웨어러블 유기화학센서 기술 동향 및 전망

□ 신을용, 노용영 / 동국대학교

요약

차세대 모바일 기술의 새로운 형태인 웨어러블 디바이스는 현재 많은 ICT분야의 기업뿐만 아니라 스포츠 관련 기업들까지 다양한 제품을 출시하고 있다. 본 기고문에서는 이러한 시점에서 웨어러블 디바이스용 유기전자소자에 대한 기술 동향을 정리하고 이에 대한 향후 전망에 대해서 논의하고자 한다. 특히 다양한 환경을 모니터링 할 수 있는 웨어러블 디바이스형태의 화학 감지 센서에 대한 소재, 소자 및 공정기술에 대한 기술동향에 대해서 보고하고자 한다.

I. 서 론

1차 모바일 혁명이라고도 명명된 스마트폰 기술의 발전은 2009년 아이폰 출시 이후 폭발적인 증가세를 보이며 크게 성장해 왔으며 이제 성숙기에 접어들었다. 현 시점에서 향후 스마트폰을 대체할 수 있을 것으로 예상되는 차세대 모바일 기술로 플렉시블(flexible) 또는 웨어러블(wearable) 디바이스를 꼽을 수 있다. 이러한 새로운 형식의 디바이스 시장은 삼성전자, 애플, 구글 등과 같은 ICT분야의 기술 선도 기업뿐만 아니라 나이키, 리복, 아디다스 같은 스포츠 관련 기업들까지 포함하는 다양한 영역에서 혁신적인 아이디어를 표현하는 제품들이 출시되고 있다[1]. 웨어러블 디바이스는 사용자가 이동 중에 자유롭게 사용하기 위해 신체나 의복에 착용할 수 있도록 작고 가볍게 개발된 차세대 PC이다. 웨어러블 디바이스는 스마트폰과 같이 휴대하는 형태의 제품으로 안경, 시계, 팔찌 형태의 디바이스를 '포터블(portable)'로 패치와 같이 피부에 직접 부착할 수 있는 형태의 '어태처블(attachable)' 그리고 인간의 신체에 직접 이식하거나 복용하는 형태의 '이터블(eatable)'의 세가지로 분류된다[2]. 웨어러블 디바이스는 단어 그대로 '착용하는 전자기기'를 뜻한다. 하지만 단순히 액세서

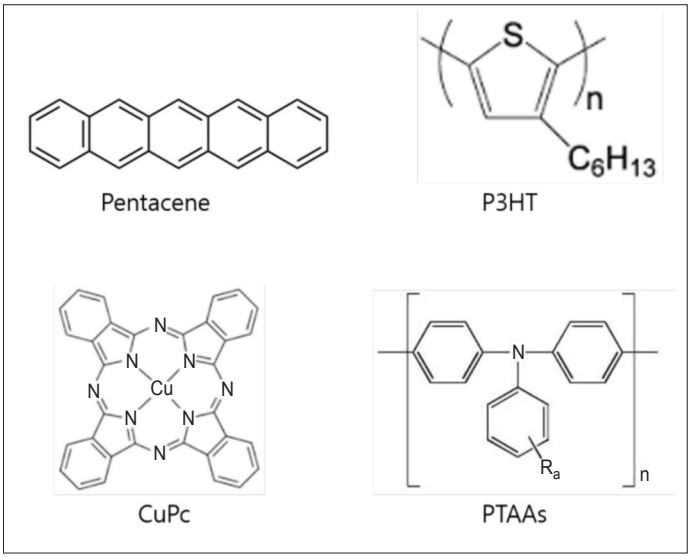
리처럼 전자기기를 몸에 착용하는 것이 아니라 사용자 신체의 가장 가까운 위치에서 사용자와 소통할 수 있는 전자기기이다. 웨어러블 디바이스의 장점은 주변 환경에 대한 상세 정보나 개인의 신체 변화를 실시간으로 끊이지 않고 지속적으로 수집할 수 있다는 것이다[3]. 그리고 웨어러블 디바이스를 잘 적용할 수 있는 것은 바로 사물인터넷(IoT)과의 융합이 잘 이루어진다고 볼 수 있다. 올해 열린 CES2015에서는 기존의 '손목' 중심의 트렌드가 전신으로 확대되었다. 스마트 반지, 스마트 벨트, 스마트 양말 등 손가락부터 시작해 허리, 발끝까지 웨어러블이 점령하지 않은 신체 부위가 없었다[4]. 이렇게 점차 우리의 몸 전체로 전자기기들을 착용할 시기가 먼 미래의 이야기가 아니다. 웨어러블 디바이스를 이용하면 우리는 다양한 정보를 얻을 수 있다. 그중에서 화학 센서 분야는 앞으로 미래에 살아가면서 우리에게 많은 도움이 될 분야이고 웨어러블 디바이스에 적용 가능하다. 우리의 생활 환경에는 대단히 많은 종류의 위험한 가스가 존재하고 있다. 최근 일반 가정, 업소, 공장에서의 가스사고, 탄광, 화학 플랜트 등에서의 폭발 사고 및 오염 공해 등이 잇따르고 있다. 인간의 감각기관으로는 위험 가스의 농도를 정량화 하거나 종류를 거의 판별 할 수 없다. 이에 대응하기 위해 물질의 물리적, 화학적 성질을 이용한 가스 센서가 개발되어 가스의 누설 감지, 농도의 측정 기록, 경보 등에 사용되고 있다. 기존의 가스 센서는 화학센서의 일종으로 가스의 흡 · 탈착에 의해 발생하는 산화물 반도체의 표면 현상을 이용하였다. 그리고 최근에는 유기 반도체를 이용한 센서들도 많이 연구되고 있다[5].

