

습식 반도체 공정을 이용한 On-chip형 micro-DMFC 제조 공정에 관한 연구

차혜연, 최후곤*, 남재도, 이영관, 조성민, 이은숙**, 이정규**, 정찬화
 성균관대 응용화학부, 성균관대 산업공학부*, (주)협진I&C**

Development of wet microelectronics processing for the Fabrication of micro-DMFC on a chip

Hye-Yeon Cha, Hoo-Gon Choi*, Jae-Do Nam, Youngkwan Lee, Sung-Min Cho,
 Eun-Sook Lee**, Jung-Kyu Lee**, and Chan-Hwa Chung

School of Chemical Engineering and Applied Chemistry Sungkyunkwan University,
 School of System Management Engineering Sungkyunkwan University*. Hyup Jin
 I&C Co.,LTD.**

I. 서론

마이크로 연료전지는 휴대폰에서부터 소형 디지털 장치뿐만 아니라 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 장치 등에 사용이 가능한 강력한 전원 공급원으로서 많은 주목을 받고 있다. 현재 소형 연료전지에 대한 연구들은 휴대용 디바이스들의 전원 공급에 초점이 맞추어져 있고, 소형 연료전지로는 상온, 상압 구동이 가능한 DMFC가 주목을 받고 있다. 소형 연료전지의 개발이 이루어졌을 경우, 그에 따르는 휴대용 디바이스들의 상용화와 거대 시장 창출효과는 매우 클 것이다.

MEMS기술이 개발되어 현재 마이크로 로봇을 제작하는 연구가 활발히 진행되고 있으며 이를 이용한 미세 조정 시스템의 구현으로 의료 및 부품분야에 큰 발전이 예상되고 있다. 이 MEMS 디바이스는 작은 웨이퍼 위에 아주 복잡한 과정에 의해 제작이 되지만, 집적회로처럼 일괄처리(batch process) 기술을 이용하므로 아주 낮은 비용으로 제작이 가능하다는 장점이 있다. 그러므로 MEMS 공정을 이용하여 마이크로 연료전지를 제작할 수 있다면 대량생산과 비용절감의 이점을 얻을 수 있고, MEMS 소자의 개발과 함께 MEMS 소자용 전원 공급 장치의 개발이 필수사항이므로 마이크로 연료전지의 개발은 매우 시급하다. 반도체 공정의 건식공정은 제어가 쉬우나 비용이 비싼 반면, 습식공정은 비용이 싸고 대량 생산이 용이하나 제어가 어렵다는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 mico-DMFC 제조 공정을 비용 절감과 대량 생산 적용이 쉬운 습식 공정으로 개발하고 제어할 수 있도록 연구하고 더 나아가 시스템의 구조를 단순화시켜 이후 연료처리 등의 부수 설비 도입이 용이한 micro-DMFC를 개발하는 연구를 하고자 하였다.

II. 실험 및 결과

본 연구에서의 micro-DMFC의 개념은 그림 1과 같다. 실리콘 기판의 웨이퍼 상부에는 $80\mu\text{m} \sim 200\mu\text{m}$, 하부에는 $1240\mu\text{m} \sim 3100\mu\text{m}$ 의 기공을 습식 식각으로 형성시킨다. 상부 표면에는 집전체(current collector) 역할을 하도록 백금(Pt)을 도금하여 실리콘 칩을 완성하게 된다. 이렇게 제작된 실리콘 칩은 current collector, flow-field, catalyst support 역할을 동시에 하게 된다. 이후, MEA에 제작한 다공성 실리콘 기판을 압착하여 micro-DMFC를 완성한다. micro-DMFC의 전체 사이즈는 $4 \times 6\text{cm}$ 혹은 $1.6 \times 2.4\text{cm}$ 의 두 종류로 제작하였으며 그 내부에는 $3100 \times 3100\mu\text{m}$ 혹은 $1240 \times 1240\mu\text{m}$ 의 단위 MEA 60개가 각각 하나의 칩에 집적되게 된다.

Silicon Chip Fabrication

본 실험에서는 4 inch, 500 μ m thickness, n-type, prime grade (110)웨이퍼와 4 inch, 300 μ m thickness, p-type (100)웨이퍼를 사용하였으며 웨이퍼의 양면을 폴리싱하여 사용하였다. Photo Resist(PR)은 Hoechst사의 AZ 1512를 사용하였다. 제조 공정을 그림 2에 나타내었다. 제조 공정순서는 우선 유기물과 자연산화막을 제거하기 위한 웨이퍼세정공정을 거친 후 실리콘산화막(SiO₂)을 성장시키는 것이다. SiO₂층의 성장은 1100 $^{\circ}$ C, air (21% O₂) 분위기의 furnace에서 이루어지고, 이후 성장한 SiO₂층의 두께는 α -step으로 측정된 결과 3 μ m이상이 됨을 확인하였다. double-side polished wafer이므로 산화 공정동안 양면에 같은 두께의 SiO₂층이 성장한다. 다음 공정으로는 사진 및 식각 공정을 통하여 웨이퍼의 전면과 후면에 있는 SiO₂층을 patterning한다. 즉, Si 식각시에 etch window부분에 해당되는 SiO₂를 제거하는 것이다.

