

論文2003-40SD-7-3

Flexible 디스플레이로의 응용을 위한 플라스틱 기판 위의 박막트랜지스터의 제조

(Fabrication of thin Film Transistor on Plastic Substrate
for Application to Flexible Display)

裒 盛 燦 * , 吳 淳 澤 * , 崔 時 永 *

(Seong-Chan Bae, Sun-Tek Oh, and Sie-Young Choi)

요 약

25 μm 두께의 폴리이미드 박판 기판을 glass 기판에 부착하여 최대 온도 150°C에서 비정질 실리콘 TFT를 제작하였다. 본 논문은 plastic 기판 위에 TFT가 제작되는 공정 절차를 요약하고 glass 위에 제작된 TFT와 ON/OFF 전달특성과 전계효과 이동도를 서로 비교해 보았다. a-SiN:H 코팅층은 plastic 기판의 표면 거칠기를 감소시키는 중요한 역할을 하여 TFT의 누설전류를 감소시키고 전계효과 이동도를 증가시켰다. 따라서 a-SiN:H 코팅층을 이용하여 plastic 기판에 양질의 TFT를 제작하였다.

Abstract

Amorphous silicon (a-Si:H) based TFT process has been studied at the maximum temperature of 150 °C with 25 μm thick flexible and adhesive tape type polyimide foil substrate, which has benefit on handling a rugged, flexible plastic substrate through sticking simply it to glass. This paper summarize the process procedure of the TFT on the plastic substrate and shows its electrical characteristics in comparison with glass substrate using primarily the ON/OFF current ratio and the field effect mobility as the quality criterion. The a-SiN:H coating layer played an important role in decreasing surface roughness of plastic substrate, so leakage current of TFT was decreased and mobility was increased. The results show that high quality a-Si:H TFTs can be fabricated on the plastic substrates through coating a rough plastic surface with a-SiN:H.

Keyword : polyimide, TFT, a-SiN:H

I. 서 론

TFT(thin film transistor, 박막 트랜지스터)는 단결정 실리콘 웨이퍼 위에 제작되는 MOS(metal oxide

semiconductor)와는 달리 유리나 플라스틱, 세라믹 등 실리콘 이외의 기판에 직접 증착하여 회로를 구성할 수 있으며, 소자 사이의 절연이 쉬우며 능동소자와 수동소자의 동시 구성시 공정을 간단히 할 수 있다.

최근에는 수소화된 비정질 실리콘을 이용한 AMLCD(active matrix liquid crystal display)의 양산이 활발하게 진행되고 있으며, 또한 풀칼라(full color) 유기 EL 디스플레이(organic electro-luminescence display)의 개발이 많은 성과를 이루고 있다. 현재 제작되고 있는 TFT LCD의 경우 대부분 유리기판을 사용

* 正會員, 慶北大學校 電子·電氣工學部

(Department of Electronic and Electrical Engineering
Kyungpook National University)

接受日字:2003年2月17日, 수정완료일:2003年6月10日

하고 있는데, 유리 기판의 경우 기계적인 강도가 낮아 깨지기 쉽고, 무게가 무거우며, 디스플레이의 두께를 줄이는데 그 한계가 있다. 따라서 플라스틱 재질의 기판을 사용한 LCD와 OLED(organic light emitting diode)에 관한 연구가 점차 진행되고 있다. 플라스틱은 유리에 비해 가볍고 유연성이 뛰어나 잘 깨어지지 않고 매우 얇게 만들 수 있는 장점 때문에 주로 CDMA 단말기와 PCS 단말기, IMT2000 단말기, 휴대형 게임기기 등 각종 표시소자에 적용할 수 있다. 그러나 기존의 유리기판을 사용한 TFT의 제조공정은 300 °C~400 °C 정도의 온도에서 이루어지는 데, 이 온도 범위에서 플라스틱 기판을 이용하여 공정을 할 경우에 플라스틱의 변형을 가져오게 되므로, 저온에서 막질이 우수한 박막을 형성하는 것이 가장 큰 문제점으로 남아 있다. 또한 공정허용온도를 높일 수 있고, 공정에 사용되는 제반 화학약품에 변형을 일으키지 않는 플라스틱의 개발도 중요한 과제이다. TFT의 제작을 위해서는 박막 형성 공정인 PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition) 공정, 반응성 이온식각, photo-resist 공정, chemical etching 등의 부가적인 반도체 공정이 이루어지고 있다. 따라서 플라스틱 기판이 반도체 공정에 응용되기 위해서는 온도에 따른 변형(스트레스, 물성변화 등), 각종 박막 증착 및 식각 공정의 가스 및 화학약품에 대한 내성, photo-resist 공정에서의 응용가능성 등에 대해 많은 연구가 필요하다. 더불어 앞으로 대면적 디스플레이에 응용되기 위해서는 TFT 소자의 스위칭 특성(ON/OFF ratio, field effect mobility, stability 등) 개선에 노력해야 한다^[1-6].

