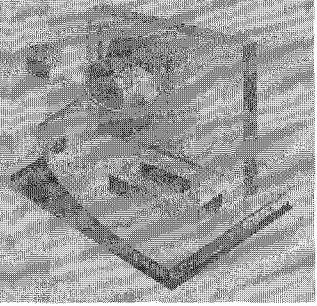


나노선 기반 압전 에너지 하베스팅 소재



정영훈 선임연구원, 조정호 책임연구원 (한국세라믹기술원 전자부품센터)
이영진 선임연구원, 백중후 본부장 (한국세라믹기술원 광·전자세라믹본부)

1. 서론

에너지 자원 문제가 전 세계적으로 이슈가 되고 있는 가운데 대체 에너지원으로써 주변의 미활용 에너지를 수확하는 개념의 에너지 하베스팅 기술은 많은 관심을 받고 있다. 에너지 하베스팅 기술은 빛 에너지, 풍력 에너지, 열전 에너지, 진동 에너지와 같은 미활용 에너지를 전기 에너지로 전환시키는 기술로써 특히, 기계적 진동을 전기 에너지로 전환할 수 있는 압전 재료를 활용하는 압전 에너지 하베스팅 (Piezoelectric Energy Harvesting)의 경우 기존의 태양전지, 풍력, 연료전지 등과 같은 친환경 에너지와 달리 주변에 존재하는 미세진동이나 인체활동 중 발

생하는 미세한 움직임으로부터 발생하는 소모성의 기계적 에너지를 전기 에너지로 무한히 추출할 수 있는 새로운 에너지 개념으로 이러한 에너지 변환 방식은 변환 효율이 크고 소형·경량화가 가능하다는 장점을 가진다. 이러한 장점을 이용하여 유비쿼터스 각종 센서, 무선 모바일 소형 전자기기에 필요한 대체 에너지원으로서 활용하기 위한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 이 기술은 주변의 활용되고 있지 않은 수많은 진동원 (Vibration Source)으로부터 필요한 전력을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 전자노이즈가 발생되지 않아 그림 1과 같이 반영구적으로 사용할 수 있는 장점이 있기 때문에 20세기 이후 인류의 생존을 위협하는 환경오염문제, 화석연료의 고갈 문제 등을 극복할 수 있는 차세대 친환경 청정 에너지 자원 개발 차원으로서 적극적인 개발이 필요한 분야라 할 수 있다.

주변의 각종 소음이나 인체활동 에너지인 혈류 에너지, 심장박동 에너지, 호흡 에너지 등 매우 미세한 진동 에너지를 전기 에너지로 변환 활용하기 위한 압전 나노발전 기술은 헬스 모니터링을 위한 각종 센서에 응용이 가능하다 (그림 2). 예를 들면, 음파가 들어오면 압전 나노선이 변형되어 발생하는 전기 신호를 증폭하여 청신경에 전달하는 초소형 보청기나, 혈당, 혈압 변화 감지용 인체 삽입형 센서와 같은 나노소자의 전원, 압전 나노센서를 관절에 삽입하여 무릎 관절 손상 등 뼈 손실 시 발생하는 큰 힘에 의해 전달되는 전기신호를 감지하여 위험신호를 보내주는 관절 손상 모니터링 센서 등을 들 수 있다. 뿐만

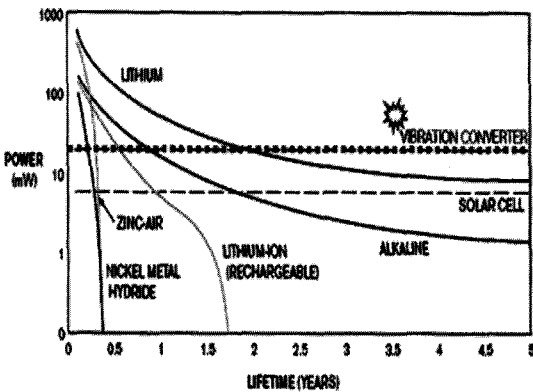


그림 1. 화학전지, 태양전지와 진동발전의 수명 비교.

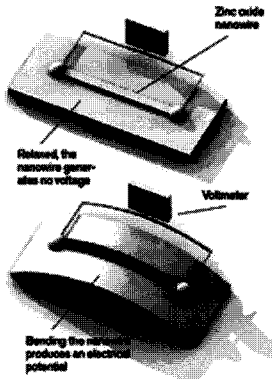
아니라 나노발전기는 섬유에 삽입하여 의류로 활용하면 스마트폰과 같은 각종 모바일 장치의 충전에도 활용이 가능하다. 이러한 압전 나노선을 이용한 전력발전 소자 기술은 유명한 미래기술 예측 및 평가 기관인 MIT 테크놀로지 리뷰지(MIT Technology Review)의 2009년도 10대 유망 기술들 중 하나로 선정되면서 단기간에 상업화가 가능한 유력한 후보기술로 언급되며 최근에는 관련 기술이 급격히 향상되고 있다. 하지만 압전 나노선을 기반으로 하는 나노발전기 기술에 관한 국내 현황은 기술선진국과는 달리 상용화를 위한 응용기술의 개발이 부진하고 고변환효율의 나노선 기반 원천소재 기술의 부재 등

관련 분야의 세계시장을 선점하기 위한 제반 여건이 매우 열악한 상황이기 때문에 향후 정부 차원의 집중적인 투자와 관련 분야 전문가들의 적극적인 개발의지가 요구된다.

