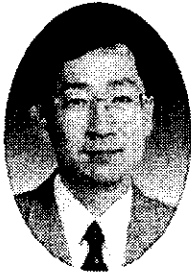


FRAM 응용을 위한 강유전체 박막의 형성 기술



이우선
(조선대학교 공과대학 전기제어계측공학부)



김상웅
(주) 아남반도체)

1. 서론

최근 강유전체인 SrTiO_3 , BaTiO_3 , PbTiO_3 등을 전산업에 걸쳐서 폭 넓게 이용되고 있다. 특히 PbTiO_3 는 Perovskite 구조를 갖는 강유전체이며 순수한 PbTiO_3 는 깨어지기 쉽고 분극도 어려워 압전체로 이용될 수 없으므로 첨가물을 넣거나 고용체를 만들어 조밀하고 단단한 PbTiO_3 계 세라믹을 만들려는 시도가 계속되어 왔다. PbTiO_3 는 높은 큐리온도 (490°C)와 저유전율을 보이는 강유전체 이므로 PbTiO_3 는 FRAM(Ferroelectric RAM) 응용재료로 기대되고 있다.

Perovskite 구조를 갖는 강유전체의 전기적 성질은 불순물, 입자크기, 균일성 등 사용되는 원료분말과 제조과정에 많은 영향을 받는다.⁽¹⁾ 일반적으로 강유전체의 제조에는 볼밀(Ball mill)을 이용한 산화물 혼합법이 주로 사용되어 왔으나 이 방법은 장시간의 혼합과 혼합도중 Ball mill재료로부터 들어가는 불순물 등에 문제점이 있어서 최근에는 졸겔(sol-gel) 방법에 의한 제조가 많이 연구되고있으므로 FRAM응용에 많이 사용되는 졸겔법으로 제작된 PbTiO_3 강유전체 및 PZT의 강유전성 기술동향에 대해 기술하고자 한다.

2. 졸겔법

졸겔법은 1846년에 Silicic acid esters와 물을 반응시켜

투명한 겔을 합성하였다. 졸겔(sol-gel process)법이 강유전체재료 제조에 대한 새로운 방법으로서 연구자들의 커다란 관심의 대상이 되어 왔는데 Dislich 방법에 의한 졸겔법을 이용한 합성의 역사는 매우 오래되었으며 졸겔법을 이용한 강유전체의 제조 특허가 40년전에 되었고 1960년대에 들어서서 광학적인 목적으로 폭넓게 연구되기 시작하였다. 1969년에 Hydrogel을 소결하여 시리카 그라스를 제조하였으며 Dislich는 1971년에 Metal alkoxide로부터 만들어진 겔분말을 hot-pressing에 의해 620°C 에서 유리판을 제조하였다. 그렇지만 이러한 기술에 대한 연구는 1970년대에 들어서서 본격적으로 시작되었으며, 전자재료, 통신, 에너지, 다른 분야에서의 새로운 재료가 요구됨에 따라 졸겔법을 연구하는 연구자수가 매우 증가하였다.

졸겔법은 금속 alkoxide나 가용성 염 등의 액상의 출발물질을 상온 부근에서 가수분해하여 질화시킨 후 저온에서 열처리하여 강유전체를 제조함에 이어 각종 세라믹스를 제조할 수 있는 방법이다. 이 제조 방법으로 강유전체를 제조할 경우 종래 사용해 오던 일반적인 용융법에 비해 균질이면서 고순도의 물질을 제조할 수 있고, 강유전체화가 매우 곤란한 조성의 영역에서도 균질한 유전체의 제조가 가능하며, 가열온도가 현저히 낮은 장점을 갖고 있어서 최근 관심이 증대되고 있는 방법이다.

