

新機能素子 開發의 行方 (I)

眞空管, Transistor, LSI 그리고...?

권영수* · 강도열**

(* 동아대 공대 전기공학과 조교수)

(** 홍익대 공대 전기제어공학과 교수)

차례

1. 서론
2. 평가 받지 못했던 Transistor의 발명
3. Single-Chip Computer의 탄생
4. 광통신의 실현
5. 분자 Device
6. 결론

1. 緒 論

진공관으로 부터 半導體로, 그리고 電波로 부터 光으로30여년 간의 사이에 技術은 이토록 많은 變革期를 마치고 있다. 이 시대에 활약하는 技術者들은 언제나 새로운 과제를 찾아 낼 수 있어 행운이라고 생각하는 사람도 있을 것이며, 한편으로는 技術의 발달과 진보의 speed에 우롱당하여 바쁘게 돌아가는 세상을 한탄하는 사람도 있을 것이다.

技術의 進步에는, 발명된 이래로 기본적인 原理가 변하지 않으면서 진보하고 있는 自動車와 같은 것이 있는가 하면, Wright 형제가 발명했던 프로펠라로 부터 로켓트, 제트엔진 등으로 변천하는 비행기와 같이, 어떤 혁신적인 技術을 지니면서 불연속적으로 진보하는 것이 있다. 自動車와 같은 변화를 metabolic 한 革新이라 하며, 비행기와 같은 변화를 metamorphic 한 革新이라 한다. metabolic이란 말은 醫學用語로서 신진대사라는 의미를 가지고 있는데, 성숙된 方向을 향하여 技術이 점진적으로 進化되어 가는 것을 나타낼 때 쓰이는 말이다. 技術이 社會에 정착 됨에 있어서는 社會의 needs와 matching 이 이루어 질 때 그 進步의 speed가 빠르게 진행 된다고 한다. 목표도 명확해 지고 研究者나 技術者들도 그 技術이 완성 되었을 때의 기대효과를 점칠 수 있어 moral 또한 높게 된다. 이것이 진보를 가속시키는 하나의 요인이 된다. 그러나 技術의 진보에도 어떤 限界性이 있기 마련이어서 技術의 발달이 벽에 부딪치게 된다. 그리하여 社會의 needs에 호응되지 못하게 될 때에 새로운 技術이 탄생하게 되는 것이다. 이와 같은 경우에 탄생되는 技術이란 일반적으로 완전히 변화된 혁신적인 技術을 말하는 것이기 때문에 metamorphic(變身의) 技術이 되기 마련이다. 그런데 metamorphic 技術은 혁신적 일수록 그 발달의 어려움은 상대적으로 더 커진다고 한다. 그 이유는 지금까지의 技術이 필요로 해 왔던 社會적인 needs가 새로운 혁신적인 技術에 쉽게 matching 되어 주지 않기 때문이다. 이와 같이 혁신적이면서도 빛을 보지 못하고 사라져 버린 事例는 과거에도 얼마든지 많이 있었다.

그러나 社會의 needs가 있는 한 技術의 革新은 역설적으로 반드시 발전하여 가기 마련이다. 어느 방향으로 어떠한 형태로 發展하여 가게 될 것인가를 예언 하기란

그리 쉬운 일은 아니다. 하지만 그동안 進歩하여 發達하여 온 과거의 자취를 歷史적으로 더듬어 보면서 앞으로의 흐름이 어떻게 되어 갈 것인가를 예측하여 보는 일은 비교적 쉬운 일이라 할 수 있겠다. 이러한 의미에서 본 解説에서는 과거의 素子開發에 관한 발전과정을 역사적으로 살펴 보면서, 이 方面에 대한 技術開發의 方向性에 대하여 占(占卦)을 쳐 보기로 한다.

2. 평가 받지 못했던 Transistor의 發明

오늘날의 情報化 된 社會를 흔히 electronics 時代¹⁾라고 한다. 그러나 오늘의 electronics는 과거의 眞空管의 發明이 있었기 때문이다. 1904년에 二極管이, 1906년에 三極管이 發明되었던 일은 누구나 알고 있는 일이다. 電話에 이어 無線通信이 사용되었던 때도 이와 비슷한 시기가 된다.²⁾ 電線이 필요하지 않는 無線通信은 전화보다

더 먼 거리로 情報를 보낼수 있게 됨으로서 그 가치를 인정받기 마련이었다. 三極管의 發明은 信號를 增幅하는 增幅器로 이어져 無線通信을 위시하여 radio, TV 등으로 발전하는 길을 개척하여 놓았다. 이와같은 기술은 사회의 needs와 호응이 되어 더욱 급속한 발전으로 이어져 오게 된 것이다.

