철·금 다층 나노선 개발 · ·
바이오 적용에 획기적 돌파구 마련

글 | 김영근 _ 고려대학교 신소재공학과 교수 ykim97@korea.ac.kr

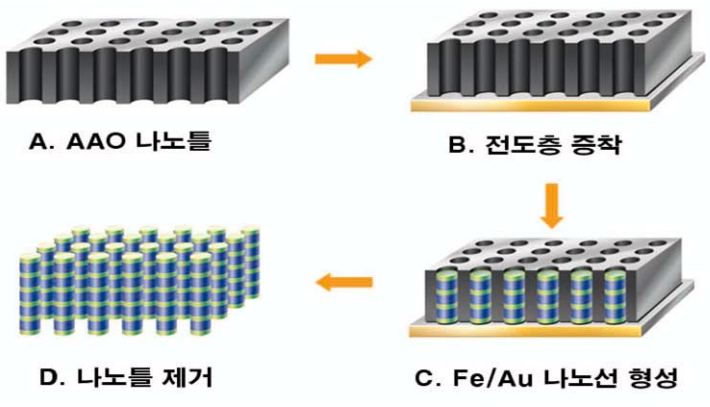
현재, 세계적으로 상용화된 최고 수준의 메모리칩은 2006년 삼성전자가 개발한 40나노급의 회로선폭을 가지는 32기가 비트 메모리칩이다. 40나노미터의 선 크기는 2천500개를 가지런히 모아두었을 때, 사람의 머리카락 1개와 같은 매우 작은 구조다. 이 최소 선폭은 물리학적으로 한계라고 여겨졌던 50나노미터의 한계를 극복한 엄청난 발전으로 여겨지지만 탑다운 방식에 의한 소자 제작 측면에서 본다면 아직까지 문제가 많은 것이 현실이다.

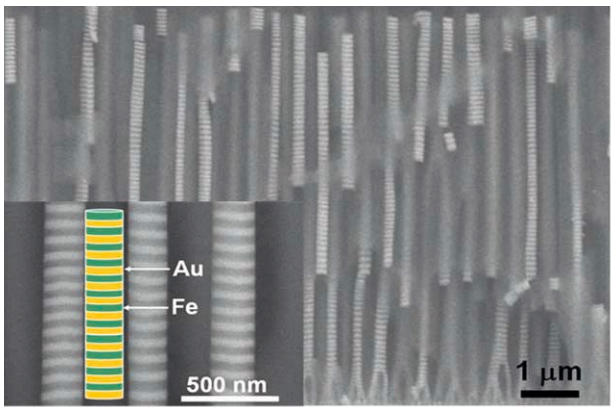
하지만, 이러한 소형화의 한계를 해결하기 위한 방법의 하나로 점토로 빚어서 원하는 모형을 만들듯이 원자나 분자의 상태를 조절하여 일정한 모형의 구조체나 소자를 만드는 방법, 즉 바텀업 방식이 주목을 받고 있다. 이 방법을 이용한다면 좀 더 작은 크기의 소자를 제작할 수 있기 때문에 물리적인 소자제작의 한계를 극복할 수 있을 것으로 기대하고 있으며, 이러한 연구가 다양한 방향에서 진행되고 있다. 이에 대한 대표적인 예로 1차원 구조의 나노선과 0차원 구조의 나노입자를 들 수 있다.