본 연구에서는 플라스틱 기판을 이용하여 150 °C에서 TFT를 제작하는 과정과 좀 더 효율적인 공정을 하기 위한 방법을 제시하였다. 플라스틱 표면의 거칠기를 감소시키고 화학약품과 수증기의 침투를 막을 수 있으며, 기계적인 지지대로서의 역할을 할 수 있는 완충층으로 a-SiN:H를 플라스틱 표면에 코팅하였다. 이렇게 제조된 TFT의 전기적인 특성을 같은 조건에서 유리기판 위에 제작된 TFT와 비교하였다.

II. 실험

<그림 1>은 본 연구에서 제작된 역스태거드형 비정질 실리콘 TFT의 구조를 나타내고 있다. 막의 두께는 그림과 같이 게이트 전극으로 쓰인 Al이 1000 Å, 소자

에서 절연막으로 쓰인 a-SiN:H 막이 2050 Å, 채널이 형성되어 활성층으로 사용된 a-Si:H 막이 2000 Å, 소스와 드레인과의 저항 접촉을 위한 n+ a-Si:H 막을 500 Å, 소스와 드레인 전극으로 쓰인 Al이 5000 Å 두께로 형성하였다. PECVD를 이용한 3가지 박막은 150 °C의 저온에서 성장되었으며, 게이트 절연막과 실리콘층의 계면 결함을 최소화 하기 위해서 수소 플라즈마 처리를 행 하였다^[6]. <그림 1(a)>는 플라스틱 기판 위에 제작된 TFT의 구조이며, <그림 1(b)>는 유리 기판, <그림 1(c)>는 a-SiN:H로 코팅된 플라스틱기판의 경우를 나타낸다. <그림 1(c)>에 대해 플라스틱 코팅막의 두께는 약 2000 Å이다.

