인쇄 전자 사업화 전망과 인쇄 공정 신기술 개발 사례

Printed Electronics and Industrialize Prospect

최 동 권 / 성안기계(주) 이사

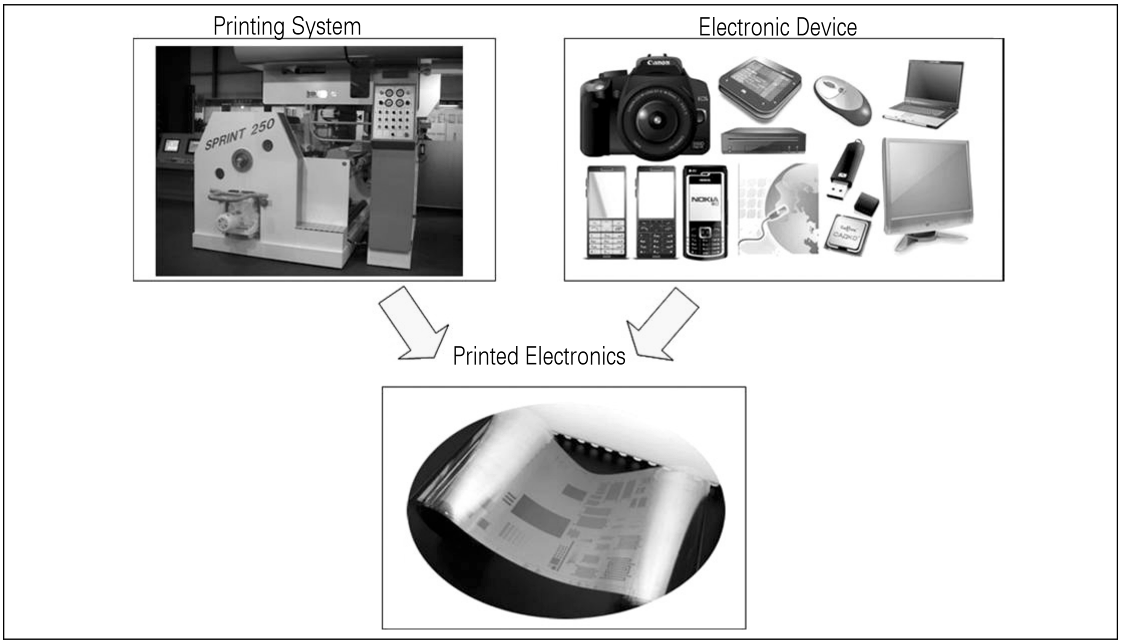
1. 전자인쇄산업 개요

전자인쇄 산업이라는 이야기는 21세기에 들어서면서 많이 거론되어지고 있는 산업의 한 부분이다.

최근에 많이 논의되어지고 있는 이유는 IT산업의 빠른 성장과 무관하지가 않다. 하지만 기존의 IT산업 분야에 아직까지는 전자인쇄 산업의 적용이 활발하게 이루어지고 있지는 않다.

그러면 향후의 전자인쇄 산업의 사업화 전망

〔사진 1〕 인쇄전자 산업군



을 논의하기 이전에 우선적으로 전자인쇄 산업이 라는 것에 대해서 정의가 이루어져야 하는데 다음과 같이 일반적으로 전자인쇄 산업에 대하여 이야기할 수 있다. 즉 IT산업군에 있는 전자 디바이스를 기존의 프린팅 시스템으로 구현하는 산업군이 인쇄 전자 산업이라고 한다. 그리고 아래의 그림에서와 같이 도식화 하여 나타낼 수 있다.

모든 산업이 그렇듯이 전자 산업도 그 필요성이 무엇이냐가 사업화에 있어서 중요한 판단 근거가 된다고 할 수 있다.