유기 전자 재료 및 소자에 대한 연구는 1970년대 공액계 전도성 고분자(conjugated conducting polymer)의 발견으로 최근 급속히 발전해 왔다. 최

〈그림 1〉 웨어러블 디바이스 종류 [LG display]

고의 성능을 가지는 유기 전자 소자 개발을 위해 소자에 사용되는 다양한 유기 화합물들의 화학적, 광학적, 전기적 특성들의 최적화에 관한 연구가 광범위하게 진행되었다. 유기 전자 제품에 필수적인 재료인 유기 반도체는 지난 30년간 큰 주목을 받고 있고 실리콘과 같은 기존의 무기 반도체에 상업 대안으로 나타났다. 무기 재료와는 달리 유기 반도체는 쉽게 특정 요구를 충족하기 위해 작용기의 혼입 또는 물리적 조건의 조작에 의해 맞출 수 있는 물리적, 화학적 특성을 갖는다. 유기 박막 트랜지스터(organic thin-film transistor, OTFT)는 최근 수십 년간 과학적 연구 분야에서 많은 관심의 대상이 되고 있다. 저가 및 제조의 용이성 등의 잠재력으로 인해 유기 박막 트랜지스터는 정확한 결과를 제공할 수 있는 저렴한 단일 사용 또는 일회용 장치에 대한 열망이 있을 수 있는 센서 응용분야에서 사용하기에 적합하다. 이미 유기 박막 트랜지스터를 통한 센서에 대한 연구가 최근 몇 년 동안 많이 증가하고 있다. 유기 박막 트랜지스터는 저비용의 단순한 소자 제작공정, 소자의 유연성, 저전력 구동, 생체 상호 적합성 등과 같은 많은 장점으로 인하여 플렉시블(flexible) 디스플레이, 전자태그(RFID), 화학 · 바이오 센서와 같은 응용 분야에서 많은 각광을 받고 있다. 유기 박막 트랜지스터를 이용한 화학 · 바이오 센서는 감지하고자 하는 타겟(target) 물질의 화학적 정보를 미세한 농도에서도 타겟 물질의 특정 작용 그룹과 유기 반도체간에 물리 · 화학적 작용에 의해 선택성 높게 전기적 신호로 변환하여 매우 정확하게 특정 화학 물질을 감지해 낼 수 있다. 센서가 검출 물질에 의해 유도된 게이트(gate) 전압의 작은 변화가 채널 전류의 변화로 이어질 수 있는 센서 및 증폭기의 조합이기 때문에 트랜지스터 기반의 센서는 일반적으로 높은 감도를 갖는다. 그래서 트랜지스터를 기초로 한 센서는 소형화 가능성, 고감도, 높은 처리량을 포함하여 많은 장점을 가지고 있다. 유기 박막 트랜지스터 기반의 센서는 빛 감지 센서, 인공피부, 환경 모니터링, 식품 안전 감지 등 다양한 응용분야를 가지고 있음을 인정받고 있다[6-9].

기본적인 유기 박막 트랜지스터는 크게 유기 반도체 층(organic semiconducting layer), 절연체 층(gate dielectric layer), 세 개의 전극(gate, source, drain)으로 구성되어 있다. 게이트 전압이 인가되면 전자 또는 정공이 절연체 층에 접한 유기 반도체 층에 축적이 되게 되고, 문턱 전압(threshold voltage)이상의 게이트 전압이 인가되면 전자 또는 정공이 유기 반도체 층을 통하여 이동하게 됨으로써 소스와 드레인 전극 사이에 전류가 흐르게 된다. 일반적인 유기 박막 트랜지스터의 전류가 게이트 전압에 민감하게 반응하는 소자라면, 유기 박막 트랜지스터 센서는 유기 반도체 층이 타겟 화학 물질에 노출이 될 때 도핑(doping)이나 트랩핑(trapping) 메커니즘에 의해서 채널 전류가 변하게 되는 소자라고 할 수 있다. 유기 반도체는 일반적으로 공액-분자(conjugated-molecular)구조를 가지고 있으며 무기물의 상대적인 부분과 유사한 전자 및 광학적 특성을 가지고 있다. 고분자 반도체와 단분자 반도체를 포함하는 유기 반도체는 많은 센싱 응용분야에 성공적으로 사용되고 있다. 고분자 반도체는 일반적으로 파이-접합(π-conjugate) 백본(back-bone)과 사이드 체인이 함유되어 있어 이러한 물질들의 용해성이 증가하여 용매에 쉽게 녹는다. 그러므로 대부분의 고분자를 기본으로 하는 소자는 용액 공정으로 쉽게 제작 할 수 있다. 본질적으로 전도성 고분자는 널리 고유의 전하 수송 특성 덕분에



