

# 박막트랜지스터 게이트 절연막 응용을 위한 불화막 특성연구

論 文  
48C-12-1

## The Study of Fluoride Film Properties for Thin Film Transistor Gate Insulator Application

金 度 榮\*\* · 崔 碩 元\* · 安 炳 宰\* · 李 準 信\*\*\*  
(Do Young Kim · Suk Won Choi · Byeong Jae Ahn · Junsin Yi)

**Abstract** - Various fluoride films were investigated for a gate insulator of thin film transistor application. Conventional oxide containing materials like SiO<sub>2</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> exhibited high interface states which lead to an increased threshold voltage and poor stability of TFT. In this paper, we investigated gate insulators using a binary matrix system of fluoride such as CaF<sub>2</sub>, SrF<sub>2</sub>, MgF<sub>2</sub>, and BaF<sub>2</sub>. These materials exhibited an improvement in lattice mismatch, interface state and electrical stability. MIM and MIS devices were employed for an electrical characterization and structural property examination. Among the various fluoride materials, CaF<sub>2</sub> film showed an excellent lattice mismatch of 5%, breakdown electric field higher than 1.2MV/cm and leakage current density of 10<sup>-7</sup>A/cm<sup>2</sup>. MIS diode having CaF<sub>2</sub> film as an insulation layer exhibited the interface states as low as 1.58×10<sup>11</sup>cm<sup>-2</sup>eV<sup>-1</sup>. This paper probes a possibility of new gate insulator materials for TFT applications.

**Key Words** : 박막트랜지스터, 게이트 절연막, 불화막, 계면포획전하, MIS소자

### 1. 서 론

차세대 평판표시장치를 대표하는 TFT-LCD는 여타의 표시장치에 비하여 화질이 우수하고 대면적, 고속화가 가능하다. 최적의 표시장치를 개발하기 위하여 poly-Si TFT[1], a-Si:H TFT[2] 등 다양한 접근이 시도되고 있다. 기존의 산화막계 절연막(SiO<sub>2</sub>, SiN<sub>x</sub>H, SiN<sub>x</sub>O<sub>y</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)들은 누설전류가 크고 실리콘과의 계면상태가 좋지못하다. 특히 a-Si:H 박막은 수소를 10 wt% 이상을 포함하고 있기 때문에 SiO<sub>2</sub>와 실리콘 박막 계면에서 O-H 결합으로 계면포획전하밀도(Interface trap charge density : D<sub>it</sub>)를 증가시킨다. 이러한 특성은 산소를 포함하고 있는 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ZrO<sub>2</sub>, YSZ, SiO<sub>x</sub> 절연막에서도 동일하게 나타난다. 이러한 기존의 게이트 절연막과 Si 사이에서 발생하는 높은 D<sub>it</sub>는 I<sub>on</sub>/I<sub>off</sub> 전류비를 감소시키며 임계전압(V<sub>T</sub>)를 증가시키는 원인이 된다. 따라서 이러한 특성은 게이트 시간지연에 의한 flicker 현상 또는 잔상현상을 나타내게 된다. 이러한 기존의 게이트 절연막의 문제는 D<sub>it</sub> 이외에도 고속의 poly-Si TFT에서 문제시되는 높은 누설전류 특성에 영향을 줄 것으로 예상된다. 높은 V<sub>T</sub>는 고집적, 저전력 TFT 소자 제조에 문제점을 야기하며 기존의 절연막들은 Si간의 높은 격자부정합(lattice mismatch) 때문에 야기된 열적응력(thermal stress)이나 전기적응력(electrical

stress)에 의해 TFT 채널영역에 결함을 발생하여 소자의 특성을 저하시켜 소자의 오동작과 수명을 감소시키는 원인이 된다. 그러므로 Si 활성층 영역과 절연막 사이의 D<sub>it</sub>를 줄여 계면 특성을 향상시키며 활성층 영역과 절연막 간의 격자부정합을 줄이기 위해 산소를 포함하고 있지 않은 질화막(SiN<sub>x</sub>H, SiN<sub>x</sub>)[3]과 불화막(CaF<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub>, SrF<sub>2</sub>, MgF<sub>2</sub>) 계열의 절연막[4, 5]들이 이용 가능하다. 표 1은 기존에 조사되었던 불화물(IIAF<sub>2</sub>)계 물질과 Si의 전기적 구조적 특성을 나타내었다. 특히 CaF<sub>2</sub> 박막은 격자구조가 단결정 Si와 유사한 구조이며 격자상수가 0.5464로 매우 유사하다. 본 논문에서는 불화절연막을 이용하여 MIM(Metal-Insulator-Metal), MIS(Metal-Insulator-Semiconductor) 소자를 제작하고 전기적 특성을 평가하여 Si와 격자부정합의 최소화를 통한 불화막과 Si사이의 계면에 발생하는 D<sub>it</sub>를 줄이면서 동시에 절연막의 항복전계의 향상을 얻을 수 있었다. 또한 본 논문은 향후 절

표 1 본 논문에서 조사된 IIAF<sub>2</sub> 계열 게이트 절연막과 Si의 전기적, 구조적 특성[6, 7, 8, 9, 10]

