

벤처기업 이름, 과학소설 및 신문 기사에 무차별 사용되는 경향이 있기 때문에 역설적인 거부감을 주기도 한다. 그러나 미국의 전임 대통령 Bill Clinton이 2000년 1월 Caltech에서의 연설을 통해 미국정부가 향후 20여 년간 집중적인 연구개발 투자를 해서 nano 기술의 주도권을 확보하겠다는 National Nano-technology Initiative 계획을 발표하고 2001년 이 분야에 대한 미국정부의 투자가 전년도 대비 거의 두 배 증액된 약 5억 달러에 이름으로써 nano 기술에 대한 시각은 더 이상 공상과학의 대상이 아니고 선진국간 기술 주도권을 다투는 첨단기술이며, 이에 대한 각 분야별 연구가 본격적으로 벌어지고 있다. 그 중 몇 가지의 사례를 보면 다음과 같다.

Nano scale에서의 물질의 성질, 또는 성능은 macro 또는 micro scale에서 예측되는 바와 매우 달라질 수 있다. 이는 quantum confinement, wave-like transport 등의 현상이 수 nm 크기에서 관측되는 것으로부터 알 수 있으며, 이와 같은 크기의 물질을 우리가 제어하고 설계할 수가 있다면 지금까지 가능하지 않았던, 예를 들어, 쇠보다 10배 강하면서도 더욱 가벼운 초경량, 초강도 재료의 개발, 절삭가공이 전혀 필요 없는 net shape forming, 새로운 생체 재료 등의 개발이 가능해지리라 예측되고 있다. 극저온에서도 brittle

fracture 현상이 억제되는 nanostructured Cu/Nb composite 등이 그 예이다. 이와 같은 신재료의 개발은 더욱 가볍고 연료 절약형이며, 내구성이 강한 수송 장치의 개발을 가능케 할 것이고 nanoscale bottom-up 방식의 net shape forming은 원자, 분자, nano powder, fibers 등의 순으로 구조를 형성하여 원하는 제품을 만들게 되는 소위 굴뚝 없는 공장(smokeless industry)이 실현되게 될 것이다.

무어의 법칙(Moore's law)은 매 18개월마다 IC의 용량이 두 배로 된다는 것으로 지금까지 Intel의 microcomputer chip의 예로 보면 지난 26년간 3,200배가 증가되어 거의 정확히 들어맞아 왔다. 그러나 이 같은 추세를 계속 지키기 위해서는 집적도를 더욱 향상시켜야 되고 그 경우 2010년 경에는 회로의 최소 선폭

이 50 nm 이하가 되어야 하는데 이는 지금까지의 광학적 식각장 치로는 가공이 불가능하게 되어 새로운 회로 설계, 재료 및 nano 가공시스템의 개발이 필요하게 된다. 이에 대한 해법으로 1~2 nm 직경의 carbon nanotube를 부착한 AFM tip array를 통해 수 nm 선폭 가공이 가능한 direct pattern writing lithography 등이 연구가 되고 있으며, 한편으로는 quantum computing 등과 같은 새로운 컴퓨터의 개발도 이루어지고 있다.(그림 2 참조)

Quantum 컴퓨터의 기본 소자인 quantum bit은 digital bit과는 달리 "0"과 "1"이 중첩되어 있는 상태를 갖고 있으며, N개의 quantum bit은 2N 개의 숫자를 나타내게 되어 300 개의 quantum bit으로는 온 우주에 존재하는 원자의 개수보다 큰 10100를 나타낼 수 있다. 이것이

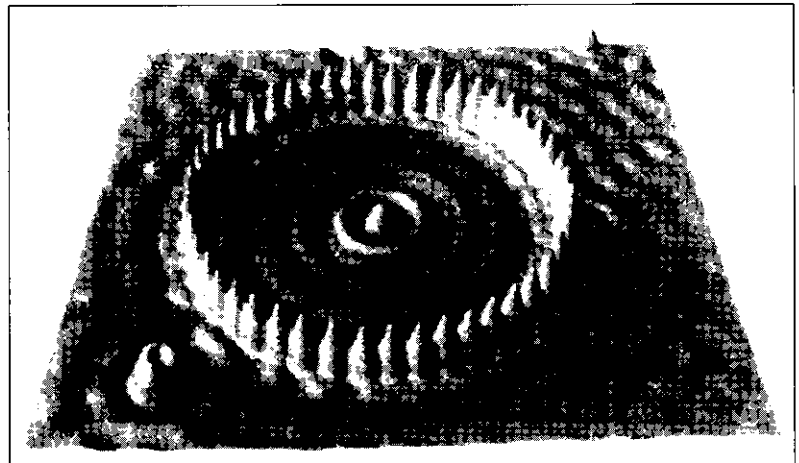


그림 2 원자현미경으로 본 quantum corral : 48 개의 iron 원자를 copper 표면에 7.3 nm 반경으로 배열하면 electron gas들이 trap되게 되어 있어서 파동현상같이 보이는 quantum 상태가 유지되게 된다.(IBM)

