

# 新機能素子開發의行方(Ⅲ)

## 분자계산기

권영수\* · 강도열\*\*

(\*동아대 공대 전기공학과 조교수,

\*\*홍익대 공대 전기·제어공학과 교수)

### 1. 서론

잠시 우리들 주변을 살펴보기로 한다. TV, 에어컨, 비디오, 오디오, 전자렌지, 전기발습, 미싱, 등등 가정에서 보통사용되고 있는 전기제품에 이르기까지 컴퓨터의 사용은 당연한 것으로 되어있다. 특히 Personal Computer의 붐으로 인해 국민학생들도 게임놀이를 하고 있는것이 오늘날의 현상이다. 그런데 오늘날 컴퓨터 전성시대의 원동력은 뭐니뭐니해도 集積化技術의 진보에 있다 하여야 할것이다.

진공관시대까지를 논의하지 않더라도 transistor를 사용해서는 speed와 안정성의 문제로 대용량화가 불가능하였다. 1960년대초 Epitaxy-planar<sup>1)</sup>로 불리는 transistor의 제조방법이 개발되어 그때까지 1개씩밖에 만들지 못하던 transistor를 여러개씩 동시에 만들 수 있게 되었다. "여러개의 transistor를 결합하는 것이 동시에 가능하다면"하는 욕구에서 집적회로(IC)가 탄생하게 된것은 너무나 잘 알려진 사실이다

최초로 실용화된 것이 계산기의 기본논리를 형성하는 논리IC로서 계산기의 설계사상에 혁신적인 변혁을 가져온 것이었다. device의 기술진보에 의해 "집적도"는 매년 증대하여 1970년대에 들어서서는 Computer 그자체가 집적회로화 되기에 이르러 1장의 chip이 1개의 部品이 되기에 이르렀다.

최근에 이르러 electronics shop의 showwindow에 4 bit, 8 bit, 16bit의 microcomputer가 진열되어 있는것을 쉽게 볼수있다. IC에서 LSI, VLSI을 거

쳐 ULSI시대에 들어선 오늘날 집적도 향상에 대한 speed를 생각해 볼 필요성이 있다.

집적도를 생각할때 현재 1Mbit의 D-RAM이 試作에 成功하였으며, 연구실에서는 16Mbit D-RAM의 1-level까지 연구되고 있다. 현재까지의 素子기술의 진보가 앞으로 어떻게 진행되어 갈까? 장차 우리가 사용하게 될 Computer는 어떤형태의 것이 될까? 이러한 것을 예측하기란 매우 어려운 문제이다. 필자들은 반도체소자 기술의 미래에 관한 예측에 관하여는 이미 논의한바가 있었으므로 여기에서는 미래기술의 하나로서 최근 주목을 받고있는 분자계산기(biocomputer)에 대해서 설명하기로 한다. 앞으로 이러한 approach가 앞에서 말한 문제해결을 위한 하나의 해답이 될수있다면 멋진 일이라 하겠다.

물질을 미세하게 分割하여 가면 그 물질의 기본적인 성질을 가지는 最小單位를 분자라고 한다. 이경우 분자의 개념은 silicon 기판과 같은 무기물의 단결정체에는 어울리지 않으므로 주로 유기물을 대상으로 생각하는 것이 바람직한 것이다. 일 예로서 거북이 모양을 한 benzene을 들 수 있다. 이러한 분자는 실제로 고정되어 있는 것이 아니고 여러 狀態로 구조가 변화하는 것이다. 따라서 적당한 분자를 1개 또는 수개씩 합쳐서 분자집합체를 만들어 분자 level에서 既存의 s-switching소자 혹은 memory소자와 같은, 동등한 동작을 시킬수 있다는 것이 원리적으로 가능한 것이다.

이와같은 molecular assembly(분자조립) 기술의 발전방향을 생각하다 보면 분자계산기의 개념이 떠오르

게 된다. 즉, 분자계산기의 특징은 극히 소형으로 현재의 소자에 비해 1억배 이상의 집적도로 되기 때문에 高速이 가능하며, 발열도 없게된다.<sup>2)</sup>

이하에서는 fabrication, Langmuir-Blodgett막, bio-sensor, memory, logic 등으로 나누어 분자계산기에 대하여 생각해 보기로 한다.

## 2. Fabrication

여러가지의 전자부품들을 한데 모아 디바이스로 조립할 때 “조립하는것”을 나타내는 말이 fabrication이다. 1장의 silicon wafer 위에 저항, 콘덴서 및 transistor 등의 부품에 상당하는 것들을 만들어 IC 혹은 LSI로 만드는 기술이 fabrication이다. 특히 최근에는 부품들이 점점 작게되어 1 $\mu$ m 전후의 size로 가공하지 않으면 안될 정도로 fabrication이 중요한 기술로 되어 버렸다.

