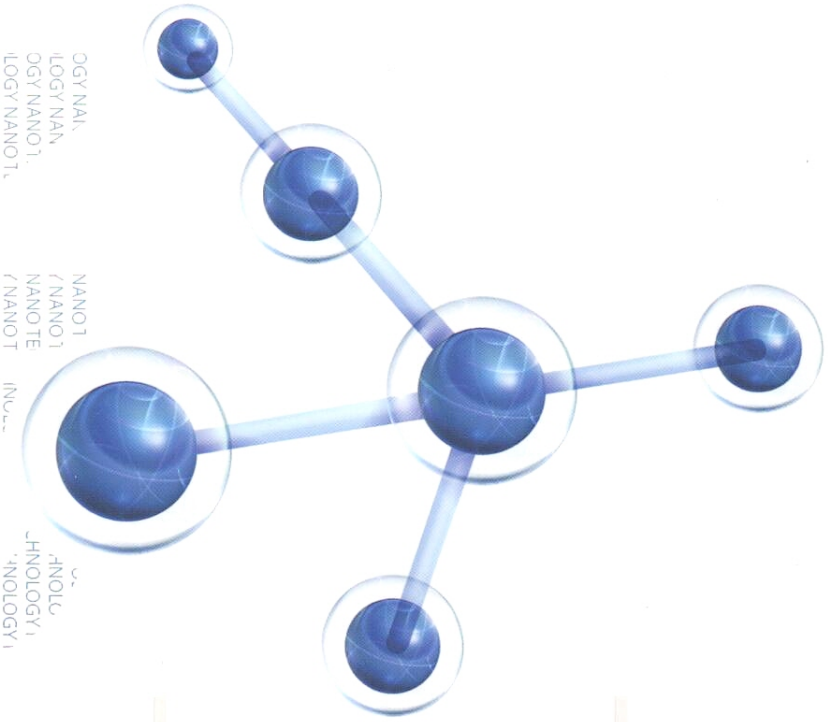
ISBN 978-89-6211-537-6-94500

나노기술연감 2009

KOREA NANOTECHNOLOGY ANNUAL 2009



Technology

교육과학기술부 MINISTRY OF EDUCATION, SCIENCE AND TECHNOLOGY
NRF 한국연구재단 National Research Foundation of Korea
KiSTi 한국과학기술정보연구원 Korea Institute of Science and Technology Information www.kisti.re.kr

비올로겐을 이용한 공기 중에서도 안정한 n형 탄소나노튜브 트랜지스터 개발

소속 성균관대학교 개발자 이영희 교수 1

이영희 교수와 김수민 연구원

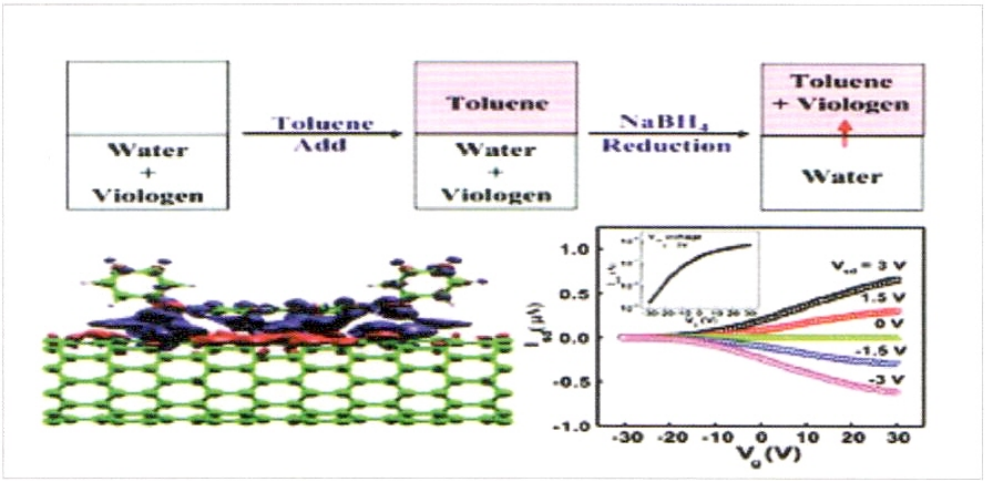
국내 연구진이 차세대 나노소자로 주목받는 탄소나노튜브를 이용해 공기 중에서 안정적으로 작동하는 n형 트랜지스터를 만드는 데 처음으로 성공했다.

