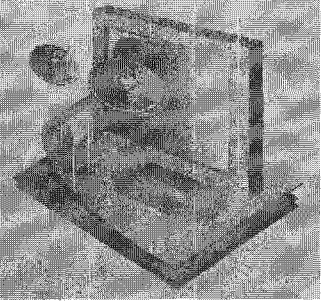


투명반도체에서 나노구조의 응용



김동찬 박사과정, 조형균 교수 (성균관대 신소재공학부)

1. 서론

투명전자소자 (Transparent Electronic Device)란 유리처럼 투명한 기판에 투명한 물질로 소자를 만든 것이다. 투명한 물질이란, 주로 산화물이며, 이들로 투명전극, 투명반도체, 투명유전체를 구성함으로써 소자 전체의 투과도를 80% 이상 확보할 수 있다. 이렇게 제조된 투명전자소자는 정보 인식, 정보 처리, 정보 표시의 기능을 구현함으로써 기존 전자기기의 공간적/시각적 제약을 해소할 수 있다. 투명전자소자는 투명 센서, 투명 RFID 태그, 투명 보안전자기기 등 정보인식용 부품과 투명 디지털/아날로그 IC 등의 정보처리용 부품, 스마트 창, 투명 정보표시기의 정보표시용 부품 등 투명한 특성이 요구되는 다양한 투명전자부품으로 응용 가능한 미래형 IT 소자이다. 트랜지스터나 다이오드 등 전자회로의 주요한 소자를 투명하게 만드는 것이 실현되면, 이러한 소자를 포함하는 전자회로 전체가 투명해질 가능성이 크며, 컴퓨터는 전자회로가 집적되어 기능하는 것이기 때문에 장래에 눈에 보이지 않는 컴퓨터가 탄생할 전망이다 [1-3].

2. 활용분야

최근 투명 산화물 반도체의 응용분야는 평판 디스플레이를 필두로 자동차용 또는 투명 회로에 이르기까지 폭넓게 확대 적용될 것으로 예상된다.

투명전자소자는 투명장치 분야에서 소비자 전자제품, 수송, 산업 및 군사용으로도 이용될 수 있으며, 특히 자동차 방풍유리는 시각적 정보를 전달하며 어떤 형태의 유리도 전자장치로 짝을 지을 수 있어 보안 시스템 혹은 투명표시장치를 향상시킬 수 있다. 자동차 앞 유리에 계기판과 네비게이터를 만들고 수족관 또는 쇼 윈도우를 디스플레이로 활용할 수 있다. 목적지에 대한 지도가 표시되는 자동차 앞 유리, 군인의 시야 바로 앞에 지시사항 등이 표시되는 군사용 고글 등으로 활용할 수 있다 [2].

3. 최근 기술동향

각종 미래기술 분석 기관들은 미래의 8대 유망기술에 디스플레이 기술을 포함시켰으며 향후 기술 발



그림 1. Transparent Display (Universal Display Corp.).

전은 초대형화, 고화질화, 모바일화로 될 것이라 예측하고 있다. 즉, 대형 디스플레이는 대형 PDP, LCD, Wall Display 등 초대형 디스플레이로 모바일 디스플레이는 Flexible, Paper-like, 경량, 박형 저전력 디스플레이로 개발 될 것이다. 이러한 새로운 기능의 대표적인 디스플레이 기술 중에 하나가, 바로, 산화물 트랜지스터를 이용한 투명 스마트 창 (Transparent Smart Window)일 것이다. 그림 1과 같이 투명전자소자와 유기발광 디스플레이에 기반한 스마트 창 기술은 지금까지 보지 못한 새로운 기능으로, 환경과 조화를 이루는 친환경 디스플레이, 정보와 광고를 융합시킨 디지털 정보 광고 산업 등, 새로운 산업을 창출할 수 있는 잠재적 가치가 매우 큰 기술일 것이다 [3].