기존의 IT산업기기의 제조 공정 보다 인쇄 전자 산업에서의 IT기기는 경량화, 다양한 디자인, 제조공정의 청정화, 저가의 디바이스 생산, 모바일 기기와의 적합성 등의 장점을 가지고 있음으로 하여 최근의 인쇄전자 산업이 많은 연구 개발의 대상이 된다고 할 수 있다.

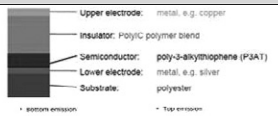
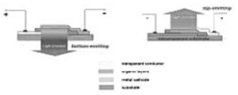
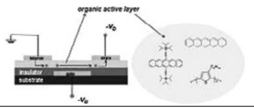
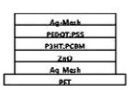
하지만 아직까지는 인쇄전자 산업에 대하여 표준화 되어진 제조 공정과 디바이스의 구조, 재료의 조건 등이 없다고 할 수 있다.

디바이스의 종류에 따라서 요구되어지는 특성이 다양하고 기존의 glass기반의 혹은 실리콘을 사용하여 제작하는 디바이스의 특성을 인쇄전자 산업에서 100%구현하는 것이 현실적으로 어려움이 있으므로 단계별로 적용이 가능한 산업군의 도출과 그에 대응하는 재료의 개발, 제조공정 장비의 개발이 병행되어져야 한다. 본 글에서는 이러한 인쇄 전자 산업에서 구현 되어질 수 있거나 구현하고 있는 디바이스의 종류와 그 응용, 향후 전자 인쇄 산업의 발전을 위해서 극복하여야 하는 문제점, 전자인쇄 산업의 미래와 향후 시장에 대해서 순차적으로 서술 하도록 한다.

2. 전자인쇄로 구현가능 디바이스 종류와 응용

전자인쇄로 구현이 가능하거나 구현을 하기 위하여 많은 노력을 하고 있는 디바이스의 종류는 아래의 표와 같이 정리 되어질 수 있다.

〔표 1〕 전자인쇄로 구현가능한 디바이스 종류와 응용

Application	Device structure	Printing system
RFID (Radio Frequency Identification)		Gravure Offset Method Ink Jet
AMOLED (Acitve Matrix Organic Light Emitting Display)		Slot Die Coating Method Ink Jet
OTFT (Organic Thin Film Transistor)		Screen Printing Method Gravure Offset Ink Jet
OPV (Organic Photo Voltaic)		Slot Die Coating Method Screen Printing

2-1. RFID(Radio Frequency IDentification)Horizontal structure Vertical Structure

a. 하부전극 형성

15um수준의 미세 선폭 형성 기술 필요 함.

이것은 고성능 RFID제작을 위하여 Transistor의 성능 향상이 필요한데 이것은 미세한 선폭의 형성이 가능할수록 좋다.

동시에 두께도 확보 되어야 한다. 선폭이 미세해지면 전극의 저항이 문제가 되기 때문이다.

Gravure offset 공정을 사용하여 아래와 같은 정확도로 하부의 전극을 형성하여야 한다.

b. 유기 반도체 형성

물질의 종류에 따라서 다르지만 150~200nm정도 형성 한다.

두께가 얇고 균일도가 확보 되어야 하는데 역시 gravure나 offset printing 기술을 사용하여 형성한다.

c. Insulator 형성

Insulator이므로 Roll coating시 pin hole이 없어야 한다. 그리고 고분자 insulator층은 두께에 따라서 저항 값과 capacitance값이 달라 지므로 두께의 균일도가 중요함.

d. 상부 전극

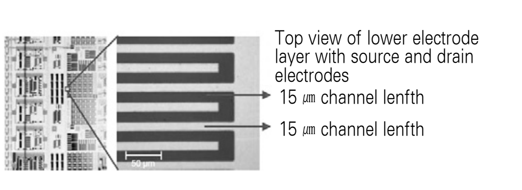
하부전극의 미세 pattern과 위치를 제어하여 coating되어야 하므로 registration이 중요함.

