



Photonics Convergence

광융복합

두뇌 회로보다 수십억배 빠른 광자 뉴런



“광자 뉴런(photonic neuron)”이라는 프로젝트는 굉장히 관심을 끌고 있지만, Mitchell Nahmias의 관심을 끌고 있는 것은 공학과 신경과학을 결합시킬 수 있는 기회를 갖게 된 것이다. Nahmias는 Princeton 대학과 항공우주 및 방위기술 업체인 록히드 마틴사가 공동으로 진행하고 있는 연구에 참여하고 있는 7명의 대학원생 중에 한명이다. 이 연구에서는 광섬유 기반의 연산기기를 개발하는 것으로서, 이 기기는 뉴런과 유사하지만 수십억배 빠르게 동작하게 될 것이다. “나는 전기공학을 전공했지만 생물학과 인지과학에 많은 관심이 있다. 그래서 이 프로젝트는 흥미로운 여러 분야가 같이 합칠 수 있는 흥미로운 프로젝트이다.” 라고 Nahmias가 말했다.

이 프로젝트가 성공한다면, 새로운 기술은 무선신호를 사용하여 테러리스트가 위치한 곳을 순식간에 계산해낼 수 있고, 제트기에서 조종사를 탈출시키는 것과 같은 죽음과 삶의 순간을 계산해낼 수 있게 된다. 또한 로봇 자동차의 움직임을 조종하는 비디오 신호나 질병을 치료하기 위한 단서가 되는 유전자 데이터를 스캔하는 것과 같은 매우 방대한 자료를 빠르게 처리하도록 해줄 것이다.

이 연구는 Princeton 대학의 전기공학과 Paul Prucnal 교수가 이끌고 있으며, 신경과학자이며 록히드 마틴사의 선진기술연구소의 수석엔지니어인 David Rosenbluth가 참여하고 있다.

2008년에 시작된 이 프로젝트는 전기회로에 내재되어있는 속도 제한을 극복하는 것을 목표로 하고 있다. 전기회로에서는 와

이어를 통해서 흐르는 전기 때문에 제한을 받는 것이다. 전기적 와이어 대신에 이 팀은 광섬유 케이블을 사용하였기 때문에 거의 빛의 속도로 정보가 움직일 수 있게 되었다. 프로젝트의 이름에 있는 “photonic”은 광자로부터 나온 것으로서, 빛의 기본 단위를 말하는 것으로서 전자가 마치 전기의 기본 단위인 것과 같다. 기존의 광섬유 통신에서, 광자들은 원거리의 정보를 전달하게 되지만, 목적지에 도착하게 되면 전자로 변환하여 정보가 처리되어지게 된다. Prucnal의 연구실에서는, 정보가 빛으로 인코딩되어졌을 때에만 이러한 정보처리가 발생하게 된다.

빛의 최고 속도를 이용하는 것 뿐만 아니라, 연구자들은 신경회로에서 사용되어지는 계산 개념을 사용하였다. 신경회로는 사람과 다른 생물들이 재빠르게 결정을 내리도록 해주는 것이다. 두뇌 또는 신경 시스템의 주변회로에 있는 각 뉴런들은 다른 뉴런들과 연결되어지며, 행동 잠재력 즉, “스파이크”라는 전기 화학적인 펄스를 통해서 의사소통을 하게 된다. 입력되는 스파이크의 패턴에 기초하여 뉴런은 네트워크에 있는 다른 뉴런들에 정보를 전달하게 될지를 결정하게 된다. 이러한 기능들은 신경 컴퓨팅의 기초이다.

이러한 결정을 내리는 능력은 다양한 상황에서 매우 유용하다. 예를 들어, 치타에 잡힌 가젤은 왼쪽이나 오른쪽으로 재빠르게 도망갈지를 결정해야만 하거나, 배트를 들고 있는 야구선수는 몇 초 내에 스윙을 해야 할지 결정해야만 한다.

