



■ 안녕하세요, 월간 「과학과 기술」을 위해 시간을 내주셔서 감사합니다. 최근 탄소로 구성된 분자인 '나노튜브'를 다발모양으로 합성하면 성질이 바뀌어 반도체가 된다는 사실이 세계적으로 권위있는 과학전문지인 「네이처」지 최근호(1월29일자)에서 상세히 소개됨으로써 학계의 비상한 관심을 끌고 있는데 이 '탄소 나노튜브'란 어떤 것인지 소개해 주십시오.

나노튜브를 빗줄처럼 꼬아

탄소들로만 구성된 초미세관을 나노튜브(Nanotube)라 하는데, 말 그대로 지름이 몇 나노미터(1나노미터는 10억

뉴스의 인물 ①

서울대 자연과학대 물리학과 任 志 淳 교수

'탄소 나노튜브' 합성 반도체 變身확인

탄소로 구성된 분자인 「나노튜브」를 다발모양으로 합성하면 성질이 바뀌어 반도체가 된다는 사실을 밝혀내 세계적 관심을 모으고 있는 서울대 자연과학대 물리학과 임지순교수를 만나보았다. '탄소 나노튜브'를 활용해서 기존 실리콘 반도체보다 1만배까지 높은 초고집적 반도체 소자를 만들 수 있는 길을 연 임교수는 앞으로 나노튜브다발의 반도체적 성질을 조절하는 방법을 찾아내는 연구를 계속할 것이라고 말했다.

분의 1m)에 불과해 사람 머리카락 한 올보다도 5만분의 1 이상 더 가느다란 초미세관이지요. 이 탄소 나노튜브는 1991년 일본 NEC의 전자현미경학자인 이지마 스미오씨에 의해 처음 발견된 이래, 지금까지 발견된 어떤 전도체보다도 전기와 열을 잘 전달하는 것으로 알려져 있었습니다. 저는 이번에 '탄소 나노튜브'를 10개 이상 빗줄처럼 꼬아 합성하면 금속 성질이 없어지면서 반도체처럼 전기 흐름을 제어할 수 있는 새로운 성질로 바뀐다는 사실을 처음으로 확인한 것입니다.

■ 다발로 합성된 '탄소 나노튜브'는 어떤 현상 때문에 그러한 반도체적 특성을 띠게 되는지요.

순수한 반도체는 전기를 거의 통하지 못해 보론(boron), 인(phosphorus)같은 소량의 불순물을 일부러 첨가하여 소위 p-형, 혹은 n-형의 반도체를 만들어야 하며 이런 과정을 도핑이라고 합니다. 도핑을 한 반도체에

장소 : 임지순교수 연구실
일자 : 2월 18일(수) 오전 11시

는 미량의 전류가 흐를 수 있으며 이것을 외부 전압을 통해 조정함으로써 반도체 소자로 이용할 수 있게 됩니다. 탄소 나노튜브는 도핑하기가 매우 어려워서 반도체로서의 응용이 힘든 것으로 생각되어 왔지요. 그런데 다발로 합성된 형태의 튜브는 일부러 도핑을 하지 않아도 저절로 도핑한 반도체의 성질을 띠는 것을 발견했습니다. 문제는 이런 중대한 변화를 가져오게 한 물리적인 원인이 무엇인가 하는 것이었는데, 전기적 성질이 변한 이유를 이해해야만 우리가 원하는 대로 그 성질을 조절하고 목적에 맞게 최적화시킬 수 있기 때문이었어요. 과연 탄소 튜브와 튜브 사이의 비교적 약한 상호작용이 어떻게 그 전기적 성질을 이처럼 전혀 다르게 바꿀 수 있는 것인가? 이 문제를 놓고 오랫동안 고심한 결과 알아낸 것은 거울대칭성(mirror symmetry) 개념입니다. 나노튜브의 축을 따라 거울을 놓고 비친 상은 원래 튜브와 같습니다.

