

인간의 뼈와 물리적 특성이 유사한 에폭시 복합 소재 인조 뼈

워싱턴주의 Vashon에 위치한 Pacific Research Laboratories의 연구진은 인간의 뼈와 물리적 특성이 거의 유사한 에폭시 복합 소재 인조 뼈(epoxy composite bone)를 몰딩했다고 발표했다.

한편 복합 소재로 제작된 인조 뼈는 일관된 성능을 가진다는 장점을 가지고 있다. 기존에는 사체로부터 적출된 뼈를 사용해 실시된 테스트는 공여자의 나이나 건강 상태에 따라 다양한 강도 값을 보였기 때문에, 연구진들이 일정한 기준 값을 산출하기에는 곤란한 점이 있었다. 연구진은 둔부와 척추, 골반, 무릎, 어깨, 팔꿈치 관절 등을 포함한 2000개 이상의 뼈 모델을 다양한 소재를 이용해서, 제작한 바 있다.

이 회사가 다양한 복합 소재 복제 뼈를 제작하기 위해 지원된 소재로, 주형은 RenCast 2000 resin/Ren 2000 hardener 에폭시 시스템을, 가공이 없는 부품 주탕을 위해서는 RenInfusion 에폭시를 사용했다고 연구진은 말했다. 살아 있는 인간의 뼈와 거의 유사한 스트레사와 스트레인 특성을 가지는 인조 복제 뼈를 제작하기 위해서 유타주의 솔트레이크 시티에 위치한 Huntsman Advanced Materials Inc.의 소재가 사용됐다.

230 °C의 열 변형 온도(heat deflection temperature)를 가지고 있는, 에폭시 틀은 최대 93 °C까지 기능이 저하되지 않고 견딜 수 있는 것으로 알려졌으며, 유리로 충전된 에폭시 복제 뼈를 제작하기 위해서 일정한 압력이 요구된다고 연구진은 설명했다. 큐어링 공정을 거친 Ren Cast 2000 resin/Ren 2000 hardener 에폭시 시스템은 0.001 in/in의 선형 수축율(linear shrinkage), 91D의 쇼어 경도, 38,000psi의 압축 강도, 11,000psi의 인장 강도를 가지고 있다.

(Web www.huntsman.com, October, 2005)

단일벽 탄소 나노튜브의 새로운 제조법

단일벽 탄소 나노튜브(SWCNTs)의 박막은 화학적 기상 증착 혹은 프린팅 방법을 통해 생성될 수 있다. 그러나 이런 두 가지 테크닉은 박막 후 성장(post-production)에 남아있는 다른 물질의 사용을 포함한다.

Yoshiaki Abe와 동료 연구자들은 탄소 구조를 오

염시키는 원치 않는 물질들이 없이 1 mm 두께의 층들을 형성하는 직류 전류(d. c.) 전기 증착(electrode-position)을 사용한 방법을 보고했다(*Advanced Materials*, **17**, 2192 (2005)).

정제된 SWCNTs는 *N,N'*-디메틸폼아미드(dimethylformamide)의 무수 용액(anhydrous solution)에서 지탱된다. 1.5 V의 d. c. 전기장은 두 전도 물질 사이 혼합물에 가해졌고 그것은 SWCNT 박막의 얇은 증착물이 음극 표면(anode surface)에 응축할 수 있도록 있도록 한다. 금속들의 일반적인 증착 동안의 경우와는 반대로 어떤 전류 흐름도 관찰되지 않았다. Abe 등은 일반적인 상온과 상압에서 많은 다른 전류를 흐르게 하는 물질들 위에 SWCNT를 생성시켰다.

(*Advanced Materials*, October, 2005).

이차원 분자 나노와이어를 이용한 차세대 단분자 디바이스 실용화 기술

일본 이화학연구소는 지금까지 실리콘 기판 상의 특정 방향으로만 형성할 수 있었던 분자 나노와이어를 이와 직교하는 방향으로도 형성할 수 있는 기술을 세계에서 처음으로 개발했다고 밝혔다. 이 기술에 의해 기판 상의 임의의 두 점을 나노와이어에 의해 연결하는 것이 가능하며, 전자 디바이스의 이차원 회로 형성 실현이 가능할 것으로 전망된다.

최근 차세대 디바이스로서 단일 분자를 스위치, 트랜지스터, 센서, 다이오드 등에 활용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이와 같은 전자 디바이스를 실현하기 위해서는 디바이스로 사용할 단분자들을 회로 상에서 접촉시켜 정보를 전달하는 나노와이어로 불리는 배선 형성에 사용하게 될 분자가 반드시 필요하다.

