

MEMS 공정 기술을 이용한 혈당측정용 센서 스트립의 신뢰성 개선 Improvement of Reliability for Blood Glucose Monitoring Sensor Strips Using MEMS Fabrication Technology

이정현¹, 김태곤¹, 양지선¹, 유영돈², *#정상국¹

J. H. Lee¹, T. G. Kim¹, Y. D. Yoo², *#S. K. Chung(skchung@mju.ac.kr)¹

¹명지대학교 기계공학과, ²(주) 두오텍

Key words : Blood Glucose Test Meter, Lab-on-a-chip, Microelectromechanical Systems (MEMS)

1. 서론

당뇨병 유병률은 세계적으로 꾸준히 증가 추세(2025년 약 3.8억명 예상)에 있고 국내에서는 1970년대 국민의 1.5% 정도로 추산되었던 비율이 현재는 10%에 육박하는 것으로 조사되고 있다[1-2]. 그리고 이 병으로 인한 사망률은 OECD 국가 중 최고 수준이며 2010년을 기준으로 우리나라의 사망원인 중 5위로 올라섰다[1-2].

DCCT(Diabetes Control and Complication Trial)나 UKPDS(United Kingdom Prospective Diabetes)와 같은 기존의 연구는 엄격한 혈당조절과 적절한 운동 및 약물요법 등을 통해 당뇨병으로 인한 만성 합병증을 예방하거나 그 진행을 지연시킬 수 있다는 것을 입증한 바 있다[2]. 이에 따라 현재 혈당검사는 임상적인 요구가 높고 시행 빈도가 많은 현장 검사종목 중의 하나로서 많은 의료기관 및 가정 등에서 자가혈당측정기를 이용한 검사가 수행되고 있는 상황이다.

현재 대부분의 자가혈당측정기는 주로 효소를 이용한 전기화학적 검사를 통해 혈당을 측정하도록 고안되어 있다. 일반적으로 이러한 혈당측정기는 그림 1과 같이 혈액이 충전되는 미소챔버와 그 바닥면에 효소가 도포된 미소전극으로 구성된 센서 스트립 부 그리고 센서 스트립에서 발생하는 전기화학 신호를 읽어들이는 모니터링 부로 구성되어 있다. 하지만, 삼성서울병원의 조사결과에 따르면 국내 시판중인 자가혈당측정기의 정밀도는 5%내외이고 정확도는 30-50%의 편차를 보이는 것으로 나타났다[2]. 특히, 혈당이 낮거나 검체량이 적을 경우 측정의 정밀도와 정확도의 편차는 더욱 크게 발생하는 것으로 조사되었다. 이러한 편차의 원인은 효소자체의 특성으로 타 검체와 반응하는 경우와 자외선 노출에 따른 효소 물질

의 변화 및 검체량의 정밀 조정이 불가능한 경우가 일반적이다[3]. 효소자체의 특성에 기인하여 타 검체와 반응하는 문제는 포도당의 선택 투과형 멤브레인을 활용하여 해소될 수 있으나[4], 적층방식으로 제조되는 센서 스트립의 경우, 검체가 충전되는 미소챔버의 크기가 일정하지 않아 검체량이 센서 스트립마다 달라지는 문제점이 있다.

본 연구는 초정밀 미세공정 기술을 이용한 혈당측정기에 사용되는 센서 스트립의 혈당측정 신뢰성을 향상시키는 것을 목적으로 일회용 센서 스트립에 필요한 전극과 미소챔버를 설계 및 제작하여 정량화된 센서 스트립을 통해 혈당측정의 정확성과 내구성을 향상시켰다. 초정밀 미세공정 기술로 제작된 센서 스트립은 기존의 적층방식으로 제작된 센서 스트립에 비해 효소 반응부의 부피가 일정하게 제어될 수 있어 정량의 검체를 이용한 혈당측정의 민감도(sensitivity)을 크게 향상시킬 수 있다.



Fig. 1 Glucose monitor (AGM-4000, Allmedicus)

2. 실험결과

초정밀 센서 스트립을 이용한 혈당측정의 신뢰성 향상에 관한 연구를 수행하기 위해 현재 시장에 유통 중인 센서 스트립(AGW400)과 동일한 설계의 샘플들을 초정밀 미세공정 기술(MEMS)을 이용하여 제작하였다.