가능해진다. 지금의 컴퓨터로는 수만 년이 걸리게 되는 200 자리 수의 소수 계산을 수 분 내에 해낼 수 있게 된다. Quantum bit로 쓰일 수 있는 quantum dot은 수 nm 직경의 원주 내에 외부와 분리된 quantum field를 갖게 되며, 수 년 내에 quantum dot을 이용한 자리 수 quantum bit가 실현되리라 예상되고 있다.

상기 예들 이외에도 nano 기술은 의도기술과 환경, 에너지, 국방 분야 등 거의 모든 사회 경제적 분야에 큰 영향을 갖는 기술적 혁신을 가져오게 될 것으로 예상되고 있으며, 기계기술 분야를 포함

한 여러 분야의 연구그룹들이 이에 대한 모든 가능성을 살펴보고 있다.

MEMS 기술이란

MEMS 기술을 짧게 정의하기는 어려우나 이름(Micro-Electro-Mechanical-Systems) 그 자체로부터 알 수 있듯이 수 100 micron 이하의 크기를 갖고(micro), 전기, 전자적인 구동특성을 가지며(electro), 기계적 움직임 또는 성능을 갖는 시스템이

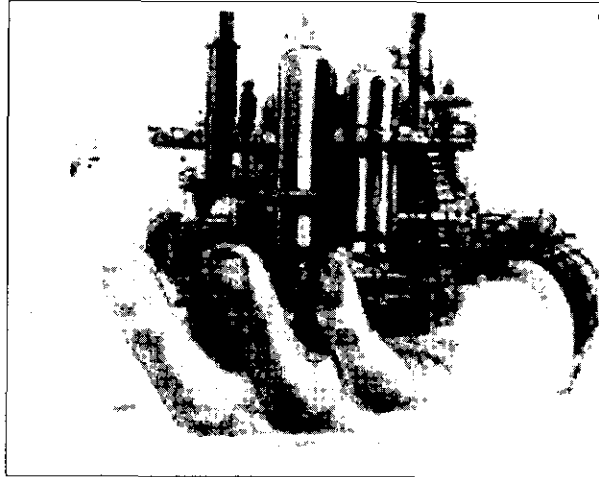


그림 3 Microchemical Systems : 진공관 컴퓨터 ENIAC이 집적회로로 대체되었듯이 단위공정들로 구성된 화공플랜트를 micromodule화하여 집적화하는 프로젝트.(MIT, Prof. Klavs F. Jensen)

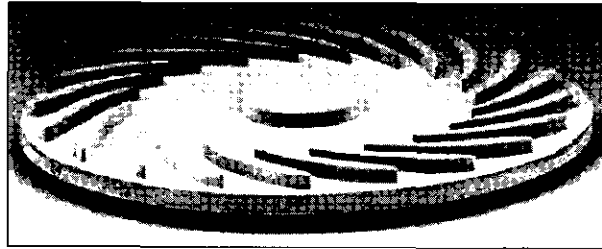


그림 4 MIT Micro Turbine : 50W/g의 high power density를 갖는 micro turbine용 rotor (MIT, Prof. Alan H. Epstein)

라 할 수 있다. 실제로 MEMS의 개념은 기계, 전기, 광학, 열, magnetic, fluidic, 화학, 생물학적인 기능, 또는 이들의 복합적 기능을 갖는 소자들로 이루어진 초소형 시스템을 통칭한다고 볼 수 있고 잘 발달된 반도체 소자분야의 batch 박막공정을 활용하여 적은 제조경비로 동일 품질의 시스템을 대량생산을 해낼 수 있다는 데에 경제적인 이점이 유발된다고 볼 수 있다. 그러나 지금까지의 MEMS 기술은 시스템 측면에서의 새로운 상품을 개발하기

보다는 macro scale device의 크기를 초소형화하여 상품화하려는 "Miniaturization"에 초점이 있어 왔었고 시장에서 큰 상업적 성공을 거둔 사례가 극히 저조한 실정이다.