〈그림 2〉 유기 화학 센서로 사용되는 유기반도체 물질

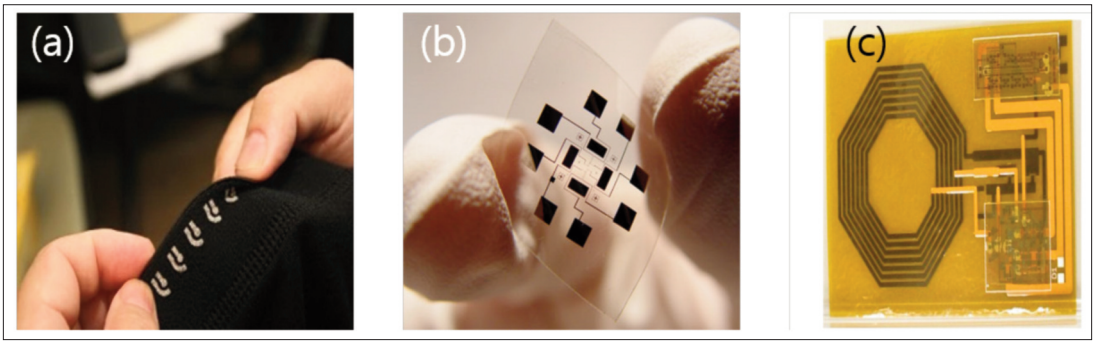
센싱 응용 분야에서 사용되고 있다. 최근에 펜타센(pentacene), P3HT(poly(3-hexylthiophene)), PEDOT:PSS(poly(3,4-ethylenedioxythiophene) : poly(-styrene sulfonic acid)), 구리 프탈로시아닌(CuPc), PTAAs(polytiarylamines) 등의 상당수 유기 반도체들이 다양한 화학센서에 적용되었다[6,7]. (〈그림 2〉 참조)

본 장에서는 웨어러블 유기 화학 센서의 최근 기술 동향과 전망에 대해 소개하려 한다.

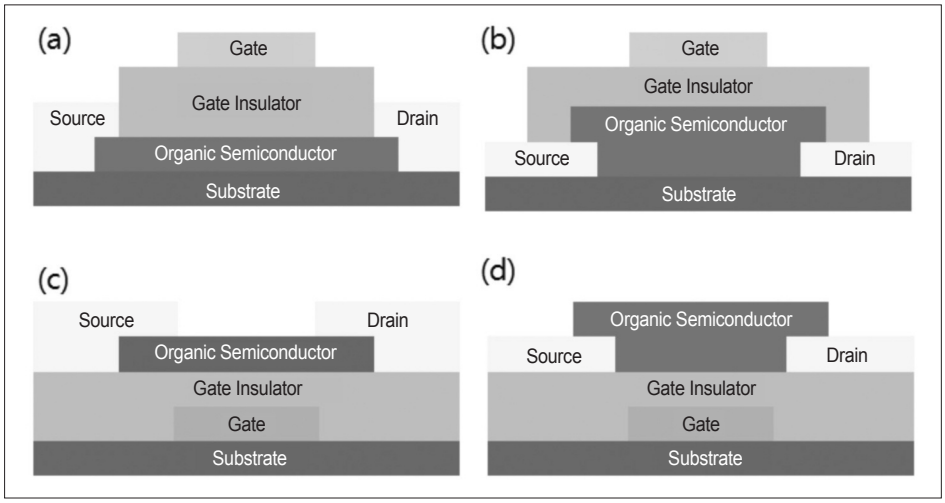
Ⅱ. 본 론

1. 유기 화학 가스 센서

전 세계적으로 화학 관련 산업체에서 안전사고가 빈번하게 발생하고 있으며, 국내 또한 화학 가스 누출 및 폭발로 인한 인명피해가 지속적으로 일어나고 있다. 국가적 차원에서도 국민의 안전을 위해 체계적으로 대응하려는 제도를 마련하고 있다. 최근 화학 및 바이오 센서 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 인체 및 환경에 유해하고 위험한 화학가스에 대한 센서 연구가 많이 이루어지고 있으며, 실용화 되고 있는데 기존의 센서들은 제작 비용, 전원공급, 이동성 같은 측면에서 여전히 많은 제약을 가지고 있다. 이를 극복하기 위한 대안으로 저전력 구동, 높은 전하 이동성, 용액 공정을 통한 저비용 소자 제작 및 유연하고 초소형으로 제작이 가능하여 차세대 전자 기기들과의 융합성의 잠재력을 지니고 있는 유기 소재를 이용한 플라스틱 트랜지스터 센서 개발이 큰 각광을 받고 있다(〈그림 3〉 참조). 그래서 먼저 유기 트랜지스터 센서가 어떠한 원리로 이루어지는지 먼저 살펴보았다[6].