이들 여러가지 박막 제조 방법중 특히 졸겔법을 이용한 담

코팅(dip-coating)방법은 최초로 1939년 경에 소개되어 1960년대까지 응용되어져 왔으며 1970년 경에 유리화 플라스틱에 광학적 특성을 부여하기 위해, 또 다성분계 산화물의 제조를 위해 Schroeder등에 의해 연구되어 졌으며, $CeO_2 - TiO_2$ 박막, SiO_2 박막 및 착색된 다층 박막의 제조가 Orgaz, Sakka, Hussman, Dislich등에 의해 연구가 수행되어 졌으며, 최근에는 새로운 전기적 재료의 제조에 많은 관심이 증대 되고 있다.^[2]

딤코팅 방법은 다른 박막 제조법과 비교하여 여러 가지 장점을 가지는데, 스프레이법에 비해 박막층의 두께가 균일하여 박막의 두께를 50-300nm 또는 그 이상으로 조절이 가능하여 손쉽게 원하는 두께의 박막을 제조할 수 있다. 또한 CVD나 스퍼터링법 으로는 제조가 어려운 다양한 조성의 박막 제조가 가능하고 진공 증착보다 장치가 간단하며, spinning법에 비해 넓고 복잡한 면의 박막 제조가 가능한 장점을 가지고 있다.

한편 반도체 산업이 발달하면서 점차 고용량, 고집적, 소형화에 편승하여 미세 전자 소자의 발전이 눈부시게 이루어지고 있다. 이러한 미세 전자 소자들은 점차 그 집적도가 커지면서 기존의 SiO_2 , Si_3N_4 같은 재료로는 용량의 한계에 부딪치고 있어 새로운 재료의 개발의 필요성이 대두되게 되었다. 그 중에 perovskite 구조를 갖는 재료는 강유전성, 뛰어난 압전성, 높은 유전율등 우수한 전기적 특성과 광학적 특성 때문에 관심의 대상이 되고 있으며, 박막의 형태로 Pyroelectric sensor, DRAM, FRAM (ferro- electric random access memory), Solid state display 및 Waveguide modulator 등으로의 응용을 위한 연구가 지속적으로 수행되어 오고 있으며, TFEL(thin film electroluminescent)에 여러 가지 재료가 응용되어 왔지만 ABO_3 형태의 강유전성 박막이 유전율도 높고, 화학적 내구성 및 광학적 투과율이 높으므로 $BaTiO_3$, $PbTiO_3$ 등의 비정질 박막에 관한 연구도 진행되어 왔다.

딤코팅 방법은 표면의 질이 좋고 평활도가 높은 투명한 평면 유리에 산화물 박막을 도포하는데 주로 이용되어지는 방법이지만, 500℃정도의 열처리 온도를 견딜수 있는 다른 여러 가지의 기판에도 박막 형성이 가능하다. 결합 없는 박막은 주로 0.5μm 정도의 두께가 일반적이지만 박막의 성분과 기판의 재질에 따라 1μm 정도까지 두께 조절이 가능하다. 도포된 박막은 중축합 반응을 거쳐 약 500℃정도의 열처리로 산화물 박막이 된다. 코팅방법에는 기판을 끌어올리는 방법과 코팅용액을 끌어내리는 방법의 두 가지가 있다.^[3]

코팅공정은 알콜 수용액 내에서 금속 alkoxide가 가수분해하는 것에 근간을 이루고 있다. 이것이 중축합 반응을 거쳐 최종적인 산화물 박막을 형성하게 된다.

측정에 널리 사용되는 방법으로서, 기판에 박막을 코팅하

는 도중에 마스크에 의해 박막 자체에 단계를 만들어 주거나, 기판에 코팅된 박막의 일부를 벗겨내어 단계를 형성시켜 박막의 두께를 측정할 수 있다. 매우 작은 크기의 다이아몬드 바늘이 전기, 기계적으로 사용되며, 박막의 두께는 박막과 기판과의 높이 차이에 의해서 기록계에 기록된다. 사용되는 기판은 코팅면의 두께와 비교하여 일반적으로 평활도가 좋아야 하며, 이 때문에 광학적으로 평평한 기판에 코팅한 기판이 자주 측정용으로 사용된다. 이 측정법은 2빔간섭계에 비하여 비교적 좋은 측정치를 보이며, 널리 알려진 이 형태의 기기로는 Talystep이 있으며, 최근에는 모든 시스템이 디지털화된 Dektak II가 많이 사용된다.

