교적 불순물이 적고 높은 에너지를 가진 원자들이 기판에 증착되어 결정성이 좋으며 여러가지 증착조건의 조절이 용이한 RF magnetron sputtering 법을 이용하여

PbTiO_3 박막을 증착하였다.

강유전체 박막의 제조시 발생하는 일반적인 현상으로는 다성분계 물질을 증착하게 되므로 화학양론적 제어가 어렵다는 것과 박막 재료와 기판과의 반응 등이 문제점으로 지적되어 왔다. 특히 PbTiO_3 를 포함한 Pb계 강유전체 박막은 Pb의 휘발성이 크기 때문에 박막의 형성 과정에서 수반되는 조성의 불균일 및 Pb의 확산에 의한 Si 기판과의 반응 등으로 강유전체의 특성이 저하되는 등의 결점이 있다[6-8].

따라서, 이와 같은 문제를 극복하기 위하여 선행연구에서는[1] Si 기판위에 RF magnetron sputtering 방법으로 상온에서 TiO_2 를 증착하고 이어 Pb를 증착한 후 다시 TiO_2 를 증착하여 $\text{TiO}_2/\text{Pb}/\text{TiO}_2$ (900 Å/900 Å/900 Å) 3층구조의 박막을 증착한 후 RTA(Rapid Thermal Annealing) 방법으로 후속열처리하여 TiO_2 와 Pb의 상호 열확산에 의하여 PbTiO_3 상이 형성됨을 보고하였다. 이 방법에 의한 PbTiO_3 상의 형성은 다음과 같은 장점을 지니게 된다. 첫째, 상부와 하부층의 TiO_2 는 Pb와 반응하여 PbTiO_3 상을 형성함은 물론 Pb의 휘발을 막는 휘발 방지막(capping layer)과 Pb와 Si기판이 직접 반응하는 것을 억제하는 확산 방지막(diffusion barrier) 역할을 한다. 둘째, 상온에서의 RF magnetron sputtering 방법으로 증착하므로 증착시 Pb의 증발 혹은, 기판과의 반응을 최소화할 수 있으며, 박막 증착후 순간적인 급속

열처리를 하게 되면 박막과 기판과의 계면 반응과 기판 손상을 억제할 수 있고 열처리 시간을 줄일 수 있다. 그러나 상형성의 가능성에 중점을 둔 선행연구에서는 각 요소층의 두께를 900 Å으로 두껍게 증착했기 때문에 PbTiO₃ 상의 형성과 더불어 미반응된 TiO₂가 남고 반응층에 void가 생성되며 CVD 등의 방법으로 증착하였을 때에 비해 훨씬 미량이긴 하나[9] 비정질 Pb-silicate가 생성되었다.

이와같은 단점들을 개선하고자 TiO₂와 Pb의 확산거리를 짧게하여 열확산반응이 촉진될 수 있도록 각 요소층의 두께를 200~300 Å으로 선행연구의 경우보다 약 1/3정도 얇게하고 적층수를 3, 5, 7, 9, 11층으로 변화시켜가며 다층구조박막을 증착하였다. 그후 이를 RTA 처리하여 PbTiO₃ 상형성, 계면반응 및 그에 따른 유전특성에 미치는 영향에 대하여 고찰하고 또한, 제반공정 조건을 최적화함으로써 궁극적으로는 PbTiO₃ 뿐만 아니라 PZT, PLZT와 같은 강유전체 박막, 그리고 기타 다성분계박막 제조에도 응용하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1. 다층구조박막 증착 및 후속 열처리

본 실험에 사용된 박막증착 장치는 RF magnetron sputtering system(대룡진공사)으로 RF 주파수는 13.56 MHz이고 기판과 타겟과의 거리는 5 cm로 고정시켰으며 이때 외경 3인치의 타겟을 하부에 장착하고 기판은 상부에 위치하도록 설계된 상향식 스퍼터 장치이다. Fig. 1에 장치개략도를 나타내었다. 기판은 p-Si(100)과 Pt/Ti/SiO₂/p-Si