사할이 걸린 상황을 판단해야하는 신경 네트워크는 빛에 기초한 연산기기가 어떻게 동작해야 할지에 대한 단서를 제공하게 된다. “우리는 학습, 억제 및 다른 행동들을 광섬유 회로에서 처리할 수 있는 것으로 변화시킨다. 그러나 이것이 두뇌에서 어떤 것을 다시 만들어내는 것은 아니다. 이것은 두뇌에서의 아날로그적인 계산과 대부분의 컴퓨터에서 만들어지는 디지털 시스템 사이의 혼합이라고 할 수 있다.” 라고 Rosenbluth가 말했다. Prucnal과 Rosenbluth가 광섬유 신호처리와 신경과학을 합성하는 것에 대한 가능성을 연구했을 때, 신경과 광섬유 네트워크

Photonics Convergence 광융복합

가 다른 변수를 사용하여 모델링되어지는 수학적 수식이 있다는 것을 알게 되었다. 그러나 그것의 전체적인 표현은 매우 유사했다. “우리는 이것들을 나란히 공식에 대입시키고 나서, 이해하게 되었으며, 실질적으로 동작하는 것이 매우 흥미로웠다.” 라고 Prucnal이 말했다.

Nahmias 뿐만 아니라, 2011년에 이 프로젝트에 포함되어진 대학원생들은 Vinayak Venkataraman, Will Herlands, Nicole Rafidi, Alex Tait, Abdulrahman Mahmoud, Dolly Xu 등이다.

< www.princeton.edu >

안면조직 재건에 도움이 되는 주입형 광활성화 임플란트 (injectable, light-activated implants)

주사기를 통해 주입할 수 있는 광활성화 임플란트(injectable, light-activated implants)가 개발되어 외상으로 인해 손상된 연조직의 재건에 도움을 줄 것으로 보인다. 이 임플란트는 존스홉킨스 대학의 생의학 엔지니어인 제니퍼 엘리시프가 이끄는 연구진이 천연 히알루론산과 합성 폴리머(PEG: 폴리에틸렌글리콜)를 결합하여 만들어낸 것으로, 현행 조직재건 기법을 대체할 수 있는 비침습적 방법으로 관심을 모으고 있는데, 특히 (흉터나 기능상실을 수반하기 쉬운) 안면조직의 재건에 유용할 것으로 생각된다. 이번에 개발된 임플란트의 작동원리는 다음과 같다: 먼저 주사기를 이용하여 액체 상태의 임플란트를 피하에 주입한 다음 마사지를 통해 형태를 만든다. 그리고는 발광다이오드(LED: Light-emitting diodes)를 비추어 광개시 시스템(photoinitiator system)을 활성화시킨다. 광선의 자극을 받은 PEG 분자들은 서로 연결되어 고체 상태의 하이드로젤(hydrogel)을 형성하는데, 이 하이드로젤은 히알루론산 입자를 포획하여 꼼짝 못하게 함으로써 임플란트를 제자리에 고정시키는 역할을 한다. “히알루론산과 PEG의 배합비율은 임플란트의 속성에 영향을 미칠 수 있다. 우리는 이 비율을 적절히 조절하여 복합물질(composite material)을 탄생시킴으로써, 임플란트의 물성(physical properties)과 이식과정을 제어할 수 있었다” 고 연구진은 말했다.

현재 연조직 재건에 사용되는 임플란트는 체내에 이식하는 방법에 따라 크게 2가지 종류로 나뉜다. 한 가지는 '주사기를 통해 임플란트를 몸 안에 주입하는 것'이고 다른 한 가지는 '수술적 방법으로 임플란트를 몸 안에 이식하는 것'이다. 그러나 이 두 가지 방법은 모두 '일단 몸 안에 이식된 임플란트는 변형될 수 없다'는 공통점을 갖는다. 그런데 이번에 개발된 「주입형 광활성화 임플란트」의 특징은 기존의 임플란트와 다른 접근방법을 사용했다는 데 있다. “우리는 주위환경(예: 지방질이 많은 부위, 근육이 많은 부위, 피부 등)에 맞추어 임플란트의 속성을 변화시킴으로써, 의사들로 하여금 각 환자에게 알맞은 맞춤형 임플란트를 제공할 수 있게 하였다”고 연구진은 말했다.