역사적으로 보면 transistor가 발명되어 transistor가 Computer중에서 1개의 switching소자로 사용되게 된 후로부터 Computer를 소형화하기 위하여 많은 transistor를 넣는 연구가 행하여 왔던것이다 즉 IC, L-기적으로 장해가 되지않을 정도로 분리되어 있는 것이지만, 분자electronics의 경우에는 분자1개가 소자이므로 전기적으로 너무 가깝게 되어 소자1개를 switching하게되면 그영향으로 인접분자에 까지도 switching의 영향을 받게된다. 따라서, 분자electronics의 연구를 할때에는 분자를 어떻게 배열하여야 할 것인가 하는 fabrication까지도 동시에 연구하여야만 한다. 즉 switching소자의 제작에서부터 회로구성에 이르기 까지 logic, memory 를 fabrication과 병렬로 연구하여 가는것이 분자electronics의 특징일 것이다.

분자를 일정한 pattern에 따라서 규칙성있게 배열하여 분자집합체를 만들면, 분자 각각에서는 나타나지 않던 새로운 기능이 나타나게된다. fabrication이 발달하여 진보하면, logic, memory에 필요한 새로운 기능이 나타날지도 모른다.

그러나, 불행하게도 현재의 기술로서는 아직 분자1개를 access하는 수단이 없다. 현 단계로는 많은 분자를 같은 방향으로 배열하여 막을 만들어 막전체의 전기적 성질이나, 광학적성질을 측정함으로써 분자1개의 성질

을想像하고 있는 실정이다. 분자switch를 만들 경우에도, 單分子膜으로 만들어서 switch의 동작을 check할수밖에 없는것이다. 이러한 의미에서도 fabrication은 매우 중요한 것이다.

## 3. Langmuir-Blodgett 막<sup>2,3)</sup>

單分子膜을 만드는 방법으로 Langmuir-Blodgett 법이 있다. 미국 General Electric社의 Langmuir와 그의 여비서이자 공동연구자인 Blodgett가 공동으로 1930년경에 발명한 제작법이다. 발명자의 이름을 따서 LB막이라고도 부르고있다.

LB막은 그림1에 표시한 것처럼 긴chain을 가진 분자로부터 만들수 있는데 -COOH부분은 물에 잘용해하는 분자구조로서 親水基라고 부른다. 한편 -CH<sub>3</sub>부분은 油性으로, 물을 싫어하는 성질로서 疎水基라고 부른다. 가늘고 긴 분자구조로서 양끝이 서로 다른 성격의 친수기와 소수기를 동시에 가진 분자이므로, 水面위에서 친수기 부분은 물속에, 소수기부분은 大氣中에서random하게 분포하게 된다. 이때 수면에 barrier를 만들어 압축하면, 분자가 表面上에서 packing한것에 상당하는 면적으로, 급격이 표면압력이 증가하는 현상이 관측된다. 이것은 분자가 수면에 수직으로

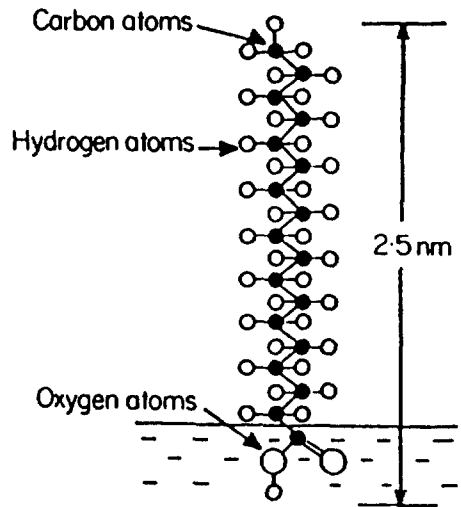


그림1. CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>16</sub>COH분자구조

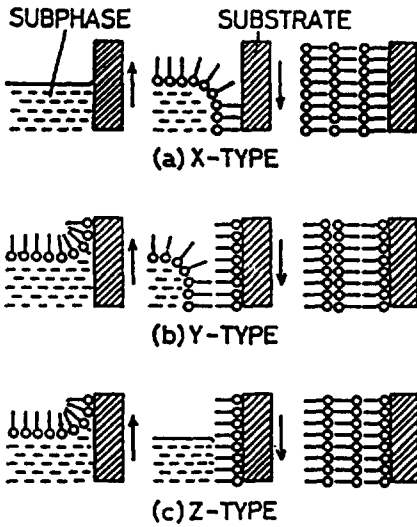


그림 2. LB법에 의한 누적막의 형태

세워져 배열이 잘된 단분자막으로 되어있는 상태를 의미하고 있다.”

그림 2에 나타낸 것처럼 slide glass 혹은 silicon wafer를 물속에 넣었다가 당겨올리면 그위에 단분자막이 옮겨 붙게되어 glass판은 단분자막으로 덮혀 지게 된다. 그림과 같이 상하운동을 반복하면 필요한층 만큼의 LB막을 누적할 수 있게된다.

LB법은 인공적으로 유기분자의 배열을 제어할 수 있으므로 분자고유의 성질을 나타낼수 있는 방법으로써

최근 분자다바이스의 構築素材로서 가장 기대되고 있는 기술중의 하나이다.

