

## 투명 에너지 발전기반 바이오닉스

프리아카 바트나가<sup>1,2</sup>, 말케시쿠마 파테르<sup>1,2</sup>, 김준동<sup>1,2,\*</sup>  
<sup>1</sup>인천대학교 전기공학과, <sup>2</sup>인천대학교 차세대에너지 융합연구소

### Transparent Energy for Bionics

Malkeshkumar Patel<sup>1,2</sup>, Priyanka Bhatnagar<sup>1,2</sup>, Joondong Kim<sup>1,2</sup>

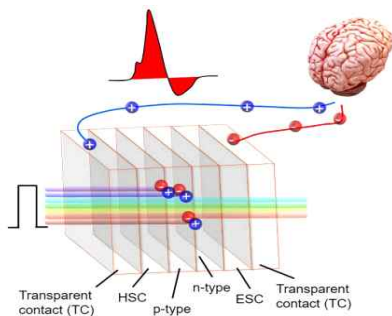
<sup>1</sup>Photoelectric and Energy Device Application Lab (PEDAL) and Multidisciplinary Core Institute for Future Energy (MCIFE), <sup>2</sup>Department of Electrical Engineering, Incheon National University, Incheon 22012, Korea

#### Abstract

인간의 두뇌를 닮은 미래의 computation은 뉴로모픽 (Neuromorphic) 소자를 이용한 효과적인 에너지 사용과 적용방식을 통한 센싱과 러닝을 기반으로 한다. 현재의 연산 Chip 플랫폼은 자가 구동 (Self-powered) 방식이 아니며 뉴로모픽 기능을 가지고 있지 않으므로 새로운 방식의 접근이 필요하다. 본 연구에서는 투명한 포토볼타익 (Transparent photovoltaic) 플랫폼을 이용하여 확장가능하고 다양한 센서의 기능에 대한 가능성을 제시하였다 [1].

#### 1. 서 론

지속적인 에너지 공급은 현대 사회의 가장 중요한 이슈이며, 인류는 장기간에 걸친 화석 연료의 사용으로부터 지속가능한 방향으로의 패러다임 전환이 필요하다. 이러한 도전 중에서 에너지 분야에 대한 합리적인 방안이 솔라 에너지를 이용하는 것인데, 그 무한하고 끊임없이 제공되는 에너지의 근원이며 공해요소를 발생하지 않는 장점이 있다. 현재의 불투명한 태양전지 시스템은 태양에너지의 이용 확대를 저해하는 요소이다. 이러한 장애를 극복하기 위해서, 투명한 태양전지 (Transparent photovoltaic, TPV) 시스템을 개발하였다. TPV 소자는 가시광 영역의 빛을 투과하지만 보이지 않는 빛을 흡수하여 전기에너지를 발생하는 '투명한 에너지 발생 장치'이다. 이러한 장점으로 TPV는 건물 및 자동차의 창호 등에 적용되어 에너지가 필요한 곳에 즉시 공급할 수 있는 장점을 함께 제공한다.



〈그림 1〉. Transparent photovoltaic device to power brain-chip for future sustainable computing.

TPV를 바이오일렉트로닉스에 적용할 수 있는가? 방법은 보이지 않는 기술을 이용하는 것으로 투명한 태양전지를 이용하는 방안이 제시되었다. 즉 사람의 눈에는 보이지 않는 영역의 빛을 이용하여 에너지를 발생하고 가시광은 투과하여, Solar to energy의 변환기법을 활용하는 것에 있다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 TPV 플랫폼

TPV 플랫폼을 전력을 생산하여 바이오일렉트로닉스 소자에 제공할 수 있으므로 on-site 에너지 공급 방식을 만족하고, 스스로 동작하는 뉴로모픽 아키텍처를 구성할 수 있다. 이러한 바이오일렉트로닉스의 사용처는 Electronic skin, artificial eyes 등이 있으며, 자가 전력 생산 방식으로 오랜 작동시간을 가지는 장점이 있다. 이러한 TPV 플랫폼의 요구 사항은 다음과 같이 정리하였다.