사회에 needs가 기술의 진보를 加速化시킨 하나의 좋은 예로서 戰爭을 들 수 있는데, 敵으로 부터 승리 하려는 강열한 needs 때문에 탄생 된 radar, 그리고 彈道計算의 필요성 때문에 탄생된 computer가 바로 그것이다. 진공관의 발달을 촉진 시키어 成熟期로 도달하게 한 하나의 본보기가 된다. 진공관을 대신하여, 結晶으로 增幅作用을 가능하게 할 수 있다고 생각한 사람은 1935년경의 Shockly³⁾(미국)이다. 만일 이와같은 생각이 원리동작에 흥미를 갖는 그런 정도만으로 끝이 났더라면 完成時期까지는 훨씬 긴 수십년간의 세월이 걸렸을지 모른다. 그런데 半導體로 增幅이 될 경우 electronics 社會

표 1. Electronics의 발전

구분	진공관	Transistor, IC	Laser, 광Fiber	분자 Device
1900년	1904 2극관 1906 3극관			
1910년	1918 진공관식무선통신			
1920년				
1930년	1937 GT관 1937 MT관			
1940년	1945 전자관식컴퓨터	1948 Transistor		
1950년		1958 IC		
1960년		1964 전 탁 1968 MOSIC	1960 Laser 1962 반도체Laser	
1970년		1971 1-Chip 컴퓨터 (마이콤) 1973 LSI 1979 VLSI	1970 저손실석영 Fiber (20 dB / km) 1976 1.3μm 화합물 Laser 1979 초저손실석영 Fiber (0.2 dB / Km)	1974 광화학 홀버닝 (P.H.B)
1980년		1983 ULSI		1982 분자 전자 Device 생물전자공학(?)
1990년				

를 진공관으로부터 반도체로 바꾸어 놓을 수 있을 것이라 하는 큰 매력과, 같은 시기에 발생된 세계2차 대전이 반도체 기술의 진보를 앞당기는데 큰 역할을 한 셈이다. 결국 radar에 필요했던 固體檢波器는 미국의 반도체技術과 관련 周邊技術을 크게 성장 시켜 놓았다.

transistor의 발명⁴⁾은 1948년 Bell연구소이었는데, 오늘날 각광을 받고 있는 IC에 비하면, 당시의 사회적 반응은 매우 차가웠다. Bell연구소에서는 이 기술을 세상에 알리려 많은 노력을 했음에도 불구하고, 신문에서는 물론 技術雜誌에서조차 transistor의 가능성을 인정해 주는데 상당한 시간이 필요했던 것이다.

이와 같이 하나의 革新的인 技術이 成熟期의 技術로 변화하여 代替되어 가려 할 때, 세상은 늘 保守의이기 마련이었다. IC가 탄생 하였을 때도 세상은 역시 마찬가지 이었으니까... 1948년 transistor가 탄생된 후, 2년 정도 지난해에 현재 사용되고 있는 형태의 planar transistor⁵⁾가 개발되면서 급속한 보급이 시작되었다. transistor의 제작법은 batch system이라하는, 1장의 wafer 위에 수 많은 transistor를 만들어 이것을 한개씩 분리하여 케이스에 넣는 방식이 주로 사용되었다. 1950년대 후반에 와서 많은 연구자들은 이와같이 분리된 transistor를 가지고 회로를 만들기 위해서 다시 한개씩 모아 접속해야 하는 일이 번거롭고 귀찮게 여겨졌다. 여러가지로 연구를 시도해 보았으나 수단과 방법의 생각에는 미치지 못했던 것이다.

