

정보저장기기와 생물학적 정보저장 매커니즘 비교

Information Storage Devices and Biological Mechanism of Information Storage

이승엽*·김경호·양우성**·박영필***

Seung-Yop Lee, Kyungho Kim, Woosung Yang and Youngphil Park

Key Words : Information Storage Device(정보저장기기), 자기기록 (Magnetic recording), 생물학적 정보, DNA, 뇌(Brain), MEMS, 나노 기기(Nano Device)

ABSTRACT

Current information storage devices, such as HDD, CD/DVD-ROM/RW, probe-based memory and hologram memory, are compared with biological information storage mechanisms in DNA and brain memory. Newly developed approaches to overcome the limit of storage capacity are introduced in both magnetic and optical recording devices. Linear and areal density of information stored in the biological and mechanical storages are compared for the applications and developments of new storage devices.

1. 서론

현재 정보저장기기는 HDD 로 대표되는 자기기록 방식과 CD-ROM/RW 로 광기록 방식의 디스크 드라이브 가 사용되고 있다. 최근 몇 년간 저장밀도가 100%씩 증가하여왔던 HDD 는 초상자성한계 (superpara magnetic limit) 에 근접하였고 광디스크 드라이브는 HD 급 영화를 30-40G 를 저장할 수 있는 HD-DV 의 초기 표준이 확정되었다. 매년 치열한 개발 경쟁을 벌이고 있는 관련업계는 현재 디스크 드라이브의 고성능 및 고밀도 뿐만 아니라 차세대 시장 선점을 위한 새로운 형태의 정보저장기기 대한 연구를 활발히 하고 있다. 탐침 형태 정보저장기기, 근접장을 비롯한 새로운 광기록 방식, 홀로그래프 저장기기 등이 그 대표적인 예이다. 한편 정보 기술(IT)의 발달 뿐만 아니라 바이오 기술(BT) 분야의 활발한 연구에 힘입어 생물학적 정보의 해석과 응용에 많은 연구가 이루어지고 있다. 인체에는 생명을 영위하기 위한 다양한 형태의 고밀도 및 고성능 생체 정보가 저장되어있다. 유전정보가 기록된 DNA 와 기억과 관련된 뇌의 정보가 대표적인 예이다. 본 논문은 현재 주류를 이루고 있는 디스크 드라이브 정보저장기기의 원리 및 차세대 정보저장기기에 대한 설명과 더불어서 생물학적인 정보와 관련된 뇌와 DNA 의 정보 저장 방식과 용량을 비교 분석한다. 이와 함께 현재 BT 분야에서 연구되는 정보 관련 응용 연구들을 소개하고 생물학적 정보 저장 방식을 차세대 정보저장기기에 응용할 수 있는 가능성에 대한 논의한다.

2. 정보저장기기 원리 및 동향

2.1 정보저장기기 동향

* 서강대학교 기계공학과, 정희원
E-mail : sylee@sogang.ac.kr
Tel : (02) 705-8638, Fax : (02) 712-0799

** 서강대학교 기계공학과 대학원

*** 연세대학교 기계공학과, 정희원

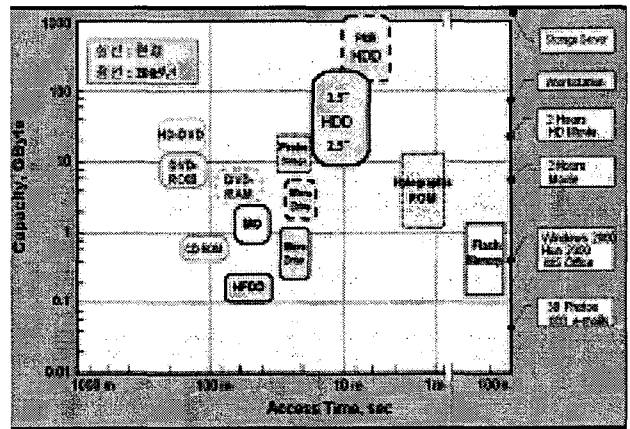


Fig. 1. Storage positioning map.

Fig.1 은 현재 사용되고 있는 정보저장기기와 향후 2005 년에 예상되어지는 차세대 정보저장기기의 저장용량과 액세스 시간을 나타낸다. Fig.1 에서 나타난 바와 같이 향후 몇 년 후에는 새로운 형태의 정보저장기기가 사용될 것이며 그 저장용량도 테라 바이트에 근접하게 됨을 예상할 수 있다. 아래는 현재 사용되어지는 정보 저장기기의 간단한 원리와 동향을 소개한다.