Perovskite형 화합물은 $A^{2+}B^{4+}O_3$ 의 일반식을 갖고며 이 입방 단위 격자에 있어서는 A^{2+} 이온(Ca,Sr,Ba)은 입방체의 꼭지점에 위치하고 있고, B^{4+} 이온(Ti,Zr,Pb)은 입방체의 중심에 있으며, O^{2-} 이온은 면심 입방체의 배열을 한다.

$CaTiO_3$ 에서는 1570℃에서 $\alpha(-)\beta$ 의 전이가 있고, 이 온도 이상에서는 perovskite형이지만 그 이하에서는 ilmenite형이다. 또한 $BaTiO_3$ 에는 여러 가지의 변태가 존재 하는데, 상온에서는 tetragonal이지만 약 120℃를 넘으면 큐빅으로 된다. 또 0 이하에서는 orthorhombic으로 되고, -73℃에서는 trigonal로 전이한다. 상온에서는 TiO_2 에 비해 약 20배 이상의 높은 값을 보이지만, 약 120℃에서는 매우 높은 값을 나타내며 이 온도를 큐리온도라 부르며, 이는 $BaTiO_3$ 결정의 정방형 $(-)$ 입방형 변태의 전이점에 해당한다.

졸겔공정은 Metal Alkoxide를 출발 물질로 하여 물을 첨가하여 가수분해, 축합, 그리고 겔화 과정을 거쳐 열처리에 의해 Inorganic Oxides를 합성하는 공정을 말한다.

그림 1은 금속 알콕사이드를 이용한 졸겔공정을 나타낸 것이다. 졸겔공정의 맨처음 응용된 분야는 단층으로 된 박막 제조였다. 그 이후에 단층재료 개발에 이용되었다. 그러나 겔은 건조하는 동안에 기공이 생기고 금이 쉽게가기 때문에

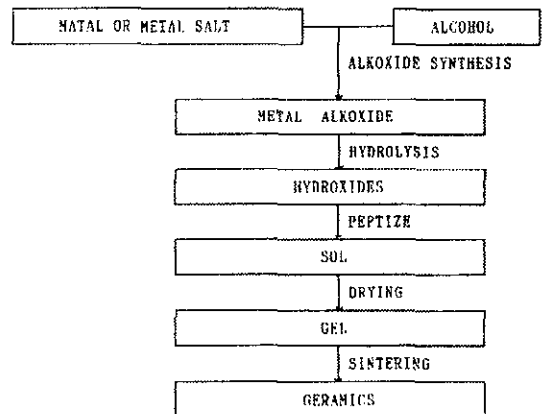


그림 1. 졸겔 제조 공정

큰 덩어리의 겔을 제조하기는 어려웠다.

Shoup은 Alkali Silicates로부터 커다란 실리카겔을 제조하는데 성공했다. 그리고 유기 금속 화합물의 중합에 의한 순수한 겔을 합성할 수 있었다.

PbTiO₃는 PZT 및 PLZT와 함께 perovskite형 강유전체로서 압전 소자, 초전 소자, 집전 소자, 전기 광학 소자 등으로서 다방면에 응용될 수 있다. 그러나 순수한 PbTiO₃ 단결정 합성은 서방법이나 소결법으로 제조시 PbO의 증발에 의한 많은 Pb의 결손과 큐빅에서 tetragonal로의 전이와 관련된 큰 수축에 의해 crack이 발생하며, 또한 다양한 소자에 응용되는 벌크 PbTiO₃ 세라믹은 높은 작동 전압과 작은 구성 영역등의 제약을 받는다. 따라서 이러한 장애의 제거를 위해 최근에는 졸겔법에 의한 PbTiO₃ 세라믹 제조에 관한 연구와 함께 장치의 소형화 및 성능 향상을 위해 박막화 하려는 연구가 많이 진행되어 지고 있으며, 제조된 박막은 Pyroelectric IR detector, IR sensor, Piezoelectric transducer 등으로 응용되어 지며, 최근에는 컴퓨터 산업의 비휘발성이고 높은 밀도를 갖는 기억소자로서 중요성이 증대되고 있다.