Table 1 Electrical and structural properties of IIAF<sub>2</sub> system gate insulators and Si film

물질	결정구조	비유전율	격자상수 (nm)	Si 대한 격자부정합 (%)	열팽창 계수 (/°C)	참고 문헌
Si	Cubic	11.7	0.54301	-	3.8×10 <sup>-6</sup>	[6]
CaF <sub>2</sub>	Cubic	6.81	0.5464	0.6	19×10 <sup>-6</sup>	[7]
MgF <sub>2</sub>	Tetragonal	5.45	a=0.462 c=0.305	-	8.9×10 <sup>-6</sup>	[8]
SrF <sub>2</sub>	Cubic	6.50	0.580	6.8	18×10 <sup>-6</sup>	[9]
BaF <sub>2</sub>	Cubic	7.32	0.620	14	18×10 <sup>-6</sup>	[10]

\* 準 會 員 : 成均館大 電氣電子컴퓨터學科 碩士課程

\*\* 正 會 員 : 成均館大 電氣電子컴퓨터學科 博士課程

\*\*\* 正 會 員 : 成均館大 電氣電子컴퓨터學科 副教授 · 工博

接受日字 : 1999年 1月 28日

最終完了 : 1999年 11月 9日

연층 위에 Si 에피성장이가 가능한 TFT 소자제작시 고 이동도, 저 소비전력소자의 제작 기초자료로써 사용이 가능 할 것이다.

## 2. 실험 방법

본 논문은 이원 불화물계(CaF<sub>2</sub>, MgF<sub>2</sub>, SrF<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub>) 절연막을 MIM, MIS 구조로 제작하여 절연물질의 전기적 구조적 특성을 조사하였다. MIM 구조의 소자는 Corning 7059 glass를 기판으로 이용하여 상부의 유기오염물을 아세톤 10분, 메탄올 10분간 초음파세척 후 탈이온수로 세척하고 N<sub>2</sub> 가스로 건조하였다. 불화막은 열기상증착기(thermal evaporator)를 이용하여 증착되었으며 고진공을 위하여 액체질소를 cold trap으로 이용 10<sup>-6</sup>torr 이하의 진공상태에서 증착되었다. 증착원으로 piece 형태의 3~5mm, 99.95% 순도의 CaF<sub>2</sub>, SrF<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub> (Cerac Co. 제조)가 사용되었으며 1~4mm, 99.999% 순도의 MgF<sub>2</sub>가 사용되었다. 불화막의 급격한 증착을 억제하고 일정한 두께의 박막을 제조하기 위하여 baffled furnace[11] 형태의 Mo boat가 이용되었다. 할로젠 램프로 기판온도를 가변하고 다양한 증착조건을 통하여 얻어진 불화막은 상부에 다양한 크기(지름=0.5mm, 0.3mm)의 원형 Al 전극을 수 천 Å 두께로 증착하여 전기적 특성을 평가하였다. MIS 소자는 (100)면의 단결정 p-type Si(10~20Ω-cm)의 기판이 사용되었으며 표면의 오염을 제거하기 위하여 청정환경에서 RCA[12] 세척법을 이용하여 세척하였다. 세척된 p-type Si 기판하부에 Al을 열기상증착법으로 증착하고 음성 집합을 만들기 위하여 저항성 열처리로서 620 °C, 15분 동안 N<sub>2</sub> 분위기(2.5 l/min)에서 열처리하였다. 음성 집합 형성 후 Si 표면에 존재하는 자연산화막(~20Å)을 완충 불산(buffered HF) 용액(HF(49%) : H<sub>2</sub>O = 1:10)에서 수 초간 dipping하여 제거하였다. MIM 시료와 동일하게 불화박막을 증착하였으며 상부에 원형 Al 전극을 증착하였다. 본 논문에서 제작된 MIM,

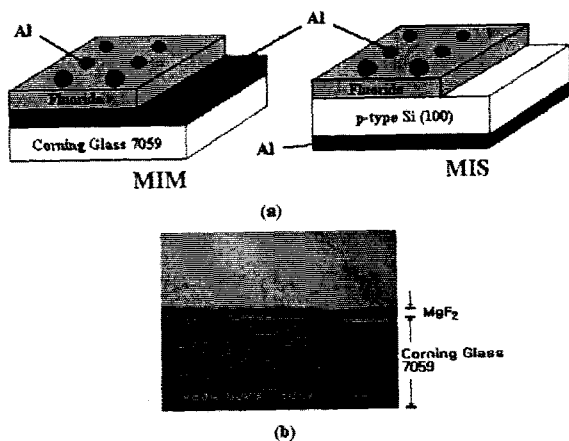


그림 1 본 논문에서 특성평가를 위하여 제작된 소자 (a) MIM, MIS 소자의 모식도, (b) Corning glass 기판에 2600 Å 증착된 MgF<sub>2</sub> 절연막 단면의 SEM 사진  
Fig. 1 Fabricated devices for property analysis in this paper (a) MIM, MIS devices, (b) SEM image of MgF<sub>2</sub> insulator deposited at 2600 Å on corning glass

MIS소자의 단면도와 실제 증착된 불화박막의 SEM 단면사진을 그림 1에 나타내었다.

