

Special

Thema | 3차원 박막전지의 연구동향

박용준 교수
(경기대 신소재공학과)

1. 서론

IT와 전자 기술의 지속적인 발전은 산업사회를 정보화 사회로 발전시켜 왔으며 더 나아가 유비쿼터스 사회 진입을 눈앞에 두고 있다. 유비쿼터스 사회란 사용자가 시간과 공간에 제약 없이 네트워크에 접속하여 정보와 의사를 교류할 수 있는 사회로 기존의 전자기기에 컴퓨팅과 통신기능이 결합된 새로운 형태의 정보화 네트워크 기술에 의존한다. 이러한 정보화 네트워크 기술을 구현하기 위해서는 초소형화된 Microelectromechanical System(MEMS, 마이크로 전자기계 시스템)의 광범위한 활용이 반드시 필요하며 이를 위한 연구개발 노력이 전방위적으로 이루어지고 있다. 그동안은 기술적용 범위가 넓지 않아 수요 증가가 비교적 완만하였으나 최근 각종 센서 수요를 바탕으로 MEMS에 대한 실수요가 급속히 팽창하고 있으며 2010년까지 전 세계 MEMS 시장은 최소 120억 달러 이상이 될 것으로 예측된다. MEMS의 새로운 영역으로의 빠른 성장은 장치의 구조를 형성하기 위한 Photo-lithographic Patterning과 박막의 증착(Deposition), 다층 필름의 선택적 식각(Etching)을 포함하는 Surface Micro-machining 발전에 기인한다. MEMS 장치들은 유체, 무선통신, 센서광학을 포함하는 새로운 첨단기술 분야에 중요한 공헌을 시작하고 있으며 앞으로도 MEMS 시장 발전은 계속적으로 이루어질 것으로 생각된다.

MEMS 장치 시장의 지속적인 발전을 위한 중대한 이슈중 하나는 어떻게 동력원을 공급하느냐 하는 문제이다. 지금까지 MEMS Device의 구동을 위한 전원은 Macroscopic하게 공급되어 왔으나 각종 Sensor, Actuator 등으로 이루어진 Hybrid 형태의 MEMS Device가 요구됨에 따라 Cross Talking, Noise 등의 Interconnection 문제가 대두되어 상용화를 가로막는 장벽이 되어 왔다. Interconnection 문제를 해결하는데 가장 좋은 방안은 에너지의 공급원을 MEMS Device와 같은 Dimensional Scale로 설계하는 것이다. 따라서 반도체 증착 공정을 이용하여 제작된 박막형태의 층방전지 가능한 이차전지(일반적으로 박막전지라고 불림)를 에너지 공급원으로 사용하려는 연구가 수년간 진행되어 오고 있다. 박막전지는 양극과 음극 전해질 부분을 모두 박막공정을 통해서 제작된 매우 발달된 형태의 이

차전지이나 에너지 용량을 좌우하는 양극물질의 두께를 내부 저항 및 이온 전도의 한계 등으로 인해 어느 한도 이상 두껍게 만들 수 없어 MEMS Device에 충분한 양의 에너지를 공급할 수 없다는 문제점이 있다. 어떻게 생각하면 태생적인 한계라고 할 수 있는 용량문제를 해결할 수 있는 방안으로 제시된 것이 바로 '3차원 구조'를 가지는 3차원 박막전지(3-dimensional Microbattery)이다. 3차원 박막전지란 양극, 음극, 전해질과 같은 이차전지의 구성물을 2차원적인 평면막이 아닌 3차원인 Step을 가진 구조로 제작하는 것이다. 즉 3차원 구조를 통해 양극과 음극 사이에 이온이 이동해야 할 거리를 줄여 주어 양극 물질 두께 증가에 따른 내부저항과 이온전도도 문제를 해결, 충분한 양의 양극 활물질을 박막전지 내에 충전시킬 수 있게 함으로서 박막전지의 용량문제를 해결할 수 있다. 실제 소자에 적용을 시킨다고 생각해 보자. MEMS Device중 대표적 소자 중 하나인 'Smart Dust'를 구동시키기 위해서는 1 J mm^{-2} 이상의 에너지가 필요하나 현재의 기술로 제작 가능한 박막전지의 용량은 $0.25\sim 2 \times 10^{-2}\text{ J mm}^{-2}$ 정도이다

[1]. 그러나 만약 양극과 음극을 튜브 형태로 3차원 설계를 한 새로운 형태의 박막 전지의 경우 내부 저항이나 이온전도 등의 문제를 유발 시키지 않고 두께를 늘려 MEMS Device를 구동할 수 있는 1 J mm^{-2} 이상의 에너지 공급이 가능하다. 이와 같이 3차원 박막전지 기술은 유비쿼터스 시대를 여는데 반드시 필요한 새로운 에너지 소자로 생각할 수 있으며 MEMS 산업의 발전 속도와 급속한 수요 증가를 볼 때 그 에너지 공급원으로서 중요성이 빠른 속도로 증가할 것으로 예상된다. 지금부터는 3차원 박막전지의 원리와 연구동향을 살펴보고자 하겠다.

