

폴리머 위에 엑시머 레이저 방법으로 결정화된 다결정 실리콘의 특성

김경보¹, 이종필², 김무진^{2*}, 민영실³

¹인하공업전문대학 금속재료과 교수, ²중원대학교 전기전자공학전공 교수,
³중원대학교 제약공학과 교수

Characteristics of Excimer Laser-Annealed Polycrystalline Silicon on Polymer layers

Kyoung-Bo Kim¹, Jongpil Lee², Moojin Kim^{2*}, Youngsil Min³

¹Professor, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Inha Technical College

²Professor, Department of Electrical and Electronic Engineering, Jungwon University

³Professor, Department of Pharmaceutical Science, Jungwon University

요약 본 논문은 유기물로 이루어진 폴리머 기판상에 저온 다결정 실리콘 박막트랜지스터 제조방법에 대해 연구하였다. 먼저, 폴리머 기판에 화학증착방식으로 비결정 실리콘 박막을 증착하였고, 열처리 장치인 퍼니스로 탈수소 및 활성화 공정을 430도에서 2시간동안 진행하였다. 이후 엑시머 레이저를 이용하여 결정화를 진행하여 다결정 실리콘 반도체 막을 제조하였다. 이 박막은 박막트랜지스터 제작을 위한 활성층으로 사용하였다. 제작된 p형 박막트랜지스터는 이동도 $77\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, on/off 전류비는 10^7 이상의 동작특성을 보였고, 이는 결정화된 박막내부에 결함 농도가 낮음을 의미한다. 이 결과로 유기물 기판상에 엑시머 레이저로 형성된 다결정 실리콘으로 제작된 전자소자는 플렉서블 AMOLED 디스플레이 회로 형성에 최적의 기술임을 알 수 있다.

주제어 : 폴리머, 엑시머 레이저, 다결정 실리콘, 박막트랜지스터, AMOLED 디스플레이

Abstract In this work, we investigated a low temperature polycrystalline silicon (LTPS) thin film transistors fabrication process on polymer layers. Dehydrogenation and activation processes were performed by a furnace annealing at a temperature of 430 °C for 2 hr. The crystallization of amorphous silicon films was formed by excimer laser annealing (ELA) method. The p-type device performance, fabricated by polycrystalline silicon (poly-Si) films, shows a very good performance with field effect mobility of $77\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ and on/off ratio current ratio $> 10^7$. We believe that the poly-Si formed by a LTPS process may be well suited for fabrication of poly-Si TFTs for bendable panel displays such as AMOLED that require circuit integration.

Key Words : Polymer, Excimer Laser, Polycrystalline Silicon, Thin Film Transistor, AMOLED Display

1. 서론

저온 공정을 이용한 다결정 실리콘(또는 폴리실리콘)을 이용한 박막트랜지스터(TFT: Thin Film Transistor)는

Fig. 1과 같이 대면적 AMOLED (Active Matrix Organic Light Emitting Diode) 디스플레이의 구동소자로 많은 연구가 이루어지고 있다[1-4].

*This work was supported by the National Research Foundation (NRF) of Korea (No. 2017R1A2B4001979 and 2017R1A2B4006487).

*Corresponding Author : Moojin Kim (moojinkim7@naver.com)

Received February 6, 2019

Revised February 27, 2019

Accepted March 20, 2019

Published March 28, 2019



Fig. 1. Photographs showing (a) Samsung Galaxy S6 Edge, (b) Samsung Gear S2 Classic, and (c) Samsung Galaxy Tab S 8.4-inch.

