

## 새로운 나노프린팅 방법

단일 나노입자들을 고도의 정확성으로 정렬하는 새로운 방법이 더 작은 전자회로를 가능하게 하고 아마도 은행 수표 위조를 예방할 수 있을지도 모른다고 한다.

아이비엠 사의 쥘리히 연구소에서 헤이코 울프와 연구진은 스위스 연방 기술 연구소의 연구진과 함께 이 새로운 나노프린팅 기술을 개발했다. 그들은 이 방법을 사용하여 지름이 겨우 60나노미터의 입자들을 약 100 나노미터의 정확도로 배열할 수 있었다. 이 프린팅 방법은 약 2 만여개의 입자들을 담은 완전한 하나의 그림을 만드는데 사용될 수 있었다.

이 방법은 기존의 프레스 프린팅 방법과 유사하다. 프린팅 판이 나노입자들을 역방향으로 집어내고 목격면에 눌러져서 패턴을 만들어낸다. 연구진은 입자들보다 크지 않은 아주 작은 점이나 강선을 이용하여 입자들이 프린팅 기관위의 어디에 붙어질지를 정확히 조절할 수 있었다. 이러한 강선들은 기존의 실리콘 칩 제조 기술로 만들어낼 수 있었다.

수천개의 나노입자들을 담은 한방울의 액체가 판위에 선을 형성한다. 이때 표면 장력은 패턴이 된 구멍근처에서 강하게 되며, 이는 나노 입자들이 그 구멍으로 당겨지게 한다. 액체의 방울이 움직여 갈때 잉크들은 패턴위에 남아있게 된다. 판은 적당한 기관위에 눌러지고 이미지가 형성된다.

이 방법은 아마도 수표나 현금을 나노입자들을 배열함으로써 위조를 예방할 수 있게 할지도 모른다. 울프 박사는 “이는 모든 작은 규모의 첨단 프린팅 방법으로 쓰일수 있는 흥미로운 것이다. 비록 이것이 우리의 연구 동기가 아니긴 하지만 말이다.” 라고 말했다.

이 패턴은 또한 나노크기의 회로를 만들 수 있는 연결된 선을 형성하고 다른 형상을 만드는데도 사용될 수 있다. 예로서 실리콘 나노와이어들이 이 방법들로 만들어질 수 있다. 다른 연구진은 나노와이어를 이용한 전자회로를 만들고 있으나, 이러한 기기를 대량 생산하지는 못했다. 이들의 연구 결과는 네이처 나노테크놀로지지에 실렸다.

(New scientist tech, September, 2007)

## FED에 적용 가능한 대량 생산 나노기술

미국 휴스턴 대학교의 빈센트 돈넬리, 드메트레 예코노모우와 폴 루츠호에프트 교수는 나노기술을 이용하여 LCD보다 성능이 우수하며 대량 생산이 가능한 필드 발광 디스플레이(field emission display(FED))를 만드는 기술을 개발하였다. 이 FED는 넓은 탄소 나노튜브 어레이를 사용하여 효율적인 이미터(emitters)로 동작하고 LCD보다 높은 해상도와 선명도를 창출하게 된다. 이러한 휴스턴 대학교의 연구 개발로 인하여 상대적으로 시장에서 새로운 것임에도 불구하고 액정 디스플레이(liquid crystal display(LCD)) 텔레비전은 진부한 것으로 취급될 것으로 예상된다.

탄소 나노튜브의 정렬된 어레이를 대량생산할 수 있는 나노제조 기술은 FED 제조에 있어서 아주 전망을 밝게 한다. 이는 기존 FED

제조 상용화에 가장 큰 장벽으로 여겨진 대량 생산의 문제점을 해결한 것이다.

나노 팬터그래피(nanopantography)라고 명명된 이 기술은 일반적인 광식각 공정으로 선택적으로 박막을 제거하고 실리콘 웨이퍼에 둥근 구멍 중앙에 식각을 통하여 이온 초점 마이크로 렌즈(ion-focusing micro-lenses) 어레이를 제작하는 방법이다. 이 렌즈는 렌즈의 크기보다 100배나 작은 구멍을 만들 수 있도록 설계되어 있다. 이온 빔은 표면에 직접 조사되고, 아주 좁은 간격으로 작은 구멍을 수백만개 동시에 제작이 가능한 기술이다.

