

특집 : 스마트 디바이스의 생체인식 기술

사물인터넷 시대의 생체인식 스마트 센서 기술과 연구 동향

김광석 · 김대업[†]

한국생산기술연구원

Overview on Smart Sensor Technology for Biometrics in IoT Era

Kwang-Seok Kim and Dae Up Kim[†]

Carbon & Light Materials Application Group, Korea Institute of Industrial Technology, 222 Palbok-ro, Deokjin-gu, Jeonju 54853, Korea

(Received June 4, 2016; Corrected June 8, 2016; Accepted June 14, 2016)

Abstract: With the pace of rapid innovation in technology of IoT (Internet of Things) and smart devices, biometric technology becomes one of the most progressive industries. Recent trends in biometrics show most are focused on embedding biometric sensors in mobile devices for user authentication. Multifactor biometrics such as fingerprint, retina, voice, etc. are considering as identification system to provide users with services more secured and convenient. Here we, therefore, demonstrate some major technologies and market trends of mobile biometric technology with its concerns and issues.

Keywords: Biometric technology, Fingerprint recognition, Smart sensor, Mobile device, IoT

1. 서 론

최근 스마트폰을 비롯한 모바일 디바이스의 급격한 확산과 사물인터넷 기반의 네트워크 통신 기술의 발달로 디바이스 사용자의 안전한 인증 기술개발의 필요성이 대두되고 있다.¹⁻³⁾ 모바일 디바이스의 특성상 업무처리나 서비스 이용을 시간과 공간에 제약 없이 언제든지 개방된 무선 네트워크에 접속하여 활용할 수 있어, 사용자의 주요 개인정보나 인증 등 보안 기술에 대한 관심도 증가하고 있다. 이에 따라 모바일 플랫폼에서 사용가능한 사용자 편의중심의 모바일 서비스와 높은 보안성을 갖는 사용자 인증을 위하여 생체인식 기술 확보가 모바일 하드웨어 및 소프트웨어 업체의 경쟁력을 좌우하고 있다.^{4,5)}

생체인식은 지문, 홍채, 얼굴 등 사용자 개인의 신체적 특징이나 음성, 서명, 걸음걸이 등의 행동적 특성을 활용하여 사용자를 식별하는 기술을 의미한다. 개인의 고유 특성을 통한 사용자 인식기술이므로 타인에 의해 도용이나 복제되기가 어렵고 조작이나 분실 위험이 없어 기존의 ID/PW, 또는 PIN방식의 기술에 비해 안전하고 편리한 장점이 있다. 그림 1은 생체인식의 예를 나타내고 있으며 표 1은 생체인식 기술의 장단점을 비교하였다. 생체인식 시스템은 크게 사용자 등록, 인증, 식별로 구분되며

인터넷이나 모바일과 같은 정보통신 기반 인터넷뱅킹, 모바일결제 등의 전자상거래 시장뿐만 아니라 국방/수사, 학교, 공공, 의료, 마케팅 부문까지 다양한 응용분야에서 널리 활용되고 있다.^{5,6)}

가장 보편적인 생체인식 기술로는 지문인식 방식이 있으며 스캐너를 통해 간단하게 지문패턴을 읽어 보안이 적용되기 때문에 생체인식 기술 가운데 가장 간편하고 비용이 저렴하다는 특성이 있다. 사용자 등록 시 지문을 이미지로 찍고 그 특징을 추출하여 지문 데이터로 저장하게 되는데 정확한 정보만을 추출하기 위하여 지문의 평활화(Smoothing), 이진화(Binarization), 세선화(Thinning) 과정을 거친다.^{7,8)} 위 알고리즘을 통해 지문 데이터의 양을 축소하고 데이터베이스로부터 지문영상을 쉽게 처리할 수 있도록 할 수 있다. 이러한 이유로 지문인식 기술은 신뢰도와 안정성 및 인식속도 측면에서 타 인식기술에 비해 뛰어나 가장 널리 활용되고 있는 생체인식 시스템이다.^{9,10)}

지문인식 센서는 광학방식과 비 광학방식으로 크게 2가지로 구분되며, 출입접근 통제, 근태관리, 가정집 도어락 등 물리보안 영역은 주로 광학식 지문인식방법^{11,12)}을 활용하고 있고, 스마트폰을 비롯한 모바일 디바이스에서는 경박단소가 가능한 반도체 센서 기반의 정전식 지문

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

© 2016, 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.