다음 세대의 디스플레이는 모든 외부 회로를 기판상에 제조하는 것이다. 또한, 플라스틱 기판은 글라스로 사용되는 기판과 비교했을 때 더 가볍고, 휘어짐이 가능하고 값이 싸기 때문에 Fig. 2와 같이 이와 같은 기술에 대해 많은 연구가 진행되고 있다[5-8]. 따라서 플라스틱 기판상에 다결정 실리콘 기반의 박막트랜지스터를 제조하는 기술은 중요하다. 비정질 실리콘을 다결정 실리콘으로 바꾸는 결정화 기술 중 현재 가장 광범위 양산에 적용되고 있는 것은 자외선 파장을 가진 엑시머 레이저를 비정질 실리콘에 조사하는 기술이다[1,2]. 또한, 이 방법은 국소영역을 녹여서 나노시간내에 응고가 일어나기 때문에 하부 기판에의 영향이 적어, 유기물로 이루어진 플렉서블 기판상에 형성된 비정질 실리콘의 결정화에 대한 가능성을 제시한다. A. Pecora 그룹은 폴리머 기판상에 폴리실리콘을 이용한 박막트랜지스터를 제작하였으며, 보다 자세하게는 실리콘 기판에 스펀코팅기술을 이용하여 폴리머를 형성하고 전자소자를 제조한 후 레이저를 이용하여 폴리머 기판을 실리콘으로부터 탈착하는 방법을 이용하였다[9]. 하지만, 비정질 실리콘을 퍼니스 장비를 이용하여 탈수소 및 활성화 공정을 진행한 연구 결과는 없으며, 그 이유는 유기물은 400도 이상의 고온에서 건디는 것이 불가능하기 때문이다. 본 연구에서는 레이저 결정화 전 비정질 실리콘을 탈수소하기 위해 430도 온도에서 2시간 열처리를 진행하였으며, 또한, 폴리실리콘 내에 주입된 도펀트들을 활성화시키기 위해서 같은 조건으로 열처리했다. 레이저로 결정화된 폴리실리콘은 scanning electron microscopy (SEM), atomic force microscopy (AFM) 기법들을 이용하여 표면 형상, 입자 크기 및 결정 구조에 대해 분석을 진행하였다. 또한, 이 반도체 막을 기반으로 제조된 박막트랜지스터의 특성 및 플렉서블 AMOLED 디스플레이에 대한 연구를 진행하였다.

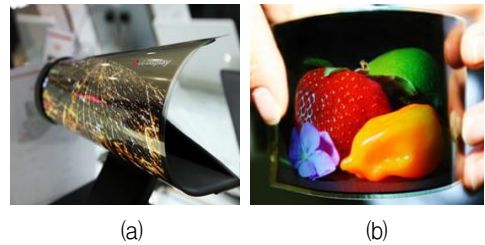


Fig. 2. Flexible AMOLED panels of (a) LG display and (b) Samsung display.

2. 본론

2.1 실험 방법

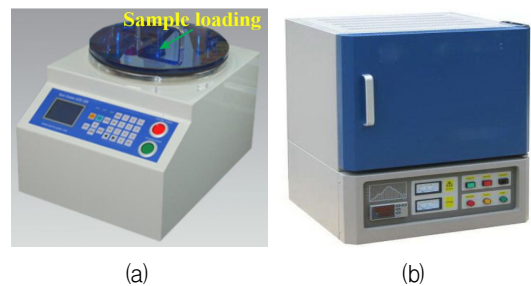


Fig. 3. Images of (a) Spin coater (Rotation speed: 0~8000 rpm, Hold time: 1~999 sec, Sample size: up to 4 inch) and (b) Furnace (Temperature: up to 1000 °C, Atmosphere: N₂, Ar, Air) equipments.

박막트랜지스터를 제작하기 위해 먼저, 고내열성 글라스 기판을 이용하여 스펀 코팅 Fig. 3(a)으로 Fig. 4(a)의 폴리머 용액을 스폰이드로 도포하고, 퍼니스 Fig. 3(b) 장비로 열처리를 진행하면, 약 15 μ m 두께의 노란색 유기막 층이 Fig. 4(b)에서와 같이 글라스 상에 형성된다.

