

박막트랜지스터 응용을 위한  $\mu\text{c-Si/CaF}_2/\text{glass}$  구조특성연구

김도영, 안병재, 임동건, 이준신  
 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부

The study of  $\mu\text{c-Si/CaF}_2/\text{glass}$  properties for thin film transistor application

Do Young Kim, Byeung Jae Ahn, Dong Gun Lim, Junsin Yi  
 School of electrical and computer engineering, Sungkyunkwan Univ.

**Abstract** - This paper covers our efforts to improve the low carrier mobility and light instability of hydrogenated amorphous silicon (a-Si:H) films with microcrystalline silicon ( $\mu\text{c-Si}$ ) films. We successfully prepared  $\mu\text{c-Si}$  films on  $\text{CaF}_2/\text{glass}$  substrate by decomposition of  $\text{SiH}_4$  in RPCVD system. The  $\text{CaF}_2$  films on glass served as a seed layer for  $\mu\text{c-Si}$  film growth. The XRD analysis on  $\text{CaF}_2/\text{glass}$  illustrated a (111) preferred  $\text{CaF}_2$  grains with the lattice mismatch less than 5 % of Si. We achieved  $\mu\text{c-Si}$  films with a crystalline volume fraction of 61 %, (111) and (220) crystal orientations, grain size of 706 Å, activation energy of 0.49 eV, and photo/dark conductivity ratio of 124. By using a  $\text{CaF}_2/\text{glass}$  structure, we were able to achieve an improved  $\mu\text{c-Si}$  films at a low substrate temperature of 300 °C.

1. 서 론

최근의 a-Si:H TFT-LCD(Thin film transistor - Liquid crystal display)는 차세대평판표시장치로 경량, 박형으로 고화질, 고정세를 실현하는 새로운 영상표시장치이다. 이러한 LCD의 핵심소자인 TFT는 다양한 요구에 의하여 향후에 a-Si:H TFT에 있어서 이동도가 높은 active layer Si의 연구개발이 필요하다. 이러한 이동도 향상을 위한 poly-Si TFT 응용연구가 가속되고 있으며 MIC(Metal induced crystallization), MILC(Metal induced lateral crystallization)[1], Microwave 결정화[2], ELA (excimer laser annealing)[3]등 다양한 결정화 방법이 제안되고 있다. 이러한 active layer용 poly-Si 박막은 기존의 PECVD(Plasma enhanced chemical vapor deposition), LPCVD(Low pressure chemical vapor deposition)를 이용하여 a-Si:H을 성장후 탈수 소공정을 거쳐 금속유도현상, Microwave, Excimer laser와 같은 후 결정화공정을 거쳐게 되어 공정단계가 증가하며, 박막의 균일도, 박막내 불순물 오염등의 문제점을 가지고있다. 특히 이러한 공정은 30°이상의 대면적 표시장치에는 불리하므로 개선이 요구된다. 또한 UXGA(Ultra extended graphic array)와 같은 고해상도 표시장치는 이동도가  $1\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 이하의 a-Si:H 박막으로는 구현이 불가능하므로 직접성장이 가능하며 대면적성장이 용이한 고이동도의 active layer의 개발을 위하여 큰 결정립이 요구된다. 본 연구의 핵심은 양질의  $\mu\text{c-Si}$ 을 저온직접성장에 있어 씨앗층의 역할을 가지는 buffer layer를 이용함으로써 구조적으로 비정질 상태의 glass 기판위에 결정화된  $\mu\text{c-Si}$ 의 성장가능성을 연구함으로써 향후 TFT-LCD의 active layer로써 이용하는데 있다. 본 연구에서 응용된 buffer layer로써  $\text{CaF}_2$ 는 표 1에서 보이는 바와 같이 Si과의 격자구