성균관대 물리학과 이영희 교수팀은 산화-환원 화합물인 비올로겐 분자를 이용해 공기 중에서 수개월간 안정적으로 작동하는 n형 탄소나노튜브 트랜지스터를 개발했다고 밝혔다. 이 연구는 교육과학기술부 테라급나노소자개발사업(단장 이조원) 지원으로 수행됐으며 화학분야 권위지 '미 화학회지(JACS)' 09년 1월호에 게재됐다. 탄소나노튜브는 지름이 수 나노미터(㎚=10억분의 1m)이고 탄소로 이루어진 속이 빈 튜브 구조의 물질로 21세기 최고의 나노소재로 기대를 모으고 있다. 탄소나노튜브로 트랜지스터를 만들면 나노미터 크기의 고집적 테라비트(Tb=1천Gb) 메모리, 높은 전기전도도를 이용한 초고속 컴퓨터 제작도 가능할 것으로 전망돼 세계적으로 연구가 활발히 진행되고 있다.

탄소나노튜브로 트랜지스터를 만들려면 실리콘 반도체처럼 외부에서 물질을 주입, 전류 주운반자가 양(+) 전기를 띤 정공인 p형이나 주운반자가 전자인 n형으로 원하는 대로 특성을 바꾸고 그 양도 제어할 수 있어야 한다. 문제는 탄소나노튜브는 공기 중에서 산소나 수분 등에 의해 저절로 p형 트랜지스터가 되기 때문에 안정한 n형 탄소나노튜브 트랜지스터를 만드는 것이 어렵다는 것이다.

연구팀은 비올로겐이라는 분자를 이용해 공기 중에서도 수개월 동안 안정적으로 작동하는 n형 탄소나노튜브 트랜지스터를 처음으로 제작했다.

중성 비올로겐 분자가 들어 있는 톨루엔 용액을 탄소나노튜브 위에 떨어뜨리면 톨루엔이 증발하면서 바이올로겐 분자가 탄소나노튜브에 전자를 주고 자신은 더 안정한 이온 상태를 유지하게 된다.



중성인 바이올로겐 원자를 톨루엔 속으로 분리시켜 이 용액을 탄소나노튜브 트랜지스터 위에 떨어뜨리면 중성 바이올로겐 분자가 탄소나노튜브에 전자를 주고 자신은 더 안정한 이온 상태를 유지하여 p-형에서 n-형으로 바뀌게 된다.

이때 비올로겐으로부터 전자를 받은 탄소나노튜브는 주운반자가 전자인 n형 트랜지스터가 되며 이 트랜지스터는 3개월간 공기 중에서 안정적으로 작동하는 것으로 확인됐다.

탄소나노튜브에 주입되는 비올로겐의 양은 떨어뜨리는 용액의 양을 통해 정확하게 제어할 수 있다. 또 남아 있는 비올로겐은 안정한 상태를 유지해 보통 작업 환경에서도 트랜지스터를 제작할 수 있으며 작업방법도 아주 간단해 실제 공정에 쉽게 적용할 수 있다.

이 교수는 "안정한 n형 탄소나노튜브 트랜지스터 제작기술 개발로 탄소나노튜브 메모리소자나 논리소자도 만들 수 있게 됐으며 이를 이용해 컴퓨터를 만드는 것도 가능하다"고 말했다.

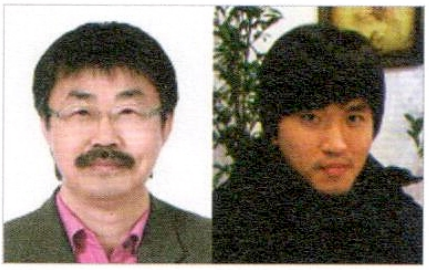
그는 또 "탄소나노튜브 트랜지스터 응용은 그동안 미국 IBM 등 선진국이 주도했으나 이번 성과를 통해 첨단 나노기술 분야에서 원천특허를 확보하고 차세대 반도체 기술분야에서 선진국과 대등한 기술을 확보할 수 있게 됐다"고 덧붙였다. 국내 특허 1건, 국외특허 2건.