2-2. Lighting

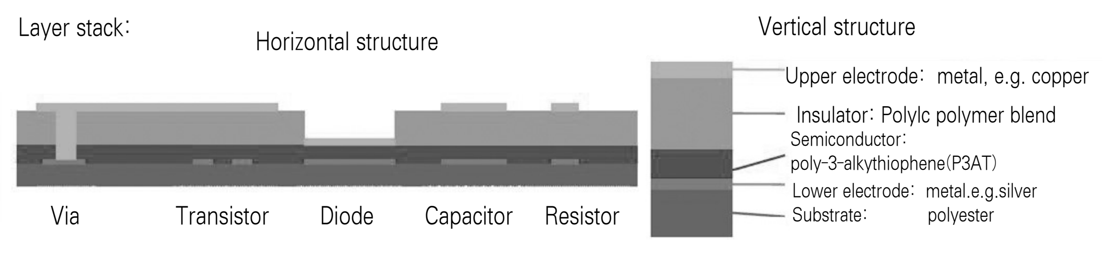
조명 분야는 전세계 에너지 중에서 20%이상이 조명용으로 사용되어지므로 고효율, 친환경 조명의 개발이 화석연료 사용을 줄이는 효율적인 방법이므로 많은 선진국에서 개발 진행 하고 있다.

개발의 방향은 고효율의 특성을 구현할 수 있는 디바이스는 무기 LED(Light Emitting Device), OLED(Organic Light Emitting Device)이다. 그리고 조명으로서의 단가를 낮추기 위하여 roll공정으로 제작 가능도록 기술의 개발을 진행 하고 있다. 즉 roll공정 가능 물질의 개발과 디바이스 구조 개발, 공정 시스템 개발이

〔그림 2〕 Result with production process:



〔그림 1〕 공정 순서

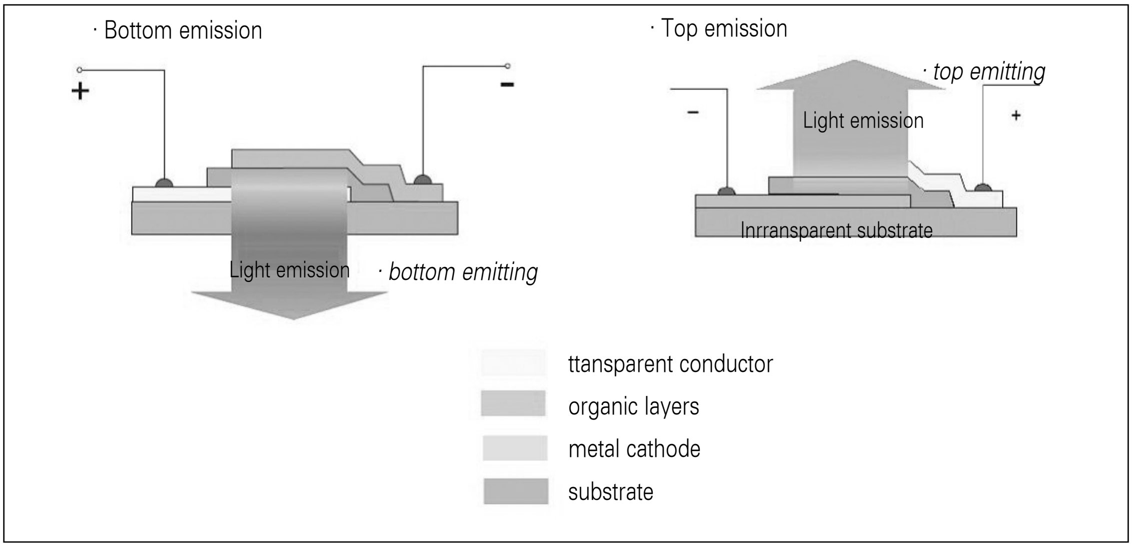


함께 진행 되고 있다. 기존의 RFID, OTFT의 기술이 특정 디바이스를 위한 것이라면, 조명은 태양전지의 개발과 같은 무조건적으로 하여야 하는 기술의 개발이다. 무기 LED기술은 현재 조명용 LCD back light용으로 상용화 되어져 있다. 하지만 제조 공정이 고온 공정(600도 이상)이므로 roll공정으로의 진화는 어렵다. 그리고 다른 재료와는 다르게 nano구조의 ink로 형성하는 것이 어려우므로 차세대 조명은 OLED를 roll공정으로 제작할 수 있도록하는 것에 초점이 맞추어져 있다. 초기의 OLED는 그 특성이 우수하지 못하였으며, 수명 또한 문제시 되어졌으므로 주로 디스플레이용으로 개발이 되어졌다. 하지만 최근의 새로운 구조의 개발과, 새로운 방식의 발광 재료의 개발 및 passivation기술 및 장비의 개발로 인하여 그 효율이 무기 LED에 근접하고 있으며, 수명 또한 5000시간 이상 이다. 그러므로 조명으로서의 사용이 가능하게 되었으며, 효율의 증가로 면 형태의 조명 제작이 가능하게 되었다. 그리고 최근에는 roll 공정으로 제작이 가능하게하기 위하여 ink형태의 유기 물질의 개발이 이루어지고 있다.

OLED의 구조는 bottom emission과 top emission 두 가지 방식이 있다. OLED도 LED와 같이 양쪽 전극(양극, 음극)에서 전압을 인가시켜 줄 때, 음극에서 전자가 주입되고, 양극에서 전자가 빠져 나가면서 사이에 있는 유기물질 층에서 발광이 있는 구조이다. Bottom 발광 방식은 하부전극이 양극 상부 전극이 음극의 구조를 가지는 것이다. Top 발광 방식은 하부전극이 음극 상부 전극이 양극을 가지는 구조이다.

정확히 이야기 하면 반드시 양극,음극의 문제가 아니라 빛이 하부로 비쳐지느냐, 상부로 비쳐지느냐에 따라서 나누어진다. 주로 양극이 투명

〔그림 3〕 OLED lighting 구조



한 전극이므로 bottom방식은 하부전극으로 사용되어지고, top방식은 상부 전극으로 사용되어진다. 그리고 음극을 투명하게 제작할 경우 투명한 구조의 OLED 제작도 가능하다.

2-3. OPV (Organic Photo Voltaic) 유기 태양전지

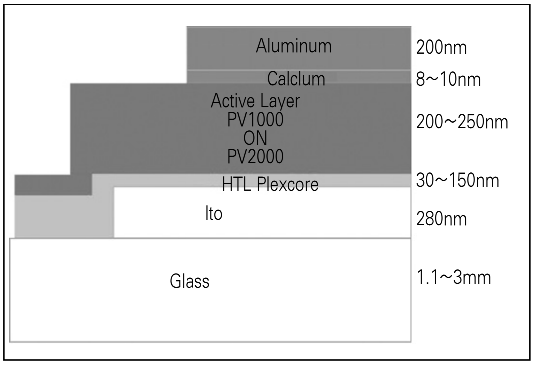
기술적으로 유기 태양전지와 OLED는 동일한 구조를 가지고 있으며, 사용되어지는 물질의 종류만 다르다. 위에서 제시한 봐와 같이 OLED 기술적으로 많은 복잡성과 어려움을 가지고 있으며, 사용 공정과 디바이스의 구조가 복잡하다.

OPV와 OLED의 기본적인 차이점은 OPV는 빛을 받아서 전기를 생산하는 구조이며, OLED는 전기를 소비하여 빛을 생산하는 구조를 가지고 있다. OPV에 비하여 OLED의 유기박막에 인가 되어지는 단위 두께당 전압의 값(E-field)가 10배정도 되므로 유기박막이 받고있는 stress가 10배가 되므로 수분, 산소와 유기물질의 반응에 의하여 물질의 구조가 변하게 되는 확률이 높게 된다. 그러므로 OLED의 제작 공정이 훨씬 까다롭다고 할 수 있다.