BaTiO₃는 열분해에 의하여 가루가 얻어지고, 단결정을 육성할 수도 있다. 무색 결정이며 3방결정계(-90℃)-사방결정계(-5℃)-정방결정계-(120℃)-입방결정계-(1460℃)-6방결정계. 정방결정계에서는 회티탄석구조, 격자상수 $a=3.994$, $c=4.038\text{\AA}$. 120℃ 이상에서는 이상적인 회티탄석구조로 되어, $a=4.01(200^\circ\text{C})$ 이다. 6방결정계에서는 공간군 P6₃/mmc, $a=5.375$, $c=14.05\text{\AA}$. 모두 [TiO₆] 정8면체의 면을 공유하는 군으로써 이루어지는 겹산화물이고, 티탄산이온은 존재하지 않는다. 큐리온도 120℃ 이하에서는 강유전체. 자발적편극은 정방결정계에서는 [001] 방향, 최대값 26μC/cm². 외부 전기장에 의하여 편극을 반전하고, 각형인 이력곡선을 나타내고 펄스에 대한 반전 소요시간은 μs 정도이다. 사방결정계에서는 자발적편극은 [001] 방향, 3방결정계에서는 [111] 방향이고, Ti이온과 O이온이 각각 자발적편극 방향 및 반대 방향으로 미소 변위하는 변위형 강유전체로서, 그 구조는 협동현상으로 볼 수 있다. 전이는 1차로서, 큐리온도 바로 위에서는 2중이력, 약 5℃인 전이온도 바로 아래에서는 3중이력이 관측된다. 큐리온도 이하에서는 잔류편극의 상태에 있어서 현저한 압전기효과를 나타내고, 큐리온도 이상에서도 전기 일그러짐효과가 나타난다. 또 정방결정계에서는 자발적편극의 제곱에 비례하여 복굴절이 변화하고, 알칼리용융에 의하여도 분해되지 않고, 뜨겁고 묽은 질산에 침식되지 않는다. 유전상수가 크므로, 사기 축전기로서 쓰이고, 온도특성 개선을 위한 동형 물질과의 고용체가 개발되고 있다. 높은 저항율과 유전율을 가진 재료이기 때문에 콘덴서등 넓은 분야에 이용되어 왔고, 순수한 BaTiO₃는 10¹⁰ohmcm 이상의 상온

비저항 값을 갖는 절연체이지만 미량의 회트류 원소나, Y, Bi, Nb, Sb 등을 첨가하면 10-10¹⁵ohmcm 정도의 상온 비저항 값을 갖는 반도체가 된다. BaTiO₃는 강유전체에서 상유전체로의 상전이점에 해당하는 Tc 부근에서 비저항이 급격히 증가하는 PTCR(Positive Temperature Coefficient of Resistivity) 특성을 나타내게 되며, PTCR 특성의 시작온도에 해당하는 Tc점은 Ba를 Sr, Pb, Zr 등으로 치환하여 저온측 또는 고온측으로 변화시켜 센서나 회로 부품으로 이용되고 있다.