이러한 나노와이어는 아직 많은 기술적인 과제를 남기고 있으며, 세계 각국의 연구자가 나노와이어로서 유력한 물질을 탐색하고 있는 상황이다. 그 중에서 최근 주목을 모으고 있는 것이 실리콘(100) 기판 상에 이중 결합을 가지는 알켄 분자의 라디칼 연쇄 반응에 의해 형성되는 일차원 분자열을 활용하는 방법이다. 이 연쇄 반응은 매우 빠르며, 장소, 길이, 구조성분 등을 제어하는 것이 가능하다는 큰 특징을 가지고 있다. 또한 최근 실리콘(100) 기판 상에서 연쇄 반응에 의한 일차원 분자 와이어가 전도성을 나타내는 것으로

보고되어, 다양한 알켄 분자를 이용하여 일차원 분자열을 형성하는 연구가 진행되고 있다.

전자 디바이스로서 널리 활용되는 실리콘의 결정 표면에서는 두 개의 실리콘이 결합하여 다이머를 형성하고 이들 다이머가 평행하게 배열된 구조로 안정화되어 있다. 이 표면에 수소 원자를 결합시키면 수소로 중단된 표면을 얻을 수 있으며, 수소 중단 표면에서 수소를 제거함으로써 부분적으로 결합 불포화 상태인 땀글링 본드(dangling bond)라고 불리는 결합 상태를 형성할 수 있다. 이 땀글링 본드는 한 개의 전자만을 가지고 있어 반응성이 매우 높고, 어떤 종류의 알켄 분자는 땀글링 본드와 반응하여 다이머 형태로 평행한 분자열을 형성하는 것으로 알려져 있다.

이번 연구는 알켄 분자 중에서 말단기만이 다른 분자 재료 중 다이머 열로 직교하는 방향으로만 성장하는 분자를 발견하는데 성공했다. 이 발견에 의해 종래의 방법을 병용함으로써 실리콘 표면의 임의의 두 점을 연결하는 분자 배선이 최초로 가능하게 됐다. 발견된 분자는 프로펜티올이며, 주사 터널 현미경을 사용하여 실리콘 표면 상의 수소를 제거하고 임의의 지점 사이에 분자열을 형성하는 것이 가능하다.

이 성과는 전자 디바이스로서 널리 활용되고 있는 실리콘 상에 자유자재로 나노와이어 배선을 형성할 수 있는 실용성이 높은 기술이다.

(*J. Am. Chem. Soc.*, November, 2005)

탄소 나노튜브 멤브레인을 이용한 고속 유속 가능

나노튜브를 이용한 멤브레인이 일반적인 유체 유속 이론보다 만 배에서 십만 배나 빠른 유속을 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 이는 나노튜브를 이용하면 표면 마찰을 거의 줄일 수 있기 때문이라고 켄터키 대학교(University of Kentucky)의 연구원들은 설명했다.

켄터키 대학교의 화공 및 재료공학과와 Mainak Majumder, Nitin Chopra와 Bruce J. Hinds가 공동으로 연구했으며, 응용 에너지 센터의 Rodney Andrews 박사도 연구에 참여했다. 그들은 직직경이 7나노미터인 탄소 나노튜브(carbon nanotube (CNT)) 멤브레인을 이용하여 일반적인 유체역학으로 유체의 흐름이 가능하면서 유체의 움직임 속도를 측정하는 범위를 계산했다.

이들의 연구에서 탄소 나노튜브는 유체의 흐름을 도와 준다. 생체 채널에서 엄청난 속도로 물질 전달이 가능한 정렬된 탄소 나노튜브가 만들어졌다. 이러한 멤브

레인은 대면적으로 적용 가능하고 화학적으로 분리 가능한 매우 유용한 기술로 여겨진다고 그들은 강조했다.

이들은 멤브레인 양쪽에 독립적으로 기능성(functionalized)을 주었다. 이러한 기술적 장점은 화학적으로 매우 복잡한 분리를 요구하는 단백질 채널을 만들 수 있는 기반 기술로 대면적이 가능한 우수한 기술이다. 이러한 기술은 약물 전달 시스템에 사용되어 정확하게 원하는 곳에 화학적으로 감지하여 치료하는 데도 많은 기술적 향상을 가져올 수 있을 것으로 여겨진다고 보고 있다.