Table 1 Comparison of the cyclic voltammetry test results between AGW400 and MEMS sensor strips.

	AGW400 (I_{pa})	AGW400 (I_{pc})	MEMS (I_{pa})	MEMS (I_{pc})	AGW400 (E_{pa})	AGW400 (E_{pc})	MEMS (E_{pa})	MEMS (E_{pc})
Normalized average	0.87381	0.790556	0.90509	0.87381	0.770299	0.734177	0.83025	0.83539
Normalized standard deviation	0.101534	0.143629	0.08660	0.10153	0.157252	0.170171	0.07558	0.07451
Improvement (%)			14.7	29.3			51.94	56.21

그리고 제작된 MEMS 센서 스트립의 성능을 비교평가하기 위하여 AGW400 센서 스트립과 함께 전기화학 분석장치 (CHI700A, CH instruments, Inc.)를 이용하여 순환 전압 전류 시험(cyclic voltammetry)을 수행하였다.

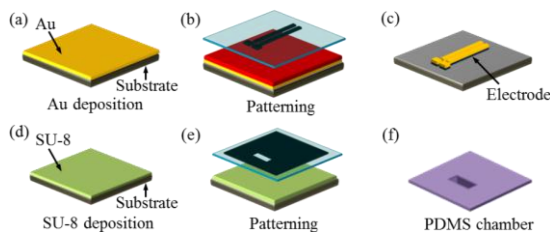


Fig. 2 Microfabrication processes: [Electrochemical electrode] (a) Deposition of an Au layer by sputtering (800 Å), (b-c) Patterning of the electrode; [Microchamber] (d) Deposition of a SU-8 layer (100 μm), (e) Patterning of the SU-8 for the molding, (f) Casted PDMS chamber.

Table 1 은 각각 30 개의 MEMS 센서 스트립과 AGW400 센서 스트립의 순환 전압 전류 시험 결과를 비교한 것이다. 무 차원화된 표준편차 값을 기준으로 AGW400 센서 스트립 대비 MEMS 센서 스트립의 I_{pa} 와 I_{pc} 값들이 각각 14.7%와 29.3%만큼 개선되었으며, E_{pc} 와 E_{pa} 값들에서도 각각 51.9%와 56.2%만큼 향상된 결과를 확인할 수 있다. 이는 초정밀 미세공정 기술에 의해 표준화된 센서 스트립 제작을 통해 센서 스트립 내부의 미소챔버 체적의 변화를 최소화함으로써 혈당측정의 민감도를 개선한 영향으로 판단된다.

3. 결론

본 논문은 초정밀 미세공정 기술을

이용하여 제작된 정량화된 혈당측정용 센서 스트립을 이용하여 혈당 측정의 신뢰성 향상을 실험적으로 검토하였다.

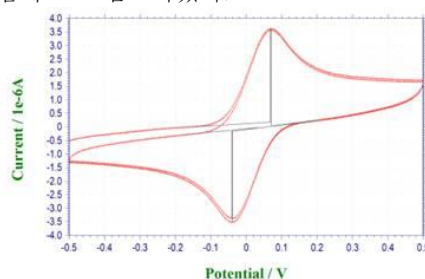


Fig. 3 Cyclic voltammetry test results of MEMS sensor strips using Ferricyanide solution(0.5 μL, 0.1 M). Note that the test conditions as follow: low voltage=-0.5 V, high voltage=0.5 V, initial voltage=-0.5 V, sweep speed=0.1 V/s, and segment=4.

후기

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학연공동기술개발사업 (No.C00396890100389374)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고문헌

1. 김신곤, 최동섭, “우리나라 당뇨병의 역학과 현황,” Hanyang Medical Reviews Vol. 29, No. 2, 122-129, 2009.
2. 이수연, 이남용, 김종원, “혈당측정기 6종의 평가,” 대한진단검사의학회지, **23**, 170-179, 2003.
3. Roger N. Johnson, J. R. B., "Error detection and measurement in glucose monitors," Clinica Chimica Acta, **307**, 61-67, 2001.
4. E. Wilkins, P. A., "Glucose monitoring: state of the art and future possibilities," Medical Engineering & Physics, **18**, 273-288, 1996.