Miniaturization의 대표적 사례를 두 가지 들어보면 Microchemical Plant와 Micro Turbine 프로젝트를 들 수 있는데 아직 진행중인 프로젝트라 평가하긴 어렵지만 macro system에서 할 수 없는 특별한 기능과 경쟁력이 주어지지 않는다면 상업적인 성공은 상당히 어려워질 것이다. MEMS 기술의 새로운 패러다임은 macro 시스템이 할 수

없는 새로운 기능을 목표로 시스템을 개발하여 상용화할 수 있다면 기술개발의 최종 목표인 상업적 성공도 확보할 수 있다는 것으로 그 대표적인 예는 MEMS 기술의 nano 기술로의 적용이다.(그림 3, 4 참조)

MEMS for Nano

앞서 기술한 바와 같이 nano 기술은 nano scale에서 물질을 다루고 제어하여, Micro scale 또는 macro scale에서 기능적 목표



그림 5 자체 압전 액츄에이터를 갖는 AFM tip cantilever : sharpening공정을 통해 tip의 선단은 약 20 nm이며, 박막PZT는 약 10 V에서 6 m의 변위를 보이고 고유진동수는 약 100 KHz 이다(대우전자 TMA 연구소)

를 달성하게 된다. 예를 들어보면 nm 선폭의 회로를 구성하여 microelectronic 회로를 구동시키고 macro 크기의 note book 컴퓨터에 들어가는 차세대 Pentium chip, nanometer 또는 sub-nanometer scale의 pitch 변화를 갖는 tunable optical micro grating 등이 있다. 즉 nano scale의 구동 및 제어에는 micro scale의 소자가 필수적이며, 이와 같은 성능은 macro-scale의 소자로는 쉽게 이루어질 수 없다는 점이다. 이와 같은 관점에서 MEMS for Nano라는 새로운 MEMS기술 응용의 paradigm이 대두가 되고 있으며, 대표적인 사례로는 built-in actuator를 갖는 원자현미경 (Atomic Force Microscope)용 cantilever 등을 들 수 있다.

원자현미경(AFM)은 10~30

nm의 매우 뾰족한 tip을 갖는 외팔보 구조물을 물체의 표면 위에서 주사하여 표면의 topographic 정보를 얻어내는 장비로 전자현미경에 비하면 고진공도도 필요 없고 물체 표면의 전기, 자기, 화학적인 상태도 측정 또는 변화시킬 수 있으며, 동시에 수 nm까지의 정밀도도 얻을 수 있다는 점에서 획기적인 장비이다. 그러나 표면에 수직 방향의 구동을 quartz tube로 하는 기존의 원

자현미경 장비는 quartz tube의 저 고유진동수에 의해 최대 주사속도가 수 KHz 이내로 제한되어 반도체 die 하나의 측정에도 수십 시간이 걸리는 저생산성이 최대의 단점이다. 이에 반하여 그림 5에 보이는 AFM tip은 외팔보 자체에 박막 PZT 액츄에이터가 포함되어 있어 수직방향의 구동을 수 μ 범위 내에서 할 수가 있으며, 구조의 고유진동수가 150~200 KHz에 이르러 기존의 원자현미경보다 적어도 100배 이상의 주사속도를 얻을 수 있게 된다. 나아가 그림 5의 외팔보 tip으로 100×100의 array를 만들게 되면 기존의 AFM보다 100만 배 이상의 주사속도가 실현될 수 있으며, 이 경우 real time imaging이 가능해지게 된다. 이와 같은 tip array에 carbon nano tube를 효과적으로 부착하게 된

다면 소위 real time nano imaging기술이 실현될 수 있는 것이다.

이와 같은 기술의 연장선상에서 nano imaging의 대응 개념인 nano patterning 기술도 개발될 수 있으며, 이는 광학적 식각 기술의 한계로 예측되는 50 nm 이하의 회로 pattern을 생산성 있게 제조하는데 크게 기여할 것으로 예측된다.

한편으로는 nano기술에 직접 연관은 없지만 MEMS 기술이 큰 기여를 하고 있는 분야로 광통신 분야를 들 수 있다. 광통신기술은 근래에 들어 DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) 기술의 개발에 힘입어 하나의 fiber를 통해 수십 개 파장의 신호를 동시에 보낼 수 있게 되었고 이 기술은 기존의 광네트워크의 용량을 수십 배 증가시키는 효과를 가져오게 될 것으로 예상되고 있다. 그러나 이와 같은 수많은 광신호를 전기신호로 변환하여 add/drop 및 switching을 하게 되면 신호처리에 엄청난 설비의 추가투자가 이루어져야 하는 동시에 광/전기 신호처리 속도에 전 통신신호처리의 속도가 제한되게 된다. 만약에 광-전기-광 변환이 없는 all optical switching이 가능하게 된다면 꿈의 all optical network가 구현되게 될 것이다. 이를 위해 MEMS mirror를 이용한 optical cross connect (OXC) 개발이 큰 붐을 이루고 있으며, OXC 이외

