

전자소자용 전도성 잉크

이 글에서는 전자소자의 제작에 대표적으로 사용되는 전도성 잉크의 종류에 대해 살펴보고 대표적인 나노입자 형태의 전도성 잉크의 특성에 대해 소개하고자 한다.

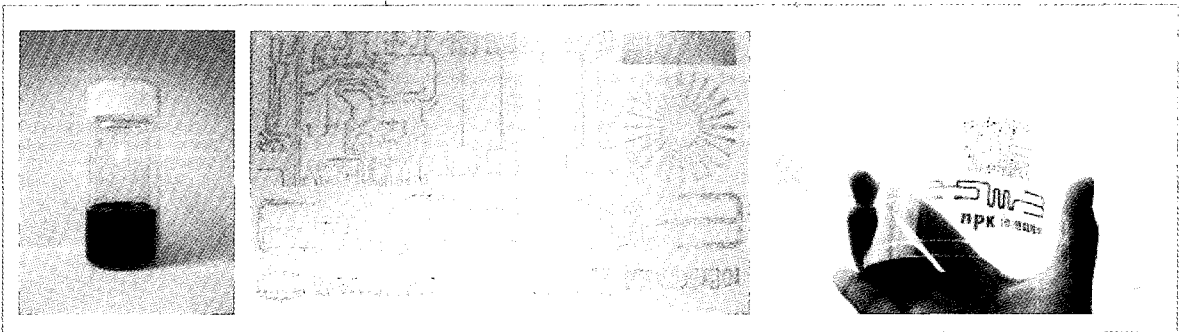


그림 1 전자소자용 전도성 잉크와 이를 이용한 패턴

최 근 전자회로의 패턴을 인쇄 방식으로 형성하는 기술이 주목받는 가운데 핵심 소재인 전도성 잉크의 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 전도성 잉크는 전도성 입자를 분산시켜 잉크 형태로 만든 전자 소재로, 현재 전자 회로를 형성하는 노광 및 에칭 공정을 대체하는 인쇄 공정에서 필요한 핵심 물질이다.

일반적으로 금속은 수백 $^{\circ}\text{C}$ ~수천 $^{\circ}\text{C}$ 에 이르는 녹는점을 가지지만 금속의 입자가 작아져서 나노 수준의 크기가 될 경우 경화 온도가 낮아져 녹는점 이하에서 경화가 가능해진다. 그림 2는 은의 입자 크기에 따른 소성 온도를 보여준다. 따라서 금속의 입자를 수십 나노 이하로 만들고 이를 뭉치지 않도록 분산을 시키고

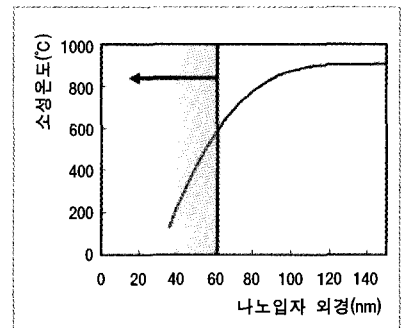


그림 2 입자 크기에 따른 은의 경화온도 (Cabot 자료)

Cheson
Electrodeposited Conductive Inks
Product Selector Guide

PRODUCT	PRINTING	CARRIER	SUBSTRATE	BINDER	PHYSICAL	CONDUCTIVITY
	ML, SL, Sp, CI	Water, Solvents	Polymer, Paper	Yes	Microscopic	Sheet, Bulk
Electrodeposited	*	*	▲	Yes	9.0µm	Decreasing conductivity as substrate resistivity increases at 2.05Ω/sq. (100µm x 100µm)
Electrodeposited	*	*	▲	Yes	9.0µm	Decreasing conductivity as substrate resistivity increases at 2.05Ω/sq. (100µm x 100µm)
PE 481	*	*	▲	Yes	70.0µm	Decreasing conductivity as substrate resistivity increases at 2.05Ω/sq. (100µm x 100µm)
SV2429	*	*	▲	Yes	2.15µm	Decreasing conductivity as substrate resistivity increases at 2.05Ω/sq. (100µm x 100µm)
SV2494	*	*	▲	Yes	0.15µm	Decreasing conductivity as substrate resistivity increases at 2.05Ω/sq. (100µm x 100µm)
PE 482	*	*	▲	Yes	9.0µm	Decreasing conductivity as substrate resistivity increases at 2.05Ω/sq. (100µm x 100µm)
SV2428	*	*	▲	Yes	25	Decreasing conductivity as substrate resistivity increases at 2.05Ω/sq. (100µm x 100µm)
PE 483	*	*	▲	Yes	15	Decreasing conductivity as substrate resistivity increases at 2.05Ω/sq. (100µm x 100µm)