4. 투명반도체에서 나노구조의 응용

20세기 후반부에 등장한 나노 기술 (NT, Nanotechnology)은 정보기술 (IT), 바이오기술 (BT) 과 더불어서 21세기에 제3의 산업혁명을 가져올 것이라는 기대 때문에 전 세계 과학자들의 마음을 사로잡고 있다. 실험실에서 다룰 수 있는 물질의 크기가 마이크로미터에서 나노미터로 줄어들면서 과학자들이 특별하게 많은 관심을 가지는 이유는 모든

물질이 마이크로미터 크기로 작아져도 벌크물질의 물리적 특성들이 대부분 그대로 유지되지만, 나노미터 크기가 되면서 우리가 경험하지 못했던 새로운 물리적 특성들이 발현되면서 새로운 특성을 이용한 나노미터 크기의 다양한 나노디바이스들을 창출할 수 있는 가능성이 열렸기 때문이다. 나노기술은 나노물질을 다루는 분야로, 거대분자, 양자점과 같은 영차원 나노입자, 나노와이어, 나노막대, 나노리본 등과 같은 직경이 100 nm 이하의 일차원 구조의 나노물질 및 나노박막과 기타 100 nm 이하의 나노구조물들로 분류되며, 일차원 구조의 나노물질을 이용하여 전자·광학디바이스들의 조립이 실용화 될 경우, 우리의 일상생활을 엄청나게 변화시킬 수 있다는 잠재성 때문에 많은 과학자들을 흥분시키고 있다. 우리가 현재 누리고 있는 IT 기술의 열매는 주로 실리콘을 바탕으로 하는 전자디바이스 소형화 기술이며, 소위 리소그래피 기술로 대변되는 이러한 소형화 추세는 인텔의 공동 창업자인 Moore에 의한 예견대로 이제 그 한계점에 다가가고 있다는 것이 대부분 전문가들의 일치되는 의견이다. 현재 일차원 구조를 이용한 전자디바이스화 연구는 결정성장을 정밀하게 조절하는 합성기술, 합성된 일차원 나노물질의 물리적 특성을 지배하는 각종 파라미터들과 물리적 특성들과의 상관관계 정립, 나노와이어를 이용한 Bottom-up 방식에 의한 조립기술 확보를 위해 활발히 진행 중이며, 그 연구결과는 예상했던 대로 우리를 감탄케 한다. 이러한 나노기술의 도입은 투명소자제작의 고효율, 소형화를 위해서는 불가피해 보인다. 특히 산화물 나노선의 경우, 투과율이 100%에 달하는 높은 투과도를 보이고 우수한 결정성을 지니고 있으므로 캐리어의 빌딩블럭으로의 사용이 용이하다. 다음은 ‘반도체나노와이어의 물리적 특성’ 및 현시점에서 돌아본 ‘투명소자제작에 쓰이고 나노구조의 사례들’ 이다 [5].

5. 나노구조의 물리적 특성

5.1 양자구속효과

양자점, 나노와이어, 나노우물과 같은 크기가 작

은 물질에서는 양자구속효과라는 것이 나타나는데 이 효과의 두드러진 점은 물체의 크기가 작아지면 밴드갭(Bandgap)이 커진다는 것이다. 이러한 효과는 물질의 밴드갭을 조절할 수 있다는 점에 중요한 의미를 내포하고 있다. 최근 나노입자와 나노막대들의 크기에 따라 흡수/방출되는 에너지의 변동현상이 집중적으로 연구되고 있으며 이는 광소자 효율 향상에 있어 꼭 고려할 사항이다.

5.2 Hall-Petch 효과

벌크상태의 다결정고체에서는 소위 'Hall-Petch' 효과 때문에 결정의 조직이 작아질수록 물성이 강해지는 현상이 나타나는데, 나노미터 크기가 되면 역 Hall-Petch 효과가 나타난다. 이것은 그래인이 작아지면 변위(Dislocation)에 의한 항복이 일어나는 대신 그래인과 경계면에서 미끄러짐 현상이 두드러지기 때문에 해석되고 있으나 좀 더 명확한 실험적 관찰과 이론적 해석이 요구된다.

5.3 용점의 저하

결정의 크기가 20 nm 이하가 되면 결정의 용점은 크기와 반비례하여 낮아진다. 이것은 입자 크기가 작아질수록 배위가 작은 표면 원자들의 비율이 높아지기 때문이다.

