

인쇄 전자를 위한 잉크젯 프린팅 기술 현황 및 미래

글 _ 김석순
(주) 유니젯

1. 서론

국내에 인쇄전자 기술이 소개되고 이를 위한 잉크젯 프린팅 기술이 개발되기 시작한지 10년이 되었다. 이제 인쇄전자용 잉크젯 프린팅 기술은 더 이상 새로운 기술이 아니라 점점 더 전자 제품을 대량 생산하는데 이용될 수 있는 기술로 인식되고 있다.

국내의 잉크젯 기술은 먼저 LCD 제조 즉 Color Filter,

PI coating에 적용되기 위해 개발이 시작되었고 지금은 PCB, 다양한 Coating, Micro Lens 제작, Touch Screen, Solar Cell, Bio 등 다양한 Application에 적용 또는 개발이 되고 있다. 그러나 실제 잉크젯 기술을 인쇄전자 제품 생산에 적용하고 있는 것은 아직 아주 제한적이다. 잉크젯 기술이 많은 장점을 가지고 있지만 실제 대량생산에 적용되기 위해서는 제품에 요구되는 많은 사양을 만족하는 것이 필요하고 이를 위해서는 많은 기술 개발과 시간

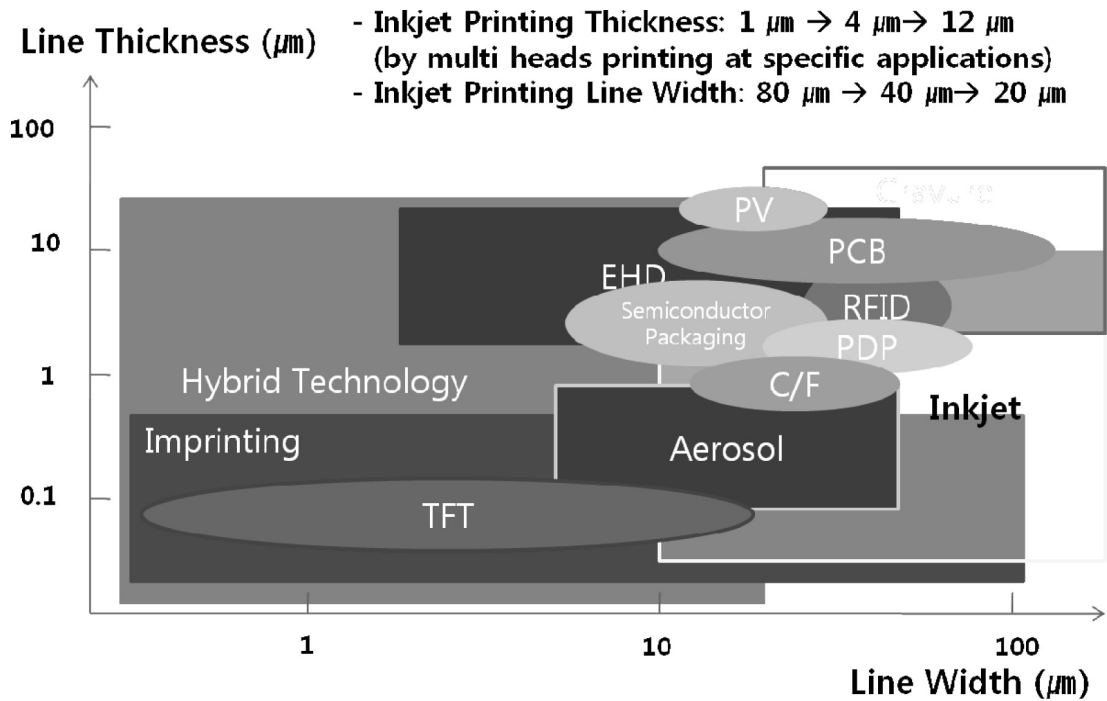


Fig. 1. 잉크젯 기술의 선 폭 그리고 두께의 적용 범위.