또한 BaTiO₃ 박막은 저장소자나 빛과 같은 Electro-optics 등에도 이용되고 있으며, 비정질 BaTiO₃ 박막을 1000Å 이하의 두께로 기판에 형성할 경우 높은 charge storage density와 낮은 누전을 때문에 DRAM으로 이용이 가능하다. BaTiO₃계 박막은 주로 진공증착, 스퍼터링, 이온 증착법, 화학 증착법(CVD) 등에 의한 연구가 대부분을 이루며, 졸겔법에 의한 박막의 제조는 극히 미비한 실정이다.^[4]

SrTiO₃은 산화티탄을 산화스트론튬 또는 탄산스트론튬과 혼합 용융하면 생기고, 베르누법에 의하여 덩어리 모양인 단결정을 얻을 수 있다. 약 110K 이상에서는 입방결정계, 이 전이온도 이하에서는 정방결정계로 된다. 큐리온도 37K 이상에서는 정상 유전적이지만, 약 70K 이하에서는 양자효과 때문에 유전상수가 큐리바이스의 법칙에서 벗어나고 온도에 크게 의존하는 강유전형 진동이 존재한다.^[5]

3. PZT와 STO의 강유전 특성

그림 2에 PZT 박막의 상부 전극 열처리 온도에 따른 hysteresis loop 특성을 나타내었다. 열처리하지 않은 시편의 hysteresis loop는 전압 축을 따라 왼쪽으로 크게 이동되었는데 이러한 결과는 식각하는 과정에서 발생된 DC plasma 전압에 의하여 PZT 박막이 양의 방향으로 분극되었으며 양전하와 음전하가 각각 전극의 위와 아래 계면에 포획되었기 때문으로 판단된다. 200V/cm에서 측정된 hysteresis loop는 400V/cm에서 측정된 loop에 비해 더욱 경사져 있으며 포화되지 않아서 hysteresis loop 특성을 보여주지 못하고 있다. 이러한 현상은 Pt 스퍼터링시 생성된 유전율이 낮은 비 강유전체층이 요인이거나 또는 전극 계면에 포획된 전하에 의한 내부 전장이 움직임을 방해하고 있기 때문으로 볼 수 있다.^[6] 200℃에서 열처리한 시편에서 전압 이동이 최대가 되었다. 이 시편을 200V/cm에서 측정된 loop가 더욱 경사지고 포화되지 않은 것으로 보아 hysteresis loop를 경사지게 하는 주된 요인은 유전율이 낮은 비 강유전체 층의 존재라기 보다는 저온 열처리 과정에서 전하의 포획이 더욱 많아져서 내부 전장을 증가 하였기 때문이다.