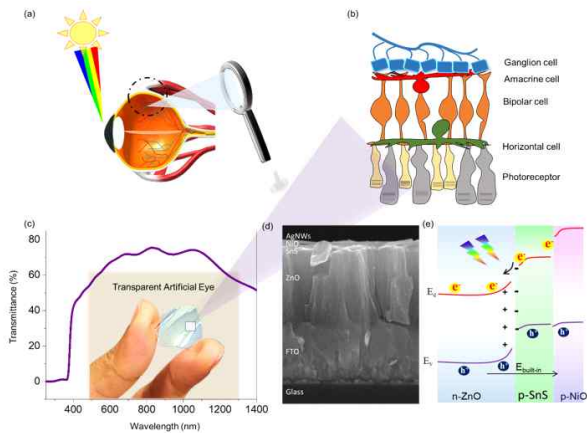
TPV powered neuromorphic devices and bioelectronic devices, mimicking the operation of action potential of neurons (70 mV).

- High power production of TPV (> 30 mW) to satisfy the general power need of the power ranges (<23 mW) for implantable bioelectronic
- High transparent, flexible and light weight energy platform for applications of electronic skin, thermoreceptors, and artificial eyes
- Eco-friendly materials (metal oxides, TiO<sub>2</sub>, ZnO, 2D materials and semiconductors)
- Selective optical absorption (UV absorption > 90%, Visible range light transmittance > 60% at λ=600 nm)
- High TPV efficiency (> 5% under UV light)
- Light-weight power production (>200 mW/g) for embedding in human bodies.

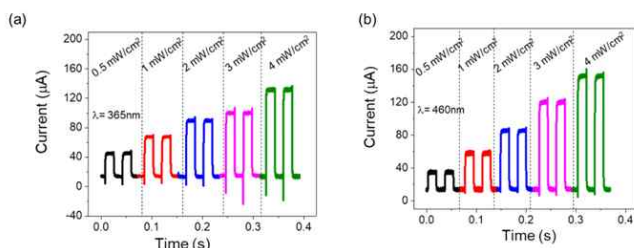
##### 2.2. 인공눈 (Artificial eyes)

눈은 광학 신호를 통해서 환경의 정보를 얻는 매우 중요한 인체기관이며, 광학 신호를 통해서 visual cortex의 연결을 통해서 신호를 처리하여서 뇌에서 정보를 인식하게 된다. 본 연구에서는 투명한 TPV 소자를 통해서 입사한 시각 정보를 인공적으로 처리하는 방식에 대해서 연구하였다.

그림 2에서 보이는 것과 같이, 밴드갭이 큰 산화물 반도체의 접합 (p-NiO/n-ZnO)을 이용하여 기본적인 헤테로 접합 소자를 구성하였으며, 그 사이에 2D 물질인 황화 주석 (tin sulphide, SnS) 층을 삽입하여 광특성의 향상을 도모하였다. 전체적인 투과도는 70% 가까울 만큼 매우 투명한 것을 확인하였다.



〈그림 2〉 눈구조 및 ZnO/SnS/NiO 기반 투명 광전소자



〈그림 3〉 투명 TPV 소자 기반의 광반응 특성

본 투명 광전소자는 입사하는 빛에 대한 감응을 보이는 특성이 있다. 그림 3 에서 보이는 것과 같이 UV 광원의 세기를  $0.5 \text{ mW/cm}^2$  에서  $4 \text{ mW/cm}^2$  로 증가하면서 전류의 변화를 측정하였다. 이러한 투명 광전소자의 입사광 세기에 대한 반응변화는 투명한 광센서 및 인공눈으로 동작할 수 있음을 확인하였다.

### 3. 결 론

이중 산화물 반도체접합을 이용하여 투명한 광전소자를 구현하였으며, ZnO/SnS/NiO의 접합특성에 따라 투명한 산화물 광전소자는 태양전지의 특성을 또한 가지고 있다. 이러한 자가발전의 특성과 투명한 특징을 이용하여 입사광에 반응하는 생체모방형 인공눈 특성에 대해 연구하였다.

#### 감사의 글

The authors acknowledge the financial support of the Basic Science Research Program through the National Research Foundation (NRF-2020R1A2C1009480) by the Ministry of Education of Korea and Brain Pool Program funded by the Ministry of Science and ICT (NRF2020H1D3A2A02085884 and NRF-2020H1D3A2A02096147).

#### [참 고 문 헌]

[1]Priyanka Bhatnagar, Malkeshkumar Patel, Thanh Tai Nguyen, Sangho Kim, and Joondong Kim, "Transparent Photovoltaics for Self-Powered Bioelectronics and Neuromorphic Applications", the Journal of Physical Chemistry Letters, 51, 12426-12436, 2021.