3. Single-Chip Computer의 탄생

1958년 Texas Instrument(TI)사의 J. Kilby⁶⁾는 군사용 固體回路를 개발하는데 성공하였고, Fair Child社로부터 IC化의 時代가 개막 되기 시작하였다. 그러나 이 固體回路 또한 세상으로 부터는 의심을 면하기가 어려웠다. 당시 transistor의 발전도 제자리 걸음이어서 실리성도 좋지 않았다. 특히 再現性이 좋지 않아, 제작 할 때마다 특성이 달라져 그때마다 제품번호를 바꾸었기 때문에 유사한 특성을 가진 제품들이 많이 탄생하게 되었다. 도저히 실용화될 수 없을 것으로 생각되었던 것이다. 빛을 보지 못한채 벽에 부딪쳐 사라져 버린 技術은 수없이 많이 있어 왔다. 그러면서도 needs에 matching이 되는 기술만은 어떤 형태로이든 벽을 뛰어 넘게 마련이었다. 이것이 技術의 發展과 進歩의 흐름이며, 研究

者의 數가 늘어나게 되는 원천이 되기도 한다. 같은 분야에 연구자의 數가 많아지면 좋은 idea도 나오기 마련이다.

TI사의 Kilby가 발표한 내용들을 Fair Child社의 R. Noyce⁶⁾는 즉시 集積回路의 연구에 착수하여 1년 후인 1960년에 集積回路의 壽命試驗을 실시할 수 있는 수준에 까지 올려 놓았다. IC의 大量生産은 1962년 부터 시작 되었는데 그 후 cost down과 民生品의 응용으로 Electronics 에서 主役의 자리를 차지하게 되었다. IC가 탄생되면서, 산업적으로 從의 입장에 있던 部品業이 오히려 産業을 이끌어 가는 機關車의 역할을 하게 되었다는 點에 주목하여 볼 필요가 있다⁷⁾ 특히 IC의 응용으로 탄생된 single-chip computer가 이를 증명하고 있다. single-chip computer는 일본의 電卓maker에서 주뚫했던 것인데 이것이 탄생된 하나의 계기가 된 것이라 한다. 1960년대 후반 IC의 實現으로 電子式 卓上計算機의 소형화가 붐을 이루었으며, 차례 차례 新型으로 개발되어 왔다. 그러던 가운데 IC공장에서는 IC만을 만들 것이 아니라, IC로 電卓의 全family에 이용할 수 없을까하는 의문을 하게 된 것이다. 그런데 이러한 의문을 바로 해결해 낸 것이 1971년 세계 최초로 나오게 된 single-chip computer⁸⁾이다. 기술의 needs가 사회의 needs에 matching되어 완성된 새로운 기술을 탄생시킨 하나의 예라 할 수 있다. 電卓에서 시작 된 microcomputer가 다음 세대의 情報社會에서 중심적인 核이 될 것이라는 것은 의심의 여지가 없다. 따라서 사회의 needs 또한 명확해진 일이다. 말 하자면 集積度を 높혀 機能을 더 향상 시키자는 욕구이다.

1970년 경으로 부터 시작 된 集積度の 향상 발전이란 素子를 微細化시키는 일 인데 그림1에서 알 수 있는 바와같이 약3년 사이에 4배 정도의 향상을 보이고 있다.⁹⁾ 集積度を 높혀야 한다는 점이 사회의 needs에 크게 호응되어 막대한 기술력이 집중하게 되었는데, 그 결과는 눈부시게 발전 하였다. 그런데 이와 같은 발전에도 그의 限界性이 있기 마련이어서 限界性을 예측하기에 이르렀다. 현재로 예측이 가능한 最小化의 可能性은 0.25 μ m 정도로 그 이하의 것은 어려울 거라는 것이다. 그림1에서 그 限界에 도달하게 될 年度를 찾아 예측하여 보면 대략 1995년 경으로 추정하여 볼 수 있다. 이 해는 transistor가 발명 되었던 이래로 부터 47년 째에 해당하는 해인데, 하나의 技術이 metamorphic한 기술로서 변환하는

