

AMOLED 디스플레이 주요 기술 및 최근 동향 - 플렉서블 디스플레이 기술 위주로 -

김경보¹, 이종필², 김무진^{3*}

¹인하공업전문대학 금속재료과 교수, ²중원대학교 전기전자공학과 교수, ³강남대학교 전자공학과 교수

AMOLED Display Technologies and Recent Trends - Focusing on Flexible Display Technology -

Kyoung-Bo Kim¹, Jongpil Lee², Moojin Kim^{3*}

¹Professor, Department of Materials Science & Engineering, Inha Technical College

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

³Professor, Department of Electronic Engineering, Kangnam University

Abstract 디스플레이는 브라운관을 시작으로 PDP(Plasma Display Panel), LCD(Liquid Crystal Display) 이후 AMOLED(Active Marix Organic Light Emitting Diode) 순으로 시장을 형성하고 있다. 유기발광다이오드 OLED는 4차 산업혁명을 준비하는 각 국가들의 발전을 위한 핵심 분야로 인정받고 있는 기술이며, 특히 국내 최고 업체 삼성 디스플레이, LG디스플레이는 OLED의 90%이상의 점유율로 시장을 주도하고 있다. 현재 AMOLED는 접거나 휘 수 있는 영역으로 옮겨왔으며, 이와 같은 기술이 가능한 이유는 플렉서블 기판상에 TFT(Thin Film Transistor)와 OLED가 형성가능하기 때문이다. 향후 스트레처블 디스플레이로 그 기술은 이동할 것이며, 이를 위해서는 늘어나는 기판 소재 개발이 우선 진행되고, 다음으로 TFT, OLED 소자 역시 늘어날 수 있는 재료로 구현되어야 할 것이다.

Key Words : 플렉서블 디스플레이, 액정 디스플레이, 유기발광다이오드, 박막트랜지스터, 스트레처블 기판

요 약 Starting with cathode ray tubes, displays are forming markets in the order of active marix organic light emitting diode (AMOLED) after PDP (Plasma Display Panel) and LCD (Liquid Crystal Display). OLED is recognized as a key field for the development of each country preparing for the fourth industrial revolution, and especially Samsung Display and LG Display, which are the top industries in Korea, are leading the market with more than 90% of OLED shares. Currently, AMOLED has moved to the area that can be folded or bent. This technology is possible because TFT (Thin Film Transistor) and OLED may be formed on a flexible substrate. In the future, the technology will move to stretchable displays, and for this, the development of substrate materials is first, and then TFT and OLED devices should also be implemented with stretchable materials.

주제어 : Flexible display, Liquid crystal display, Active marix organic light emitting diode, Thin film transistor, Stretchable substrate

*This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2021R1F1A1046135).

*Corresponding Author : Moojin Kim(moojinkim7@kangnam.ac.kr)

Received August 21, 2022

Revised September 5, 2022

Accepted September 13, 2022

Published September 30, 2022

1. 서론

1.1 디스플레이 역사 (브라운관에서 AMOLED 디스플레이까지)

최근 우리는 많은 정보를 전달하고 확인하기 위하여 사용되는 전자기기로 디스플레이가 있다. 디스플레이는 처음 Fig. 1(a)와 같은 브라운관(CRT: Cathode Ray Tube)로 시작하였으며, 흑백에서 컬러로 기술 개발이 이루어졌다. 이후 사이즈가 커질수록 전자빔을 발생시키는 부품과 화면이 멀어져야 하기 때문에 두께가 두꺼워져 무거워졌다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 디스플레이 업계는 무게를 줄이기 위하여 두께는 얇게 만드는 다양한 방법을 개발하고 있었다. 동시에 이러한 브라운관을 대체할 수 있는 있는 Fig. 1(b)의 PDP(Plasma Display Panel)와 Fig. 1(c)의 LCD(Liquid Crystal Display)에 대한 연구도 활발히 진행되었다. 이러한 디스플레이들은 두께를 얇게 만들 수 있고, 큰 사이즈의 화면을 구현할 수 있었다.