기존에도 일본의 오사카가스는 FED 패널의 전자방출원으로 사용할 카노 나노튜브[메타카본]를 개발했다고 밝혔다. 메타카본은 다층 카본 나노튜브의 탄소 벽 안에 Fe를 포함하는 구조이다. 하지만 대량 생산은 여전히 해결해야 할 문제로 남아있다.

기존의 기술은 전자빔 쓰기(electron-beam writing) 기술과 주사 터널링 현미경(scanning tunneling microscope) 기술을 사용하여 나노구조의 제조 및 속도에는 한계가 있어 대량 생산에는 적합하지 않은 문제점이 있었다. 하지만 새롭게 개발된 이 기술은 전체 웨이퍼 상에 원하는 위치에 동시에 구현이 가능하다. 특히 이 기술은 정확한 이온과 가스 원소를 이용하여 다양한 재료와 나노 크기의 모양을 제조할 수 있다. 따라서 이 기술은 대량 생산이나 대면적화에 적합하다.

연구원들은 이 기술을 특허신청한 상태이고, 이를 이용하여 향후 5년에서 10년안에 상용화될 것으로 기대하고 있다.

(Physorg, September, 2007)

## 태양전지 시장에서 비 Si계가 급속히 확대

전세계적으로 신재생에너지인 태양전지에 대한 관심이 증폭되는 가운데, 일본 산요(Sanyo) 전기는 22.3%의 셀 변환효율을 달성하였다고 발표하였다. 이러한 효율은 단결정 실리콘 웨이퍼에 비정질 실리콘 막을 형성하는 산요전기의 독자적인 기술인 HIT(hetero-junction with intrinsic thin layer)형 셀에서 얻은 결과이다. 산요 전기는 지난 2007년 6월 셀 변환효율을 종래의 21.8%에서 22.0%로 높였다고 발표한 바 있다.

이번에 변환효율이 더욱 향상된 것에 대해서는 개방전압과 단락전류를 높일 수 있었던 것이 크게 기여한 것으로 판단되고 있다. 지난 6월의 발표에서는 단결정 실리콘 표면의 세정 방법을 개선하여 캐리어의 재결합에 의한 손실의 원인인 표면 결함을 줄이고, 개방전압을 종래의 0.718 V에서 0.722 V로 높인 것이 주효하였다. 또한 광을 차폐하기 위해 형성되는 셀 표면의 요철의 크기와 형상을 최적화함으로써 단락전류가 종래의 38.37 mA/cm<sup>2</sup>에서 38.64 mA/cm<sup>2</sup>로 늘어났다.

태양전지의 시장이 호조이다. 조사회사 후지 경제에 의하면 2010년도 세계 시장규모는 2006년도의 3.7배로 증가하여 2조 7,716억 엔(약 22조 2,171억 원)에 이를 전망으로, 현재 태양전지의 주류가 이루고 있는 것은 결정 Si형이지만 Si 웨이퍼의 공급이 힘든 가운데 원료에 Si를 사용하지 않든지 사용하는 양이 적은 타입의 태양

전지가 향후 판매를 크게 늘려갈 것으로 후지 경제는 예상하고 있다.

이 조사에 따르면 Si를 사용하지 않는 CIS형 태양전지 시장규모는 2006년도 45억 엔(약 360억 원)에서 2010년도에는 4,725억 엔(약 3조 7,800억원)으로 급속하게 확대될 전망이다. 주성분은 Cu(동), In(인디움), Se(셀렌)로 박막계 중에서는 광전 변환 효율이 높고 장기 안정성이 실증되고 있다. 해외에서는 독일 Wurth Solar GmbH & Co. KG나 미국 Global Solar Energy, Inc.가 취급하고 있다. 일본에서는 쇼와 쉘 솔러(Showa Shell Solar)가 세계 최대 규모의 공장을 건설 중이다.