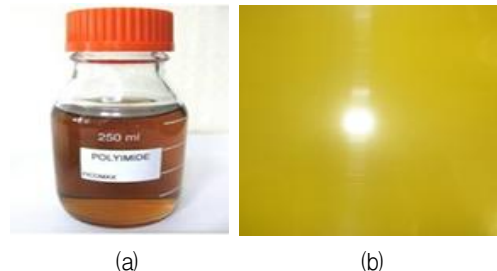


Fig. 4. (a) Polymer solution (Fully imidized and excellently chemical resistance, Viscosity: 60~80 Pa) and (b) Polymer film (Thickness: 15 μ m, color: yellowish) coated on glass substrate.

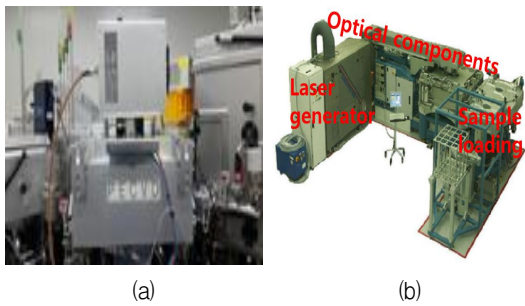


Fig. 5. Images of (a) PECVD (RF frequency: 13.56 MHz, Process temperature: 100~400 °C) and (b) ELA (Wavelength: 308 nm, Frequency: up to 300 Hz) equipments.

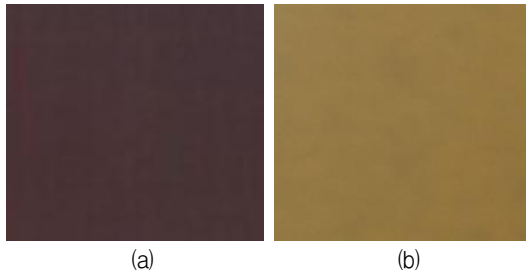
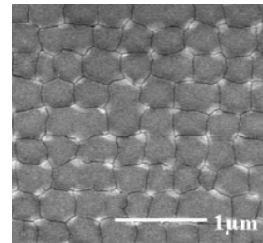


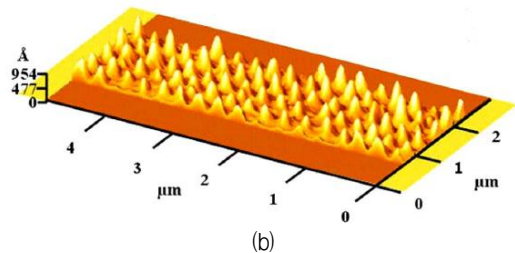
Fig. 6. Images of (a) 50-nm amorphous silicon and (b) 50-nm polycrystalline silicon film crystallized by XeCl laser processing.

다음으로 400도 이상의 온도에서 진행되는 박막트랜지스터 공정중에 글라스 내의 불순물이 박막트랜지스터를 구성하는 막에 확산하는 것을 막기 위한 버퍼층(Buffer layer)으로 실리콘 질화막(SiNx)와 실리콘 산화막(SiO₂)를 plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD) 방법[Fig. 5(a)]을 이용하여 증착하고 같은 방법으로 50nm 두께의 비정질 실리콘 층을 제작하면 Fig. 6(a)와 같다. 표면은 글라스와 같이 결정 입자가 존재하지 않는다. 후속 공정에서 진행될 Fig. 5(b)의 엑시머 레이저 결정화시 박막이 뜯겨져 나가는 것을 막기 위해 질소 분위기 430도 온도에서 약 2시간 정도 열처리[Fig. 3(b) 장비 사용]를 하면 비정질 실리콘 내부의 수소가 제거된다. 이미 코팅되어 있는 폴리머막은 유기물로 이루어졌기 때문에 일반적으로 200도 이상의 고온에서는 견딜 수 없지만 본 연구진이 개발한 열처리 방법을 통해 400도 이상에서도 견딜 수 있도록 하였으며, 이후 308nm 파장의 XeCl 레이저를 이용하여 비정질 실리콘 층을 조사하면 Fig. 6(b)와 같은 다결정 실리콘으로 막 특성이 변한다. 이 결과를 분석 장치로 관찰하였다. 먼저

SEM을 통해 결정립을 Fig. 7(a)와 같이 확인하였으며 300nm 정도 크기가 전 영역에 균일하게 형성되어 있음을 파악하였다.