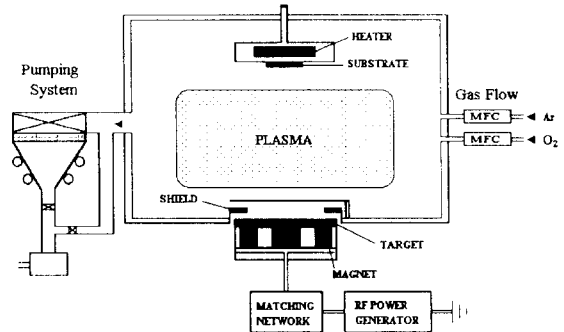


Fig. 1. Schematic diagram of RF magnetron sputtering system. MFC : mass flow controller.

(111)을 사용하였고, 시편은 2 cm × 2 cm의 크기로 절단하여 고순도 질소로 먼지 등을 제거한 후 1 NH₄OH : 1 H₂O 용액에 10분간 세정하였다. 곧이어, 탈이온수에 세척하고 10 H₂O : 1 HF 용액에 30초간 담그어 기판 표면에 생성된 자연 산화층을 제거한 후 다시 탈이온수로 세척하여 잔류 HF를 제거하였다. 계속하여 아세톤, 알콜, 탈이온수 순으로 각각 10분씩 초음파세척한 후 질소가스로 건조하여 기판으로 사용하였다.

다층구조박막의 증착을 위하여 먼저 타겟과 위와같은 방법으로 준비된 기판을 장입하고 rotary pump를 이용하여 약 3 × 10⁻³ torr 정도의 저진공 상태로 도달시킨 후 diffusion pump로 약 3 × 10⁻⁶ torr 정도의 고진공 상태로 만들어준 후 MFC(Mass Flow Controller)를 통하여 Ar 가스를 흘려주면서 약 3 × 10⁻² torr로 유지시킨 다음 RF power를 인가하여 플라즈마를 형성시켰다. 그후 작업압력을 3 × 10⁻³ torr로 낮추어 약 30분에서 1시간 정도 pre-sputter를 하여 타겟표면의 불순물 제거 및 플라즈마를 안정시킨 후 셔터를 열어 스퍼터링을 실시하였다. 이때 하부층 TiO₂를 형성하기 위하여 순도

Table 1
Sputtering condition for TiO₂ and Pb thin films

Target	TiO ₂	Pb
RF input power	150 W	30 W
Deposition rate	3.3 Å/min	25 Å/min
Target diameter	3 inch (76.2 mm)	
Substrate	Si, Pt/Ti/SiO ₂ /Si wafer	
Substrate temperature	room temperature	
Target-substrate distance	50 mm	
Sputtering gas	Ar	
Working pressure	3 × 10 ⁻³ torr (0.4 Pa)	

99.9 %, 외경 3 인치의 TiO₂ 소결체타겟 (CERAC사)을 사용하였으며 다음으로 하부층 TiO₂ 위에 Pb층을 형성하기 위하여 순도 99.99 %, 외경 3 인치의 Pb 금속타겟을 사용하였으며 Table 1에 PbTiO₃ 상형성을 유도하기 위한 TiO₂와 Pb의 증착 조건을 정리하였다.

위와 같은 증착조건하에서 열확산반응을 촉진시키기 위한 방법으로 각 요소층의 두께를 200 ~ 300 Å으로 낮추고 또한 하부층 TiO₂와 상부층 TiO₂를 비정질로 증착하여 Pb가 결정화된 TiO₂의 입계를 통하여 빠르게 확산하여 Si 기판과 반응하여 비정질 Pb-silicate의 형성되는 것을 억제하는 동시에 증착시 Pb와의 반응을 방지하기 위하여 상온에서 스퍼터링법으로 TiO₂층과 Pb층을 번갈아가면서 증착하여 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 적층수가 3, 5, 7, 9, 11층(TiO₂/Pb/.../TiO₂)인 다층구조박막을 형성하였다. 박막의 두께를 Tencor사의 탐침장치(stylus profilometer, α -step 200)로 측정하였다.