2. 3차원 박막전지의 원리 및 구조

지금까지 연구되어 온 박막전지는 대부분 리튬금속전지 또는 리튬이온전지를 기본으로 한다. 따라서 기본적으로 양극과 음극, 전해질로 이루어져 있으며 양극과 음극사이에 리튬이온이 이동하는 과정을 통해 충전과 방전이 이루어지게 된다. 그림 2에서 나타

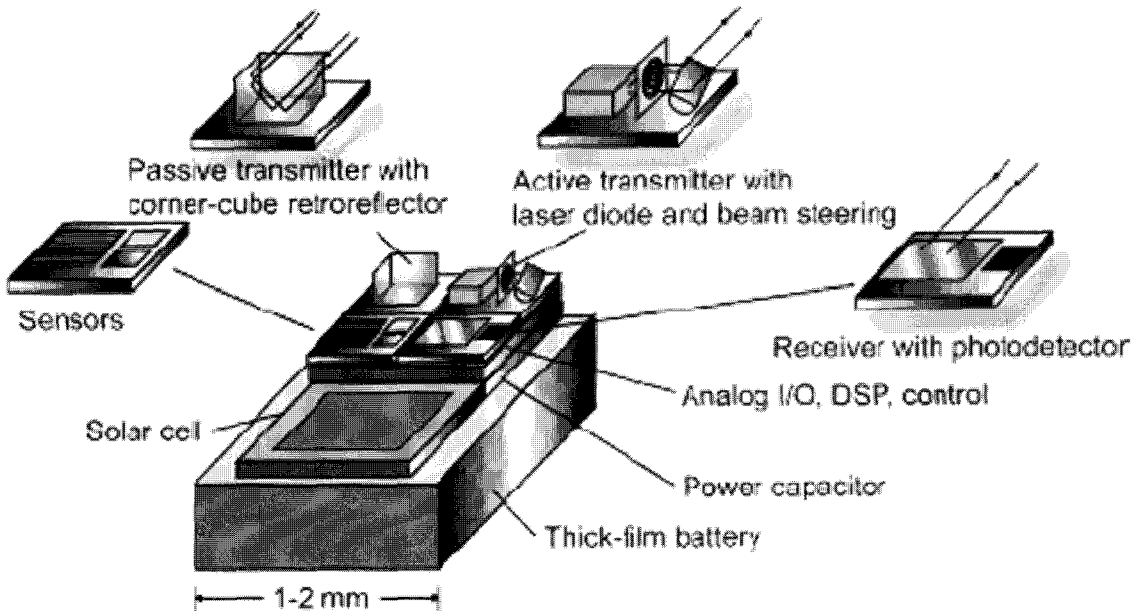


그림 1. MEMS Device의 일종인 Smart Dust 모식도(태양전지와 후막형전지로부터 동력원을 얻도록 설계되어 있다[1]).

넌 바와 같이 2차원 평면 형태인 양극과 음극을 서로 마주보도록 위치시킨 2차원(2-dimension) 전지의 경우 양극 물질 중 이온이 두 극 사이의 거리인 L 만큼 확산(Diffusion)하는 과정을 거쳐 충방전 반응이 일어난다. 이때 이온의 이동속도의 제약에 따른 에너지 손실을 최소화하기 위해서는 두 극사이의 거리(L)를 최대한 짧게 유지해야한다. 이를 위해서는 전해질의 두께를 최소화로 함과 동시에 양극과 음극의 두께 역시 가능한 최소화해야 하는 필요성이 대두된다. 또한 대부분 박막전지의 양극과 음극박막에는 상용화된 벌크형 리튬 이차전지에서 사용되는 카본 계열의 전도체가 포함되어 있지 않기 때문에 전자전도도가 충분치 못한 활물질의 특성상 박막두께를 충분히 늘릴 수 없는 문제점이 있다. 일반적으로 알려진 바에 따르면 양극 물질 중 이온 및 전자 전도성이 비교적 높은 LiCoO_2 의 경우도 $5\ \mu\text{m}$ 이상의 두께에서는 전도도의 제약으로 인해 많은 에너지 손실이 발생한다. 이러한 두께의 제약은 유용한 박막전지를 생산하는데 치명적인 용량의 한계를 가져오게 된다.

이에 최근 몇 년 사이에는 2차원(2-dimension) 박막전지에서 사용되던 전극물질의 모양을 3차원(3-dimension) 형태로 바꿈으로써 좀 더 높은 에너지 용량을 가진 박막전지를 제조하기 위한 시도가 진행되고 있다. 그림 2의 오른쪽에서는 3차원(3-dimension) 구조를 가진 박막전지의 모식도를 보여주고 있다. 기본적으로 3차원 구조를 가지게 되면 박막형 전지의 두께인 L의 길이가 이온이 충방전 사이에 이동하는 거리와 같지 않고 양극과 음극 사이의 거리인 |0| 리튬이온의 이동거리가 된다. 이때 두께를 늘리는 방식으로 L의 길이를 증가시켜도 리튬이온의 이동거리인 L은 일정하게 유지시킬 수 있으므로 전기 및 이온전도도의 한계로 인해 늘릴 수 없었던 양극 및 음극 활물질의 양을 높여 더 높은 용량을 가진 박막전지의 제조가 가능하게 되는 것이다.