## 3. 결과 및 토론

### 3.1 불화절연막의 구조적 특성

불화물계 절연막 중 CaF<sub>2</sub>를 이용한 MIM 구조를 갖는 시료의 두께에 따른 구조적 특성분석을 X-ray 회절법을 이용하였으며 그 결과를 그림 2와 표 2에 나타내었다. 하부전극과 상부전극의 Al 금속의 영향으로 Al (111), (200) 면의 peak이 나타났으며 박막의 두께가 증가함에 따라 CaF<sub>2</sub> (111) 면의 peak 강도가 증가하였다. 두께가 증가함에 따라 모든 면방향에서의 intensity가 증가하였으며 2000 Å에서 나타나지 않았던 (220) 방향의 peak이 나타났다. 이는 CaF<sub>2</sub> 절연막 성장시 실온에서 2000 Å 이상의 두께를 가지는 박막의 경우 결정성장이 용이함을 나타내는 결과라고 사료된다. 두께에 따라 증착된 시편의 격자상수를 구하기 위하여 (111), (220) peak의 면방향과 2θ를 이용(Cohen법[13])하여 구한 격자상수는 두께에 따라 5.495 Å, 5.469 Å, 5.459 Å로 감소하였으며 두께가 증가함에 따라 Si의 격자상수와 격자부정합율을 계산하면 11%, 7%, 5%로 감소하는 경향을 보였다. 이러한 낮은 격자부정합은 향후 CaF<sub>2</sub>/glass 기판 위에 μc-Si이나 poly-Si가 성장가능 함을 시사하는 것이며 (111)면의 성장이 주도될 것이라고 사료된다. 다시 말하면 CaF<sub>2</sub> 절연박막이 Si와 격자상수, 결정구조가 동일하여 단결정 또는 (111) 우선 배향면을 갖는 Si 박막성장 가능성을 시사하는 것이다.

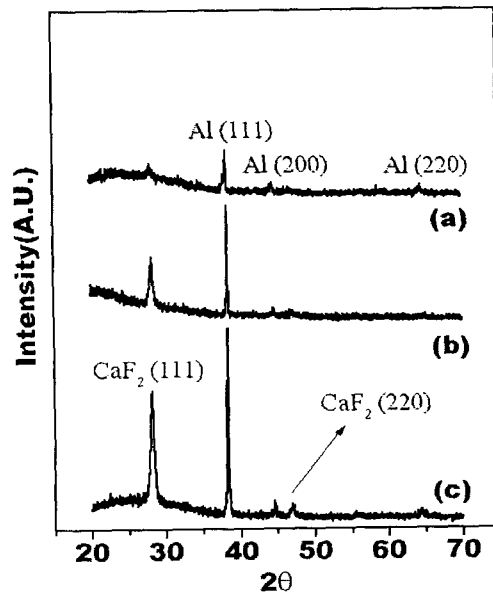


그림 2 실온에서 증착된 CaF<sub>2</sub> 절연막을 이용한 MIM 소자의 두께 변화에 따른 X-ray 회절 곡선

Fig. 2 In case of MIM devices, X-ray diffraction pattern as a function of CaF<sub>2</sub> insulator thickness deposited room temperature

표 2 증착조건 변화에 따른 CaF<sub>2</sub> 박막의 구조적 특성변수 분석

Table 2 Structural analysis of CaF<sub>2</sub> film as a function of deposition conditions

그림번호	두께(Å)	FWHM		격자상수(Å)	격자부정합(%)
		(111)	(220)		
(a)	2000	0.26	-	5.495	11
(b)	7310	0.38	-	5.469	7
(c)	9710	0.4	0.4	5.459	5

MgF<sub>2</sub> 박막(그림 3. (a))의 경우 CaF<sub>2</sub> 박막과 달리 증착온도가 낮은 경우 결정성장이 이루어지지 않다가 200°C 이상의 온도에서 (111)면과 (211)면의 결정 성장이 관찰되었다. 관측된 (111)면의 FWHM 값은 0.28이었으며 이로부터 MgF<sub>2</sub>의 유리기관 위에서의 결정화온도는 200°C 이상인 것으로 사료된다. BaF<sub>2</sub> 박막(그림 3. (b))의 경우 다양한 면방향으로 성장하였으며 증착온도가 증가함에 따라 저온에서 (200)면으로 우선 성장하던 면들이 (111)면의 성장이 주도적으로 바뀌었으며 동시에 (400)면의 peak들도 사라졌다. 증착온도 200°C에