5.4 기계적 물성

나노미터 크기의 단결정은 벌크상태보다 내부결합이 훨씬 적어서 기계적 강도, 강성, 인성이 완전결정의 이론값에 접근하는 높은 값을 갖는다. 따라서 이를 복합물질에 사용하거나 일명 NEMS라고 불리는 나노전자기계시스템(Nanoelectro-mechanical System)의 구동장치에 적용할 수 있다는 가능성 때문에 주목 받고 있다.

5.5 공명현상(Resonance)

나노와이어는 개별 분자 수준의 물질을 감지할 수 있는 나노공명기술에 적용될 수 있을 것으로 예상된다. 캔틸레버 빔의 공명진동수는 정상파의 t/L^2 (t 는 정상파의 두께, L 는 길이)에 선형적으로 비례하기 때문에 나노와이어와 같이 종횡비가 크고 가

벼운 물질로 만든 정상파은 최고의 감도를 나타낼 수 있다.

5.6 광전도도와 화학탐지

반도체 나노와이어와 나노벨트 및 나노튜브 등의 전자전도도는 이들 물질들의 띠간격보다 큰 에너지를 갖는 광자를 쏘여주면 상당히 활발해진다. 이는 투명디스플레이의 센서 응용 시 꼭 필요한 특성이다.

5.7 자기효과(Magnetic Effect)

고체는 표면효과, 양자구속효과, 자기구역과 크기와의 상관관계 등의 효과로 인해 크기에 따라 자기특성이 변화하기 때문에 고체의 크기를 변화시켜서 자성을 강화하거나 유도할 수 있다.

6. 현시점에서 본 투명소자제작에 쓰이는 나노구조

6.1 투명 OLED

최근 투명한 구동소자로서 산화물 반도체를 사용한 박막트랜지스터(Thin Film Transistor)를 이용한 능동형 OLED의 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 이를 위한 재료로는 ZnO나 InO, GaO, SnO 등 산화물 재료와 각각의 조합으로 구성된 재료들이 주로 사용되고 있다. 퍼듀대(Purdue Univ.)와 노스웨스턴대(Northwestern Univ.)의 연구팀은 최근 아연산화물(Zinc-oxide)과 인듐 산화물 나노와이어(Indium-oxide Nanowire)를 사용하여 유연하고 투명한 트랜지스터를 공동으로 개발하였다 [6]. 실리콘 트랜지스터보다 좋은 성능을 보이며 플라스틱 기판 위에서도 쉽게 제조될 수 있다. 기존의 투명하지 않은 트랜지스터 회로를 OLED화소 주변에 배치하였을 때는 디스플레이의 발광 면적을 감소시키지만, 투명한 트랜지스터의 개발로 이를 걱정할 필요가 없다.

트랜지스터를 만들기 위해서 먼저 유리나 플라스틱 기판 위에 게이트 전극(Gate Electrode)으로서 인듐 아연산화물(Indium-zinc-oxide)을 증착하고, 그

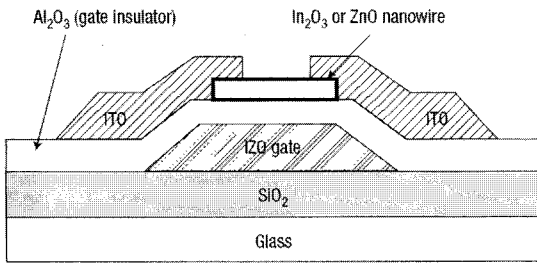


그림 2. 인듐 산화물 나노와이어를 이용한 투명 트랜지스터 (Nature Nanotechnology 2, 378 - 384 (2007)).

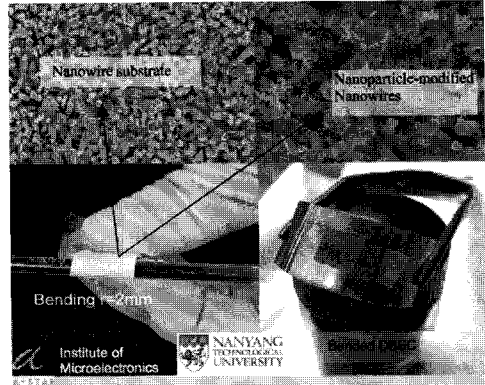


그림 3. 산화물 나노와이어를 이용한 플렉시블 연료감응형 태양전지 (Appl. Phys. Lett. 92, 143101 (2008)).