LB막은 素子로서의 여러기능이 기대되고있어 많은 연구가 행하여지고 있는데, 특히 초박막이라는 점에서 흥미가 있는 소재일것으로 생각된다. 반도체, 자성체에 있어서도 초박막화가 진행중에있지만 수<sup>Å</sup>의 초박막을 제작하는데는 유전체인 LB막이 가장 유력한 방법으로 그 speed또한 빠를 것으로 생각된다.

필자들은 LB법중에서 분자가 어느 한방향으로 배열 가능한 Z형막, 혹은 hetero구조 LB막을 제작하여 외부로부터의 전압인가없이도 LB막중에 대단히 큰분극을 발생하여 LB막중에 내장전계가 형성되는 LB막 특유의 새로운 현상이 있다는 사실을 제안하였으며 실험을 통하여 이를 확인하였다.

LB막은 micro-electronics의 微細加工用 resistor로서도 사용될것으로 기대되고 있다. resistor는 silicon wafer에 LSI용의 미세한 회로를 형성하기위한 마스크를 말한다. 마스크로서 덮혀진부분은 에칭등으로 가공되지 않으므로, 필요한 부분만을 가공하여 회로를 만들수가 있다. 그다음 특수한 약품을 사용하여 마스크를 제거하면 완성이 되는것이다.

resistor로서는 고분자박막이 사용되기도한다. silicon wafer에 塗布한후, 별도로 준비한 금속마스크를 덮어서 자외선 혹은 X선을 쬐이면 사진기술에서와같이 현상이 되어 mask pattern상을 남기게된다. 전자beam의 경우는 금속마스크없이 전자beam을 펜과같이 사용하여 pattern을 그리면된다. 1Mbit D-RAM 정도는

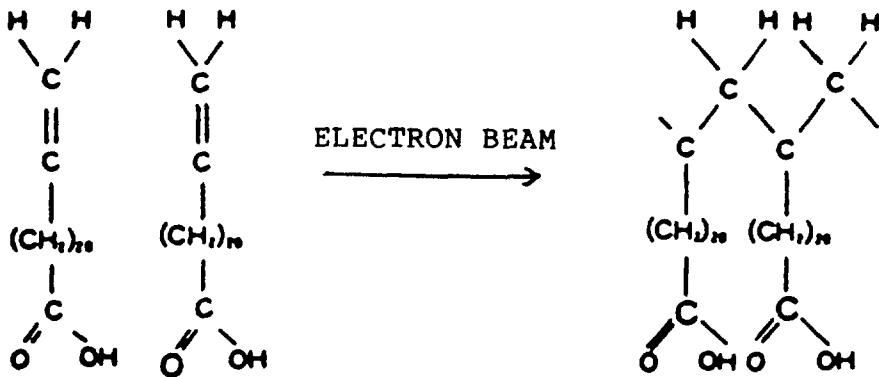


그림 3.  $\omega$ -tricosenoic acid LB막의 전자빔 중합

이와같은 방법으로 가능하지만, 100Mbit D-RAM의 경우에는 매우 어려운 작업이된다. 즉  $1\mu\text{m}$ 이하의 가늘선폭이 필요하기 때문이다. 따라서,  $0.1\mu\text{m}$ 정도의 막두께로서 일정한 형태의 리니이 없는 막이 필요하게 된다. 고분자로 이와같은 일정한 박막을 만든다는것은 현재 기술로 어려운 일이다. 그러나 LB막의 경우에는 1분자의 두께로부터 희망하는 두께까지 자유자재로 제작이 가능함으로 이러한 문제는 없게된다.

그림 3은  $\omega$ -tricosenoic acid라하는 2중결합을 한 분자로서 LB막을 만들어 전자빔의 조사에의해 2중결합을 open하여 resistor로서 이용하는 방법을 나타내고있다.<sup>7)</sup> 20층의 LB막에서  $0.069\mu\text{m}$ 의 두께로  $0.05\mu\text{m}$ 폭의 선을 pattern하였다는 보고이다.

이 밖에도 LB막에관한 연구는 최근 몇년사이에 주목을 받고 있으며, LB막의 국제학술대회도 3회에 걸쳐 개최되고 있다.<sup>8)</sup> 특히 분자고유의 기능을 전자현상, 광전현상에 이용하려는 연구는 매우 흥미로우며, 미래의 중심technology가 될것으로 기대하게된다.

#### 4. Bio sensor<sup>9)</sup>

생명현상의 기본이되는 반응가운데에는 생체물질의 분자를 識別하는 능력이 있다. 특정한 분자외에는 반응하지 않는 능력이다. DNA분자가 가진 遺傳情報를 읽으며 자기자신과 똑같은 분자를 複製하기도하며, 단백질의 합성을 control 하기도하는 반응, 특정의 基質만이 선택적으로 행하는 酸素反應, 免疫機構를 担當하는 抗原-抗体반응이 그것이다. bio sensor는 이와같은 반응을 이용하여 특정분자의 유무를 검출하는 것이다.

glucose를 검출하는 효소센서<sup>10)</sup>에서는 glucose oxidase라고 하는 효소와 glucose의 산화반응으로 산소가 소비하는 것을이용한다. glucose oxidase는 고분자막 등을 고정하며, 그뒤에 多孔質의 산소를 투과하는 막으로 덮혀진 전극을 놓고 투과한 산소의량을 측정하면 glucose의 농도를 알수있다.

