

Bio-Electronics

최 정 우

서강대학교 화학공학과

전화 (02) 705-8480, FAX (02) 711-0439

Abstract

Bio-electronics has been considered as one of the most appropriate candidates to overcome the frequently encountered problems in the development of future electronic devices. It has some advantages such as ultra fast electron transfer rate and high-energy efficiency compared with the silicon-based electronic devices. In silicon-based electronics, there are some of limitations of manufacturing process and physical problems. Bio-electronics can overcome the limitation and problem of silicon-based electronics. Bio-electronics has possible application areas as biosensor, biochip, bio-transistor and bio-computer. In the future, bio-electronics can substitute the silicon-based electronics.

서론

전자산업의 핵심 기술인 반도체 제조기술은 무기물인 실리콘 위에 트랜지스터를 고밀도로 집적하여 상호 배선하는 것으로써 설계와 소자 제작 공정으로 이루어진다. 현재의 반도체 제조 기술을 이용하여 보다 고밀도의 칩을 제조하는 데에는 photolithography에 사용되는 광원의 해상도와 photoresist material의 물성에 기인한 공정상의 물리적 한계가 있고, 이러한 문제들을 해결하더라도 구성 요소들간의 최소 간격이하로 집적이 이루어 질 경우 고밀도에 의한 발열, 단일 물질의 두께감소에 의한 주변 회로 사이의 전자 유출과 전자의 통계적 흔들림 등에 의하여 전자의 운동 방향이 무질서해지는 등의 문제점이 발생한다.

이러한 무기물 반도체의 한계를 극복하기 위한 하나의 방법으로써 분자 단위의 극미세구조에서부터 소자를 설계, 조립 및 제작하고자 하는 나노기술이 대두되면서 분자전자소자의 개념이 제안되었고, 광전 특성을 지닌 생물분자를 이용함으로써 생체내의 전자, 정보 및 에너지 전달 기능을 모방하여 기존 전자소자의 한계를 극복하려는 Bio-electronics소자에 관한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다.

본론

생물은 생명현상의 기본 단위인 세포에서부터 고차원의 정보를 이용하는 뇌에 이르

기까지 정보, 에너지의 전달 및 변환, 전달 정보의 기억, 스위칭의 기능이 서로 어울려서 구성된 거대한 기능 시스템이다. 이와 같은 생체 기능의 다양성을 응용하여, 1개의 생물분자가 전자소자의 요소로서 기능을 갖도록 생물분자를 설계하여 조합하고 분자 배선을 하며, 이들 분자를 접합시켜 Bio-electronics소자를 만든다. 생명체 내의 신호전달 및 전환기능은 분자수준에서 수행되며 picosec 이내의 빠른 전달 속도, 높은 에너지 효율이 있으므로, 이를 구현한 Bio-electronics소자는 기존의 무기물을 이용한 전자소자에 비하여 성능이 우수하리라 판단되고 있다. 현재에도 생물분자를 이용한 전자소자 및 시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이를 응용한 제품들도 속속 등장하고 있다.

현재 Bio-electronics소자 개발에 관한 연구는 미국, 일본 및 유럽의 기술 선진국을 중심으로 선도적으로 추진되고 있다. 그러나 대부분의 Bio-electronics소자 기술개발은 당장 실용화가 가능한 바이오센서나 DNA칩에 중점되고 있으며, 생물분자 메모리소자 등을 비롯한 고차원의 소자 개발은 아직은 미진한 상태이나 많은 연구가 활발히 진행되고 있어 조만간에 가시적인 성과를 거둘 수 있으리라 예상된다. Bio-electronics소자 중 바이오센서 분야는 그 응용가능성 및 활용분야가 매우 광범위하고, 현재 가장 활발히 연구되고 있는 분야이다.