The implant is injected as a liquid, then massaged into shape and 'locked' in place with light.
Image courtesy of Science/AAS

“하이드로젤을 체내에 주입한 후, 그 자리에서 형태를 변형시킨다는 것은 꿈 같은 일이다. 연구진은 적절한 광개시 시스템과 적절한 파장의 빛을 이용하여, 이 꿈을 이루어냈다” 라고 영국 옥스퍼드 대학 조직공학/응용생물학 센터의 찬펑 쿠이 소장은 논평했다. 이번에 개발된 「주입형 광활성화 임플란트」는 기존의 주입형 임플란트보다 수명이 긴 것으로 밝혀졌다. 연구진이 설치류를 대상으로 실험한 바에 의하면, 「주입형 광활성화 임플란트」는 - 히알루론산과 PEG의 배합비율에 따라 다르지만 - 표준형 임플란트보다 2배 이상의 수명을 갖는 것으로 나타났다고 한다. 그러나 「주입형 광활성화 임플란트」가 임상에서 사용되기 위해서는 몇 가지 문제점이 해결되어야 한다고 전문가들은 말하고 있다. 예컨대 쿠이 소장은 “「주입형 광활성화 임플란트」는 인간을 대상으로 한 임상시험에서 생각했던 것 이상으로 염증을 초래하는 것으로 밝혀졌다” 고 지적했다. 그러나 연구진은 “충분한 재정지원만 뒷받침된다면 1년 이내에 「주입형 광활성화 임플란트」를 실용화시킬 수 있다” 고 자신감을 내비쳤다. 이번 연구결과는 외상으로 인한 연조직 손상 환자들에게 희소식이지만, 아름다워지기 위해 성형수술을 결심한 사람들에게도 크게 도움이 될 것으로 보인다.

< www.nature.com >



Photonics Convergence

광융복합

세계 최초로 레이저 소결기술을 이용한
프린트된 비행기 개발



영국 사우스햄턴 대학교(University of Southampton) 엔지니어들이 비행기 설계상의 경제성 분야에서 혁명을 일으킬 수 있는 세계 최초의 [프린트화된(printed)] 비행기를 설계하고 비행에 성공했다. 사우스햄턴 대학교 레이저 소결 비행기센터(SULSA, Southampton University Laser Sintered Aircraft)에서 개발한 SULSA 비행기는, 날개와 통합된 제어 표면 그리고 액세스용 해치를 포함한 전체 구조가 프린트화된 무인 항공기(UAV, Unmanned Air Vehicle)이다. 이 비행기는 각 부품을 플라스틱 또는 금속 재료를 층 단위로 제작하는 EOS EOSINT P730 나일론 레이저 소결 기계 장치에서 프린트되었다. 어떠한 고정장치도 사용되지 않았고 모든 장치가 [스냅 핏(snap fit)] 기술을 사용하여 부착된 전체 비행기는, 수 분 이내에 도구 없이 조립할 수 있다. 2m의 날개 폭을 가진 전기-구동의 이 비행기는, 거의 100km/h의 최고속도를 가지고 있지만, 비행 운용모드에서는 거의 소음이 나지 않는다. 또한, 비행기는 이 연구팀 회원 중의 한 명인 Matt Bennett 박사에 의해 개발된 미니어처 자동운항장치를 탑재하고 있다.

레이저 소결기술(Laser sintering)을 통하여, 설계자들은 기존의 비용이 많이 드는 제작기술에 버금가는 모양과 구조를 창조할 수 있다. 이 기술을 통하여, 맞춤형의 비행기가 빠른 시간 내에 콘셉트 단계에서 실제로 비행할 수 있을 것이다. 복합재료 같은 기존의 재료와 제작기술을 사용하면, 이것은 정상적으로 몇 달

이 소요되는 작업이다. 게다가, 제작과정에 별도의 틀이 불필요하기 때문에, 비행기의 모양과 크기에 혁명적인 변화는 추가적인 비용 없이 가능할 것이다.