실리콘 칩 제작의 마지막 단계는 기공을 형성하기 위하여 실리콘을 KOH 용액으로 식각하는 것이다. KOH용액에 대해 Si과 SiO₂는 1000 : 1 의 선택비를 가지므로 SiO₂가 완벽한 식각 방지막은 아니지만, SiO₂층이 식각 되어지는 Si 두께에 비해 충분히 두꺼울 때 식각 방지막으로서의 역할을 해낼 수 있다. 이는 본 연구 수행 결과로 확인 할 수 있었다.

웨이퍼의 결정방향에 따라서 습식식각 방향이 다르므로 (100)웨이퍼와 (110)웨이퍼의 최종적으로 제작되는 칩의 모양이 달라지고, 공정 조건에서는 식각의 마스크로 쓰이는 SiO₂층의 두께와 Si 식각 시간도 달라진다. [KOH : IPA : Water = 23.4 wt% : 13.3 wt% : 63.3wt%] 식각용액은 Si를 일정방향의 특수한 면에서는 다른 면에서보다 매우 빠른 식각 속도를 나타내는 방향성을 갖는 식각이 일어나는 이방성 식각을 하게 되어 본 연구에서 수행되어 제작된 실리콘 칩은 그림 3에서와 같은 형태로 제작된다. Si wafer가 실리콘 칩의 형태로 완성되면 집진체 역할을 할 금속을 증착한다. 사진식각 공정으로 금속이 증착되지 않을 부분은 PR을 코팅한 후 금속증착 공정을 진행한다. 접착력을 고려해 우선, 알루미늄을 evaporator로 증착시킨 후, 백금을 sputtering방식으로 증착한다. 증착이 끝나면 PR을 lift-off한다.

Catalyst layer and Diffusion layer deposition

Catalyst layer는 nafion solution, DI Water, IPA의 혼합물인 catalyst ink를 spray-coating한다. cathode와 anode에 각각 Pt black, Pt-Ru alloy black을 spray방식으로 증착한다. 또한, diffusion layer는 carbon ink 와 PTFE dispersion spray한다.

Anode, Cathode chip and Nafion assembly

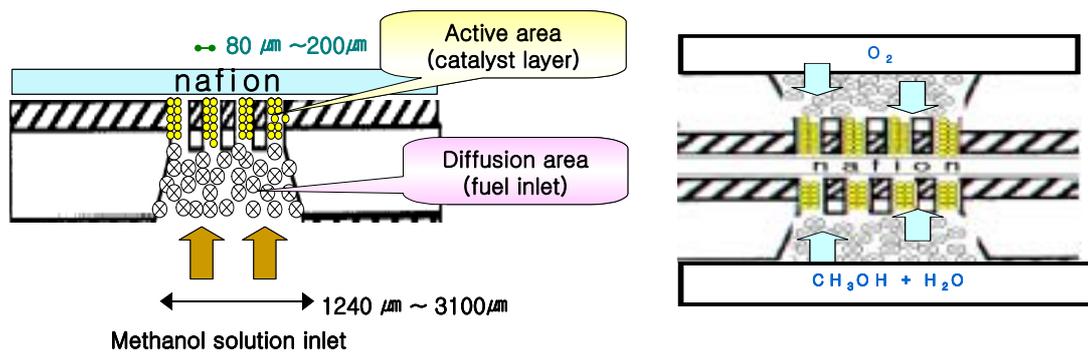
nafion에 anode와 cathode chip을 그림 4와 같이 30 psi, 170 $^{\circ}$ C에서 10분 동안 hot-press 하고, 30 $^{\circ}$ C로 냉각한다.