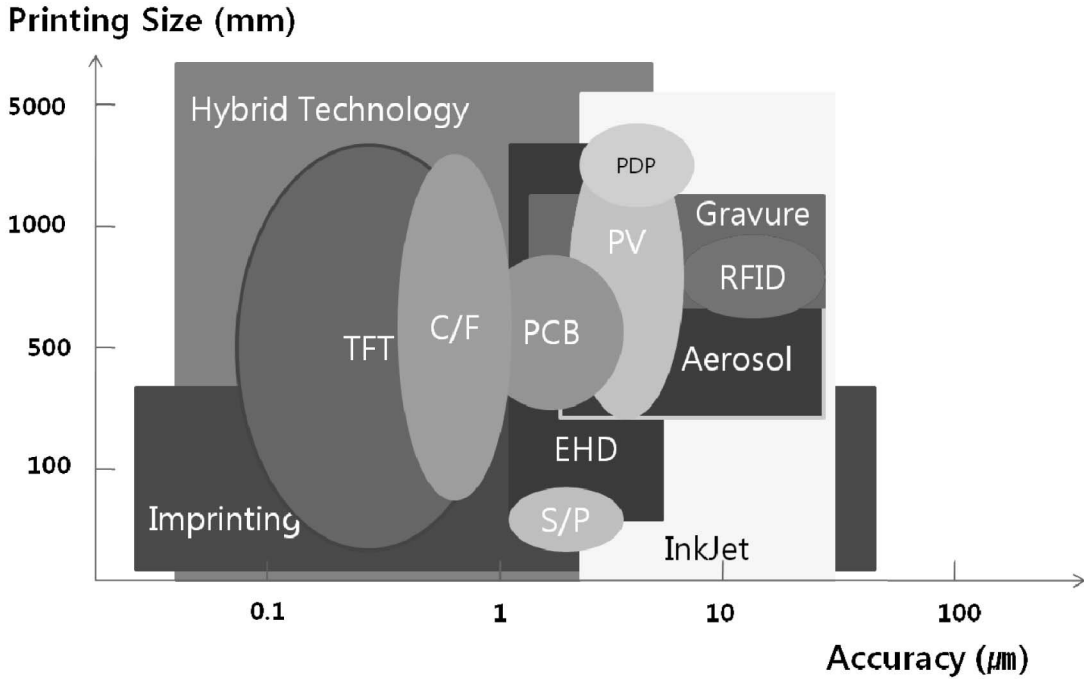


Fig. 2. 잉크젯 기술의 정밀도와 크기에 대한 적용 범위.

이 요구되고 있기 때문이다. 잉크 및 제품 그리고 공정 기술 개발의 미흡 그리고 높은 양산용 잉크젯 장비의 가격이 실제 적용을 어렵게 하고 있다. 또한 25 μm 두께의 선 두께 또는 5 μm 선 폭 등을 요구하는 Application에는 잉크젯 기술의 기술적 그리고 가격적 한계로 적용이 어려운 경우도 많이 있다. Fig. 1 그리고 Fig. 2는 현재 잉크젯 기술의 적용 범위 즉 한계를 보여주는 표이다. 그러나 이러한 잉크젯 기술의 한계는 새로운 기술 개발로 점점 극복되어가고 있다.

지난 10년간 잉크젯 기술은 괄목할 만한 기술 개발이 이루어졌고 또 계속 이루어지고 있다. 잉크젯 기술의 핵심 요소인 잉크젯 헤드는 1 pl까지 더 작은 Droplet을 Jetting할 수 있게 되었고, Cu 잉크를 프린팅하고, 잉크의 Solid Content를 높여서 더 높은 선 두께를 구현하고, 다양한 표면 처리 기술의 적용으로 원하는 Pattern을 형성하고, 잉크젯 장비의 성능 향상 및 저가격화 등 전반적인 잉크젯 기술의 Infrastructure가 향상되고 있다. 따라서 향후 10년은 잉크젯 기술이 더 많이 제품 생산에 적용되는 인쇄전자 기술의 도약기가 될 것으로 예상된다.