이 프로젝트는 사우스햄턴 대학교(University of Southampton) 컴퓨터공학 및 디자인 리서치 그룹의 Andy Keane 교수와 Jim Scanlan 교수에 의해 지도되었다. Scanlan 교수는 다음과 같이 말했다. "레이저 소결 프로세스가 가진 유연성을 통하여, 설계팀은 기존의 제작기술을 사용하면 엄청나게 값비싼 역사적인 기술과 아이디어를 재검토할 수 있게 되었다. 이러한 아이디어 중의 하나는 측지 구조물(Geodetic structure)의 사용을 포함하고 있다. 이러한 형태의 구조물은 최초에는 Barnes Wallis씨에 의해 개발되었고 1936년에 처음 비행한 빅커스 웰링턴 폭격기(Vickers Wellington bomber)에 유명하게 사용되었다. 이러한 형태의 구조물은 매우 조밀하고 경량이었지만 복잡했다. 만약 이것이 기존의 방식으로 제작되었다면, 수많은 각각의 맞춤형 부품이 큰 비용을 들여 분당되거나 고정되어야 했을 것이다." Keane 교수는 다음과 같이 덧붙였다. "레이저 소결기술이 제공하는 또 다른 설계상의 장점은 타원형 날개 플랫폼의 사용이다. 수십 년 동안, 공기동역학 학자들은 타원형 날개가 항력 상의 장점을 제공한다는 것을 밝혀왔다. 스피트-파이어(Spitfire) 날개는 매우 효율적인 설계라고 인식됐지만, 제작하기에 어렵고 값이 비싼 것으로 악명높았다. 또한, 레이저 소결기술은 모양의 복잡성과 관련된 제작상의 제한사항들을 제거시키고, SULSA 비행기에는 타원형 날개 형태를 사용하는데 아무런 추가 비용에 대한 부담이 없다."

SULSA 비행기는 미국공학자연과학연구회(EPSCRC, Engineering and Physical Sciences Research Council)가 자금을 지원하는 DECODE 프로젝트의 일부이며, 무인항공기의 설계에 사용될 수 있다는 사실을 실증화하기 위해 레이저 소결기술 같은 최신식의 제작기술을 적용하고 있다. 사우스햄턴 대학교(University of Southampton)는 1990년대 초부터 무인항공기(UAV) 개발의 선두주자였다. 그것은 사우스햄턴의 국립해양센터(National Oceanography Centre)에 있는 해안 캠퍼스에서 진행

Photonics Convergence 광융복합

된 Autosub 프로그램으로부터 시작되었다. 축전지-전원의 잠수함이 북해를 가로지르면서 300회 이상의 해빙 아래 바다를 운항하면서 청어떼의 궤적을 쫓았다.

이제, 이 대학교는 학생들이 무인항공기(UAV) 설계로 석사학위를 수여하는 획기적인 코스를 론칭하고 있다. 이것은 이러한 종류의 최초 계획이며 2011년 9월부터 시작된다. 졸업생도 설계와 제작 그리고 로봇 비행체 운영을 포괄하는 1년간의 프로그램에 참여할 수 있다. 이 과정은 해빙 아래의 바다 탐사나 화산 폭발 지역에서의 가스 모니터링과 같은 불안정하고 비경제적으로 여겨지는 환경에서 전형적으로 이용되는 심해, 육지에 기반을 두거나 비행사가 없는 비행기 등을 포괄할 것이다. NASA는 무인항공기(UAV)가 농업, 지구 탐사 그리고 기후 모니터링 분야에서 표준적인 툴로 자리매김하기를 바라고 있다.