Electrodeposited is a registered trademark of Cheson Industries, Inc.
For specific information please refer to the individual product data sheets.

PRECISIA Conductive Gravure Inks

- **Electrical Resistance**
- ~150 mOhms/sq. at 6 µm
- **Advantages**
- More vehicle flexibility
- Resolution
- **Challenges**
- Particle Stability
- Thick film build
- Speed
- **High Volume RFID**
- **'Exotic' Inks**
- OLED, Active, etc.

XINK™

Flexo Printing with Conductive Ink:
An overview of Printed RFID Antenna & Intelligent and Active Packaging Applications

Presented By:
James Neilson
Xink Laboratories Ltd.
April 20, 2005

그림 3 외국의 전도성 잉크 개발 동향

프린팅이 가능하도록 잉크화 하면 프린팅 방식으로 패턴을 하고 낮은 온도에서 경화하여 전극을 형성할 수 있다.

현재 외국의 Cabot, Xink, Merck, Agfa 등에서는 전도성 나노 잉크를 개발하였고 잉크젯, 롤프린팅의 장비에 실험실 수준으로 적용되어 RFID 안테나, ring oscillator, 전극 등의 패턴에 응용이 되고 있으나 1리터에 수백에서 수천만 원에 이르는 등 매우 고가로 판매되고 있다. 이는 전도성 잉크의 제조의 어려움뿐만 아니라 몇 개 회사의 독

점에 의해 시장이 편성되어 있고 아직 대규모 양산보다는 실험실 수준의 제조 방법에 기인하는 바가 크다. 외국 업체의 전도성 잉크는 대부분 실버 나노 잉크가 큰 비중을 차지하고 있으며 큐어링 온도는 200℃ 내외, 큐어링 (curing, 양생) 시간은 온도에 따라 수십 초에서 수 분 수준이다. 그러나 아직 잉크의 안정성과 장비에서의 사용 안정성은 크게 확보되지 못하고 있다. 주로 생산·판매되는 잉크는 잉크젯용의 은 함량 질량비 20% 수준의 저농도이거나 고농도의 경우 스크

린용 페이스트로 전조 온도가 수백 ℃에 이르러 저가, 저온의 PET, 종이 등의 사용에는 어려운 실정이다. 또한 재료 자체가 고가이고 생산 업체마다 특성이 다르므로 국내의 장비 연구는 특정 업체의 잉크에 맞춰 공정을 개발하기에도 무리가 따르고 다양한 잉크에 적합한 공정을 만들어내기도 쉽지 않은 실정이다. 잉크 생산 업체는 잉크의 보관 안정성과 장비 적용 안정성을 확보하기 위해 노력 중이며 전도성을 가져오는 금속의 함유율을 높이기 위해 많은 연구 중이다.

지금까지의 대부분 전도성 잉크들은 주로 은을 전도성 물질로 사용하여 개발되고 있으며, 일부 개발 제품들은 카본 나노 튜브 등을 사용하고 있다. 이렇게 은을 주로 사용하는 이유는 은이 금속 중 가장 좋은 전기 전도도를 보이며, 비교적 쉽게 구할 수 있고, 카본 나노 튜브보다는 저가에 구할 수 있기 때문이다. 전기 전도도는 일반적으로 비저항으로 표시하는데 전기 전도율의 역수로 단위는 Ωm 또는 Ωcm을 사용한다. 그림 4는 여러 가지 금속의