차가 유사(cubic structure)하며 격자상수가 일치하여 격자부정합이 +0.55%로 매우 작은 물질이다.[4] 또한 저온에서 기존의 PVD(Physical vapor deposition: evaporation, e-beam, sputtering)법으로 성장이 용이하다. 본 연구에서 제안하는  $\mu\text{c-Si/CaF}_2/\text{glass}$  구조의 박막은 a-Si:H의 기술의 약점인 결정화 grain size를 상당히 개선시킴으로써 이동도를 향상시킬 것이다. 이러한 낮은 이동도는 a-Si:H의 결정성의 결핍으로부터 나타나는 것이다. 또한 TFT-LCD의 경우 저온에서 기판으로 사용되는 유리기판의 strain point가 593°C이므로 600°C이상의 후 열처리시 심한 경우 기판의 질량손실이나 휘어짐이 존재할 수 있다. 그러나 본 기술의 결정화향상의 핵심은 결정성 씨앗층으로써 Si과의 격자상수가 유사한  $\text{CaF}_2$ 를 이용함으로써 달성할 수 있다. 이러한 기술은 Asano *et al.*[5]은 1983년에 SOI 소자응용을 위하여 Si 기판위에 불화막을 성장시키고 연속적으로 Si 단결정을 성장시키는 이중에피기술을 발표하였으며 열팽창계수와 격자상수를 줄이기 위한 buffer layer로써의  $\text{CaF}_2$ 를 1985년 Zogg *et al.*[6]에서 발표되었다. 특히 MIS(GaAs) 소자의 passivation layer로써 일본의 Sinharoy group[7]에서 많이 응용되어 왔으나 유리기판 위에서  $\mu\text{c-Si}$  성장을 위한 buffer layer 응용은 아직까지 미 연구분야이다.

표 1. buffer layer로써 응용가능한 물질의 특성

물 질	결정구조	유전상수	격자상수 (nm)	격자부정합 (%)
Si	Cubic	11.7	0.543	-
$\text{CaF}_2$	Cubic	6.81	0.546	+0.55
$\text{SrF}_2$	Cubic	6.50	0.580	+6.38
$\text{CeO}_2$	Cubic	26	0.541	-0.37

2. 본 론

2.1 실험방법

본 연구에서  $\mu\text{c-Si}$ 을 유리기판 (corning 1737) 위에 저온직접성장을 위하여 RPCVD (remote plasma chemical vapor deposition) 기법이 사용되었다. 유리기판은 표면의 오염을 제거와 집착성향상을 위하여 유기물세척을 행하였다. 반응기체로 사용된  $\text{SiH}_4$ 는 He으로 80% 희석되었으며  $\text{H}_2$ 와 혼합하여 증착하였다. 증착 조건 변화에 따른 박막의 특성을 조사하고 buffer layer( $\text{CaF}_2$ )를 이용하였을 경우의 특성을 비교하기 위하여  $\text{SiO}_x$ , bare glass의 경우를 변화시키면서 박막의 특성을 조사하였다. Buffer layer로써 이용된  $\text{CaF}_2$ 는 유리기판 위에 열기상증착법(thermal evaporation method)을 이용하여 증착되었으며 직경 3~5mm, 순도 99.95%의 pellet형의 source가 이용되었다. 평탄도(uniformity)를 향상하기 위하여 baffled furnace 형태의 도가니(crucible)가 사용되었으며 최적의 조건을 얻기 위하여 증착용 boat, 증착온도, 증착속도를 가변하

여 박막의 특성을 평가하였다. 본 연구에서  $\mu\text{c-Si}$ 의 구조적인 특성은 조건에 따라 Raman (Jobin-Yvon/T64000) spectroscopy와 XRD를 병행하여 평가하였으며 성장된  $\mu\text{c-Si}$ 의 전기적 특성을 평가하기 위하여  $1.81 \times 10^{-2} \text{cm}^2$ 의 면적을 가진 두 개의 Mg interdigit grid전극을 이용하였다. Mg 전극은 도핑하지 않은  $\mu\text{c-Si}$ 와 ohmic 접합을 이루는 금속으로 알려져 있다. [6] 전류-전압(I-V)과 L-I-V(광-전류-전압) 측정을 위하여 Fluke 5110B power source와 Keithley 617 multimeter 그리고 GP-IB interface를 이용한 computer system을 사용하였다. Halogen lamp (power =  $100 \text{mW/cm}^2$ )를 이용하여 광 전도도( $\sigma_p$ )를 측정하였다. 암 상태에서의 전류-전압 특성을 분석함으로써 암 전도도( $\sigma_d$ )를 구할 수 있었으며 광 전도도와 암전도도의 비율인 photo sensitivity를 구할 수 있었다. 또한 박막의 표면을 분석하기 위하여 SEM을 이용하였다.