2. 인쇄 전자용 잉크젯 기술 개발 동향

현재 1,000대가 넘는 인쇄전자 연구용 잉크젯 장비가 세계 시장에 공급되었고 이를 이용하여 전세계 연구자들이 새로운 잉크 그리고 Application 개발을 진행하고 있다. 평균 150대 정도의 연구용 잉크젯 장비가 매년 추가 공급되어 잉크젯 기술에 대한 Application 개발에 가속도가 붙고 있다.

그 동안 가장 많이 성공적인 개발이 이루어진 분야가 Display이다. 이 분야에서는 지금 추가적으로 Liquid Crystal 도포 그리고 OLED 재료 프린팅에 잉크젯 기술 적용이 이루어지고 있다. 고가의 OLED 재료를 잉크젯으로 프린팅하여 Display를 제작할 수 있게 되면 이는 Display 산업이 LCD에서 OLED 전환하게 되는 시발점이 될 것이다. 이미 삼성전자는 2010년 11월에 잉크젯 방식으로 만들어진 19 인치 OLED TV (Fig. 3)를 선보이고 2011년 1월에 40 인치 OLED TV를 보여 주었다. 이는 현재 개발된 Color Filter-용으로 개발된 잉크젯 양산 기술을 OLED 제품의 기술적인 요구에 맞게 더 향



Fig. 3. 잉크젯 기술로 만들어진 삼성 19 인치 OLED TV.

상 개발한 것으로 이제 2012년에 잉크젯 방식으로 OLED TV의 대량 생산이 예상되고 있다. 이러한 잉크젯 기술은 OLED TV를 만들 수 있는지 없는지를 결정하는 핵심 기술로 경쟁자들과의 기술적인 격차를 크게 벌리게 되고 또 새로운 Paradigm으로 전환에 핵심적인 요소이다.

Solar Cell 분야도 잉크젯 기술이 많이 적용되어 개발이 이루어지고 있는 분야 중에 하나이다. Si Solar Cell, CIGS, OPV, DSSC 등 다양한 Solar Cell 분야에 개발되고 있으나 특히 Si Solar Cell의 Metallization이 중요한

Application이다. Si Solar Cell은 Grid Parity를 맞추기 위해서 가격은 더 내려야 하고 효율은 더 올려야 하는 기술 개발이 이루어지고 있다. 이를 위하여 가장 중요한 비용 절감이 Si Wafer 두께 자체를 낮추어 Si 재료를 절감하는 것이다. 180 um Wafer 두께를 100 um로 낮추면 44%의 Si 재료비를 절감할 수 있고 50 um까지 더 낮추면 그 이상의 Si 재료비 절감이 가능하다. 100 um 두께까지 낮추어도 효율의 손실 거의 없으며 50 um까지 낮추어도 1% 정도의 효율 손실만 보고되어 있다. 그러한 낮은 두께의 Si Wafer에서 전극을 형성하기 위해서는 기존의 Contact 방식의 Screen 프린팅 방법은 적용이 어렵고 Non Contact 방식의 프린팅 기술이 절대적으로 필요하다. 잉크젯 기술은 이러한 전극 배선에 가장 효과적으로 적용될 수 있는 기술이다. Silver 잉크를 직접 프린팅하는 방식, Silver 잉크로 Seed Layer를 프린팅하고 도금을 하는 방법, Ni + Cu + Ag를 프린팅 하는 방법, Etch Resist를 이용하는 방법 등 다양한 잉크젯 방식이 개발되고 있다. Table 1 Screen과 잉크젯 방식에 의한 Si Wafer의 Metallization의 기술 비교이다. Screen 방식에 비하여 잉크젯 기술은 선 폭을 40 um 이하로 줄일 수 있어