바이오-메디컬 분야 등 나노선 응용연구 활발

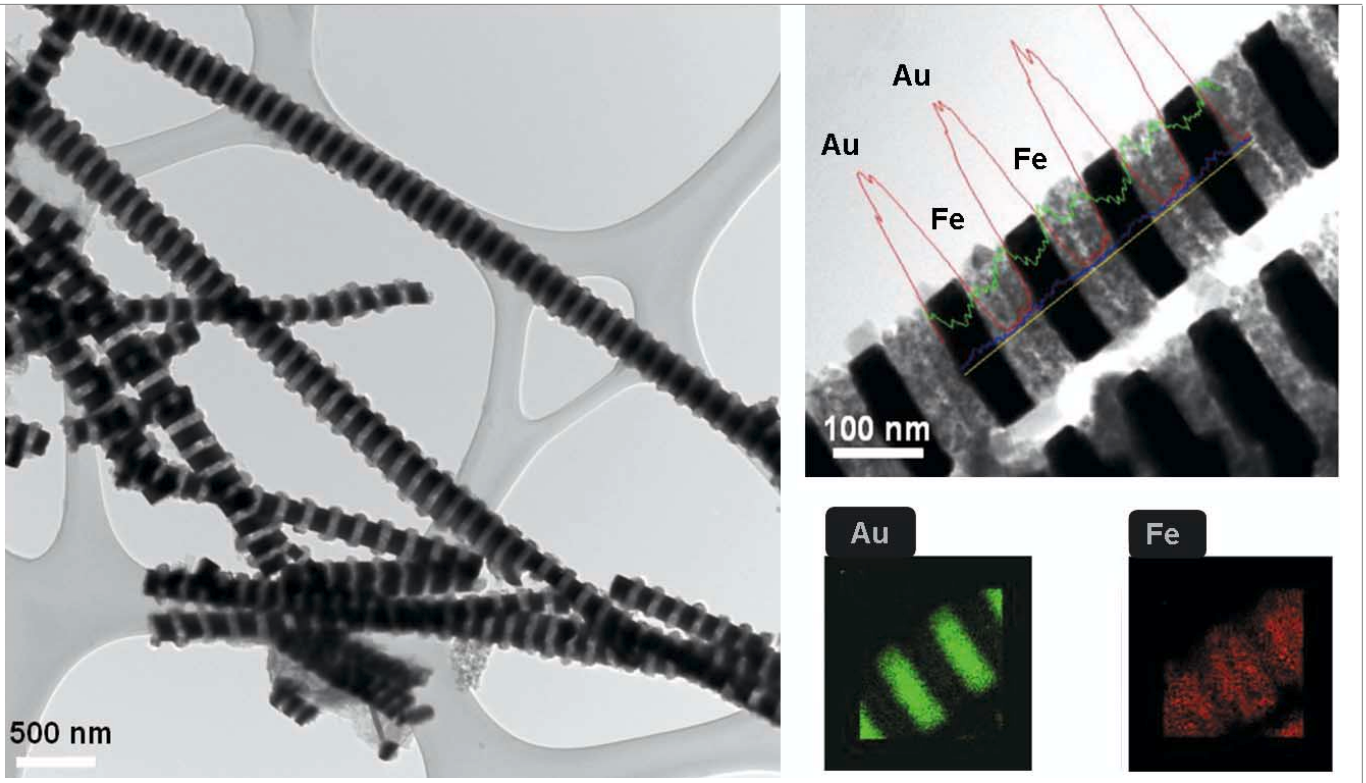
나노선은 긴 형광등의 모양을 상상하면 쉽게 이해할 수 있다. 형광등은 반지름이 상대적으로 작으면서 길이가 매우 긴 구조를 가진다. 또한, 용도에 따라서 길이가 매우 다양하게 변화한다. 이러한 비(지름 대 길이의 비)를 1:10에서부터 1:1000 이상으로 조절하면서 길이를 늘여놓은 구조를 통칭해서 말하며, 그 비를 유지하면서 지름을 나노미터로 줄이면 이것이 바로 나노선이 되는 것이다. 나노선은 2006년 세계적인 영국의 과학전문지인 '네이처' 지의 물리학 뉴스란에 '물리학에서 주목 받는 5개 분야'에서 두번째로 기록될 만큼, 과학적인 관심이 높고, 미래의 산업에 있어서 전도유망한 기술이다.

나노선의 현재 다양한 분야에서 응용을 위한 연구가 진행되고 있다. 먼저, 전자 소자의 경우에는 나노선을 이용한 초미세 회로, 고성능 트랜지스터, 광학소자의 경우에는 나노크기를 갖는 LED와 태양전지, 그리고 자성소자 분야에서는 자기저장매체, 자성유체를





합성순서 및 SEM(주사전자현미경)이미지



투과전자현미경(TEM)을 이용하여 얻은 나노선의 사진(왼쪽) 및 각원소의 분포를 확인한 사진(오른쪽)

비롯한 연구가 계속되고 있다. 최근에는 엄청난 잠재력을 가진 시장으로 예측되고 있는 바이오-메디칼 분야에 대한 연구로 확대되고 있는 상황이다. 실제로, 나노구조체의 응용이 기대되는 현장 진단용 나노바이오 칩, 진단용 임플란트 나노바이오 센서, 나노약물 전달 제재, 진단용 나노바이오 전자칩 분야의 세계 시장규모는 2005년 41억 달러에서 2020년 890억 달러로 증가할 것으로 예상된다.