## 2.2 결과 및 토론

박막의 결정성장 특성을 Raman spectroscopy 측정으로 확인 할 수 있으며 그림 1에 도시하였다. 본 연구에서 제작한 a-Si:H/SiO<sub>2</sub>/glass 구조(그림 1(b))의 시료는  $480 \text{cm}^{-1}$ 에서 peak값을 가지고 있으며 대부분의 a-Si 상의 박막에서 나타나는 값이다. 본 연구에서 제작한 다양한 구조의 시료 중  $\mu\text{c-Si}/\text{CaF}_2/\text{glass}$  시료(그림 2(c))의 경우  $520 \text{cm}^{-1}$ 으로 그림 1의 (d)에서 나타나는 chzochralski 법으로 성장된 (100) c-Si의 peak과 동일한 위치에서 나타나고 있다. Raman spectroscopy 결과로부터 결정화율(crystalline volume fraction:  $X_c$ )[8]은 식 1과 같이 정의된다.

$$X_c = \frac{I_c}{(I_c + I_d)} \quad (\text{식 1})$$

여기서 박막의 grain size가 작은 경우이므로  $\sigma$ 는 1로 취할 수 있다. 이러한 계산식으로부터 그림 1(b)의 시료의 경우 61%의 값을 가지고 있었다. 이는 본 기술에서 이용한 CaF<sub>2</sub> seed layer가 결정화에 도움을 주는 것으로 분석된다.

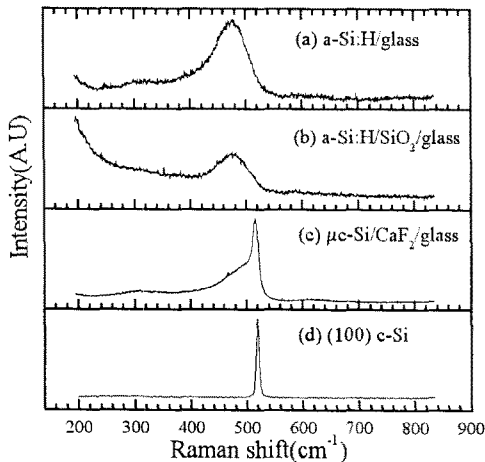


그림 1. Buffer layer 변화에 따른 a-Si:H와  $\mu\text{c-Si}$ 의 Raman spectroscopy와 chzochralski로 성장된 단결정 Si의 Raman spectroscopy의 비교도

결정면방향을 조사하기 위한 XRD 측정으로부터 각각의 a-Si:H/glass [그림 2(a)], a-Si:H/SiO/glass[그림 2(b)],  $\mu\text{c-Si}/\text{CaF}_2/\text{glass}$  [그림 2(c)]를 그림 2에 도시하였다. Buffer layer의 변화에 따라서 SiO<sub>2</sub>

buffer와 직접성장의 경우 박막은 비정질상으로 조사되었으며 CaF<sub>2</sub> seed layer 만을 사용할 경우에서 (111), (220)의 peak이 나타남을 알 수 있었다.

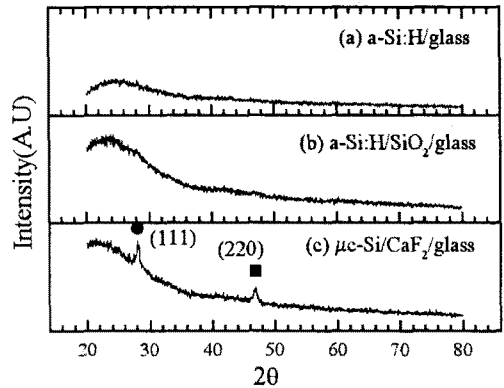


그림 2. Buffer layer 변화에 따른 a-Si:H와  $\mu\text{c-Si}$ 의 XRD 곡선

Grain size의 향상은 SEM (scanning electron microscope)로 확인 할 수 있었으며 그림 3에 나타내었다. 그림 3은 각각 a-Si:H/glass [그림 3(a)], a-Si:H/SiO/glass[그림 3(b)],  $\mu\text{c-Si}/\text{CaF}_2/\text{glass}$  [그림 3(c)]의 SEM 표면 사진이며 50000배의 배율로 측정되었다. Grain size는 CaF<sub>2</sub> buffer를 이용한  $\mu\text{c-Si}$ 의 경우 70.6nm로 그림 3의 (a), (b) 시료의 경우 37.5nm로 2배정도 큰 grain size를 가지고 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 씨앗층으로써 CaF<sub>2</sub> 박막의 작용을 증명하는 것이다.