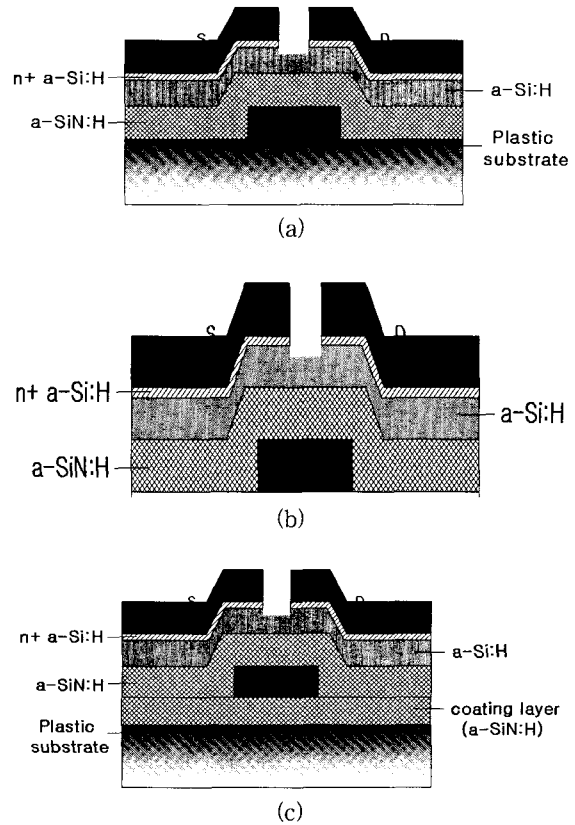


그림 1. 제조된 역스태거드형 비정질 실리콘 TFT의 단면도 (a) 플라스틱기판, (b) 유리기판, (c) a-SiN:H로 코팅된 플라스틱기판

Fig. 1. Cross-section diagram of inverted staggered amorphous silicon thin film transistor on (a) plastic, (b) glass, and (c) a-SiN:H coated plastic substrate.

TFT를 제조하기 위한 기판으로 Kapton[®] 100 PST

film과 Corning 1737 유리 기판을 준비하였다. 25 μm 두께의 아주 얇은 기판 상에 균일한 특성을 가진 TFT를 제조하기 위해서는 공정 중에 플라스틱 기판을 평탄하게 유지해야할 필요가 있다. Kapton[®] 100 PST film은 25 μm 의 폴리이미드(polyimide)에 50 μm 의 접착용 실란트(sealant)가 입혀져 있는 접착식 폴리이미드 테이프로서 유리기판을 공정을 위한 지지대로 사용하여 그 위에 접착하여 아주 편리한 공정을 할 수가 있었다.

Kapton[®] 100 PST film을 Corning 1737 유리 기판에 접착하기 전에 이물질들을 제거하고 접착력을 향상시키기 위해 유리기판을 아세톤, 메탄올, DI water (deionized water)에 각각 5분씩 세정을 하였다. a-SiN:H 코팅된 플라스틱 기판은 플라스틱과 유리기판을 접착한 후, PECVD를 사용하여 a-SiN:H를 증착하여 제조하였다.

TFT를 제조하기 전에 플라스틱 기판과 특성 비교를 위한 유리기판(Corning 1737)을 똑같이 아세톤, 메탄올, DI water(deionized water)에 각각 5분씩 세정 및 건조시켰다. 본 실험에서 사용한 플라스틱 기판은 PR stripper에 변형을 가져와서 그 위에 증착된 막을 균열시켰다. 그래서 포토레지스터를 제거하기 위해 아세톤을 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

역스태거드형 TFT의 경우 a-Si:H/a-SiN:H 계면에서의 거칠기가 소자의 채널 이동도에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있으므로^[7], 증착된 a-SiN:H 막의 표면 거칠기를 조사하기 위해 AFM 측정을 하였다. <그림 2>는 각각의 기판 위에 게이트 금속인 Al을 1000Å 증착하고, 그 위에 PECVD 법으로 a-SiN:H 박막을 2050Å 증착한 시료의 AFM 측정 결과이다. 측정 범위는 x, y 축이 각각 2 μm , z 축은 5 nm이다. <그림 2>에서 플라스틱(Kapton[®] 100 PST) 기판 위에 증착된 게이트 절연막 <그림 2(a)>의 경우 RMS(root mean square) roughness는 1.001 nm였고, 유리기판(Corning 1737) <그림 2(c)>의 경우, 0.233 nm, SiNx 코팅된 플라스틱(Kapton[®] 100PST) 기판 <그림 2(b)>의 경우 0.534 nm였다. 플라스틱 기판의 경우 유리 기판의 경우보다 매우 큰 거칠기를 나타내었고, a-SiN:H 코팅된 플라스틱 기판의 경우 플라스틱기판에서보다 거칠기가

더 작다는 것을 볼 수 있었으며 코팅되지 않은 플라스틱에 비해 거칠기가 2배 가량 감소하였다.