(a)



(b)

Fig. 7. (a) SEM plane-view image and (b) AFM surface topography for poly-Si films in the laser irradiation area.

추가로 표면 거칠기를 AFM 장비를 측정하였으며, Fig. 7(b)와 같이 root mean square 값이 약 16.1nm임을 알 수 있었다. 이는 레이저 조사전의 2nm보다 약 6배 이상 증가한 값이며, 그 이유는 레이저를 흡수한 비정질 실리콘은 nano-second 시간 동안 액체로 변했다가 고체로 응고되면서 부피차이로 인해 결정립 사이가 솟아오르는 돌출 때문이다. 이와 같은 현상 때문에 게이트 절연막의 파괴전압(Breakdown voltage)와 같은 특성이 나빠지며 또한, 박막트랜지스터에서 hysteresis를 야기하므로 초고해상도 AMOLED 디스플레이 제작시 해결해야 할 중요한 문제다.

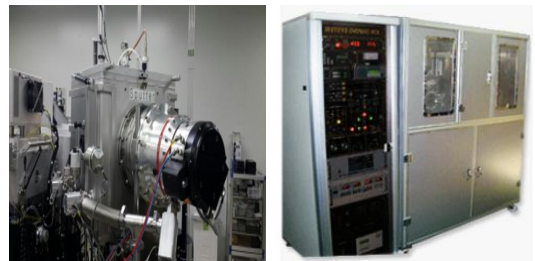


Fig. 8. Images of (a) Sputter (RF frequency: 13.56 MHz, Temperature: up to 150 °C) and (b) Ion shower (Acceleration voltage: 1 kV~ 15 kV, phosphorous (P) or boron (B) doping) equipments.

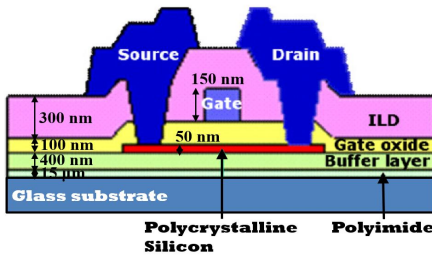


Fig. 9. Structure of a p-type TFT device.

레이저 결정화 진행 후, 게이트 절연막(Gate oxide)로 작용하는 실리콘 질화막과 산화막을 PECVD로 성장시키고, 게이트로 동작할 수 있도록 sputter[Fig. 8(a)]를 이용하여 금속 절연막을 증착하여 포토와 에칭 공정으로 이 막의 패터닝을 통해 외부에서 전압을 공급할 수 있도록 하였다. 소스(Source)와 드레인(Drain) 전극과 ohmic 특성을 나타내도록 이온 도핑 장비[Fig. 8(b)]로 boron이온을 주입, 400도 이상의 온도에서 열처리(활성화)를 통해 폴리실리콘 물질을 도체화시켰으며, 절연막(ILD: Interlayer deposition)을 추가 형성하고 소스 및 드레인 전극을 구현하면 최종적으로 Fig. 9에서와 같은 p형 박막트랜지스터 소자 제작이 완료된다. 이후 플렉서블 기판으로 폴리머가 활용되기 위해서는 글라스상에 제작된 박막트랜지스터를 탈착(Delamination)하는 공정이 진행되어야 한다. 이렇게 하면 폴리머가 가장 아래층이 되고 이 위에 박막트랜지스터가 만들어지기 때문에 전체적으로 종이처럼 휘 수 있는 상태가 된다. 이 공정은 앞에서 예시했던 Fig. 5(b)의 엑시머 레이저로 글라스 뒷면을 조사하면, 폴리머 소재가 에너지를 흡수하게 되어 탈착을 쉽게 할 수 있다[10].