III. 결론

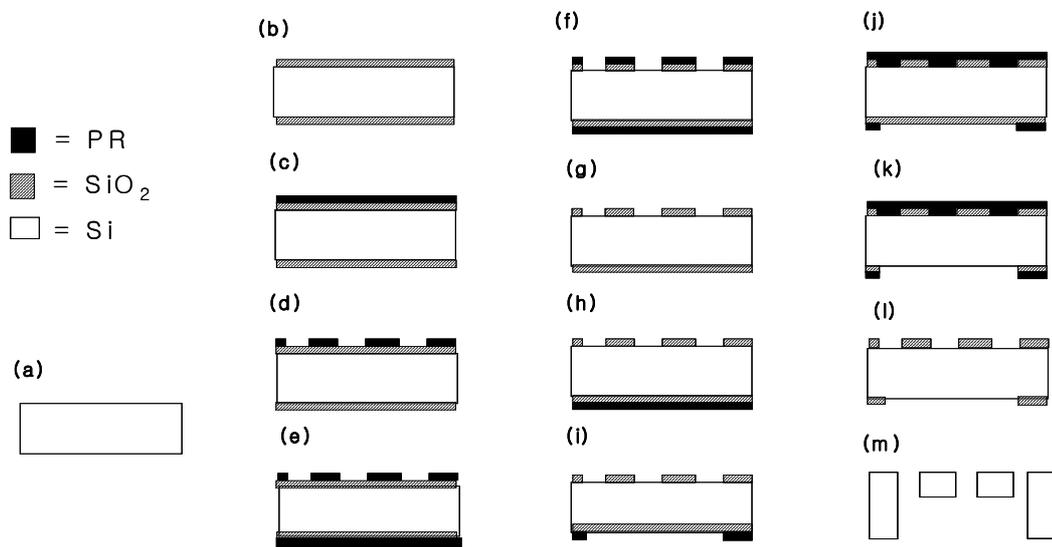
습식 반도체 공정을 이용하여 micro-DMFC의 기관인 실리콘 칩의 제조에 대한 연구가 선행되어 그 가능성이 확인되었다. 이후 제조한 실리콘 칩으로 완전한 micro-DMFC를 제조하고 그 성능에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다. (100)웨이퍼와 (110)웨이퍼의 micro-DMFC 제조 공정 조건을 확립하여 제어할 수 있음으로써, 실리콘 칩의 구조에 따른 micro-DMFC의 효율 비교에 대한 연구가 이루어 질 것이며, 보다 간단한 구조에 대한 연구와 연료 처리기 등의 부수 설비 도입에 대한 연구로 micro-DMFC 의 상용화가 이루어질 수 있을 것이라 본다.

참고문헌

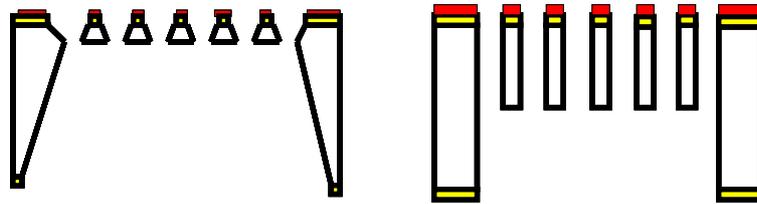
- [1] A. J. Appleby, and F. R. Foulkes, "Fuel Cell Handbook", Vol. 1, Van Nostrand Reinhold, N.Y., Ch.8, (1989).
- [2] S. C. Kelley, G. A. Deluga, W. H. Smyrl, *Electrochemical and Solid-State Letters*, 3(9), 407-409, (2000).
- [3] W.Y. Sim, G. Y. Kim, S. S. Yang, *Micro Electro Mechanical Systems*, MEMS 2001 The 14th IEEE International Conference on, 2001



< 그림 1 > 소형 연료전지의 모식도

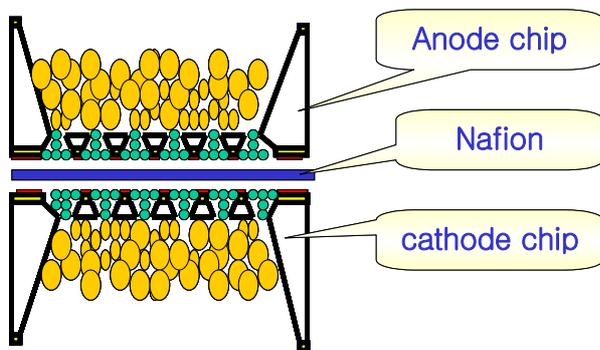


< 그림 2 > 실리콘 칩 제작 공정 순서도 (a) A double-side polished silicon wafer. (b) Growth of SiO₂ layers on the both sides of the wafer. (c) Spin coating of PR. (d) Lithography. (e) Spin coating of PR on the back side of the wafer. (f) SiO₂ etching. (g) PR removing. (h) Spin coating of PR. (i) Lithography. (j) Spin coating of PR on the front side of the wafer. (k) SiO₂ etching. (l) PR removing. (m) Si etching.



(a) (100)웨이퍼 실리콘 칩 (b) (111)웨이퍼 실리콘 칩

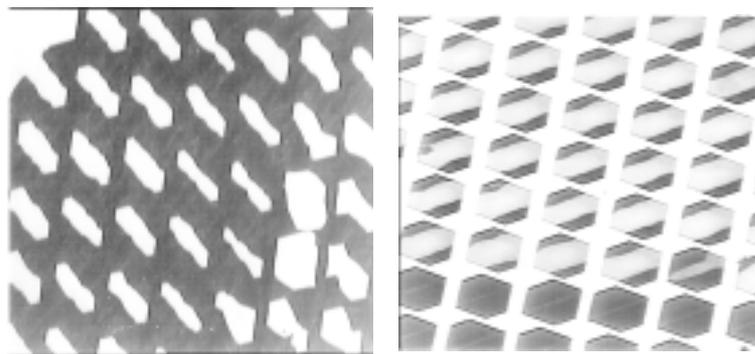
< 그림 3 > 제작된 실리콘 칩 단면



< 그림 4 > Anode, Cathode chip and Nafion assembly



< 그림 5 > 제작한 실리콘 칩의 사진.



< 그림 6 > micro-DMFC 의 광학현미경 사진.