표면에 나노와이어 (Nanowire) 용액을 입혀 적절히 나노와이어를 정렬시킨 후 인듐 주석 산화물 (Indium Tin Oxide)로 소스 전극 (Source Electrode) 과 드레인 전극 (Drain Electrode)을 증착한다. 그림 2의 인듐 아연 산화물과 인듐 주석 산화물은 모두 투명하다. 아직까지 나노와이어를 이용하는 소자구조는 많은 연구주제가 남아 있으나, 박막증착을 이용한 산화물 박막트랜지스터의 경우에 국내에서도 삼성, LG 등의 산업체 위주로 연구개발이 진행되어 유연기판을 사용한 능동형 (AM)OLED의 시연 성공에 이르는 기술적 성숙이 이루어지고 있다 [7].

6.2 투명 태양전지

다음은 최근 환경에너지 산업이 부각되면서 큰 관심을 끌고 있는 투명 태양전지이다. 이는 책상위에 두면 꼭 A4용지처럼 보이는 얇고 유연한 염료 감응 태양전지 (Dye-sensitized Solar Cell)가 대표적이다. 이 장치는 크게 구부러질 때에도 광기전성 성질을 보존하도록 하고 태양전지, 휴대폰 충전기, 옷 그리고 우산 같은 다양한 플렉시블한 휴대 장치에 사용될 수 있다. 1990년대 Gratzel이 개발한 염료 감응형 태양전지 기술은 값비싼 실리콘 태양전지의 저렴한 대안으로 유망해 보였다. 염료 감응형 태양전지에서 광양극은 주로 티타늄 이산화물이나 아연 산화

물 나노결정으로 되어있는 나노기공 박막으로 주로 만들어졌다. 그러나 이 두꺼운 마이크론 크기의 박막은 기판을 구부릴 때 쉽게 망가지거나 깨어지며 나노기공 박막이 잘 작동하기 위해서 고온에서 플라스틱 박막 기판을 소결되어야 하는데 이럴 경우에 플라스틱 박막 기판에 손상이 가는 것을 막을 수 없다 [8-10].

A*STAR의 Chang-yun Jiang와 연구진은 저온 수열 합성법 (Low-temperature Hydrothermal Method)을 사용해서 전도성 플라스틱 기판 위에 아연 산화물 나노선 어레이를 성공적으로 제조하였다. 전통적인 투명 전도체인 아연산화물은 전자 이동 특성도 좋아서 아연 산화물 나노와이어에서도 높은 전자 이동 특성을 나타내고 저렴하며 환경적으로 유해하지 않는 물질로 알려졌다. 그래서 지난 수년간 아연 산화물 1차원 구조로 만들어서 소자화하는 연구는 많이 수행되었다. 80-95°C의 수용액에 아연 염화물을 열수 분해 (Hydrothermal Decomposition) 방법으로 투명한 ITO (Indium Tin Oxide) 위에 아연 산화물 나노와이어 박막을 성장시켰다. 그런 후에 작업 전극 (Working Electrode)을 만들기 위해서 루테늄 염료 (Ruthenium Dye)용액 속에 아연 산화물 박막을 침적시켰다. 그리고 또 다른 플라스틱 기판 위에 전자빔 코팅으로 50 nm 백금 층을 성장시켜서 플

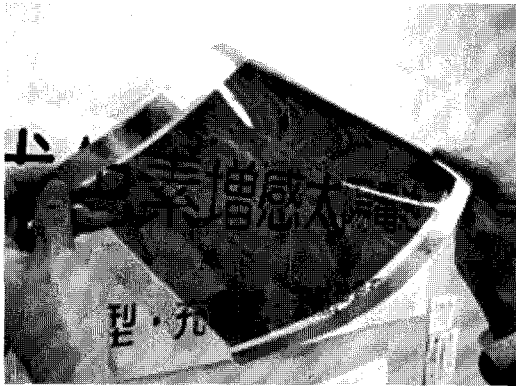


그림 4. 저온 나노입자를 사용한 플렉시블 염료감응형 태양전지 (출처 Nikkei, <http://www.nni.nikkei.co.jp/AC/TNKS/Nni20071210D10H985.htm> [KITA '07.12.13]).

