

삼성종합기술원 최원봉박사팀

탄소 나노튜브 성형기술 개발

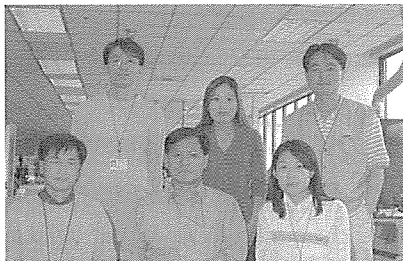
삼성종합기술원 최원봉박사팀은 과제를 시작한지 1년도 안돼 나노튜브를 선택 성장하고 직경을 조절하는 기술을 개발했으며 트랜지스터 작동이 됨을 확인했다. 이 결과는 세계 최초의 탄소 나노튜브 위치제어 및 수직 트랜지스터 기술개발로 인정받았다.

10억분의 1에 도전하는 사람들. 나노(nano) 테크놀로지에 도전하는 사람들을 흔히 일컬어 이렇게 부른다. 나노는 10억을 뜻하는 접두어이다. 1nm는 10Å이고, 1Å은 원자의 크기에 가까운 길이이므로 나노 테크놀로지는 1nm 수준의 가공정밀도를 요구하는 기술이다. 전자공학 분야에서는 nm의 정밀도가 요망되며, 이것이 실현된다면 대규모 집적회로(LSI) 등의 제조기술은 비약적으로 향상될 것이다.

10억분의 1에 도전하는 사람들

삼성종합기술원 최원봉박사팀은 10억분의 1에 도전하는 사람들이다. 그들은 과학기술부 프론티어사업 중 하나인 '테라급 나노소자사업단'과 삼성종합기술원의 지원으로 2000년 6월부터 공식적으로 탄소 나노튜브를 이용한 메모리 소자개발을 시작하였다.

연구원들은 세계 최고기술 도전이라는 동기부여가 되어 과제를 시작한 지 1년 안에 나노튜브를 선택 성장하고 직경을 조절하는 기술을 개발하였으며



삼성종합기술원 최원봉박사(앞줄 가운데)팀

전북대 김주진교수팀과 함께 트랜지스터 작동이 됨을 확인하였다. 이 결과는 세계 최초의 탄소 나노튜브 위치제어 및 수직 트랜지스터 개발 기술로 인정을 받아 세계 우수 학회들로부터 초청강연을 받기도 하였다. 지속적으로 활발한 연구를 진행하면서 단시간 내에 힘을 합쳐 집중을 하면 세계 최초의 개발이 가능하다는 것을 탄소 나노튜브 FED(field emission display) 개발로 확인하게 된 것이다.

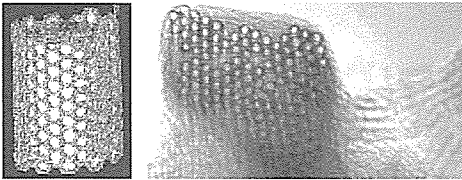
최박사팀은 과제책임자와 연구원을 합쳐 4명으로 이루어져 있다. Matrix 제도를 활용하여 공정, 분석, 각 소자 개발팀에서 부분적으로 참여하는 연구원을 합하면 10명 정도가 된다.

탄소 나노튜브 성형기술은 크게 물리적 방법과 화학적 방법으로 나누어 볼 수 있다. 물리적인 방법으로는 레이저를 이용한 합성법과 아크방전을 이용한 합성법이 있으나 이들 물리적 방법은 수율이 낮고 집적화가 어렵다는 단점이 있다. 또 다른 하나는 화학적 방법이다. 이는 기상증착법으로 대표될 수 있는데 탄소가 들어있는 기체를 기관에서 분해하여 탄소 나노튜브를 합성하는 방법이다. 공정이 간단하고 비용이 싸며 집적화에 유리한 장점을 가지고 있는 방법이다.

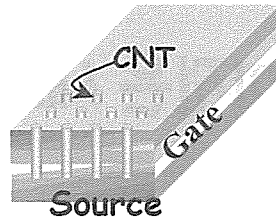
탄소 나노튜브는 합성시 감기는 방향과 직경 변화에 따라서 에너지 밴드 갭(band gap)이 다른 특징이 있으나 이를 조절할 수 있는 기술이 없는 상황이었으며, 또한 원하는 위치에 나노튜브를 합성할 수 있는 기술이 없었던 실정이었다. 최박사팀의 개발 기술은 나노튜브의 합성 위치와 직경제어를 위하여 특별히 고안된 기관인 나노템플릿과 기상증착법을 이용하여 직경을 조절할 수 있고 선택 성장이 가능한 탄소 나노튜브의 합성을 가능하게 했다. 이러한 나노템플릿은 알루미늄을 전기화학적으로 산화시켜 얻는다.

또한 이렇게 위치를 제어한 탄소 나노튜브에서 전자의 흐름을 조절할 수 있는 기술을 개발하였다. 이러한 기술은 앞으로 탄소 나노튜브를 이용한 테라비트급 메모리소자 개발에 가능성을 높여주고 있다.