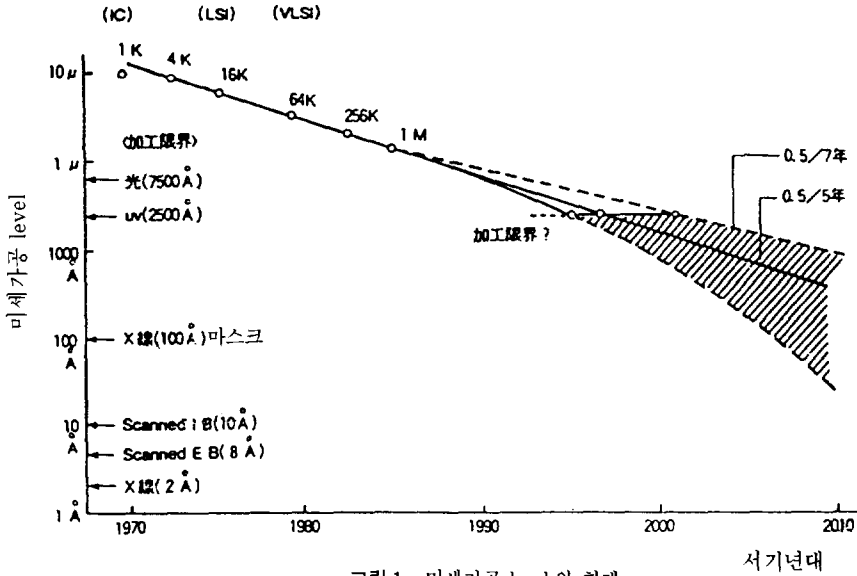


그림 1. 미세가공 level의 한계

주기는 역사적으로 보아 표 1에서 알 수 있듯이 40년 내지 50년이 된다고 보통 말들을 하고 있다. 이와 같은 논리로 볼 때, 진공관의 시대가 transistor의 시대로 변환된 기간이 약 50년이 되었다는 사실을 감안하면 IC, LSI를 대신하는 새로운 기술이 탄생하게 될 시기가 1990년의 후반쯤 되리라는 것은 쉽게 추정이 가능하다.

4. 光通信의 實現

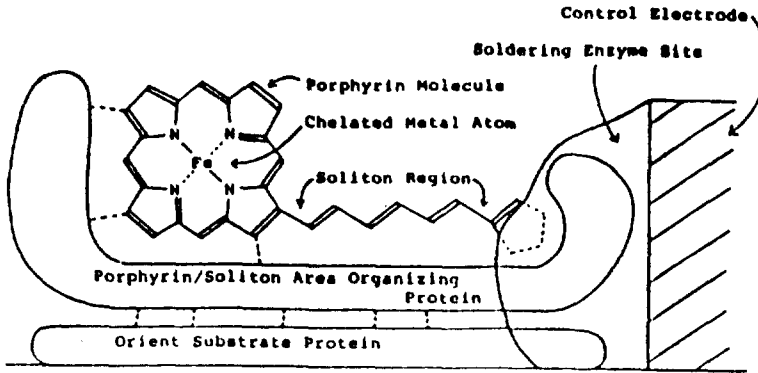
역사적으로 보면 사회의 needs에 호응을 받는 기술일수록 발전과정은 순조로웠다. 장래를 예측하는 일도 가능하여 기술의 進化가 促進 되었을 것이다. 그런데 기술이 너무 革新的이어서 사회적인 needs가 미처 형성되지 않았을 때의 技術進歩는 어떻 할까? 今世紀에서 최대발명품의 하나인 laser기술의 진보를 일례로 들어 보자.

세계2차대전에서 유품의 하나인 radar는 새로운 연구 분야인 電波分光學을 탄생시키었다. electronics을 사용하여 原子·分子의 情報를 얻을수 있게 한 것이었다. 지속적인 연구로 分子를 이용한 增幅器 maser를 위시하여 光의 增幅·發振의 laser에로까지 발전이 된 것이다. laser의 가능성에 대하여는 Townes(미국) 등이 1958년에 시사하였던 것인데 1960년 마이만(미국)이 루비를 이용하여, 최초로 laser발진에 성공하였다. 그 후 1962년