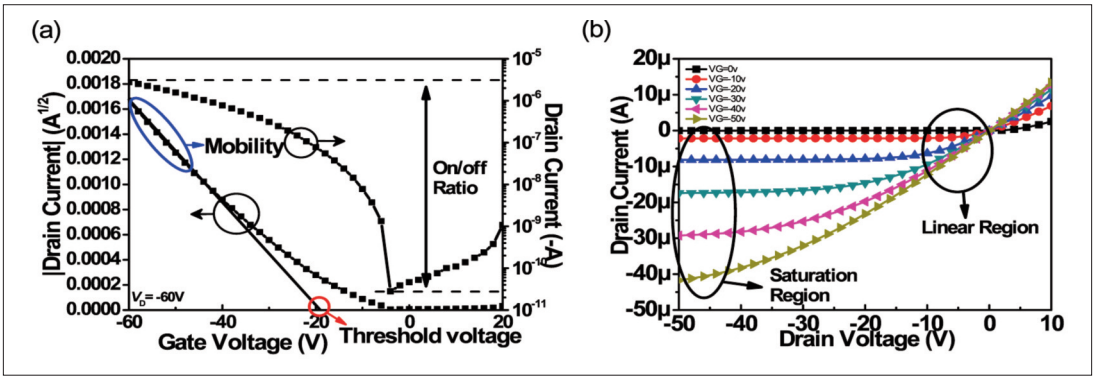
〈그림 3〉 (a) 인쇄공정을 이용한 화학 센서[US San Diego/Daniel Kane] (b) Flexible sensor[Nanowerk, Heath group, caltech], (c) Flexible organic RFID 기반의 산소 sensor [Tokyo university]



〈그림 4〉 전형적인 유기 박막 트랜지스터 구조 (a) Top-gate/Top-contact, (b) Top-gate/Bottom-contact, (c) Bottom-gate/Top-contact, (d) Bottom-gate/Bottom-contact

1) 유기 박막 트랜지스터의 원리

〈그림 4〉는 전형적인 유기 박막 트랜지스터 소자 구조를 보여준다. 크게 상부 게이트(top-gate)와 하부 게이트(bottom-gate)구조로 나눠지고, 유기 반도체 층이 소스(source)와 드레인(drain) 전극과의 관계에서 어느 위치에 있느냐에 따라 상부 접촉(top-contact)과 하부 접촉(bottom-contact)으로 나눠진다. 대표적으로 〈그림 4(C)〉에 나타난 하부 게이트 상부 접촉(bottom-gate/top-contact) 유기 박막 트랜지스터 소자 구조를 살펴보면 소스와 드레인 두 전극이 유기 반도체 층 위에 있고 절연체 층 아래에 게이트 전극이 있다. 게이트 전압을 인가하면 유기 반도체 층 채널에 전하들이 축적되고, 문턱 전압 이상의 게이트 전압이 인가되면 드레인과 소스 사이에 축적된 전하가 이동하여 전류가 흐르게 된다. 게이트 전압을 인가하지 않았을 경우 반도체 층은 부도체 상태를 보이게 되는데 이때를 "off" 상태라고 부르며, 게이트 전압이 인가되어 전하가



〈그림 5〉 유기 박막 트랜지스터의 파라미터 (a) 전송 특성 곡선(Transfer characteristic) (b)출력 특성 곡선(Output characteristic)