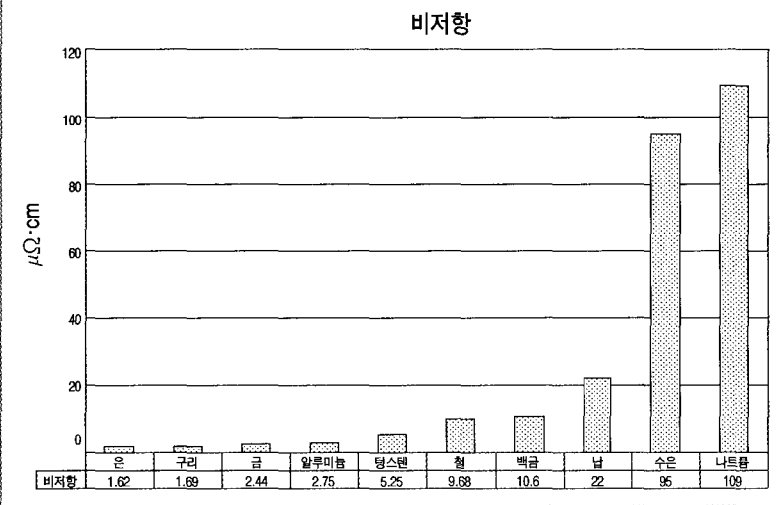


그림 4 금속의 비저항

비저항을 비교한 것으로서 은의 경우 $1.62 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$ 로 구리 $1.69 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$, 금 $2.44 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$ 에 비해 낮은 비저항을 갖는다.

이 글에서는 전도성 잉크의 종류에 대해 살펴보고 대표적인 나노 입자 형태의 전도성 잉크의 특성에 대해 자세히 검토해 보고자 한다.

전도성 잉크의 종류

전도성 잉크는 페이스트 잉크, 금속염 잉크, 나노 잉크 등 크게 세 가지로 구분된다. 첫째로 페이스트 잉크는 대개 수백 나노미터에서 수 마이크로 단위의 금속 분말(주로 은)을 분말 사이를 접촉하고 유동성을 주기 위한 바인더 수지와 기타 첨가제와 혼합한 형태로 점도가 높은 것이 특징이다. 이러한 고점도 특성 때문에 일반적으로 스크린 인쇄 방법을 적용하여 회로를 인쇄하며, 각종 멤브레인 스위치, RFID 안테나, 디스플레이용 전극 등 여러 분야

에 적용되고 있다. 장점으로는 스크린 인쇄 특성이 우수하다는 점과 비교적 저렴한 가격을 들 수 있다. 단점으로는 점도가 높아서 다양한 인쇄 방식의 구현이 어렵고, 스크린 인쇄 적용 시 인쇄 정밀도가 약 50 마이크로 정도로 제한된다는 점이다. 또한, 금속 분말 사이를 전기 전도도가 낮은 고분자로 채운 형태이기 때문에 전체적인 전기 전도도가 떨어진다는 문제점도 있다. 일반적으로 페이스트로 인쇄한 경우 비저항은 $10 \sim 50 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$ 수준으로 은의 비저항의 6~30배 수준이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 여러 가지 방법들이 개발되었는데, 가장 일반적으로 사용되는 방법은 나노 은 입자를 첨가하는 방법이다. 나노 입자의 경우에는 용점이 급격히 감소하는 특성을 보이는데, 이러한 특성을 이용하여 마이크로 크기의 입자 사이를 연결하여 전기 전도도를 향상시킨다. 그림 5는 이러한 과정을 도식화하여 보여주고 있다. 현재 미국 및 일본 업체가 주도적

으로 개발 및 판매를 하고 있으며, 대표적으로 Du Pont, Dow 등을 들 수 있다.

전도성 잉크의 두 번째 종류는 금속염 형태로 용매와 이온 상태의 은과 상대 이온 및 첨가제로 구성되는데, 일반적으로 상대 이온 탄소 체인을 포함하는 경우가 많아 유기 용액이 된다. 용매에 따라 점도가 변화되지만 저점도 잉크가 일반적으로, 잉크젯 방식과 같은 젯팅 방식 및 롤 방식의 인쇄에 적합하다. 문제점은 은의 농도 조절에 한계가 있는 것으로 결과적으로 건조 및 소성 후 인쇄 두께가 매우 얇게 된다. 즉, 금속염의 농도가 용매에 대한 용해도 이상이 되면 침전이 일어나 고농도화에 제한이 있다. 대표적인 개발 업체로는 잉크테크사를 들 수 있다.