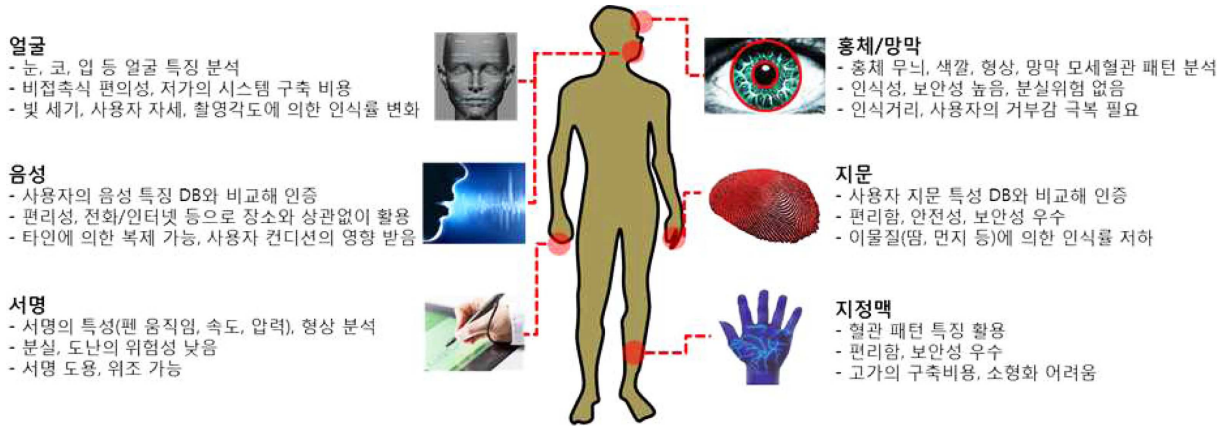


Fig. 1. A few examples of biometric solutions and their properties.

Table 1. Merits and demerits of biometric solutions

생체인식 기술	장점	단점
지문 (Fingerprint)	저렴한 비용, 우수한 안정성	지문이 보이지 않거나 손상될 가능성
얼굴 (Face)	쉽고, 빠르고, 비용 저렴	조명 및 자세에 따라 영향을 받고 정확도 낮음
장문/손모양 (Palm/Hand geometry)	최소의 저장용량 필요	처리속도가 늦고 정확도 떨어짐
홍채 (Iris)	위조 불가능	대용량 특징 벡터 (256bytes)
망막 (Retina)	안정성 우수	사용 거부감
성문 (Voiceprint)	저렴한 비용, 원격접근 용이	처리속도 늦고, 사람 상태에 쉽게 영향
필체 (Signature)	저렴한 비용	사람 상태에 쉽게 영향, 높은 오인식률

인식 방법을 사용한다.¹³⁻¹⁵⁾ 본 고에서는 모바일용 생체인식 센서 및 모듈 패키징 산업과 연구 동향, 그리고 기술적 주요 이슈를 분석하여 향후 생체인식 센서의 발전 방향을 살펴보고자 한다.

2. 생체인식 산업의 특성과 국내외 시장 동향

생체인식 산업은 사용자의 생체정보를 정보통신 산업과 접목한 분석 시스템을 통해 사용자 인증 수단으로써 활용하는 산업이다. 사용자의 생체정보에 대한 통계학적 데이터베이스 구축과 적용 장비에 최적화된 기술적 신뢰성 확보를 요구하며, 핵심기술에 대한 지식재산권 등 기술적 진입장벽이 높아 관련 분야에 대한 연구개발 인프라와 기술적 경험을 갖고 있는 소수의 업체에 의해 산업

이 좌우되는 특성이 있다. 1990년대 이후 정보통신 기술의 발달로 생체인식 기술의 안정성, 센서 부품과 디바이스의 소형화 및 다기능화 등 기술적 집적도 향상, 제품가격 인하 등으로 적용 분야를 확대하며 생체인식 산업이 대중화되기 시작했다.¹⁶⁻¹⁹⁾

International Biometric Group의 시장조사(표 2)에 따르면 2000년 세계 시장규모가 2억달러에 불과하던 생체인식 시장은 2009년 34억달러, 2013년에는 78억 달러 규모로 성장하여 연평균 23%의 성장률을 나타냈다.²⁰⁾ 생체인식 기술별로는 지문인식 관련 시장이 높은 편의성과 보안성을 바탕으로 약 24억 달러의 시장규모로 전체 시장의 약 30%를 차지하며 전체 생체인식 산업의 성장을 견인하고 있다. 생체인식 시장의 지역별 동향은 2013년 북미 시장이 전체의 30.9%를 차지하여 미국을 중심으로 가

Table 2. Trend of regional market for biometric technology (Million \$) (Source : IBG report)

구분	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년
남미	304.6	395.6	502.2	621.3	794.9	918.2
아시아	828.2	1,035.2	1,264.8	1,505.8	1,760.8	2,061.2
중동/인도	355.9	481	633.5	810.8	1,016.9	1,274.2
유럽	708.4	857.4	1,012.0	1,160.9	1,304.1	1,461.6
북미	1,031.1	1,320.1	1,654.2	2,020.4	2,424.6	2,913.7
아프리카	195.1	267.5	356.9	462	585.4	740.1
합계	3,422.3	4,356.8	5,423.6	6,581.2	7,846.7	9,369.0