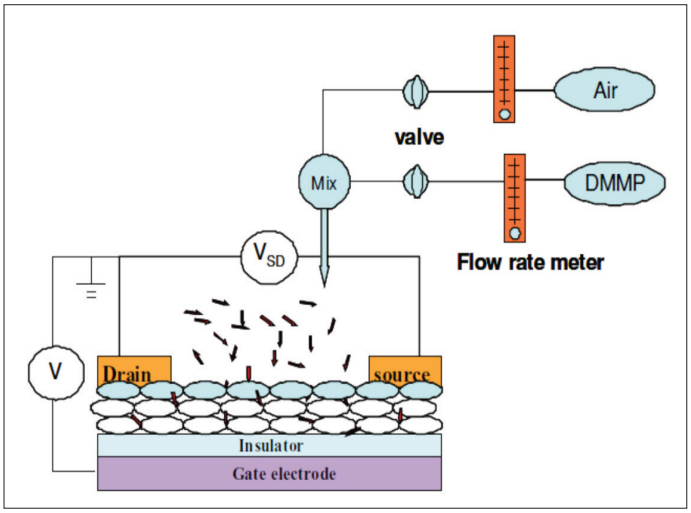
채널 사이를 이동하게 되는 상태를 "on" 상태라고 부른다. 직접 회로에서 의미있는 스위치 역할을 할 수 있는 트랜지스터가 되기 위해서는 on/off ratio가 최소한 10^6이 넘어야 한다. 즉 off 상태일 때 누설 전류가 없어야 좋은 스위치 역할을 하는 트랜지스터라고 볼 수 있다. 또 다른 매우 중요한 요소는 인가된 게이트 전압에 대한 드레인 전류의 크기를 결정하는 전하의 이동도(carrier mobility)이다. 전하 이동도는 전하가 얼마나 그레인 경계(grain boundary)에서 트랩(trap)되지 않고 신속하게 채널을 통해 이동하느냐에 달려있고, 이를 위해 유기 반도체의 분자구조와 분자간의 π-π 중첩도를 높이는 것이 아주 중요하다. 〈그림 5(b)〉 출력(output)그래프를 살펴 보면 낮은 드레인 전압에서는 직선 비례 모양의 그래프 형태(linear region)를 보이고, 높은 드레인 전압에서는 더 이상 전류가 증가하지 않는 모양의 그래프 형태(saturated region)를 보이게 된다. L = 채널 길이, W = 채널 폭, C_i = 유전 상수, V_T = 문턱전압, μ = 이동도 인데, 직선 영역(linear region)에서는 〈그림 5(a)〉전송(transfer)그래프의 기울기를 이용하여 바로 전하의 이동도를 구할 수 있다. 또한 $V_D > (V_G - V_T)$에서 전류가 증가하지 않는 모양의 그래프 형태(saturated region)의 전하 이동도를 구할 수 있다.

(1) $$I_D = \frac{WC_i}{L}\mu\left(V_G - V_T - \frac{V_D}{2}\right)V_D \quad \text{(linear regime)}$$

(2) $$I_D = \frac{WC_i}{2L}\mu(V_G - V_T)^2 \quad \text{(saturation regime)}$$

2) 유기 박막 트랜지스터를 이용한 화학 센서의 원리

타겟 물질(analyte)이 유기 반도체 층에 노출이 될 때 유기 박막 트랜지스터에는 몇몇 신호의 변화가 일어난다. 상당수 유해 타겟 물질은 극성 물질인 경우가 많아서, 이러한 타겟 물질이 유기 반도체 층에 노출이 되면 게이트 전압 인가에 의해 형성된 국소장(local field)과 서로 영향을 주고 받게 되어 채널의 전류량의 변화를 가져오게 된다. 또한 타겟 물질이 유기 반도체층 속의 어느 위치에 침투하여 노출되느냐에 따라서도 이동하는 전하들이 겪게 되는 트랩의 분포가 달라질 수 있으며 나아가 유기 반도



〈그림 6〉 유기 박막 트랜지스터를 이용한 화학 센서의 구조[10]

체 층의 다수 혹은 소수 캐리어의 도핑 효과 등을 야기 할 수 있다.

몇 가지 가능한 메커니즘을 살펴보면 〈그림 6〉 (1) 유기 박막트랜지스터의 소스와 드레인 전극 사이의 채널의 길이가 길수록(그레인 크기보다 채널 길이가 훨씬 더 길어 그레인 경계가 많을수록) 그 사이를 이동하는 전하들이 채널의 물리 · 화학적 상태에 영향을 크게 받게 된다. 특히 전하들이 채널 속을 이동할 때 반도체 층의 그레인 경계에서 상당수 트랩되는데, 타겟 물질이 유기 반도체 층에 노출되면 이러한 전하의 트랩 확률이 더 커지게 되어 소스와 드레인 사이에 이동하는 전하들이 줄어들게 되고 전류를 감소시키게 된다. 이러한 현상은 주로 극성 타겟 물질에서 나타난다. (2) 소스와 드레인 사이 채널 길이가 짧을수록(특히 유기 반도체의 그레인이 큰 결정성 물질이거나 그레인 경계가 적을수록) 그레인 경계에서의 영향 보다는 금속 전극과 유기 반도체 층 사이의 전하 주입 여부가 더 큰 영향을 주게 된다. (3) 또 다른 현상은 산화 · 환원 능력이 상대적으로 큰 타겟 물질이 유기 반도체 층에 노출될 때는 도펀트(dopant)로 작용하여 전류레벨을 낮추거나 높일 수도 있다. 예를 들어 전자를 끌어당기는 그룹이 달린 타겟 물질이 p-type의 반도체 층에 노출되면 도펀트로 작용하고, n-type의 반도체 층에 노출되면 트랩으로 작용하게 된다. 타겟 물질이 반도체 층에 노출될 때 전류의 증감폭도 중요하지만, 전류의 변화가 뚜렷한 것이 더 중요하다. 다시 말하면, 대부분 유기 박막 트랜지스터는 타겟 물질에 노출되면 일반적으로 전류가 감소하는데, 유기 반도체 층에 첨가물(chemical additive)을 소량 섞으면 전류를 증가시킬 수도 있다. 이러한 경우 감지기로서 오히려 더 유용하게 사용 될 수 있다. (4) 전하 이동을 지배하는 또 다른 중요한 요소는 유기 반도체 층 속의 타겟 물질 노출 위치이다. 게이트 전압이 인가될 때 전극 사이를 이동하는 대부분의 전하들은 절연체 층과 인접한 반도체 층의 안쪽 부분이다. 대부분의 전하들은 인가된 게이트 전압보다 낮은 상태에서 축적이 되고 이동