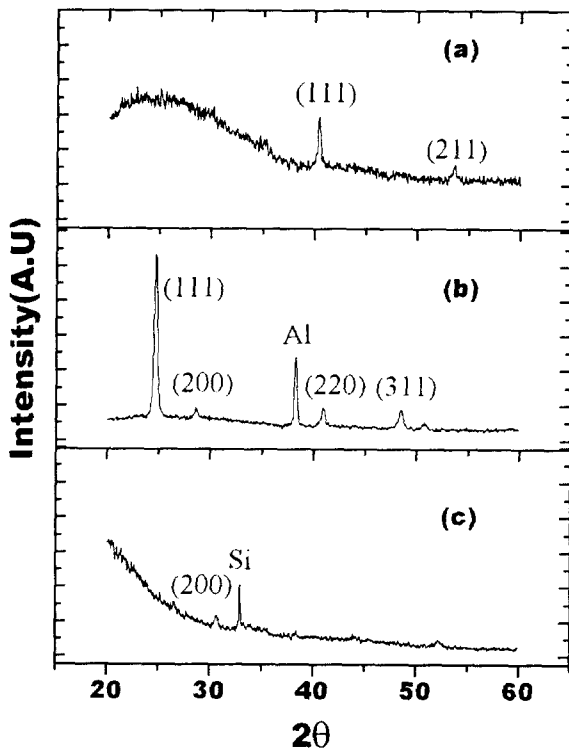


그림 3 (a) 기판온도 200°C에서 증착된 MgF<sub>2</sub> 박막의 X-ray 회절곡선(격자상수=4.597 Å), (b) 200°C의 기판온도에서 증착된 BaF<sub>2</sub> 박막의 다양한 결정방향(격자상수=6.126 Å) (c) MIS 소자로 제작된 SrF<sub>2</sub> 소자의 X-ray 회절그림(격자상수=5.8 Å)

Fig. 3 (a) X-ray diffraction pattern of MgF<sub>2</sub> films deposited to 200°C (lattice constant=4.597 Å), (b) Various orientation of BaF<sub>2</sub> films deposited to 200°C (lattice constant=6.126 Å), (c) X-ray diffraction pattern of SrF<sub>2</sub> MIS devices (lattice constant=5.800 Å).

서 증착된 시료의 경우 (111)면에서 FWHM이 0.34로써 가장 낮은 것으로 보아 (111)면의 성장의 주도적인 것으로 사료된다. MIS 구조의 소자로 제작되었던 SrF<sub>2</sub> 박막의 경우(그림 3. (c)) 실온에서는 (200)의 결정성장이 없다가 기판온도 200°C를 기준으로 나타나기 시작하였다. 이러한 결과는 실온에서 결정성장되는 CaF<sub>2</sub> 박막시료와 달리 MgF<sub>2</sub>와 BaF<sub>2</sub>의 경우 200°C 이상의 온도에서 결정이 성장함을 알 수 있었으며 (111) 면방향의 주도적 성장을 관찰할 수 있었다. SrF<sub>2</sub>의 경우 (200)면 방향으로만 성장함을 관찰할 수 있었다. 이러한 구조적 특성은 전체적으로 불화박막은 (111) 방향의 성장이 주도적이며 향후 불화박막위에 박막성장은 (111) 방향의 결정성장이 용이할 것이라 사료된다. 그림 2와 그림 3에서 나타내는 각각의 불화물의 결정화 특성은 격자상수 5.459~6.126 Å으로 Si와의 격자부정합이 기존의 절연막보다 작으므로 계면상태를 개선하는 요인으로 작용할 것이라 사료된다. 또한 결정이 성장된 불화박막위에 증착되는 Si 층은 (111) 방향의  $\mu$ c-Si 성장이 가능하리라 사료된다.

실온에서 결정성장이 가능하였던 CaF<sub>2</sub> 박막은 그 거칠기가 TFT 게이트 절연막 응용에 영향을 끼치므로 증착온도에 따른 박막표면의 거칠기를 조사하기 위해 AFM 측정을 행하였다. 그림 4는 증착온도에 따른 박막의 표면 AFM사진이다. 온도가 실온에서부터 100°C, 200°C로 증가함에 따라서 rms roughness는 70.7, 26.9, 13.5 Å으로 감소하며 평균 roughness의 경우도 동일하게 54.1, 20.4, 8.40 Å으로 감소하였다. 결과적으로 균일한 박막의 증착을 위해서는 200°C 이상의 증착온도가 요구된다. 성장온도 200°C 이상의 온도에서 증착된 시료의 표면거칠기가 100°C 이하의 온도에서 증착된 시료의 거칠기보다 낮은 이유는 높은 온도에서는 많은 핵자(nuclei)가 초기 결정성장 시기에 생겨 비교적 작은 결정립이 성장하여 상대적으로 매끄러운 박막을 형성할 수 있었던 것으로 사료된다.