이와 같이 형성된 다층구조박막의 요소층을 이루고 있는 Pb와 TiO₂가 상호확산반응

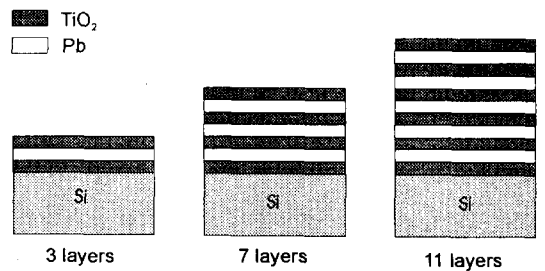


Fig. 2. Schematic diagram of multilayers design.

을 하여 PbTiO₃상이 생성될 수 있도록 열처리하기 위해 RTA(Rapid Thermal Annealing)방법을 이용하였다. 이때 RTA 공정은 공기 분위기하에서 행하였으며, 열처리 온도는 400℃에서 800℃까지 100℃간격으로 변화시켰으며 열처리 시간은 30초로 고정시켰다.

2.2. 박막분석

RTA로 후속열처리하여 다층구조박막으로부터 PbTiO₃ 상형성을 확인하고자 X-선 회

절 분석장치(Rigaku사, RAD-C, Cu K α)를 이용하여 튜브전압 40 kV, 튜브전류 40 mA 그리고 scan speed 5°/min의 조건하에서 상형 성분분석을 하였다. X-선(Ni filter의 Cu K α)의 파장은 1.5405 Å, 2 θ 는 10-60°의 범위까지 측정하였다. 또한 박막의 단면을 관찰하기 위하여 투과전자현미경(Transmission Electron Microscope, JEOL사, JEM-2000EX II)을 사용하여 RTA 처리에 따른 층상구조의 변화를 관찰하였다. 박막의 두께에 따른 조성변화와 반응양상을 알아보기 위해 RBS (Rutherford Backscattering Spectroscopy, 미국 NEC사, 5SBH-2)분석을 행하였다. 박막의 전기적 특성을 측정하기 위해 PbTiO₃ 박막위에 Al shot (5N, Strem Chemical, Inc)를 source로 하여 열진공증착법으로 6×10⁻⁶ torr에서 지름 0.55 mm인 알루미늄 집전극을 약 3000 Å의 두께로 증착하여 상부전극을 형성하였다. 또한 Si 기판 뒷면의 산화층을 HF용액으로 제거한 뒤 탈이온수로 세척하고 건조한 후 Ag-paste를 발라 하부전극으로 이용하여 MIS(Metal-Insulator-Semiconductor) 구조를 만들었다. 또한 일부 시편에 있어서 Pt를 하부전극으로 사용하기 위해 Pt/Ti/SiO₂/Si 기판을 이용하였는데 이 경우 먼저 p-type (111) Si wafer 위에 6000 Å의 SiO₂ 열산화막을 성막한 후 Pt 및 Ti를 DC magnetron sputtering 법으로 각각 1000 Å씩 증착하였다. 이와 같이 Pt를 하부전극으로 이용하고 다층 박막을 형성하여 열처리한 후 Al 상부전극을 증착하여 MIM(Metal-Insulator-Metal)구조를 만들어 전기적 특성을 측정하였다. 박막의 정전용량은 C-V(Capacitance-Voltage) 측정장치(HP4284 A precision LCR meter)를 이용하여 1 MHz의 주파수에서 측정하였으며 박막의 누설전류(leakage current) 및 절연파괴전압(bre-

akdown voltage)은 I-V(current-voltage) 측정장치(HP 4140B pA meter)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 다층 구조 박막의 형성

