

지문인식센서 품질평가를 위한 검사부 프로브의 소재 적합성과 구조 최적화 연구

손은원^{1,2} · 윤지원^{1,2} · 김대업¹ · 임재원² · 김광석^{1,†}

¹한국생산기술연구원 탄소경량소재응용그룹

²전북대학교 신소재공학부

Materials Compatibility and Structure Optimization of Test Department Probe for Quality Test of Fingerprint Sensor

Eun-Won Son^{1,2}, Ji Won Youn^{1,2}, Dae Up Kim¹, Jae-Won Lim², and Kwang-Seok Kim^{1,†}

¹Carbon&Light Materials Application Group, Korea Institute of Industrial Technology, Jeonju 54853, Korea

²Division of Advanced Materials Engineering and Research Center for Advanced Materials
Development, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

(Received December 8, 2017: Corrected December 22, 2017: Accepted December 29, 2017)

초 록: 최근 정보 보호가 이슈화됨에 따라 지문인식센서의 활용이 점차 증가하고 있으며, 센서 인식률 오차를 최소화할 수 있는 품질평가를 요구한다. 지문인식센서 전극과 검사부 프로브 팁이 접촉 시 발생하는 저항 값의 변화에 의해 센서의 품질이 평가되며, 품질평가의 재현성을 확보하기 위해서는 센서 전극의 변형 유발을 최소화할 수 있는 프로브 소재의 적합성과 구조 최적화 연구가 필요하다. 프로브 팁의 적합성 평가를 위한 소재로 니켈(Ni), 스틸(SK4), 베릴륨동(Beryllium copper), 인청동(Phosphor bronze)을 비교하였으며, 프로브 팁 접촉 후 전극의 압흔 크기와 접촉저항을 고려할 때 베릴륨동이 프로브 소재로 적합하다. 검사부 프로브는 지문인식센서 전극의 물리적 손상 방지와 다수의 지문인식센서 동시 검사가 가능한 구조를 위해 일체형 프로브 방식으로 제작하였다. 검사부의 재현성은 특정 전류 값을 인가하여 지문인식센서의 전압 변화로 판단하였으며, 베릴륨동 프로브 소재와 일체형 구조를 통해 센서 전극에 프로브가 300회 접촉하는 동안 센서의 전압 변화는 $\pm 0.003V$ 이내의 우수한 재현성을 확인하였다.

Abstract: Recently, fingerprint sensors have widely used for personal information security, and require quality evaluation to reduce an error of their recognition rate. Quality of fingerprint sensors is evaluated by variation of their electrical resistance introducing by contacts between a probe tip and a sensor electrode, Investigation on the materials compatability and structure optimization of probe is required to reduce deformation of sensor electrode for repeatability of quality testing. Nickel, steel(SK4), beryllium copper, and phosphor bronze were considered as probe materials, and beryllium copper was the most appropriate for materials of probe tips, considering indentation and contact resistance while being contacted probe tips on electrodes. Probes of an inspection part were manufactured with the single-unit structure for physical damage prevention and parallel processing capability. Inspection repeatability was evaluated by voltage variation of fingerprint sensors when the specific current was applied. A single-unit inspection part with beryllium copper probe tips showed excellent repeatability within $\pm 0.003V$ of its voltage variation.

Keywords: Probe materials, Probe structure, Sensor electrode, Fingerprint sensor, Repeatability

1. 서 론

최근 정보보안에 관한 문제가 대두되기 시작하면서 사람의 신체적, 행동적 특징을 인식하여 개인을 식별하거나 인증할 수 있는 생체인식기술이 각광받고 있다.^{1,2,3)}

문인식은 다른 생체인식기술에 비해 99% 이상의 높은 인식률⁴⁾과 1초 이내에 이루어지는 빠른 검증속도 장점 외에 사용자의 낮은 거부감, 소형화 장점을 가지기 때문에 대표적으로 활용되고 있다.^{5,6,7,8)} 지문인식 방법은 가시광선에 반사된 지문영상을 획득하는 광학식 지문인식센서⁹⁾