### 3.2 불화절연막의 전기적 특성

MIM 소자의 항복전계(breakdown electric field: E<sub>br</sub>)는 전압원(Fluke 5100B)으로부터 직류전원을 공급하고 소자에 흐르는 전류를 Electrometer(Keithley 617)로 측정함으로써 구할 수 있었다. CaF<sub>2</sub> 박막의 경우 실온과 400°C에서 증착한 시료의 항복전계를 비교하였다. 그림 5에서 도시하는 바와 같이 두 개의 박막은 각각의 두께가 605 Å, 462 Å이었으며 E<sub>br</sub>은 0.96MV/cm, 1.27MV/cm 이었다. 그러나 높은 항복전계를 가지는 박막에서는 높은 누설전류가 야기되었다. 이러한 결과는 항복전계가 높은 박막의 경우 전도기구 관점에서 분석할 때 tunneling conduction 주도적으로 전도기구로 작용하였으며 400°C 증착의 경우 Ca원자와 F사이의 nonstoichiometry가 높은 누설을 야기하였다. 낮은 항복전계를 가지는 실온에서 증착된 CaF<sub>2</sub>의 경우 박막의 결정립계의 영향으로 부분적인 soft breakdown을 가지면서 비교적 낮은 항복전계를 가지고 있었다. 그럼에도 불구하고 박막의 두께가 비교적 두꺼워 Calcium, Fluorine 원자의 stoichiometry가 잘 이루어져 낮은 누설전류를 가지고 있었다. 이러한 결과는 TFT 소자제작시 박막의 두께와 조성을 조절한다면 높은 항복전계를 가지면서 동시에 낮은 전류밀도를 얻을 수 있을 것이라 사료

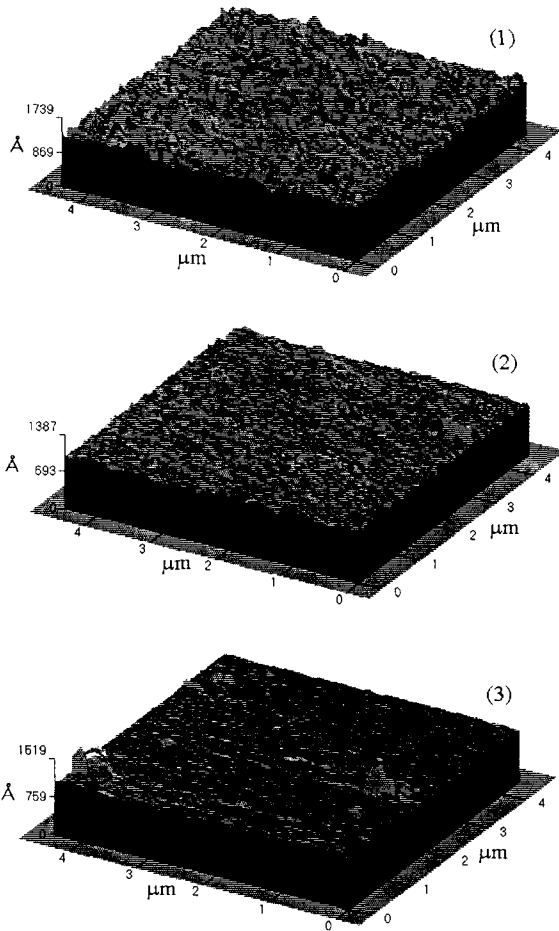


그림 4 MIM 구조로 제작된 불화물계 CaF<sub>2</sub> 절연박막의 기판온도 변화에 따른 Atomic Force Microscope (AFM) 측정그림 (1) Room Temperature, (2) 100 °C, (3) 200 °C.

Fig. 4 Atomic Force Microscope(AFM) image as a function of substrate temperature of CaF<sub>2</sub> insulator films fabricated as MIM structure (1) room temperature, (2) 100 °C, (3) 200 °C.

된다. 본 실험의 결과는 기존의 S. Sinharoy group[14]에서 Si 기판위에 890Å 증착된 CaF<sub>2</sub>의 E<sub>br</sub>이 0.5MV/cm인데 반하여 본 논문에서는 이상의 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 불화막이 향후 높은 항복전계를 요하는 고전압용 TFT 나 SOI 소자에 응용가능함을 시사하는 것이다.

불화박막의 전류밀도-전계(J-E) 측정으로부터 MgF<sub>2</sub> 박막은 CaF<sub>2</sub> 박막에 비하여 1MV/cm이하의 낮은 항복전계값을 가지고 있었으며 증착온도가 증가함에 따라서 부 절연과괴 현상이 두드러지게 나타났으며 특징적으로 실온에서 증착되어진 MgF<sub>2</sub> 박막의 경우 다른 불화막보다 10<sup>-9</sup>A/cm<sup>2</sup> 이하의 낮은 전류밀도에서 절연과괴가 발생하였다. MIM 소자로 제작된 SrF<sub>2</sub>의 경우 J-E 곡선으로부터 증착온도 300 °C에서 증착된 SrF<sub>2</sub>의 누설전류는 10<sup>-8</sup>A/cm<sup>2</sup>이었으며 1.1MV/cm으로 최고의 항복전계를 가지고 있었다. BaF<sub>2</sub>의 경우는 다른 불화박막들보다 낮은 항복전계값이 관측되었으며 증착두께를 줄이고 증착온도를 조절하여 1MV/cm 이상의 값에 상응하는