(1) 자기기록 (HDD)

자기기록은 금속이 자력을 받으면 자화되는 원리를 이용하여 정보를 기록하는 방식으로 헤드에 감겨있는 코일에 전기가 흐르면 자력이 발생하여 디스크 표면의 자성물질이 자화되고, 반대로 자화된 부분이 헤드 부분을 지나면 코일에 전기가 유도되어 정보를 재생한다. 현재까지 자기기록의 급격한 저장밀도의 증가는 헤드 기술의 발전으로 인한 단위 길이당 비트수인 선밀도 (BPI: 인치당 비트)와 서보 및 부품 개선에 의한 트랙밀도 (TPI 인치당 트랙)의 증가에 기인한다. 헤드는 MIG(metal in gap), 박막(thin film), 자기저항(MR)을 거쳐서 최근에는 GMR(Giant Magneto-Resistive) 헤드가 사용되고 있다. GMR 헤드는 자기장 변화에 큰 민감도를 가지고 있기 때문에 고속 회전하여 큰 데이터 전달율과

높은 선기록 밀도 신호를 감지할 수 있다.

최근 매체 기술 측면에서는 AFC(anti-ferromagnetically coupled) 매체의 개발을 들 수 있다. AFC 매체는 두 개의 자성층과 그 사이에 루테튬(Ru)이라는 금속을 넣은 다층막을 사용한다. 따라서 아래층과 윗층의 자성막을 합한 것이 자성 결정립의 부피가 되기 때문에 열적 안정성을 도모할 수 있으며, 동시에 매체나 헤드가 느끼는 분자값이 충분히 작아서 천이길이 짧아져 그만큼 고밀도 기록이 가능하게 된다. 최근 IBM 은 GMR 헤드와 AFC 매체와 유리 미디어(glass media) 기술을 채택하여 120Gb/in²의 저장밀도를 갖는 HDD 를 개발하여 양산하고 있다 [1-4,6].

(2) 광 기록 (ODD)

재생 전용 CD/DVD-ROM 용 광디스크는 표면에 피트라 불리는 미세한 홈을 파서 레이저의 반사율의 차이에 의해서 정보를 재생하며, 기록형 (CD-R) 디스크는 기록되는 부분에 미리 홈을 파놓아 트랙을 형성시키고 레이저의 열에 의하여 염료층을 변화시켜 변화되지 않은 부분과의 반사율의 차이로 기록 및 재생한다. 반복 기록 (CD-RW) 디스크는 상변화 합금을 레이저 열에 의해서 결정상태에서 비결정 상태로 변화시켜 반사율의 차이로 기록 및 재생한다. 현재까지 광디스크 기술은 기록 용량을 늘리기 위한 방안으로 레이저 파장과 렌즈의 개구수에 의해 지배되어 왔으나 향후 광디스크 장치는 청색 레이저를 이용한 단파장 광원 기록, 디스크 기록면을 다층으로 하여 기록하는 다층 기록과 기록 레벨을 2 레벨 이상으로 하여 기록하는 다치 기록 등 여러 가지 고밀도화 방안이 개발되고 있다 [2,3,5].

(3) 광자기 기록 (MO)

광자기 기록은 레이저광에 의해 온도가 올라간 기록층은 자성이 약해지거나 잃게 되는 열자기적(thermo-magnetic) 기록 원리를 이용하게 된다. 이 과정에서 기록층의 보자력보다 강한 외부 자기장을 가해주게 되면, 기록층의 자화 상태는 외부 자기장과 같은 방향으로 배열하게 되어 원하는 마크를 형성시킬 수 있으며, 이를 이용하여 정보를 기록한다. 반면, 정보를 재생하기 위해 레이저 다이오드로부터 발생된 직선 편광된 빛이 자기 기록막에 입사하면 그 반사광과 투과광의 편광면은 자화가 없을 때를 기준으로 어느 정도의 각도만큼 회전하게 되는 커(Kerr)효과를 이용한다.

광자기 기록은 디스크의 크기가 작아 휴대가 가능하며, 랜덤 액세스(random access) 및 비접촉성을 가지며, 집속광의 회절 한계 이하 크기의 기록 및 재생이 가능하다는 특징이 있어 일부를 중심으로 연구되고 있으며, GIGAMO 를 통해 2.3Gb/in²의 저장밀도를 가지는 제품을 양산하고 있다. 광자기 기록용의 자성 박막은 기록과 온도 상승 시에는 낮은 보자력을 나타내지만 재생시 및 매체 보존시의 실온 부근에서 대단히 큰 보자력이 생기기 때문에 기록 안정성이 대단히 높다. 따라서 고밀도 재기록이 가능하며, 상변화 디스크에 비해 우수한 반복 기록성 및 데이터 안정성을 지닌다 [3,7]. 표 1 은 현재 사용되고 있는 광디스크와 자기기록의 사양을 비교한 것이다.