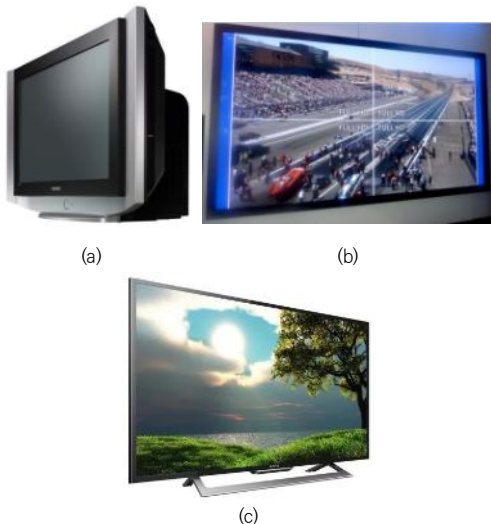


Fig. 1. Images of (a) CRT, (b) PDP, and (c) LCD television

따라서, 브라운관은 경쟁에서 밀려 역사의 뒤안길로 사라졌으며, PDP와 LCD의 대결로 이어졌다. 더 큰 사이즈의 디스플레이를 구현할 수 있는지에 대한 도전은 지속적으로 이어갔으며, 100인치 크기의 디스플레이도 제작되었다. 하지만, LCD는 작은 화면 사이즈의 디스플레이뿐만 아니라 대형 화면도 제작가능하지만, PDP

는 기술의 한계로 30인치 이하는 제작이 어려웠으며, 전력 소모가 크다는 단점이 지속적으로 제기되었다. 이로 인해 LCD가 디스플레이 전 영역에 적용되었으며, 이 기술에 대적할만한 디스플레이는 존재하지 않을 것으로 생각되었다. 2000년 초반 LCD와는 다른 디스플레이 즉, AMOLED(Active Matrix Organic Light Emitting Diode)가 집중적으로 연구되고 있었다 [1-8]. 하지만, 당시에 사용되는 LCD 디스플레이의 시야각, 응답속도, Backlight에 의한 두께 등 많은 단점들이 해결되어 완벽에 가까운 화면이 만들어지고 있었으며, AMOLED 디스플레이가 출시된다고 해도 LCD와의 경쟁에서 살아남을 수 있을지 의문이 드는 상황이었다.



Fig. 2. (a) 2.2-inch Clix and (b) 3.3-inch Spin of Iriver with AMOLED display

과거에 일본 소니사에서 AMOLED 디스플레이가 적용된 전자기기를 출시하였지만, 완벽하게 제작된 디스플레이가 아닌 암점이 존재하였고, LCD에 비해 장점이 없었기 때문에 주목받지 못했다. 또한, 수율이 매우 낮아 양산을 할 때마다 적자가 났으며, 회사입장에서는 손해가 매우 컸기 때문에 결국에는 포기할 수 밖에 없는 기술이었다. 이러한 시대적인 상황에서도 우리나라 디스플레이 업체들은 AMOLED가 LCD를 이을 차세대 기술임을 인지하고, 양산 및 투자에 뛰어들었다. 그 이유는 AMOLED가 LCD보다 난이도가 높기는 하지만, 디스플레이를 구동하는 회로 기술은 유사했기 때문이다. 하지만, 과거 일본에서와 같이 수율이 발목을 잡았으며, 20%에서 더 이상 향상되지 않았다. 내부적으로 TF(Task Force) 팀을 구성하여 수율에 영향을 주는 mura 원인 파악 및 해결, 최적의 회로 구성을 통해 수율을 90%이상까지 끌어올렸으며, 누구도 하지 못했던 AMOLED 양산이 가능해졌다. 이전에 소니에서 문제가 된 암점과 같은 것이 전혀 없는 완벽한 디스플레이가 처음 적용된 전자기기를 Fig. 2에 보였다.