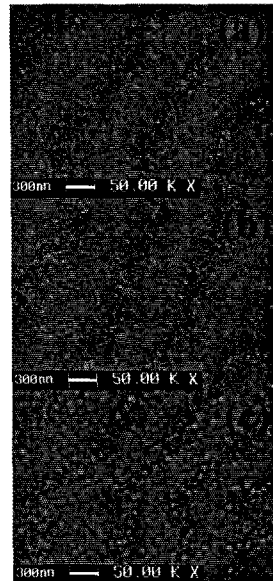


그림 3. a-Si:H/glass(a), a-Si:H/SiO/glass(b),  $\mu\text{c-Si}/\text{CaF}_2/\text{glass}$ (c)의 SEM 표면사진

전기적 특성 분석을 조사하기 위하여 buffer layer의 이용한 박막과 그렇지 않은 박막의 암전도도( $\sigma_d$ )와 light intensity가  $100 \text{W/cm}^2$ 인 경우의 광전도도( $\sigma_p$ ) 그리고 photosensitivity( $\sigma_p/\sigma_d$ )를 그림 4에 나타내었다. 비정질상으로 성장하고있는 a-Si:H/SiO/glass의 경우  $6.13 \times 10^{-9} \text{S/cm}$ 의 낮은  $\sigma_d$ 를 가지고 있으며 이에 반하여  $6.625 \times 10^{-5} \text{S/cm}$ 의 높은  $\sigma_p$ 를 가지고 있어

가장 높은 photosensitivity( $=1.08 \times 10^4$ )를 가지고 있었다. 이는 비정질 Si의 전형적인 특성으로 기존의 gate 절연층인 SiO 상부에 박막을 성장시킬 경우 비정질한 active layer가 형성됨을 예측할 수 있다. 그러나 CaF<sub>2</sub> buffer층위에 성장된  $\mu$ c-Si 박막의 경우 향상된  $\sigma_d$ 와 낮은 photosensitivity( $=1.24 \times 10^2$ )로부터 결정성장이 CaF<sub>2</sub> buffer에 의해서 영향을 받았음을 알 수 있었다. 이러한 장점은 backlight를 광원으로 사용하는 LCD의 동작원리를 고려하여 볼 때  $\mu$ c-Si의 경우 비교하여 볼 경우 약  $10^2$ 배의 차이가 나타나고 있는 것으로 보아 광조사에 의해서 발생하는 신뢰성향상에 기여할 것이라 사료된다.

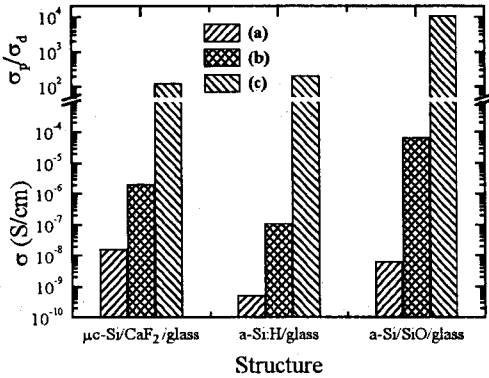


그림 4 본 연구에서 조사된 서로 다른 구조의  $\mu$ c-Si, a-Si:H의 압전도도(a), 광전도도(b), 광학적 민감도(photosensitivity)(c)의 비교도

박막의 전기적 성질을 나타내는 활성화에너지( $E_a$ )는 전도대에너지와 Fermi 에너지의 차이( $E_c - E_F$ )로 나타낼 수 있으므로 intrinsic Si의 경우 에너지 band gap이 1.1eV이므로 이상적인  $E_c - E_F$  값은 0.55eV의 값을 갖게 된다. 이러한 활성화에너지[9]는 아래의 식 2와 같이 표현 된다

$$\sigma_d = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right) \quad (\text{식 2})$$

본 연구에서 활성화에너지는 온도를 실온에서 100°C 까지 가변하면서 압전도도를 조사하였으며  $\sigma_d$ 와  $1/T$ 를 Arrhenius plot 함으로써 얻어질 수 있었다. buffer layer를 이용한 경우와 그렇지 않은 경우의 활성화에너지는 그림 4에 나타난 것과 같이 buffer layer를 이용하였을 경우 0.49로 이상적인 값과 유사하며 비정질로 성장된 a-Si:H/glass 구조의 경우 0.76eV의 높은 값을 가지고 있었다.