Table. 1 Si Solar Cell 프린팅 기술 특성 비교

	Screen	Inkjet Printed	Inkjet Etch Resist
Line Width (μm)	> 100	30 ~ 40	20 ~ 40
In-Line Resistivity	> 10 $\mu\Omega/\text{cm}$	2 $\mu\Omega/\text{cm}$ (1.2 x bulk silver)	2 $\mu\Omega/\text{cm}$ (1.2 x bulk silver)
Contact Resistance	> 10 $\text{m}\Omega/\text{cm}^2$	3 ~ 4 $\text{m}\Omega/\text{cm}^2$	< 3 $\text{m}\Omega/\text{cm}^2$
Processing temperature	750 ~ 850°C	750°C	< 500°C
Deposition Method	Contact @ RT	Non-contact @ 200°C	Non-contact @ RT
Waste	10~20%	<1%	Etch Resist, Etching Solution Strip Solution Ag <1%

효율을 더 올릴 수 있고 또 Waste가 적고 더 낮은 Contact Resistance로 같은 효과로 더 적은 재료가 들어가서 재료 비도 절감이 된다. 또한 다양한 구조의 Solar Cell이 개발되고 있어서 이러한 Non Contact 기술을 다양하게 적용하는 것이 요구되고 있다.

PCB 분야도 다양하게 잉크젯 기술이 적용되고 있는 분야이다. PCB Legend Marking은 다품종 소량 생산에 많이 적용이 되어 있으나 좀 더 일반적으로 적용되기 위해서는 잉크, 공정 그리고 장비의 가격이 낮아져야 한다. Infrastructure가 좀 더 구축되고 또 물량이 늘어나게 되면 가격이 떨어지게 되고 이에 따라서 시장에 급속하게 확장이 될 것으로 예상 된다. Screen 프린팅 기술에 비하여 장점이 많이 때문에 가격 대비 생산성이 만족되면 성공적으로 적용이 될 것으로 예상된다. FPCB 제조에서도 Etch Resist 그리고 PI 프린팅 등 분야에 개발이 이루어지고 있다. 특히 새로운 잉크들의 개발은 잉크젯 기술의 PCB Application에 있어서 개발을 촉진하고 있다.

이외에도 Touch Screen, Coating, Micro Lens, Bio 등 다양한 Application에서 다양한 잉크젯 잉크, 공정 그리고 제품이 개발되고 있다.

3. 잉크젯 기술의 대량 생산 적용에 대한 고려 사항

잉크젯 프린터를 우리 주변에서 쉽게 사용하다 보니 잉크젯 기술이 쉬워 보이지만 실제로 잉크젯 기술을 실제 대량 생산에 적용하는 것은 쉽지 않다. 이는 Desktop 프린터에서 요구되는 잉크젯 기술과 인쇄전자에서 요구되는 잉크젯 프린터의 기술이 기본적으로 요구되는 사양

Table 2. Desktop 프린터와 Display용 잉크젯 프린터의 기술 차이

항목	Desktop 프린터	FPD용 Inkjet 장비
프린팅 정밀도	± 25~35 μm	< ± 10 μm
Droplet 크기균일성	± 15%	± 2%
제어방식	전체가 하나의 Waveform	개별 Nozzle Waveform (DPN)
Jetting Head 수명	< 20억 번	100억~900억 번
Droplet Analyzing	없음	필수
Head Rotation	없음	필수
Meniscus 조절방식	대기압	진공

이 전혀 다르기 때문이다. 인쇄전자와 Desktop 프린터 기술의 차이는 Table 2와 같다. 특히 양산용 프린터는 생산성을 최대화 하기 위하여 이러한 요구 사항에 따라서 최적의 설계가 되어야 가격 대비 최고의 생산성을 가질 수 있다.