전극들의 3차원 구조는 그림 3에서 보여주고 있는 것처럼 다양하게 구현할 수 있도록 제안되어 있다 [1]. 가장 명확한 3차원 디자인 중 하나는 그림 3(a)에서 보듯이 손가락을 깎지 끼는 것과 같은 구조일 것이다. 이때 양극(Cathode)과 음극(Anode)은 연속적인 전해질에 의해 분리되어진 막대와 같은 모양으로

구성된다. 양극과 음극간의 리튬 이온의 이동거리는 기존의 2차원적인 박막전지와 비교했을 때 명백하게 짧아지게 되며 이로 인해 전극사이의 Ohmic 저항을 많이 낮춰준다. 그림 3(b)는 그림 3(a)와 유사하지만 막대보다 좀 더 넓은 판상 형태의 양극과 음극박막이 엇갈려서 위치해 있는 형태로 2차원적인 박막전지가 여러 층으로 구성되어 있는 모습으로 생각해 볼 수도 있다. 또 다른 3차원 구조는 그림 3(c)에서와 같이 양극 또는 음극 물질 하나가 막대 형태로 배열되어 있고 그 표면에 전해질층이 입혀져 있는 것으로 상대전극 물질이 남아 있는 전체 공간을 채우고 있는 형태이다. 이 방식 역시 전해질의 두께

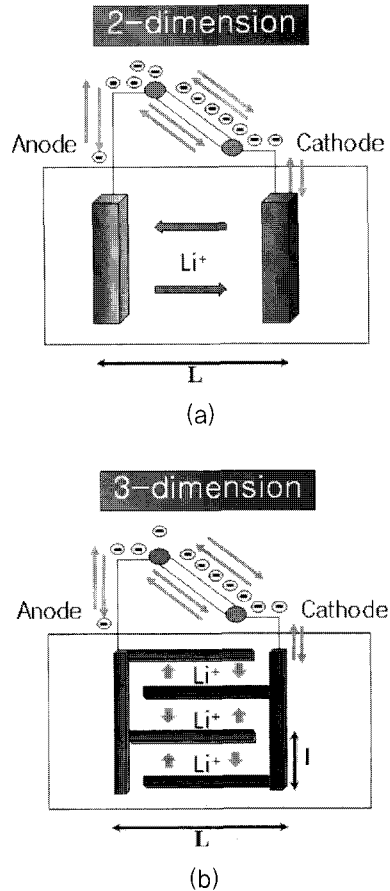


그림 2. 2차원(2-dimension)과 3차원(3-dimension) 전지의 구조 비교.

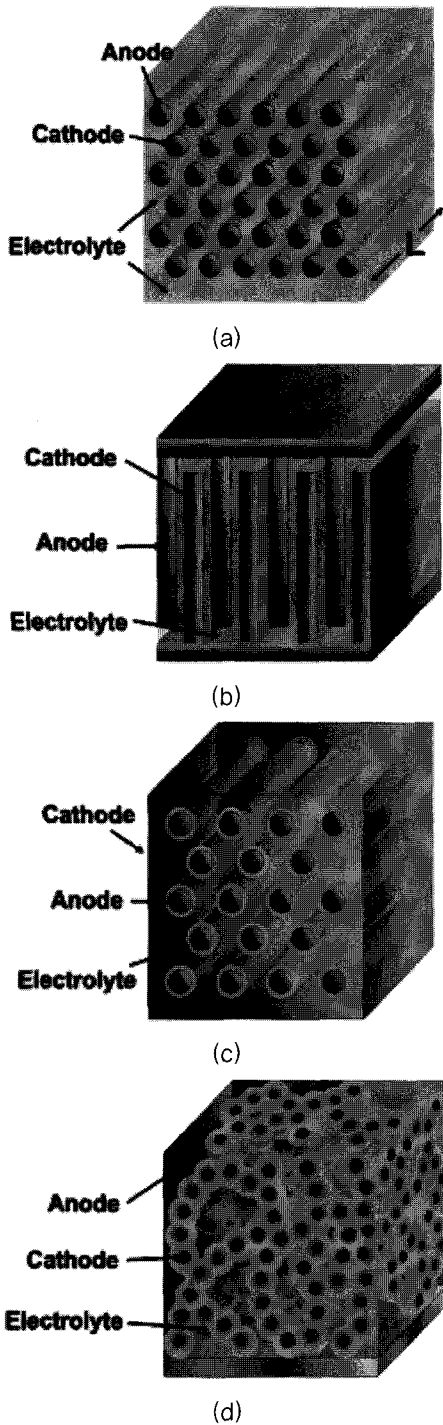


그림 3. 3차원(3-dimension) 박막전지의 다양한 구조 모델[1].

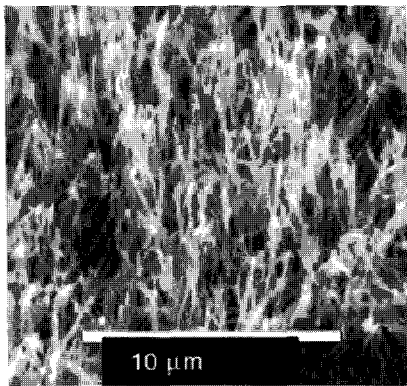
를 얇게 할 수 있다면 양극과 음극간의 이동거리를 획기적으로 줄일 수 있기 때문에 충전과 방전과정에서 발생하는 에너지 손실을 최소화 할 수 있다. 그 외에도 복잡하고 비주기적인 3차원 구조로 스펀지(Sponge) 타입이 제안되어 있다(그림 3(d)). 하나의 극물질이 비주기적으로 배열되어 있고 그 표면을 전해질이 덮고 있어 짧은 이온의 이동경로가 유지되는 방식으로 나머지 자유공간은 상대 극물질로 채워져 있어 반응이 일어나도록 한다. 이외에도 다양한 방식의 3차원 전극 구조가 제안될 수 있으나 제안된 디자인을 모두 실현시키기 위해서는 기술적 한계에 대한 고려가 필요하므로 박막 및 나노기술의 검토가 먼저 이루어져야 할 것으로 생각된다.

