

몰리브덴 기판 위에 고온 결정화된 다결정 실리콘 박막 트랜지스터 특성에 관한 연구

High Temperature Crystallized Poly-Si on the Molybdenum Substrate for Thin Film Transistor Applications

박중현, 김도영, 고재경, 이준신
(Joong-hyun Park, Do-young Kim, Jae-kyung Ko, Junsin Yi)

Abstract

Polycrystalline silicon thin film transistors (poly-Si TFTs) are used in a wide variety of applications, and will figure prominently future high-resolution, high-performance flat panel display technology. However, it was very difficult to fabricate high performance poly-Si TFTs at a temperature lower than 300°C for glass substrate. Conventional process on a glass substrate were limited temperature less than 600°C. This paper proposes a high temperature process above 750°C using a flexible molybdenum substrate deposited hydrogenated amorphous silicon (a-Si:H) and then crystallized a rapid thermal processor (RTP) at the various temperatures from 750°C to 1050°C. The high temperature annealed poly-Si film illustrated field effect mobility higher than 30 cm²/Vs, achieved I_{on} / I_{off} current ratio of 10⁴ and crystall volume fraction of 92%. In this paper, we introduce the new TFTs process as flexible substrate very promising roll-to-roll process, and exhibit the properties of high temperature crystallized poly-Si TFT on molybdenum substrate.

Key Words : Poly-Si, TFTs, high temperature, RTP, crystallization

1. 서 론¹⁾

비정질 실리콘 (amorphous thin film transistors, a-Si)을 이용한 TFT-LCD는 차세대 평판 표시장치로 경량, 박형으로 고화질 고정세를 실현하는 새로운 영상 표시장치이다. 비정질 실리콘 박막 트랜지스터(a-Si TFT)에 active layer 층으로 쓰이는 a-Si은 유리 기판위에 저온으로 직접 증착이 가능하고, 그 방법이 비교적 간단하다는 장

점을 가지고 있다¹⁾. 그러나, a-Si TFT의 경우 가시광에 대해 불안정한 특성을 보일뿐만 아니라, 이동도가 1cm²/Vs 미만에 불과하므로 외부에서 별도의 구동 IC로 구동하는 것이 불가피하다. 이러한 종래의 a-Si TFT의 단점을 해소할 수 있는 방안으로 양질의 다결정 실리콘 (polycrystalline silicon, poly-Si)을 활용한 박막 트랜지스터가 제안되었다. poly-Si TFT는 a-Si:H TFT에 비해서 높은 캐리어 이동도 특성을 가짐으로 인하여 구동능력이 우수할 뿐만 아니라 주변 구동회로를 직접 액정 패널에 내장시킬 수 있고, 자기정렬 (self-align)등의 고집적 반도체 공정 기술을 용이하게 적용시킬 수 있는 점 등 많은 장점이 있다.

성균관대학교 정보통신공학부 신소재연구실
(경기도 수원시 천천동 300,
Fax: 031-290-7159
E-mail : yi@yurim.skku.ac.kr

현재까지 poly-Si은 높은 온도에서 직접 증착하는 저압 화학 기상 증착법(low pressure chemical vapor deposition, LPCVD)이나 SPC^[2](solid phase crystallization) 방법을 이용하여 왔다. 이러한 방식으로 제작된 박막의 결정 크기나 전기적 특성은 우수하나 기판이 고온에도 견딜 수 있는 고가의 quartz를 이용해야만 한다는 단점이 있다. 최근에는 MIC^[3](metal induced crystallization), ELA^[5](excimer laser annealing)등을 통한, a-Si 증착후 결정화를 하는 방안이 연구되고 있다. 하지만, 이 또한 박막이 금속 불순물에 오염되는 문제점이 있고, laser beam size가 작기 때문에 균일도의 문제를 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 이 논문에서는 저가의 금속 기판을 이용하여 휘어짐이 가능하고, 고온 열처리가 가능하며, 균일도 문제를 해결한 새로운 공정을 제안한다. 또한, 고온 열처리된 실리콘 박막의 특성 및 poly-Si TFT의 특성을 분석한다.

2. 실험

이 실험에서 사용될 몰리브덴은 텅스텐과 더불어 녹는점이 2610℃ 정도로 높아 고온처리에 문제가 없으며, 극저온에서 고온에 이르기까지 기계적으로 강한 특성을 가지고 있다. 여기서 사용될 몰리브덴 기판의 두께는 약 150μm 정도이고, 다음과 같이 준비되었다. 몰리브덴 기판의 표면 불순물 제거를 위하여 1)H₃PO₄ : HNO₃ : DI water를 5 : 3 : 2의 비율의 식각 용액으로 표면 식각을 한 후, 2)BHF 용액에 담궈 표면의 자연 산화막을 제거하고, 3)DI water로서 여러 번 세척한 다음, 4)N₂ blow dry로 물기를 제거하여 준비하였다. 전체 제조 공정은 그림 1에 나타내었다.