albumin을 검출하는 면역센서에서는 항albumin 항체를, acetylcellulose복합막에 고정화하여 albumin과 반응하였을때 생기는 膜電位를 측정하는 방법도 있다.<sup>11)</sup>

이와같이 bio sensor에서는 효소, 항원이라고 하는 특정한 반응만을 하는 단백질을 막에 고정화하여 사

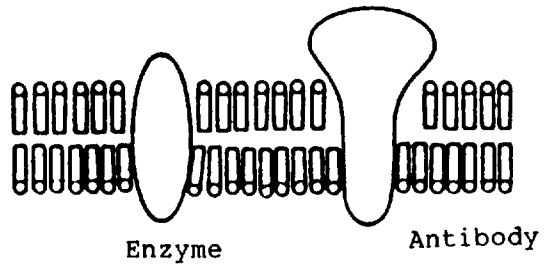


그림 4. 생체막 모델

용한다. 생체에서는 LB막과 비슷한 생체막중에 효소, 항원이 고정되어 특이한 반응을 하고 있다.

그림 4에 생체막의 모델을 나타내었다. 생체막은 기본적으로 2분자막으로서 친수성의 부분을 외측으로, 소수성부분을 내측으로 한 구조이다. 이가운데에 효소, 항원이 그림과같이 들어가 있는 상태이다.

이들의 특이한 분자식별의 반응을 이용하여 switch 소자를 만들수는 없을가? 그런데 효소는 基質의 3차원적형상을 식별하여 특정의 기질과 반응하기때문에 일종의 intelligent switch에 해당하게 된다.

단지, micro-electronics의 상식적인 swiching 속도( $1\mu\text{sec}$ )에비하면 효소의 반응은 4order 정도 늦음으로 단순히 switch만이 아닌 analog적인 응용을 생각하지 않으면 곤란 할 것이다.

SF적인 이야기일지 모르나, 효소반응을 이용하여 視覺的인 기능을 가진 bio sensor (bio chip)도 생각할 수 있게 된다.

고정화 효소막을 몇층 누적시킨 구조를 만들어 3차원상을 投影하면, 색이나 빛의 강도에 비례하여 반응생성물이 생기게된다. 반응생성물의 농도구배는 공간및 시간에 따라 분포하며, 반응생성 농도에따라 효소는 활성화하여 별도의 화학반응의 촉매로서 작용하게된다. 다층의 효소막에서 증폭하여 소형 bio sensor로서 특정한 化學種濃度를 검출하여 전기적인 analog신호로 변환한다는 기구이다.<sup>12)</sup>

효소반응의 속도가 늦은것은 이미 동물의 눈에서 실시하고 있는 바와같이, 3차원의 시각정보를 병렬처리하는 복잡한 계산까지 행할수 있다면 문제가 되지않는다. 그러나 화학적으로 불안정한 것은 문제가 된다. 온도가 조금만 가열되어도 혹은 酸등이 침투하게되면, 단

백질은 變成하여 본래의 생물적성질은 잃어버리기 때문이다.

반도체와 같이 결정속을 흐르는 전자를 control 하는 것과는 달리, 전자대신에 proton 및 반응생성물을 control 하기 위해서는 어떻게하면 될까? 반응에 의해 분자 구조까지도 변화하여, 분자집합체 전부가 변화하는 것을 control 할수는 없을까? 계산결과가 반응생성물에 의해 결정되는 것은, 형태가 변화한 분자로서 memory 되는 것은 무엇일까? 계산하면 회로까지 변화해 버리는 계산기를 생각할수 있을까? 등등 많은 의문에 대답하기 위해서는 착실하고 확실하게 비록 시간이 걸리더라도 분자의 성질을 파악하는 연구를 하여야 할 것이다.

### 5. Memory

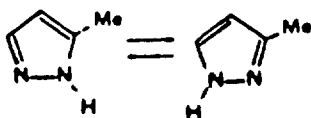
분자size의 소자특징을 분자내의 전자상태의 변화만이 아니고, 분자의 形狀에서도 변화가 일어나는 것을 적극적으로 이용하려는 연구가 진행중이다.

유기분자에는 異性체가 많이 존재한다. 이성체라고 하는 것은 구성원자의 종류와 수는 같지만 분자의 구조가 다른 것을 말한다. 이들중에는 어떠한 변화에 의해 서로 이동하기도하며, 변화하는 것을 볼수있다. 적당한 방법으로 2 종류의 이성체를 안정화시킬수가 있다면, 어느

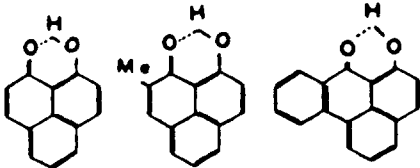
상태에 있는가를 指定하여 memory를 만들수가 있다. 분자의 形이 변화하는 것을 逆으로 이용하면 이 安定化가 가능할것으로 생각된다.