Table 1. Specification of current CD, DVD, MO and HDD

구분	CD	DVD	3.5" HDD	GIGAMO
디스크 직경 (mm)	120	120	90	120
기판의 두께 (mm)	1.2	1.2 (0.6×2)	0.8	0.6
트랙피치(μm)	1.6	0.74	2.54	0.6
최소 피트 길이(μm)	0.834	0.40	-	-
선속도(m/s)	약 1.3	3.39~3.84	-	-
기록 용량 (Gb/in ²)	0.68/1 층	3.7/편면-17/양면	120.0	2.3
기록면의 방식	단면 기록	단/양면 기록		단면기록
광원의 파장 (nm)	780	650	-	650
개구수(NA)	0.45	0.6	-	-
트랙 밀도	16,000	34,000	56,700	37,910
비트 밀도	43,000	96,000	524,000	110,060
회전 속도 (RPM)	7000~9000(52X)	5000~8000(16X)	7,200	5,455

2.2 차세대 정보저장기기 연구동향

(1) 차세대 광 기록

현재의 광 기록 기술의 연장선상에서 청색광 레이저 개발을 통한 빛의 단파장화로 광기록 밀도를 높이려는 시도와 자구 확대 기술을 이용하여 기록 마크의 크기를 줄여 기록밀도를 20Gb/in² 이상으로 높이려는 MAMMOS (자구 확대 광 자기 시스템)등의 시도가 이루어지고 있다. 이와 달리 빛의 파장이하의 영역에서 발생하는 광을 이용한 근접장 기록(NFR) 기술을 이용하여 빛의 회절 한계 이하로 기록하는 고밀도 광기록 기술 개발이 본격화되고 있다. 여러 기업과 연구소에서는 다른 형태의 SIL (Solid Immersion Lens)을 개발하여 통상의 HDD의 부상형 헤드에 탑재하는 연구를 수행해 오고 있다. 오염 방지 및 가공 기술이 확보된다면 근접장 광기록 기술은 향후 초해상 기술 등과 결합해 100Gb/in² 까지 고밀도화를 이룰 수 있을 것으로 예측된다 [2,3].

(2) 차세대 자기기록

자기 기록 방식의 미디어 측면에서는 비트 크기가 작아짐에 따라서 주위 비트와의 간섭과 보자력(coercivity)의 열적 불안정성, 자구(magnetic grain)의 크기가 작아짐에 따라 발생하는 신호대 잡음비(SNR)의 문제 등을 해결하려는 연구와 함께 새로운 미디어에 대한 연구가 필요하다. 이와 관련된 연구로는 헤드의 이동 방향과 수직으로 미디어를 자화시키는 수직 기록 방법과 비트를 미디어 면에 연속적으로 기록하는 것이 아닌 각 비트를 분리하는 패턴 자기 미디어 (patterned magnetic media)와 자성을 띠는 수십 나노미터 직경의 나노 와이어(nano wire)를 심어 놓는 자성 미디어 개발 등을 들 수 있다.

수직자기기록은 기존의 수평 기록 방식을 대체하여 1Tb/in²의 면기록 밀도를 구현 할 수 있으며 패턴 미

디어 경우에는 이온 패터닝 제조 방법을 사용하여 직경이 67nm 정도의 결정립을 독립적으로 배열시켜 하나의 비트로 활용하여 140Gb/in²의 면기록 밀도를 구현하였다 [1-3,4,6,10,12].

(3) 주사형 탐침 기록 기술

현재 100Gb/in² 이상의 저장밀도를 위해서는 기존의 액츄에이터를 이용하여 나노미터 크기의 비트에 위치 제어가 불가능하기 때문에 기록/재생 헤드를 탐침 형태의 헤드로 사용하여 MEMS 기술이 수반되는 압전소자 구동기를 액츄에이터를 적용한 방법이 주로 연구되고 있다. 이미 IBM은 Millipede 프로젝트를 통해 AFM 탐침으로 높은 온도로 데이터를 읽고 쓰는 방법을 사용하여 500Gb/in²의 저장밀도를 갖는 HDD 형태의 기억 매체를 구현하였다. 카네기 멜론 대학에서는 자기기록 방식을 병행한 탐침 형태 기술을 개발하였고 Nanochip 회사에서는 탐침 에레이를 응용하여 데이터를 읽고 쓰는 저장 장치의 초기 형태를 제작하였다 [2,6,8,9,13].

(4) 홀로그래프(HDDS)

홀로그래프는 데이터를 비트의 2 차원 배열인 페이지 단위로 기록/재생하므로 즉, 페이지 지향 병렬 접근이 가능하므로 높은 데이터 전달율과 짧은 접근 시간의 실현이 가능하다. 따라서 데이터가 기존의 광학 및 자기 기록 방식과 같이 얇은 필름이나 디스크의 면 상에 저장되지 않고 저장 매체의 체적 속에 중첩되어 분포하게 되므로 매우 높은 기록 밀도(100Gb/cm³)를 구현하는 것이 가능하다. 또한, 기존의 테이프나 디스크의 경우 저장 매체 상에 결함이 발생할 경우, 중요한 데이터에 복구할 수 없는 손실이 발생하나 홀로그래프 저장 매체에 결함이 발생하는 경우에는 데이터가 완전히 손실되지 않고 단지 홀로그래프를 조금 어렵게 하므로 원 데이터의 복구가 가능하므로 높은 신뢰도의 구현이 가능하다. 그러나 각 홀로그래프에 의해서 회절되는 빛의 비율은 중첩된 홀로그래프의 개수의 제곱에 비례하기 때문에 많은 홀로그래프를 저장하는 경우 회절 효율은 급격히 저하된다. 이러한 회절 효율의 저하는 궁극적으로 재생상을 미약하게 하여 레이저 밝기의 변동, 빛의 산란 및 열에 의해서 발생하는 전자 등에 의해서 시스템에 필연적으로 존재하는 잡신호의 영향을 쉽게 받게 되므로 비트 에러율이 증가하여 신뢰성 있는 데이터 검출이 불가능하게 된다. 따라서 이러한 회절 효율의 저하 효과가 저장 매체를 이루는 물질의 저장 능력의 한계를 결정하게 된다 [2-3,11].