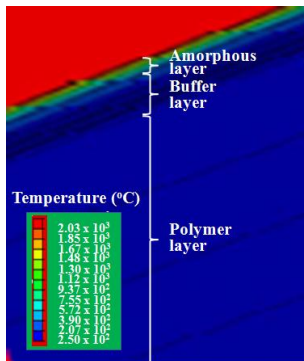


Fig. 10. Temperature evolution after 10 seconds of laser pulse-on process: temperature gradient of the a-Si/multilayer film/polymer layer.

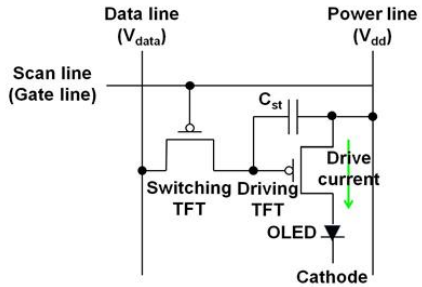


Fig. 11. Pixel circuit design. The green arrow indicates the direction of the current flowing in the OLED by the driving thin film transistor.

2.2 레이저 결정화 시뮬레이션

레이저 결정화에 따른 하부 층 및 기판의 영향성을 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인하였다. 그 이유는 레이저 조사된 비정질 실리콘은 순간적이지만, 액체로 변하기 때문이며, 이는 최상부의 온도가 아주 높게 올라감을 의미한다. Energy balance 방정식을 이용하여 진행하였으며, 펄스 레이저 조건은 shot과 shot 사이의 overlap은 95%, 빔폭은 0.4mm, 주파수는 100Hz, 레이저 on시간은 50nsec, 에너지는 350mJ/cm², 공정 시간은 10초 지났을 때로 가정하였으며, 이 시간이면, 가장 높은 온도 값이 거의 변하지 않는 상태이기 때문이다. 프로그래밍은 ABQUS로 상용 소프트웨어다. 시뮬레이션시 latent heat은 고려되지 않았는데, 만약 이 열을 포함시킨다면 온도가 약간 내려가는 영향이 있을 것이다. 이 부분을 제외하면 모든 내용을 고려하였으며, 그 결과는 Fig. 10과 같다. 비정질 실리콘 표면은 약 2000도 이상까지 상승하지만, 유기물로 구성된 폴리머 층은 200도 이하가 됨을 알 수 있다. 2.1 절의 실험 방법에서 설명하였듯이 비정질 실리콘 내부의 수소를 제거하는 공정과 도핑 후 열처리 공정 온도가 430도이며, 이 온도에서 폴리머가 영향을 받지 않았기 때문에 결정화시 레이저에 의해서도 변형이 없음을 예상할 수 있다. 이 결과는 레이저 결정화에 의해 200도 이상에서 내열성을 가지는 유기막은 글라스위에 균일한 코팅이 가능하고 유리와의 CTE(Coefficient of Thermal Expansion)가 비슷하다면 플렉서블 기판으로의 사용 가능성이 있다는 것을 증명하는 중요한 증빙자료로 활용이 가능하다.

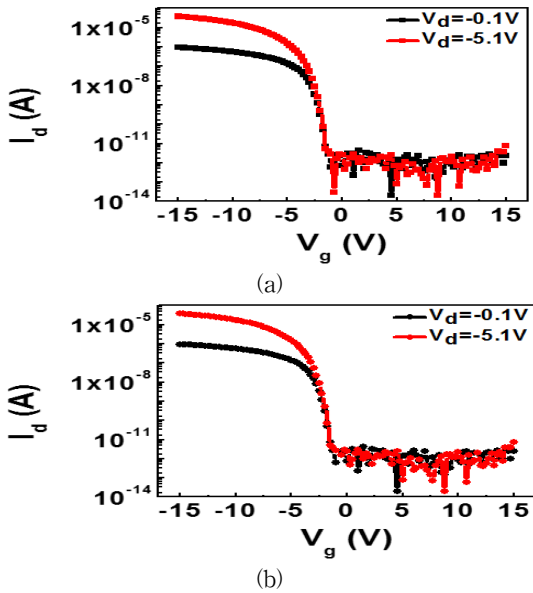


Fig. 13. Transfer curve of (a) before and (b) after delamination for p-type TFTs.