3. 화학적 방식을 사용한 3차원 박막전극의 제조

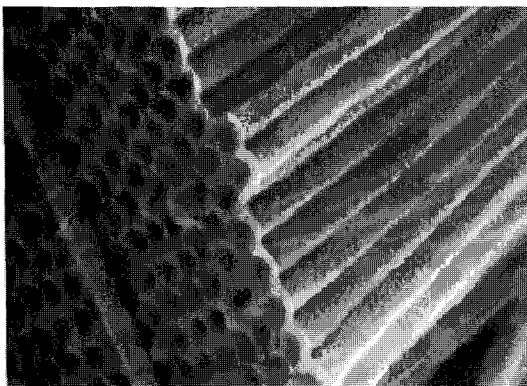
3차원 구조의 박막전지를 제조하는데 있어 일차적으로 필요한 것은 박막 전극에 공극(Porosity)을 형성해 주는 것이다. 공극부분은 추후 전해질(Electrolyte)과 상대전극을 채워 넣기 위해서 필요한 것으로 Macropore (> 50 nm), Mesopore (2-50 nm) and Micropore (< 2 nm)로 구분하기도 한다[1]. 공극이 있는 3차원 박막전극을 제조하는 방법 중 하나는 Porous Membrane, Colloidal Crystal 등과 같은 물질을 Template로 사용하는 것이다. 즉 공극을 형성할 부분에 대체물을 미리 채워둔 다음 박막을 증착하고 이후 대체물을 제거해 내는 화학적 방식이다. 이미 Sol-gel Synthesis, Chemical Vapor Deposition (CVD), Electrodeposition과 같은 방법을 이용하여 공극을 포함하고 있는 3차원 이차전지용 전극박막이 제조되었다.

그림 4는 Porous한 Membrane을 Template로 사용하여 제작한 Nanofiber와 Nanotube를 보여주고 있다. Porous Membrane의 Pore 부분은 Sol-gel, CVD 등의 방법으로 채워 넣을 수 있으며 이후 Membrnae을 제거하여 3차원 구조를 형성하게 되는데 특히 Membrane 제거 시 활물질에 손상을 주지 않는 것이 중요하다. 이 방식을 통해 TiO_2 , V_2O_5 ,

LiMn_2O_4 , SnO_2 등 다양한 구조를 만들 수 있다. 그러나 이러한 방식으로는 3차원 구조의 형성은 가능하나 Tube와 유사한 구조들 간의 상호 Connection이 제한된다는 단점이 발생한다. 구조들 간의 상호 Connection을 원활하게 하는 방법으로는 Template로 Porous Membrane 대신 Colloidal Crystal을 사용하는 것이다. 먼저 Monodisperse Polymer 또는 Silica Sphere와 같은 Colloidal Crystal을 증착하고자 하는 면 위에 Template로 부착시킨 후 서로 연결되어 있는 Template들의 빈 공간에 원하는 물질을 채워 넣어 3차원 구조를 형성하는 방법이다. 빈공간은



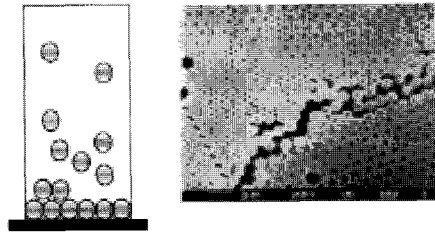
(a)



(b)

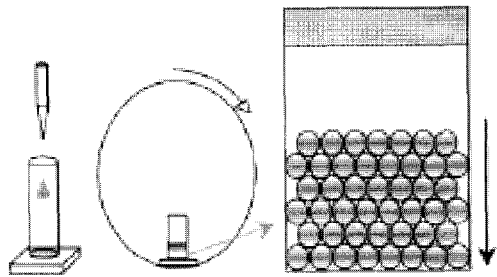
그림 4. (a) Porous Membrane을 Template로 사용하여 제조된 Solid Nanofiber와 (b) Nanotube 구조의 SEM 사진[2].

Template assembly

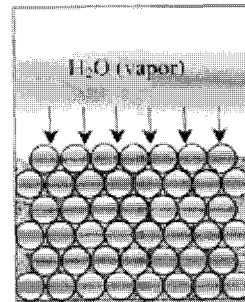


(a)

Precursor infiltration

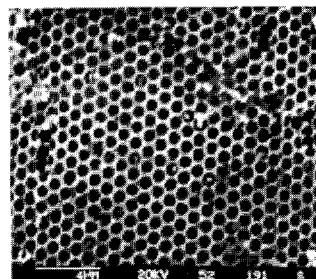


(b)



(c)

Templated V_2O_5



(d)

그림 5. Polystyrene Sphere를 Template로 사용하여 제작된 3차원 구조의 Vanadium Oxide Ambigel을 제작하는 공정도[3].