표 2는 위의 내용을 종합적으로 정리하여 나타낸 것이다.

3. 생물학적 정보저장 원리 및 응용

인간의 생물학적인 저장방식을 살펴보면 우리가 흔히 기억이라고 말하는 인간의 뇌를 통한 유동적인 저장 방식과 개개의 모든 정보가 들어있는 DNA 속 유전자 안의 데이터, 즉 고정적인 저장방식 등 크게 두 가지로 언급할 수 있다. 뇌는 그 저장 방법이나 용량의 자세 히 밝혀져 있지 않으나 신경망을 통한 복잡한 방법으로

Table 2. Comparison of new information storage devices

Technology	Today (Gb/in ²)	Limit (Gb/in ²)	Comment on limit
광 기록 (CD/DVD)	0.68/4.7	40~100	다층과 청색광 레이저 개발이 필요
자기 기록	120	~1,000	수직 자기 기록과 패턴 미디어 연구 필요
근접장기록	10-15	100~300	헤드와 표면과의 보호 필요, 오염 문제, 청색광 레이저 필요
탐침 기록	500	~65,000	읽기/쓰기 속도의 연구 필요
홀로그래프	5	~125,000	Noise/BER의 한계에 대한 대책 필요

정보가 저장되며 DNA의 경우는 그 크기에 비해 엄청난 정보량을 갖고 있음을 밝혀졌다. 이렇듯 생물학적인 정보저장 방식은 현재의 정보저장기기와는 많은 다른점을 가지고 있기 때문에 정보저장 원리와 그 응용을 살펴봄으로써 향후 정보저장기기에 응용하도록 한다.

3.1 뇌의 생물학적 정보저장 원리

뇌는 크게 네 종류의 층으로 구성되어 있는데 바깥층으로 갈수록 인간만이 지니는 진보된 성향을 띠고 있다. 뇌 속에는 약 수백억에서 수천억 개의 신경세포가 존재하며 세포하나 당 수천에서 수십만의 다른 세포와 네트워크로 형성되어 있다 (Fig. 2). 이러한 네트워크를 신경망(Neural Network)이라 하는데 신경망이 어떻게 구성되어 있는지 정확히 알지 못하지만 인간의 사고, 의지, 기억을 관장하는 측면에 효용성을 높이기 위한 것이라 알려져 있다. [14,15] 신경망은 유기적, 유동적으로 조직되어 있고 필요에 의해서 그 망이 활성화 되고 조직화 된다.

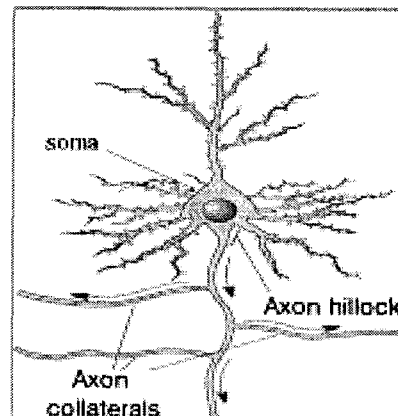


Fig. 2. The structure of neuron

특히 신경망 내의 전달물질은 현재 밝혀진 40여종 외에 그 이상이 존재하는 것으로 알려져 있고 이들은 각기 다른 역할을 수행하기 때문에 뇌 속에서의 정확한 활동을 파악하기란 매우 어렵다.[14] 이러한 뉴런이 분비하는 전달물질과 수용체가 바로 단기기억이나 장기기

역을 포함하는 정보처리에 관련이 있다. 뇌에서의 기억이란 어느 특정장소에 각인된 흔적으로 남는 것이 아니라 신경계의 구조적 변화에 의해 만들어지게 된다. 피질, 시상 또는 해마, 피질로 이어지는 어느 한 기억에 관한 일련의 고리가 형성이 되는데 고리를 구성하는 신경세포의 반복적 활성이 신경세포 사이에 시냅스를 기능적으로 연결하게 된다. 이를 신경 집합체라 한다. 이러한 신경집합체를 통해 외부정보가 저장되고 인출된다. 이러한 일련의 저장된 정보는 영원한 것이 아니라 그 반응이 적을 경우 소실되게 되는데 반응이 자주 일어날 경우 장기기억 형태로 저장이 되게 된다. 장기기억의 원리는 정확히 규명되지는 않았지만 단기기억의 상태에서 생물학적 구조의 점진적 확장이라고 밝혀져 있다. 신경집합체가 구성된 후 시냅스의 전달물질 비율이 증가하면서 그 연결 강도가 변화하게 되고 세르토닌이 다수 폭로하게 되어 장기기억을 촉진시킨다. 또 세포내의 2차 전달 물질인 cAMP⁽¹⁾가 장기과정을 촉발시킨다. 이러한 변화에 의해 cAMP-의존성 단백질 키나제의 지속적 활성화가 이루어지고 시냅스 연결이 성장되면서 하나의 정보가 장기적으로 저장되게 되는 것이다.[14-16]

3.2 DNA(염색체)의 생물학적 정보저장 원리

인간의 모든 정보(유전자)가 저장돼있는 DNA의 2중나선 구조는 1953년에 왓슨과 크릭에 의해 발견되었고 이후 분자생물학의 발전에 힘입어 현재 바이오 기술(Bio-Technology)이라 불리는 새로운 분야가 각광 받게 되었다.