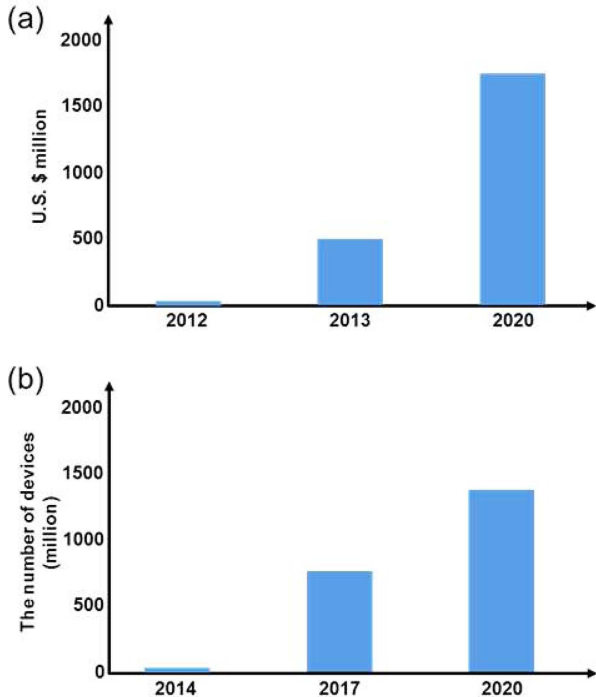


Fig. 2. Global market forecasts for biometric technology.²⁰⁾

장 큰 시장을 형성하고 있으며 그 뒤로 아시아/태평양 시장이 22.4%를 차지한다. 미국과 유럽을 중심으로 생체인식 기술개발을 주도하여 선진국 중심의 시장을 형성하고 있으나 향후 경제성장과 사회고도화가 빠르게 진행중인 아시아 지역을 중심으로 생체인식 시장이 급격하게 성장할 것으로 예상된다. 2013년 이후에는 삼성과 애플이 지문인식 센서를 스마트폰에 도입하여 자사가 제공하는 모바일 쇼핑, 금융결제 서비스와 연동하면서 모바일 지문인식 센서 시장이 급속도로 확대되고 있다. 이에 따라 그림 2와 같이 모바일 지문인식 센서 시장규모는 2020년까

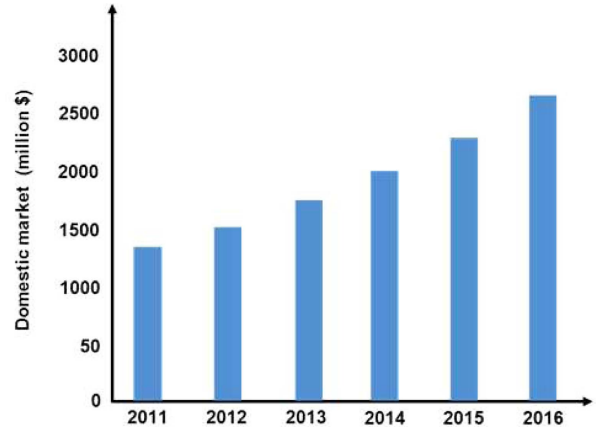
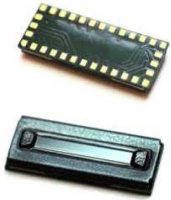
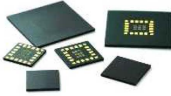



Fig. 3. Domestic market forecast for biometric technology (Source: KISTI report).

지 17억 달러로 급성장할 것으로 예측되며 지문인식 센서 탑재 스마트폰 수는 향후 2020년까지 14억대로 늘어날 전망이다.

한국과학기술정보연구원의 통계에 따르면 국내 생체인식 시장의 경우 2012년 1,716억원의 규모이며 지문인식 시장은 전체의 약 62.9%를 차지하고 있다. 향후 2017년 국내 시장매출이 4,282억원에 달해 연평균 성장률이 약 23%에 육박할 것으로 추정된다(그림 3).²⁰⁾ 이는 스마트폰 보급과 무선통신 기반의 모바일 디바이스 응용서비스 보편화로 관련 시장 규모가 급격하게 증가하고 지문인식 외 다양한 생체인식 기술이 모바일 디바이스와 결합하면서 시장은 성장기를 지속할 것으로 예상된다. 국내 생체인식 관련 업체는 지문인식 기술분야에서 미국 NIST 성능 경진대회에 두각을 나타내는 등 경쟁력을 갖추고 있는 것으로 평가되며, 최근 모바일 생체인식을 위해 홍채인식 기술 적용 노력과 정맥인식 기술의 경우도 국제표준 정

Table 3. Merits and demerits of various fingerprint sensors for mobile devices

종류	구성	장 점	단 점
스вай프 (Swipe) 센서		<ul style="list-style-type: none"> • 소형 및 경량화 가능 • 건조한 손가락 인식을 높음 • 손가락 크기의 영향 없음 	<ul style="list-style-type: none"> • 이물질에 취약 • 일정한 속도로 스캔 필요 • 사용자의 숙련도 요구
반도체식 센서		<ul style="list-style-type: none"> • 소형 및 경량화 가능 • 건조한 손가락 인식을 높음 • 손가락 크기의 영향 없음 	<ul style="list-style-type: none"> • 외부 충격에 강함 • 습기에 민감 • 광학식 센서에 비해 내구성 및 이미지 질이 떨어짐
광학식 센서		<ul style="list-style-type: none"> • 외부 충격에 강함 • 습기에 강함 • 500 dpi 이상의 양질의 이미지 	<ul style="list-style-type: none"> • 크기가 큰 건조한 지문에 불리 • 작은 손가락은 인식을 낮음 • 이물질에 취약