Sol-gel Synthesis, Salt Precipitation, CVD 등의 방법으로 채울 수 있으며 이후 사용된 Template는 열처리 또는 식각과정을 거쳐 제거하게 된다. 그림 5는 Colloidal Crystal을 사용한 3차원 구조 Vanadium Oxide Ambigel의 제작 과정을 보여준다. 먼저 공극 형성을 위해 Polystyrene Sphere를 Template로 Packing 시킨다(그림 5(a)). 이후 Vanadium Alkoxide Precursor를 Template에 채워 넣고(그림 5(b)), Precursor로부터 수분을 제거함과 동시에 Hydrolysis와 Condensation 과정을 거치게 한다(그림 5(c)). 이 과정이 끝나면 Toluene 등을 사용 Template를 제거하면 그림 5(d)와 같은 벌집 모양의 구조물이 형성되게 된다[3]. 그 외에도 Self-assembled Supramolecular Array 등을 Template로 사용하여 3차원 전극구조를 제조할 수 있는 등 많은 화학적인 방법들이 3차원 박막전극의 제조에 사용되고 있다.

4. Micro-machining법을 사용한 3차원 박막전극의 제조

한편으로는 최근 각광을 받고 있는 Micro-machining법을 이용하여 3차원 박막전극을 제조하는 시도도 이루어지고 있다. 이 과정은 화학적인 방법과 달리 박막의 증착(Deposition), Photo-lithographic Patterning, 선택적인 식각(Etching)과정을 거치는 반도체 제조공정에서 주로 사용되어 온 방식들을 거친다. 물론 이와 같은 공정들은 비용의 상승을 가져오나 앞에서 설명한 화학적 방식으로 제조된 구조에 비해 상대적으로 정교한 3차원 구조를 제조할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그 중 하나의 예는 C-MEMS Process로 불리는 방식을 통해서 제작된 Carbon 전극이다. 박막전지의 음극물질로 사용될 수 있는 Carbon을 매우 정교한 규칙성을 가진 3차원 구조로 형성한 것으로 제조방법을 다음과 같다. 먼저 실리콘 기판위에 Positive Photoresist를 Spin Coating한 후 Photo-lithography를 이용하여 Patterning한다. 이후 3차원 구조로 남아 있는 Positive Photoresist를 열분해(Pyrolysis) 시키게 되

면 박막전지의 음극으로 사용될 수 있는 Carbon이 형성된다[4]. Laser Excitation을 열분해 과정과 Pattern을 새기는 과정에 동시에 도입시켜 좀 더 향상된 결과를 얻기도 하였는데[5] 그림 6은 위의 과정을 거쳐 제작된 Carbon Array를 보여주고 있다. C-MEMS 공정에 있어 열분해 조건은 구조와 Morphology, 전기화학적 성질 등을 결정하는 중요한 요소로서 이에 따라 형성된 Carbon의 특성이 결정된다. 대부분의 공정조건에서 형성된 Carbon은 Glassy Carbon 형태로 보고되고 있으며 1000 °C 이상의 온도에서 열분해된 경우 상당히 우수한 전기화학적 특성을 보고하였다.

C-MEMS Process는 매우 정교한 3차원 전극의 형성이 가능하나 음극인 Carbon만을 제조할 수 있는 방법이다. 반면 다음에 소개할 Silicon Mold를 Micro-machining법으로 제작하여 사용하는 방법은 C-MEMS Process와 달리 양극과 음극의 제조가 모두 가능하다. 이 과정은 Silicon Mold를 Photo-lithography와 Deep-reactive Ion Etching을 통해 제조한 다음 Silicon Mold 속에 원하는 양극 또는 음극 물질을 채워 넣고 Mold를 분해해 내는 순서로 진행되며 매우 다양한 물질의 3차원 전극 제조가 가능하다[1]. 제조 과정은 다음과 같다. 먼저 Silicon Wafer 위에 12 μm 두께로 Photoresist를 Spin Coating 시킨 후 UV광을 이용 Pattern을 만든다(그림 7(a)). UV광

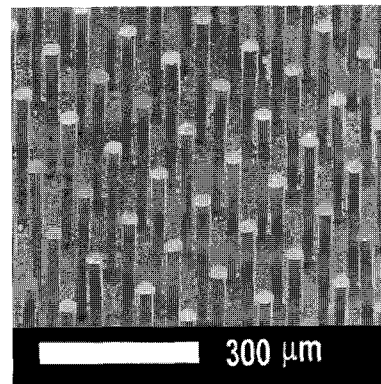


그림 6. C-MEMS Process를 통해 제작된 Carbon 전극의 어레이(Array) 구조[1].