일례로서 그림 5에 異性化를 이용한 switching 현상을 나타내었다.<sup>13)</sup> 5-methyl-pyrazole 분자에서는 수소 원자가 2개의 질소원자중 어느 질소원자에 접속되는가에 따라 두개의 상태가 존재한다. 이상적인 경우에 그림 5-(b)에 나타난 것 처럼 potential energy A의 상태 혹은 상태 1에서 안정화하며, 그사이에는 충분히 높은 barrier가 있다. 二分子系의 勵起狀態의 potential이 그림에서 B 및 C와 같이 된다고 하면 적당한 파장의 光pulse를 조사하는 것으로 switching을 시킬수가 있게된다. 물론, 2분자 memory가 실현된것은 아니다. 기저상태가 A와같은 구조일것이라는 것이 알려져 있지만 현실적으로는 더욱 연구가 필요 하다 하겠다. 그림 5-(C)에 같은 원리로 동작되는 9-hydroxyphenalenone과 그의 誘導體를 나타내었다.<sup>4)</sup> 이상 두가지의 예로서도 알 수 있었던듯이 수소가 관여하는 반응은 매우 중요한 것으로 앞으로도 많은 연구가 진행될 것이다.

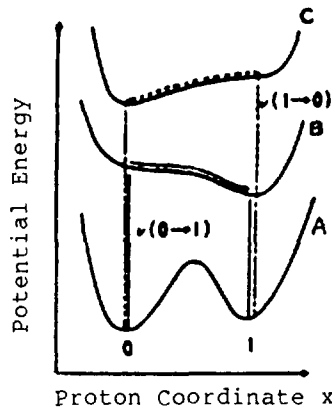
분자 level의 현상을 이용하여 memory소자를 만드는 방법으로서의 여러가지로 생각되나, 光化學反應을 이 최근에 주목을받고 있다. 광 화학반응 가운데, 광 화학 홀 버닝(photochemical Hole Burning: PHB) 현상이



(a) 5-methyl-pyrazole



(c) 9-hydroxyphenalenone derivative



(b) Idealized photochemical switching scheme

그림 5. 분자 메모리에 의한 스위칭현상

있다.<sup>5)</sup>

투명한 고체매질속에 有機色素分子를 分散固溶한系の 光吸收 spectrum을 생각하여 보자. 일정한 파장의 광을 흡수하여 여기상태가 되어 색상으로 나타나게 된다. glass狀의 고체중에서 색소분자는 주위의 고체분자로부터 영향을 받아 색소분자의 파장은 조금씩 다르게 된다. 따라서, 분광기로서 spectrum을 측정하면 幅을 가진 spectrum이 관측된다. 이와같은 상태의 시료에 흡수spectrum 중, 특정한 파장의 광을 강하게 조사하면 즉, 예로써, laser 광을 조사 한다면 이파장과 같은 여기에너지를 가진 분자만이 laser 광을 흡수하게 된다.

분자는 광을 흡수하면 여기상태가 되어 그에너지를 어디론가에 방출하면서 기저상태로 돌아오게 되지만, 여기상태에서 화학반응을 일으켜 어느확률 만큼은 본래의 분자상태와 다른 분자상태가 된다. 즉, laser 광을

흡수한 분자가운데 어느확률 만큼의 분자는 이미 laser 광을 흡수하지 않는 분자로 변화여 있게되므로 그분자에 상당한 만큼 흡수가 감소하게된다. 따라서 laser 광을 조사한뒤, 다시한번 약한 광으로 조사하여 흡수spectrum을 측정하여 보면 그림 6 과같이 흡수spectrum에 hole이 생기게된다. 이것이 광 화학 홀 버닝의 원리이다.

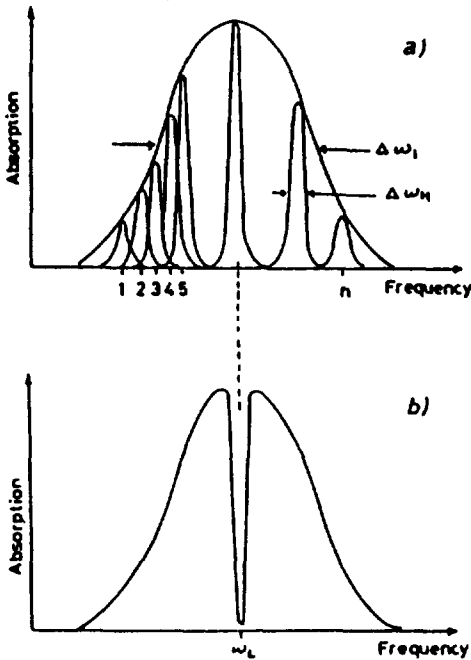
보통 이 hole 폭은 spectrum 전체 폭에 비해 1000분의1 이하이다. 즉, hole 1000개 가운데 그위치를 미리 정해 놓으면 hole이 있는가, 없는가를 1과0에 대응시켜서 1000bit의 정보를 축적할수 있게 되는 것이다.