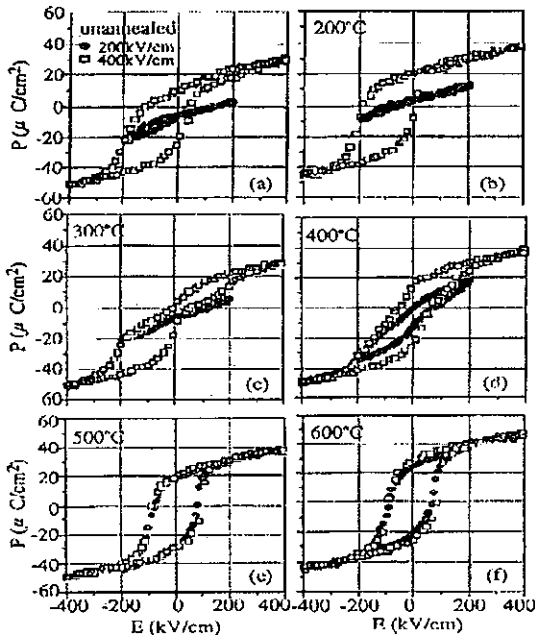


그림 2. PZT 박막의 히스테리시스 루프

그림 3은 페로브스카이트 구조를 이루고 있는 2000Å의 박막 두께를 갖는 STO 박막의 캐패시터의 기판온도에 따른 C-V 특성으로서, 1MHz 주파수에서 -5[V]에서 5[V]까지 인가전압을 증가시키면서 정전용량 값을 측정하여 도시하였다. 증착시 기판온도가 100℃일 때 인가전압 5V에서 약 900(pF) 정도의 용량 값을 나타내고 있으며, 200℃와 300℃에서는 각각 970(pF)과 1100(pF)를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 유전박막과 반도체 접촉표면에서 다수 캐리어가 쌓이는 축적상태는 1.2[V] 영역에서부터 나타나고 있으며 -1.8[V]부근에서 공핍층을 형성하는데 이는 표면에서 다수 캐리어의 반발작용으로 인한 결과이다. 양(+)의 방향으로 증가함으로써 반전상태로 소수캐리어가 쌓이는 때에는 정전용량이 급격히 증가하는데 이것은 약간의 표면 전위의 변화에도 반전층의 전자 농도가 급격히 변하기 때문으로 보인다. 그리고 온도에 의존하여 정전용량 값의 차이를 보이는 까닭은 온도증가에 따라 이동도가 감소하여 문턱전압의 감소에 의한 현상으로 공간전하층에 의해 결정되는 전하주입의 농도차와 계면상태밀도가 다르고 유전 박막내에 포획전하의 거동 때문으로 해석된다.^[7]

증착온도 200℃와 2000Å 두께에서 STO 박막에서 100(KHz)와 1(MHz)에서의 캐패시턴스를 그림 4에 나타내었다. 유전체 박막에서 주파수 특성은 주파수가 낮을수록 유전상수 및 정전용량은 높게되는 현상을 나타내는데 위의 결과에서도 유전체의 전형적인 주파수 특성으로 낮은 주파수에서 높은 정전용량 값을 나타내는 안정한 캐패시터가 됨을

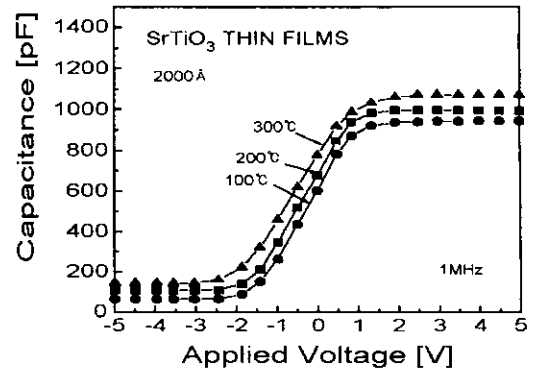


그림 3. 온도에 따른 C-V특성

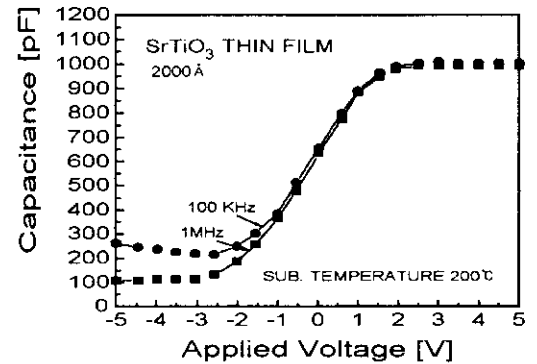


그림 4. 주파수에 따른 C-V특성

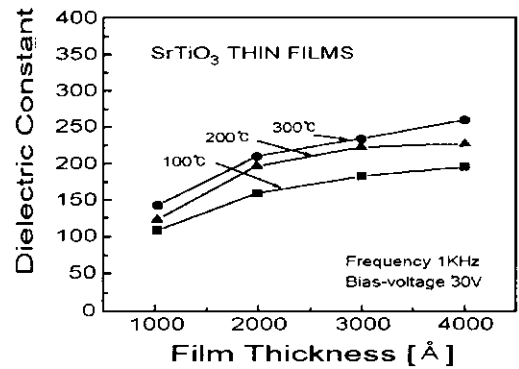


그림 5. 두께와 유전상수의 관계

알 수 있다. STO 박막에서 에너지 갭 내의 계면준위밀도는 중간 갭 부근에서 약 $7 \times 10^{10} (\mu\text{C}/\text{cm}^2 \cdot \text{eV})$ 으로 양호한 특성을 보이고 있으며 MIS 제작에 양호한 값임을 보였다.