하게 된다. 즉 타겟 물질이 얼마만큼 그레인 경계에 폭 넓게 노출되고, 유기 반도체 층을 침투하느냐가 트랜지스터의 전류를 변화시키는 정도에 영향을 주게 된다. 위에서 언급한 바와 같이 채널 속을 전하가 얼마나 잘 이동하고, 타겟 물질에 노출되었을 시 이동 전하가 얼마나 간섭을 받게 되는지가 센서(sensor)로서 가장 중요한 요소라고 볼 수 있다. 뿐만 아니라 타겟 물질에 노출되기 전의 유기 박막 트랜지스터의 성능이 절대적으로 높은 것 보다 지속적으로 균일하고 신뢰성 있게 성능을 나타나는 것이 감지기로써 매우 중요하다고 볼 수 있다. 유기 박막 트랜지스터 기본 성능의 신뢰성이 확보 된다면 타겟 물질에 의한 전류가 소폭 변하더라도 게이트 전압의 조절에 의한 신호 증폭이 가능하다는 것이 단순한 저항기 센서보다 큰 장점이라고 볼 수 있다. 또한 저항기 센서의 타겟 물질 노출에 의한 단순한 전류상태 변화를 넘어서, 트랜지스터 센서의 경우에는 문턱 전압의 변화, turn on 전압의 변화, 전하 이동도 등 다양한 신호 변화를 통하여 보다 정밀하게 타겟 물질을 감지 할 수 있다[6,9,10] .

2. 유기 화학 센서 기술 동향 및 전망

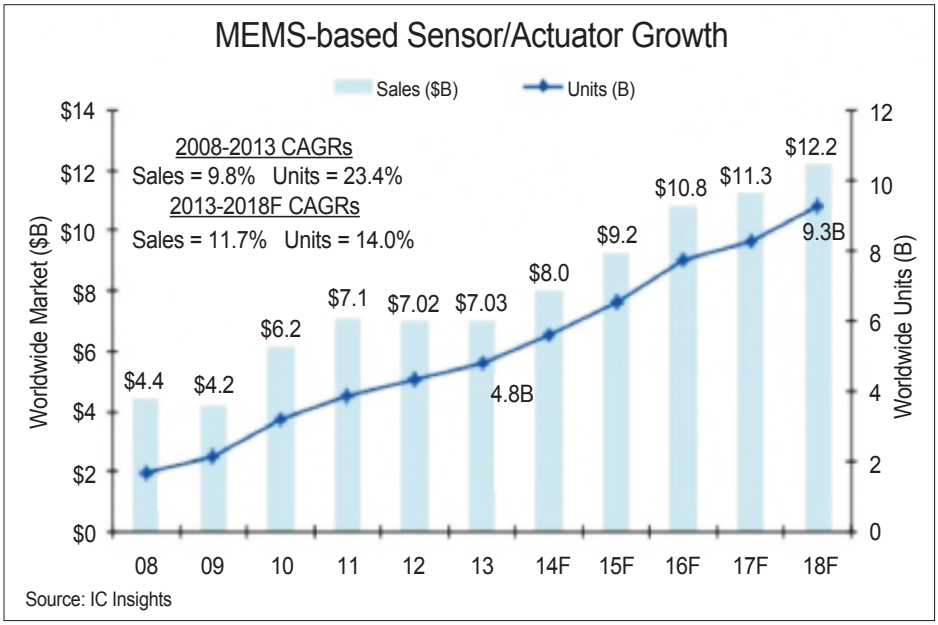
유기 화학 센서에 관한 연구를 몇 가지 살펴보면 트렘블리(Tremblay)는 n-type 반도체를 이용하여 암모니아(ammonia)가스가 노출될 때 유기 박막 트랜지스터의 전류가 증가함을 보고하였다. 또한 Kong은 p-type의 유기 반도체에 전자가 풍부한 테트라싸이아풀버렌(tetrathiafulvalene, TTF)유도체를 섞어서 전자 끌어당기기 그룹이 달린 트라이나이트로톨루엔(trinitrotolunene, TNT)에 노출이 될 때 유기 박막 트랜지스터의 전류가 증가함을 보고하였다. 펜타센, P3HT 유기 반도체는 프로판올(propanol), 아세트 산(acetic acid)과 같은 극성 용매에 뚜렷한 반응을 보였으며[6], 펜타센을 이용하여 알코올 종류인 펜타놀(1-pentanol)과 고약한 냄새가 나는 암모니아를 검출하는 연구 결과도 보고하였다[7,11]. P3HT는 제조 공정이 간단하고 이미 상용화 되어있는 물질로서 pH센서의 제조에 있어서 변환 활성 물질로서 널리 연구되어 왔다. Bartic은 P3HT를 이용하여 pH sensor를 검출하는 연구를 보고하였으며, Scarpa는 P3HT를 이용하여 ion sensor를 제작해 Na^+, K^+, Ca^{2+}를 검출하는 센서를 제작하여 보고하였다[12,13]. Jeong은 P3HT기반의 OFET를 이용하여 암모니아를 10ppm 미만의 농도를 검출하는 연구를 보고하였다[14]. Li는 나노 구조로 규칙 배열된 P3HT(rr-P3HT)를 이용하여 아세톤(acetone), 톨루엔, 부탄올(butanol), 마취제의 일종인 클로로포름(chloroform) 등 10가지의 타겟 물질을 검출하는 연구를 발표하였다[15]. CuPc 필름은 톨루엔, 아세트산 에틸(ethyl acetate), 메탄올 등 용매들의 극성 정도에 따라 다양한 반응을 보이는 것으로 보고되었으며, 극성이 큰 용매일수록 더 큰 반응을 보였다[6]. Li는 CuPc를 기반으로한 OFET를 이용해 독가스로 알려진 황화수소(hydrogen sulfide(H_2S))를 100 ppm 이하의 단위로 검출하는 연구를 보고하였다[16]. α,ω-디헥실섹시싸이오펜(dihexylsexithiophene, DHα6T)는 1-부탄올 가스 검출 센서에 대해서 연구가 많이 진행되었고, 부탄올이 노출되면 전류의 on/off 레벨이 20% 정도 변하는 것으로 보고되고 있다[6].