1.2 연구 방법 및 목적

1.1절에서 설명한 AMOLED 디스플레이 기술은 4차 산업 혁명을 이끌어가는 우리나라의 핵심 기술 분야다. 현재 우리나라는 현재 1인당 기준 세계 GDP 10위권이라는 자리를 유지하고 있고, 소재 분야에서 기술적으로 앞서있는 선진국들과 관련 분야의 중국과 같은 후발 주자들의 도전을 끊임없이 위협받고 있는 상황이다. 그리고, 최근에는 일본에서 수입하였던 반도체와 디스플레이에 사용되는 중요한 재료인 불화수소, 포토레지스트스 및 폴리이미드 3개의 물질에 대한 규제가 이루어졌었다. 이러한 분위기에서 향후 수익을 창출할 수 있는 혁신적인 기술을 요구하고 있으며, 정부에서는 반도체나 디스플레이 분야에서 소재, 부품, 장비 국산화를 위한 집중적인 투자를 진행 중이다.



Fig. 3. Images of (a) Galaxy Fold 4 and (b) z-flip 4 recently developed by Samsung Electronics

현재 많은 사람들이 스마트폰을 사용하고 있으며 향후 스마트 기기 사용은 더욱 증가할 것으로 보인다. 앞으로는 스마트 기기의 형태가 소지에서 착용할 수 있는 형태로 전환되어 갈 것으로 판단된다. 이때 등장한 디스플레이가 Fig. 3에서 보여주는 휘 수 있는 플렉시블 기기로 이러한 분야로의 연구와 개발과 전문화된 디자인 융합연구는 새로운 일자리 창출과 미래창조의 원동력이 되고 있다. 국내 최고 업계 삼성디스플레이는 소형 AMOLED, LG디스플레이는 대형 AMOLED, 기업 연구소와 대학기관에서는 최근 차세대 OLED에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [9]. 따라서 본 연구에서는 기술동향과 사례 연구를 통해 국내 플렉시블 및 롤러블 디스플레이 융합 연구를 살펴보고, 나아가서는 OLED 디스플레이 전망에 대해 알아보고자 한다. 이를 통해 관련된 디스플레이 연구자들에게 연구 방향을 제시할 것이다.

2. 본론 (플렉서블 AMOLED 중심으로)

2.1 디스플레이 기판 소재

AMOLED 디스플레이의 기판 소재는 고내열성의 소재로 제작된 불순물이 거의 없는 유리이다. 그 이유는 디스플레이 제작과정 중에 450도 이상의 고온에서 장시간동안 공정이 있으며, 이 과정에서 기판이 늘어나거나 줄어드는 현상이 없어야 하기 때문이다. 하지만, 이러한 유리는 휘거나 접는 것이 불가능하기 때문에 플렉서블 디스플레이를 제작하기 위해서는 다른 소재를 검토해야 한다. 대표적으로 3가지가 있으며, Fig. 4에서 보여주는 steel, 플라스틱 소재, 얇은 유리이다.

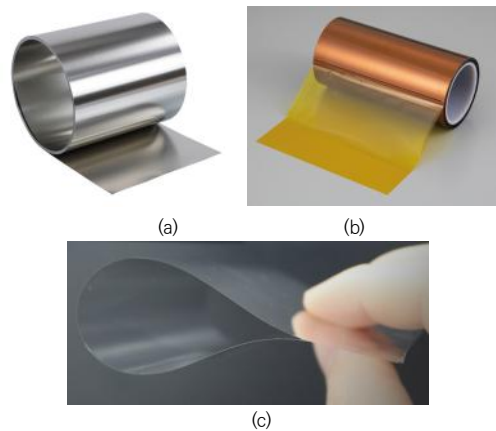


Fig. 4. Images of (a) metal foil, (b) plastic, (c) thin glass that can be used as flexible substrate materials

약 100 μ m 두께로 제작된 얇은 steel foil은 휘거나 롤러블이 가능하다. 고온에서 견디며, 산소나 수분을 차단하는 능력이 우수하지만, 표면이 거칠기 때문에 이를 해결하기 위하여 표면을 연마하거나 막을 형성시키는 공정이 필요하다. 그 이유는 Fig. 5의 그림처럼 표면 요철이 심하면 위에 형성되는 디스플레이 소자에 영향을 주기 때문이다. 최근에는 이러한 추가 공정 없이 표면 거칠기가 수nm 정도로 작은 표면 거칠기를 가지며, 수십 μ m에서 수백 μ m 두께를 만들 수 있고, 열에 의한 변형도 작은 Fe-Ni 기반의 Invar 소재가 개발되었다. 본 연구진은 이러한 Invar를 기판으로 하여 디스플레이, 태양전지, 광센서 등의 전자소자를 구현하기 위한 연구를 진행중이다.