일반적으로 광학적memory의경우 disk 위에 반도체-laser를 集束시켜, 거기에 마크가 있는가 없는가에 따라 1bit의 data가 결정된다. 이경우 정보의 집적밀도는 광의 spot가 어느 정도까지 좁아질 수 있는가에 달려있으며 직경 약  $1\mu\text{m}$ 정도가 한도인 것으로 알려져있다. 즉, 최대밀도  $10^8\text{bit}/\text{cm}^2$  정도이다.<sup>5), 16)</sup> 만약 PHB을 이용하면 1spot로서  $10^8\text{bit}$ 가 가능함으로 결국  $10^{11}\text{bit}/\text{cm}^2$ 의 정보가 축적될 수 있다고 한다. 단지 현재 PHB 현상은 극저온(-270°C 정도)에서만이 관측되고 있으나, 앞으로의 연구가 진행되면 photon computer의 memory소자로서 유망시 된다.

## 6. Logic

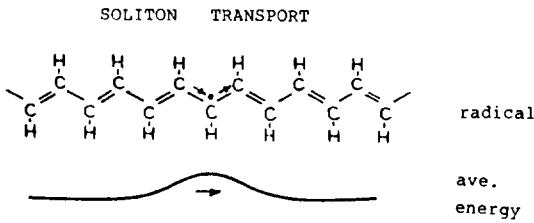
유기분자는 탄소 수소를 주성분으로 하는 化合物을 말하며 석유가 탄소와 수소에의해 탄화수소화합물의 혼합물인것은 널리 알려져 있다. 19세기 중엽까지만 해도 유기물은 생물에서 만이 생성하는것으로 생각하여 鉍物로부터 얻어진 금속등의 무기화합물과는 구별하여왔다 오늘날, 유기화합물은 동물이나 식물에서 얻어진것도 있지만 대부분이 화학적 합성에 의해 공장이나 실험실에서 얻어지고있다. 그 총수는 300만 400만이라 하고 있지만, 미지의 화합물까지 넣으면 유기화합물의 종류는 무진장이라 해도 좋을 것이다.

이와같은 유기화합물의 역할이 최근 electronics 분야에서 새롭게 인식되기에 이르렀다.<sup>2)</sup> 유기분자의 특징은 다양한 종류와 반응의 다채로움에 있다. 이러한 현상은 생물의 体内에서 유기분자가 서로 조화를 잘 이루고 있는것을 보아도 알수있다. 예를들면 화학반응이 용이함으로써 생물의 에너지원이 되기도하며, 빛, 온도,



Spectral change before (a) and after (b) P H B

그림 6. 광화학 홀 버닝



The motion of a radical soliton in a conjugated system is associated with the motion of a phase boundary or kink between ordered single-double bond domains

그림 7. Soliton 전파

열, 힘등에 대한 응답을 이용하여 시각, 청각, 후각등의 감각기관으로 만들어지기도 한다. 수많은 분자가 결합하여 된 생체고분자(bio-polymer)는 세포 및 생체 조직의 형태를 갖추는데 이바지하는것으로 알려져 있다.

유기화합물의 이러한 성질이 어떻게 하여 집적회로, 마이콤, 대형컴퓨터에 이르기까지 현재의 electronics 산업에 이용될수있을까? 현재 우리가 사용하고 있는 전자기기의 내부에는 집적회로를 중심으로한 복잡한 배선이 저미줄과같이 연결되어 있음을 볼수있다. 이들 배선은 금속으로 되어있으며 전기신호의 교환 및 전달을 행하고있다. 그런데 새로이 등장하는 유기분자를 素材로 하는 분자회로에서는 전기신호와는 원리적으로 전혀 다른 機構로서 정보를 전달한다는 것을 알수있다. 유기분자의 경우에는 분자의 상호작용을 이용하며, 분자내를 전파하는 彈性波를 이용하며, soliton을 이용하기도 한다.

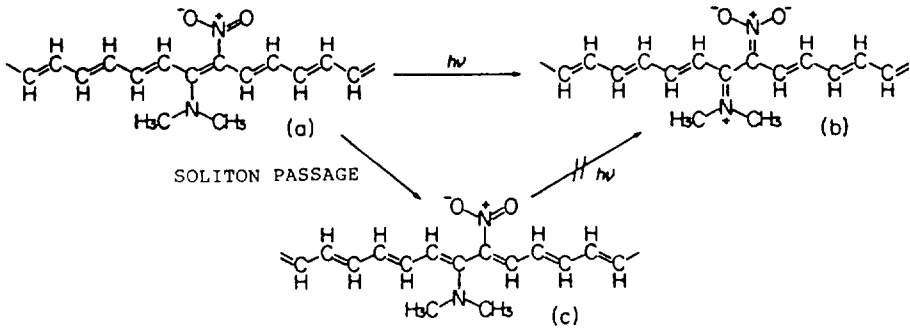
최근 화학 합성법의 발달로인해 탄소와 수소만으로 만들어진 polyacetylene이라는 고분자를 쉽게 얻을수있는데 이분자는 그림 7 과같이 탄소가 차례차례 결합하여 가늘고 긴chain상의 분자를 형성하고 있다. 탄소 사이의 결합에 특징이 있어 강한 결합(2중결합: 원자간거리  $1.34 \times 10^{-10} \mu\text{m}$ )과 약한결합(1중결합: 원자간거리  $1.54 \times 10^{-10} \mu\text{m}$ )으로 번갈아 가면서 연결되어 있다. 이들 결합중 어느분자의 chain중에서 불규칙적인 현상이 일어날 수가 있다. 즉 그림 7에서 탄소사이의 결합수가 1개, 2개로 반복되지만 분자의 중앙부분에서 결합수가 혼란 되