< www.physorg.com >

우수한 태양전지를 만들게 하는 GaAs 나노기둥

III-V 나노기둥을 기반으로 한 광전자 소자를 만들 수 있는 새로운 방법이 로스앤젤레스 소재의 캘리포니아 대학(University of California, UCLA)과 샌디아 국립 연구소(Sandia National Laboratories)의 연구진에 의해서 개발되었다. 태양광을 더 많이 흡수할 수 있도록 더 높은 표면 대 부피 비율을 가지도록 만들어졌고, 나노기둥의 경사도와 높이를 최적화시켜서 광범위한 파장에서 광학적 흡수를 최대화시켰다.

이 장치의 효율은 상향식 갈륨 비소 나노기둥 태양전지 중에서 가장 높았다고 UCLA의 Giacomo Mariani 박사가 말했다. 또한 이 연구는 임의적 나노와이어 성장을 이용하는 기존의 기술과 비교할 때 더 향상된 재현성과 제어성을 가진 향상된 장치를 만들 수 있게 했다. 나노구조로 된 태양전지는 장치에서 반사되는 광자의 양을 급격하게 감소시키는 광-트래핑 효과 때문에 많은 잠재력을 가지고 있다. 이것은 광 흡수를 향상시킨다. 최근에, 연구자들은 태양전지의 성능을 향상시키기 위한 후보자로서 나노돔, 나노콘, 나노입자, 나노와이어 등과 같은 구조를 연구했다. 이런 물질의 높은 표면 대 부피 비율은 더 많은 광자를 수집할 수

있는 광활성 접합면을 증가시키고 이것은 향상된 전력 변환 효율(power-conversion efficiency)을 가지게 한다. 나노기둥(전자적 및 광적으로 활성인 반도체가 고밀도로 충전



된 나노크기 어레이)은 상당히 저렴하고 대량 생산 가능한 태양전지를 만드는데 사용될 수 있지만 이런 물질은 효율 문제가 발생할 수 있다. 또 다른 문제는 이런 구조를 성장시키기 위해서 금속 촉매가 일반적으로 필요한데, 이런 기술은 임의적으로 위치하는 나노기둥을 생성시킨다. 금속 촉매는 기둥을 오염시킬 수 있고 최종 장치에서의 누설 전류를 증가시킨다.

Diana Huffaker과 연구진에 의해서 개발된 이 새로운 방법은 선택적 에피택셜 성장을 리소그래피적으로 정의된 기판에 사용할 수 있고 마스크는 나노기둥 지름과 경사도를 미리 정의하는데 사용된다. 또한 이것은 대면적 나노기둥 어레이를 만들 수 있는 방법을 제공한다. 연구진은 축 방향(중심) 및 옆면(겉질) 나노기둥의 제어할 수 있는 성장을 할 수 있도록 금속-유기 화학 기상 증착 반응기 속에 나노기둥을 성장시켰다. 어떤 금속 촉매도 필요하지 않았는데, 이것은 높은 결정 품질을 가진다는 것을 의미한다. 실제로, 나노기둥으로 만들어진 p-n 접합은 -1 V에서 단지 236 nA의 낮은 누수 전류를 가지고 물질의 전력 변환 효율은 2.54% 정도이다.

연구진은 실리콘이 이 연구에서 사용된 비화 갈륨보다 훨씬 더 비용-효과적인 플랫폼이기 때문에 실리콘 기판에 III-V 장치를 삽입할 계획을 가지고 있다. 또한 유망한 기질로 사용될 수 있는 다른 물질을 조사하고 있다. 예를 들어, 기둥은 플렉서블 폴리머 속에 삽입될 수 있고 이것은 높은 효율을 가진 III-V 플렉서블 태양전지를 구현하기 위한 성장 플랫폼으로 사용될 수 있다. 연구진은 새로운 종류의 GaAs 장치를 개발하고 있다. 실리콘 위의 헤테로-에피택시(Hetero-epitaxy)는 더 높은 효율을 가진 저렴한 태양전지를 만들 수 있게 할 것이다. 이 연구결과는 저널 Nano Letters에 게재되었다.