마찬가지로 Si를 사용하지 않는 색소 증감형 태양전지는 2007년도에 35억 엔(약 280억 원) 시장 규모에서 2010년도에는 16.6배인 581억 엔(약 4,648억 원)까지 성장할 전망이다. 변환 효율이 낮다고 하는 문제점은 있지만 제조비용이 결정계에 비교하여 1/2~1/10 정도로 억제된다는 이점이 있다. 영국 G24 Innovations, Ltd.가 2007년 내에 세계에서 최초로 양산을 시작할 것으로 예상된다. 일본 국내 메이커의 양산은 2008년 무렵이 될 전망이다.

구상 Si 태양전지는 2007년도에 20억 엔(약 160억 원)의 시장을 형성하고, 2010년도에는 14.4배인 288억 엔(약 2,304억 원)으로 성장할 전망이다. 결정계에 비해 Si의 사용량을 억제하여 제조비용을 삭감할 수 있는 것이 특징이다. 참가 메이커 중에서 현재 양산화에 가장 가깝다고 볼 수 있는 회사는 Fujipream으로 2007년도 중에 양산 공장이 완성 예정이다. 이 공장에서 1 MW/월 규모로 제조를 개시하여 순차적으로 생산 능력을 증강해 나갈 계획이라고 한다. 이 외에 교세미(Kyosemi)는 시범 제작한 모듈을 2005년 아이치 국제박람회에 출전하였고, 교세라(Kyosera)는 관련 특허를 다수 출원하고 있다.

(TechOn, September, 2007)

## 레이저로 소결된 나노잉크로 플라스틱 위에 인쇄하는 기술

구부릴 수 있는 폴리머(flexible polymer) 모재 위에 높은 해상도의 유기 트랜지스터(organic transistor)를 제조하는 것은 전체를 인쇄하는 전자제품을 위한 중요한 진보라고 과학자들은 말한다. 유기 전자 소자의 장점은 유리, 플라스틱과 금속 박막과 같은 여러가지 기판을 사용할 수 있고, 다양한 유기 재료의 합성이 가능하다는 것이다. 이 연구진의 성공 비결은 2004년부터 각광을 받기 시작했던 레이저로 소결되고 잉크젯 방식으로 인쇄된 금속 입자를 사용했다는 것이다. 현재 유기 전자 시장 현황을 살펴보면, 실험실에서 개발된 많은 제품들이 실제 시장에 출시하고자 많은 노력을 하고 있다. 시장 조사 전문 기관인 나노마켓(NanoMarkets, LC)에 따르면 유기발광소자, 유기 박막트랜지스터와 다른 유기 물질은 2007년도에 14억달러(한화 1조 4천억원) 달러에서 2012년에는 197억달러(한화 19조 7천억원), 2014년에는 344억달러(한화 34조 4천억원)에 이를 것으로 전망하고 있다.

예전 연구에서 사스 대학교 오스틴의 화학과 폴 바바라와 알렌 바드 교수는 새로운 나노입자를 이용하여 태양 전지나 발광 다이오드(light-emitting diodes(LEDs)) 같은 플라스틱 반도체 소자의 성능을 향상시키는 연구를 진행했었다. 이에 비해서 이 인쇄 프로세스의 핵심은 자기 조립되는 단일층(self-assembling monolayer, SAM)으로 안정시킨 금 입자(직경 1~3 nm)로 만들어진 나노잉

크이라고 연구진은 말했다. 또한 연구진은 나노입자의 크기와 캐리어 용매의 유체성질이 가장 중요한 고려사항 중의 하나라고 말했다. 크기에 의존하는 녹는 온도의 감소는 이 연구에서 결정적이었고 10nm 보다 더 작은 입자에 대해서만 볼 수 있었다고 말했다. 벌크상태의 금은 1063 °C 이상에서 녹기 시작하는 반면에 직경이 2 nm 인 금 나노입자의 녹는점은 단지 150 °C이다.

이 연구진은 약 50 μm의 잉크젯방식의 제한된 분해능으로부터 10 μm 보다 더 작은 분해능까지 선의 폭을 감소시키기 위해서 원래의 인쇄된 패턴을 선택적으로 소결하도록 파장이 514.5 nm인 아르곤 이온 레이저 빔(argon ion laser beam)을 사용했다. 이 연구진에 따르면 레이저로 소결된 금으로 만든 선들은 훨씬 더 균일하고 히터로 간단히 처리된 잉크젯 방식의 인쇄 패턴보다 1~2 μm 정도 더 높은 해상도를 가진다. 나노잉크의 잔여분은 무기물 용매를 사용해서 쉽게 제거할 수 있다.