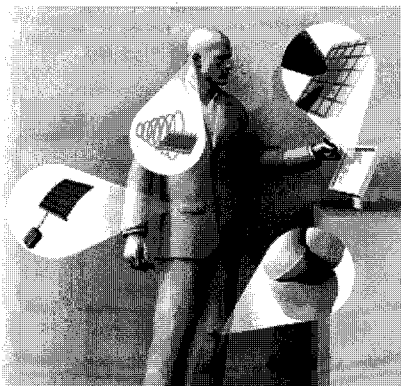
나노선을 기반으로 하는 압전 에너지 하베스팅은 미세 진동 에너지를 전기 에너지로 변환시키는 나노개념의 친환경/청정 에너지 시스템 기술로서 전 세계적으로 원천기술을 확보하기 위한 경쟁단계에 있으며 나노선의 압전 세라믹 소재 기술, 나노선 발전 특성 평가 기술, 나노선 집적화 소자 기술은 수년 내 급속한 성장이 예상된다.

2. 나노선 에너지 하베스팅 기술 개발 동향

나노기술의 발달로 인해 저 전력 소모의 나노소자를 만들 수 있는 수준에 이르면서 기존 전자기기 면적의 대부분을 차지하던 배터리의 크기가 크게 감소하였지만 여전히 상당한 면적을 차지할 뿐만 아니라 제한된 수명으로 인해 소자의 성능 및 독립적 구동을 제한시키는 단점이 있다. 압전 소재를 활용한 에너지 하베스팅 기술이 발전함에 따라 그림 3과 같은 휴대용 발전장치의 상용화가 이루어지고 있지만 이러한 장치의 크기 또한 Inch 단위의 $3.625 \times 1.75 \times 0.39$ (PEH20w, MIDE)로 매우 크다. 게다가 미세진동을 이용한 에너지 하베스팅 기술은 지금까지 대부분 Pb(Zr,Ti)O₃계열의 압전 세라믹을 후막화하여 Si 기반의 반도체 공정을 이용한 MEMS



(a)



(b)

그림 2. 나노선 기반 발전을 통한 에너지 하베스팅 응용 분야.

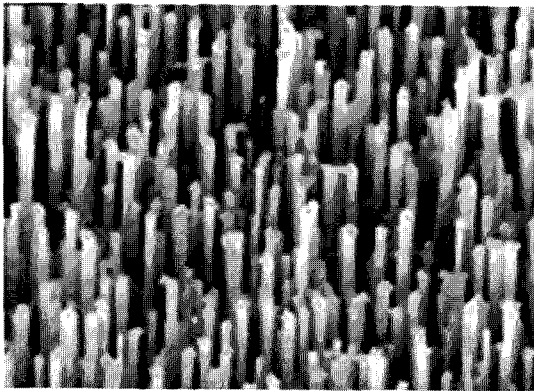


그림 3. Piezoelectric Vibration Energy Harvester.

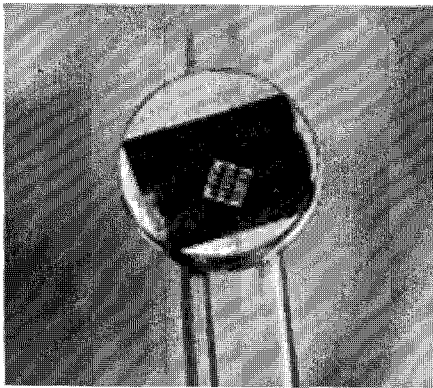


(Microelectromechanical System) 기술의 응용연구에 치중하고 있어서 공정이 비교적 복잡하고 까다로우며 제조된 하베스팅 소자는 부피가 커서 작은 힘이나 진동에는 반응성이 매우 낮아 응용범위가 상대적으로 매우 제한적이다.

그러나 1차원 나노선 구조의 에너지 하베스팅 소자는 압전효율이 높고 아주 미세한 압력과 진동에도 반응하기 때문에 응용가능성이 매우 높은 장점이 있지만, 발전 출력이 낮아 주전원으로 사용하기 어려운 한계를 가지고 있다. 또한 세라믹 소재가 가지는 고유한 결정성으로 인하여 나노선의 기판 상 성장 기술 (On wafer)의 제어가 어려운 단점을 가지고 있



(a)



(b)

그림 4. ZnO 나노선과 이를 활용한 나노발전소자 (GIT).