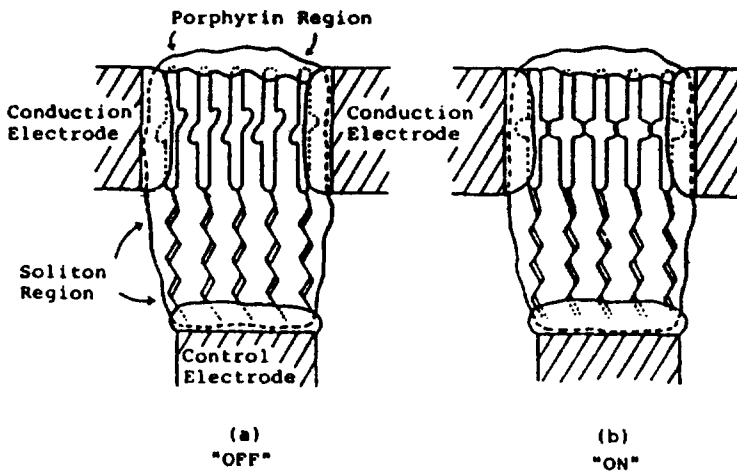
대에 이르기까지 固體半導體에서 laser발진을 시키는 일에 계속 성공하여 量子 electronics가 학문의 한 分野로 성장하기에 이르렀다.¹⁰⁾ 그러나 이와같이 laser가 學問의 한 分野에로까지 성장되어 연구되고 있었던 것에 비하면, 産業으로서의 이용 발전은 매우 소극적인 실정이었다. laser를 電波의 연장선상에서 보는 연구가 많았고, 그 응용에 있어서도, 通信쪽에 국한된 것들이 많았다. laser에 대한 기술수준으로 보면 너무나 metamorphic한 기술이었기 때문에 이를 뒷받침 해 줄만한 주변기술이 아직 성장되어 있지 않았던 그런상태 이었으므로 laser通信의 개발이 늦어질 수 밖에 없었을 것이다. 그리하여 1970년에 이르러서야 超低損失 光 fiber, 室温 연속발진 반도체 laser가 연속적으로 개발되므로서 光通信의 實現의 길이 열리게 되었다. laser가 발명되고 십수년간 고난의 역경 속에서 힘겨운 길을 걸어오게 된 것이다. 그러나 연구자들이 해 내고 말았다. 결국 光fiber의 低損失化에 성공하여 laser기술의 앞날을 밝게 하여 주었다. 늦어진 감은 있지만 당시의 低損失 光fiber의 발명이 없었던들 오늘날과 같은 산업의 발전이 과연 가능했을 것인가.

5. 分子 Device

혁신적인 技術이 社會에 수용되어 하나의 完善되 持



Cross section of switching device composed of porphyrin and some proteins



Mechanism to control the conductivity

그림 2. Porphyrin을 이용한 분자 Device의 설계도¹¹⁾

術로 자리를 잡기 까지에는 이와 같이 막대한 energy가 필요하게 된다. 그리고 사회의 구조가 복잡해지고 다양화 되어 갈수록 혁신적인 기술은 사회에 부합될 수 있는 것이라야 발전이 가능하다. 그런데 오늘의 electronics를 뒷받침하고 있는 IC, LSI로부터 이어져 나아갈 그 다음의 기술은 과연 어떠한 형태의 것이 될 것인가. 만일 현재의 것과 기능이 전혀 달라진 형태의 것이라한다면 복잡하고 다양화된 사회적인 保守性이 이를 수용하지 못할지도 모를 일이다. 그러나 앞에서도 언급했던바와 같이 한가지의 기술수명의 한계를 40년 내지 50년이라 볼때 현재의 LSI기술의 metabolic한 발전이 벽에 부딪힐 시기는 1995년경으로 다가 오고 있음을 예측할 수

있다. 이와 같은 상황으로 볼 때 서서히 새로운 尖端技術의 싹이 나타날 시기가 지금쯤이 아닐까?하는 생각이 들게 된다.

그런데 최근 몇년 사이에 LSI 다음의 시대는 분자 device 라고하는 소리가 새롭게 들려 오고있다. 실제로는 여러 방면에서 이미 이와 같은 연구가 착수되고 있다. 분자 device는 有機物을 이용하여 분자 level의 선에서 직접 技能을 이용하려는 생각으로 출발된 것이다.⁹⁾ 生物의 기억 등이 분자 level에서의 動作이라는 생각에서, 어떤 방법으로 생물과 동등한 技能의 것을 만들어 낼 수 없을까?하는 생각인 것인데, 이와 같은 발상은 laser 이상의 혁신적인 것이어서 현재의 主流技術과의 接木을