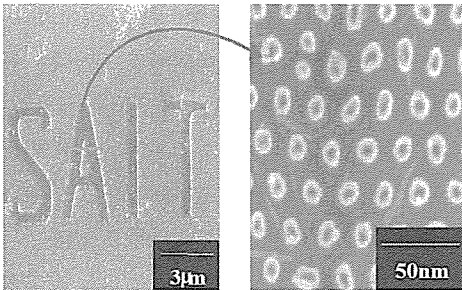
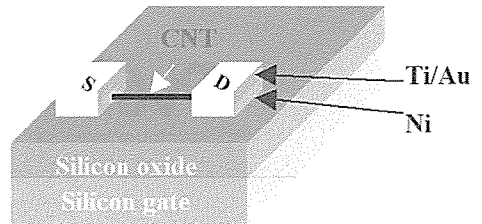
이번 기술 개발에 있어 '핵심기술'은 탄소 나노튜브를 일정한 간격과 직경을 가지고 배열하는 기술에 있다고 할 수 있다. 나노미터 수준의 직경을 가



(a) 탄소 나노튜브의 구조 모델(좌)과 탄소 나노튜브 다발 (투과전자현미경 사진, 원형지름 약 1nm)



(c) 탄소 나노튜브 수직트랜지스터(좌)와, 탄소 나노튜브 수평트랜지스터 구조



(b) 전자빔 식각기술로 선택 성장시킨 탄소 나노튜브

진 세공을 절연체 산화 알루미늄 기판에 제조한 후에 이를 이용하여 원하는 위치에 선택적으로 성장하는 기술을 개발한 것이다. 이를 이용하면 초고집적 소자 (약 $10^{11}/\text{cm}^2$ 이상) 개발이 가능하며 분자센서, 초정밀 전자총 등 타 응용으로도 적용이 가능하다.

탄소 나노튜브 실용화 앞당겨

또한 이번 연구결과는 물성제어와 초고집적 탄소 나노튜브 트랜지스터를 개발하는데 가능한 기술이다. 또한 기존의 트랜지스터와는 달리 초고집적이 가능한 구조를 가지고 있으며 탄소 나노튜브를 전자이동체널로 사용하기 위해 직경과 형태를 변화시켜 전자적 구조 및 밴드 갭을 조절할 수 있는 장점을 지니고 있다. 이 기술은 탄소 나노튜브의 반도체소자 응용을 위해서 직경조절 및 선택성장 기술은 세계 최초


로 개발된 기술로서 세계학회에서도 탄소 나노튜브 실용화를 앞당긴 기술로 평가를 받고 있다.

최박사팀은 탄소 나노튜브 합성법을 개발하면서 어려웠던 점을 이렇게 토로한다. “남들이 하지 않은 첨단기술에 도전할 때 회의적으로 보는 시각을 설득하기 어려웠다”고. 또한 탄소 나노

튜브가 차세대 소자로서 가능성을 갖고 있는지, 단시일 내에 개발이 가능한지에 대한 의심이 많았다고 한다. 그러나 연구하는 동안 세계 최고의 기술에 도전하고 있다는 자부심과 실용화가 가능하리라는 확신이 기술적인 성취를 이루어 주었으며 이 결과에 대해서 세계학회의 초청 등, 인정을 해 줄 때 그 연구의 보람을 찾을 수 있었다고 한다. 최원봉박사는 “우리나라 과학을 부흥시키기 위해서는 과학자를 사회적으로 우대를 해 주어야 할 것이며, 잘 하는 연구에 대해서는 홍보, 인정을 해 주는 분위기가 뒷받침되어야 한다고 생각한다”며 연구를 시작하던 때의 어려움을 떠올렸다.

현재 최박사팀의 연구과제는 다양한 응용가능성이 점쳐지고 있는 탄소 나노튜브를 이용해 초고집적 전자소자 및 테라비트급 메모리소자의 개발을

목표로 하고 있다. 단기적으로는 탄소 나노튜브를 이용한 트랜지스터(field effect transistor)를 개발하고 이를 바탕으로 한 차세대 전지용 전극개발, 화학, 바이오센서의 응용 가능성을 검토 중이다. 궁극적으로는 탄소 나노튜브의 나노크기, 우수한 열방출 특성, 전자전달 특성, 반도체 특성을 이용하여 메모리소자를 개발하기 위해 연구 중이다. 최원봉박사는 “5년 안에 탄소 나노튜브를 이용한 에너지 저장용 전극개발로 상품화 목표로 연구가 진행될 것이며 반도체 및 바이오 응용은 원천특허 확보 및 기술력 확보로 연구가 진행될 것”이라고 소개한다.

한편 연구지원정책의 책임자들과 연구하고자 하는 후학들에게 당부하는 말로 “자원이 한정되어있고 기술적으로 뒤쳐져 있는 우리나라의 현실을 볼 때에 기술적으로 우의를 선점하기 위해서는 핵심기술에 대해서는 집중적인 투자가 있어야 하는데, 이것은 큰 프로젝트이든 작은 테마이든 동일하게 적용해야 한다고 생각합니다. 또한 연구원은 회사를 경영하듯이 자기 자신의 가치를 스스로 잘 관리하여 몸값을 올리는 ‘프로’정신이 필요할 것”이라고 덧붙였다. 

이 철<본지 객원기자>