상온에서 스퍼터링법으로 형성한 3, 5, 7, 9, 11층의 다섯 종류의 다층구조박막 시편을 구분하기 위하여 TiO₂/[Pb/TiO₂]_n의 형식으로 나타내어, 각 시편을 TiO₂/[Pb/TiO₂]₁, TiO₂/[Pb/TiO₂]₂, TiO₂/[Pb/TiO₂]₃, TiO₂/[Pb/TiO₂]₄, TiO₂/[Pb/TiO₂]₅로 표기하였다. 이들 시편중에서 가장 층수가 많은, 11층(TiO₂/[Pb/TiO₂]₅)으로 이루어진 다층구조박막 시편의 단면 TEM 사진을 Fig. 3에 나타내었는데 여기에서 검게 보이는 Pb층에 군데 군데 구멍이 뚫린 것처럼 보이는 흰 부분은 TEM 시편의 제조 과정중에 Pb가 떨어져 나간 것이고 전체 요소층의 수는 11층으로 확인되지

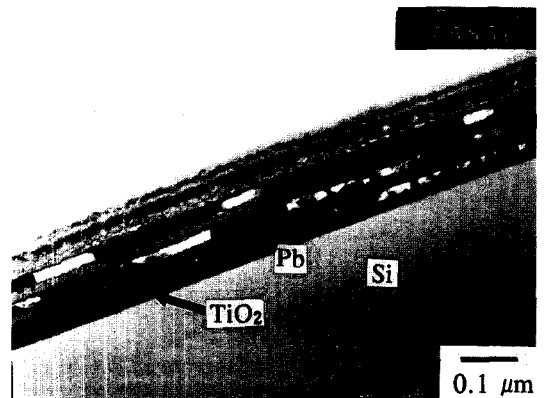


Fig. 3. Cross-sectional TEM micrograph of as-deposited 11-layer (TiO₂/[Pb/TiO₂]₅) structure.

만 상부의 몇층은 초점심도(depth of focus) 때문에 선명도가 낮아 정확한 구분이 어렵다.

3.2. 열처리후 박막의 미세구조 관찰

PbTiO₃ 상형성을 유도하기 위하여 3, 5, 7, 9, 11층의 다섯가지 종류의 다층구조박막을 400~800°C의 온도에서 RTA 처리하였다. 먼저 400°C에서 열처리한 결과인 Fig. 4를 보면 3, 5, 7, 9층의 경우에는 PbO 피크만이 나타남을 알 수 있다. 그러나 11층 시편의 경우에는 PbO와 함께 PbTiO₃ 피크가 나타나기 시작하는데, 이는 11층의 경우 각 요소층의 두께가 200 Å 정도로 다른 시편의 경우보다 약간 얇기 때문에 확산 거리가 짧아져서 PbTiO₃ 결정상이 보다 쉽게 생성되고, 뿐만 아니라 적층수가 가장 많아서 전체 박막의 두께도 두꺼우므로 그 결정상의 양도 많을 것으로 예상된다. 따라서 동일한 열처

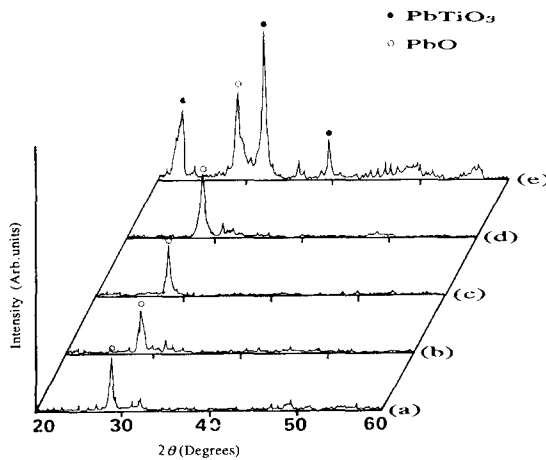


Fig. 4. XRD patterns of RTA processed films at 400°C for (a) 3-layer, (b) 5-layer, (c) 7-layer, (d) 9-layer and (e) 11-layer structure (TiO₂/[Pb/TiO₂]₅).