다. 20세기 후반 들어 전 세계적인 반도체 산업의 활성화와 더불어 반도체 소재의 개발에 관한 연구가 많이 이루어지면서 산화아연 (ZnO)과 같은 압전성과 반도체성을 동시에 가지는 소재의 나노선 개발연구가 밀레니엄 시대에 접어들면서 왕성한 연구가 이루어지고 있다. Wurtzite 구조를 가지는 ZnO는 II-VI 화합물 반도체로서 3.37 eV의 비교적 큰 밴드갭과 60 meV의 큰 엑시톤 결합에너지를 가지기 때문에 광전 소자용 재료로 널리 이용되어 왔다 [1]. 최근에 ZnO는 나노선 형태의 개발이 용이하고 다양한 기판 상에서 성장제어가 가능할 뿐만 아니라 압전 반도체 커플링 효과를 이용하는 전력발전소자의 구현이 가능하여 전극 접합기술, 고출력을 위한 나노선 집적화 기술, 구조적 안정성 확보를 위한 패키징 기술 등 관련된 여러 주변 요소 기술의 개발을 통해 지속적인 개발이 이루어지고 있다. 그림 4는 미국 조지아 공대에서 개발한 ZnO 나노선을 이용한 나노발전소자를 보여주고 있다. 가장 최근에는 나노선 어레이를 통한 집적화 기술의 향상으로 높은 전력출력 특성이 가능해지면서 상용화 가능성에 대한 기대가 한창 높아진 상황이다.

나노 전력발전 소자의 전류발생 메커니즘은 그림 5와 같이 나노선이 변형되어 휘어질 때 나노선 내부에서 발생하는 전위 에너지 (Potential energy)가 분포 변화가 생기게 되고 전극의 나노선의 Schottky 접합 시 전극의 위치에 따라 바이어스 (Bias)의 방향이 바뀌게 된다. 이 때 정방향 바이어스 (Forward bias) 발생 시 압전효과에 의한 발전 현상이 발생하게 된

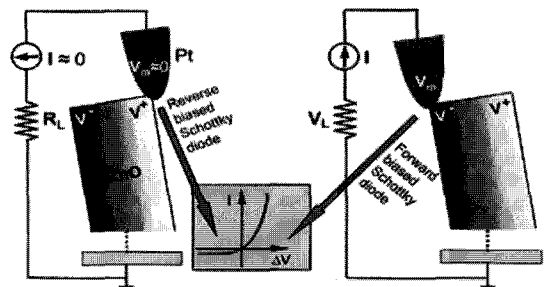
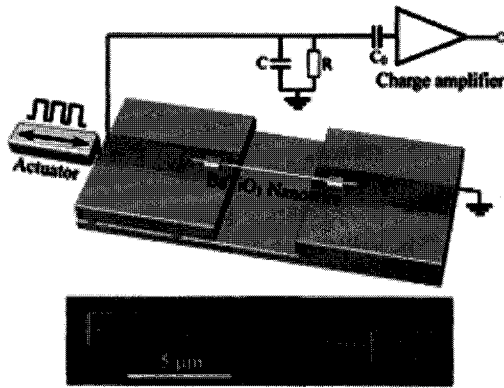


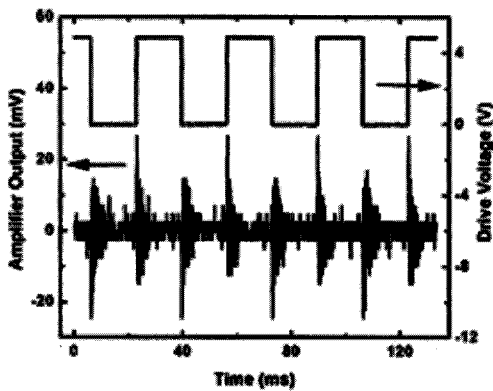
그림 5. ZnO 나노선에 의한 전류발생 메커니즘.

다. 이로부터 나노선의 전극과의 계면구조로부터 Schottky 접합 특성을 향상시키려는 연구가 지속적으로 이루어지고 있으며 Zigzag 전극구조, 엠보싱 구조, 탄소나노튜브를 활용한 전극구조, 그래핀 등 다양한 전극구조의 개발에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다 [2~4].