[†]Corresponding author
E-mail: ore21@kitech.re.kr

© 2017, The Korean Microelectronics and Packaging Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

와 전기용량 차이나 초음파를 활용하여 지문을 획득하는 비광학식 지문인식센서로 나뉜다.¹⁰⁾ 전기용량방식 지문인식센서¹¹⁾는 반도체 칩 최상층 레이어에 구현되는 센싱 어레이로 지문의 골과 마루 패턴에 따라 정전용량의 차이를 확인하여 지문영상을 취득하며¹²⁾, 지문영상의 해상도에 따라 개별 센싱 전극의 크기를 결정한다. 통상 지문인식시스템의 안정성을 확보하기 위한 영상의 해상도는 300dpi 이상이며, 센싱 어레이는 100 um 이하의 매우 촘촘한 전극 간격으로 구현된다. 전기용량방식 지문인식센서의 감도를 향상시키기 위해서는 감도저하의 가장 큰 원인인 기생용량을 제거하고 전극의 오염과 손상을 최소화해야 한다.^{13,14)} 지문인식센서의 품질을 평가하는 과정에서 전극의 오염과 손상이 발생할 수 있기 때문에 검사부의 재현성과 정밀성 확보가 필요하다.

기존 품질평가 방법은 검사부 내 프로브 팁이 지문인식센서의 전극을 위에서 아래로 접촉하며, 접촉 시 전압값의 변화를 확인하여 지문인식센서의 품질을 평가하였다.¹⁵⁾ 상기 방법은 2가지의 큰 문제점을 갖는다.

- (1) 프로브를 위에서 아래로 움직여 전극에 접촉하는 방식은 전극이 손상되거나 센서가 오염 될 수 있다.
- (2) 장시간 사용 시 중력의 영향으로 물리적 충격에 의한 전극손상과 프로브변형을 유발할 수 있다.

위의 문제점을 최소화하기 위해서는 지문인식센서의 전극 손상을 방지할 수 있는 프로브 팁¹⁶⁾의 소재 최적화와 프로브의 구조 개선으로 지문인식센서의 품질평가를 신뢰할 수 있는 우수한 재현성의 검사부 설계^{17,18)}가 필요하다. 하지만, 현재까지 지문인식센서 품질평가 시스템의 검사부 프로브 소재 및 구조에 대한 연구가 부족하고 산업현장의 검사장비에 적용한 사례가 잘 알려져 있지 않다. 본 연구에서는 지문인식센서 검사부의 프로브 소재와 구조를 최적화하여 검사부를 제작하고 상용 지문인식센서로 검사부의 재현성을 확인하여 실제 센서 품질평가 장비에 적용가능한지 살펴보았다.

2. 실험 방법

검사부는 특정 전류를 인가하여 지문인식센서에 걸리는 전압의 변화로 센서의 품질을 판단하는 평가 시스템의 부분으로, 지문인식센서를 고정하는 지그부와 지문인식센서 전극에 접촉하는 프로브로 구성되며 각 지그 및 프로브는 내부에 탑재된 공압 실린더로 동작한다. Fig. 1은 지문인식센서 검사부 구조 모식도를 보여주며, 본 연구에서 사용한 상용 지문인식센서 부품사진 및 구조 모식도는 Fig. 2에 나타냈다.

센서 전극의 표면처리를 확인하기 위해 센서를 수직방향으로 100 RPM의 속도로 미세연마 후 전계 방출형 주사현미경(Field emission scanning electron microscope, FE-

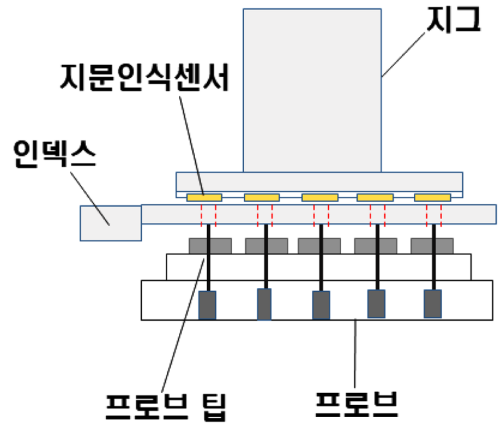


Fig. 1. A schematic of an inspection part for fingerprint sensors.