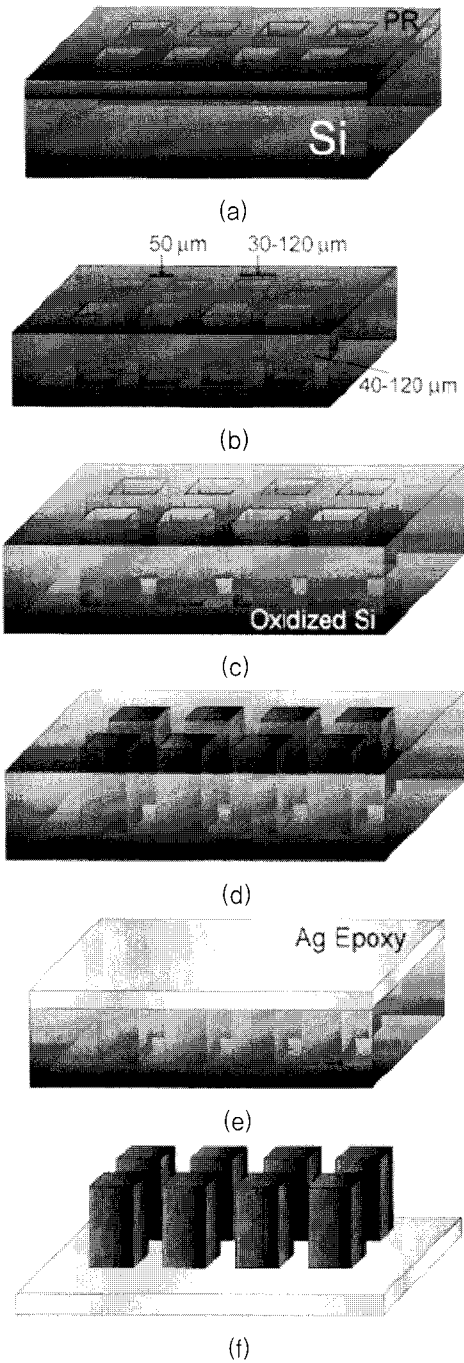


그림 7. Silicon-micromachining 방법을 통해 Silicon Mold를 제조하고 Mold 속에 극물질을 채워 3차원 극판을 형성하는 과정을 나타내는 모식도[1].

에 노출된 부분의 Photoresist는 녹아나오게 되어 Silicon 부분이 노출되고 Deep-reactive Ion Etching을 거치는 동안 40-120 μm 두께로 Hole이 생기게 된다.(그림 7(b)) Silicon Wafer 위에 Hole이 생성되면 1100 $^{\circ}\text{C}$ 정도의 온도로 열처리하여 표면에 1 μm 두께 정도의 Thermal Oxide를 형성하는데(그림 7(c)) 이때 형성된 Oxide층은 나중에 Electrode Array를 Silicon Mold에서 분리해 내는데 용이하도록 도와주는 역할을 한다. Thermal Oxide층으로 덮여 있는 Silicon Hole은 Mold 역할을 하는데 그 안에 LiCoO_2 , Carbon Black, V_2O_5 와 같은 다양한 전극물질을 채워 넣을 수 있다(그림 7(d)). 보통 바인더(Binder)와 혼합되어 있는 전극분말을 비수용성 용매에 분산시킨 후 Silicon Mold를 넣고 Centrifuge 과정을 통해 전극분말이 Mold 안으로 들어가도록 한다. 이후 200 $^{\circ}\text{C}$ 정도로 열처리 하여 용매를 제거하고 바인더를 녹여 활물질 분말들을 결합(Binding)시킨다. 전극 역할을 할 Ag Paste는 Mold 뒷면에 Spread시켜 전기적인 Contact를 형성하고 기계적인 안정성을 제공한다(그림 7(e)). 마지막 단계로 Electrode Array를 Silicon Mold로부터 분리해 내는데 Tetraethylammonium Hydroxide(TEAOH)를 이용 Silicon Mold의 일부분을 녹여내면 분리시킬 수 있다. 그림 8은 그림 7에서 제시된 공정을 통해 제조된 3차원 전극을 보여주고 있다. 본 공정은 미세한 분말을 만들 수 있다면 어떠

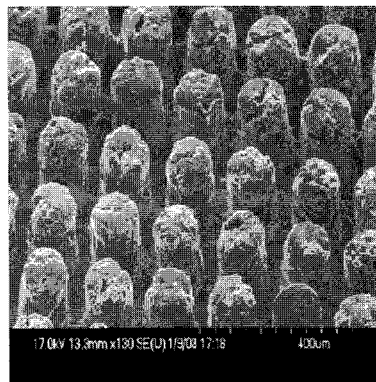


그림 8. 그림 7의 과정을 거쳐 제조된 3차원 박막전극의 SEM 사진.

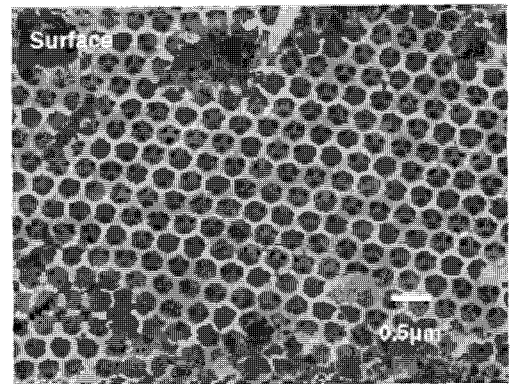
한 전극 물질이라도 3차원 구조를 형성시킨 수 있다는 데에 장점이 있다. 박막을 증착하지 않고 Mold를 제조하는 공정만 반도체 공정에서 사용되는 기법을 차용하고 있으며 다양한 응용성을 가지고 있으므로 3차원 전극의 제조에 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