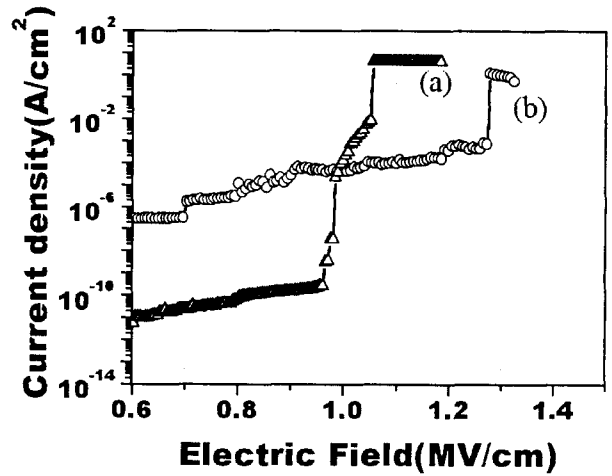


그림 5 증착온도가 실온(a)과 400 °C(b)에서 증착된 CaF<sub>2</sub> MIM 구조소자의 전류밀도-전계 곡선 (a) E<sub>br</sub>=0.96MV/cm, (b) E<sub>br</sub>=1.27MV/cm.

Fig. 5 Current density(J)-Electric field(E) curve of CaF<sub>2</sub> MIM devices deposited to room temp.(a) and 400 °C(b) (a) E<sub>br</sub>=0.96MV/cm, (b) E<sub>br</sub>=1.27MV/cm.

항복전계를 얻으리라 예상된다. 아래의 표 3에 본 실험에서 얻어진 우수한 항복전계와 그 증착조건을 나타내었다.

표 3 불화박막들의 최적화된 항복전계와 증착조건.

Table 3 The breakdown electric field and deposition condition of optimized fluoride films.

	CaF <sub>2</sub>	MgF <sub>2</sub>	BaF <sub>2</sub>	SrF <sub>2</sub>
증착온도(°C)	400	300	200	300
항복전계(V/cm)	1.27	0.2	< 0.1	1.1
누설전류(A/cm <sup>2</sup> )	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-8</sup>

MIS 구조의 불화박막의 기판으로 사용된 p-type Si는 10~15 Ω-cm의 비저항을 가지고 있었으며 도핑농도는 약 10<sup>15</sup> cm<sup>-3</sup> 이었다. HF(High Frequency) C-V 측정으로부터 구한 CaF<sub>2</sub>의 비유전율(ε<sub>r</sub>)은 MIM 소자에서 구해진 값보다 작은 4.11~5.0정도였다. 이는 박막의 두께와 상부전극의 오차율을 고려할 경우 bulk의 CaF<sub>2</sub>의 비유전율(= 6.8)에 근접한 값을 가지고 있었다. 또한 실온에서 증착된 CaF<sub>2</sub> 박막은 반전영역이 되는 전압 직전에서 정전용량의 감소는 전도대역에 존재하는 높은 D<sub>it</sub>로 인해서 나타난다. 이러한 전도대역의 D<sub>it</sub>를 억제하기 위하여 기판의 온도를 조금씩 증가함에 따라 Terman법[15]으로 얻어진 D<sub>it</sub>는 그림 6에 도시하였다. 온도가 증가함에 따라 D<sub>it</sub>는 1.58×10<sup>11</sup>cm<sup>-2</sup>eV<sup>-1</sup>에서 2.35×10<sup>11</sup>cm<sup>-2</sup>eV<sup>-1</sup>로 증가하였으나 기존의 절연막들의 D<sub>it</sub>인 >10<sup>12</sup>cm<sup>-2</sup>eV<sup>-1</sup>보다 낮은 값을 가지고 있었다. 본 실험보다 높은 온도나 Si 기판 표면의 불순물을 최대한 제거함으로써 D<sub>it</sub>를 향상될 수 있으리라 사료된다. 이러한 낮은 D<sub>it</sub> 특성을 CaF<sub>2</sub> 박막이 갖는 원인은 3.1장에서 보여진 구조적 특성으로부터 유추할 수 있다. 단결정 Si와 CaF<sub>2</sub>는 격자부정합이 다른 여타의 불화박막

보다 작기 때문에 계면에서 존재하는 구조적 결함의 최소화가 원인이라 사료된다. 이러한 우수한  $D_{it}$  특성으로 인하여 향후  $\text{CaF}_2$  절연박막을 이용한 향상된 TFT 소자를 제작할 수 있으리라 사료된다.

각각의 불화절연막은 박막내부에 존재하는 전하포획을 조사하기 위하여 전압인가 방향을 정방향((-) → (+)), 역방향((+) → (-))으로 인가하여 나타나는 정방향과 역방향이 나타

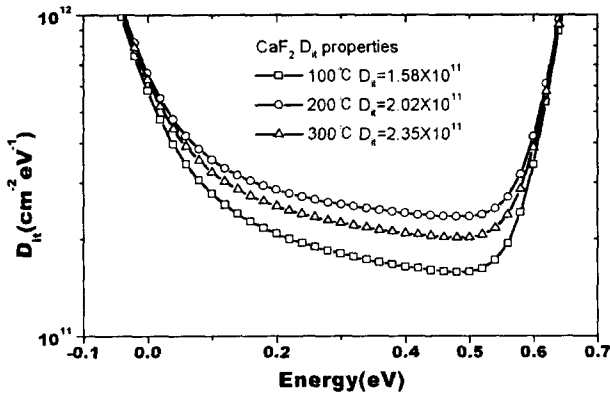


그림 6 증착온도 변화에 따른  $\text{CaF}_2$  박막의  $D_{it}$  특성.  
 Fig. 6 The  $D_{it}$  properties of  $\text{CaF}_2$  films as a function of substrate temperature.