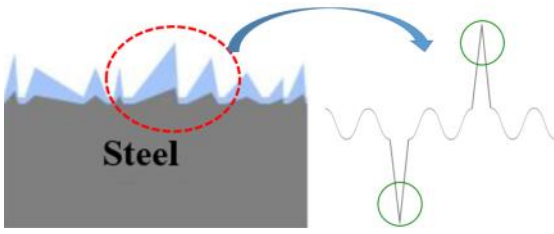


Fig. 5. Surface morphology of steel material

다음으로 플라스틱 소재는 용액 기반의 폴리이미드를 유리판에 코팅하여 열처리를 한 후 이 위에 디스플레이를 제작한다[10-12]. 이 재료는 유기물 기반이므로 앞에서 설명한 바와 같이 디스플레이 공정 중 고온에서 진행되는 step을 견디도록 하기 위해서는 고내열성을 갖는 유기물 기반을 구현하는 열처리 과정은 매우 중요하다. 이후 유리로부터 폴리이미드를 분리하는 탈착 공정을 거치면 얇은 폴리이미드 상의 디스플레이는 플렉서블이 가능해진다. 이 소재는 현재 양산에 적용되고 있으며, AMOLED가 제작되어 갤럭시 폴드나 z-플립이라는 스마트폰으로 판매되고 있다.

유리라는 소재는 mm 두께 정도일 경우 휘면 깨지지만 100 μm 이하가 되면 휨이 가능하게 되며, 더 얇아질 경우 곡률반경을 더 작게 하여 휨 수 있다. 따라서, 얇은 유리 소재는 플렉서블 디스플레이의 기판으로 사용할 수 있다.

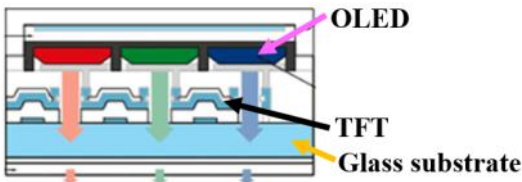


Fig. 6. Schematic diagram for AMOLED structure

2.2 OLED 디스플레이의 구동 회로

Fig. 6처럼 AMOLED는 AM을 뜻하는 구동회로와 OLED라는 소자로 구분할 수 있다. 여기서 AM을 구성하는 것은 박막트랜지스터(TFT: Thin Film Transistor)로 디지털 및 아날로그 동작을 통해 미세한 전류 조절을 공급하여 빛의 밝기 및 원하는 색을 구현할 수 있도록 한다. LCD와 비교하여 다른 점은 화면 불균일을 보상할 수 있는 트랜지스터, 즉 보상 회로가 내장되어 있어 pixel 회로가 LCD보다 복잡하다. 현재

TFT를 구성하는 주요 소재인 반도체로는 폴리실리콘과 메탈과 산소가 결합된 산화물이 있다. 폴리실리콘의 경우 동작속도가 빠르기 때문에 고해상도가 요구되는 소형디스플레이에 적합하지만, 비정질 실리콘을 레이저를 조사하여 구현하므로 공정이 복잡하다. 또한, 사용되는 레이저의 불균일에 의해 불량, 즉 수율에 영향을 미칠 수 있다. 반면, 산화물 기반으로 제작되는 TFT는 레이저를 이용하여 제작된 폴리실리콘 TFT보다 속도가 느리기 때문에 대형 디스플레이에 적합하며, 일반적으로 스퍼터 장비로 산화물 반도체를 형성하므로 비교적 간단하게 구현할 수 있다. 현재 양산에 사용되는 물질은 갈륨, 인듐, 아연, 산소로 구성된 GIZO 물질이다 [13].