리 조건에서도 그와 같은 결과가 나타난 것으로 생각된다. 500°C에서 열처리한 경우는 Fig. 5에서 볼 수 있는 바와 같이 모든 시편에서 PbTiO₃ 피크만이 나타났으며 다층구조박막의 적층수가 증가함에 따라 피크의 강도가 증가하는 양상을 보인다. 그리고 600°C 이상의 온도에서 열처리한 시편의 XRD 결과는 Fig. 5와 유사한 결과를 나타내었으며 온도가 증가함에 따라 피크의 강도가 상대적으로 약간씩 증가하는 양상을 나타내었다. 한편 500°C에서 열처리한 Fig. 5의 경우에서 볼 수 있듯이 선행연구[1] 즉, 각 요소층의 두께가 900 Å 인 TiO₂/Pb/TiO₂ 3층구조박막을 같은 온도에서 열처리할 때 나타난 TiO₂ 피크는 전혀 발견되지 않았는데 이와같은 결과는 첫째, 각 요소층의 두께가 감소함에 따라 확산 거리가 줄어들게 되므로 반응이 촉진되어 미반응 TiO₂가 존재하지 않은 것으로 판단되며 둘째, 화학양론적인 PbTiO₃를 형성하기 위한 전체 TiO₂층과 Pb층 두께의 비는

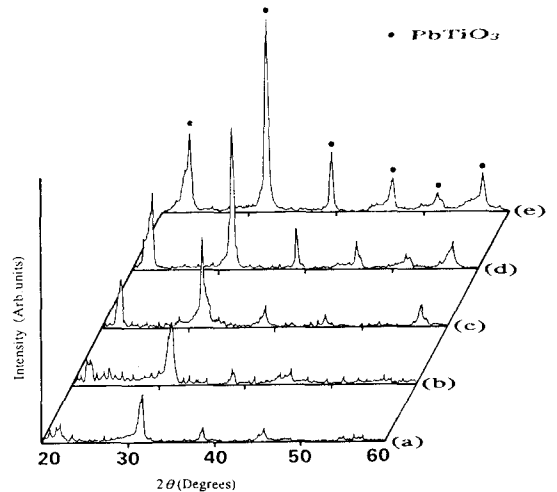


Fig. 5. XRD patterns of RTA processed films at 500°C for (a) 3-layer, (b) 5-layer, (c) 7-layer, (d) 9-layer and (e) 11-layer structure (TiO₂/[Pb/TiO₂]₅).

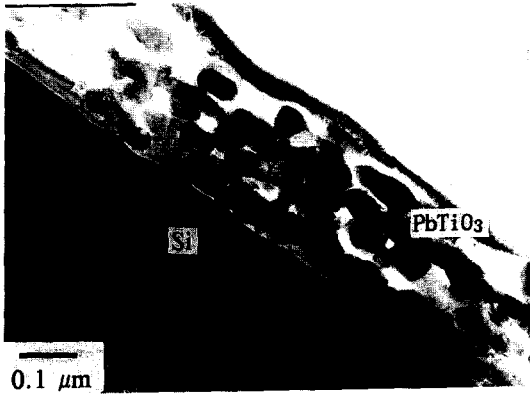


Fig. 6. Cross-sectional TEM micrograph of PbTiO₃ thin film after RTA process at 800°C for 11-layer (TiO₂/[Pb/TiO₂]₅) structure.

각 층이 같은 정도의 치밀도로 증착되고 층간의 계면이 평활하다고 단순화시켜서 계산하면 0.874인데 요소층의 수가 증가함에 따라 점차적으로 그와 같은 값에 접근하기 때문에 화학양론적인 PbTiO₃상을 형성하게 되어 TiO₂상이 나타나지 않은 것으로 판단된다.