이러한 나노선 기반의 압전 발전기에 관한 최근의 연구는 대부분 ZnO를 이용하고 있지만, 반도체 산화물인 ZnO(압전전하상수 $d \sim 12 \text{ pC/N}$)의 압전 특성은 매우 낮아 고출력을 위한 압전 나노선 에너지 하베스팅을 위해서는 보다 높은 압전특성을 가지는 나노선 구조의 새로운 압전소재의 개발이 필요하다

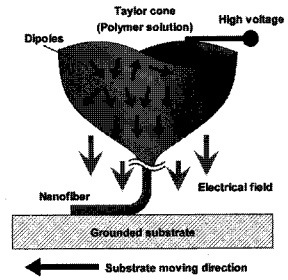


(a)

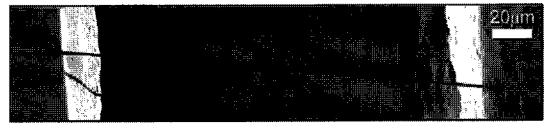


(b)

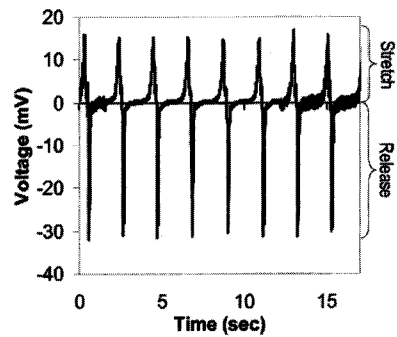
그림 6. BaTiO₃ 나노와이어를 이용한 압전 나노발전기 구조와 전기적 특성.



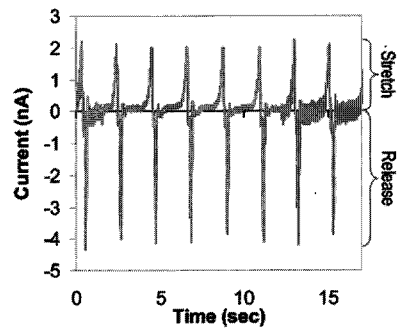
(a)



(b)



(c)



(d)

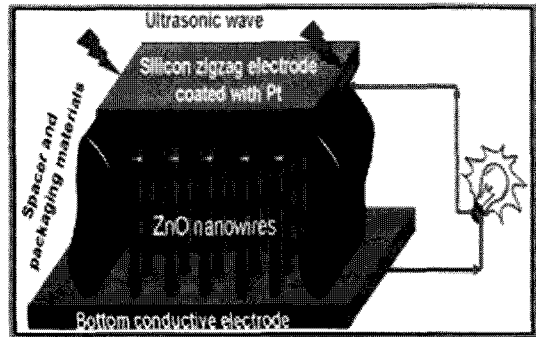
그림 7. 유기나노와이어를 이용한 압전 나노발전기 구조와 전기적 특성.

며 수년 전부터 미국에서는 BaTiO₃ 나노선 소재의 에너지 하베스팅 기술 개발 연구가 시작되었으며 Bi, (Na,K)TiO₃, PVDF 압전소재를 비롯한 다양한 압전 나노선 기반 소재개발에 관한 연구가 한창이다 [5]. 하지만 단일 축 우선 배향 특성의 나노선 소재의 합성과 기판 상 나노선 어레이 기술에 관한 연구는 소재의 고유한 결정성으로 인하여 개발이 쉽지 않은 현실이지만 관련 전문가들의 열정적인 개발 노력을 통해 점진적인 개발의 진전이 이루어지고 있다. 미국의 일리노이 대학의 Ming-Feng Yu 교수팀은 BaTiO₃ 나노와이어를 이용하여 나노스케일의 센서에 전원 공급을 위한 압전 나노발전기를 제작하여 출력특성을 평가하였다 [6](그림 6).

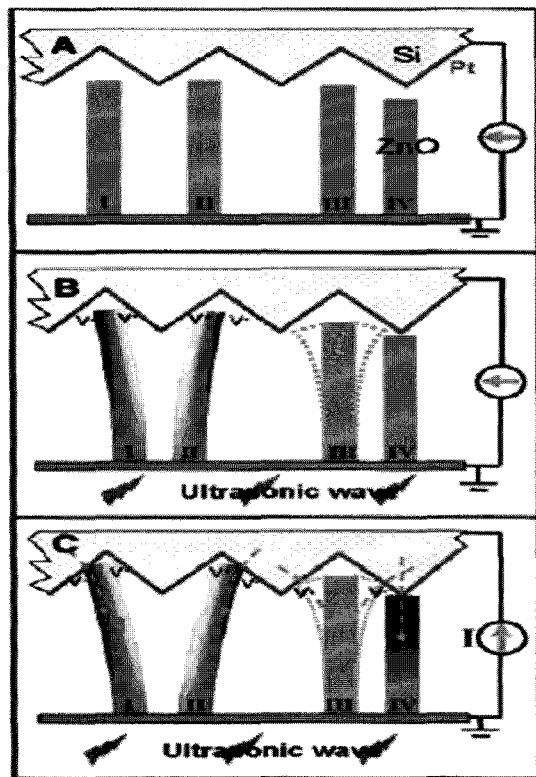
미국 캘리포니아 대학 버클리 대학의 Liwei Li 교수팀은 PVDF를 이용하여 각종 의류나 직류에 포함될 수 있는 섬유 나노발전기를 생산했다. 이 압전 나노섬유들은 의류 형태로 제작되어 기계적 힘에 의한 변형을 통해 전기 에너지로 전화되어 소형 전자기에 전력을 제공할 수 있다. 이들 나노코기의 발전기들은 미활용 되고 있는 신체의 미세한 움직임만으로도 간단한 전자기기를 구동할 수 있으며 이들 나노섬유들은 유기물질로부터 제작이 가능하여 낮은 단가로 제작이 가능하기 때문에 경제적인 뿐만 아니라 유연하기 때문에 더욱 가치가 있다 [7](그림 7).