렉시블 상대전극 (Counter Electrode)을 만들었다. 나노와이어 작업 전극과 백금 상대전극 사이의 간격이 50 μm 인지를 확인하기 위해서 전극 두 개를 구부렸고 마침내 플렉시블 전지를 완성하였다. 이것은 장치 속에 액체 전해액을 주입할 수 있다는 것을 의미한다. 태양광이 투명한 ITO를 통해서 전지에 비쳤을 때, 염료는 빛을 흡수하고 여기된 전자를 만든다. 이 여기된 전자는 아연 산화물 속으로 주입되고 나노와이어를 통해서 ITO 전극으로 이동된다. 이 전자는 상대 전극에 도착하기 위해서 외부 회로를 통해서 이동된다 [8-10].

또한 토인 요코하마 대학 (Toin Univ. of Yokohama)이 이 대학의 부설 펙셀 테크놀로지즈(Peccell Technologies Inc.)와 플라스틱 포장 재료 제조업체 후지모리 코교 (Fujimori Kogyo Co.)와 공동으로 개발한 염료 감응 태양전지는 빛을 흡수해 전자를 방출하는 핵심소재가 감광염료이기 때문에 이런 이름을 갖게 됐다. 실리콘 태양전지와 달리 이 염료 감응 태양전지는 구조가 단순하고 저렴한 소재를 사용한다. 본 기술은 전도성 고분자판과 같이 구부러질 수 있는 기판에 저온법으로 나노입자 산화물층을 형성하고 염료를 흡착시켜 제조한 반도체 전극과, 역시 구부러질 수 있는 기판에 형성한 백금층을 포함하는 대향 전극을 조립하여 제조하는 기술로 한국전자통

신연구원에서 2002년 출원하였다. 저온법으로 도포 가능한 점성의 콜로이드 용액을 마련하여 도포하는 제조방법에 따라 제조되므로, 나노입자 산화물층을 충분히 두꺼운 5~15 μm 두께로 형성하는 것이 가능하여 충분한 염료 흡착을 유도할 수 있다. 따라서 나노입자 산화물층을 두껍게 형성하기가 어려웠던 기존에 알려진 저온법의 태양전지에 비하여 광전환 효율을 향상시킬 수 있으면서, 구부릴 수 있기 때문에 다양한 응용성을 가지는 태양전지를 제조할 수 있다. 이 대학 연구진이 개발한 새로운 박막 태양전지는 6%의 에너지 효율을 보이고 있다. 아직 실리콘 태양전지보다 훨씬 낮은 수치다. 그러나 다른 염료 감응 태양전지에 비해서는 50% 더 높은 수치다. 염료 감응 태양전지는 인쇄 기술을 이용해 제조될 수 있어 실리콘 태양전지를 만드는데 필요한 고가의 진공증착 장비가 필요하지 않다. 따라서 염료 감응 태양전지는 대량 생산을 할 경우 실리콘 태양전지에 비해 비용을 절반 이하로 줄일 수 있다 [11].

6.3 투명 전극

나노소재와 LED를 접목한 사인보드가 등장하였다. 국내기업인 탐나노시스가 개발한 투명사인보드는 탄소나노튜브 (CNT) 투명전극을 LED사인보드에 적용, 기존 PCB기판을 사인보드와 달리 쇼윈도나 유리창에 설치 시, 후방시야를 확보할 수 있는 투

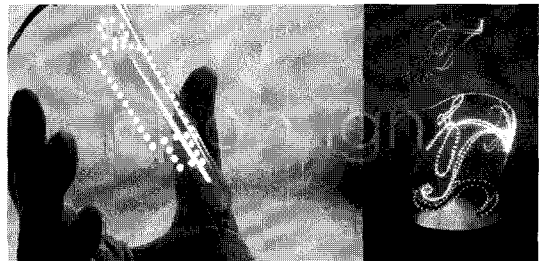


그림 5. 나노소재와 LED를 접목한 사인보드 ((주) 탐나노시스, [lighting] 영국잡지, 2008. 7).