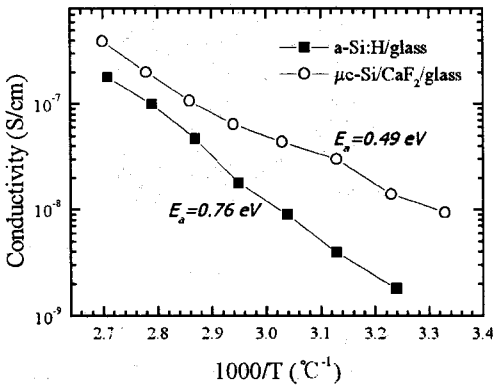


그림 5.  $\mu$ c-Si/CaF<sub>2</sub>/glass 구조와 a-Si:H/glass 구조의  $\sigma_d$  vs  $1/T$  plot

### 3. 결 론

본 연구는  $\mu$ c-Si 박막을 유리기판위에 적은 직접성장은 CaF<sub>2</sub> 박막을 씨앗층으로 이용하여 얻어질 수 있었으며 동시에 높은 grain size를 가지면서 광학적 안정성이 우수한 박막을 성장할 수 있었다. 또한 전기적으로 이상적인 intrinsic Si와 유사한 활성화 에너지가 조사되었다. 본 연구에서 성장된 박막의 성장조건은 반응가스 비( $\text{SiH}_4/\text{H}_2$ )=0.013,  $P_{\text{total}}=88\text{mTorr}$ ,  $T_{\text{sub}}=300^\circ\text{C}$ , rf power=50W,  $t_{\text{Si}}=640\text{A}$ ,  $t_{\text{CaF}_2}=2000\text{A}$ 로 하였다.  $\mu$ c-Si/CaF<sub>2</sub>/glass 구조로 제작된 시료의 결정화도( $X_c$ )는 61%로 조사되었으며 (111), (220)로 우선 결정성장하였으며 70.4nm의 grain size와 114의 photosensitivity를 가지고 있었다. 또한 이상적인 Si의 활성화 에너지와 유사한 0.49eV의  $E_a$  값을 가지고 있었다.

### (감 사 의 글)

본 연구는 산업자원부 선도기술개발사업(G7) 과제의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다. 이에 저자일동은 감사의 말씀을 드립니다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 주승기, "금속 유도 측면 결정화에 의한 저온 다결정 실리콘 TFT 제작 및 실용화 연구", 차세대 평판표시장치 기반기술 개발사업 Workshop, 제3회, 191-200, 1998
- [2] 안병태, "비정질 실리콘 박막의 마이크로웨이브 유도결정화", LCD 기술 Seminar, 경희대학교 LCD 거점연구단, 41-60, 1998.
- [3] 최권용, 한민구, 김용상, "두 단계 열처리에 의해 제작된 다결정 실리콘 박막트랜지스터의 전기적 특성의 분석", 전기학회지, 45권, 4호, 568-573, 1996.
- [4] S. Sinharoy, "Fluoride/semiconductor and semiconductor/fluoride/semiconductor Heteroepitaxial structure Research: A review", Thin Solid Films, Vol. 187, 231-243, 1990.
- [5] Tanemasa Asano, Hiroshi Ishiwara and Noriyuki Kaifu, "Heteroepitaxial Growth of Group-IIa-Fluoride Films on Si Substrates", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 22, No. 10, 1474-1481, 1983
- [6] H. Zogg and M. Huppi, "Growth of high quality epitaxial PbSe onto Si using a (Ca,Ba)F<sub>2</sub> buffer layer", Appl. Phys. Lett., Vol. 47, No. 2, 133-153, 1985.
- [7] P. G. McMullin and S. Sinharoy, "A comparative study of the electrical properties of epitaxial fluorides", J. Vac. Sci. Technol., A 6, No. 3, 1367-1370, 1988.
- [8] Masatoshi Wakagi, Toshiki Kaneko, Kiyoshi Ogata and Asao Nakano, "Crystallinity Analysis of Amorphous-Crystalline Mixed Phase Silicon Films Using EXAFS Methods", Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 283, 555-560, 1993.
- [9] Yuliang He, Chenzhong Yin, Guangxu Cheng, Luchun Wang, and Xiangna Liu, "The structure and properties of nonsize crystalline silicon films", J. Appl. Phys., Vol. 75, No. 2, 797-803, 1993.