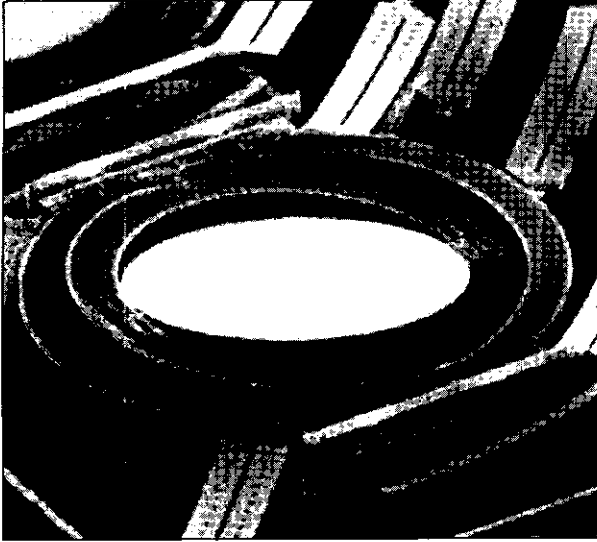


그림 6 Lucent의 optical cross connect용 double gimbals shaped mirror 소자 : 한 cell의 크기가 약 2 mm 이며, 256 개가 array를 이룬다.

에도 add/drop switch, tunable grating, tunable laser 등에도 MEMS 기술이 집중적으로 적용되고 있다.(그림 6 참조)

신기술과 기계기술

미래라는 것은 불확실성과 변화의 가능성이 항상 존재한다고 볼 수 있으며, 그와 같은 변화를 준비하는 사람과 준비 안 하는 사람은 매우 다른 미래를 맞게 될 것이다. Nano기술은 21세기를

있고 나오게 될 것이다. MEMS/Nano와 같은 신기술(emerging technology)의 개발과 산업화에 있어서 우리가 준비하고 후학들을 교육시키기 위해선 무엇을 어떻게 해야 할 것인가? 신기술이란 아직 존재하지 않는 기술이기 때문에 책으로 배우고 가르칠 수는 없는 것이다. 그렇다면 배우지 않은 것을 어떻게 남보다 잘 할 수 있게 할 것인가. 여기에 대한 해답은 바로 시스템 기술과 합성(synthesis) 기술

맞는 오늘에 있어서 매우 뚜렷한 기술의 새 물결이다. 새 물결은 거스를 수 없는 trend이며, 오히려 올라타고 가야 할 변화이고 이와 같은 노력 속에 수많은 신기술들(emerging technologies)이 나오고

이다. 무릇 시스템이란 여러 개의 다른 기능을 가진 요소들이 결합하여 원하는 기능을 내는 것이라 할 수 있는데, 신기술이 상품화되고 상용화 되기 위해선 시스템적 구성이 필연적으로 이루어져야 하고 또 그 신기술의 시스템이 원하는 바를 충족하는 좋은 상품이 되기 위해선 여러 요소들이 잘 배합되고 결합되어야 하는데 이를 위해 필요한 기술이 합성(synthesis)기술 이다. 지금까지 공학기술의 발전을 보면 기계기술이 잘 해왔던 역할이 바로 시스템적 합성분이라고 할 수 있으며, 앞으로 MEMS/Nano 기술 등의 첨단 신기술들의 산업화에 있어서도 기계기술인들이 잘 할 수 있으리라 생각한다.

참고로 본 원고에 사례로 나온 모든 연구프로젝트가 현재 MIT의 기계공학과에서 수행하고 있거나 공동연구로 참여하고 있는 과제들임을 밝힌다.

기 · 계 · 용 · 어 · 해 · 설

▶ 채널디퓨저(Channel Diffuser)

채널디퓨저는 원심압축기의 대표적인 베인디퓨저(Vaned Diffuser) 중 하나로서 임펠러에서 나오는 유체의 높은 속도에너지를 압력으로 회복시키는 디퓨저이다. 기본원리는 회전방향 속도성분을 줄이고 직선방향으로 인도하는 방법을 사용하며, 압력회복(pressure recovery) 성능은 높지만, 운전영역(range)이 좁은 것이 특징이다. 디퓨저의 네 면이 직선인 채널이며, 채널의 입구에서 목(throat)이 명확히 존재하므로 고유량 작동에서는 목에서 초강(choking)이 일어난다. 썸기 디퓨저(wedge diffuser) 또는 Vane Island Diffuser라는 이름으로도 불린다.