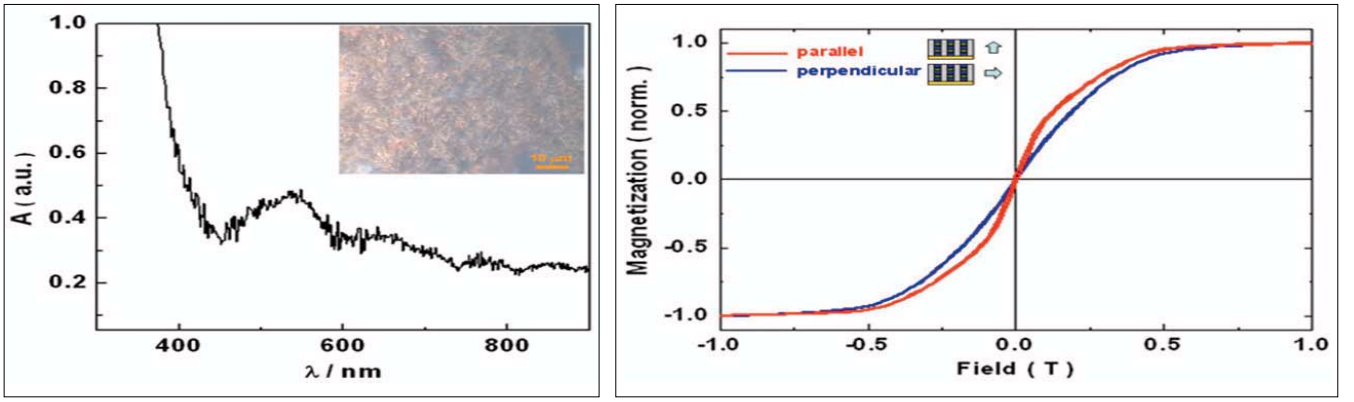
이러한 바이오-메디칼 분야의 응용에는 바이오센서와 세포분리 등에서 활발한 연구가 진행중이다. 특히, 2005년에는 미국의 존스 홉킨스 대학의 라이히 교수팀은 세계 최초로 자성 나노선을 사용하여 원하는 세포를 분리해내는 데 성공하였다. 하지만 자성물질 중 니켈 원소만을 사용하였는데, 이는 몸에 들어갔을 때 이상을 일으키는지에 대한 증명이 되지 않은 물질이다. 따라서 몸 안에서 실험 하는 것은 안전성의 문제 때문에 불가능하며, 몸 밖에서 세포를 떼어내어 실험을 한다고 할지라도 안전성의 문제가 여전히 남아 있게 된다는 단점이 있다. 또한, 한가지의 원소만을 사용했기 때문에 상대적으로 낮은 신호를 가질 수밖에 없다는 점들이 문제점으로 남는다.

철 · 금 다층 나노선 합성, 생체적합성 문제 해결

이번 연구에서는 자기장에 끌리는 철 바늘과 몸에 들어가도 이상이 없는 금침을 합쳐놓은 구조를 합성하고, 특성을 분석하였다. 철과 금 두 재료를 사용하여 나노선상에서 바코드 다층구조를 실현, 생체적합성 문제를 해결함으로써 나노선의 바이오 적용 가능성에 대한 획기적인 돌파구를 마련한 것이다. 또한, 동일 나노선상에서 자성층(철층)과 광학층(금층)을 동시 구현함으로써 다기능화가 가능한 나노구조체 제조를 실현하였다는 점에서 획기적인 것으로 평가된다.

특히, 금층은 독특한 광학적, 화학적 특성을 가지고 있어서, 고감도 진단분석, 포토닉스가 가능한 영상과 치료, 약물/유전자 전달, 그리고 응고치료와 방사선 치료의 개선과 같은 다양한 의학적인 응용에 있어서 연구가 진행되고 있다. 또한, 기능성 금 코팅은 나노입자가 금 표면에 부착이 가능한 바이오 마커나 링커와 함께 사용될 수 있도록 표면을 제공하며, 표면개질을 통해 바이오 응용에 사용될 수 있는 다양한 생화학물질을 붙일 수 있다는 장점이 있으며, 금은 바이오-메디컬의 적용에 있어 가장 선호되는 생체적합성 재료다.

다른 부분을 이루고 있는 철층은 자성적인 성질을 갖는다는 점에서 매력적이다. 특히 생명과학과 의학에서의 잠재적인 응용분야로 꼽히고 있는, 자기공명 영상의 조영제, 악성세포에 대한 발열요법, 화학요법과 방사선요법의 첨가제, 세포막 조절, 자성 분리와 세포 배열 그리고 표시된 세포나 다른 생물학적인 물질의 진로추적, 약물전달, 특정한 부위를 대상으로 작용하는 약물, 유전자 및 방사선 핵 치료, 나노 탐침과 바이오센서 분야 등 많은 분야에 적용되는 신기술에서는, 나노구조물의 움직임을 제어하기 위해 자기



철/금 나노선의 광학적, 자기적 성질 : 왼쪽은 광학적 성질과 관련된 UV-Vis흡수그래프다. 530nm와 660nm부근에서 신호가 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이는 기본적으로 금이 갖는 가시영역의 흡수띠의 성질을 잘 보여준다. 오른쪽 그래프는 자성성질에 관련된 이력곡선이다. 자화방향은 나노선의 축과 평행한 방향이다.