연구진은 소결되지 않는 금 나노입자를 걸러내기 위해서 간단한 필터링 과정을 사용했다. 이 자기 조립되는 단일층으로 보호된 나노입자들은 매우 안정적이고 이 장치의 품질에 영향을 끼치지 않고 제조 비용을 감소하기 위해서 재적용할 수 있다.

연구진은 플라스틱과 용해성이 있는 이 프로세스가 유기물 전계효과 트랜지스터(organic field effect transistors, OFETs)와 더 복잡한 장치를 위한 빌딩 블록(building block)의 제조에도 적합하다고 말했다. 이 소결된 전자제품을 평가하기 위해서 연구진은 일반적인 리소그래피를 사용해서 제작한 장치와 이 기술을 사용해서 만든 장치와 비교했다.

연구진은 아직 몇 년 동안 테스트를 하지 않았지만 레이저로 소결된 장치들은 몇 달 동안 리소그래피로 제작된 전자부품만큼 좋았다고 말했다. 현재 이 연구진은 기계적으로 반복 하중을 가해서 피로 테스트(fatigue testing)를 하고 있고 이 장치의 성능은 65,000 반복 후에도 감소하지 않았다고 말했다.

(Nanotechnology, August 2007)

## 광학적 성질이 우수한 긴 탄소 나노튜브

만약 단벽을 가지는 탄소 나노튜브(single-walled carbon nanotubes(SWCNTs))의 광학적 성질인 흡수, 형광과 산란등의 성질을 연구하고자 한다면, 긴 탄소 나노튜브가 훨씬 효율적인 소자를 만들 수 있다. 이러한 연구 결과는 미국 국립 표준 기술연구소(National Institute of Standards and Technology(NIST))의 과학자들에 의하여 미국 화학회지 최근호에 발표되었다. 특히 탄소나노튜브의 길이가 광학적 성질인 흡수, 근적외선 형광과 공명 라만 산란등에서 매우 중요한 요인으로 작용하는 것을 밝혔다.

일반적으로 물질의 굴절률과 같은 성질은 일정하지만, 미국 표준 과학 연구소의 연구원들은 나노수준의 물질에서는 일정하지 않고 다르게 나타나는 것을 밝혀내었다. 광학적 성질을 제어하는 것은 단벽을 가지는 탄소 나노튜브를 이용하여 광학 센서, 생물학적 탐침과 약물 전달 시스템에 적용할 수 있는 실마리를 제공해 준다.

분광 특성을 이용한 연구에서는 기존에 일본 나고야 대학의 과학자들은 마이크로 광전류(μ-PC) 분광법을 사용하여 전계 효과 트랜지스터(FET)에서 단일 벽 탄소 나노튜브의 선회특성(chirality)을 조사하여 나노튜브의 상태 밀도, 띠 간격 및 기타 전자적 특성에

관한 연구를 발표하였다.

또한 미국 리이스 대학의 와이즈만 박사가 주도하고 있는 연구팀은 나노튜브의 33가지 “종류”에 대한 정밀한 광학적 특성을 규명했다. 이 연구 결과는 광 방출 나노튜브의 각 형태에 따른 빛 파장의 흡수와 방출에 관한 상세한 내용을 발표하였다. 와이즈만 박사는 “광학 나노튜브 분광기술은 나노기술 연구의 중요한 도구로서 간단한 측정에 의해 나노튜브의 샘플을 분석할 수 있기 때문에, 몇 초 내에 각 샘플의 특징을 잡아낼 수 있다”고 말했다.

광학적 성질을 측정하기 위하여, 연구진은 색층 분석기(chromatography)를 이용하여 DNA로 둘러싸인 탄소 나노튜브를 길이별로 측정하였다. DNA는 탄소 나노튜브를 물에 용해시키게 만들어서 색층분석이 가능하게 만들어 준다. 생물학에서 분석하는 방법을 이용하여 50나노미터에서 500나노미터의 길이를 가지는 탄소 나노튜브를 측정하였다.