5. 3차원 구조의 Full-cell 제작

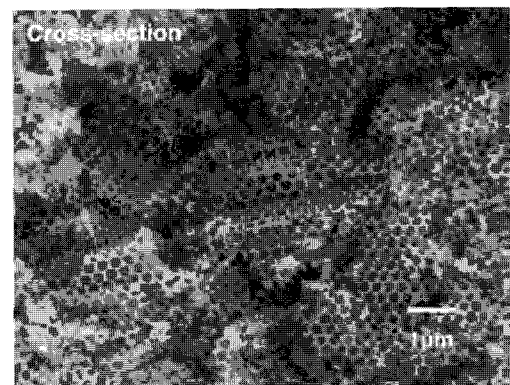
앞에서 3차원 박막전지의 간략한 개념과 디자인, 3차원 박막전극의 연구동향을 살펴보았다. 그러나 완전한 3차원 박막전지를 제작하기 위해서는 양극 또는 음극 한 부분만을 제조할 수 있어서는 안 되며 양극, 전해질, 음극으로 이어지는 3차원 Full-cell 구조가 구현되어야 한다. 그러나 이 부분에 대한 연구는 아직 걸음마 단계라 할 수 있으며 해결해야 할 많은 과제들이 있다. 가장 중요한 이슈 중 하나는 양극과 음극을 전기적으로 완전히 단락시키면서 이온이 원활하게 움직일 수 있도록 하는 고상의 3차원 박막 전해질의 개발이다. 미세한 Pin-hole이 없어야 하며 가능한 수 Nanometer 두께를 가진 박막전해질을 3차원 전극위에 구현시키는 것은 간단한 일이 아니다. 특히 미세한 Leakage 문제만 있더라도 박막전지 전체의 기능이 상실되어 버리기 때문에 상당한 기술적인 어려움을 가지고 있는 것이 사실이다. 고상 전해질의 두께를 두껍게 하면 Leakage 문제는 어느 정도 해결할 수 있으나 결국 이온이 이동할 거리의 증가를 가져오고 3차원 박막전지의 기능을 저하시키게 된다. Kanamura 등은 양극이나 음극을 먼저 형성시키는 대신 고체 전해질을 공극을 지닌 형태로 먼저 형성시킨 후 그 공극 속에 음극이나 전해질을 채워 넣는 방식으로 이를 해결하려 시도하였다. 공극을 지닌 고체 전해질은 Polystyrene Bead를 Template로 사용하여 Li-La-Ti-O sol을 채워 넣은 후 열처리하여 제작하였다. 그림 9는 이렇게 제작된 Li-La-Ti-O 고체전해질의 SEM 사진을 보여주고 있다 [6]. 형성된 3차원 구조의 고체전해질 공극에 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (음극)와 LiMn_2O_4 (양극)를 채워 넣는 시도도 있었으나 아쉽게도 양극과 음극을 동시에 사용한

완전한 Full-cell을 구현하지는 못하였다.

최근에는 완전한 3차원 구조의 박막전지 Full-cell이 Silicon Wafer에 홀을 형성하는 방식으로 성공되어 보고되었다[7,8]. 얇은 Silicon Wafer에 Photolithography법과 Plasma Etching법을 이용하여 홀을 형성한 후 Wafer의 앞뒷면과 홀 내부면에 모두 니켈 Current Collector를 입히고 Electrodeposition을 이용하여 MoS_2 를 양극박막으로 제작하였다. 그 위에 Hybrid Polymer Electrolyte(전해질), 카본(음극역할)을 순차적으로 형성시켜 Full-cell형태의 3차원 박막전지를 구현하였다[7,8]. 후속 연구로 Silicon Wafer 대신 Glass Microchannel Plate를 기판으로 사

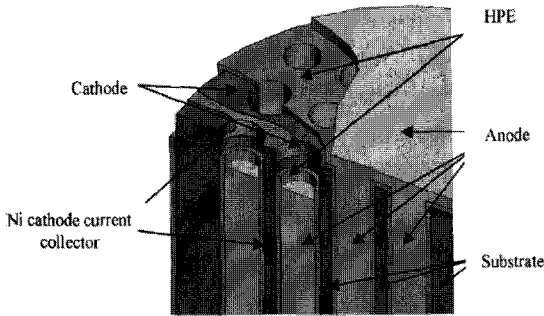


(a)

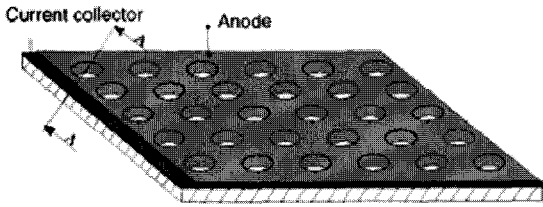


(b)

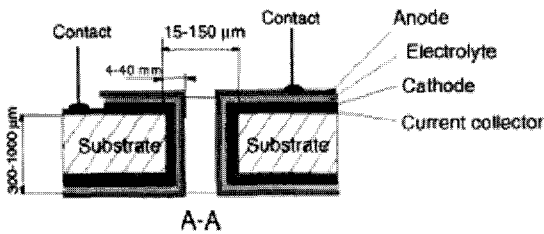
그림 9. Polystyrene Bead를 사용하여 제작된 3차원 구조의 Li-La-Ti-O 고체전해질[6].



(a)



(b)



(c)

용하여 역시 비슷한 3차원 박막전지를 구현하여 보고하기도 하였다[9]. 비록 한쪽 면에 순차적인 증착을 통해 제작된 3차원 박막전지는 아니라 하더라도 이를 이용하여 3차원 구조의 Full-cell 형태로 완성시킨 것은 상당한 의미를 가지고 있으며 이를 통해 2차원 구조 보다 단위면적당 20배 정도 높은 방전용량을 얻은 것은 매우 우수한 연구 성과로 생각된다.