적 성질을 이용하는 연구가 많이 진행되고 있으며, 이러한 연구의 중심에 있는 것이 철원소다. 또한, 산화를 통하여 생체에 들어가도 이상이 없는 생체적합성 물질로 쉽게 전환된다는 장점이 있다. 따라서 생체외 실험은 물론, 생체내 실험에도 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

나노틀 만들어 이온 용액 부은 뒤 전기로 굳혀

합성에 이용된 방법은 양극산화 알루미늄 나노틀을 이용하여 한 개의 욕조(One Bath System)에 철과 금 이온을 동시에 녹인 뒤, 펄스도금법을 사용하여 서로 다른 원소층을 순차적으로 합성하였다. 이러한 방법은 건물을 지을 때 거푸집을 만들고, 그 안에 시멘트를 부어서 굳히면 건물이 만들어지듯 나노틀이라는 거푸집에 철과 금 이온이 녹아있는 용액을 부은 뒤 전기적인 힘으로 굳히면 나노선이란 건물이 완성이 된다. 하지만 상대적으로 잘 쌓이는 정도가 틀리기 때문에, 전기적인 힘의 차이를 두어서 쌓이는 물질인 금과 잘 쌓이지 않는 철 층을 구분해서 합성하면 층층이 철과 금이 교대로 있는 나노선의 구조를 만들 수 있었다. 이러한 방법은 고온이나 복잡한 공정을 거치지 않고 손쉽게 나노선을 합성할 수 있기 때문에 생산율 및 생산비용 측면에서 탁월한 장점을 갖는다.

바코드 다층나노선의 개발에서 어려운 점은 두 가지 혹은 세 가지 원소를 이온상태로 용액에 녹이는 단계와 전류나 전압에 따라서 원소가 분리되게 하는 단계다. 특히, 원소를 이온상태로 용액에 녹이는 단계에서는 원소들이 침전되지 않고, 온전히 이온상태로 존재해야 한다. 이러한 문제로 기존의 연구에서는 환원전위의 차이를 이용하여 극명하게 구분이 되는 층을 만드는 것에 어려움이 있었다. 이번 연구에서는 금 1가 이온(Au+)을 사용하고, 전류에 따른 화학조성분석 실험을 거쳐 최적조건을 찾았으며, 투과전자현미경을 이용하여 균일하면서 극명하게 분리된 철과 금층들을 확인함으로써 양질의 다층나노선 합성에 성공한 것이다.

몸에 넣어 동시에 자기적 · 광학적 검출 가능

현재, 생체적합성을 갖는 나노선에 대한 연구는 이루어지지 않고 있어 이번 철/금의 다층 나노선의 연구는 최초의 생체적합성 나노선 관련 연구라는 데 의미가 있다. 또한, 나노 구조의 크기는 생체친화적인 응용에 중요한 요소들 중에 하나로 세포(10~100㎛), 바이러스(20~450㎚), 단백질(5~50㎚) 또는 유전자(폭 2㎚, 길이 10~100㎚) 등의 크기에 맞도록 조절이 가능하여야 한다. 따라서 생체적합성이 있는 철/금 다층 구조를 갖는 바코드형 나노선을 효율적으로 조절, 합성하는 방법이 필요하다. 이번 연구에서 사용한 펄스도금법은 이에 부합하는 기술인 것이다.

'철', '금'을 이용한 다층 나노선은 자기장으로 조절이 가능하며 몸에 들어가도 이상이 없다. 또한 금은 바이오-메디컬 분야에서는 가장 선호하는 물질로서 표면처리를 통해서 단백질과 같은 물질을 쉽게 붙일 수 있고, 광학적으로도 검출을 할 수 있는 물질이다. 따라서 이러한 나노선의 개발에 따라 자기적, 광학적인 검출이 동시에 가능해져 상호보완적으로 신호의 세기가 획기적으로 향상될 것으로 기대된다.

또한, 이러한 생명공학분야에서 요구되는 조건(기능성을 부여할 수 있는 금층, 자성성질을 이용할 수 있게 만들어 주는 철층)을 만족하는 것 외에도 현재의 기술을 응용한다면, 각 성질들의 시너지 작용으로 인한 새로운 기능을 가지는 나노선의 합성도 가능할 것으로 기대된다. ST

글쓴이는 서울대학교 금속공학과 졸업 후 동대학원에서 석사학위를, 미국 MIT에서 박사(재료공학)학위를 받았다. 삼성전기(주) 수석연구원, 삼성종합기술원 객원연구원 등을 지냈다.