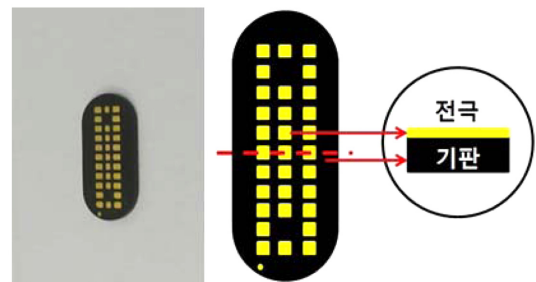


Fig. 2. An optical image of commercial fingerprint sensor and a schematic of sensor structure.

SEM)으로 단면을 관찰하였고, Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS)로 지문인식센서 전극의 성분을 분석하였다.

소재 적합성은 니켈(Ni), 스틸(SK4), 베릴륨동(Beryllium copper), 인청동(Phosphor bronze)을 프로브 팁으로 사용하여 지문인식센서 전극과 접촉 시 발생하는 압흔 크기와 접촉저항 값의 변화를 비교하여 판단하였다. 접촉저항 측정기로 프로브 팁과 전극 간의 접촉저항을 측정 비교하였으며, 프로브 팁의 소재별 압흔은 인덱스에 고정된 지문인식센서의 전극을 12.5 gf 하중, 1 m/s의 속도로 1회 접촉한 후 광학현미경을 이용하여 지문인식센서 전극의 표면을 관찰하였다.

재현성 평가는 지문인식센서 전극과 검사부 프로브 팁을 300회 접촉하는 동안 전압의 변화를 확인하였다. 시험 조건으로는 상온, 대기 환경에서 지문인식센서에 Polydimethylsilne (PDMS) 필름을 부착하여 센서가 지문 정보를 읽을 때의 환경을 모사하였으며, PDMS 필름 부착 시 5 mA, 제거 시 500 uA의 전류를 인가하여 전압값을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 센서 전극의 표면처리

검사부 내 프로브 팁 소재의 최적화를 위해 지문인식

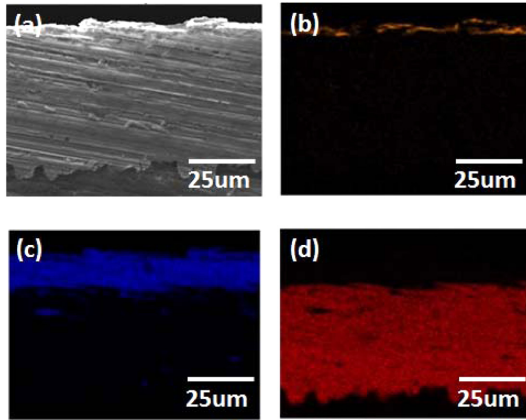


Fig. 3. (a) A cross-sectional FE-SEM micrograph and (b-d) EDS area mapping images of the fingerprint sensing electrode: (b) Au, (c) Ni, and (d) Cu.

센서 전극의 구조와 성분을 분석하였다. 센서 전극의 표면처리하는 전극의 내식성, 기계적 특성, 표면에서의 반응, 솔더링 시 젖음성, 접합부의 장기적 신뢰성에 미치는 주요 인자로서 외부요인에 민감한 전자부품의 신뢰성 확보를 위해 필수적이다. Fig. 3은 FE-SEM을 통해 지문인식센서 전극의 단면 분석 결과를 보여준다. 전극표면으로부터 금, 니켈, 구리 순으로 적층된 구조이며, 전체 두께는 약 45 μm 이다. 구성성분과 구조 분석을 통해 지문인식센서 전극의 표면처리 종류는 electroless nickel immersion gold (ENIG)임을 확인하였다. 산화가 쉽게 일어나는 구리에 니켈을 적층하여 구리의 산화를 방지하고, 구리대비 니켈의 낮은 전기전도도 및 내산화성을 금으로 보완한다. 따라서 프로브는 팁에 접촉되는 ENIG 표면처리 전극의 물리적 변형과 반복 접촉으로 인한 프로브 팁 변형을 최소화하는 금속소재가 필요하다.