명성이 강점이다. 투명 사인보드는 탄소나노튜브 투명전극에 마이크로 단위의 초미세 패턴을 형성한 후 LED칩을 부착한 다음 상층을 필름으로 씌운 제품으로 옥내 외 디스플레이와 광고판, POP 등에 사용될 수 있는 새로운 개념의 사인보드이다. 특히 기존 LED사인보드가 PCB기판 위에 금속물질을 패턴하고 그 위에 LED를 부착한 형태로 기판의 특성상 디자인이 평면 위주인데 반해 탄소나노튜브를 코팅물질로 활용해 유연성이 높으며 평면은 물론 곡면이나 원형 외 소비자가 원하는 형태의 디자인 제작이 가능하다 [12].

여기서 사용된 투명전극을 그래핀(Graphene)이라고 하는데, 이는 탄소원자의 단일층으로 이루어진 것으로 매우 투명하다. 지금까지 알려진 그래핀 합성 기술은 흑연의 물리적인 층분리, 화학적인 층분리, 에피택셜 그래핀결정성장, 유기합성법 등이 있다. 흑연의 물리적인 층분리, 화학적인 층분리가 가장 보편적이지만 다량생산은 어렵다.

최근에는 그래핀 산화물을 합성하고 이를 환원하여 그래핀을 얻는 합성법으로 관심이 집중되고 있다. 그래핀 리본을 이용한 나노소자연구는 미국 Stanford 대학의 Hongjie Dai 교수가 최근 시도하고 있으나 Hongjie Dai 교수는 Exfoliate한 흑연 산화물을 수소분위기에서 고온(1000 °C)에서 가열하여 폴리머를 포함하는 유기용액에서 초음파로 분산시키

는 방법을 사용하고 있다. 폭이 10 nm인 나노 그래핀 리본은 반도체 FET로 높은 on/off Ratio를 보임으로써 앞으로 이 분야의 나노양자소자 개발 연구가 본격적 연구가 시작될 것으로 전망된다 [13].

6.4 투명 LED

무기물이나 유기물 성분을 포함한 나노스케일의 하이브리드 (Hybrid) 물질들은 기존의 물질들에서 가능하지 않았던 많은 특성을 나타내기 때문에 최근 많은 관심을 받고 있다. 그 중에서도 구조적 화학적 안정성을 가진 무기 나노선과 높은 유연성 (Flexibility)을 가진 폴리머의 결합은 앞으로 플렉시블 소자로써의 가능성을 크게 열어주고 있어 많은 연구가 이루어지고 있다. 또한 이러한 소자의 경우 공정이 간단하고 두 가지 물질에서 광학적 전기적 특성을 잘 조절할 수 있기 때문에 저렴한 가격으로 대면적 소자를 제작할 수 있을 것으로 보인다. 첫째로 나노와이어를 이용한 투명 LED 제작에 관한 것이다. 이는 폴리머 물질 (Polymeric Matrix)을 포함하고 있으며 플렉시블 투명 기판에서 수직으로 성장된 ZnO 나노와이어를 이용하였다. 단일 결정화된 (Single-crystalline) 나노와이어는 광학적으로 Active한 성분이고 폴리머 성분은 강하면서도 유연한 특징을 가지게 도와준다. 이러한 유연한 하이브리드 LED는 대부분의 가시광선 부분을 포함하며

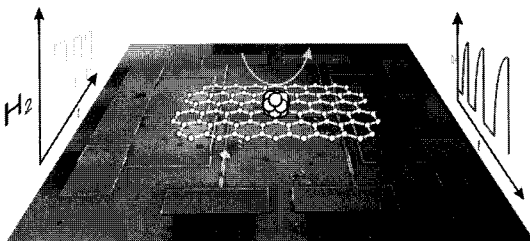


그림 6. 그래핀을 이용한 투명전극 (Science, 319, 1229 (2008)).