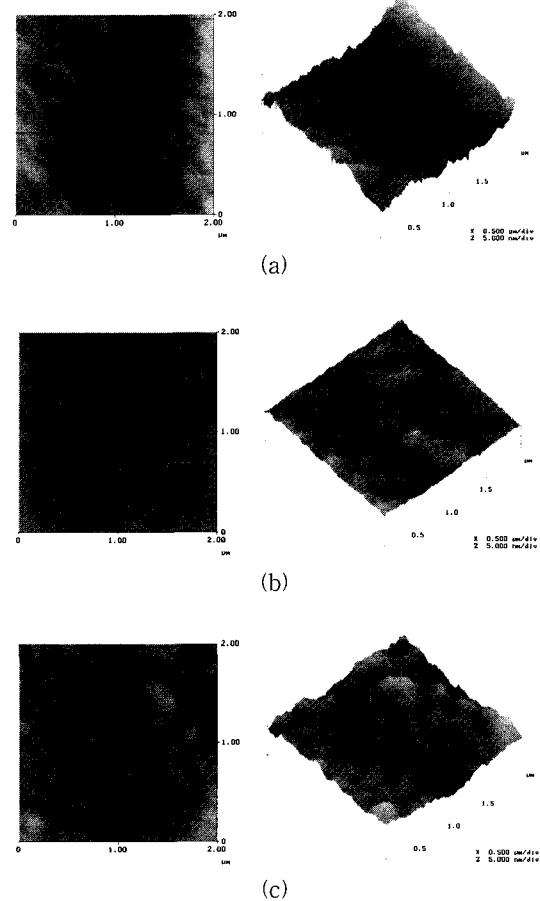


그림 2. 각각의 기판에 따른 a-SiN:H 표면의 AFM 사진 (a) 플라스틱 기판, (b) 유리기판, (c) SiNx 코팅된 플라스틱 기판

Fig. 2. AFM views of a-SiN:H with each substrates. (a) plastic substrate, (b) glass substrate, and (c) SiNx coated plastic substrate.

<그림 3>은 플라스틱, 유리, a-SiN:H가 코팅된 플라스틱 기판 각각에서 제조된 TFT의 전기적인 특성을 보여주고 있다. <그림 3(a)>는 V_g 를 0 V ~ 25 V 까지 5 V씩 증가시킴에 따른 I_d - V_d 특성을 나타내고 있고, <그림 3(b)>는 V_d 를 15 V로 고정시키고 게이트 전압을 변화시키면서 트랜지스터의 스위칭 특성을 측정 한 그래프이다. <그림 3(c)>는 트랜지스터의 포화상태에서 전달특성을 보기 위해 $V_g = V_d$ 로 두었을 때의, V_g - $I_d^{1/2}$ 특성 곡선을 나타내고 있다.