바이오센서(biosensor)란 효소, 미생물, 항체, receptor, DNA probe 등의 생체물질(biological component)을 전기적, 물리화학적 소자(transducer)에 결합시키고, 측정대상물질(target analyte)과의 반응으로부터 발생하는 전극활성물질이나 물리적인 변화를 전극에서 전기적인 신호로 감지하여 농도를 측정하는 장치를 말한다. 생물학적인 반응을 일으키는 것이 생체물질이라면, 그 반응에 의한 생물학적 신호를 전기적인 신호로 바꾸어 주는 것은 transducer이다. 생물학적인 신호와 전기적인 신호 간에는 비례관계가 성립하기 때문에 측정대상물질의 농도측정이 가능하다. 생체물질과 transducer는 바이오센서를 나누는 기준이 되는데, 생체물질에 따라 효소센서, 생물센서, 면역센서, DNA 센서 등으로 나뉘며, transducer의 원리에 따라 전기화학식(electrochemical), 광학식(optic), 열식(thermal), 압전식(piezoelectric) 등으로 구분된다. 현재의 바이오센서의 기술은 의료용의 면역반응측정, 혈액내의 성분측정, 생물반응기내의 각종 성분 측정, 폐수내의 오염물질 측정에 응용되고 있다. 최근에는 인간의 후각기능을 모방해 대기내의 오염물질을 측정하는 전자코(electrical nose)센서와 같은 감각센서가 상용화되고 있다. 또한 맛을 측정하는 미각센서와 색채를 구별하는 광수용기능의 시각센서들의 개발이 진행되고 있다. 이러한 바이오센서는 기존의 센서에서 수행할 수 없었던 극미량의 검출, 특히 반응물질의 검출등에 넓게 사용될 수 있다.

바이오센서의 개발과 함께 시작된 Bio-electronics는 단순한 측정용 센서의 개념을 넘어서 최근에는 DNA칩, 단백질 칩, 인공 광수용소자를 이용한 인공눈과 뇌의 정보처리 기능을 모방한 뉴로칩, 그리고 생명체의 광합성 현상을 모방한 생물분자 메모리소자에까지 이용되고 있으며, Bio-electronics소자의 개발 범위도 점차 확대되어 가고 있다.

현재 생물전자공학 기술분야 중 가장 각광을 받는 생물분자 메모리 소자는 전자장치 구성시에 광스윗칭 소자, 광다이오드 그리고 메모리 소자로 사용될 수 있다. 컴퓨터는 전기적 신호에 의해 상태를 구분하고 지정된 주소에 할당함으로써 정보를 저장한다. 전기적 신호에 의한 상태 구분은 생명체 안에서도 존재한다. 생화학반응에 참여하는 생체분자들은 인접한 분자들과 산화-환원 상태가 다르다. 이것을 구동력으로 생체분자사이에 전자를 전달하면서 미세한 전류를 일정한 방향으로 흘려보낸다. 이를 고려해 생체내에서 전자전달 반응에 관여하는 생체분자를 일정한 방향으로 배열시킴으로써 기능성 생체분자막을 제작한다. 각각의 구성성분을 배열한 후, 전기나 빛으로 자극하면 상태구분이 가능한 전기적 응답신호를 보낸다. 이것이 컴퓨터의 전자소자와 같은 역할을 수행하는 생물분자 메모리 소자이다. 생물메모리 소자 기술은 인간의 뇌와 비슷한 기능을 지닌 메모리와 프로세서가 통합된 신개념의 전자소자로 발전할 것이며, 기술의 연장·연계를 통해 바이오 컴퓨터를 창출시키는 핵심요소 기술로 전망된다. 그림 1에 생물전자소자의 발전 방향을 나타내었다.