TFT는 실리콘, SiO₂, SiNx, 금속과 같은 무기물로 이루어져 있지만, 전체 두께가 수 μm 이며, 패턴이 되어 있기 때문에 벤딩이나 플렉서블이 가능하다.

2.3 OLED 발광 소자

2.2절에서 언급했던 OLED 소자는 Fig. 7에서와 같이 패턴된 유기물로 구성되어 있다.

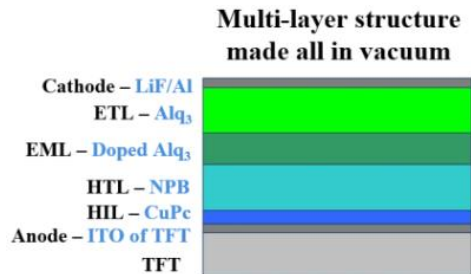


Fig. 7. Schematic diagram for OLED device

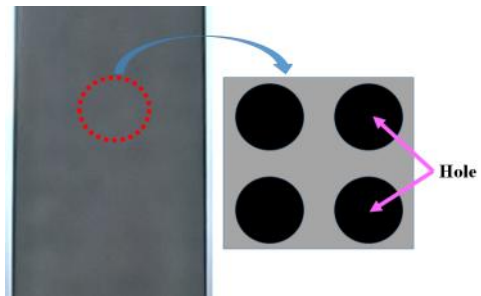


Fig. 8. FMM mask for organic deposition.

유기물들을 원하는 영역에 증착하기 위하여 균일한 크기의 구멍이 있는 Fig. 8의 FMM(Fine Metal Mask)

을 이용하며 진공분위기에서 공정이 진행된다. TFT 소자의 ITO(Indium Tin Oxide) 투명전극위에 정공을 주입하는 층(CuPc), 정공이 이동하는 층(NPB), 전자와 정공이 결합하여 빛을 내는 층(Doped Alq₃), 전자가 이동하는 층(Alq₃), Cathode 전극으로 사용될 층(LiF/Al)을 차례대로 형성하면, OLED 소자가 완성되며, 연결된 TFT에서 전기적인 신호를 공급하여 OLED 소자가 동작할 수 있도록 한다.

색의 3원소는 빨간색, 녹색, 파란색으로 따라서, 이러한 빛을 발광하는 서로 다른 3개의 OLED 소자는 하나의 픽셀(Pixel)을 구성한다. 이와 같은 OLED는 유기물로 구성되어 있어 벤딩이나 플렉서블 디스플레이에 적합하다.

2.4 미래형 AMOLED 디스플레이 기술

최근 전자소자 및 AMOLED 디스플레이는 두루말이처럼 말리는 형태를 넘어서서 늘어나는, 즉 스트레처블이 가능한 구조로 확대되고 있다. 이와 관련된 다양한 연구가 진행되고 있으며, 먼저 기판 소재가 늘어나는 재료로 구성되어야 한다. 대표적인 소재로는 PET (polyethylene terephthalate)를 비롯하여 PDMS (Polydimethylsiloxane), PU(Polyurethane)가 있으며, 엘라스토머(elastomer, 탄성중합체-고무와 같은 성질을 지닌 물질)도 후보군이다. 최근에 본 연구진은 상온에서 간단하게 제조할 수 있는 스트레처블 소재를 개발하였으며, 그 이미지를 Fig. 9에 나타내었다. 연구 내용은 정리하여 논문으로 발표하고자 한다.