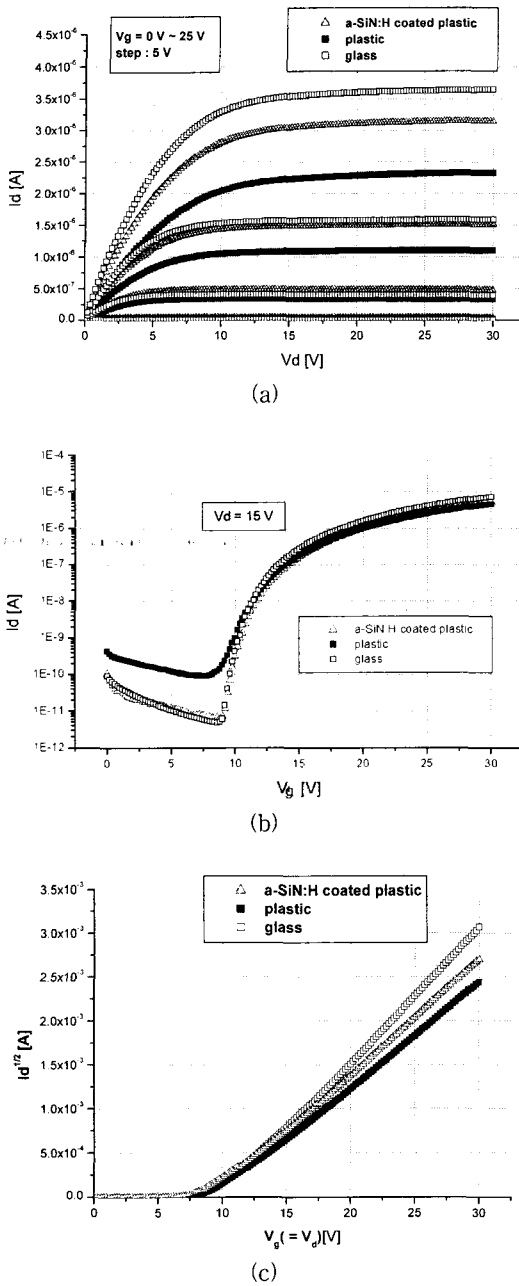


그림 3. 세 가지 기판 위에 제조된 TFT의 전기적 특성 (a) 출력 전류-전압 특성, (b) 스위칭 특성, (c) $V_g (=V_d)$ 에 따른 $\sqrt{I_d}$ 특성 곡선

Fig. 3. Electrical characteristics of thin film transistor at various substrates. (a) I_d - V_d characteristic, (b) switching characteristic, and (c) $V_g - \sqrt{I_d}$ curve.

플라스틱에 제조된 TFT는 출력 특성과 ON/OFF current ratio, 전달 특성이 모두 유리기판보다 좋지 않

음을 볼 수 있다. ON/OFF current ratio는 약 10^4 정도로 유리기판의 경우보다 한 차수 정도가 낮은 것으로 나타났다. 플라스틱 기판의 거칠기가 크고, 열 팽창에 의한 스트레스가 게이트 절연막에 직접 인가됨으로 인한 결함밀도의 증가가 누설전류를 증가시키고 이동도를 감소시킴으로 인해 출력전류를 감소시켰을 것으로 보인다. 반면에 a-SiN:H로 코팅된 플라스틱 위에 제조된 TFT는 출력특성이 플라스틱의 경우보다 개선되었고, ON/OFF current ratio도 2×10^5 으로 플라스틱의 경우보다 좋게 나타났다. 거칠기의 결과로부터 a-SiN:H 코팅막이 게이트절연막의 계면 거칠기의 감소가 계면 결함밀도를 감소시키고, 이로 인해 누설전류의 감소와 출력전류의 증가를 가져왔다고 볼 수 있을 것이다^[7].

<표 1>에 위의 측정결과를 바탕으로 각각의 기판 상태에 따른 ON/OFF current ratio와 포화영역에서의 전계효과 이동도를 비교하여 나타내었다. ON/OFF current ratio는 게이트 전압이 20 V일 때를 기준으로 하여 비교하였다. 포화 상태에서 전계효과 이동도를 구하기 위해 전달 특성그래프($V_g - I_d^{1/2}$)의 ON 상태에서의 기울기를 이용해서 계산하였다.

표 1. 각각의 기판에 대한 전기적 특성 비교
Table 1. Comparison of electrical properties with each substrates.

substrate characteristic	glass	plastic	a-SiN:H coated plastic
ON/OFF current ratio	5×10^9	1×10^4	2×10^9
field effect mobility [$\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$]	0.082	0.045	0.061

IV. 결 론

본 연구에서는 PECVD 장비를 이용하여, 150 °C의 저온에서 플라스틱 기판에 TFT를 제조하는 방법을 제시하고, 그 특성을 유리기판과 비교하여 조사하였다. 그리고 기판의 상태에 따른 a-Si:H/a-SiN:H 계면 상태의 변화를 관찰하기 위해 AFM 측정을 실시하였다.