3. ZnO 나노선 하베스팅 기술 국외 개발 현황

미국에서는 Gerogia Tech., UC Berkerly 등 유명 대학을 중심으로 ZnO 나노선 기반 나노선 발전소자에 관한 연구가 이루어지고 있으며, Gerogia Tech.의 Zhong Lin Wang 교수 그룹이 상용화를 위한 선도적인 기술의 개발을 이루어내고 있다. Wang 교수는 ZnO 나노선 발전 소자를 제작하여 외부의 초음파 진동에 따라 발생하는 전기적 특성을 개선하기 위하여 전극 소재와 Zigzag 구조의 전극개발을 통해 Schottky 접합 특성의 개선함으로써 출력특성을 향상시켰다 [8](그림 8). 이후에는 ZnO 나노선 기반 나노발전기를 햄스터의 근육에 접합시켜 쳇바퀴에서



(a)



- A : Zigzag 전극과 4가지 형태의 나노선
- B : 초음파 인가 시 전극과 나노선 계면에서 형성된 Schottky 장벽 (Reversed bias)
- C : 초음파 인가 시전극과 나노선 계면의 전류 발생 (Forward bias)

(b)

그림 8. 진동을 이용한 ZnO 나노선 발전 소자와 전극 구조 특성.

운동하는 햄스터의 근육이 수축과 이완을 반복하면서 변형되는 ZnO 나노선으로부터 미세한 전류가 발생함을 실험적으로 증명하였다 [9](그림 9).

압전 나노선과 같은 하베스팅 재료의 효율과 수명이 꾸준히 개선되어 왔지만 단일 나노선 소재에서 발생하는 전기적 출력 특성은 너무 적어서 실용화하기 어렵기 때문에 나노선 어레이의 집적화 연구를 통해 출력 효율의 개선을 위한 연구가 수행되어 왔으며 가장 최근에는 Wang 그룹에서 UV 센서, pH 센서의 나노선 발전 소자 실용화를 위한 데모 연구가 성공을 거듭으로써 나노선 기반 발전소자의 상용화가 한층 가까워지게 되었다. 그림 10은 ZnO 나노선 어레이를 집적화하여 제작한 수직형 (좌), 수평형

(우) 발전소자를 나타내고 있다. 나노선 어레이가 외부 충격에 손상되기 쉬워 불안정한 문제점도 코팅 기술을 이용하여 고분자를 나노선 어레이와 전극내부에 충전시킴으로써 구조적인 안정성도 확보하였다 [10].

진동 특성 (Vibrational property) 덕분에 에너지 정화 기술이나 미세한 센서 설계에 있어 이용 가능성이 높은 물질로 인정받으며 연구되고 있는 나노선은 자체적인 공진 주파수 (Intrinsic resonance frequency)가 kHz에서 MHz까지도 너무 높아 그 응용 범위에 한계가 있는 것으로 생각되었지만 2010년 2월에 ZnO 나노와이어를 이용하여 기존의 자연 공진 주파수보다 훨씬 낮은 공진 주파수를 갖는 나노

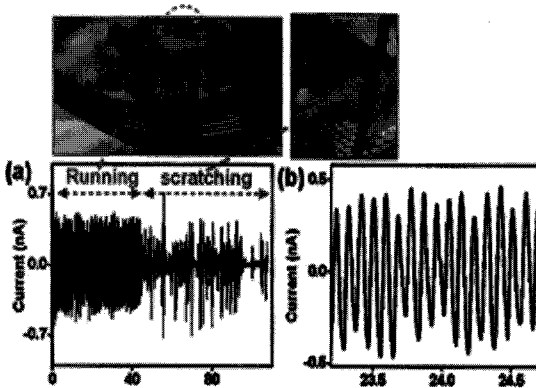


그림 9. 햄스터 근육의 운동에서 유도된 나노선 발전기의 발전 특성.