각 인쇄 전자 제품의 요구 사항에 따라서 다르지만 요구되는 잉크젯 기술의 중요한 여러 가지 고려 사항이 있다. 먼저 잉크젯 기술의 모든 것이 잉크에 따라서 좌우될 정도로 가장 중요한 것은 잉크다. 잉크가 제품에 들어가 품질, 특성, 신뢰성 그리고 내구성 등 모든 사항이 만족되어야 한다. 제품 제조 시에 잉크와 제품의 표면 적합성, 잉크의 Jetting 신뢰성, drying 특성 그리고 Curing 특성도 중요하다. 제품A에 맞게 개발된 Silver 잉크도 제품 B에는 전혀 맞지 않을 수 있다. 따라서 잉크는 각 Application에 맞게 최적화 되어야 최적의 제품을 만들 수 있다.

각 제품의 Device 재료, 설계, 공정 및 사양이 제품의 품질, 성능 그리고 신뢰성에 영향을 주지 않는 한도 내에서 잉크젯 기술에 맞게 개선되어야 한다. 이러한 개선으로 제품 제조의 품질 및 Yield을 쉽게 높일 수 있고 또한 생산성을 높일 수 있다. Si Solar Cell의 Finger Line 두께가 Screen 프린팅으로 하면 30 um까지 두껍게 요구되지만 잉크젯으로 하면 더 낮은 Contact Resistance로 14 um만 되어도 같은 특성을 얻을 수 있다. Color Filter를 만들 때 BM 재료가 잉크젯에 적합한 재료로 변경되어야 하고 또 잉크가 Pixel내에서 잘 퍼져서 균일한 두께를 얻을 수 있게 표면 처리도 하여야 한다. 또한 Pixel 설계도 잉크젯에 적합하게 변경할 필요가 있고 프린팅 공정도 이에 맞게 최적화하여야 한다. 이러한 제품 개선은 잉크젯 공정을 적용하는 모든 제품에 적용되고 있고 이러한 하여 성공적인 제품을 만들 수 있다.

프린팅 된 잉크들이 자재 위에서 원하는 패턴 그리고 모양으로 만들어져야 하고 또한 프린팅 되어야 할 표면이 세척이 되고 이물질이 없어야 한다. 이러한 목적으로 표면 에너지를 조절하고 Cleaning을 하기 위해서 다양한 전처리 공정이 실제 모든 인쇄전자 제품 제조에 적용되고 있다. 이러한 전처리 공정은 잉크젯 프린팅 결과에 중요한 영향을 준다. Cleaning은 지금도 전자 제품의 제조

공정으로 많이 사용이 되고 있지만 잉크젯에서는 자재의 표면 에너지를 어떻게 할 것인가를 고려해서 수행하여야 한다. 특히 프린팅 하는 자재에 대기압 Plasma 처리로 패턴에 따라서 친수성 그리고 소수성의 Zone Define 기술을 수행하는 방법도 있다. 또한 이러한 전처리 기술로 균일성을 향상시키고 또 잉크와 자재의 접착력을 높일 수 있다.

잉크젯 프린팅 후 Drying과 Curing도 결과에 큰 영향을 미치는 요소 중에 하나이다. 특히 Drying은 프린팅 된 결과 즉 두께의 모양 제어 그리고 Uniformity을 얻기 위해서 중요하다. Solvent Based 잉크는 Coffee Ring이 없는 선 모양을 얻기 위해 이에 맞는 최적의 잉크 Formulation을 가지고 이에 맞는 Drying 공정을 개발하여야 한다. 또 넓은 면적을 Coating을 하여 Drying을 하면 가장자리와 중앙 부분의 Drying 속도의 차이가 난다. 이로 인하여 Drying 중에 잉크가 움직이고 프린팅 결과에 불균일성이 발생하게 된다. 이는 잉크 Formulation과 Drying 방식 및 공정 조건을 최적화하여야 한다. UV 잉크도 원하는 두께와 잉크의 번짐을 제어하기 위하여 UV Lamp로 Pinning을 한다. Curing은 Drying후에 제품의 특성 및 내구성을 높이기 위하여 수행이 되는데 높은 온도