Fig. 6은 11층(TiO₂/[Pb/TiO₂]₅)으로 이루어진 다층구조박막을 800°C에서 30초간 RTA 법으로 열처리한 단면 TEM 사진으로 PbTiO₃ 결정립들이 치밀하고 균일하게 분포하고 있다. 이를 선행연구 즉, 각 요소층의 두께가 900 Å인 TiO₂/Pb/TiO₂ 3층구조박막을 800°C에서 30초간 RTA 처리한 시편과 비교하여 보면 11층구조박막은 요소층의 두께가 얇아 TiO₂와 Pb의 열확산반응이 촉진되어 계면과의 반응이 현저히 억제되어 깨끗한 계면을 유지하고 있음을 볼 수 있다.

3.3. 박막의 조성분석

Fig. 7(a)에는 열처리를 하기 전의 TiO₂/

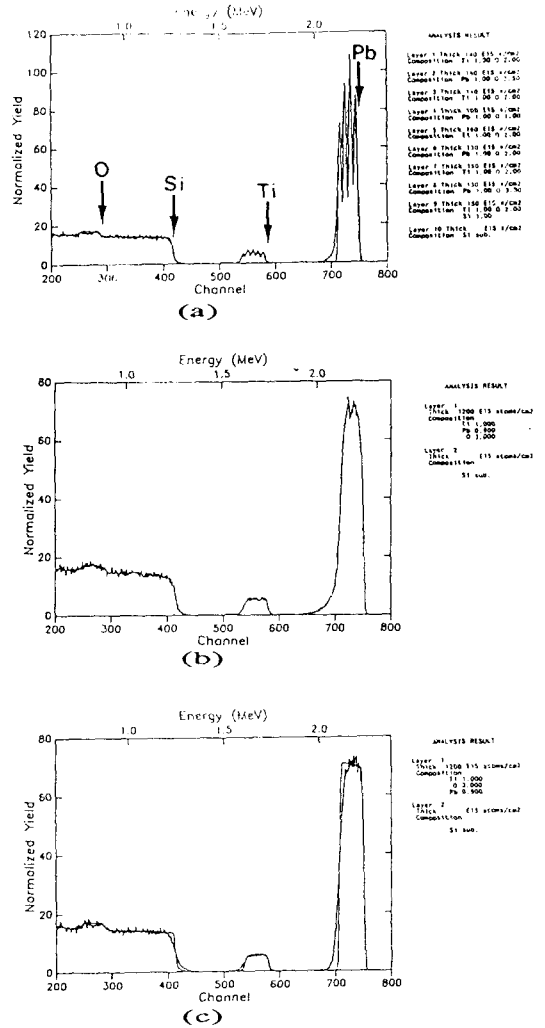


Fig. 7. RBS spectra of (a) as-deposited film and RTA processed films at (b) 600°C and (c) 800°C for TiO₂/[Pb/TiO₂]₅ (200 Å each) 11-layer structure.

[Pb/TiO₂]₅(요소층의 두께 200 Å) 11층 박막에 대하여, Fig. 7(b)와 Fig. 7(c)에는 600°C와 800°C에서 열처리한 후의 RBS spectrum을 나타내었다. 먼저 Fig. 7(a)에서 Pb spectrum과 Ti spectrum이 층별로 날카로운 피크의 모양을 하고 있음을 알 수 있으나 O의

spectrum은 Si spectrum 위에 중첩되고 그 yield 또한 낮기 때문에 명확히 구분되지 않는다. 600°C와 800°C에서 열처리한 Fig. 7(b)와 Fig. 7(c)의 두 경우 모두 열처리 전과 달리 거의 PbTiO₃와 가까운 조성을 나타내고 있으며 열처리전의 spectrum에서 나타난 피크모양의 spectrum이 각 요소층의 확산으로 인하여 상당히 균일하게 분포하고 있다. 그러한 spectrum의 분포양상은 Fig. 7(b)에 비해 온도가 높은 Fig. 7(c)에서 균일도가 더 높아지고 spectrum의 폭도 약간 넓어지는 경향이 있다. 이와 같은 결과는 선행 연구에서 900 Å의 두꺼운 3층 구조를 열처리했을 때의 RBS 분석 결과보다 균일한 양상을 나타내고 있다. 따라서 요소층의 두께를 얇게하고 적층수를 늘려서 증착한 다층구조박막으로부터 PbTiO₃를 형성하게 되면 박막의 조성도 보다 화학양론적으로 PbTiO₃에 가깝게 되고 각 성분의 분포 또한 균일해짐을 알 수 있다[10].