세 번째 전도성 잉크의 종류는 나노 입자 형태로 분산제로 안정화된 나노 입자와 용매 및 첨가제로 구성된다. 앞서 말한 바와 같이 나노 입자의 저온 소성 특성을 활용하여 PET 필름 등과 같은 열 안정성이 낮은 인쇄체에

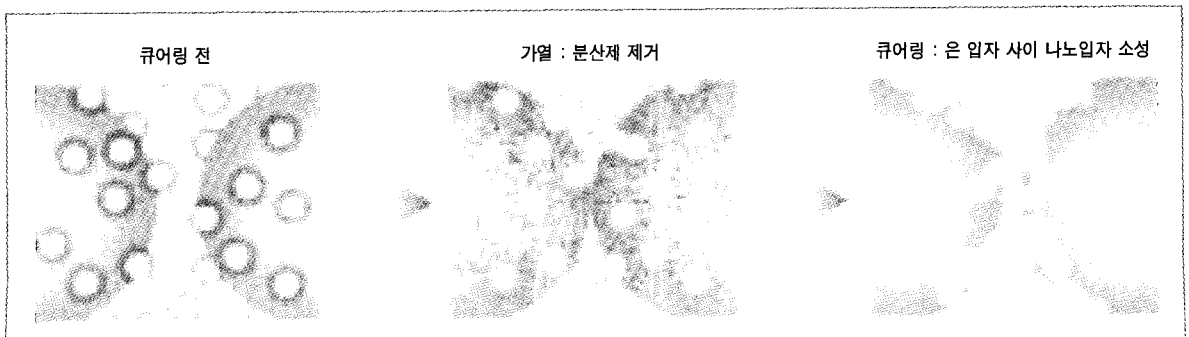


그림 5 페이스트에서 나노 입자의 역할

적용이 가능한 장점이 있다. 그림 3은 저온 소성의 메커니즘을 보여 주고 있다. 즉, 가열함에 따라 나노 입자를 감싸고 있는 분산제가 제거되고 나노 입자 사이에서 소성이 일어나게 된다. 대표적인 개발 업체는 미국의 Cabot 사 등을 들 수 있다.

위의 금속염 또는 나노 입자 형태의 전도성 잉크는 여러 가지 인쇄 방식에 대응할 수 있다는 장점이 있고 전기 전도도가 페이스트에 비해 우수하다. 이들 방식의 잉크를 사용한 인쇄체의 비저항은 $3 \sim 10 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$ 수준으로 페이스트의 1/5 이하 수준이다.