와 장시간의 Curing 조건 그리고 제품에 따라서는 산소가 없고 습기가 없는 조건에서 Curing이 되어야 하는 경우도 있다. 기술적으로는 가능하지만 생산을 하는데 많은 비용이 들고 또 자재의 제한에 따라서 제한을 받을 수 있다. 대량 생산을 위해서는 온도는 가능한 낮고 최단시간에 Curing을 할 수 있는 잉크와 기술이 개발이 되어야 하는 것이 중요하다.

잉크젯 프린터도 중요하게 고려되어야 할 요소이다. 현재 전자 인쇄용 잉크젯 프린터의 가격이 높아서 적용이 어려운 Application도 있다. 이는 물량의 문제이다. 잉크젯 기술 적용 물량이 적어서 상대적으로 가격이 높지만 물량이 더 늘어나고 Infrastructure가 갖추어지면 Desktop 프린터처럼 더 싸게 적용이 될 수 있을 것이다. 그보다는 Application의 요구에 따른 적절한 프린팅 헤드의 선정 그리고 이에 최적화된 전용 프린터의 적용으로 가격대비 생산성을 높이고 또 재료비를 절감하는 것이 중요하다. 또 프린팅 신뢰성을 가질 수 있게 잉크에 따라서 장비 설계 및 공정을 확립하는 것이 중요하다.

잉크젯 프린팅을 수행하여 제품을 제작하는데 필요한 청정도가 일반적으로 생각되는 것 보다 좋아야 한다. 이는 제품에 따라서 다르겠지만 10,000에서 10 Class까지

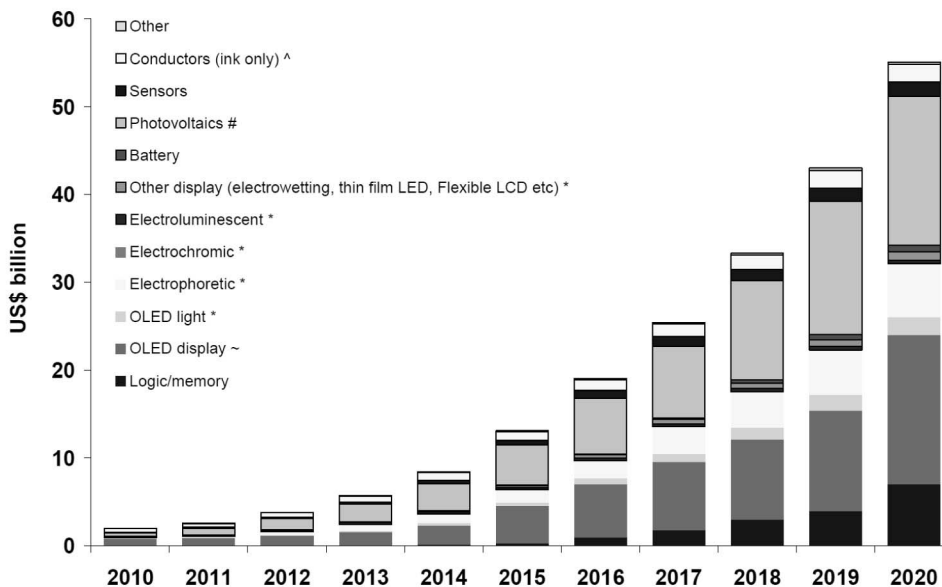


Fig. 4. Printed and potentially printed electronics market forecast(IDTechEX2010).

높은 청정도가 요구 된다. 청정도에 따라서 제품의 수율이 달라지게 된다.