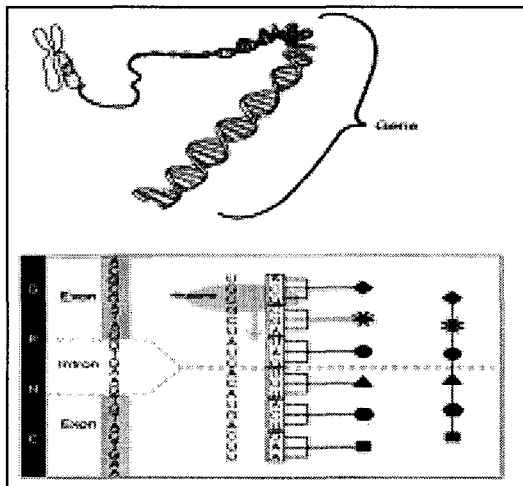


Fig. 3. The nucleotide array in DNA

생체 정보의 기본이 되는 DNA에는 아미노산 배열을 지령하는 암호가 저장되어 있다. 이러한 암호는 4 종류의 염기로 이루어져 저장되어 있고 독특한 상보적 결합 방식에 의해 읽혀지게 된다. 4 종류의 염기는 아데닌(A), 티민(T), 구아닌(G), 시토신(C)을 말하고 이것 중 3개의 결합이 하나의 아미노산을 지정하는 암호역할을 하게 되는 것이다. 이들 아미노산의 긴 사슬을 DNA라 말하고 저장 되어있는 염기는 아데닌과 티민, 구아닌과 시

(1)cAMP : 1950년에 Earl W. sutherland에 의해 발견된 세포 조절 물질로서 여러 호르몬의 작용에서 특유의 기능을 갖는 뉴클레오티드의 일종

토신의 결합성에 의해 읽혀 질 수 있게 된다 (Fig. 3). 20 종류의 아미노산이 수 십개에서 수 백개가 연결된 사슬을 폴리펩티드라고 하고 한 개에서 수개의 연결된 폴리펩티드를 단백질이라 한다. 인간의 경우 하나하나의 염기보다는 단백질을 그 최소 정보라 할 수 있는데, 단백질은 아미노산의 배열순서에 따라 그 기능이 달라지게 된다. 저장된 정보에 따라 그 역할이 달라지게 되는데 이러한 일을 주관하는 것이 효소이며 효소 또한 단백질로 구성되어 있다.

인간의 모든 정보는 세포속의 23 쌍의 염색체 안에 기록되어 있다. DNA에 저장된 정보 용량을 대략적으로 계산하면 다음과 같다. 하나의 세포안에는 23 쌍의 염색체가 존재하고 하나의 염색체 안에는 반경 1nm와 두께 0.34nm 정도의 염기가 30억개 정도나 배열되어 있다. 또 한 염기에 올 수 있는 염기는 2가지 이므로 통틀어 용량을 계산하여 보면 약 세포 당 750MB의 저장밀도가 형성된다 [17]. 하나의 세포 반경이 100µm 이하이므로 만약 이를 응용한 정보저장 기기가 나온다면 궁극의 목표인 칩 형태의 대용량의 기기를 구현할 수 있을 것이며 뇌와 DNA의 정보저장 특징을 표 3에 나타내었다.

Table 3. Characteristics of bio-information storage devices

구분	원리 / 특징	Data 저장형태	저장밀도
뇌 정보 저장	- 스스로 생각하는 데이터 즉, 데이터끼리의 상호 연관성이 구축되어 저장됨 - 입력종류별 데이터 저장 (멀티입력) - 현실적 적용 어려움	다중신호 처리를 이용한 Multi-bit	측정불가 (하루입력 정보용량 : 3×10^{24})
DNA 정보 저장	- 데이터 비트 : 2 종류의 염기 이용 - 데이터의 영구적 저장 가능	2bit (A or G)	750 MB/Cell

3.3 생물학적 원리를 응용한 예

(1) 바이오 센서

바이오 센서는 반응시간이 매우 짧은 인간의 감각기를 이용하는 것으로 인간의 감각 전달 순서인 감각, 세포막, 신경계, 뇌의 순을 응용하였다. 이러한 응용은 1962년 미국의 클라크 박사가 처음 시도를 하였는데 그 원리는 특정반응을 수행하는 생체분자막에 반응의 결과를 전달하는 신호변환기를 결합시킨 형태를 응용한 것이다. 바이오 센서에서는 생체의 기본적인 감각반응이 이루어지는 생체막을 통해 외부 신호를 감지하게 되는 것이다. 이러한 기능성 생체분자막을 2차원적 인공적으로 배열한 것을 생체 분자막이라고 한다. LB 기법이나 자기조립기법형태로 제작되는 이러한 생체분자막은 수 nm의 두께를 갖게 되고 신호변환기의 원리에 따라 전기화학적, 광학적, 열적, 압전 바이오 센서로 구분지어진다. [18]