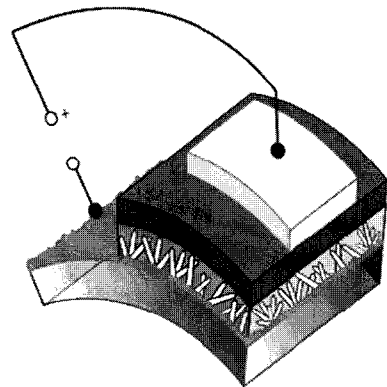


그림 7. 산화아연 나노와이어를 이용한 하이브리드 투명 LED 구조 (Nanoletter, 8, 4, 1219 (2008)).

UV에 도달하는 정도의 넓은 발광 스펙트럼을 생산한다. 앞서 언급했듯이 이러한 유연하고 앞으로는 늘어나게 할 수도 있을 것으로 예상되는 소자 구조에서 광학적으로 Active한 성분은 무기 나노선이며, 이러한 구조는 앞으로 모든 유기 전자, 광학 소자를 대체할 수 있을 것으로 보인다.

기판으로는 ITO (Indium-tin-oxide)로 덮인 투명한 PET (Polythylene Terephthalate) Foil이 사용되었고, 단일 결정화된 산화아연 나노와이어는 전기화학 합성법에 의해 성장되었다. 나노와이어 필름이 증착되고 DI로 헹군 후, 절연층 역할을 하는 PS (Polystyrene) 필름으로 스핀 코팅을 통하여 감싸는 방법을 이용했다. 이 때 스핀 코팅의 조건들은 나노와이어들 사이의 공간을 완전히 채우는 한편, 나노와이어 팁에서 매우 얇은 두께로 덮이도록 하는 적절한 조건을 취하였다. 일반적으로 질소나 산소 분위기에서 RF 플라즈마 에칭을 하면 이러한 Tip에서 PS층의 두께를 더 얇게 할 수 있다. 얇은 PEDOT:PSS 층과 증착된 Au 필름으로 이루어진 상부 Contact부분은 LED소자에서 Hole Injection Anode로서의 역할을 하게 된다 [14, 15]. 두번째로 여전히 가장 많이 쓰이는 실리콘 웨이퍼를 사용한 다차원 나노구조에 관한 것이다. 실리콘 위에 성장한 박막은 에피성장 이 아닌 다결정을 가진 박막으로 성장된다. 하지만

최근 보고되고 있는 논문에서는 p-형의 실리콘 기판 위에 n-형의 산화아연 나노막대를 수직으로 성장하고 그 위에 연속적으로 박막을 성장하여 우수한 결정성 확보 및 금속접합의 용이함을 동시에 이뤄냈다. 그림 8은 2006년에 보고된 산화아연 다차원 구조를 이용한 LED 구조 및 그 발광사진이다 [16]. 산화아연 나노구조의 경우, 단결정이며 아주 투명한 특성을 지닌다. 때문에 사진에서 보는 것과 같이 분홍빛의 밝은 발광을 관찰할 수 있다. 이처럼 실리콘 기판이 아닌 폴리머나 글래스 ITO와 같은 비교적 높은 격자상수 차이를 지닌 기판이라고 할지라도 나노선을 이용한 다차원구조를 이용하면 투명하고 밝은 LED를 제작할 수 있을 것으로 기대된다.

7. 결론

앞에서 본 것과 같이 현시점에서 나노구조의 투명소자응용이란 극히 작은 부분에 기여하고 있다. 나노구조가 가지는 가능성에 비하면 그 응용이 실로 작다고 할 수 있다. 특히 그래핀이나 산화물 나노선에 국한한 연구가 대부분이며 소자응용에는 여전히 많은 과제가 남아있다. 다음은 집적된 나노회로를 만들기 위한 세 가지 요구사항들이다. 첫번째, 나노디바이스의 빌딩블럭이 되는 나노와이어를 합성함에 있어 정확한 조성, 크기, 전자 및 광학적 특성을 정확하게 조절해야 한다. 두번째, 이러한 빌딩블럭으로부터 좀 더 복잡한 구조의 다바이스를 조립할 수 있어야 한다. 마지막으로 빌딩블럭으로부터 결합된 새로운 개념의 나노디바이스들의 타당성이 입증되어야 하는 동시에 자기결합이나 유도결합 (Self or Directed Assembly) 등에 의해서 만들 수 있는 새로운 회로 구조를 개발해야 한다. 첫번째인 1차원 나노구조의 합성과 그 물리적 특성을 평가하는 연구는 많은 진보를 이루었다. 하지만 개개의 나노선을 조작하기가 대단히 어렵고 원하는 기능을 갖는 집적된 나노회로를 조립하기에는 기술적인 장벽이 너무나 크다. 앞으로 1차원 나노구조의 갈 길은 멀다. 하지만 그 응용 가능성은 여전히 최첨단 미래사회를 꿈꾸는 우리의 가슴을 부풀게 만든다. 저자는 정확하