맥 데이터 교환포맷 활용으로 세계적인 기술 우수성을 갖는 것으로 평가되고 있다.^{21,22)}

3. 모바일 생체인식 기술개발 동향

모바일 디바이스의 다기능화 및 사물인터넷 기술을 비롯한 무선 네트워크 통신기술의 발달은 모바일 디바이스의 잠금해제와 같은 단순기능 뿐만 아니라 다양한 모바일 서비스의 보안, 인증 기능의 요구 증대로 복제 가능성이 낮은 생체인식 기술을 도입하는 단말기가 급증하고 있다. 별도의 비밀번호 입력 없이 간편하면서 정확한 사용자 인증이 가능하고 디바이스를 분실한 경우에도 타인의 접근과 사용 위험을 방지할 수 있어 개인정보 보호에도 유리하기 때문에 최근 금융결제 서비스와 맞물려 생체인식 디바이스의 보급이 확대되고 있는 것이다.²³⁻²⁵⁾

지문인식의 경우 모토로라 사에서 지난 2011년 2월에 출시한 ‘아트릭스’ 모델을 시발점으로 2013년 국내 팬택사와 미국 애플 사가 차례로 스마트폰에 지문인식 스캐너를 탑재하여 사용자의 보안성과 편의성을 지원하였다. 삼성을 비롯한 초기 지문인식 센서는 손가락을 센서부에 긁어내려 스캔하는 스와이프(Swipe) 방식인데 반해 애플의 아이폰5S의 경우 Touch ID 기술을 도입하여 센서에 손가락을 대는 형태의 에어리어(Area) 방식을 발표하면서 지문인식 기술의 큰 관심을 불러 일으켰다. 표 3은 지문인식 센서의 방식과 장단점을 나타내고 있다. 지문인식 센서는 에어리어 방식과 사파이어 글래스로 표면처리한 방식의 프리미엄용과 스와이프 방식이나 사파이어 글래스 외 기타 공법으로 표면처리한 방식의 중저가로 분류된다. 애플 사 이외의 지문인식 센서 모듈업체는 스와이프 타입(그림 4a)²⁶⁾을 채택하였으며, 스와이프 타입의 경우 에어리어 타입(그림 4b)²⁶⁾과 달리 사용자의 지문 조각조각 정보를 조합하는 과정이 필수적이기 때문에 인식

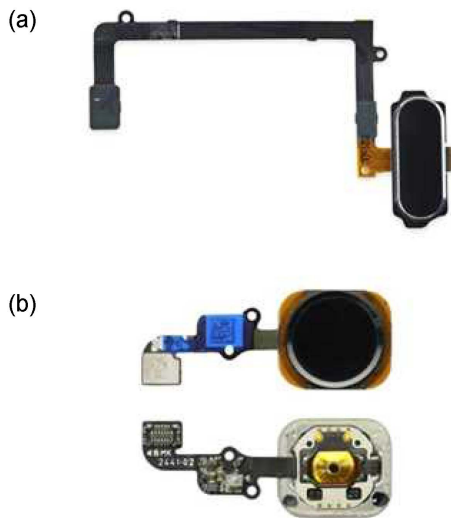


Fig. 4. Modules of fingerprint sensors for (a) Samsung GalaxyS6 and (b) Apple iPhone 6.²⁶⁾

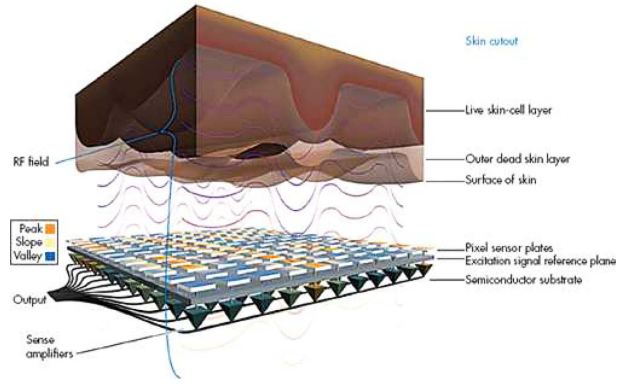


Fig. 5. A schematic of the fingerprint sensor using RF imaging developed by Authentec.^{10,27)}

성능 측면에서 에어리어 타입보다 지문인식 알고리즘 최적화가 중요하다고 할 수 있다. 그림 5는 Authentec 사에서 개발한 지문인식 센서로 정전용량 기반 RF 기술을 접목하여 지문표면의 각질 아래에 보호된 진피층의 지문을 감지할 수 있도록 제작하였으며, 퀄컴 사는 초음파 기술을 활용하여 지문을 3D로 인식하는 기술을 발표하였다.^{10,27)} 모바일 디바이스 관련 업체들은 지문인식 센서의 독자적 기술 확보와 지문인식 센서를 활용한 다양한 기능을 개발하며 모바일 생체인식 기술개발 경쟁에 뛰어들고 있다. 2014년 하반기부터 스마트폰 내 지문인식 센서 적용이 점진적으로 확대되고 있으며 앞으로 지문인식 범위의 확장성, 모바일 금융결제 서비스의 안정성 등이 주요 기술적 이슈가 될 것으로 예상된다.