(*Nature*, November, 2005)

나노 미립자와 발광성 수지를 이용한 올 플라스틱 레이저 디바이스 개발

일본의 물질재료 연구기구는 200 nm 크기의 폴리스티렌 미립자를 3차원적으로 자기 정렬한 박박막을 이용하여 발광성 수지를 중간에 삽입한 구조의 레이저 발진 장치를 제작하고, 광여기에 의해 레이저광을 발진시키는데 성공했다. 이 박박막은 수지 필름 상에 제작될 수도 있기 때문에 올 플라스틱(all-plastic) 레이저 디바이스의 실현이 가능해질 전망이다.

레이저 발진 디바이스의 제작 방법은 다음과 같다. 우선 200 nm 크기의 폴리스티렌 입자의 현탁액을 친수성 글라스 상에 전개한다. 이렇게 하면, 입자가 자기 조직적으로 최밀 충전 구조를 갖게 되며 “콜로이드 결정”이라고 불리는 결정 구조를 형성할 수 있다. 이것을 실실리카겔로 고정화하여 콜로이드 결정 박박막을 제작한다. 이렇게 제작된 두 장의 콜로이드 결정 박박막 사이에 형광 색소를 포함하는 자외선 경화 모노머를 주입하여 광 조사에 의해 발광층을 경화 및 고정화시키는 방법으로 레이저 디바이스를 제작한다.

보통 외부 광 공진기형 레이저 디바이스는 레이저 발광 소자를 두 장의 거울 사이에 삽입하여 공진 현상에 의해 광을 증폭하고 레이저광을 추출하는 방식이다. 이에 비해 이번에 개발된 레이저 발진 소자는 콜로이드 결정의 “블랙 반사”라고 하는 특정 광을 반사하는 성질을 이용하고 있다. 두 장의 콜로이드 결정이 외부 광 공진기의 거울과 같이 작용하여 공진 현상을 일으키는 것이다.

한장의 콜로이드 결정 박박막의 반사 투과 스펙트럼을 측정한 결과, 620 nm 부근에서 25 nm 폭을 가진 반사 강도 피크가 발생했다. 이것은 폴리스티렌 입자의 최밀 구조에 의해 블랙 반사가 일어난다는 사실을

나타낸다. 또한 이 디바이스에 532 nm의 광을 조사하여 여기하면, $2.2.0 \times 10^2 \text{ kW/cm}^2$ 광 강도로 증폭되어 발광 스펙트럼 폭이 0.8 nm로 좁아지는 현상이 관찰되며, 따라서 레이저광을 발진할 수 있다는 사실이 확인됐다. 이 레이저 발진 파장이 블랙 반사의 피크 안에 있다는 점으로부터 디바이스 내부의 공진 현상에 의해 레이저 발진이 일어나고 있다는 것이 확인됐다.

연구그룹은 이 광 발진 디바이스를 PET(폴리에틸렌테레프탈레이트) 필름 상에 성막할 수 있다는 점도 확인했다. 따라서 모든 구성 재료가 유기 재료이며 유연성을 갖는 가공성이 뛰어난 미소 레이저 디바이스를 제작할 수 있는 가능성이 제시됐다. 기존의 외부 광 발진기형 레이저 디바이스를 아주 작게 만드는 것이 어려우나, 이번에 개발된 레이저 디바이스는 광 집적회로에 탑재될 수 있다.

또한 연구그룹은 향후 반도체 레이저와 마찬가지로 전류 여기에 의한 레이저 발진기의 개발을 검토할 계획이며, 올 플라스틱 레이저 디바이스의 가능성을 넓혀나갈 것이라고 밝혔다.

(일본고분자학회 폴리머재료포럼, November, 2005)

획기적인 크기의 전자종이

E-Ink社가 일본에서의 FPD 2005 행사에서 10인치 흑백 및 6인치 컬러 전자종이를 발표했다.

대각방향으로 10.1인치인 유연한 전자종이 디스플레이가 지난 주 일본에서의 FPD 인터내셔널 2005 행사에서 발표되었다.

흑백 디스플레이는 300마이크론 이하의 두께로 600×800화소(SVGA) 해상도를 가지는데, 인치당 100 화소에 상당한다. 이 디스플레이는 미국 회사 E Ink와 한국 LCD 전문기업 LG 필립스 LCD에 의해 개발되었다.

이 제품은 한국에 있는 박막트랜지스터(TFTs) 생산을 위한 LG 필립스의 시험라인들 중 한곳에서 제작되었으며, 10:1의 대조비와 4단계 그레이스케일을 자랑하고 있다.