이러한 연구 성과에도 불구하고 3차원 박막전지는 아직 시작 단계이며 많은 해결해야 할 과제를 가지고 있다. 일반적으로 생각할 수 있는 3차원 공극을 가진 양극 또는 음극 박막 위에 전해질을 균일하게 형성시키고 그 위에 다시 상대 전극을 채워 넣는 제조방식을 통한 3차원 Full-cell은 아직 많은 공정상의 어려움을 가지고 있는 것이 사실이다. 그럼에도 불구하고 3차원 박막전지가 주목받는 이유는 공극구조와 양극과 음극이 겹쳐져 있는 구조로 인하여 두께를 두껍게 하더라도 높은 이온 및 전자전도성이 얻을 수 있어 2차원 박막전지의 최대 문제점으로 제시되는 낮은 방전용량 문제를 해소, 그림 12에서 보여주고 있는 것과 같은 다양한 MEMS 소자에 사용될 극소형의 이차전지를 얻을 수 있기 때문이다. 앞으로 3차원 박막전지의 연구가 좀 더 활성화 되어 당면화되어 있는 MEMS 소자의 에너지원 문제를 해결하고 유비쿼터스 사회를 앞당기길 기대해 본다.

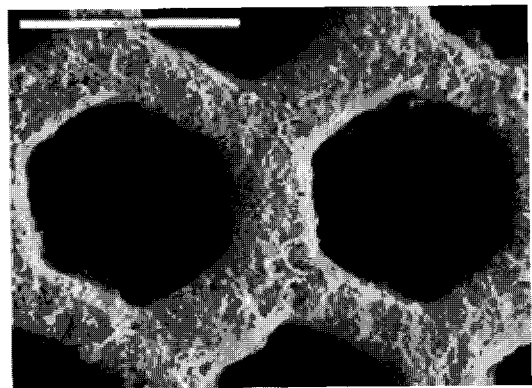
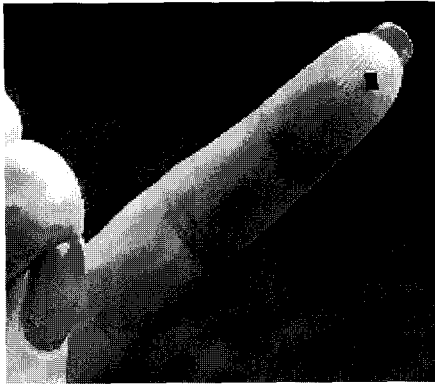
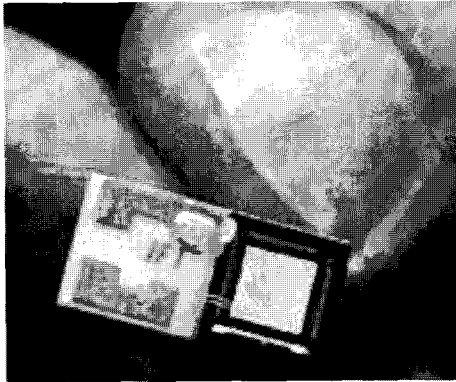


그림 11. 그림 10과 같은 방식을 통해 제조된 3차원 박막전지의 SEM 사진[7].

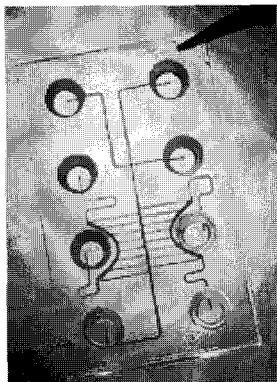
그림 10. Silicon Wafer에 홀을 형성한 후 Current Collector, 양극, 전해질, 음극을 형성시켜 완성한 3차원 박막전지의 모식도[7,8].



(a)



(b)



(c)

그림 12. 3차원 박막전지가 사용될 것으로 예상되는 각종 MEMS 소자.

참고 문헌

- [1] J. W. Long et al. "Three-Dimensional Battery Architectures", Chem. Rev., vol. 104, p. 4463, 2004.
- [2] A. J. Rouhi, Chem. eng. News, vol. 79, p. 29, 2001.
- [3] J. S. Sakamoto et al., "Hierarchical battery electrodes based on inverted opal structures", J. Mater. Chem., vol. 12, p. 2859, 2002.
- [4] R. Kostecki et al., "Influence of geometry on the electrochemical response of carbon interdigitated microelectrodes", J. Electrochem. Soc., vol. 147, p. 277, 2000.
- [5] R. Kostecki et al., "Fabrication of interdigitate carbon structures by laser pyrolysis of photoresist", Electrochem. Solid-State Lett., vol. 5, p. E29, 2002.
- [6] K. Kanamura et al., "Three dimensionally ordered composite solid materials for all solid-state rechargeable lithium batteries", J. Power Sources, vol. 146, p. 86, 2005.
- [7] D. Golodnitsky et al. "Advanced materials for the 3D microbattery", J. Power Sources, vol. 153, p. 281, 2006.
- [8] M. Nathan et al, "Three-dimensional thin-film Li-ion microbatteries for autonomous MEMS", J. Microelectromechanical systems, vol. 14, p. 879, 2005.
- [9] D. Golodnitsky et al. "Progress in three-dimensional (3D) Li-ion microbatteries", Solid State Ionics, vol. 177, p. 2811, 2006.

저자약력



성명 : 박용준

◆ 학력

- 1994년 KAIST 무기재료공학과 공학사
- 1996년 KAIST 재료공학과 공학석사
- 2000년 KAIST 재료공학과 공학박사

◆ 경력

- 2000년 - 2006년 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2004년 - 2005년 Lawrence Berkeley National Lab. Visiting Scientist
- 2006년 - 현재 경기대 신소재공학과 전임강사