국내 지문인식 관련 대표적 업체는 슈프리마, 크루셜텍, 파트론, 드림텍 등이 있으며 대부분 지문인식 센서 패키징 중심의 사업구조를 갖고 있다. 지문인식 센서 개발업체들은 터치스크린과 지문인식 센서를 결합하는 기술개발을 진행하고 있으며, 사용자 측면을 고려하였을 때 터치스크린 상에 지문인식 센서가 위치하는 것이 가장 편리하고 이상적인 활용도를 지원할 것으로 예상하고 있다. 이에 따라 그림 6과 같이 LG는 지문인식 센서를 디스플레이 바로 아래 0.03 mm 틈새에 삽입하여 물리적 지문인식 센서 버튼이 없이 디스플레이 일체형으로 지문인식이 가능하다고 밝혔으며, 사용자 외 타인이 잠금해제를 할 수 있는 확률이 0.002%로 인증 정밀도가 매우 높아 향후

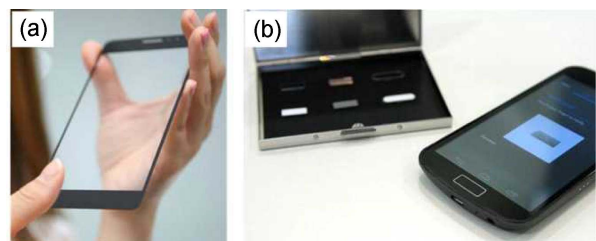


Fig. 6. In-glass fingerprint sensors for mobile display integration developed by (a) LG²⁸⁾ and (b) Crucialtec.²⁹⁾

방수/방진 성능이 우수한 스마트폰을 제조할 수 있을 것으로 기대한다.²⁸⁾ 크루셜텍 사가 개발한 글래스 일체형 지문인식 기술도 물리적 버튼 없이 커버 글래스에 최적화된 패키징 기술과 자체 지문인식 알고리즘 개발로 디스플레이 부분과 연결된 터치 비활성 화면에서 지문인식이 가능해 제품의 디자인 변화 없이 지문인식이 가능하다.²⁹⁾

4. 모바일 지문인식 센서 및 모듈 패키징 기술개발 동향

지문인식 센서 모듈 제조는 크게 지문센서 패키징 공정과 이를 디바이스 모듈화하는 조립공정으로 구분된다. 지문인식 센서는 카메라 이미지 센서와 유사한 실리콘 기반 CMOS(Complementary metal-oxide-semiconductor)로 고 수율과 고 신뢰성의 센서 제조를 위하여 다양한 반도체 패키징 기술이 적용된다.³⁰⁻³⁶⁾ 조립공정은 제조한 센서 패키지를 연성회로기판(Flexible printed circuit board, FPCB)과 연결하고 UV 코팅 등 표면처리된 센서보호 커버링(Covering), 베젤링(Bezeling), 마감처리 등을 포함한다. 그림 7은 주요 스마트폰의 지문인식 센서 모듈을 나타내고 있다.²⁶⁾

Amkor 사는 그림 8과 같이 WLFO(Wafer level fan out) 공정 기술을 활용하여 지문인식 센서를 패키징하는 기술

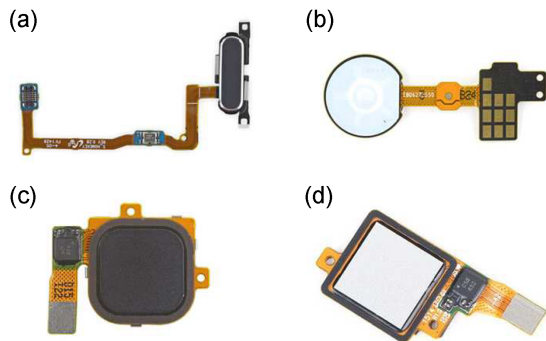


Fig. 7. Module images of fingerprint sensors manufactured by (a) Samsung (Galaxy Note 4), (b) LG (G5), (c) Google (Nexus 6P), and (d) Hauwei (Honor 7).²⁶⁾