이 디스플레이의 큰 장점은 구부리거나 종이처럼 말 수 있으며, 전력 소비 없이도 정적인 영상을 유지할 수 있다는 점이다. 응용 가능 분야에는 PDA, 휴대폰 또는 GPS 장치와 사용하는 대형 몰업 스크린과 전자 도로 표지가 포함될 수 있다.

E-Ink는 이전에도 크기가 불과 수 인치인 좀더 작

은 버전을 발표했었으며, 이 제품들은 현재 전자책(소니), 탁상시계(시티즌) 및 손목시계(세이코)와 같은 상업 장치에 사용되고 있다.

“유연한 디스플레이들은 유리 디스플레이보다 80% 더 얇고 가볍고, 유리 디스플레이처럼 깨지지 않는다. 여러분은 이 디스플레이를 돌돌 말아 주머니에 넣을 수도 있다. 휴대폰 둘레로 구부릴 수도 있고 신문처럼 서류가방에 던져넣을 수도 있다”고 E-Ink의 CEO인 러스 윌콕스(Russ Wilcox)는 말했다. E-Ink는 또한 12비트 컬러와 400×300 화소를 가진 더 작은 6인치 버전도 제작했다. 완전컬러 버전을 만들기 위해, E-Ink는 일본의 토판 프린팅(Toppan Printing)社에서 공급받은 필터를 추가했다.

이 디스플레이의 대량생산은 PDA와 그 외 휴대용 전자 제품들에서의 사용을 위해 2006년 말에 시작될 것으로 예상되고 있다. 주장하는 바에 따르면 이 디스플레이는 일반 LCD의 에너지의 약 1%를 소비하며 따라서 배터리 수명에 있어서 큰 향상이 가능하다.

(Web:<http://optics.org>, October, 2005)

나노 형광 입자를 이용한 백색 인광 발광 재료 개발

미국 테네시주 Vanderbilt University, department of chemistry의 Sandra J. Rosenthal 교수의 연구 그룹은 CdSe 재료의 양자 도트가 매우 작은 입자 상태일 때 폭넓은 스펙트럼을 갖는 백색 인광으로 발광한다는 사실을 발견했다. CdSe 양자 도트는 종래에는 형광 나노 입자로 알려져 있었다.

이 사실은 미국 화학회지(*J. Am. Chem. Soc.*)의 온라인 판에 10월 18일자로 게재된 “white-light emission from magic-sized cadmium selenide Nanocrystals”라는 제목의 논문을 통해 발표됐다. 이 논문에 따르면, 백색 LED 제작에 있어서 종래의 형광체 등에 의해 색의 조정이 용이하고 발광 효율을 높일 수 있는 가능성이 있다.

백색 인광으로 발광한 것은 입경이 약 1.5 nm인 CdSe 입자이다. 이 입자를 바인더 재료인 폴리우레탄에 섞어 박막을 제조한 후, 파장 400 nm 정도의 시판되고 있는 LED에 덮어 발광시킨 것이다. 발광 스펙트럼은 파장이 420~710 nm의 폭이 넓은 스펙트럼을 가진 백색광으로, CIE 색지도로는 [x=0.322, y=0.365]로 약간 황색이 보이는 백색이다. 발광 양자 효율은 현재 약 3~5%이다.

CdSe의 양자 도트는 종래로부터 자외선을 조사하

면 형광 발광한다는 사실이 알려져 있었다.

발광의 중심 파장은 입경을 수 nm~수십 nm 사이에서 변경함으로써 선택 가능하며, 발광 스펙트럼이 좁기 때문에 다양한 색에서 발광시킬 수 있다. 이 성질을 이용하여 지금까지 주로 의료 분야에서 암 조직의 마커 등으로 응용하기 위한 연구가 진행되어 왔다. 종래의 이론에서는 입경을 작게 하면 형광 특성을 유지하면서 발광 파장이 짧아지는 것으로 알려져 있었다.

이번에 발표된 결과는 이러한 상식을 뒤집는 것이다. 입경을 지금까지의 시도보다 매우 작은 1.5 nm 정도로 하면 특정 파장의 형광 발광보다 연속적인 스펙트럼을 갖는 백색 인광 발광이 지배적이 된다는 사실을 발견된 것이다. 이 논문은 이 현상의 원인으로 CdSe 중 Se의 역할에 주목하고 있다. 즉, CdSe의 경우, Se의 표면에서 자외선에 의해 여기된 정공과 전자가 재결합하여 발광하는데, 경우에 따라서는 홀 트랩핑(hole-trapping)이 일어나게 된다. 이것은 홀이 중간 천이 상태에 일시적으로 머무는 현상이다. 이 상태의 정공이 전자와 재결합하면 인광 발광을 하게 된다. 이 현상의 직접적인 원인은 입경을 작게 함에 따라 입자의 체적에 대한 표면적이 비율이 급격히 증가하기 때문이며, 이 경우 홀 트랩핑의 확률이 높아지기 때문이다.