n+ a-Si:H, a-Si:H, Silicon nitride (SiNx)층 증착에는 플라즈마 화학 기상 증착법(plasma enhanced chemical vapor deposition, PECVD)와 열선 화학 기상 증착법(hot-wire chemical vapor deposition, HWCVD^[6])를 이용하였다. hot-wire로 사용되는 증착 필라멘트는 직경이 0.5 mm 이고 길이가 10cm인 텅스텐 필라멘트를 1cm 간격으로 각각 평행한 5개를 설치하여 사용하였고, 기판과의 거리는 4cm로 고정하였다. CVD 시스템 chamber 압력은 증착에 앞서 turbomolecular pump를 이용하여 10⁻⁷ Torr 이하 고진공 상태에 이르게 한 후, MFC(mass flow controller)로 정확하게 가스 제어하여 증착하였다.

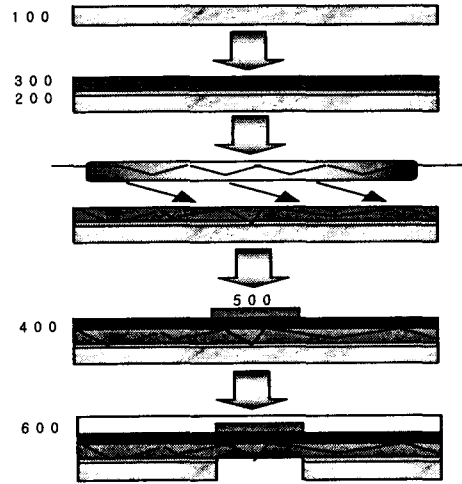


그림 1. 몰리브덴 기판을 이용한 박막 트랜지스터 제조 공정

Fig. 1. Fabrication process for proposed device 100: Molybdenum 200: n+ a-Si:H 300: a-Si:H400: SiNx 500: Gate electrode 600: paste

증착 조건은 표 1에서 나타내었다. 열처리는 rapid thermal processor(RTP)로써 수행하였으며, 열처리 온도를 750℃, 850℃, 950℃, 1050℃에서 각각 3분씩 열처리하였으며, 이에 따른 Raman spectroscopy와 XRD pattern 변화를 측정해 보았다. 그림 2는 이 실험에서 수행한 RTP 열처리 온도 곡선이다.

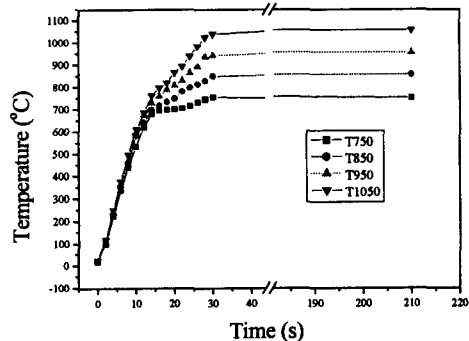


그림 2. RTP 열처리 온도 곡선
Fig. 2. RTP treatment profile

표 1. n+ a-Si:H, a-Si:H, SiNx 증착 조건.

Table 1. n+ a-Si:H, a-Si:H, SiNx deposition condition

	n+ a-Si:H	a-Si:H	SiNx
SiH ₄ (sccm)	5	25	30
NH ₃ (sccm)			60
H ₂ (sccm)	2	32	44
He (sccm)	100		
PH ₃ (sccm)	50		
RF power (W)	400		200
Pressure (mTorr)	140	57	160
Temp. (°C)	300	300	300
증착 방식	PECVD	HWCVD	PECVD
thickness (Å)	200	6000	1200

박막의 구조적 특성과 결정화 정도를 평가하기 위하여 Triple Raman System(John Yvon/T64000)을 이용하였고, 박막의 결정 방향을 조사하기 위하여 20-80도 범위에서 12kW의 입력값을 가진 Mac Science M18XHF-SRA의 X-ray Diffraction(XRD) system을 이용하였다. 전류-전압(I-V) 측정을 위하여 Fluke 5110B power source와 Keithley 617 multimeter 그리고 GP-IB interface를 이용한 computer system을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 RTP의 열처리 온도 변화에 따른 Raman spectroscopy 변화이다. 온도 상승에 따라 crystalline silicon(c-Si)의 peak인 520cm⁻¹에서 peak가 증가하는 것을 볼 수 있었다. 결정화도(crystallization volume fraction : Xc)는 a-Si peak인 480cm⁻¹과 c-Si peak인 520cm⁻¹에서의 intensity, I₄₈₀, I₅₂₀를 이용하여, $Xc = I_{520} / (I_{520} + \sigma I_{480})$ 의 식에 대해 계산했으며, grain size가 상당히 작다고 가정하여 σ 값을 1로 취하였다. 결과 105

0°C에서 결정화도 92%로 가장 큰 결정화 정도를 보였다.