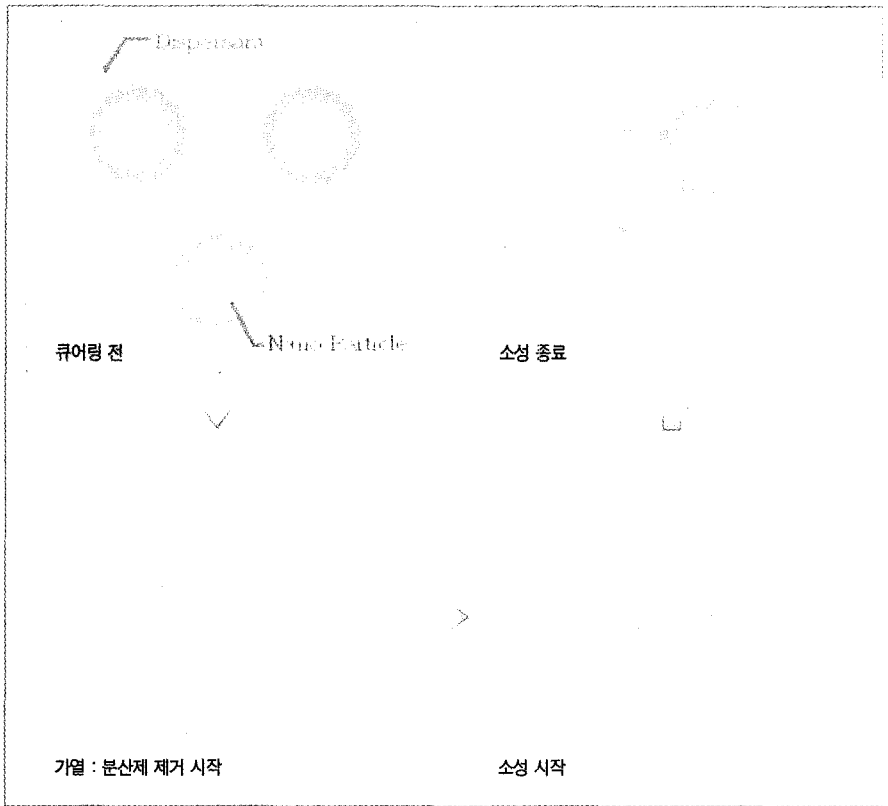


그림 6 저온 소성 메커니즘

나노 전도성 잉크

앞서 이야기한 바와 같이 나노 전도성 잉크는 크게 나노 입자와 분산제 그리고 용매로 구성되는데, 입자의 크기, 소성 온도, 안정성 등에 영향을 주는 것은 분산제이다. 분산제의 기본적인 구조는 은과 같은 금속에 친화력이 있는 극성 부분과 비극성 탄소 체인으로 이루어진다고 볼 수 있다. 극성 부분으로는 sulfonate, carboxylate, amine group 등이 일반적으로 사용되고 있으며, 탄소 체인의 길이, 기능기의 종류 및 조합 등의 변화를 주어 개발 회사 마다 고유한 분산제를

사용하고 있다.

전도성 잉크에서 은의 함량은 소성 후 인쇄 두께에 직접적인 영향을 주는 중요한 인자로 일반적으로 사용하는 무게 %(wt%)보다 부피 %(vol%)가 직접 영향을 준다. 은은 비중이 10.49로 일반적인 용매에 비해 매우 큰 값이다. 즉 20wt%인 전도성 잉크의 경우 부피비로는 약 2vol% 수준이 되어 1마이크론 이상의 인쇄 두께를 얻기가 현실적으로 어렵다. 그림 4는 용매 비중이 1인 경우에 무게비와 부피비의 관계를 나타낸 것으로 50~60wt% 이상이 되어야 10vol%를 넘게 된다. 결국 50% 이상의 고농도

잉크가 아니면 1마이크론 이상의 인쇄 두께를 얻을 수 없다고 볼 수 있다.

전도성 잉크의 사용에 있어서 중요한 조건 중의 하나는 소성 온도 및 시간이다. 이는 인쇄 생산성 및 인쇄체 선정에 영향을 주는 것으로서 소성 온도가 높은 경우에는 PET 필름과 같은 저가의 인쇄체를 사용할 수 없는 문제가 발생하고 소성 시간이 긴 경우에는 인쇄 후 긴 소성 라인을 필요로 하여 생산성을 저하시킬 수 있다. 그림 8은 당사에서 개발한 전도성 잉크의 TGA 분석 결과로 100°C에서 완전히 소성이 되는 것과 함량이 48%라는