플라스틱 기판의 a-Si:H/a-SiN:H 계면 거칠기는 RMS roughness로 1.001 nm였으며, a-SiN:H 코팅된 플라스틱 기판과 유리기판은 각각 0.233 nm, 0.534 nm로 나타났다. 플라스틱 기판에 바로 제조된 TFT는

ON/OFF current ratio가 10^4 이었고, 유리기판에 제조된 TFT는 5×10^5 , a-SiN:H 코팅된 플라스틱에서는 2×10^5 정도로 코팅되지 않은 플라스틱의 경우보다 한 차수 정도가 높은 개선된 특성을 나타내었다. 전계효과 이동도는 플라스틱의 경우 0.045, 유리기판의 경우 0.082, a-SiN:H 코팅된 플라스틱 기판의 경우 $0.061 \text{ cm}^2/\text{v} \cdot \text{s}$ 이었다. 이 결과로부터 플라스틱 기판에 바로 제작되어진 TFT는 유리기판에 비해 특성이 모두 열악하고, 플라스틱 기판이 유리기판에 비해 거칠고 열적 스트레스를 많이 받기 때문에 TFT 내부의 막 특성이 좋지 않음을 알 수 있다.

전반적인 특성을 살펴보면 플라스틱 위에 바로 제조된 TFT의 경우 유리 기판에 제조된 TFT에 비해 누설 전류가 크고 출력전류가 작으며, 전계효과 이동도 또한 매우 작다. 그러나 a-SiN:H 막으로 코팅된 플라스틱 위에 제조된 TFT의 누설전류는 유리기판과 큰 차이가 없고 출력 전류는 약간 작게 나타났다. 출력전류가 작은 것은 계면 근처를 통해 흐르는 전자의 이동도가 작기 때문인 것으로 보인다. a-SiN:H 코팅된 플라스틱 위에 제조된 TFT는 플라스틱 위에 제조된 TFT보다 전기적인 특성이 모두 우수한 것으로 나타났다. 이것은 a-SiN:H막이 거칠기를 개선하고 플라스틱이 게이트 절연막에 직접적으로 인가하는 스트레스를 완화시켜 TFT 소자의 막내에 결함을 다수 감소시켰기 때문인 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] Andrei Sazonov, Denis Stryahilev, and Arokia Nathan, "Low Temperature a-Si:H TFT on

Plastic Films:Materials and Fabrication Aspects", Proc. 23rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICROELECTRONICS, vol 2, NIS YUGOSLAVIA, 12-25 MAY, 2002.
 [2] Paul G. Carey, Patrick M. Smith, Steven D. Theiss and Paul Wickboldt, "Polysilicon thin film transistors fabricated on low temperature plastic substrates" J. Vac. Sci. Technol. A 174(4), Jul/Aug 1999.
 [3] J. N. Sandoe, "20.1: Invited Paper: AMLCD on Plastic Substrates" SID 98 DIGEST pp. 293~296.
 [4] Martin J. Powell, "The physics of amorphous-silicon thin-film transistor," IEEE Electron devices., vol. 36, no. 12, pp. 2753~2763, 1989.
 [5] Toshihisa Tsukada, Liquid-Crystal Displays Addressed by Thin-Film Transistors, Gordon and Breach Publishers, pp 51~57, 1996.
 [6] Seong-Chan Bae, Sun-Tek Oh, Lee Soon Park, Sie-Young Choi and Kyo-Ho Moon, "Effects of Deuterium-Plasma Treatment at the a-Si:H/a-SiN:H Interface on the Field-Effect Mobility of Thin-Film Transistor", Journal of the Korean Physical Society Vol. 41, No. 6, pp1063, 2002.
 [7] H. Uchida, K. Takechi, S. Nishida, and S. Kaneko, "High-mobility and high-stability a-Si:H thin film transistors with smooth SiNx/a-Si interface," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 30, No. 12B, pp 3691, 1991.

저 자 소 개



裴 盛 燦(正會員)
 1997년 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1999년 : 동대학 전자공학과 반도체전공 졸업(공학석사). 2003년~현재 : 경북대학교 전자공학과 박사과정. <주관심분야 : TFT 공정, porous polysilicon

吳 淳 澤(正會員)
 1999년 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2003년 : 경북대학교 전자공학과 반도체 전공 졸업(공학석사). 2003년~현재 : LG 전자. <주관심분야 : plastic TFTLCD, PDP>

FED>

崔 時 永(正會員) 第40卷 SD編 第 2號 參照