즉 좌우가 똑같은 대칭성이 있습니다. 전문적으로 이야기하여 수학의 군론(group theory)을 도입한다면 나노튜브 한 개가 존재할 때는 거울대칭성으로 인하여 두 개의 에너지띠가 서로 교차할 수 있어 금속이 되는데, 이러한 튜브들이 다발을 이루거나, 튜브에 다른 원자들이 많이 붙거나, 혹은 튜브 모양을 적당히 변형시키면 거울대칭성이 깨어지게 됩니다. 그러면 교차하던 에너지띠가 갈라져서 반도체같이 되는데 이와 동시에 에너지 값이 변하면서 n-형, p-형, 혹은 두가지가 섞인 (즉 어떤 형태로든 도핑이 된) 반도체가 되는 것이지요.

집적도를 1만배까지 높여

■ 교수님의 연구내용은 '탄소 나노튜브'를 활용해 기존의 실리콘 반도체보다 집적도가 1만배까지 높은 초고집적 반도체 소자를 만들 수 있는 길을 열었다는 점에서 반도체의 혁명이라는 평가를 받고 있는데요.

'탄소 나노튜브'를 이용해 반도체를 만들 경우는 현재 가장 집적도가 높은 반도체인 1기가D램보다 회로폭이 1백분의 1에 불과한 회로를 만들 수 있어 같은 면적에 집적도를 1만배까지 높일 수 있으리라 봅니다. 그외에도 탄소 원자 사이의 결합이 현재 반도체의 주종을 이루고 있는 실리콘보다 훨씬 더 강하므로 실내온도의 공기 중에서 화학적으로 극히 안정되고 강하며, 전자회로 외에도 초강력섬유나 열, 마찰에 잘 견디는 표면재료로도 쓸 수 있습

니다. 기존의 흑연섬유도 대략 강철만큼 강하지만 새로운 나노튜브 섬유는 그보다 10배 이상 강합니다.

또한 탄소는 화학적으로 성질이 이미 많이 연구되어 있으므로 폴리머(합성수지 등 고분자 화합물)를 만드는 기술 등 이미 고도로 발전된 노하우를 이용하여 새로운 방면에 응용이 가능합니다. 실리콘에서는 어려웠던 생물체와의 직접적인 정보교환(일종의 interface)도 가능해 질 것으로 기대됩니다.

이젠 대량생산 등 기술개발 필요

■ 이러한 응용에 문제점도 만만치는 않을 텐데요.

이번 연구결과는 탄소로부터 이제까지와는 성질이 다른 반도체를 만들 수 있다는 사실을 이론적으로 확인한데 의미가 있을 뿐입니다. '나노튜브'를 실제 반도체로 만들기 위해서는 대량생산 및 집적회로로 배열할 수 있는 기술이 필요합니다. 기존의 실리콘에서는 기본적으로 실리콘 위에 화학적으로 회로를 그리는 기술이 필요했지만 여기서는 이미 존재하는 가는 선을 원하는대로 배열시키는 기술이 필요하리라 봅니다.

따라서 기존의 반도체를 개량하는 것보다 전혀 새로운 응용 가능성을 탐구하는 것도 바람직할 것입니다. 현재로서는 탄소 나노튜브, 그 다발(로프), 혹은 튜브들의 뭉치들이 구체적으로 어떻게 이용될 것인지 미지수입니다. 탄소반도체가 인류생활에 어떻게 이바지할 것인가는 앞으로 과학자와 공학자들의 연구와 기술개발에 달려있다고 할 것입니다.

■ 이와 관련하여 앞으로 연구 계획을 듣고 싶습니다.

앞으로 나노튜브 다발의 반도체적 성질을 조절하는 방법을 찾는데 매달릴 생각입니다. 나노튜브에서 특정 탄소원자를 빼내거나 다른 원자로 치환했을 때 그 성질이 어떻게 변하는지, 그를 통해 전기전도성을 조절할 수 있는지에 대해서 연구할 계획입니다. ⑤D

송해영<본지 객원기자>

임지순교수는 1951년 서울 출신으로 1970년 서울대 물리학과를 졸업하고 미국 캘리포니아대(버클리소재)를 거쳐, '78년 매사추세츠공대(MIT)에서 박사학위를 받았으며 미국 벨연구소에서의 연구생활에 이어 '86년에 귀국, '90년부터 서울대 이론물리센터의 고체물리이론실장으로 재임중이다.