그러므로 현재 개발되어진 OLED 제작 공정 기술을 활용하여 OPV를 상용화 하려고 하고 있으며, 그 속도가 아주 빨리 이루어지고 있다. 그 이후에는 OLED Lighting의 시장이 구현 될 것으로 예상되어진다. 이것은 Flexible 기판을 사용한 제작 공정의 측면이다.

Rigid type의 기판의 경우는 OLED Lighting의 시장이 더 빨리 형성 될 것으로 예상 되어진다. 이유는 고가의 OLED Lighting 의 적용 분야가 있으며, 그 가격이 특성의 우수함을 넘어서

〔그림 4〕 OPV의 기본 구조



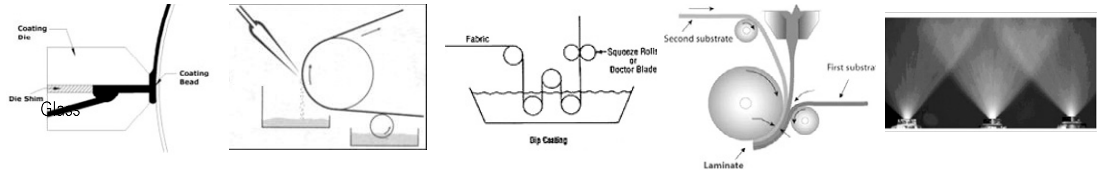
지 못하기 때문이다. OPV의 경우는 rigid type에서의 장점은 효율측면에서 타 태양전지에 비하여 가지지 못하며, 그 차별성은 flexible 태양전지에서 있기 때문에 시장의 형성 시기가 달라진다. 다음은 OPV의 기본 구조 이다.

위의 구조는 OLED의 양극, 음극, 유기박막 기능층 의 기본 구조와 동일 하다.

OPV에서도 다양한 디바이스의 구조 제안이 있어왔는데, OLED는 효율과 수명을 향상시키는 방향으로의 구조 제안이 이루어 져왔다면, OPV는 roll양산 공정에 적합한 구조의 제안과 성능의 test가 주로 이루어 져왔다. 위의 기본 구조는 roll양산 공정에 부적합한 것이다. 다음은 roll공정에 적합한 디바이스의 구조들이다.

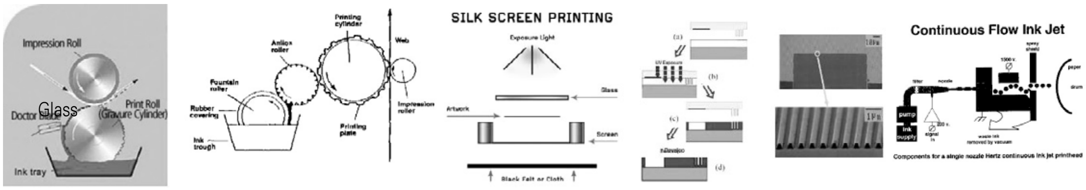
그리고 위와 같은 디바이스를 구현하기 위한 전자인쇄용 공정 시스템의 또한 전자인쇄 산업의 발전을 위해서 중요한 부분이다. 전자인쇄 공정을 하기위해서 사용되어지는 시스템은 크게 대기압에서의 공정을 진행하는 시스템과 진공에서의 공정을 진행하는 시스템으로 구분이 가능하다. 대기압에서 공정을 진행하는 시스템은 기존의 인쇄혹은 코팅장비를 활용하여 적용