길이에 따른 광학적 성질에서 흡수의 강도는 길이가 길어질 수록 증가하였다. 이는 근적외선과 공명 라만 산란등에서도 아주 중요한 요소로 나타났다. 따라서 연구진들은 길이에 따른 광학 효과의 관계는 양자 물리학 현상으로 물질에 따른 일정한 상수값들은 변할 수 있음을 제시하였다.

하지만 길이에 따른 탄소 나노튜브의 광학적 성질의 연구에서는 재료의 결함, 킨크(kinks), 불순물과 튜브의 변형등도 고려해야 되는 한계점이 아직도 남아 있다.

(Proxy Carbon, September, 2007)

## 반도체를 대체할 차세대 나노자석

반도체를 대체하고 비닐로 덮혀진 매체에 기록되는 콤팩트 디스크 처럼 자기 셀 네트워크(magnetic cellular networks)를 이용하여 반도체 집적 회로와 경쟁할 만한 컴퓨터의 능력을 향상시킬 수 있다는 사실을 미국 휴스턴 대학교의 드미트리 리트피노브 교수가 연구, 발표하였다.

약 100여 년 전 자기기록의 원리가 발명된 이후 지금까지 꾸준히 고용량 정보저장 방식으로 자리잡은 자기기록 방식이 최근 새로운 국면을 맞이하고 있다. 기록밀도의 지속적인 증가에 따라 기록매체를 구성하는 자기입자 크기가 지속적으로 작아졌고, 이에 의해 초상자성 효과에 의한 물리적 한계에 부딪히게 됨으로써 새로운 기술혁신 없이는 더 이상 기록밀도를 증가시키기 힘든 시점에 이르게 되었다.

반도체 물질의 칩 표면에 전자 회로와 부품이 집적되어 있는 회로는 많은 전자 소자에 사용되고 있다. 전자 소자와 자기 소자(magnetic devices)에 있어서, 목표는 더욱 더 작아지는 것이다. 진공관 튜브와 비교하면 트랜지스터는 아주 작고, 집적도도 높으면서 신뢰성이 있는 컴퓨터를 만들 수 있다. 더 작은 공간에서 하나의 정보 비트(bit)를 기록하여 소자에 더 많은 정보를 저장하고, 더욱 빠르게 동작할 수 있는 소자가 가능하다.

리트비노브 교수는 나노 자석, 즉 자석 셀 네트워크를 정렬하여 기존의 회로를 대체하고 컴퓨터의 작동 성능을 매우 향상시켰다. 이러한 자석 나노셀은 논리 소자, 램과 정보 저장 소자등에 응용이 가능하다. 이웃한 자석과 척력과 인력의 자기화(magnetization) 현상을 이용하여 논리 소자를 구현할 수 있게 만들었다.

이는 반도체 집적 회로 다음 세대로 자석을 이용한 초고집적 소자를 만들 수 있으며 컴퓨터의 동작 능력을 향상시킬 수 있을 것으로 예측하고 있다. 또한 이러한 소자는 매우 안정적이고 신뢰성이 높고, 방사선이나 열에도 강하여 군사용이나 우주 산업등에도 응용이 가능할 것으로 여겨진다.

이 연구는 나노자석 개념을 성공적으로 접목하여 상업화가 가능한 자기 정보 저장 시스템에 직접적으로 응용이 가능하다. 또한 이 연구에 참여한 가장 큰 자기 정보 기술회사인 시겟트 테크놀로지(Seagate Technology)의 송 주(Song Xue) 박사도 산업적으로 적용 가능하다는 긍정적인 전망을 보였다.

장기적으로 집적 자기 컴퓨팅 시스템은 정보 프로세서에 있어서 초전도체와 경쟁할 뿐만 아니라 지난 세기의 집적 회로와도 경쟁하여 진보된 기술로 여겨진다고 리트비노브 교수는 설명하였다. 이는 산업체에서 관심을 가질 뿐만 아니라 세계 경제, 정치와 사회 시스템에도 잠재적으로 큰 영향을 줄 것으로 여겨진다.

(Physorg, August, 2007)

위 기술뉴스는 과학기술정보포털서비스(KiSTi), 글로벌동향브리핑에서 인용, 정리하였습니다.

<DuPont Korea Technology Center 한관수,  
e-mail: k.han@kor.dupont.com>