

SAW의 진폭 모듈화를 통한 실시간 뉴런 자극과 리딩

Petronil Yves, 박정근, 오효주, 박예찬, 이기근*
 아주대학교, 전자공학과*

Real time neural stimulations and reading by modulating surface acoustic wave amplitude

Petronil Yves, Jung-keun Park, Hoe-joo Oh, Yea-chan Park, Kee-keun Lee*
 Ajou University, Electrical and Computer Engineering Department*

Abstract - Finding solutions for the disabled is a major challenge for our society. In the case of a disability due to a malfunction of the nervous system, the origin may be accidental, genetic, or induced by environmental factors. This type of loss can cause loss or movement disorders (paraplegia, hemiplegia, quadriplegia, epilepsy, Parkinson's disease, multiple sclerosis, etc.) or malfunction of certain sensory functions (blindness, deafness, chronic pain, etc.). Many alternatives, more technology, have been imported to create interfaces between the human body and an artificial prosthesis in order to restore some functions of the human body. A wireless system, battery neurons probe was developed for one hand reading neural signals in the brain, and on the other hand also able to excite the neuron in the brain using a surface acoustic wave one ports (SAW) delay line reflection

1. 서 론

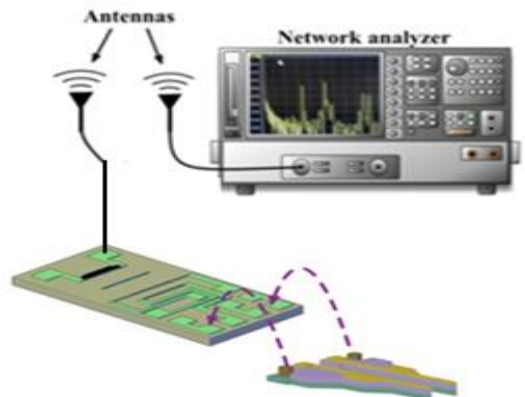
인간의 뇌 내에는 10^{11} 개의 뉴런이 존재하고 있으며 전기적 펄스 및 화학물질(neurotransmitter)을 통해 상호 통신을 하고 있다. 뉴런은 cell body, dendrite, axon 등으로 구성되어 있으며 cell body의 경우 $5\sim 400\mu\text{m}$ 사이를 지니고, axon의 경우 $0.2\sim 20\mu\text{m}$ 의 폭을 가진다. 뉴런이 액션포텐셜(action potential, 또는 spikes) 방사 시 진폭은 $\sim 100\text{mV}$, 주기는 $\sim 250\text{ms}$ 정도로 알려져 있다. 일반적으로 활동중(in action)에 있는 뉴런들은 1초에 $10\sim 100$ 번, 휴식중에는 $1\sim 10$ 번 정도의 스파이크(spike)를 발생시킨다. 대뇌속 특정위치에서 뉴런의 액션포텐셜을 감지하고 또한 외부의 전기적 시그널을 뉴런에 전달하여 뇌와 기계의 인터페이스를 담당하는 뉴런프로브 개발에 현재 많은 연구가 진행중이다. 여러종류의 뉴런프로브가 발표되고 있으며, 이는 크게 두가지 종류의 뉴런프로브로 분류 가능하다: 무선 및 유선 뉴런프로브. 그러나 유선 뉴런프로브의 경우 긴 wire, cable 등을 이용하여 외부로부터 미세 전기적 신호를 인가하거나 (stimulation), 감지(reading)하는 기술이므로, 외부와의 빈번한 노출에 의해 실험대상 동물의 뇌조직에 감염의 원인이 되고 있으며, 실험동물의 활동반경의 제약에 의해 실험동물에 스트레스가 증가되어 목표 하는 시그널 감지에 어려움이 있으며, cable이 꼬이거나 영기는 경우가 빈번히 발생하고 있다. [1, 2] 무선 뉴런프로브 시스템의 경우도 i) 뉴런프로브상에 배터리장착에 의한 배터리의 유한한 수명, 무게, 크기가 문제이며, ii) 또한 5000개가 넘는 소자로 구성된 전자회로 등을 거치면서 시그널손실, 칩(chip) 주변온도증가, 시그널 변형, 감쇄 등의 여러 문제점이 제기되고 있다.

2. 본 론

2.1 동작원리

현재의 무선 뉴런프로브의 단점들을 개선하기위해 표면탄성파와 강유전체 기반 캐패시터를 이용한 무선 무전원 뉴런프로브가 개발되었다. 개발된 뉴런프로브는 뉴런자극 및 리딩이 동시 가능한 프로브이다. 개발된 시스템은 두 개의 프로브로 구성된다(그림 1). 하나는 neural recording, 또 다른 하나는 neural stimulation을 목적으로 한다. 프로브는 두 개의 금속이 PVDF 물질을 사이에 두고 샌드위치 구조를 형성한다. 뉴런시그널의 전기적 신호는 PVDF의 polarization을 변화시키며 따라서 양 금속전극에 charge의 변화를 야기한다. Charge의 변화는 IDT 형태로 구성된 SAW reflector에 반사파의 세기를 변화시켜 측정시스템