3.4. 전기적 특성 분석

인가되는 전압에 따른 정전용량의 변화를 MIM 구조를 형성하여 1 MHz에서 직류 바이어스 전압을 0.1 V의 계단형으로 -5 V로부터 +5 V까지 증가시키면서 측정하였다. 그 결과 유전박막에서 일반적으로 나타나는 바와 마찬가지로 박막의 두께가 증가함에 따라 유전율도 선형적으로 증가하는 경향을 볼 수 있었다. 다층구조박막의 두께에 대한 유전율의 관계를 Fig. 8에 나타내었다. 또한 11층의 다층구조박막에 대해서는 MIS 구조로 만들어 C-V 측정을 행하였는데 accumulation영역의 정전용량으로부터 구한 유전상수는 60으로 선행연구[1]에서 MIS 구조를 형성하여 C-V 측정한 TiO₂/Pb/TiO₂(요소층의

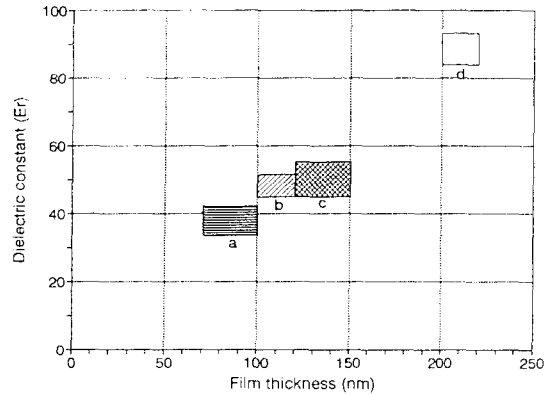


Fig. 8. Variation of dielectric constants as a function of film thickness for (a) 3-layer, (b) 5-layer, (c) 7-layer and (d) 9-layer structure (TiO₂/[Pb/TiO₂]₄).

두께 900 Å)의 3층구조박막의 유전율과 거의 동일하였다. MIS 구조의 시편에 대해서 인가되는 전압 대 누설 전류의 I-V 특성으로부터 두께의 영향을 제거하기 위해 추가되는 전장 대 누설전류밀도인 J-E(current density - electric field) 특성을 Fig. 9에 나타내었다. 유전체의 누설전류밀도는 0.2 MV/cm의 전장에서의 전류밀도로, 절연과괴전장은 누설전류가 1 μA/cm²에 달했을 때의 전압으로 정의하여 그 값을 구한 결과, RTA 처리 조건에 따른 경향을 나타내지 않고 누설전류밀도는 10⁻² ~ 10⁻⁵ A/cm² 정도이고 절연과괴전장은 20 ~ 150 kV/cm으로 측정되었다.

4. 결론

RF magnetron sputtering 법으로 Si 기판 위에 TiO₂층과 Pb층으로 이루어진 여러종류의 다층 구조 박막을 증착한 후 열처리온도

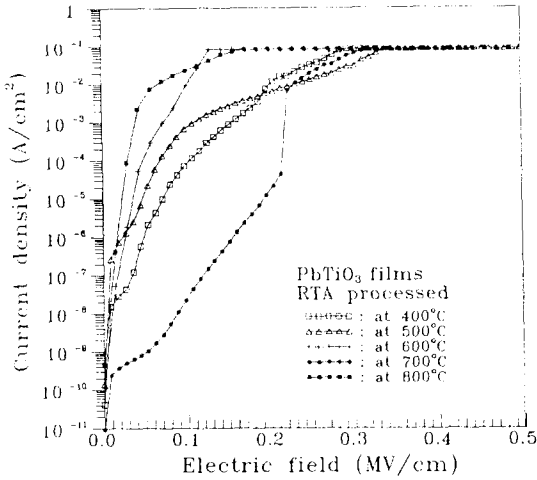


Fig. 9. J-E characteristics of PbTiO₃ thin film from 11-layer structure in MIS structure.

