

나노모터 구동기술

나노테크놀로지에서 매우 중요한 과제 중 하나로 나노모터를 구동하는 것을 들 수 있다. 화학에너지를 일로 변환할 수 있는 나노구조 재료는 나노 스위치, 펌프, 액추에이터 등 여러 가지 나노소자들에 필수적이다. 나노모터를 만들려면 스스로 움직일 수 있고 이동방향을 제어하는 나노구조물을 제작하여야 한다.

최근 Sandia National Laboratory의 A. K. Schmid 박사 연구팀이 나노모터 제작 가능성을 한 단계 앞당겼다[*Science*, **290**, 1561 (2000)]. 연구팀의 결과에 따르면, 구리표면에 증착된 나노미터 크기의 주석 덩어리(island)가 표면위를 이동해 간다. 이때 Sn이 Cu로 방출되며(이 반응은 발열반응임) 발생한 화학에너지가 Sn 덩어리와 Cu 표면 사이의 마찰을 능가한다. 연구팀은 상호보완적인 주사탐침 현미경(STM)과 저에너지 전자현미경(LEEM)을 사용하여 원자해상도의 구조 분석을 하고 덩어리가 표면을 이동하는 것을 관찰하는 데에 성공하였다.

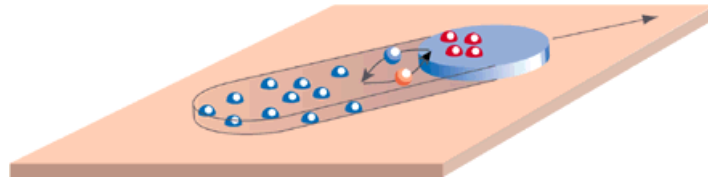


그림 1. Sn 원자가 Cu 원자와 교환되며 Sn 덩어리가 Cu(111) 표면 위를 이동한다.

STM은 바늘을 표면위로 이동시키면서 터널링 전류를 기록함으로써 표면위의 원자나 분자의 개별 이미지를 획득할 수 있으므로 현재는 범용되는 도구이다. LEEM은 표면에서 탄성적으로 산란되는 전자의 파장 속성을 활용하는 것으로서, 표면위의 구조물이 5nm에서 10nm 이상의 크기를 가지면 LEEM을 이용하여 그 이미지를 시간이 경과함에 따라 지속적으로 획득할 수 있다. 다른 전자현미경과 달리 LEEM은 전자에너지가 1에서 100eV 정도로 낮아서 표면의 구조만을 관찰할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 LEEM과 STM을 함께 사용하면 표면 구조를 보다 완벽히 관찰할 수 있다.

금속 표면에서 첫 번째 층의 합금현상은 벌크에서와는 매우 상이하다. 2차원 합금상은 최외곽 표면층에서만 존재하는데, 밀도함수를 계산하여 표면합금의 존재를 예측할 수 있다. 벌크에서는 합금되지 않는 금속들도 표면에서 합금상으로 존재할 수 있으며 또한 안정한 벌크 합금들도 벌크와 표면에서의 안정성에는 차이가 크다. 새로운 표면 합금상은 흥미로운 물리 화학적 성질을 지니므로 재료설계에 유용하게 활용될 것으로 전망되고 있다.

Schmid 박사 연구팀이 연구대상으로 삼은 것도 표면합금의 특이한 성질에 대한 것이다. Cu(111) 표면위에 Sn을 증착하면 Sn 원자들이 즉시 서로 모여 약 100,000개의 원자를 지닌 덩어리들을 형성한다. Sn이 Cu와 합금되는 과정은 발열과정이며 청동을 형성한다. 만약 Sn이 최상층에 존재하게 되면 발열과정이 더 심해진다. 그래서 덩어리 속의 Sn이 그 아래의 Cu와 교환될 가능성이 커진다. 에너지 측면에서는 원자 교환이 이루어지는 지점으로부터

덩어리가 이동해 가는 것이 선호된다. 이미 교환이 이루어진 곳으로 덩어리가 움직이지는 못하는데 그 이유는 혼합상의 반발력 때문이다. 따라서 Sn 덩어리는 계속해서 새로운 표면을 찾아 이동하게 된다.

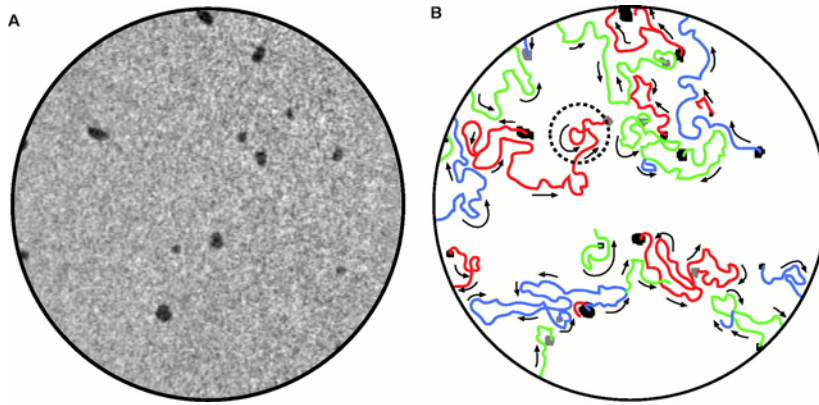


그림 2. LEED로 관찰된 Cu(111) 표면 위의 Sn 덩어리들(A)과 10분 동안의 이동 궤적(B).

연구진은 STM을 활용하여 청동합금의 형성을 나노미터 수준에서 관찰하였고 동시에 LEEM을 활용하여 Sn 덩어리가 Cu 표면위에서 이동하는 것을 추적할 수 있었다. 실험 결과는 한 금속위에 다른 금속이 증착되었을 때 발생하는 동력학적 거동을 매우 자세하게 기록하고 있다. 이러한 관찰은 지금까지 가능하지 못했던 것이다.

연구팀이 연구한 시스템은 화학에너지를 일로 변환할 수 있는 새로운 형태의 나노모터를 개발할 수 있는 새로운 패러다임을 제공하고 있다. Cu 표면으로 Sn이 방출되며 발생한 화학에너지가 Sn 덩어리를 전진시키는 일로 변환된 것이다. 이때 한 개의 Sn 원자가 방출하는 에너지는 약 1eV이다. 실험에서 Sn-Cu 교환속도는 상온에서 4,000초당 1회이므로, 100,000개의 원자로 구성된 덩어리는 $100,000/4,000 \text{ eV/s} \approx 25 \text{ eV} \approx 0.5 \times 10^{-20} \text{ hp}$ (마력)을 발휘할 수 있다. 따라서 무게당 파워의 비율은 0.3 hp/kg이다. 자동차는 1,000kg의 무게에 100 hp를 발휘하므로 무게당 파워 비율은 0.1 hp/kg인 셈이다.

향후의 도전 과제는 외부에서 우리의 의지대로 움직임을 제어할 수 있는 나노모터를 고안하는 것이다. 또한 연료의 재충전이 가능하여야 할 것이다. 이 두 가지 과제는 아마도 서로 결부된 문제일 것이다. 본 연구팀의 Sn/Cu 모터 원리는 기체상의 분자가 표면 덩어리를 경유하여 표면에서 안정화되는 과정과 일맥 상통한다고 볼 수 있다. [원문: *Science*, **290**, 1520 (2000)]