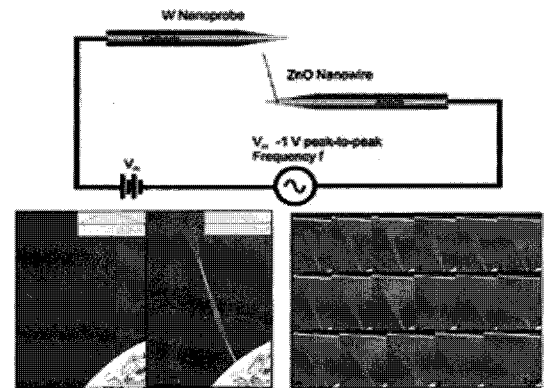


그림 11. ZnO 나노와이어 주파수 특성 평가 설계구조와 주파수에 따른 진동특성.

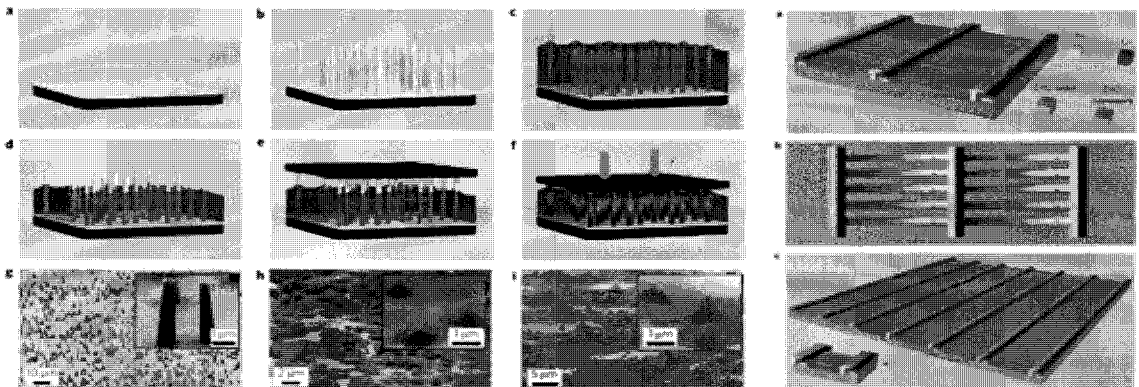


그림 10. ZnO 나노선 어레이를 이용한 대면적의 집적화 발전소자.



와이어를 설계하여 이러한 한계를 극복할 수 있는 새로운 종류의 공진 기술에 대해 연구한 결과가 미국 Princeton 대학 Nan Yao 박사팀에 의해 나노기술 전문저널인 Nano Letters에 보고되었고 이로부터 향후 전자 소자 및 센서 구현이 더욱 빠르게 이루어질 것이라고 예상된다 [11](그림 11).

4. ZnO 나노선 하베스팅 기술 국내 개발 현황

반도성 ZnO 나노선 소재를 활용한 소자에 관한 연구가 POSTECH, KAIST, KETI, KIST, 삼성전자, 서울대학교, 성균관대학교 등 다양한 그룹에서 활발하게 진행되고 있다. 하지만 ZnO 나노선의 압전 발전특성을 이용한 에너지 하베스팅을 위한 연구는 한국세라믹기술원, KIST, 성균관대학교 등 소수의 그룹에서 주로 진행이 되고 있다. 2009년, 삼성전자 종합기술원과 금오공과대학교는 ZnO 나노선을 이용한 압전 나노발전기로 모바일 전자장치의 에너지 저장 기술로서 주목받고 있는 투명한 플렉시블 나노전력발전소자 (Flexible Power Generator)를 공동으로 개발하였다. 유연한 상하부 기판에 투명한 상하부 전극 내부를 ZnO 나노선 어레이로 채워 그림 12의 우측 하단에서 보듯이 소자가 휘어질 때 전기 에너

지를 발생시킬 수 있는 나노선 기반의 에너지 하베스팅 기술을 소개하였다 [12].

뿐만 아니라 나노구조물 내에 형성된 압전 포텐셜의 크기와 형태, 그리고 전극과 나노구조물의 계면에서의 접촉 형태와 형성된 Schottky barrier의 크기 및 나노구조물의 결정성과 출력 전력과의 상관관계 등 나노전력발전소자의 효율 향상, 소자 집적화 및 메커니즘 규명 등 다양한 연구를 수행하고 있다.