4. 잉크젯 기술의 시장 현황

인쇄전자용 잉크젯 기술이 소개되어 10년 간 기술 개발이 이루어지고 이제 많은 분야에서 초기 양산 단계 그리고 양산에 이르고 있다. 가장 많이 상용화가 이루어진 부분이 Display이다. 그러나 향후에는 PCB, Solar Cell, Semiconductor Packaging, Mobile Phone 등 더 다양한 분야에서 적용이 이루어질 것이다. Fig. 4는 IDTech에서 전망한 2020년 까지 인쇄전자소자 시장 분석이다. 2020년에는 551억\$의 시장이 예상이 된다. 잉크젯 기술도 이런 인쇄전자소자 제조의 10~13%를 담당할 것으로 예상이 되어 잉크젯 잉크, 소재, 그리고 장비 시장도 이에 상응할 것으로 예상되고 높은 성장을 이룰 것으로 예상된다. 자료에서 보는 것 같이 인쇄전자 소자에서 가장 큰 점유율을 갖는 Application은 OLED TV와 조명 그리고 태양전지 분야이다. 이 분야는 잉크젯 기술이 가장 큰 장점을 가지고 적용이 될 수 있는 분야여서 잉크젯 시장 다른 어떤 인쇄 기술보다도 전망이 좋다.

5. 잉크젯 기술의 미래

지난 10년간 잉크젯 기술은 괄목할 만한 발전을 이루었다. 그러나 향후 10년간 더 빠른 발전을 이룰 것으로 예상된다. Fig. 5는 지난 10년간 개발된 Line 폭 개발 동향이다. 현재 잉크젯 기술은 10 um Droplet을 만들어서 선 폭 20 um이 가능하다. 물론 이러한 기술을 양산에 적용하는 것은 더 시간이 걸릴 것이다. 현재 2 ~ 3 um의 Droplet을 만들 수 있는 잉크젯 헤드가 개발되어 여러 업체에서 실험이 되고 있다. 이러한 헤드들이 나오면 4 ~ 5 um 선 폭을 만들 수 있게 되어 Display용 TFT 분야 등 잉크젯 기술이 적용될 수 있는 범위가 더 넓어지게 된다. 또한 Fig. 6과 같이 Seiko Epson이 2006년 SID에서 TFT용 4 um Line을 보여준 것 같이 가격적인 문제만 해결될 수 있다면 잉크젯 기술은 다양한 프린팅 기술과 Fusion 방식으로 더 얇은 선 폭을 만들 수 있게 될 것이다. 잉크젯 기술은 많은 장점이 있지만 또한 단점도 있어서 다른 기술과 같이 보완이 되면 최상의 인쇄 기술이 될 가능성이 많아서 미래 전망이 밝다.