〔그림 5〕 대기압 인쇄공정 시스템



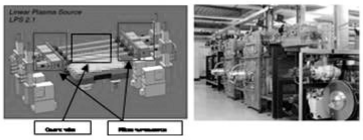
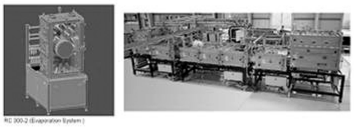
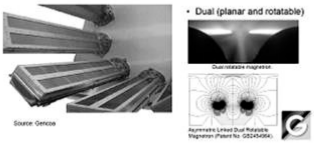
slot die coating knife coating dip coating extrusion coating spray coating

〔그림 6〕 진공 인쇄공정 시스템



gravure flexo printing screen nano-imprinting ink jet offset printing

〔표 2〕 인쇄전자 인쇄시스템 적용 예

기관/기업	내용	비고
MicroSystems ROTH &RAU		· Substrate: Stainless steel, Copper film, Polymer film(width : Max. 1800mm) · 형성 Film(Layer) : a:Si-, Sio2, Si3N4-, SiONx-, SiC-
FHR ANLAGENBAU GMBH		· VHF PECVD, Evaporator, Sputter · Substrate: Polymer film, Stainless steel,(width : Max. 530mm) · 형성 Film(Layer) : a:Si-, Sio2, Si3N4-,
Gencoa Ltd		· Surface treatment용 Plasma source · TCO 증착용 Plasma source
APPLIED MATERIALS		· Roll-to0roll Evaporator, Sputter, PECVD, Plasma assisted evaporator · Packaging용 롤투롤 시스템 생산 · 태양전지용 시스템으로의 적용도 가능

〔표 3〕 기판의 종류와 문제점

Classification	Advantage	Disadvantage	Technical Trend
Plastic	- High Flexibility - Light - Higher Impact Resistance than Glass - Improved Design Freedom - Roll to Roll	- Low Heat Resistance - Low Chemical Resistance - Require Barrier Coating	SEC
Metal foil	- High Hest Resistance - Dimensional Stability (Low CTE) - Low Waret Vapor Transmittance Rate ➜ 10-6 g/㎡ · day	- Roughness ➜ Require Polishing Process - Corrosion - Opaque Substrate ➜ Reflective Display, Top Emission OLED	3.1 inch QVGA (on Steel Foil) 240 X 160 (96 dpi) – Philips LGD
Thin Glass	- High Transparency - Low Water Vapor Transmittance Rare - Low Price · Core Lssue : Reinforcement by Polymer Coating 1) Reduction of the Number of Micro Cracks 2) Stopping of the Growth of Existing Cracks	- Brittle -Rigid ➜ Bendable	Seiko

하고 있다. 아래의 그림에서와 같은 공정 시스템이 있다〔그림 5〕, 〔그림 6〕.

진공에서의 인쇄전자 공정 시스템은 다음과 같이 정리할 수 있다.

위와 같이 많은 시스템이 있지만 실질적인 인쇄전자 디바이스의 제작을 위해서는 복합적인 공정 시스템의 적용이 필요하다.

즉, 아직까지는 인쇄전자 디바이스의 제작공정 및 적용 장비에 대한 표준화와 정의가 되어져 있지가 않다.

3. 전자인쇄 산업의 발전을 위해서 극복하여야 하는 문제점

인쇄전자 산업의 어려운 점은 디바이스의 제조공정과 제조를 위한 재료에 있다고 할 수 있다. 즉 디바이스는 공정, 재료, 시스템의 복합적인 산업이므로 서로 연계되어져서 개발이 이루

〔표 4〕 재료

구분	해결 과제
Conductor	높은 비저항, 고가의 잉크 Cathode로 사용되어지는 잉크의 부재
Semiconductor	안정성, 낮은 전자/정공 이동도, 재현성
insulator	다양한 dielectric constant 값의 구현이 어려움, drying/curing온도가 높음, 인쇄 후 박막의 균일도 (pinhole관리)