< nanotechweb.org >

ISSUE

신기술, 신제품

인체 부착가능한 잡아 늘릴 수 있는 전자센서

구부러지거나, 잡아 늘일 수 있는(Stretchable) 신축성있는 전자 소자는 공상 과학 소설 같은 이야기처럼 들릴지도 모른다. 그러나 이번에 스웨덴 읍살라대학(Uppsala University)의 Zhigang Wu 교수 연구팀은 길게 늘일 수 있는 무선 센서 소자를 만드는 데 성공했다. 연구진이 이번에 설계한 새로운 전자소자는 몸의 움직임 등을 측정할 수 있으며, 또한 그 정보를 컴퓨터에 직접적으로 무선통신으로 전달할 수 있다. 연구진은 무선 응력 센서에 대한 연구결과를 Advanced Functional Materials를 통해 발표했다.

무선으로 정보를 컴퓨터에 송신하는 신축성이 뛰어난 안테나에 새로운 연구결과는 영화에서만 볼 수 있었던 그러한 기능을 가진 전자제품을 만드는 새롭고 흥미로운 가능성을 제시하고 있다. 마이크로유체 신축성 무선 주파수 전자소자(μ FSRFE, microfluidic stretchable radio frequency electronics)의 영역에서 최신의 기술은 액체 금속으로 채워진 엘라스토머(elastomer)의 채널을 가진 견고한 전자 제품의 실현 가능성을 보여주고 있다. 이러한 방식에서 심한 기계적인 변형이 일어난 후에도 원래의 형태로 되돌아 갈 수 있는 전자 복구 시스템 구현이 가능해진다. 이러한 전자소자는 어떠한 구부러진 형태나 움직이는 표면에도 적용이 가능해진다. 인체나 로봇의 피부 어디에서도 부착이 가능해지며 이를 통해 건강 상태를 모니터링 하거나 멀리서 통제 가능한 스마트한 전자 피부 층을 만드는 것이 가능해질 수 있다.

읍살라 대학의 Zhigang Wu 교수 연구팀은 레어드 테크놀로지(Laird Technologies)와 협력 연구를 진행하여 최근에 무선 μ FSRFE 센서를 만드는 데 성공했다. 센서는 다기능성의 안테나로 구성되어 있다. 인테는 기존의 회로 판으로 구성되어 있다. 센서는 몸의 움직임을 측정하여 무선으로 그 정보를 컴퓨터에

실시간으로 보낸다. 이번에 설계된 새로운 전자 센서는 움직이는 넓은 영역이나 구부러졌다가 펴지는 동작이 반복되는 영역에 부착이 가능하고 그 정보를 무선으로 송신할 수 있다.

이번 센서는 넓은 영역의 응력 변화를 측정할 수 있으며 약 1.5 GHz 영역에서 작동된다. 또한 다층의 마이크로 유체 층으로 구성되어 있다. 종래의 기술과 비교해 볼 때 이번에 개발된 응력 센서는 넓은 영

역에서 15%까지 변형되는 반복되는 인장력을 견디며 이러한 정보를 원격으로 송신할 수 있다. 센서는 실리콘 엘라스토모에 마이크로유체 채널로 채워진 두 층의 액체 금속으로 구성되어 있다. 연구팀이 설계한 센서는 영화 속에서만 볼 수 있었던 무수한 새로운 기능을 가진 전자 소자를 만들 수 있는 새로운 가능성을 제시하고 있다.

이번 연구결과는 Advanced Functional Materials에 "A Microfluidic, Reversibly Stretchable, Large-Area Wireless Strain Sensor"라는 제목으로 게재됐다. < www.nanowerk.com >



< 그림 > 영화 터미네이터에 나오는 액체 금속으로 만들어진 로봇은 변형 가능한 전자 시스템에서 가장 잘 알려진 경우일 것이다. 그러나 지금까지 이러한 것은 단지 상상 속에서만 존재해왔다. 비틀어지고, 접히고, 길게 늘어나는 전자 소자는 아직 실현 가능한 단계에 이르지 못하고 있다.