에서 실시간 진폭 변화로 측정된다. 선형적 진폭변화를 감지하여 뉴런시그널을 리딩하며, stimulation을 위해선 프로브 양 전극에 금속선으로 상호 연결하여 저항체를 만들었으며 이 저항체로부터 직류의 전기적 신호가 방사하게 된다. 프로브의 주 전제조건은 생체적합성 물질의 선택이다. 프로브 양 전극으로 금 도금을 통해 아래층 전극을 형성하였으며 spin coating을 통해 PVDF piezoelectric 물질을 도포하였고 이후 윗면의 전극을 위해 E-beam evaporator를 이용하여 백금을 증착하여 PVDF 사이를 두고 두 전극이 형성된 프로브를 개발하였다. 그림 1에서와같이 안테나를 통해 EM 에너지가 IDT에 인가될 때 표면탄성파가 생성되어 IDT-type reflector를 향해 나아간다. 전파하는 wave는 IDT-type reflector에 의해 일부분 반사되어 input IDT로 되돌아오며 되돌아온 웨이브는 IDT에 의해 EM 에너지로 전환되어 측정시스템에 무선 송출한다. IDT-type reflector는 뉴런피어링에 변화하는 뉴런프로브 캐패시터에 연결되어있으며, 뉴런시그널에 의해 캐패시터내 임피던스의 변화는 IDT-type reflector에서 charge 변화를 유도하며 따라서 반사되는 반사파의 크기를 크게 변화시킨다.



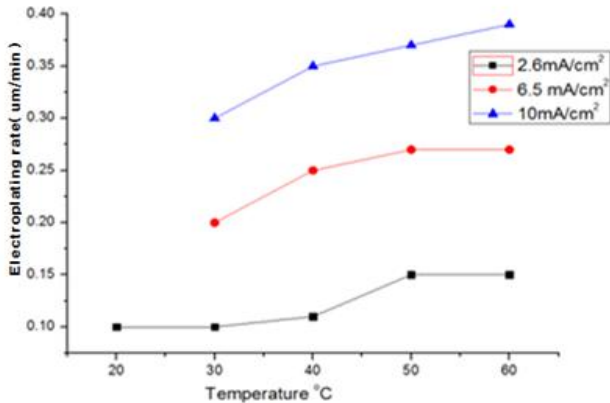
〈그림 1〉 개발된 뉴런프로브 전체 도면도. 두 개의 프로브로 구성되었으며 하나는 stimulation, 또 다른 하나는 recording을 위해 SAW delay line에 연결되었다.

2.2 프로브 제작

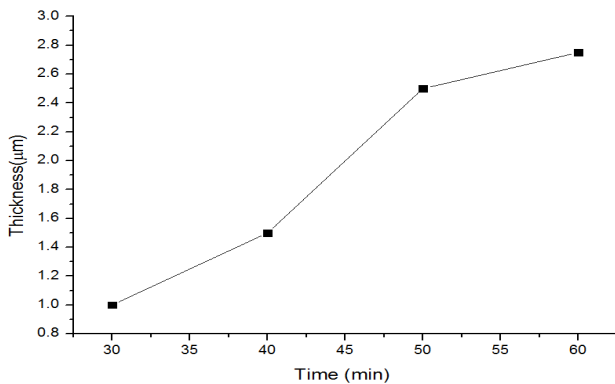
4인치 실리콘 웨이퍼위에 $1.5\mu\text{m}$ 두께의 SiO_2 을 성장시켰다. Cr/Au 증착 및 패터닝후 Au electroplating을 수행하였다. Au electroplating solution은 Table I에 보인다. 10시간 동안 $\sim 4\text{mA}$ 전류에 $\sim 30\mu\text{m}$ 두께의 금을 도금할 수 있었다(그림2, 그림3). $\sim 30\mu\text{m}$ 두께의 금 도금은 프로브의 기계적 강도를 증대시켜 삽입수술시 프로브가 최소한의 외상을 입히고 셀 내로 삽입을 가능케한다. 도금된 표면은 약간의 거칠기는 있었으나 고른 profile을 보이고 있다. BOE 내에서 SiO_2 의 peeling를 이용하여 도금된 금을 lift-off에 성공하였다. 제작된 아래층 프로브는 또 다른 웨이퍼 위쪽에 부착이후 PVDF가 spin coating되었으며 120°C , 2hr annealing을 통해 polymer화 하였다. 이후 shadow mask를 이용하여 위층 전극이 e-beam evaporator를 통해 200nm 두께로 증착되었다. RIE를 통해 PVDF를 완전히 제거하였으며 lift-off 방식으로 최종 프로브를 얻을 수 있었다 (그림 4).