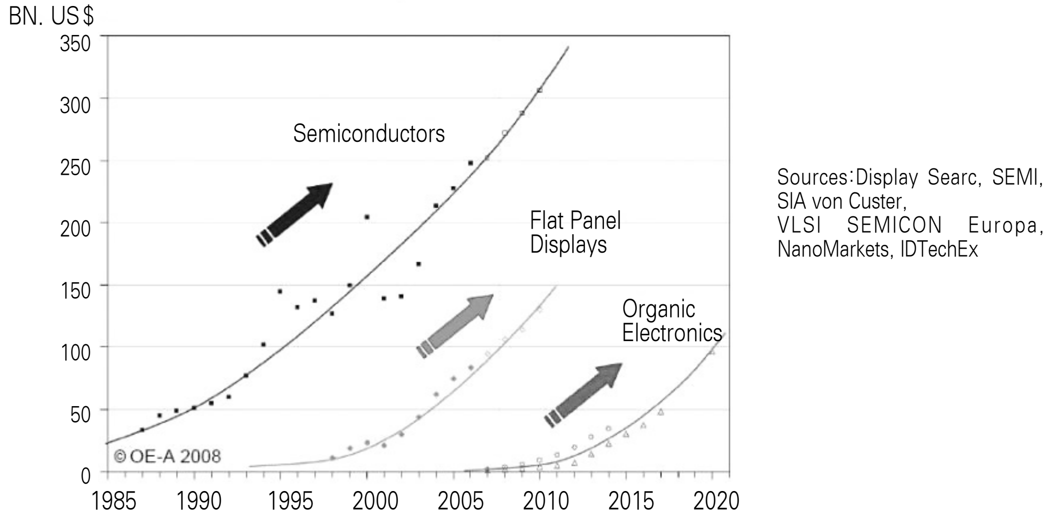
어져야 한다.

현재 상태에서 전자인쇄 산업의 발전을 위하여 요구되어지는 부분은 기판, 공정 재료, 기판 pattern방법 등이 가장 시급하게 해결하여야 하는 부분이다.

3-1 기판

현재 인쇄전자 산업에서 주로 사용되어지고 있는 기판의 종류와 문제점은 아래의 그림에서와 같이 정리가 되어진다.

〔그림 7〕 인쇄전자산업 성장 추이



3-3 기판 patterning

전자 디바이스는 다층의 수직 구조의 형태로 이루어지는데, 각층간의 연결 및 그리고 수평적인 층간의 연결을 위하여 각 층의 patterning 공정이 필요되어진다. 현재 사용되어지고 있는 patterning공정의 방법은 laser patterning, wet patterning, nano imprint등의 방법이 있지만 요구되어지는 sun-micro meter의 pattern형성 조건을 만족하는 결과를 도출하지는 못하고 있다.

4. 전자인쇄 산업의 미래와 시장

마지막으로 이러한 많은 해결해야 하는 과제를 가지고 있는 전자 인쇄산업의 미래와 향후 시장 전망은 밝다고 할 수 있다. 그 이유는 청정산업, 에너지 효율이 높은 산업, 생산성이 높은 산업으로의 발전이 요구되어지고 있기 때문이다. 아래의 그래프는 ID TechEx에서 예상하고 있는 전자인쇄 산업의 시장의 예측이다. 아래의 비교에서와 같이 기존의 실리콘 반도체, 평판 디스플레이 산업의 발전의 추세를 따라서 전자 인쇄산업은 21세기부터 시장이 형성되기 시작하여 2020년이후 부터는 빠른 성장이 예상되어진다.

그러므로 지금부터 재료, 공정, 시스템 산업군에 종사한 연구인력들의 협력을 통하여 향후 발전 가능성이 높은 인쇄전자 산업에서의 시장의 선점을 위하여 힘을 모아야 한다. 그리고 이러한 복합 산업은 정부의 주도하에 장기적인 시각을 가지고 지속적인 지원이 필요한 산업이라고 보여 진다. ko