그림 5에서는 인가전압 30(V)하에서 1(KHz)의 측정신호로부터 STO 박막의 두께와 증착온도에 따른 유전율 값을 도시하였다. 정전용량과 비유전율은 함수관계가 있으므로 그

래프의 추이는 거의 직선적이고 박막의 두께가 두꺼울수록 정전용량과 비유전율은 높게 나타났으며, 박막 제작 온도가 높을수록 비유전율이 상승하는 결과를 나타내 보였다. 증착 온도 300℃와 4000 Å 두께에서 가장 높은 유전율을 나타내고 있었으며, 두께가 얇을수록 터널링 할 수 있는 가능성이 높기 때문에 누설전류가 증가하여 박막의 유전성에 나쁜 영향을 미친다고 생각된다.⁽⁶⁾ 반면 증착온도에 의한 영향은 온도상승에 따라 화학량론적인 Sr²⁺ 결핍의 감소와 TiO₂ 상의 반응이 활발하여 박막 입자의 결정성이 향상되어 결정립

에서 잔류분극률(2P_r=P_r-P_i) 및 항전계(2E_c=E_t-E_c)는 3.8μm/cm²와 40KV/cm를 나타내었다. 그러나 sweep 전압이 낮을 때에는 분극률이 포화되지 않았으나 9V에서 항전계를 증가시킴으로써 포화되는 경향을 보였으며, 낮은 분극률을 나타내었다. 이와 같은 현상은 활성화 전자가 전계방향과 반대방향으로 이동되기 때문이며, 박막의 표면결함에 기인하는 것으로 판단된다. 그리고 분석결과 전형적인 유전체 특성을 나타내었다.⁽⁶⁾

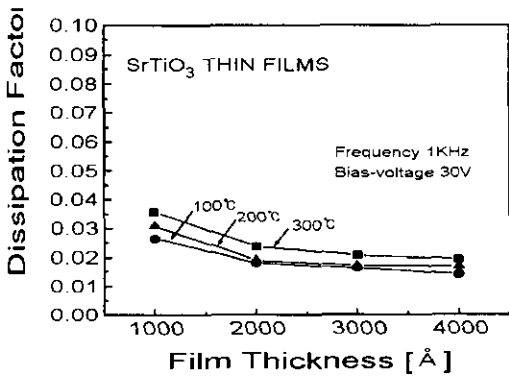


그림 6. 온도에따른 유전손실

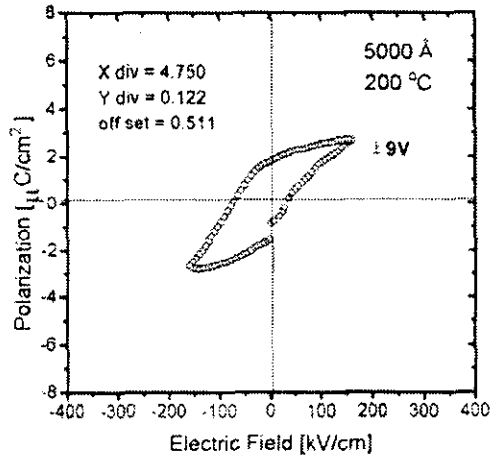


그림 7. STO 박막 시료의 P-E 히스테리시스곡선

자의 크기가 적어지므로 캐패시턴스의 공간전하층에 축적되는 에너지가 증가하는 결과로 생각된다.