(2) 바이오 분자 메모리 소자

바이오 분자 메모리 소자는 생체 내에서 물질전달 특성 중 일반 전자소자와 같은 효과를 나타내는 것을 착안하여 이를 활용한 소자이다. 그 원리를 살펴보면

생체 분자막에 전기나 빛으로 어떠한 자극을 가하면 상태가 가능한 전기적 응답신호를 보내게 되는데 이는 생체분자들은 인접한 분자들과 산화-환원 상태가 다르기 때문이다. 이를 고려해 다른 산화-환원 전위를 지닌 단백질들을 실리콘 칩위에 배열하여 산화-환원 전위가 높은 생물 분자에서 산화-환원 전위가 낮은 생물 분자로 전자 전달이 일어나는 효과를 이용해 생물 분자 메모리 소자를 만들 수 있는 것이다. 현재 이러한 효과를 이용해 연구중에 있는 소자로는 광 스위치 소자, 광 다이오드, 메모리 소자 등이 있다 [18].

(3) DNA 칩

DNA 칩은 현재 BT 를 이용하여 만든 대표적인 제품군으로 실리콘이나 유리 등의 고체 표면에 수 만개의 DNA 조각을 정해진 위치에 고정도로 부착시킨 것을 말한다. 이 칩은 DNA 의 염기의 상보성을 이용하는 것으로 특정 DNA 염기 배열 정보를 가지고 있는 DNA 칩에, 분석하고자 하는 DNA 표본을 주사한 다음, 어떤 염기의 결합이 이루어지는 지를 확인 하여 표본 DNA 의 염기배열을 검출하는 것이다. 따라서 이는 현재 유전자 검색에 활용하는 목적으로 연구 및 제작되어 시판하고 있고 돌연변이라든가 병의 진단의 검색에 이용되고 있다. 유전물질의 크기에 따라 cDNA 칩과 Oligonucleotide 칩으로 나누어 진다 [18].

(4) 광 수용소자

현재 인간의 고감각의 눈을 모방한 인공 감광 소자의 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 인간의 눈은 광에 정반응을 하는 excitatory phase 가 역반응을 하는 inhibitory phase 에 감싸져 있거나 쌍을 이루고 있는데 여기서 밀집된 세포내에서 개개의 화소가 신호의 손실 없이 고정도의 신호를 뇌로 전달하는 것이다. 먼저 광 수용 단백질에서 광학 이성질체 반응이 일어나면 단백질 내에서 전하가 이동하게 되는데 단백질 양단의 전위차에 의한 전류가 발생되어 세포내의 수소를 밖으로 배출하게 되면 수소 농도 구배가 커짐에 따라 전위차 또한 커지게 되는데 이때 전하의 흐름이 유도되게 된다. 따라서 인공 감광 소자는 망막의 광 정보 감지기능을 모방하여 400nm~500nm 파장의 가시광선을 감지하여 색깔로 다른 전기적 신호를 발생하는 특성을 지닌 생체 분자로 구성된 소자이다. 이 소자의 출력되는 신호의 형태와 크기를 분석함으로써 빛의 삼원색, 보라, 황색 등의 기본색을 감지 구분할 수 있게 된다 [18]. 현재 저해상도의 인공 광 수용소자가 이미 개발된 상태이다.

(5) 뉴로 칩

인간의 다중입력 다중출력 형태의 신경망을 응용하여 실리콘 기판 위에 신경세포를 배양해 신경망을 형성시킨 칩이다. 외부의 전기적 자극에 대한 반응과 같은 전기생리학 현상을 관찰할 수 있기 때문에 현재 신경계 상호작용의 동특성 및 신경 세포간의 상호정보 교환을 이해하여 생체내의 정보처리와 뇌의 기능을 연구하기 위해 시작 되었다. 제작방법과 그 원리를 살펴보면 실 실리콘 웨이퍼 위에 LPCVD 실리콘 질화물 복합층을 형성하고 Photolithography 로 패턴을 형성한다. 플라즈마 isotropic 실리콘 에칭 후 기판 위에 전극을 배열하고 접

점 부분에 well 을 복수로 만들어 놓아 이 well 속에 전해질을 채운 후 태아의 뉴런을 이식하게 되면 뉴런이 성장하여 well 밖의 다른 뉴런과 연결하여 살아있는 신경망을 형성하게 된다. 이 뉴런 세포들은 금속 전극과 연결되어 있어서 전기 자극 반응을 측정하여 생체막으로 신경의 정보 전달 현상 규명하게 되는 것이다[18]. 궁극적으로는 인공적인 정보처리 소자로 응용되어 새로운 뇌형 컴퓨터등에 적용될 것이다. 표 4 는 위의 내용