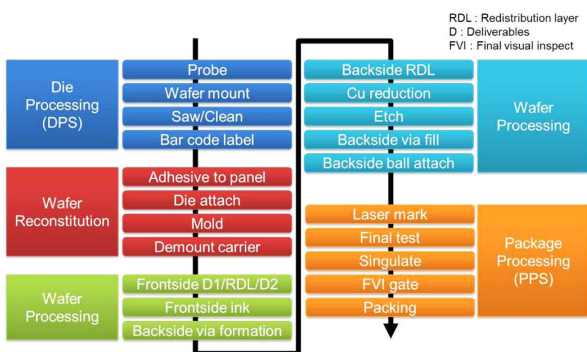


Fig. 8. A process flow of WLFO fingerprint sensors developed by Amkor.³⁷⁾

을 개발하였다.³⁷⁾ 반도체 공정의 미세화로 제작되는 반도체 칩의 크기는 계속 작아지면서 입출력 단자 수 확보가 어려워지기 때문에 팬아웃(Fan-out) 패키지 구조를 통해 입출력 단자 배선을 칩 크기보다 더 넓은 영역에서 활용할 수 있다. 그림 9는 팬인(Fan-in) 패키지와 팬아웃 패키지의 구조를 비교한 것으로 지문센서의 소형화에 따라 팬아웃 구조의 유리함을 나타내고 있다. 또한 지문센서 패키징 시 TSV(Through silicon via) 구조 (그림 10)를 도입하여 커버 강화유리에 더 가까운 거리를 확보하려는 시도가 이루어지고 있으며, 이를 통해 EMC (Epoxy molding compound) 몰딩과 와이어 본딩 공정을 최소화하여 우수한 전기적 특성의 패키지를 구현할 수 있다. 향후 제품의 크기가 더욱 소형화될 경우 우수한 전기적 특성과 열방출 특성을 구현할 수 있는 QFN(Quad-flat no-leads) 패키징 구조의 도입이 예상된다.

모바일 지문인식 센서는 디바이스 표면에 노출돼 있는 구조이기 때문에 센서 보호용 소재를 커버링 하는데, 애플 사 아이폰의 경우 약 260 μm 두께의 사파이어 글래스를 사용하고, 나머지 업체의 경우 대부분 레진(Resin)^{38,39)}과 약 20~30 μm 두께의 UV 코팅소재(사파이어 소재 가격의 약 1/7)를 적용하고 있다. 그림 11은 모바일 디바이스에 탑재된 지문인식 센서의 일반적 구조로 글래스에 직접적으로 붙어있는 것과 EMC 및 강화 코팅소재로 마감처리된 것이 있다. 지문센서 커버 소재는 레진의 경우 약 1천만번 사용 시 소재의 굽힘이나 벗겨짐(Delamination)

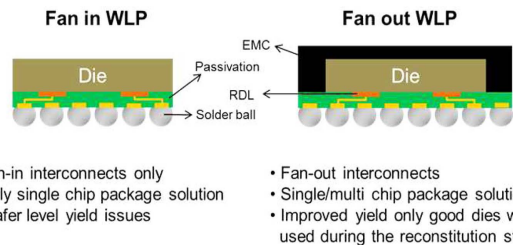


Fig. 9. Schematics of wafer-level package structures (Fan in/Fan out) and their properties.

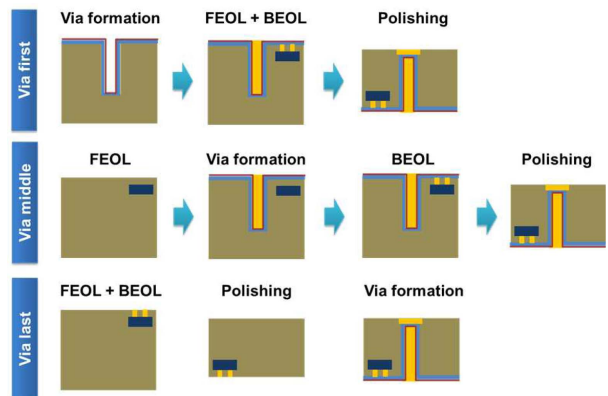


Fig. 10. Three different TSV methods (Source: Wien Institute of Technology).

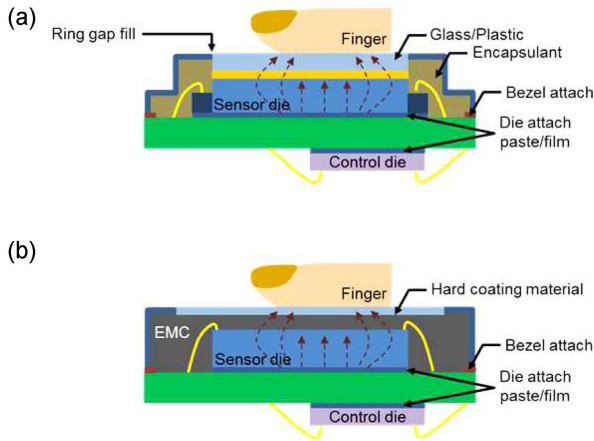


Fig. 11. Schematics of fingerprint sensors for mobile devices: (a) glass attached directly to sensor die and (b) glass replaced with hard coating on top of EMC.

으로 센싱에 영향을 주기 때문에 최근에는 레진을 대체하는 세라믹이나 강화유리 등을 적용하려는 시도가 이루어지고 있다. 파나소닉 사는 모바일 지문인식 센서 패키지에 적합한 고 유전율 봉지재(Encapsulation materials)를 상용화하여 지문인식 센서의 성능 개선과 패키지 소형화가 가능하다고 발표하였다.⁴⁰⁾ 기존에 널리 사용되고 있는 사파이어 글래스의 경우 센서 패키지의 소형화 및 슬립화가 어렵고 제조공정이 까다로운 단점이 있었으나, 파나소닉 사의 고 유전 봉지재는 1MHz에서 최대 20의 상대유전율과 50 μm 봉지 두께를 제작할 수 있어 패키징 구조 설계의 자유도 확보 및 우수한 지문 이미지 획득이 가능하다.