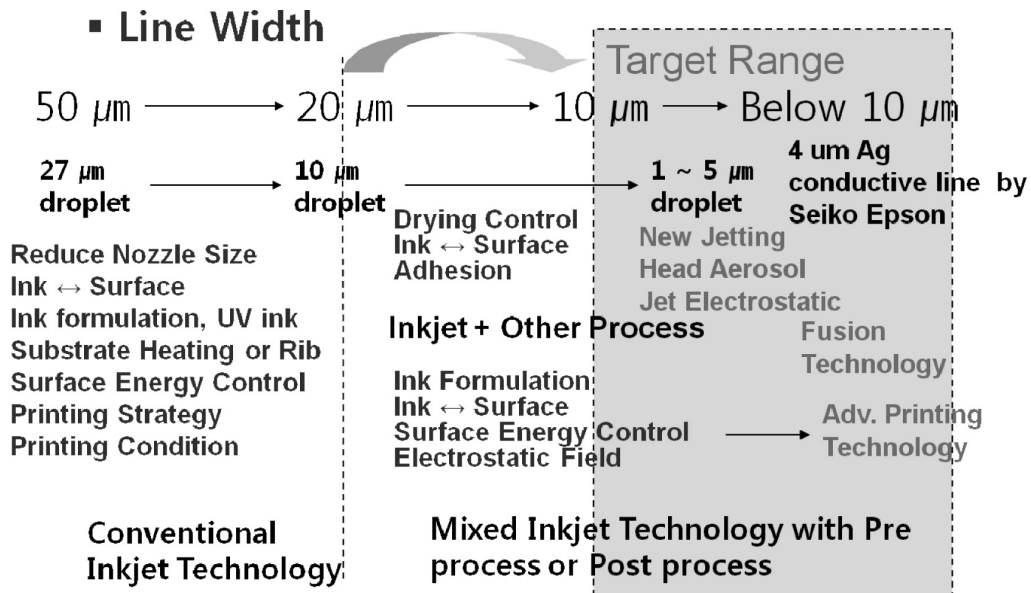


Fig. 5. 잉크젯 Line 폭 개발 동향.

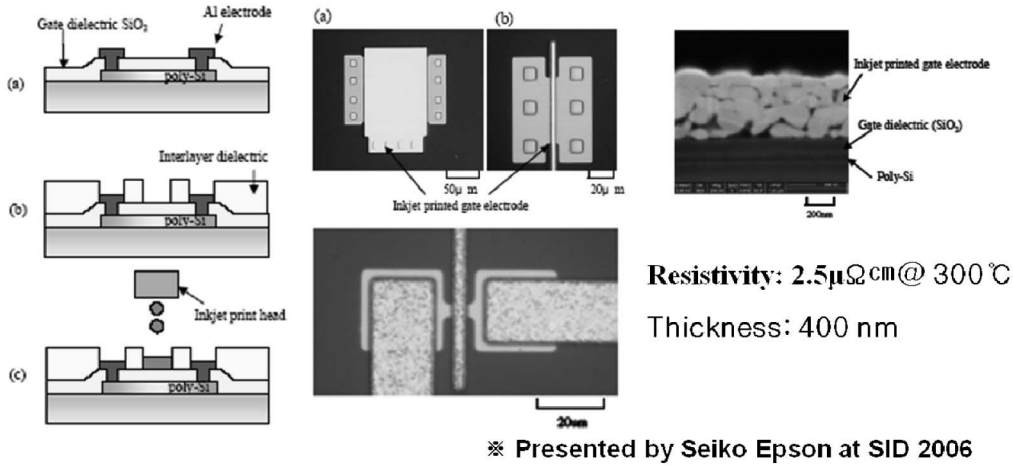


Fig. 6. Fusion 기술에 의한 4 μm 전도성 Line 형성 기술

6. 결론

지난 10년간 잉크젯 기술이 발전하여 다양한 Application에 양산 적용이 시작되고 있다. 이러한 기술 개발은 향후 더욱 빨라져서 더 다양한 Application이 개발되어 잉크젯 기술은 인쇄전자 기술의 핵심이 될 것 이

다. 그러나 이를 이루기 위해서는 잉크, 공정, 자재, 소자, 헤드, 그리고 장비가 더 개발되고 이 기술들이 서로 Matching 되어야 가능하다. 그 중에서 특히 인쇄전자에서 요구되는 제품 특성을 만족하기 위한 Application에서 요구되는 다양한 잉크의 개발이 더 많이 필요하다.

●● 김석순



- 대학원(박사): 드렉셀 대학교(Drexel University), Philadelphia, PA, USA
- 대학원(석사): 빌레노바 대학교(Villanova University), Villanova, PA, USA
- 대학교(학사): 연세대학교 공과 기계공학과 (1979년 3월~1983년 2월)
- 유니젯(주) 대표이사 (02/9~현재), 성남시 소재
- 메카텍스(주) 반도체 연구소 (99/12~02/5), 직책: 연구소장
- 삼성항공 정밀기기연구소 (95/10~99/11), 직책: 선임 연구원
- 철보사, 서울 사원(86/3~87/3), 직책: 연구원
- 금성사, 생산기술 연구소 자동화팀 (84/12~86/3), 직책: 연구원