Table 4. Examples of the bio-molecular devices

구분	원리	응용
바이오 센서	-특정 반응을 수행하는 생체 분자막에 반응의 결과를 전달하는 신호변환기를 결합시킨 형태를 응용 -생체막을 통해 외부신호를 감지	•전기화학 센서 •광학 센서 •열 센서 •압전 센서
바이오 분자 메모리 소자	-생체내의 물질전달 특성중 일반 전자소자와 같은 효과를 나타내는 것을 이용 -산화/환원의 전위차를 이용한 전자 전달 효과 이용	•광 스위치 소자 •광 다이오드 •메모리 소자
DNA 칩	-DNA 염기의 상보성을 이용한 것으로 특정 DNA 염기 검출	•돌연변이 등의 유전자검색 •병 진단 검출
광수용 소자	-인간 눈의 망막 광 정보감지기능을 모방	•화상 소자 •인간의 눈 대체
뉴로칩	-인간의 다중입력 다중출력 형태의 신경망을 응용하여 하여 실리콘 기판위에 신경세포를 배양해 형성시킨 칩 -살아있는 신경망 구성	•지능형 망, 의 회로 •정보처리 소자 •뇌형 컴퓨터

을 간단히 정리한 것이다.

3.4 정보저장기기의 응용

앞 절에서 살펴본 바와 같이 생물학적 원리를 이용한 다양한 형태의 응용 연구가 이루어지고 있는데 생물 전자 소자 연구 뿐만 아니라 정보저장기기로 생물학적 원리를 응용할 수 있는지에 대해서 살펴본다.

먼저 뇌에서의 정보저장 특징은 크게 두 가지 정도 측면에서 살펴볼 수 있는데 하나는 신경집합체와 같이 정보 저장 방식에서 다중 형태의 소자가 능동적인 형태로 정보 저장 단위를 구성하게 하는 것이며 다른 하나는 각 데이터를 읽는데 각각의 데이터마다 그 주소번지가 기억되어 있다는 점이다. 따라서 순차적 로딩방식이 아닌 뇌형 컴퓨터 등의 보다 발전된 형태의 지능형 접근 방식이라 할 수 있다 [19]. 이러한 새로운 형태의 다중 정보 단위 및 지능형 접근 방식은 정보 저장 방식은 현재의 정보 저장기기에서는 사용되지 않는 방식이기 때문에 이러한 시스템을 적용하기 위한 새로운 기술과 아이디어가 필요하다. DNA 의 정보저장 기능을 이용하는 측면은 단순한 정보저장 기능만 이용하는 것이므로 위에서 언급한 것 보다 현실적으로 그 구현 가능성이 크다 할 수 있다. 이는 DNA 염기를 데이터 비트로 이용 또한 이들의 상보성 원리로 검출하는 것으로 기기로 구현할 수 있다면 대용량의 획기적인 정보저장기기 출현이 될 것이다. 가령 이를 이용하는 방법으로는 염기 A, C 로 구성되어 있는 데이터 칩에 염기 T, G 의 헤드를 이용 데이터를 검출하는 방식을 적용하는 것이 한 예이다. 실제 이러한 방식이 구현된다면 마이크로 미터

크기에 고속의 TB 급의 정보저장장치를 구현할 수 있게 되고 검출방식의 효율성도 획기적으로 증가될 수 있다. 이와 유사한 방법으로 현재 진행 중인 연구로서 생물 분자 메모리 연구를 들 수 있다 [20]. 이 메모리 칩은 시토크롬 단백질⁽²⁾ 박막 위에 녹색형광 단백질⁽³⁾ 박막을 부착하여 외부에서 전기적 신호(빛)가 가해지면 이 자극에 의해 이 단백질 안에서 산화-환원 반응이 나타나게 된다 (Fig. 4 와 5). 이것으로 인해 전위차가 발생하게 되면 이 차이에 의해서 부피가 부풀려 지는데 이를 SPM 등을 이용해 검출하게 된다. Fig. 6 은 이와 같은 생물전자 소자 시스템에서 비트 신호를 재생한 실험 결과를 보여준다. 이 방법으로 TB 급 정보저장기기가 구현 가능하나 향후 검출방식과 시스템 구성에 대한 연구가 필요한 실정이다.

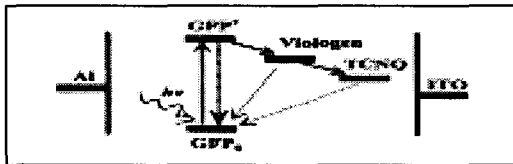


Fig. 4. Photoinduced electron transfer mechanism of the biophotodiode

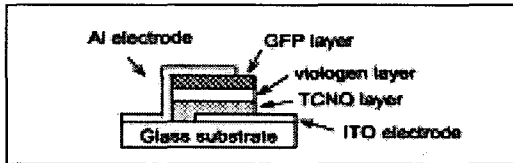


Fig. 5. Schematic structure of proposed biophotodiode

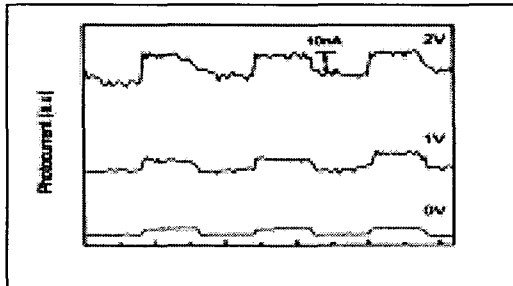


Fig. 6. Photoelectric response of the biophotodiode.