5. 결 론

본 고에서는 사물인터넷 시대를 맞아 산업적 중요성이 더욱 증대되고 있는 모바일 생체인식 기술과 연구 동향을 지문인식 기술 중심으로 살펴보았다. 모바일 디바이스의 보급 확대와 금융결제 서비스 및 개인정보 보안에 대한 관심이 증대되면서 신뢰도와 편의성이 뛰어난 지문인식 센서 기술이 디바이스에 널리 적용되고 있다. 모바일 지문인식 기술이 보편화 될 것으로 예측되는 가운데 모바일 디바이스 관련 업체들은 독보적 지문인식 기술과 높은 시장점유율 확보를 위해 센서 설계부터 패키징 분야까지 치열한 기술개발 경쟁을 벌이고 있다. 모바일 지문인식 센서의 어셈블리는 지문인식 센서 패키징과 조립 공정으로 이루어지며 센서의 형태, 구조, 위치에 상관없이 지문인식 범위의 확장성과 신속한 본인인증 정확성을 확보할 수 있는 소재 최적화 및 반도체 모듈 패키징 기술을 요구한다. 모바일 디바이스의 경박단소화에 따라 지문인식 센서 패키징의 중요성이 더욱 부각될 것으로 전망되며, 현재의 스마트폰을 넘어서 스마트카드, 스마트워치, 웨어러블 디바이스는 소형화, 저비용, 저전력, 고 신

뢰성 패키징 기술개발이 제품의 성능을 좌우할 것이다. 앞으로 모바일 생체인식 기능은 사물인터넷 기술과 연계하여 서비스 제공의 기본 플랫폼 기술로써 다양한 융합 산업 활성화와 고부가가치 기술 산업으로 발전할 것이다.

References

1. D. Praca and C. Barral, "From smart cards to smart objects: the road to new smart technologies", *Comput. Netw.*, 36, 381 (2001).
2. X. Xia and L. O'Gorman, "Innovations in fingerprint capture devices", *Pattern Recogn.*, 36, 361 (2003).
3. A. K. Jain, "Biometric recognition", *Nature*, 449, 38 (2007).
4. J. Zhou, G. Su, C. Jiang, Y. Deng and C. Li, "A face and fingerprint identity authentication system based on multi-route detection", *Neurocomputing*, 70, 922 (2007).
5. E. P. Kukula, S. J. Elliott and V. G. Duffy, "The effects of human interaction on biometric system performance" in *Digital Human Modeling*, pp.904-914, Springer Berlin Heidelberg, Berlin (2007).
6. S. Memon, M. Sepasian and W. Balachandran, "Review of finger print sensing technologies", *Proc. 12th IEEE International Multitopic Conference (INMIC)*, Karachi, 226, IEEE International (2008).
7. Y. Song, C. Lee and J. Kim, "A new scheme for touchless fingerprint recognition system", *Proc. Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)*, Seoul, 524, IEEE Circuits and System Society (2004).
8. H. Nankjima, K. Kobayashi, M. Morikawa, A. Katsumata, K. Ito, T. Aoki and T. Higuchi, "Fast and robust fingerprint identification algorithm and its application to residential access controller", in *Advances in Biometrics*, pp.326-333, Springer Berlin Heidelberg, Berlin (2006).
9. J.-C. Liu, Y.-S. Hsiung and M. S.-C. Lu, "A CMOS micro-machined capacitive sensor array for fingerprint detection", *IEEE Sens. J.*, 12(5), 1004 (2012).
10. Y. Lu, H. Tang, S. Fung, Q. Wang, J. M. Tsai, M. Daneman, B. E. Boser and D. A. Horsley, "Ultrasonic fingerprint sensor using a piezoelectric micromachined ultrasonic transducer array integrated with complementary metal oxide semiconductor electronics", *Appl. Phys. Lett.*, 106, 263503 (2015).
11. T. Nawas, S. Pervaiz, A. Korrani and A. Ud-Din, "Development of academic attendance monitoring system using fingerprint identification", *International Journal of Computer Science and Network Security*, 9(5), 164 (2009).
12. M. Faundez-Zanuy and J. Fabregas, "Testing report a fingerprint-based door-opening system", *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 20(6), 18 (2005).
13. J. M. Nam, S. M. Jung and M. K. Lee, "Design and implementation of a capacitive fingerprint sensor circuit in CMOS technology", *Sensor. Actuat. A*, 135, 283 (2007).
14. M. Lu, A. Bermak and Y. K. Lee, "Fabrication technology of piezoresistive conductive PDMS for micro fingerprint sensors", *Proc. 20th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)*, Hyogo, 251, IEEE Robotics and Automation Society (2007).
15. T. Shimamura, H. Morimura, S. Shigematsu, M. Nakanishi and K. Machida, "Capacitive-sensing circuit technique for image quality improvement on fingerprint sensor LSIs", *IEEE*