최근에는 ZnO 나노선이 충전된 투명하고 플렉시블한 나노전력발전소자로 Graphene 박막이 상하의 전극을 이루는 압전 발전 소자를 보고하였다. 투명하고 플렉시블한 나노전력발전소자는 자체충전이 가능한 터치스크린 디스플레이어나 작은 바람에 의해서도 충전이 되는 나노소자와 같이 새로운 방식의 에너지 수확 기술 등에 폭 넓게 응용될 수 있다. 미세한 압력변화나 질감을 인지할 수 있는 촉각센서 기술을 필요로 하는 로봇 산업이나 변형 모바일 전자제품 등과 같은 새로운 분야에도 적용 범위를 확대할 수 있다. 그러나 그동안 사용된 ITO (Indium tin oxide)는 세라믹 소재가 가지는 취성으로 인해 유연성에는 그 한계가 있었다. 삼성전자와 금오공과대학교의 공동 연구팀은 CVD (Chemical vapor deposition, 화학기상증착법)를 이용한 큰 규모의 그래핀 박막 합성을 세계 최초로 성공하였으며, 이렇게 증착된 박막을 통해 투명하면서 플렉시블한 나노전력발전소자를 구현할 수 있게 되었다. SiO₂ 기판

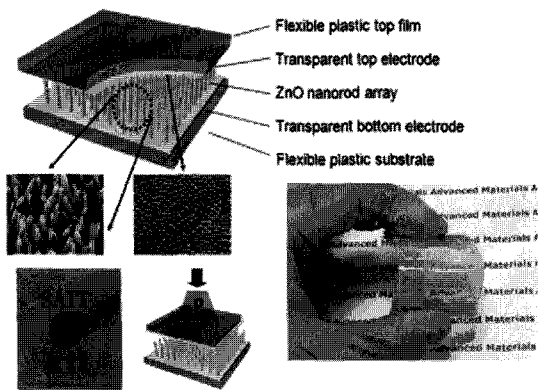


그림 12. ZnO 나노선을 이용한 플렉시블 압전 나노전력 발전소자 (2009).

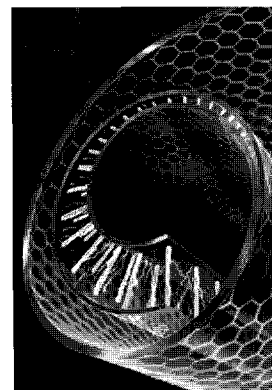


그림 13. Graphene를 활용한 플렉시블 전력발전소자.

위에 Graphene 박막을 성장시킨 다음, 이 Graphene 박막을 기반으로 하여 수직방향의 ZnO 나노선 중합에 성공했다. 전체구조는 Graphene 박막이 전극으로서 위 아래로 형성되며 가운데 산화아연이 채워진 샌드위치 구조를 이루고 있다 [13](그림 13). 그러나 Graphene과 나노선 사이의 약한 Schottky 특성과 성장된 나노선의 낮은 균일성으로 인해 전극과의 낮은 접합 특성으로 인해 발전특성을 개선하는 연구가 지속적으로 이루어져야 한다.

5. 결론

국가경제성장의 견인차 역할을 해 왔던 반도체 산업과 자동차 산업 등의 글로벌 경쟁력이 주춤하고, 국가 미래를 이한 신산업 모멘텀이 절실한 현 시점에서 정책적으로 나노기반의 산업융합기술 개발과 에너지·자원 기술 개발을 위한 신개념의 산업원천기술 확보가 필요하다. 압전 나노선 기반의 에너지 하베스팅 기술은 경제적, 산업적, 문화적으로도 그 파급효과가 막대하기 때문에 원천소재의 개발, 평가기술의 확보, 패키징 소자 개발 등 정부 차원의 시급한 투자가 절실하다. 기술적인 측면에서 보면 나노발전 시스템용 압전 세라믹 조성 및 나노선 공정 설계 국산화와 Energy Harvesting 및 Maintenance Free Power 개념의 실용화 및 파생상품 개발과 저 전력 센서 네트워크 기술 개발을 통한 에너지 절감 효과 및 압전 세라믹 나노발전 시스템의 특성평가기술의 확보를 통해 U-센서네트워크 자가발전 모듈 제조 기반 기술이 마련될 수 있다. 이를 통해 사용자 발전 (UCP : User Created Power) 시스템과 같은 새로운 에너지 시장을 형성하고 화석연료 사용 절감 효과를 통한 경제적 이점 뿐만 아니라 환경보호 관점에서도 반사이익이 클 것으로 예상된다. 나아가 의료용 바이오 생체소자에 적용 확대를 통한 신산업 창출과 NT-IT-ET 기술 융합을 통해 압전 나노선 기반의 에너지 하베스팅이 차세대 에너지 시장에서의 지대한 선전을 기대해 본다.