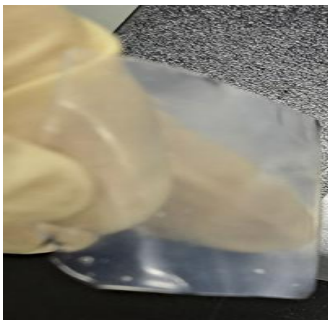


Fig. 9. Image of a material to be used as a substrate for a stretchable display developed by this research team

3. 결론

3.1 AMOLED 기술

브라운관을 시작으로 PDP, LCD 이후 AMOLED 디스플레이 순으로 시장을 형성하고 있다. AMOLED는 접거나 휘 수 있는 영역으로 옮겨왔으며, 이와 같은 기술이 가능한 이유는 플렉서블 기판상에 TFT와 OLED가 형성 가능했기 때문이다. 향후 스트레처블 디스플레이로 그 기술은 이동할 것이며, 이를 위해서는 늘어나는 기판 소재 개발이 우선 진행되고, 다음으로 TFT, OLED 소자 역시 늘어날 수 있는 재료로 구현되어야 할 것이다.

3.2 OLED 디스플레이 시장

우리나라는 2000년 초에 일본을 제치고 약 20년 동안 디스플레이 산업 1위 자리를 유지해 오고 있다. 지금 삼성전자의 영업이익의 77%가 반도체 및 디스플레이 분야에 의한 것이다. 중소형 OLED는 삼성디스플레이가 96%를 차지하고 있으며, 대형 OLED는 LG디스플레이가 99%의 시장 점유율로 전 세계 경쟁국을 압도하고 있다. 중소형 디스플레이는 OLED로 대부분 이동하겠지만, 대형 디스플레이 시장은 아직은 가격 경쟁력에서 열세이기 때문에 당분간 LCD 중심의 구조를 유지할 것이다. 특히, 중소형에서 OLED는 양산이 시작된 2015년 약 28% 정도에서 2020년 43%로 점유율이 증가하였고, 지속적으로 LCD 패널을 대신할 것이다.

OLED 기술은 미래 핵심 기술로 인정받았으며, 향후 더욱 적극적으로 연구되어야 하는 첨단 분야임이 밝혀졌다. 앞으로 OLED디스플레이는 폭발적인 성장을 계속 이어나갈 것이며, 자동차 및 투명 OLED 기술을 적용한 융복합 전자기기는 우리의 삶을 다양하게 바꾸어 줄 잠재성이 있는 핵심 기술이다.

3.3 OLED 디스플레이 전망

중국과 같은 후발주자들이 투자를 하고 있으나 지속적으로 연구해온 기술력, 수율 향상을 통한 가격 경쟁력, 고객 신뢰성 확보에서 우리나라의 우위가 지속적으로 유지될 것이다. 디스플레이 산업은 반도체 기술과 유사하며, 이를 기반으로 선 진입하여 기술력 확보, 양산 기술 확보, 대규모의 경제가 요구되는 산업으로 먼저 진입한 기업들이 유리한 분야이다. 현재 중국은 기술력이 1년 정도 뒤쳐져 있으며, 디스플레이 경쟁에서

우위를 점하기 위해 노력하고 있지만, 지속적인 투자비 부담, 기술력 부족 및 가격경쟁에서 매우 불리한 상황이다. 이런 상황에서 평판 OLED 양산을 건너뛰고 플렉시블 OLED로 투자 및 기술 개발하고 있으나 일찍이 삼성이 겪었던 휘는 부분에서의 내구성을 완벽하게 해결하지 못하고 있다. 향후 디스플레이는 OLED가 지속적으로 성장할 것으로 기대하며, 향후 2년 내에 80배 이상 급격한 성장을 이룰 것이다. 그 중에서 플렉시블 디스플레이가 점차 시장을 확대해 나갈 것으로 전망된다.