2.3 탈착 전·후 박막트랜지스터의 특성

박막트랜지스터는 OLED 광학 소자를 아날로그로 구동시키기 때문에 탈착 전·후 특성 차이가 발생하면 안된다[11]. Fig. 11은 AMOLED 디스플레이 픽셀 하나의 p형 박막트랜지스터로 구성된 구동 회로이다. 2개의 박막트랜지스터와 1개의 커패시터, OLED 소자가 있다. Switching 박막트랜지스터는 스캔 라인(게이트 라인)에 공급된 전압에 따라 on, off, 즉 디지털로 동작하지만, driving의 경우 데이터 라인(V_{data})에 적용되는 전압에 따라 OLED 소자에 흐르는 전류가 변하기 때문에 (이 전류값에 의해 OLED 소자의 빛의 세기가 변함) 아날로그로 동작한다. 이 전자소자들의 특성은 Fig. 12의 probe station 장비를 이용하여 전압과 전류에 대한 그래프를 얻을 수 있으며, 이로부터 박막트랜지스터의 특성을 계산할 수 있다[12,13].



Fig. 12. Image of probe station (Voltage: $-200V \sim 200V$, Current level: $< 10^{12}$ A) equipment.

Table 1. Measured device parameters of the p-type TFTs for $W/L = 7/7 \mu m$. Values averaged over nine TFTs.

TFT parameter	V_{th} (V)	μ_{fe} (cm^2/Vs)	S factor (V/dec)	I_{on} ($A/\mu m$)
Delamination				
Before	-2.2	77	0.3	1.45×10^{-4}
Std.	0.05	3.05	0.01	0.15
After	-2.2	77	0.3	1.45×10^{-4}
Std.	0.05	3.04	0.01	0.16

먼저, 탈착 전 p형 박막트랜지스터의 전류 전압 그래프, transfer curve(게이트 전압에 따른 드레인 전류)에 대한 결과는 Fig. 13(a)과 같이 확인되었으며, 탈착 후는 Fig. 13(b)와 같다. 측정 조건은 드레인 전압은 $-0.1V$, 게이트 전압은 $-15V$ 에서 $15V$ 까지 $0.03V$ step으로 변화시키면서 측정하였다. 추가적으로 드레인 전압을 $-5.1V$ 로 하고 게이트 전압은 동일하게 변화시켰다.

탈착 전·후 소자 특성 차이가 없음을 확인할 수 있으며, 보다 정확하게 판단하기 위해 그래프로부터, 트랜지스터의 파라미터(문턱전압, 이동도, S factor, on current)들을 추출하였다. 문턱전압(V_{th})는 드레인 전극에 $-5.1V$ 전압을 가하고, 드레인 전류가 $10nA$ 흐를 때의 게이트 전압을 의미한다. 이동도(Mobility) μ_{fe} 는

$$\mu_{fe} = \frac{Lg_m}{WC_{ox}V_d} \quad (1)$$

로 표현되며, g_m 은 transconductance, C_{ox} 는 게이트 산화막의 단위 면적당 커패시턴스, W 와 L 은 박막트랜지스터의 채널 폭과 길이를 나타낸다. S factor는 반도체 물질내의 불순물과 연관된 파라미터다[14]. 또한, on current는 드레인과 게이트 전압이 같은 때 드레인 전류로 정의한다. 그 결과는 Table 1과 같다. 9개 소자의 평균값과 표준편차가 거의 동일함을 알 수 있다. 이 결과로부터 레이저 탈착 방법이 박막트랜지스터 소자 특성에 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있는 중요한 결과이다. 뿐만 아니라, 다른 결정화 방법으로 제작된 소자들도 다 우수한 특성을 보인다[15].