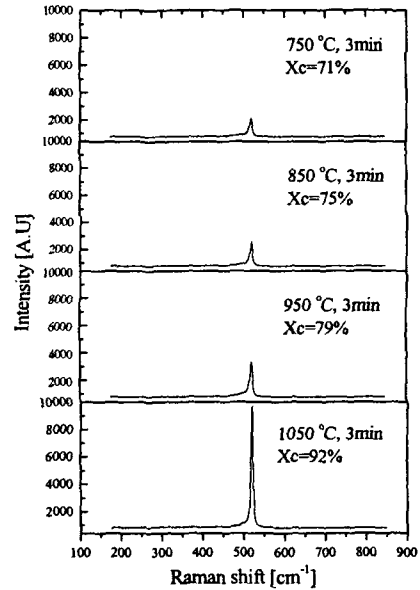


그림 3. 열처리 온도에 따른 Raman spectroscopy
Fig. 3. Raman spectroscopy

그림 4는 열처리 온도 변화에 따른 XRD pattern 변화를 보여주고 있다. 온도가 증가할수록 실리콘 결정이 (111), (220) 방향으로 성장되고 있다는 것을 알 수 있다.

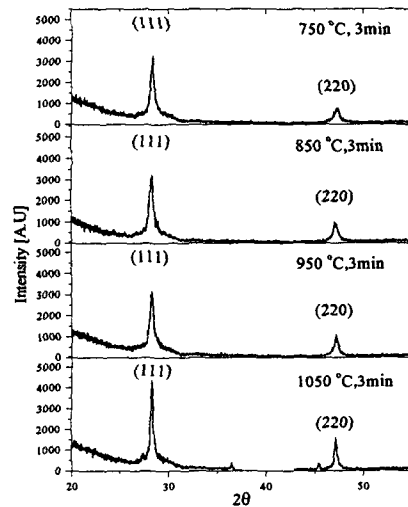


그림 4. 열처리 온도 변화에 따른 XRD pattern
Fig. 4. XRD pattern

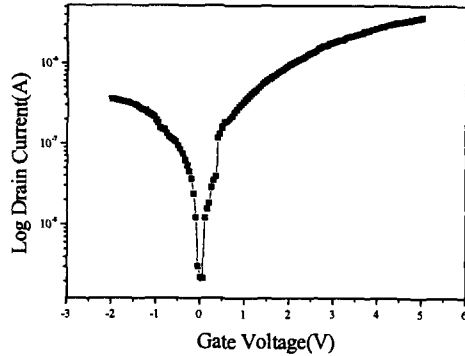


그림 5. 선폭비(W/L)가 200/50 μm 인 TFT 소자의 V_g - I_d 특성

Fig. 5. V_g - I_d characteristics

그림 5는 제작된 소자의 전기적 특성을 나타내었다. 이들 그림으로부터 계산된 전계 효과 이동도 (μ_{FE})는 $30 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 정도로 나타났다. 제작된 소자의 누설 전류가 큰 것은 절연막의 절연 특성이 좋지 못한 것도 있으나, 채널 영역의 grain boundary에 존재하는 midgap state와 연관되어 여기된 carrier가 누설 전류에 기여하는 것으로 보인다.

4. 결론

이 논문에서는 고온 처리된 양질의 다결정 실리콘 박막을 얻기 위하여 고온에서도 견딜 수 있는 몰리브덴 금속 기판재를 사용하였고, 이를 roll-to-roll process에도 적용 가능한 새로운 공정을 제안하였다. Raman spectroscopy, XRD 분석을 통해 결정화도가 최대 92% 정도로 우수하고, 양질이 다결정 실리콘 박막이 형성된 것으로 보인다. 향후 절연막 분석과 계면 처리등을 통해 특성을 개선해 나간다면, 양질의 다결정 실리콘 박막 트랜지스터를 제작할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] 이충훈, 김철하, "hydrogenated Amorphous Si의 응용", 전기전자재료학회지, 제 12권 제 2호, 1999.

- [2] Miltiadis K. et al. J. Appl. Phys. 63(7), p2260, 1989
- [3] Soo Young Yoon, Seong Jin Park, Kyung Ho Kim, Jin Jang, "Metal-induced crystallization of amorphous silicon", thin solid films, 383, p34~38, 2001
- [4] D. A. Neamen, "Semiconductor Physics and Devices", Irwin, p. 10, 1997.
- [5] R. A. Street, "Technology and Applications of Amorphous Silicon", Springer-Verlag, Berlin, p94, 2000
- [6] 유진수, 임동건, 고재경, 박중현, 이준신, "태양전지 응용을 위한 플라즈마 열선 화학기상증착법으로 성장한 미세결정 실리콘에 관한 연구", 한국전기전자재료학회 2001년도 하계학술대회 논문집, p632~635, 2001