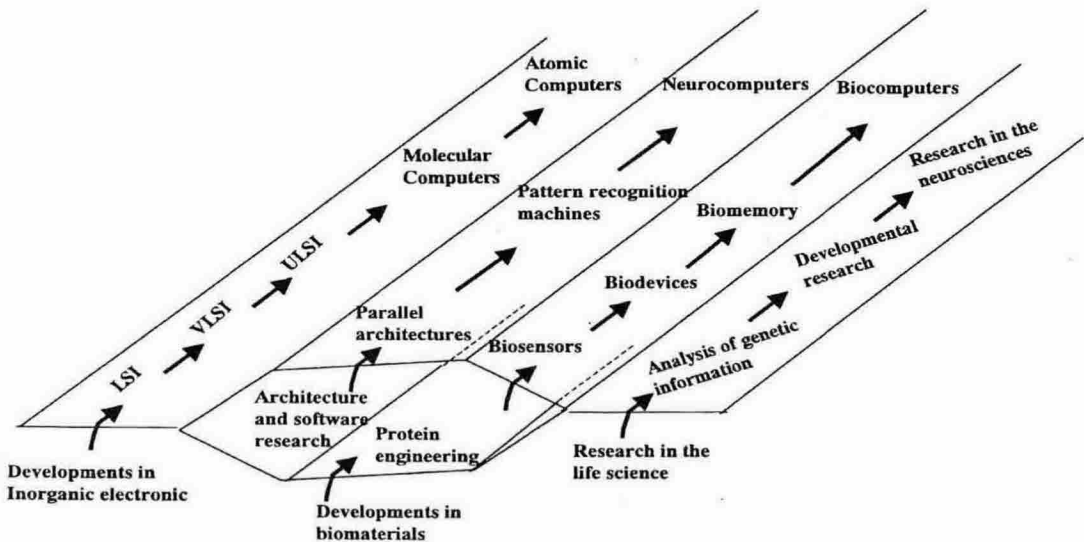


그림 1. Bio-electronics의 발전 단계

바이오센서에 비해 생물분자 메모리소자는 아직 실용화가 그리 발달되지 못한 게 현실이다. 그러나 현재 전자소자의 소형화, 다기능화, 지능화, 시스템화를 이루기 위해 생체물질을 이용한 Bio-electronics소자에 관한 일련의 연구들이 선진국에서 선도적으로 수행되고 있다. 미국에서는 과학재단과 미해군 연구소 및 시라큐스 대학 등에서 단백질과 광기술을 기본으로 한 메모리소자에 관한 연구 및 인간과 기계의 인터페이스를 위한 연구를 수행하고 있고, 일본의 경우에는 바이오 아키텍처의 해명 및 공학적 모방, 분자전자소자 기술이라는 연구를 수행하고 있다. 국내에서도 유기/생물 분자와 복합재료를 이용한 기능소자의 연구들이 수행되고 있다.

결론

Bio-electronics는 생명체의 자기조직화, 신호처리, 정보전달 및 처리 등의 다양한 생체 기능을 모방하여 생체분자로 구성된 분자 수준에서 제어되는 전자소자를 포괄하는 학문이다. Bio-electronics소자를 제작하기 위해서는 생물분자 구조의 제한 요소, 주변 조건에 따른 생체 분자의 비활성화, 제조된 소자의 기계적/전기적 물성의 불안정성, 짧은 내구성 등의 다양한 문제점을 해결해야 한다. 최근 생명체의 기능을 모방하여 그것을 인공적으로 구현함으로써 고기능의 소자를 제작하려는 연구가 활발히 이루어지고 있고, 계를 이루는 분자 단위 수준에서 현상을 규명하고 제어하는 나노기술에 관련된 연구들이 점차 증가되고 있는 실정이다.

Bio-electronics기술은 어느 한 학문에 의해 발전되어질 수 있는 것이 아니라 생물공학, 화학공학, 전자공학 기술의 접합이 필요하다. 화학공학에서 연구되어지는 생체분자막의 형성 및 배열구조 특성에 대한 연구와 반도체 제조 공정 기술에 기반을 둔 lithography기술의 개발, 생물공학에서 연구되어지는 생체분자간의 정보처리 및 전자전달 현상의 규명, 단백질 공학과 유전공학 기법을 이용한 생체분자의 설계 및 제조, 소자의 설계 기술 개발, 전자공학에서 연구되어지는 소자회로 구성 기술과 생체분자와 전자소자의 연결을 위한 구조설계와 이에 따른 전기적 특성에 대한 연구 등이 결합되어야만 Bio-electronics의 개발이 가능할 것이다. Bio-electronics의 개발은 단기간에 비약적으로 이루어질 수 있는 것이 아니며 여러 기술의 접합인 복합기술(Hybrid Technology)이므로, 장기간의 공동연구가 필요하다.