4. 결론

본 논문은 현재 사용되고 있는 다양한 형태의 정보 저장기기의 원리 및 저장밀도를 높이기 위한 최근 연구 동향을 소개하였으며 차세대 정보저장기기 개발을 위하여 연구되어지고 있는 새로운 기록/재생 방식의 저장기기를 소개하였다. 이와 함께 생물학적인 정보와 관련된 뇌와 DNA 의 정보 저장 방식과 용량을 비교 분석하였

으며 이와 함께 현재 BT 분야에서 연구되는 정보 관련 응용 연구들을 소개하였다. 향후 생물학적 정보 저장 방식의 특징을 이용하여 다양한 형태의 차세대 정보저장기기에 응용하여 고성능 및 고밀도 정보저장 구현에 활용될 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 정보저장기기연구센터의 지원으로 수행되었으며 (과제번호 R11-1997-042-090001-0) 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] D. A. Thompson, et al, "The Future of Magnetic Data Storage Technology" IBM J. Res. Develop., Vol. 44, pp.311-322, 2000.
- [2] "The Future of Data Storage Technologies", WTEC Panel Report, International Technology Research Institute, 1999.
- [3] 김수경, 김진홍, 이승엽, 최영진, "정보저장기기의 기초와 응용", 홍릉과학출판사, 2002.
- [4] 특허청, "2001 신기술동향조사 보고서-자기기록장치", 전기/전자분야 제 3 권, 2001.
- [5] 이승엽, "광디스크 드라이브의 최근 동향과 기계적 진동의 영향", 한국소음진동공학회, 춘계학술대회논문집, pp. 218-226 1998.
- [6] <http://www.ibm.com>
- [7] <http://www.fujitsu.com>
- [8] J. J. Choi, H. Park, K. Y. Kim, J. U. Jeon, "Electromagnetic Micro x-y Stage for Probe-Based Data Storage", Journal of Semiconductor Technology and Science, Vol. 1, pp. 84-92, 2001.
- [9] P. Vettiger, and M. Despont, "The Millepede More than One Thousand Tips for Future AFM Data Storage", IBM J. Res. Develop., Vol. 44, No 3, 2000.
- [10] <http://www.nanochip.com>
- [11] J. Ashley, et al, "Holographic data storage", IBM J. Res. Develop., Vol. 44, pp.341-368, 2000
- [12] Won Bong Choi, Jae Uk Chu, Kwang Seok Jeong, Eun Ju Bae, and Jo-Won Lee, Ju-Jin Kim and Jeong-O Lee, 2001, Ultrahigh-density nanotransistors by using selectively grown vertical carbon nanotubes, Applied Physics letters, Vol. 79, No. 22
- [13] L. Richard Carley, James A. Bain, Gary K. Fedder, David W. Greve, David F. Guillou, Michael S. C. Lu, Tamal Mukherjee, and Suresh Santhanam, 2000, Single-chip computers with microelectromechanical systems-based magnetic memory, Journal of Applied Physics, Vol. 87, No. 9
- [14] Michio Kaku, 1999, "Visions : How science will revolutionize the 21st century",
- [15] 박찬용, 1998, "뇌-학습과 기억의 구조", 서울대학교 출판부 pp.1~8, 122~130, 148~156.
- [16] Eric R. Kandel, 2001, The Molecular Biology of Memory Storage : A Dialogue Between genes and Synapses, Science, Vol 294, pp. 1030~1038.
- [17] 장은성, 2000, "인간 게놈 계획", 책과공간, pp. 20~34.
- [18] 이창진, 강영구, 최경우, 2001 "분자 소자의 전망과 연구 동향", 전자공학회지, Vol. 28, No. 1, pp. 66~78
- [19] Arbib, 1995, The handbook of Brain Theory and Neural Networks MIT press.
- [20] Choi, J.-W., Nam, Y.-S., Park, S.-J., Lee, W.-H., Kim, D.-H., Masamichi Fujihira, 2001, Rectified photocurrent of the protein-based bio-photodiode, Applied Physics Letters, Vol. 79, No. 10

(2) 시토크롬(Cytochrome) : 세포의 산화/환원에 작용하는 색소 단백질로써. 여기에서는 시토크롬의 한 종류인 시토크롬 b562 및 시토크롬 c를 전자수용체로써 사용하였다.

(3) 녹색형광 단백질(Green Fluorescent Protein, GFP) : 원통형 구조를 가지며, 490nm 파장의 빛을 흡수하고, 510nm 파장에서 형광을 발하는 특징이 있다. (여기에서는 전자여기체로 사용)