내는 곡선사이에서 발생하는 전압 window는 그 회전방향이 강유전체의 경우 시계방향으로 나타나지만 본 실험의 경우 반시계방향으로 나타나는 것으로 보아 박막내부의 포획전하가 원인이 되어 발생하는 것으로 사료된다. 이러한 특성은 그림 7에 도시하였다. 이러한 포획전하의 발생은 불화막의 HF C-V 곡선은 절연층에 존재하는 양의 포획전하에 의해 야기되는 음 전하 주입현상이 모든 불화막에서 나타났다.  $\text{CaF}_2$ 의 경우(그림 7. (a), (b)) 증착 온도가 증가함에 따라서

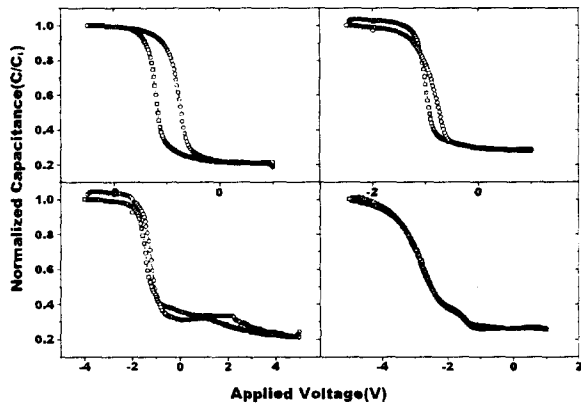


그림 7 본 논문에서 논의된 (a)  $\text{CaF}_2$  기판온도 100°C, (b) 200°C, (c) 200°C에서 증착된  $\text{BaF}_2$ , (d) 실온에서 증착된  $\text{SrF}_2$  절연박막의 HF(High Frequency) Capacitance-Voltage 특성.

Fig. 7 HF(High Frequency) Capacitance-Voltage(C-V) properties of (a)  $\text{CaF}_2$  deposited to 100°C, (b) to 200°C, (c)  $\text{BaF}_2$  deposited to 200°C, (d)  $\text{SrF}_2$  deposited room temperature.

$\Delta V$ 가 감소하는 경향을 보이며 이때 나타나는 불화포획전하 (fluoride trap charge( $Q_{ft}$ ))는  $2.07 \times 10^{-11} \text{C}$ 에서  $1.07 \times 10^{-11} \text{C}$ 로 감소하였다. 특히  $\text{SrF}_2$  박막(그림 7. (d))은 200°C이상의 기판 온도에서 1076Å 증착한 시료의 경우 전하주입효과가 없으며 박막내에 포획되는 전하가 존재하지 않았다. 반면에  $\text{BaF}_2$  박막(그림 7. (c))의 경우 실온에서 2452Å 증착된 두께의 시료의 경우  $6.76 \times 10^{-12} \text{C}$ 의 낮은  $Q_{ft}$ 를 가지고 있었다. 이러한 결과로 보아 불화 박막은 300°C이하의 낮은 온도에서 낮은 포획전하를 가지면서 전하주입현상이 없는 박막증착이 가능하다고 사료된다.

#### 4. 결론

MIM, MIS 소자를 제작함으로써 불화절연막의 특성을 조사할 수 있었다. 불화절연막의 구조적특성으로부터  $\text{CaF}_2$  절연막은  $\mu\text{c-Si}$ 과의 낮은 격자부정합(=5%)을 가지는 박막을 실온에서 증착할 수 있었다. 이러한 결과는  $\mu\text{c-Si}$ 이나 poly-Si가 성장가능 함을 시사하는 것이며 (111)면의 성장이 주도될 것이라고 사료된다. 다시 말하면  $\text{CaF}_2$  절연박막이 Si와 격자상수, 결정구조가 동일하여 단결정 또는 (111) 우선 배향면을 갖는 Si 박막성장이 가능성을 시사하는 것이다.  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{BaF}_2$ ,  $\text{SrF}_2$ 와 같은 박막은 상온에서 증착하였을 경우 결정화성장이 가능하였으며 또한 (111)면 방향의 우선성장이 지배적이었다.  $\text{CaF}_2$ 의 경우 박막의 거칠기는 증착온도가 증가(RT, 100°C, 200°C)함에 따라서 낮아 졌다.(평균거칠기 : 54.1, 20.4, 8.40Å) 불화막의 항복전계는  $\text{CaF}_2$  박막의 경우 실온에서 462Å 증착한 시료의 경우 1.27 MV/cm이었으며  $\text{SrF}_2$ 의 경우 300°C에서 864.5Å 증착한 시료의 경우 1.1MV/cm이었으며 각각의 누설전류는  $10^{-10}$ ,  $10^{-8} \text{A/cm}^2$ 이었다.  $\text{MgF}_2$ 와  $\text{BaF}_2$  박막은 0.2MV/cm이하의 낮은 항복전계를 가지고 있었으나 향후 300°C이상의 고온의 증착시 1MV/cm이상의 항복전계가 가능하리라 사료된다. 본 실험에서 나타난 불화막은 박막내부의 포획전하에 의해 야기된 전하주입형 C-V 특성을 가지고 있었으며 증착온도가 증가함에 따라서 전하주입이 감소하는 경향을 보였다. 특히,  $\text{CaF}_2$ 의  $D_{it}$  특성은  $1.58 \times 10^{11} \sim 2.35 \times 10^{11} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$ 로써 낮은 격자부정합율이 낮은  $D_{it}$ 를 달성하는데 큰 역할을 함을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 논문은 G7 과제에 의해서 지원되었으며 이에 저자 일동은 감사의 말씀을 드립니다.