<Table 1> 30um gold electroplating을 위한 도금액 및 비율

Chemical names	Formula	Quantity
Citric acid	$C_6H_8O_7$	112 gram
Potassium citrate	$K_3C_6H_5O_7$	168 gram
Potassium cyanide	$KAu(CN)_2$	10 gram
Deionized water	DI Water	1300 milliliter



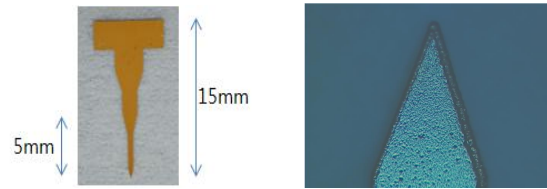
<그림 2> 온도에 따른, 전류밀도에 따른 gold electroplating



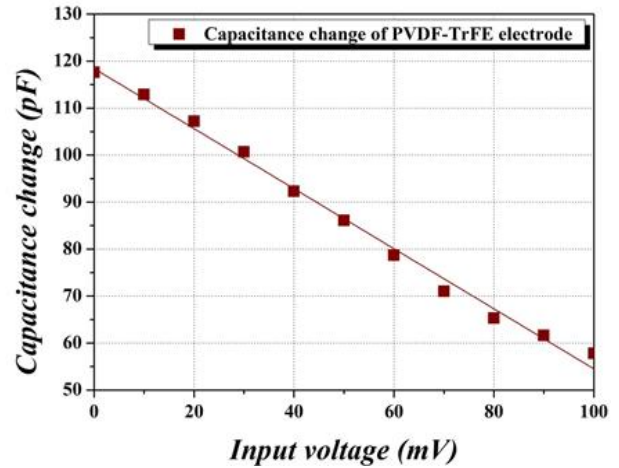
<그림 3> 6.5mA/cm², 50°C 조건에서 시간에 따른 gold thickness.

2.3 프로브 측정

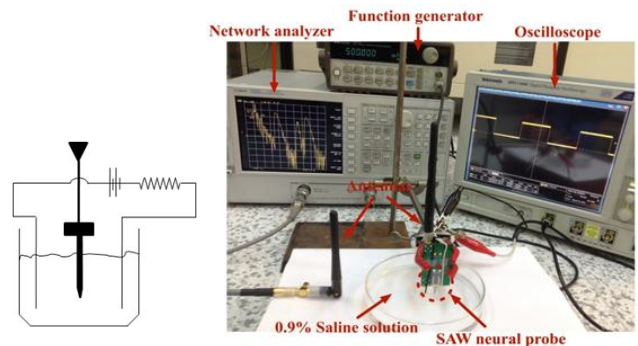
제작된 뉴런프로브를 이용하여 양 전극에 뉴런시그널의 크기와 유사한 전기적 신호가 인가하였으며 PVDF 사이를 두고 변화하는 capacitor를 측정하였다. 양 전극에 전압의 인가는 polarization의 변화 및 volume의 변화를 야기하므로 선형적 capacitor의 값을 얻을 수 있었다(그림 5). 이후 saline solution 내에서 뉴런파이어링 모방 전기적 신호가 인가되었다. 액션포텐셜의 진폭은 ~100 mV, 주기는 ~250ms 정도로 이므로 모방 인가전압이 0~100mV로 제어되어졌다(그림 6). 인가된 펄스의 크기에 따라 반사피크의 진폭이 뚜렷이 변화함이 관찰되어졌다. 오랜기간 saline solution에 담겨진 뒤 측정이 이루어졌다. S11값에서 안정한 값이 유지되었다. 제작된 두 프로브에 대해 recording test는 성공적으로 완료되었고 모방 뉴런시그널 인가에 따른 선형성을 확인하였다. 현재 stimulation probe에 대해 측정이 이루어지고 있으며 측정시스템은 IDT type reflector에 schottky diode, capacitor, 저항체가 연결되었으며 외부에서 인가된 rf power의 크기에 저항체에서 방사되는 DC 전압의 선형성을 측정중에 있다.



<그림 4> 30um 두께의 금 도금 전극 및 PVDF 사이를 두고 두 전극이 형성된 최종 완성된 뉴런 프로브



<그림 5> 모방 뉴런시그널 전압 인가에 따른 PVDF 프로브의 캐패시터 변화



<그림 6> 제작된 프로브의 in vitro reading 측정. 0.9% saline solution내에 0~100mV 모방뉴런시그널이 인가되고 있으며 결과하는 진폭변화를 무선으로 측정하고 있다.

3. 결 론

무칩(chip-less) 무선 뉴런프로브가 one-port SAW 지연선(delay line) 및 뉴런파이어링에 변화하는 캐패시터를 이용하여 개발하였다. 두 개의 IDT-type 리플렉터에 두 개의 뉴런 프로브에 상호 연결되어 있으며 뉴런시그널에 대한 선형성, 고감도를 얻도록 하였다. 하나의 SAW delay line IDT를 이용하여 다채널 전극을 제작하였으며 실험적으로 선형적 고감도 뉴런프로브가 얻어졌다. 오랜기간 solution내에서 안정한 특성이 유지되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] E. M. Schmidt, M. J. Bak, and P. Christensen: J. Neurosci. Meth. 62 (1995) 89.
- [2] K. K. Lee, J. P. He, A. Singh, S. Massia, G. Ehteshami, and B. Kim: J. Micromech. Microeng. 14 (2004).