3. 결론

본 논문에서는 폴리머 기판상에 레이저 결정화를 통

해 폴리실리콘을 형성하고 이를 이용하여 박막트랜지스터를 제조하였다. 탈수소와 활성화 열처리를 400도 이상에서 진행함에도 유기물 기판에 변형과 관련된 영향이 없음을 확인하였다. 또한, 레이저 결정화시 상부 온도는 2000도 이상까지 상승하였으나, 하부 폴리머 기판은 200도 이하로 시뮬레이션 결과로 확인되었으며, 400도 이상에서 건디는 유기물 기판은 레이저 공정에 의해 열변형은 전혀 없음을 예상할 수 있다. 탈착 공정시 동일한 레이저 장비로 진행하였고, 전·후 박막트랜지스터는 동일한 특성으로 동작함을 파악하였다. 향후 플렉서블 디스플레이 구동 회로는 설명한 기술로 제작할 수 있게 되어 곧 디스플레이 분야에 새로운 혁명이 일어나게 될 것이다.

REFERENCES

- [1] G. H. Jin, J. H. Cho, W. P. Lee, Y. G. Mo, H. D. Kim, S. S. Kim, M. J. Kim & J. H. Song (2011). Simple Fabrication of a Three-Dimensional CMOS Inverter Using p-Type Poly-Si and n-Type Amorphous Ga-In-Zn-O Thin-Film Transistors. *IEEE Electron Device Letters*, 32(9), 1236-1238. DOI : 10.1109/LED.2011.2161258
- [2] M. J. Kim, G. H. Jin, H. K. Min, H. K. Chung, S. S. Kim & J. H. Song. (2010). Effects of Excimer Laser Annealing Process on the Ni-Sputtered Amorphous Silicon Film. *Electrochemical and Solid-State Letters*, 13(10), H346-H349. DOI : 10.1149/1.3467972
- [3] M. J. Kim, K. B. Kim, K. Y. Lee, C. H. Yu, H. D. Kim & H. K. Chung. (2008). Effects of high pressure annealing on the characteristics of solid phase crystallization poly-Si thin-film transistors. *Journal of Applied Physics*, 103(4), 044508. DOI : 10.1063/1.2885345
- [4] M. J. Kim & G. H. Jin. (2009). ITO/AlN_dN/Al contact process for active matrix OLED displays. *Electronics Letters*, 45(8), 421-423. DOI : 10.1049/el.2009.0037
- [5] K. Takeuchi, M. Fujino, Y. Matsumoto & T. Suga (2018). Room temperature bonding and debonding of polyimide film and glass substrate based on surface activate bonding method. *Japanese Journal of Applied Physics*, 57(2S1), 02BB05. DOI : 10.7567/JJAP.57.02BB05
- [6] X. Gao, L. Lin, Y. Liu & X. Huang. (2015). LTPS TFT Process on Polyimide Substrate for Flexible AMOLED. *Journal of Display Technology*, 11(8), 666-669. DOI : 10.1109/JDT.2015.2419656
- [7] H. K. Kim. (2016). A Study on fusion design development direction of the Flexible display base. *Journal of Digital Convergence*, 14(1), 399-405. DOI : 10.14400/JDC.2016.14.1.399
- [8] K. C. Kim. (2017). Development of Shading Tape for Manufacturing of Touch Panel Display with High Screen-to-Body Ratio. *Journal of Convergence for Information*, 7(4), 75-81. DOI : 10.22156/CS4SMB.2017.7.4.075
- [9] A. Pecora, L. Maiolo, M. Cuscuna, D. Simeone, A. Minotti, L. Mariucci & G. Fortunato. (2008). Low-temperature polysilicon thin film transistors on polyimide substrates for electronics on plastic. *Solid-State Electronics*, 52(3), 348-352. DOI : 10.1016/j.sse.2007.10.041
- [10] R. Delmdahl, R. Pätzel & J. Brune. (2013). Large-area laser-lift-off processing in microelectronics. *Physics Procedia*, 41, 241 - 248. DOI : 10.1016/j.phpro.2013.03.075
- [11] G. H. Jin, S. M. Choi, M. J. Kim, S. C. Kim & J. H. Song. (2012). New Pixel Circuit Design Employing an Additional Pixel Line Insertion in AMOLED Displays Composed by Excimer Laser-Crystallized TFTs. *Journal of Display Technology*, 8(8), 479-482. DOI : 10.1109/JDT.2012.2191533
- [12] M. J. Kim, G. H. Jin, K. B. Kim & J. H. Song. (2014). Characteristics of polycrystalline Si TFTs fabricated on glass substrates by excimer laser annealing with nickel-sputtered amorphous Si films. *Displays*, 35, 1-5. DOI : 10.1016/j.displa.2013.10.002
- [13] K. B. Kim, G. H. Jin, M. J. Kim, S. C. Kim & C. W. Jeon. (2014). Effects of Grain Size in Sequential Lateral Solidification Processed on Active Matrix Organic Light Emitting Diode Displays. *ECS Solid State Letters*, 3(8), R40-R43.
- [14] K. Shirai, F. Oshiro & T. Noguchi. (2011). Influence of Grain Size Deviation on the Characteristics of Poly-Si Thin Film Transistor. *Journal of the Korean Physical Society*, 59(2), 298-303.
- [15] G. H. Jin & M. J. Kim. (2009). Effects of gate insulator using high pressure annealing on the characteristics of solid phase crystallized polycrystalline silicon thin-film transistors. *Journal of Applied Physics*, 105(7), 074507.