3.2. 프로브 소재 적합성

프로브 팁의 대표적인 소재로는 고탄소강, 니켈, 인청동, 베릴륨동이 있으며, 프로브 팁의 접촉 후 전극의 압흔을 관찰한 전극 표면 사진을 Fig. 4에 나타내었다. 일반적으로 낮은 경도 값을 가지는 소재에 따라 큰 압흔이 형성된다는 사실은 경도시험을 통해서 널리 알려져 있으며, 다음 식을 통해서 증명되어있다.

$$H_B = \frac{P}{\pi Dh}$$

H_B 는 브리넬 경도, P 는 하중, D 는 압흔, h 는 압흔의 깊이를 나타낸다. 프로브 팁 압흔의 크기는 니켈이 가장 큰 직경 약 200 μm 의 크기를 가지며, 고탄소강이 약 150 μm , 인청동이 약 60 μm 를 가진다. 베릴륨동의 압흔은 전극표면의 거칠기 이하의 크기로 정량적 측정이 어려웠다. 니켈, 스틸, 베릴륨동, 인청동의 경도가 각각 90~120 H_R , 85.6 H_R , 45~85 H_R , 85 H_R 인 점을 고려할 때, 전극에 형성

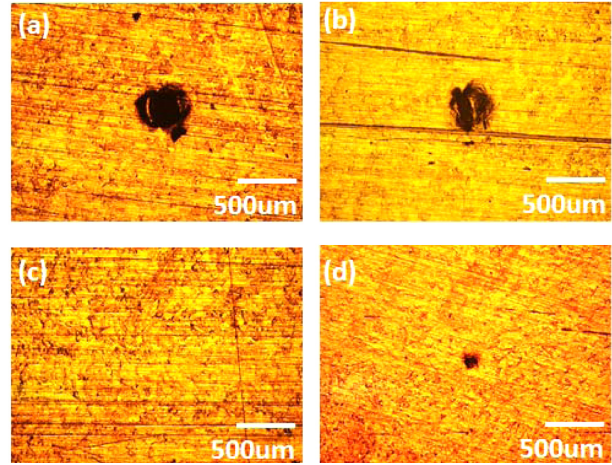


Fig. 4. Optical micrographs of indentation depending on probe tip materials: (a) Ni, (b) steel, (c) beryllium copper, and (d) phosphor bronze.

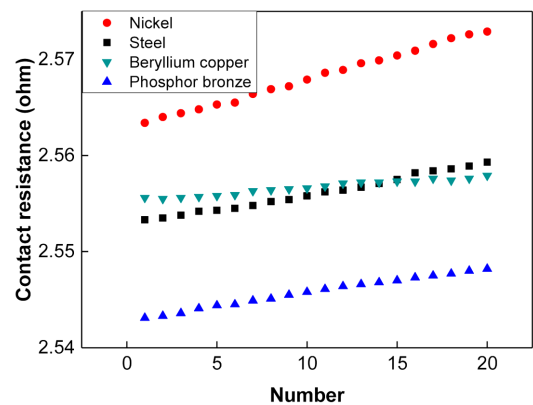


Fig. 5. Variation of contact resistance depending on the probe tip materials.

된 압흔 크기는 프로브 팁 소재의 경도 크기와 유사한 경향성을 보인다. 따라서, 지문인식센서의 전극 손상으로 지문의 인식률과 인식속도를 급격히 저하시킬 수 있는 높은 경도의 금속 대신 낮은 경도의 금속이 프로브 팁에 더 적합할 것으로 사료된다.