#### 참고 문헌

[1] 최권영, 한민구, 김용상, 두 단계 열처리에 의해 제작된 다결정 실리콘 박막트랜지스터의 전기적 특성의 분석, 전기학회논문지, Vol. 45, No. 4, p568-573, 1996.  
 [2] M. Matsui, H. Nagayoshi, G. Muto, S. Tanimoto, K. Kuroiwa and Yasuo Tarui, Amorphous Silicon Thin-Film Transistors Employing Photoprocessed Tantalum Oxide Films as Gate Insulators, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 29, No. 1, p62-66, 1990.

[3] I. Kobayashi, T. Ogawa, and S. Hotta, Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition of Silicon Nitride, *Jpn. J. Appl.*, Vol. 31, p336-342, 1992.

[4] 김도영, 최석원, 이준신, CaF<sub>2</sub> 박막의 전기적, 구조적 특성, *전기전자재료학회논문지*, Vol. 11, No. 12, p1122-1127, 1998

[5] S. Sinharoy, "Fluoride/Semiconductor and Semiconductor/Fluoride/Semiconductor Heteroepitaxial structure research : A review", *Thin Solid Films*, Vol. 187, p 231-234, 1990.

[6] Ben G. Streetman, *Solid State Electronic Devices*, Fourth edition, Prentice Hall, New Jersey, 1995.

[7] T. Asano and H Ishiwara, An Epitaxial Si/Insulator/Si Structure Prepared by Vacuum Deposition of CaF<sub>2</sub> and Silicon, *Thin Solid Film*, Vol. 93, p142-150, 1982.

[8] S. Fujihara, M. Tada, T. Kimura, Preparation and characterization of MgF<sub>2</sub> thin film by a trifluoroacetic methode, *Thin Solid Films*, Vol. 304, p252-255, 1997.

[9] P. W. Sullivan and J. e. Bower, Growth of Semiconductor/insulator structures- GaAs/fluoride/GaAs(001), *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 3, No. 2, p500-507, 1985.

[10] H. Zogg, W. Vogt, and H. Melchior, Epitaxial growth of BaF<sub>2</sub> films onto PbSe and electronic properties of the interface, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 45, No. 3, p286-288, 1984.

[11] David A. Glocker and S Iomat Shah, *HandBook of Thin Film Process Technology*, IOP, Bristol, A1.1:3, 1995.

[12] W. Kern and D. A. Puotinen, Cleaning Solution Based on Hydrogen peroxide for use in Semiconductor Technology, *RCA Review*, June, 187, 1970.

[13] B. D. Cullity, *Elements of X-ray Diffraction*, Addison-Wesley Publishing Co. Inc., p363-368, 1978.

[14] P. G. McMullin and S. Sinharoy, A comparative study of the electrical properties of epitaxial fluorides, *J. Vac. Sci. Technol. A*, Vol. 6, No. 3, p1367-1370, 1988.

[15] L. M. Terman, An Investigation of Surface States at a Silicon/Silicon oxide Interface Employing Metal-Oxide-Silicon Diodes, *Solid State Electron*, Vol. 5, p285-299, 1962.

저 자 소 개



김도영 (金度榮)

1971년 4월 30일생. 1997년 성균관대 공대 재료공학과 졸업(학사), 1999년 공과대 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정 재학중  
Tel : (0331) 290-7163  
Fax : (0331) 290-7159

E-mail : dykim1@ece.skku.ac.kr

최석원 (崔碩元)

1973년 9월 13일생. 1998년 성균관대 공대 전기공학과 졸업(학사), 1999년 동 전기전자 및 컴퓨터공학부 석사과정 재학중  
E-mail : yu7308@nature.skku.ac.kr



안병재 (安炳宰)

1972년 6월 5일생. 1999년 수원대 공대 전자재료공학과 졸업(학사), 1999년 성균관대 공대 전기전자 및 컴퓨터공학부 석사과정 재학중  
E-mail : Acceptor@netsgo.com



이준신 (李準信)

1982년 12월 7일생. 1989년 성균관대 공대 전기공학과 졸업(학사), 1991년 뉴욕주립대 공대 전기공학과 졸업(석사), 1994년 동 대학원 졸업(공학), 현재 성균관대 공대 전기전자 및 컴퓨터공학부 부교수  
Tel : (0331) 290-7139

Fax : (0331) 290-7179

E-mail : yi@yurim.skku.ac.kr