김 경 보(Kim, Kyoung-Bo)

[정회원]



- 2000년 8월 : 포항공과대학교 신소재 공학과(공학박사)
- 2000년 8월 ~ 2001년 5월: 포항공과대학교 신소재공학과(박사후연구원)
- 2001년 5월 ~ 2004년 8월 : 나이벡스(차장)

- 2004년 8월 ~ 2008년 12월 : 삼성디스플레이(책임연구원)
- 2009년 1월 ~ 2014년 11월 : 포스코(전문연구원)
- 2014년 11월 ~ 2016년 02월 : 한국생산기술연구원(전문위원)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 인하공업전문대학 금속재료과 교수
- 관심분야 : Solar Cell, Display, Metal processing
- E-Mail : kbkim@inhac.ac.kr

민 영 실(Min, Youngsil)

[정회원]



- 2004년 2월 : 중앙대학교 약학과(약학박사)
- 2004년 3월 ~ 2006년 2월 : 중앙대학교 분자조절신약개발연구소(전임연구원)
- 2007년 9월 ~ 2008년 2월 : 중앙대학교(연구전담교수)

- 2009년 3월 ~ 현재 : 중원대학교 제약공학과 교수
- 관심분야 : Health, LED light, Drug Science, Herbal Resources
- E-Mail : youngsil31@jwu.ac.kr

이 종 필(Lee, Jongpil)

[정회원]



- 1999년 8월 : 광운대학교 전기공학과(공학석사)
- 2004년 8월 : 광운대학교 전기공학과(공학박사)
- 1991년 2월 ~ 2015년 5월 : 한국전기학원(Director)

- 2015년 6월 ~ 현재 : 중원대학교 전기전자공학전공 교수
- 관심분야 : Solar Heat, Electric Car, Microgrid, Power System
- E-Mail : leejp@jwu.ac.kr

김 무 진(Kim, Moojin)

[정회원]



- 2005년 2월 : 포항공과대학교 전기전자공학과(공학박사)
- 2005년 2월 ~ 2012년 8월 : 삼성디스플레이(책임연구원)
- 2012년 8월 ~ 2015년 3월 : 포스코(책임연구원)

- 2015년 4월 ~ 현재 : 중원대학교 전기전자공학전공 교수
- 관심분야 : Solar Cell, Display, Semiconductor, Laser
- E-Mail : moojinkim7@naver.com