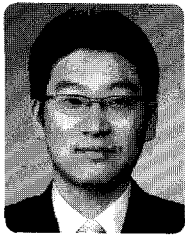
참고 문헌

- [1] Y. I. Alivov, E. V. Kalinina, A. E. Cherenkov, D. C. Look, B. M. Ataev, A. K. Omaev, M. V. Chukichev and D. M. Bagnall, "Fabrication and Characterization of n-ZnO/p-AlGaIn Heterojunction Light-Emitting Diodes on 6H-SiC Substrates", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 83, p. 4719, 2003.
- [2] Z. L. Wang, X. Wang, J. Song, J. Liu, and Y. Gao, "Piezoelectric Nanogenerators for Self-Powered Nanodevice", IEEE CS Press, Vol. 7, p. 49, 2008.
- [3] D. H. Choi, M. Y. Choi, H. J. Shin, S. M. Yoon, J. S. Seo, J. Y. Choi, S. Y. Lee, J. M. Kim and S. W. Kim, "Nanoscale Networked Single-Walled Carbon-Nanotube Electrodes for Transparent Flexible Nanogenerator", J. Phys. Chem. C, Vol. 114, p. 1379, 2010.
- [4] Z. L. Wang. "Energy Harvesting for Self-Powered Nanosystem", Nano Res., Vol. 1, p. 1, 2008.
- [5] Y. D. Hou, L. Hou, T. T. Zhang, M. K. Zhu, H. Wang, and H. Yan, "Na_{0.8}K_{0.2})_{0.5}Bi_{0.5}TiO₃ Nanowires: Low-Temperature Sol-Gel Hydrothermal Synthesis and Densification", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 60, p. 1738, 2007.
- [6] Z. Wang, J. Hu, A. P. Suryavanshi, K. Yum and M. F. Yu, "Voltage generation from individual BaTiO₃ nanowires under periodic tensile mechanical load", Nano Lett., Vol. 7, p. 2966, 2007.
- [7] C. Chang, Van H. Tran, J. Wang, Y. K. Fuh and L. Lin, "Direct-Write Piezoelectric Polymeric Nanogenerator with High Energy Conversion Efficiency", Nano Lett., Vol. 10, p. 726, 2010.
- [8] X. Wang, J. Song, J. Liu, Z. L. Wang, "Direct-Current Nanogenerator Driven by Ultrasonic Wave", Science, Vol. 316, p. 102, 2007.
- [9] R. Yang, Y. Qin, C. Li, G. Zhu, and Z. L. Wang, "Converting Biomechanical Energy into Electricity by a Muscle-Movement-Driven Nanogenerator", Nano Lett., Vol. 9, p. 201, 2009.
- [10] S. Xu, Y. Qin, C. Xu, Y. Wei, R. Yang and Z. L. Wang "Self-powered nanowire device", Nature Nanotech., Vol. 5, p. 3553, 2010.
- [11] D. C. Tanugi, A. Akey, and N. Yao "Ultralow Superharmonic Resonance for Functional Nanowire", Nano Lett., Vol. 10, p. 852, 2009.
- [12] M. Y. Choi, D. H. Choi, M. J. Jin, I. S. Kim, S. H.

Kim, J. Y. Choi, S. Y. Lee, J. M. Kim, and S. W. Kim, "Mechanically Powered Transparent Flexible Charge-Generating, J. Y. Chs with Piez.electric ZnO , J.rod", Ad.. Mater., Vol. 21, p. 2185, 2009.

[13] D. H. Choi, M. Y. Choi, W. M. Choi, H. J. Shin, H. K. Park, J. S. Seo, J. B. Park, S. M. Yoon, S. J. Chae, Y. H. Lee, S. W. Kim, J. Y. Choi, S. Y. Lee, and J. M. KiM, "Fully Rollable Transparent Nanogenerators Based on Graphene Electrode", Adv. Mater., Vol. 2, p. 2187, 2010.

저자약력



성명 : 정영훈

- ◆ 학력
- 2002년 고려대학교 공과대학 재료공학과 공학사
- 2008년 고려대학교 대학원 재료공학과 공학 박사

- ◆ 경력
- 2008년 - 2009년 요업(세라믹)기술원 전자부품센터 연구원
- 2010년 - 현재 한국세라믹기술원 전자부품센터 선임연구원



성명 : 조정호

- ◆ 학력
- 1997년 한국과학기술원 재료공학과 공학 박사

- ◆ 경력
- 1997년 (주)삼성전기 한국세라믹기술원 전자부품센터 책임연구원
- 2001년 - 현재



성명 : 이영진

- ◆ 학력
- 1995년 경북대학교 공과대학 전자공학과 공학사
- 1997년 경북대학교 대학원 센서공학과 공학 석사
- 2001년 경북대학교 대학원 센서공학과 공학박사

- ◆ 경력
- 2003년 - 2005년 삼성전기 모바일RF사업부 책임연구원
- 2005년 - 현재 한국세라믹기술원 광·전자세라믹본부 선임연구원



성명 : 백종후

- ◆ 학력
- 1987년 고려대학교 공과대학 재료공학과 공학사
- 1989년 고려대학교 대학원 재료공학과 공학 석사
- 1999년 고려대학교 대학원 재료공학과 공학박사

- ◆ 경력
- 2003년 - 2009년 요업(세라믹)기술원 전자부품센터 책임연구원
- 2010년 - 현재 한국세라믹기술원 광·전자세라믹본부 본부장