어있는것을 볼 수 있다. 이와같은 부분에서 분자의 energy상태가 높게되어 일종의 쪼가 생기게 된다. 자연계에는 파의성질을 가지고있는 현상이 많이 있지만 polyacetylene 분자안에서 생기는 쪼도 波의 성질을 가지고 있어 일정한 방향으로, 일정한 speed로 전파하여 가게 된다. 이와의 현상을 물리용어로서 soliton이라한다.<sup>17</sup> soliton은 분자chain위를 전파함으로 신호의 전달이 가능하다. 전기신호는 전선을 통하여 전달하는 것이지만, soliton은 분자사이를 전달하는것임을 알수있다. polyacetylene은 100개를 한데 묶어도 굵기가  $0.01 \mu\text{m}$ 에 미치지 않으므로 회로의 소형화에는 매우 중요한 유기분자가 될 것이다.<sup>18</sup>

한편, soliton의 전파는 주위의 분자배치에도 크게 영향을 받아 전파상태가 크게 변화하여 버리는 경우가있다. 그림 8에 나타낸것은 polyacetylene에 약간 형태를 바꾸어 만든 soliton switch소자이다.<sup>19</sup> 좌우로 길게 펼쳐진 polyacetylene chain의 상하에  $-\text{NO}_2$  와  $-\text{N}(\text{CH}_3)_2$  라고하는 2 종류의 원자단을 결합시켜 soliton의 통과를 on, off 하도록 설계되어 있다. 분자chain의 상하에 결합하고 있는 원자단의 결합상태는 외부로부터의 신호(예로서 광)에 민감하게 반응하게 된다. 그림 8-(a)의 상태에서 광신호를 받아 (b)의 상태로, soliton이 통과하면 (c)의 상태로 변하게된다. 그러나 한번(b)의 상태로 된 다음에는 soliton이 통과되지 않으며(off 상태), (c)상태에서는 광신호를 받지않게된다. (광신호에 대한 off 상태)이와같은 soliton switch는 주요 부분의 크기가  $0.002 \mu\text{m}$ 밖에 되지않아 분자로 만든 소자에 해당한다 하겠다.

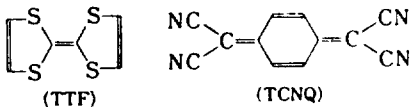
soliton의 경우는 분자1개가 가진 성질을 그대로 이용한 경우이다. 그러나 종류가 다른 유기분자를 조합시킨다면 더많은 새로운 성질을 가진 素子를 개발할 수 있을 것이다. 예로서 두 종류의 분자에서 전하이동 착체를 이용하는 것이다.

그림 9에 표시한 TTF-TCNQ의 예를 설명하면<sup>20</sup> TTF로부터 전자가 방출되어 TCNQ가 전자를 수용하는 현상이 일어난다. donor와 acceptor가 되는 유기분자는 대단히 많으며 전하이동 착체의 종류도 매우 많다. 예로서 5 종류의 donor 와 5 종류의 acceptor를 사용하면 25종류의 전하이동 착체가 된다. 최근의 전하이동 착체의 연구발전은 분자의 조합으로 전도체, 절연체, 반도체 등의 모든 물질로 제작이 가능하게 되고



A push-pull disubstituted olefin imbedded in transpolyacetylene can (a) be switched off by the propagation of a soliton, or (b) be used as a soliton detector

그림 8. Soliton 스위치



TTF : tetrathiafulvalene  
TCNQ : tetracyanoquinodimethane

그림 9. TTF-TCNQ의 분자구조

있다. 반도체의 전하이동 착체를 이용하면 P-N 접합, schottky접합, tunnel접합이 가능하여 앞으로 전기신호의 증폭 정류소자, logic소자에의 응용이 기대되고 있다.<sup>2)</sup>

## 7. 결 론

electronics 분야에 종사하는 사람의 한가지 소망이 있다면 인간의 뇌에 상응하는 기능을 가진 계산기를 만드는 것일거라고 생각된다.

최근 과학기술의 발전으로 초 고성능 대용컴퓨터는 어느면에서는 인간의 뇌보다 훨씬 뛰어난 기능을 가졌음에 틀림없다.

단순한 수치계산, 대량의 정보처리능력등은 정말 뛰

어난기능을 가지고있다. 그러나 사물을 認識하며, 복잡한사고를 통한 논리적인 고찰 등을 해야하는 분야에서는 아직 유치원 아이에도 미치지 못하는것이 컴퓨터의 현상이라 할 수 있겠다. 또한, 약 100억개에 달한다고 하는 뇌세포가 머리라고 하는 작은그릇에 담겨있으면서도, 대형컴퓨터에서 발열을 방지하기위한 냉각의 까다로운 문제가, 두뇌에서 대두되지 않고 있는결보면 정말 멋진 일이 아닐 수없다.