이 밖에도 p-type 유기 반도체인 DDFTTF(5,5'-bis-(7-dodecyl-9H-fluoren-2-yl)-2,2'-bithiophene)를 이용하여 Rebert는 유기반도체의 표면을 개선시켜 TNT(2,4,6-trinitrotoluene)을

40ppm 이하로 검출하는 센서를 연구하여 보고하였다[17]. Wedge는 비정질 반도체인 PTAAs (polytriarylamines)를 반도체 층으로 사용하여 아세톤, 메탄올, 프로판올(propanol), 독성가스인 DMMP(dimethyl methylph-osphonate)를 고 감도로 검출하는 연구를 보고하였다[18]. 최근 2015년 3월 포항공대의 오준학 교수가 KAIST와 공동연구를 통해 P3HT 유기 반도체를 이용하여 새집 증후군의 주범인 톨루엔이나 인체에 치명적인 메탄올 등을 정확하게 검출하는 플렉서블한 화학센서를 개발하였다. 반도체 표면에 특정 물질을 선택적으로 모을 수 있는 컨테이너 분자로 구성되도록 해 센서의 감응도와 선택도를 기존 센서보다 10배 이상 향상시킨 결과를 보고하였다[19].

3. 웨어러블 유기 화학 센서 전망

화학 센서의 응용 분야가 점차 다양해지고 있으며, 가까운 미래에는 건물의 실내 공기 질을 높이기 위한 센서, 미래형 자동차 연비 향상을 위한 센서, 차내 공기를 쾌적하게 유지시키기 위한 센서, 차량 배기가스 센서, 대기환경 문제 해결을 위한 대기 감시 센서, 위험물 및 폭발물 감지 센서, 인체 질병 진단 센서, 식료품 부패도 측정 센서 등과 같은 친환경, 고감도 생활 밀착형 센서에 대한 관심도가 급증할 것으로 보인다. 특히 미세전자기계시스템(MEMS) 센서 시장이 웨어러블 등 사물 인터넷 시대를 맞이해 다시 높은 성장세를 이어 갈 것으로 보인다. 2018년에는 93억개 규모로 시장이 확대될 것이라는 관측이다. (〈그림 7〉 참조).



〈그림 7〉 MEMS 기반의 센서 시장 [2014 IC Insights]