이룰수 있는 또다른 기술이 있어야 하지않을까 싶다. 그림2에 나타난 구조의 device는 1983년 McAlear¹¹⁾ (미국)가 제안한 설계도이다. 遺傳工學의인 合成으로 단백질分子의 윗 부분에 스위치 역할을 할 수 있는 porphyrin (금속원자를 중심에 가진 高分子化合物의 一種)을 규칙적으로 배치한 것이다. 制御電極으로 부터 有機導體를 통하여 信號가 전파되면 porphyrin 중의 구조가 변화하여 電流가 on, off하게 되어있다. 製法이나 動作原理로 보면 지금까지의 技術과는 전혀 異質的인 것이기는 하지만, 技能面으로 보면 transistor와 비슷한 것이므로 성공만 된다면 LSI의 後繼技術로 각광을 받을만 하다. 그 밖에도 光技術의 응용발달이 分子 device를 현 사회의 needs에 matching 시키어줄 수 있는 key를 가지고 있음직하기도 하며, 앞으로 더 커다란 변화가 있을 가능성을 배제할 수는 없다.

사회가 지속하여 발전하고 있는 이상 기술의 진보는 계속되기 마련이다. 많은 새로운 기술 중에서 살아 남을 수 있는 기술 그리고 성장할 수 있는 기술이란 사회의 needs에 부합하는 기술 이어야함은 역사적으로 증명되고 있다. 현대사회의 기술은 지금까지 축적되어 온 기술을 바탕으로 하여 많은 기술적 복잡적·합성기술로 형성되어 온 기술이다. 이러한 기술적·복합적 합성기술은 오랜 기간에 걸쳐 쌓여 이룩되어 온 것이기 때문에 앞으로의 metabolic한 기술진화에 있어서도 이러한 연장선에서 이룩하게 될 것으로 생각하게 된다. 따라서 metamorphic한 기술이 새롭게 탄생하게 된다 하더라도 역시 現存하는 기술적, 복합적 합성기술에 호응하면서 발전하여 나갈것이 요구될 것이다.

6. 結 論

이상 新素材, 新材料, 機能素子の 개발이 새롭게 요구되고 있는 이 시점에서 역사적인 관찰을 통하여 技術의 進歩 그리고 發達을 뒤돌아 보면서 예상되는 기술과 진보의 흐름을 占하여 보았다.

기술혁신은 사회의 needs가 있는 한 발전하여 나가기 마련인데 세상은 자꾸만, 자꾸만 변화하여 가고있다. 2000년대를 맞이하여 어떤 형태로이든 기술의 혁신이 요구되고 있는, 이와 같은 時點에서 본 解説이 조금이라도 도움이 되어 주길 바라는 마음이다.

끝으로 分子device에 대한 最近的의 技術動向에 관하여는 다음의 號에 계속 하기로 한다.

참 고 문 헌

- 1) 마이크로エレクトロニクス應用特集, 日本電子通信學會誌 65(11)pp 1139~1163(1982)
- 2) 山崎俊雄, 木本忠昭, 電氣の技術史, オーム社(1987)
- 3) W. Shockley, "The Theory of P-N Junction in Semiconductors and P-N Junction Transistor" Bell syst., Tech. J, 28, pp 435(1949)
- 4) J. Bardeen and W. H. Brattain, "The Transistor, A Semiconductor Triode" phys. Rev. 74 pp 230 (1-948)
- 5) A.S. Grove, physics and Technology of Semiconductor Devices, John Wiley & Sons (1967)
- 6) Wolf, M.F. "The genesis of the integrated circuit" IEEE spectrum 13(8) pp 45-53 (1976)
- 7) 垂井康夫, ICの話, トランジスタから超 LSIまで, NHK ブックス (昭60)
- 8) 森亮一, "ワンチップマイクロコンピュータ" 丸善(昭54)
- 9) Y.S. Kwon, ph. D. dissertation, Tokyo Institute of Technology, JAPAN (1987)
- 10) 副島俊雄, 光通信のはなし, 日刊 工業新聞社 (1984)
多田邦雄他訳, 光エレクトロニクスの基礎, 丸善(1982)
- 11) J.H. McAlear and J.M. Wehrung, IEEE-Japan soc, Appl, phys, Meeting, 1981, symp. on VLSI Tech, papers pp 82, sep(1981)