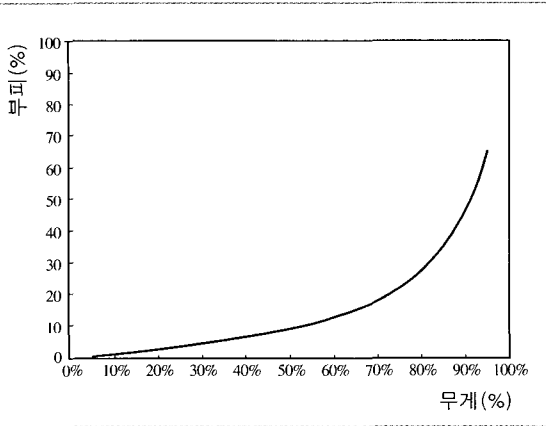


그림 7 무게비와 부피비의 관계

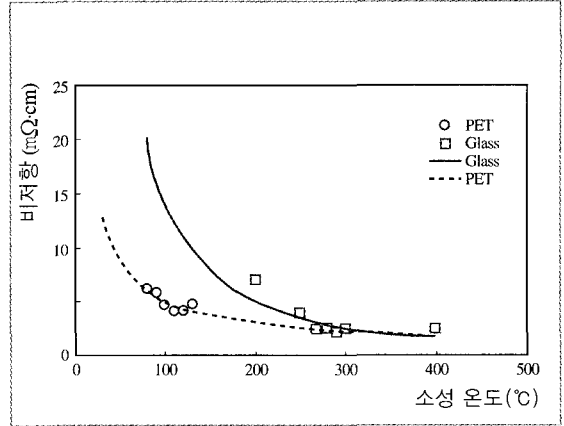


그림 9 소성 온도에 따른 비저항 측정 결과

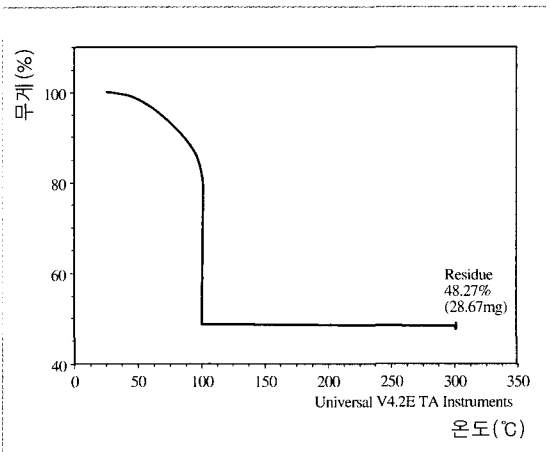


그림 8 TGA 분석 결과

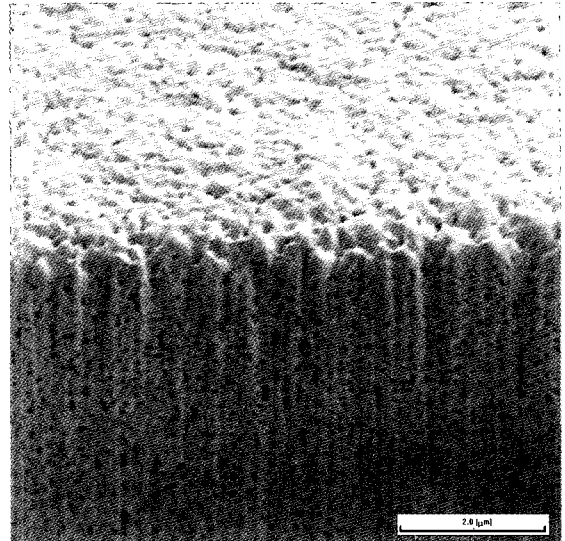


그림 10 인쇄 단면 SEM 사진

것을 알 수 있다.

그림 9는 PET와 유리용 전도성 잉크를 각각 소성 온도에서 5분간 소성 후 비저항을 측정하는 것으로 소성 온도가 증가할수록 비저항이 감소하는 것을 알 수 있다. PET용의 경우 120°C 이상에서 $4.5 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$ 정도의 비저항을, 유리용의 경우 280°C 이상에서 $2.5 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$ 정도의 비저

항을 갖는 것을 보여주고 있다.

그림 10은 소성된 인쇄 단면에 대한 전자현미경 사진으로 고르게 소성이 이루어졌음을 알 수 있다.

맺음말

이상과 같이 간략하게 전도성 잉크의 종류와 나노 전도성 잉크

의 특성을 살펴보았다. 현시점에서 가장 많이 사용되고 있는 전도성 잉크는 은 페이스트이며, 나노 전도성 잉크는 우수한 전기 전도도와 여러 인쇄 방법의 적용 가능성이라는 장점 때문에 여러 분야에서 적용 및 개발이 진행되고 있다.