를 변화시켜가며 RTA 처리를 함으로써 열확산반응에 의해 PbTiO₃ 박막을 제조하고 그 특성을 조사, 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. TiO₂와 Pb로 이루어진 요소층의 두께를 200 ~ 300 Å, 적층수를 3층, 5층, 7층, 9층, 11층 등의 다층구조박막을 형성한 후 500°C 이상에서 RTA 처리하여 열확산반응에 의해 PbTiO₃ 상이 형성됨을 확인하였다.

2. 각 요소층의 두께를 줄이고 적층수를 늘려서 열처리하여 선행연구 즉, TiO₂/Pb/TiO₂ (900 Å/900 Å/900 Å) 3층 구조로부터 PbTiO₃ 상을 형성할 때 제기되었던 문제점을 극복하여 미반응 TiO₂가 남지 않았으며 기관과의 반응으로 인한 Pb-silicate 및 반응층의 void 생성을 억제하였으며 박막의 조성도 보다 균일해진 양상을 나타내었다.

3. 기존의 PbTiO₃ 성막 방법에서 야기되는 비화학양론적인 문제를 최소화하였으며 일반적으로 PbTiO₃ 박막을 제조할 때 준안정상

으로 존재하는 pyrochlore 또는 PbTi₃O₇ 상이 생성되지 않았다.

4. MIM 구조의 PbTiO₃ 박막의 C-V 특성으로부터 측정된 유전상수는 열처리 조건에 따른 경향이 나타나지는 않았으나 박막의 두께가 증가할수록 유전상수가 증가하였다. MIS 구조의 PbTiO₃ 박막의 I-V 특성 측정결과 RTA 온도에 의존하지 않았으며 절연 파괴강도는 20 ~ 150 kV/cm이었다.

감사의 글

본 연구는 1993년도 교육부 첨단공학(신소재분야) 학술연구조성비로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 서도원, 최덕균, 요업학회지 30 (1993) 510.
- [2] M. Oikawa and K. Toda, Appl. Phys. Lett. 29 (1976) 491.
- [3] W.I. Kinney, W. Shepherd, W. Miller, J. Evans and R. Womack, Technical Digest of IEDM87 (1987) 850.
- [4] S.S. Eaton, D.B. Butler, M. Parris, D. Wilson, S. Traynor, V. Ottenbacher, A. Shawabkeh and W.F. Oliver, Technical Digest of ISSCC 88 (1988) 130.
- [5] B. Jaffe, W.R. Cook and H. Jaffe, Piezoelectric Ceramics, Vol. 3 (Academic Press, New York, 1971) p. 115.
- [6] K. Iijima, Y. Tomita, R. Takayama and I. Ueda, J. Appl. Phys. 60 (1986) 361.
- [7] T. Ogawa, A. Senda and T. Kasanami,

- Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 28 Suppl. 28-2 (1989) 11.
- [8] H. Adachi, T. Mitsuyu, O. Yamazaki and K. Wasa, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 26, Suppl. 26-2 (1987) 15.
- [9] 황철성, 유기금속 화학증착법을 이용한 Pb계 페로브스카이트 화합물의 박막 제조에 관한 연구, 서울대학교 공학박사 학위논문 (1993).
- [10] C.C. Li and S.B. Desu, Ceram. Transac. Ferroelectric Films, A.S. Bhalla and K.M. Nair, Ed., Vol. 35 (The American Ceramic Society, Ohio, 1992) p. 59.