그림 6에서는 박막 제작 온도에 따른 측정 주파수 특성으로 유전손실을 나타내고 있으며, 이는 LCR meter로 측정된 정전용량을 기준으로 유전손실을 산출한 값이다. 주파수가 낮을수록 유전손실(tanδ)은 크게 나타나고 있음을 확인할 수 있었으며, 100℃, 120(Hz)에서 가장 높은 유전손실을 나타내었고, 측정주파수 1(KHz), 300℃에서 가장 낮은 값을 나타내는 것은 이 유전체가 상유전체이므로 박막내부의 이차상 결합을 증가시킨 결과로 생각된다. 실험에서 나타난 결과는 2000Å, 200℃의 STO 박막에서 $f_m = 9 \times 10^6$ (Hz)으로 유전율이 높은 값을 나타내므로 유전완화 현상은 양호한 것으로 여겨진다. 그러나 전반적으로 높은 유전율과 낮은 유전손실을 가지는 등 유전체 박막으로서의 양호한 특성을 보인다.

Perivskite구조를 갖는 강유전체는 FRAM, DRAM의 고집적화에 필수적인 응용개발이 이루어져야 하고 IC카드 및 현금카드 등 실생활에 필요한 소재로서 새천년에 접어들면서 그 사용이 더욱더 늘어날 것으로 생각되므로 과감한 투자와 연구가 필요하다고 생각된다.

그림 7은 RT-66A를 사용하여 200℃ 기판온도에서 5000 Å 두께로 증착된 STO 박막의 분극-전계 히스테리시스 곡선을 보여주고 있다. 증착된 박막 시료는 ±15V sweep 전압

4. 결 론

지금까지 FRAM응용을 위한 강유전 특성을 알아보기 위하여 졸겔법과 많이 사용되고 있는 PZT와 STO의 강유전특성 기술 동향을 알아보았으며, 강유전체의 제조법은 여러 가지가 있으나 졸겔법이 박막 및 벌크형 제조법으로 널리 이용되고 있어서 PZT를 중심으로하여 졸겔법의 이론적 배경과 유전적 특성의 기술동향을 기술하였다. FRAM응용을 위한 강유전체는 많이 있으나, 그중에서도 STO, BTO, PZT등이 많이 연구되고 있으며 실용화를 위한 연구를 더욱 필요로 하고 있어서 STO, BTO, PZT의 유전성의 개요를 기술하였고 이들중 대표적인 PZT 강유전특성을 알아보기 위하여 PZT 제조법, 히스테리시스 P-E특성 및 유전특성을 중심으로 기술하였다.

참 고 문 헌

- [1] J. S. Smith, Journal of American Ceramic Society. 53(2), 1970
- [2] 황규석, 전남대학교 박사학위 논문, 1995. 2월

- [3] M. Yamane, S. Inoue, K. Nakazawa, J. of Non-Crystal Solids, 48,153-159. 1982
- [4] 김윤상, 서울시립대학교 석사학위 논문, 1990
- [5] 이우선, 오금곤, 김남오, 전기학회 논문지, 48권 6호, 1999. 6
- [6] 고가연, 이은구, 박진성, 이종국, 이우선, 한국재료학회지, 7권 6호 479-483, 1997
- [7] 이우선, 정용호, 김남오, 전기학회논문지, 46권 7호, 1997. 7.
- [8] 이우선, 오금곤, 김남오, 전기학회논문지, 48권 6호, 1999.6.

지 자 약 력

성명 : 이 우 선

❖ **학 력**

1974년 : 조선대학교 전기공학과 졸업
 1984년 : 중앙대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사)

❖ **경 력**

1982년 매사츄셋 주립대BRD 교환교수
 1989년 Purdue Univ. 과학재단과건 포스터 닥터.
 현재 조선대학교 전기공학과 교수, 본 학회 호남지부 부회장

✧ E-mail: uslee@mail.chosun.ac.kr

성명 : 김 상 용

❖ **학 력**

중앙대 공과대 반도체공학과 졸업
 중앙대 대학원 반도체공학과 졸업(박사)

❖ **경 력**

1990~1996 : 현대전자반도체연구소
 1996~현재 : 아남반도체 FAB사업부

✧ E-mail: ksy@aaww.co.kr