- J. Solid-St. Circ., 45(5), 1080 (2010).
16. M. Tartagni and R. Guerrieri, "A fingerprint sensor based on the feedback capacitive sensing scheme", IEEE J. Solid-St. Circ., 33(1), 133 (1998).
 17. J. W. Lee, D. J. Min, J. Kim and W. Kim, "A 600-dpi capacitive fingerprint sensor chip and image-synthesis technique", IEEE, J. Solid-St. Circ., 34(4), 469 (1999).
 18. S. Shigematsu, H. Morimura, Y. Tanabe and K. Machida, "A single-chip fingerprint sensor and identifier", IEEE, J. Solid-St. Circ., 34(12), 1852 (1999).
 19. H. Morimura, S. Shigematsu and K. Machida, "A novel sensor cell architecture and sensing circuit scheme for capacitive fingerprint sensors", IEEE J. Solid-St. Circ., 35(5), 724 (2000).
 20. <http://www.newswire.co.kr/newsRead.php?no=768914>.
 21. http://www.ddaily.co.kr/m/m_article.html?no=43884.
 22. http://www.etnews.com/200212090200?koost=hotnews&mc=d_002_00001.
 23. W. S. Kim and W. H. Yoo, "A method for acquiring fingerprint by linear sensor" in Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems, pp.410-416, Springer Berlin Heidelberg, Berlin (2005).
 24. E. Martinelli, M. Stabile, A. Catini, R. Paolesse, A. D'amico and C. D. Natale, "An array of capacitive sensors based on a commercial fingerprint detectors", Sensor. Actuat. B, 130, 264 (2008).
 25. Z. Zhou, M. Wong and L. Rufer, "The design fabrication and characterization of a piezoresistive tactile sensor for fingerprint sensing", Proc. IEEE Sensors, Kona, 2589, IEEE Sensors Council (2010).
 26. <http://blog.daum.net/serapeum/7593844>.
 27. D. Maltoni, D. Mario, A. K. Jain and S. Prabhakar, Handbook of Fingerprint Recognition, 2nd Ed., pp.57-59 Springer London, London (2009).
 28. <http://www.etnews.com/20160501000052>.
 29. <http://news.zum.com/articles/25043046?c=08>.
 30. J. S. Han, T. Kadowaki, K. Sato and M. Shikida, "Fabrication of thermal-isolation structure for microheater elements applicable to fingerprint sensors", Sensor. Actuat. A, 100, 114 (2002).
 31. R. Hashido, A. Suzuki, A. Iwata, T. Okamoto, Y. Satoh and M. Inoue, "A capacitive fingerprint sensor chip using low-temperature poly-Si TFTs on a glass substrate and a novel and unique sensing method", IEEE J. Solid-St. Circ., 38(2), 274 (2003).
 32. N. Sato, H. Morimura, S. Shigematsu, M. Yano, K. Kudou, T. Kamei and K. Machida, "Force-sensing scheme for small mechanical signals in complementary metal oxide semiconductor microelectromechanical system fingerprint sensor", Jpn. J. Appl. Phys., 44(9A), 6481 (2005).
 33. N. Sato, S. Shigematsu, H. Morimura, M. Yano, K. Kudou, T. Kamei and K. Machida, "Novel surface structure and its fabrication process for MEMS fingerprint sensor", IEEE Transactions on Electron Devices, 52(5), 1026 (2005).
 34. P. Schaumont, D. Hwang and I. Verbauwhede, "Platform-based design for an embedded-fingerprint-authentication device", IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 24(12), 1929 (2005).
 35. J. S. Han, Z. Y. Tan, K. Sato and M. Shikida, "Thermal characterization of micro heater arrays on a polyimide film substrate for fingerprint sensing applications", J. Micromech. Microeng., 15, 282 (2005).
 36. Y. Audet, L. Aubray and D. Blouin, "A CMOS fingerprint sensor based on skin resistivity", Proc. IEEE North-East Workshop on Circuits and Systems (NEWCAS), Gatineau, 269, IEEE Circuits and Systems Society (2006).
 37. S. J. Lee, S. W. Kim, G. W. Kim, K. C. Bae, J. H. Yu, J. Y. Kim, H. Y. Yoo and C. H. Lee, "Electrical evaluation of wafer level fan out (WLFO) package using organic substrates for microwave applications", Proc. Electronic System-Integration Technology Conference (ESTC), Berlin, 1, IEEE Components, Packaging and Manufacturing Technology Society (2010).
 38. B. Charlot, F. Parrain, N. Galy, S. Basrour and B. Courtois, "A sweeping mode integrated fingerprinting sensor with 256 tactile microbeams", J. Microelectromech. S., 13(4), 636 (2004).
 39. J. Tabei, H. Sasajima and T. Mori, "Study of epoxy molding compound for fingerprint sensor", Proc. China Semiconductor Technology International Conference (CSTIC), Shanghai, 1, IEEE Components, Packaging and Manufacturing Technology Society (2016).
 40. <http://www.newswire.co.kr/newsRead.php?no=821172>.



- 김광석(金光石)
- 한국생산기술연구원 탄소경량소재응용그룹
- 탄소복합재, 기능성 나노소재, 전자패키징
- e-mail: ore21@kitech.re.kr



- 김대업(金大業)
- 한국생산기술연구원 탄소경량소재응용그룹
- 경량소재부품, 친환경 공정기술
- e-mail: dukim@kitech.re.kr