이 특별한 크기의 CdSe 입자는 제조가 매우 용이하다. 논문에서는 직접 언급되지 않았으나, 이 크기의 CdSe 입자는 다른 연구에서 33개 또는 34개의 CdSe의 원자쌍으로 구성된 특별한 입자로 알려졌다. 이 수의 CdSe는 플러렌이라고 불리는 C60과 마찬가지로 축구공 형태를 취하고 있다. 이처럼 재료의 특별한 형상은 이번 백색 인광 발광 현상과 관계가 있는 것으로 예상된다.

(*J. Am. Chem. Soc.*, October, 2005)

광촉매 활성을 가지는 TiO₂ 나노 파이버 개발

일본 테이진(帝人)은 광촉매 활성을 가지는 TiO₂ 나노 파이버를 개발했다. 섬유는 직경은 약 200 nm이다. 테이진은 대전(帶電)시킨 용액을 분출시키는 “일렉트로 스피닝법”을 개량하여 지금까지 어려웠던 나노 파이버화에 성공했다. 광촉매로서 널리 이용되고 있는 TiO₂ 미립자에 비해 광촉매 활성이 높은 것이 확인됐다. 테이진은 앞으로 고성능 필터 등에서의 용도를 개척해 나갈 예정이다.

일렉트로 스피닝법은 섬유화 하고자 하는 재료의 용액에 높은 전압을 인가하여 대전시키는 방법에 의해 용액을 노즐 끝에서 분출시켜 방사하는 기술이다. 대전에 의해 분자 사이의 반발력이 용액의 표면 장력을 넘었을 때 한 번에 분출되는 원리가 사용됐다. 전극까지 도달할 때까지 섬유는 nm 레벨의 두께로 방사된다.

TiO₂ 섬유의 경우, 연구자들은 우선 TiO₂ 전구체(Ti를 포함하는 유기 화합물)를 용액에 녹여, 일렉트로 스피닝법에 의해 섬유화 했다. 이것을 소성하는 과정에 의해 TiO₂ 섬유가 제조된다. 종래의 일렉트로 스피닝법에서는 얻어진 섬유를 구조 재료로 사용할 수 없었으나, 테이진은 용매와 방사 공정을 개량하여 구조체로 사용할 수 있는 수준까지 특성을 향상시키는데 성공했다.

제작된 TiO₂ 섬유는 약 200 nm 직경의 초미세 구조로, 광촉매 활성을 가진 아나타제 결정 구조를 취하는 것으로 X선 회절법 등을 통해 확인됐다. 광촉매 활성 실험에서는 색소인 메틸렌 블루에 TiO₂ 나노 파이버를 침적하여 여기에 자외광을 조사했을 때, 메틸렌 블루를 분해하는 정도가 흡수 파장 변화 측정 방법으로 확인됐다. 비교를 위해 현재 광촉매로 널리 사용되고 있는 TiO₂ 미립자(40 nm)가 사용됐다. 그 결과, TiO₂ 나노 파이버가 색소 분해 성능 즉, 광촉매 활성이 높은 것으로 나타났다.

테이진은 그 이유에 대해, 아직 가설 단계이기는 하나, TiO₂ 미립자는 응집되기 쉬운 것에 비해 TiO₂ 나노 파이버는 응집하지 않아 활성을 높이기 쉬운 것이라고 설명했다. 이 재료는 기초 연구 단계이며 향후 환경 세정 필터 등의 용도로 개척될 예정이다. 활성이 높다는 점과 함께 방사 직후에 부직포 상태의 재료가 얻어진다는 점으로부터 코팅 등이 필요한 TiO₂ 미립자에 비해 가공 프로세스가 간략화 된다는 장점도 있다.

이진은 TiO₂ 나노 파이버와 함께 알루미늄(Al₂O₃)의 나노 파이버화에도 성공한 바 있으며, 이들 나노 파이버 재료의 용도를 개척할 계획이다.

(*일본고분자학회 폴리머재료포럼*, November, 2005)

<KIST 김재경>