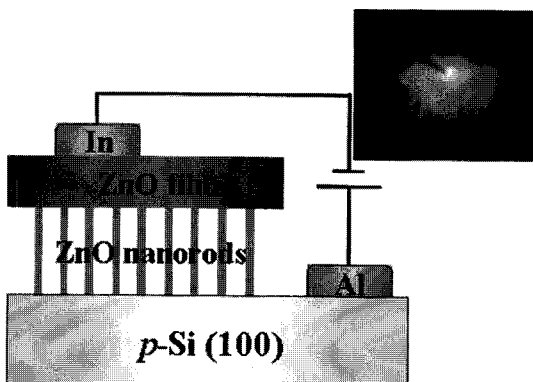


그림 8. p형 실리콘 기판 위에 성장한 산화아연 다차원 구조 LED (Applied Physics letters, 91, 231901 (2007))

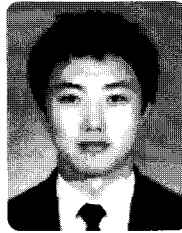


계 조절된 나노구조를 이용한 나노회로가 투명반도체에 쓰이게 될 그 날을 꿈꾸어본다.

참고 문헌

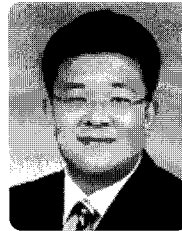
- [1] 미래유망기술 워크샵 자료, KISTI (2006).
- [2] 투명전자소자 기술 및 시장동향, 한국전자통신연구소 (2007).
- [3] 투명전자소자와 투명 디스플레이 기술, 한국전자통신연구소 (2007).
- [4] 투명 OLED를 위한 소자 및 재료기술 동향, 한국과학기술연구원 (2007).
- [5] 반도체 나노와이어의 기술동향 분석, MOST (2005).
- [6] Nature Nanotechnology, 2, 378 (2007).
- [7] Polymer Science and Technology 18, 6, (2007. 12).
- [8] Appl. Phys. Lett. 92, 143101 (2008).
- [9] 나노와이어로 만들어진 구부릴수 있는 태양전지, KISTI (2008).
- [10] ZnO 나노와이어가 배열된 전극을 이용한 빠른 스위칭이 가능한 전기변색 디스플레이, KISTI (2008).
- [11] 실리콘 태양전지를 대체할 차세대 태양전지, 요코하마 대학 (2007).
- [12] [lighting] 영국잡지, p39 (2008. 7).
- [13] Science, 319, 1229 (2008).
- [14] 플렉시블 나노와이어 LED, KISTI, (2008. 1).
- [15] Nanoletter, 8, 4, 1219 (2008).
- [16] Applied Physics letters, 91, 231901 (2007).

저자|약력



성 명 : 김동찬

- ◆ 학 력
- 2005년 동아대 재료공학과 공학사
- 2007년 성균관대 대학원 신소재공학과 공학석사
- 현재 성균관대 대학원 신소재공학과 박사과정



성 명 : 조형균

- ◆ 학 력
- 1996년 성균관대 재료공학과 공학사
- 1998년 한국과학기술원 재료공학과 공학석사
- 2002년 한국과학기술원 재료공학과 공학박사

- ◆ 경 력
- 2002년 - 2005년 동아대 재료금속화학공학부 조교수
- 2005년 - 현재 성균관대 신소재공학부 부교수