Fig. 5는 지문인식센서 전극에 프로브 팁을 20번 접촉하는 동안 발생하는 접촉저항 값의 변화를 나타내고 있다. 반복되는 프로브 팁의 접촉에 의해 접촉저항이 변화하였으며, 이는 지문인식센서 전극의 손상을 정량적으로 평가할 수 있다. 니켈, 스틸, 베릴륨동, 인청동의 초기 접촉 저항은 2.56 Ω , 2.55 Ω , 2.55 Ω , 2.54 Ω 의 값을 나타냈다. 접촉저항의 증가비율은 베릴륨동(0.09%) < 인청동(0.22%) < 스틸 < 니켈(0.28%) 순으로 증가하였다. 상기 결과는 접촉 횟수가 증가할수록 압흔의 크기도 증가하는 순서와 경향이 유사하여 프로브 팁 접촉 시 지문인식센서 전극의 손상이 접촉저항 증가에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 베릴륨동의 경우 인청동보다 상대적으로 높은 접촉저항 값을 가지는 것에 비해 프로브 팁을 반복 접촉 시 접촉저

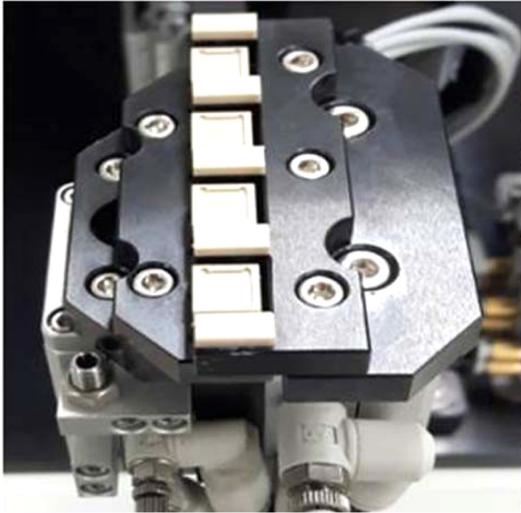


Fig. 6. A photograph of inspection parts manufactured with single-unit probe structure.

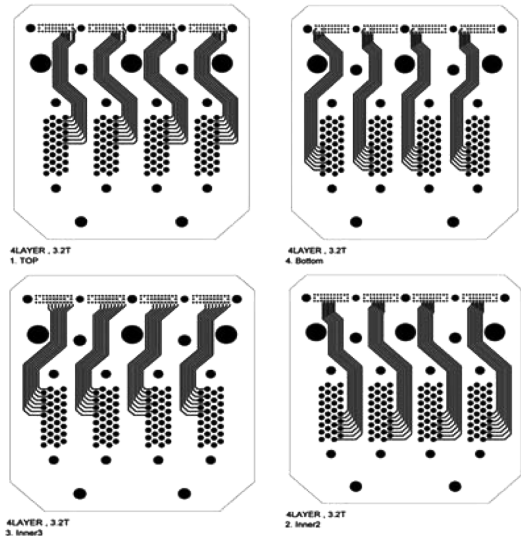


Fig. 7. PCB structure divided by four layers.

항의 변화가 안정적으로 나타났다. 또한, Fig. 4에서 살펴 보았듯이 베릴륨동의 압흔 형상의 크기가 스틸과 니켈에 비해 비교적 크지 않은 점을 고려할 때 지문인식센서의 품질평가를 위한 프로브 팁 소재로 베릴륨동이 가장 적합한 특성을 보여준다.