REFERENCES

- [1] Kim, K. B., Lee, J. P., Kim, M. J. & Min, Y. S. (2019). Characteristics of Excimer Laser-Annealed Polycrystalline Silicon on Polymer layers. *Journal of Convergence for Information Technology*, 9(3), 75-81.
DOI : 10.22156/CS4SMB.2019.9.3.075
- [2] Kim, M. J., & Jin, G. H. (2009). ITO/AlN_dN/Al contact process for active matrix OLED displays. *Electronics Letters*, 45(8), 421-423.
DOI : 10.1049/el.2009.0037
- [3] Diethelm, M., Penninck, L., Altazin, S., Hiestand, R., Kirsch, C., & Ruhstaller, B. (2018). Quantitative analysis of pixel crosstalk in AMOLED displays. *Journal of Information Display*, 19(2), 61-69.
DOI : 10.1080/15980316.2018.1428232
- [4] Rjoub, A., Tarawneh, B. & Alghsoon, R. (2019). Active matrix organic light emitting diode displays (AMOLED) new pixel design. *Microelectronic Engineering*, 212, 42-52.
DOI : 10.1016/j.mee.2019.04.001
- [5] Bender, V. C., Barth, N. D., Mendes, F. B., Pinto, R. A., Alonso, J. M. & Marchesan, T. B. (2018). A Hardware Emulator for OLED Panels Applied to Lighting Systems. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 6(3), 1252-1258.
DOI : 10.1109/JESTPE.2018.2842157
- [6] Kang, T. K., Liao, T. C., & Yang, Y. Y. (2012). Self-Heating and Kink Effects in SLS Single-Crystal-Like Nanowire Transistors. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 59(10), 2787-2794.
DOI : 10.1109/TED.2012.2210045
- [7] Liao, C. Y., Chen, S. H., Huang, W. H., Shen, C. H., Shieh, J. M., & Cheng, H. C. (2018). High-Performance Recessed-Channel Germanium Thin-Film Transistors via Excimer Laser Crystallization. *IEEE Electron Device Letters*, 39(3), 367-370.
DOI : 10.1109/LED.2018.2791506
- [8] Kim, K. B., Lee, J. P., Kim, M. J., & Min, Y. S. (2019). Trend of Crystallization Technology and Large Scale Research for Fabricating Thin Film Transistors of AMOLED Displays. *Journal of Convergence for Information Technology*, 9(5), 117-124.
DOI : 10.22156/CS4SMB.2019.9.5.117
- [9] Kim, L. J., Jung, S. J., Kim, H. J., Kim, B. H., Kwon, K. J., Ha, Y. M., & Kim, H. J. (2022). Image quality enhancement in variable-refresh-rate AMOLED displays using a variable initial voltage compensation scheme. *Scientific Reports*, 12, 5977.
DOI : 10.1038/s41598-022-09892-5
- [10] Takeuchi, K., Fujino, M., Matsumoto, Y., & Suga, T. (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
- [11] Gao, X., Lin, L., Liu, Y. & Huang, X. (2015). LTPS TFT Process on Polyimide Substrate for Flexible AMOLED. *Journal of Display Technology*, 11(8), 666-669.
DOI : 10.1109/JDT.2015.2419656
- [12] Pecora, A., Maiolo, L., Cuscuna, M., Simeone, D., Minotti, A., Mariucci, L., & Fortunato, G. (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
- [13] Jin, G. H., Cho, J. H., Lee, W. P., Mo, Y. G., Kim, H. D., Kim, S. S., Kim, M. J., & Song, J. H. (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

김 경 보(Kyoung-Bo Kim)

[정회원]



- 2000년 8월 : 포항공과대학교 신소재공학과(공학박사)
- 2000년 8월 ~ 2001년 5월 : 포항공과대학교 신소재공학과(박사후연구원)
- 2001년 5월 ~ 2004년 8월 : 나이넥스(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@inhatc.ac.kr

이 종 필(Jongpil Lee)

[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(Moojin Kim)

[정회원]



- 2005년 2월 : 포항공과대학교 전기전자공학과(공학박사)
- 2005년 2월 ~ 2012년 8월 : 삼성디스플레이(책임연구원)
- 2012년 8월 ~ 2015년 3월 : 포스코(책임연구원)
- 2015년 4월 ~ 2020년 2월 : 중원대

학교 전기전자공학전공 교수

- 2020년 3월 ~ 현재 : 강남대학교 전자공학과 교수
- 관심분야 : Solar Cell, Display, Semiconductor, Laser
- E-Mail : moojinkim7@kangnam.ac.kr