(연합뉴스, 2009.01.13)

테라급나노소자개발사업단, 과제명 : 탄소나노튜브를 이용한 전자구조 제어기술개발, 교육과학기술부 21세기 프론티어연구개발사업,
J. Am Chem. Soc. 게재.

성균관대학교 이영희 교수팀, 양극성을 이용한 탄소나노튜브 논리회로 특성 작동 증명

소속	성균관대학교	개발자	이영희 교수	6

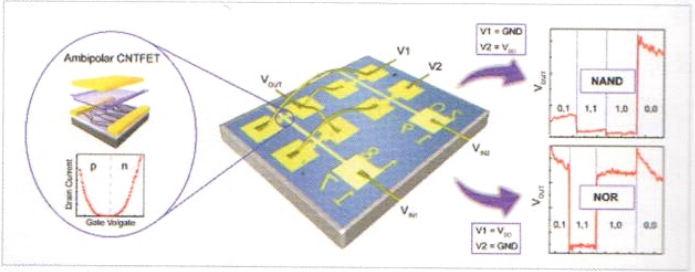


이영희 교수와 유우종 연구원

교육과학기술부는 이영희 성균관대 물리학과 교수팀이 탄소나노튜브의 양극성을 단극성으로 바꾸지 않고도 특성 그대로를 장점으로 활용할 수 있다는 사실을 세계 최초로 증명했다고 23일 밝혔다. 교과부 21세기 프론티어연구개발 사업인 테라급나노소자개발사업의 지원으로 수행된 이 연구결과는 Nature 자매지인 '아시아 머티어리얼스(Asia Materials)' 15일자에 소개됐다.

직경이 2나노미터(1㎚=10억분의 1m)로 속이 빈 튜브형태의 구조를 가진 단일층 탄소나노튜브는 실리콘 다음 세대를 이어갈 전자소자 재료다. 탄소나노튜브를 트랜지스터에 응용할 경우 고집적 테라비트급 메모리 및 초고속 컴퓨터의 제작이 가능해 전 세계적으로 연구가 활발히 진행되고 있다.

기존 실리콘 트랜지스터는 단극성으로 전자(음전하 운반자)만 흐르거나 홀(양전하 운반자)만 흐르는 단극성을 갖고 있지만 탄소나노튜브는 게이트 전압에 따라 하나의 트랜지스터 안에서 전류를 흐르게 하는 매체가 전자가 되기도 하고 홀이 되기도 하는 양극성 특성을 갖고 있다.



양극성 탄소나노튜브 트랜지스터는 논리회로에서 공급전압의 위치를 바꾸면 주운반자가 홀에서 전자로 또는 그 반대로 바뀌는 특성을 보인다. 이 특성을 이용하여 NOR 및 NAND기능을 한개의 논리회로 내에서 모두 구현할 수 있다.

지금까지 탄소나노튜브 트랜지스터를 실리콘 트랜지스터와 같이 작동시키기 위해 화학적으로 불순물을 주입해 양극성을 단극성으로 바꾸는 등의 노력이 이루어져 왔으나 불순물 제어가 쉽지 않고 공기 중에서 불안정해 신뢰성이 떨어지는 단점을 갖고 있었다.

연구팀은 탄소나노튜브의 양극성을 단극성으로 바꾸지 않고도 논리회로에 단순히 양(+)과 음(-)의 공급전압만을 바꿔주면 전류의 흐름이 바뀌어 기본회로 기능이 모두 구현됨을 세계 최초로 확인했다. 우선 탑-게이트를 이용해 양극성을 확보한 다음 입력-출력 전압을 바꾸어 주운반자 타입을 제어하였다. 이 작동법은 기존 작동소자의 개수를 줄여주는 효과를 갖게 되어 궁극적으로는 소자 집적도를 올리는 효과가 있다. 이 교수는 "탄소나노튜브의 양극성이 단점이 아니라 스위치 동작이 가능한 논리회로를 제작할 수 있는 장점이 될 수 있음을 보여준 것이며 궁극적으로 소자집적도를 향상시키는데 크게 기여할 것"이라며 "국내 특허 2건과 미국 2건, 일본 1건 및 유럽 1건 등 국제특허를 출원했다"고 말했다.

(한국경제, 2009.06.23)

테라급나노소자개발사업단, 과제명 : 탄소나노튜브를 이용한 전자구조 제어기술개발, 교육과학기술부 21세기 프론티어연구개발사업

Nano Letters 게재