유기 박막 트랜지스터를 이용한 센서는 유기물의 특성을 이용하여 Roll to Roll 프린팅 공정, 잉크젯(inkjet) 공정으로 저렴하게 공정할 수 있어 경쟁력이 뛰어나며, 자동차, 항공, 우주, 로봇, 건축, 의료 등 산업 전반에 걸친 모든 분야에서 새로운 시장을 창출할 가능성이 상당히 크다. 현재 시중에 판매되고 있는 센서의 비용을 생각하면 유기화학센서는 인쇄공정을 통한 저가 생산이 가능하여 용도에 따라 1회용의 용도로 제품 적용이 가능하다. 국내외 기업 및 연구기관의 센서 개발 동향을 살펴보면 대기중의 저농도 가스 감지 및 건물내 고농도 가스 감지를 위한 뛰어난 기술력을 보유하고 있는 일본의 Figaro, EU의 City Technology 등의 기업들은 고전적 방식의 화학가스 센싱 방법을 유지한 채 초소형 저 전력 특성향상에 주력하고 있다. 유기 센서 소자의 개발과 더불어 RFID같은 칩이 탑재되어 수집된 데이터를 자동으로 송수신하고 이를 제어할 수 있는 유비쿼터스 센서 플랫폼의 개발 또한 중요하다. 국내의 가스 센서에 대한 연구는 정부 출연연구소, 대학, 기업 연구소등 많은 기관에서 유기소재, 카본소재 및 나노소재를 이용하여 다양하게 진행되고 있다. 다양한 웨어러블 디바이스들이 출시되고 있어 프로스트 앤 설리번 한국 지사가 발표한 'Wearable Electronics Enabled by Sensor'에 따르면 2014년 웨어러블 센서 시장 수익은 1억 8천만 달러였으며 2020년에는 8억 달러에 달할 것으로 예측됐다.

Ⅲ. 결 론

최근 유기 전자 재료 및 소자에 대한 연구가 매우 활발히 이루어져 왔다. 하지만 현재 유기화학센서에 대해 보고된 논문들을 보면 검출하는 가스나 화학 물질에 비해 센서에 사용되는 유기 반도체가 한정적인 것을 볼 수 있다. 그래서 다양한 가스 및 화학 물질을 감지하기 위한 센서를 만들기 위해서는 유기 반도체 물질의 연구가 먼저 필요할 것으로 보인다. 그리고 웨어러블 디바이스에 적용되기 위해서는 센서부분도 휘어져야겠지만, 센서에서 나오는 정보를 표기할 디스플레이나 전송할 RFID같은 부분, 또 센서를 작동시키는 배터리 부분까지 모두 웨어러블이 적용되어야 가능할 것으로 보인다. 가까운 미래에는 인간의 코에 해당하는 'E-nose'의 디바이스 적용 시장이 확대될 것으로 보인다. 그렇게 되면 위험 물질이나 유해 가스, 음식물 안전 감지, 자동차 배기가스 등을 감지하는 시스템으로 우리에게 더욱 가까이 적용될 것이다.

참 고 문 헌

[1] 강석희, 플렉시블/웨어러블 일렉트로닉스 최신 연구동향, 대한용접·접합학회 2014
[2] 전황수, 차세대 PC 웨어러블 디바이스 시장 및 개발 동향, 정보통신산업진흥원 2014
[3] 김대건, 웨어러블 디바이스 동향과 시사점, 정보통신정책연구원 2013
[4] 토픽 브리핑| CES2015의 "IoT,웨어러블,스마트카 트렌드" ITWorld 2015
[5] 유광수, 가스센서의 종류와 개발동향, 전기전자재료, 제 17권 1호 2004
[6] 공호열, 유기박막트랜지스터;화학가스센서, 화학세계 2013
[7] C, Liao et al. Poly. Rev. 53, 3, 2013
[8] D. Elkington et al. Electronics. 3, 234, 2014
[9] P. Lin et al. Adv. Mater. 24, 34, 2012
[10] T. Someya et al. Adv. Mater. 22, 3799, 2010
[11] H. -W. Zan et al. IEEE. Sens. Jour. 12, 3, 2012
[12] C. Bartic et al. Sens. Actuators. B. 83, 115, 2002
[13] G. Scarpa et al. Sensor. 10, 2262, 2010
[14] J. W. Jeong et al. Sens. Actuators. B. 146, 40, 2010
[15] B. Li et al. Nano. Lett. 8, 11, 2008
[16] X. Li et al. Sens. Actuators. B. 176, 1191, 2013
[17] M. E. Roberts et al. Chem. Mater. 20, 7332, 2008
[18] D. C. Wedge et al. Sens. Actuators. B. 143, 365, 2009
[19] M. Y. Lee et al. Adv. Mater. 27, 1540, 2015

필 자 소 개

신을용

– 2013년 : 한밭대학교 전자공학과 전자공학전공 학사
– 2015년 : 한밭대학교 전자 · 제어공학과 전자공학전공 석사
– 2015년 ~ 현재: 동국대학교 융합에너지신소재공학과 박사과정
– 주관심분야 : 유기전자, Organic thin–film transistor, OTFT–based gas sensor

노용영

– 2005년 : 광주과학기술원 신소재공학과 박사
– 2005년 ~ 2007년 : University of Cambridge, 캐빈디쉬 연구소 박사후연구원
– 2007년 ~ 2009년 : 한국전자통신연구원 선임연구원
– 2009년 ~ 2012년 : 한밭대학교 화학공학과 조교수
– 2013년 ~ 현재 : 동국대학교 융합에너지신소재공학과 부교수
– 주관심분야 : 유기전자 및 인쇄전자용 소재 및 소자