3.3. 프로브 및 PCB 구조

프로브 핀이 지문인식센서 전극표면에 정확한 위치로 접촉과 전극의 손상을 방지하기 위해서는 팁을 지지하고 완충작용을 해줄 수 있는 프로브 매립구조 설계가 필요하다. 일체형 프로브 방식은 지문인식센서 전극에 팁이 정확하게 접촉 될 수 있도록 팁의 끝부분만 돌출된 구조로 지지부위가 존재한다. 따라서, 많은 수의 프로브를 매립할 수 있기 때문에 다수의 센서를 동시에 검사할 수 있고 주변 환경에 의한 오염의 여지가 적다. 일체형 프로브

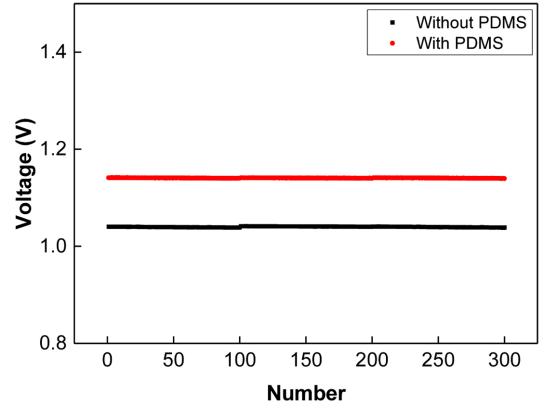


Fig. 8. Voltage variations of fingerprint sensors with or without PDMS films during 300 times of probe contacting.

구조로 제작한 지문인식센서 검사부 사진은 Fig. 6에서 나타내었다. 일체형 프로브 팁의 매립구조 변경은 매립된 핀 개수의 증가에 따라 연결되어야 하는 회로의 수를 증가시킨다. 다수의 회로를 PCB 기판에 구성할 경우, 각 회로간의 접촉으로 인해 단락이 일어날 확률이 높아지며, 회로 간의 간격을 넓히면 PCB 전체의 크기가 커지기 때문에 전체적인 검사부 구조가 비대해진다. 이러한 문제를 해결하기 위해 한번에 4개의 지문인식센서를 검사할 수 있도록 4개의 레이어를 적층한 다층구조 PCB를 설계하였다. 지문인식센서 32개의 전극을 각 레이어당 8개씩 분리하여 8개의 PCB 전극과 연결하는 회로를 구성하였다. 따라서, 각 레이어당 32개의 회로로 4개의 레이어를 적층할 시 총 128개의 지문인식센서 전극과 연결한 회로를 구성할 수 있으며, 이는 지문인식센서에 존재하는 4개의 모든 전극과 연결할 수 있는 구조이다. 4개의 레이어로 분할된 PCB 구조는 Fig. 7에서 확인 할 수 있다.

3.4. 검사부 재현성

일체형 구조로 제작한 지문인식센서 검사부의 재현성을 평가하기 위해 프로브 팁 접촉 횟수에 따른 전압의 변화를 Fig. 8에 나타냈다. 지문인식센서 검사장비로 측정된 전압의 최소값과 최대값의 차가 0.03V 이하일 때 일반적으로 센서 품질평가의 재현성이 안정적이라고 알려져 있으며, 베릴륨동 프로브 팁과 일체형 프로브 구조의 검사부는 PDMS 필름 유무에 따라 각각 0.002V와 0.003V로 두 조건 모두 재현성 허용치 범위의 값을 확인하였다. 지문인식센서 검사부의 재현성 확보를 위해서는 프로브 소재의 적합성과 검사부의 구조 설계가 중요한 요소임을 알 수 있다.

4. 결 론

지문인식센서 검사부의 우수한 재현성 확보를 위해 센서의 전극에 접촉되는 프로브 팁의 소재와 프로브 구조

를 연구하였다. 프로브 팁과 지문인식센서 전극 간 접촉으로 생긴 압흔은 베릴륨동이 가장 작았으며, 인칭동에 비해 베릴륨동이 높은 접촉저항을 갖지만 전극과의 반복 접촉 시 베릴륨동 프로브 팁의 접촉저항 변화가 가장 작다. 프로브 팁 접촉 시 센서의 전극 손상을 최소화하기 위해서는 일체형 프로브 구조를 도입하였으며 검사 효율성 향상을 위해 검사부 PCB를 다층구조로 제작하였다. 베릴륨동 프로브 팁과 일체형 프로브 구조의 검사부는 전압의 최소값과 최대값 오차가 0.002~0.003V로 매우 우수한 재현성을 나타냈다.