유기분자를 이용하는 electronics기술은 착실히 발전되어 가고있다. 이제부터는 분자소자를 조합한 분자회로가 분자회로를 조합시킨 분자계산기로 발전하여 갈 것이다.

분자회로와 전자회로를 size면에서 비교하여 보면 분자회로의 경우 0.01 $\mu$ m에 지나지 않는것이 전자회로에서는 VLSI의 경우 1 $\mu$ m정도에 해당하게된다. 분자회로를 이용하면 회로의 size를 작게할 수가 있는것이다. 현재 반도체를 이용한 집적회로에서는 고성능화 하기 위하여 회로를 복잡하게 함으로써 입출력단자의 수가 증가하게 된다. 따라서 여러개의 집적회로를 배선하려고 하면 배선 투성이의 장치가 되어 사용이 곤란하게 되어버리고 만다.

그러나 뇌의 신경세포에는 수많은 synapse라는 신경점유가 연결되어 있어 입체회로를 구성하고 있다. 이



복잡한 입체회로의 network가 뇌의 움직임을 지탱하는 근원이 되고있다고 한다.”

이상, 분자계산기에 대한 기대감과 함께 분자memory소자를 중심으로 몇가지 재미있는 현상을 소개하여보았다. 당장 집적회로를 신경세포level로 비약시킨다는 것은 무리일지라도 우리들은 분자회로라고 하는 새로운 기술을 이용할 수 있는 technology시대에 살고있음을 인식해야 할 것이다. 유기분자의 특징을 잘이용한다면 금세기중에는 어떠한 형태로 이든 분자계산기의 출현이 가능 할지도 모른다. 유기분자를 이용한 전자장치는 무기물로서 만들어진 것에 비하면 생물에 대한 적합성이 뛰어나기 마련이다. 따라서, 거부반응으로 문제가되고있는 의용전자공학 분야에서는 빠른 speed로 응용이 되리라 기대된다.

미래의 사회에는 모처럼 만든 분자계산기가 설탕으로 착각되어 개미등의 생물에 먹히어 버리는 만화같은 얘기가 일어날지도 모른다.

끝으로, 유기분자를 이용한 분자디바이스에 관한 연구는 앞으로 대학과 학회가 중심이되어 유기재료의 합성 등 기초연구의 구체적인 활동이 되기를 기대하며, 이 분야에 관심있는 분들의 협조가 있으시길 바란다.

### 참 고 문 헌

- 1) 권영수, 강도열 ; 新機能素子開發의行方(Ⅰ) 대한전기학회지 37, 8, p51 (1988)
- 2) young-soo, Kwon; ph D. dissertation, Tokyo Institute of Technology, JAPAN (1987)
- 3) K.B.Blodgett ; J.Am. Chem. soc. 57, pp1007(1935) I.Langmuir ; phys. Rev. 51, p964(1937)
- 4) 권영수, 강도열; 新機能素子開發의行方(Ⅱ) 대한전기학회 37, 9, p26(1988)
- 5) 권영수, 강도열; LB초박막의전압발생. 1988년도 전기·전자공학술대회논문집 p796 (1988)
- 6) 권영수, 강도열, 히노다로 ; 전기학회논문집투고중 (1988)일본전기학회논문집 A 107(9) p407 (1987) 일본전기학회논문집 A 108(2) p66(1988)
- 7) A. Barraud, C. Rosilio, A. Rauadel-Teixier; solid state Tech 22, August, 120 (1979), Thin solid Films 68 p91 (1980)
- 8) Thin solid Films Vol 99 (1983) vol 132,133, 134.(1985) Third International Conference on Langmuir-Blodgett Films Göttingen, F.R.G. July 26-31 (1987)
- 9) 森泉豊栄; バイオエレクトロニクス, 工業調査會 (1987)
- 10) Y. Hanazato and S. Shiono; proc. Int. Meet. chem. sensor pp513 (1983) 尾上洋一, 森泉豊栄 ; 酵素固定化LB膜を持つグルマースセンサ 電氣學會論文誌 A 107(3) p97 (1988)
- 11) 森泉, 宮原, 塩川; 應用物理 54 p98 (1985)
- 12) Y. Miyahara et al; Pvoc. 2nd, sensor symp p 91-95 (1985)
- 13) NRL Memorandum Report 4662. Proceedings of the Molecular Electronic Devices Workshop pp 17-31 (1981)
- 14) F. L. Carter, Ed ; Molecular Electronic Devices Marcel Dekker, New York pp 19 (1982)
- 15) R. Vilanove et al; Macromolecules 16 pp 825 (1983) G. Castro et al; USP4101976 (1978)
- 16) A. szabo; USP 3896420 (1975)
- 17) 中島, 伊田; ソリトン, 現代化學 171(6) pp46 (1985)
- 18) 第1回 大學と科學Symposium資料, pp 12, 日本學術振興會編(1987)
- 19) 참고문헌 13) 의 pp53-75
- 20) 鹿兒島誠一 ; 一次元電氣伝導体, 裳華房(1983)