감사의 글

본 연구는 전라북도 R&D 지원사업의 지원(20161007-C1-021)에 의해 수행되었습니다.

References

1. J. S. Lee, J. H. Kim, J. S. Chae, and B. S. Lee, "A Detection Method of Fake Fingerprint in Optical Fingerprint Sensor", *Journal of Korea Multimedia Society*, 11(4), 492 (2008).
2. Y. E. Jeon, Y. J. Lee, M. K. Jang, B. M. Seo, I. H. Kang, M. T. Hong, J. M. Lee, E. Jacques, T. Mohammed-Brahim, and B. S. Bae, "Capacitive sensor array for fingerprint recognition", *Proc. 10th International Conference on Sensing Technology (ICST)*, China, 1, IEEE (2016).
3. K. S. Kim, and D. U. Kim, "Overview on Smart Sensor Technology for Biometrics in IoT Era", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 23(2), 29 (2016).
4. M. Lokie, "Biometric Technology", Heinemann, 1, England (2002).
5. D. Maltoni, D. Maio, A. Jain, and S. Prabhakar, "Fingerprint Sensing", *Handbook of Fingerprint Recognition*, Springer Verlag, 1, pp.57-60, Germany (2003).
6. A. Jain, L. Hong, and R. Bolle, "On-line fingerprint verification", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19(4), 302 (1997).
7. G. B. Shin, K. H. Jung, D. W. Kang, and K. D. Kim, "A Study on Implementation of Finger-Print Identification System Using Optical Sensor", *Proc. Korean Society of Broadcast Engineers Conference*, The Korean Institute of Broadcast and Media Engineers, 67 (2005).
8. J. Y. Lee, and C. H. Choi, "Sensitivity Improvement of 3-D Hall Sensor using Anisotropic Etching and Ni/Fe Thin Films", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 8(4), 17 (2001).
9. Y. S. Ahn, W. H. Kim, H. K. Oh, K. B. Park, K. Y. Kim, and S. H. Choa, "Characteristics of Flexible Transparent Capacitive Pressure Sensor Using Silver Nanowire/PEDOT:PSS Hybrid Film", *J. Microelectron. Packag. Soc.*, 23(3), 21 (2001).
10. K. H. Yu, H. S. Lee, and Y. S. Bae, "Sensor Performance Evaluation Analysis of Imitation Fingerprint", *Journal of Korea Multimedia Society*, 562 (2007).
11. S. M. Jung, and M. K. Lee, "High Performance Circuit Design of a Capacitive Type Fingerprint Sensor Signal Processing", *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, 41(3), 109 (2004).
12. E. B. Yi, S. W. Jun, C. W. Ryu, and H. I. Kim, "Development of a Fingerprint Recognition System for Various Fingerprint Image", *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, 40(6), 10 (2003).
13. J. M. Nam, and S. M. Jung, "A Circuit Design of Fingerprint Authentication Sensor", *J. Korean Inst. Commun. Inf. Sci.*, 29(4), 4 (2004).
14. H. S. Shim, J. S. Hong, and S. K. Kim, "Characterization of Probe Pin", *Journal of The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, 291 (2014).
15. Y. R. Oh, Y. J. Kim, H. S. Nam, U. G. Park, H. J. Lee, and J. Y. Kim, "Design of Vertical Type Probe Tip Using Finite Element Analysis", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 36(8), 851 (2012).
16. G. H. Kim, and D. W. Lee, "Development of Optical Probe to Inspect Micron Scale Part in Micro-Factory", *Proc. Journal of the KSMTE*, 4491 (1999).
17. S. R. Maeng, J. H. Jin, J. Buajarern, J. W. Kim, J. A. Kim, and C. S. Kang, "Design and Fabrication of a Step Height Certified Reference Material for Multi-probe Inspection Instruments", *Journal of The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, 28(3), 323 (2011).