

Si-PDMS 접착력 개선을 위한 PDMS 표면의 O₂ plasma 처리 시간 및 Power 실험 결과

홍장원, 장중현, 박정호
고려대학교 전자전기공학과

Experimental Results of O₂ Plasma Time and Power Treated on PDMS Surface for Improvement of Adhesion between Silicon and PDMS

Jang-won Hong, Jong-hyeon Chang and Jungho Pak
Department of Electrical Engineering, Korea University

Abstract - 패키징 재료로 유연성이 뛰어난 polydimethyl-siloxane (PDMS)를 사용하면 다양한 flexible packaging에 응용할 수 있다. 본 논문에서는 O₂ plasma를 이용한 PDMS의 표면 처리를 통해 PDMS의 표면에너지를 증가시키고, silicon과 PDMS 사이의 접착력 향상을 확인하였다. O₂ plasma power와 처리 시간에 따른 PDMS 표면의 접촉각을 측정하고 표면에너지를 산출하였는데, PDMS의 표면에너지는 O₂ plasma power에는 크게 영향을 받지 않고, plasma 처리 시간에 민감한 것으로 나타났다. Silicon-PDMS의 접착력 역시 plasma power에는 거의 영향을 받지 않았지만 plasma 처리 시간이 길어질수록 접착력이 커지는 것으로 확인되었는데 50W의 power로 25초 동안 처리한 조건에서 최대 130kPa의 압력까지 견디는 것으로 확인되었다. 이는 O₂ plasma 처리 시간이 길어짐에 따라 PDMS의 표면에너지가 커지고 이것이 silicon-PDMS의 접착력을 증가시키는 것을 나타낸다.

또한 측정된 접촉각과 이미 알고 있는 droplet의 표면에너지를 대입하여 표면 처리된 PDMS의 표면에너지를 산출하였다. 표면에너지 산출 방법은 1개의 용액을 이용하는 Girifalco-Good-Fowkes-Young 모델을 이용하였다(그림 2).

1. 서 론

마이크로 시스템 패키징 기술이 발전하면서 유연한 패키징 소자 제작을 위한 초박형 웨이퍼 제작 기술 또한 발전되고 있으며, 이러한 유연한 패키징 소자를 보호하기 위해 여러 가지 기술이 발전하였다[1, 2]. 하지만 기존의 패키징 기술은 고온에서 공정이 진행되므로 저온 접합 MEMS 소자 패키징에는 적합하지 못하다. Polydimethyl-siloxane (PDMS)는 절연성과 유연성이 뛰어난 물질이고, mold를 만들어 원하는 모양을 쉽게 제작할 수 있으며, 특히 낮은 온도에서 공정할 수 있는 장점이 있다[3]. 물질간의 접합은 물질의 표면에너지와 관계가 있다. Work of adhesion(W_a)은 접합된 두 물질을 분리하기 위해 필요한 일을 나타내는데 표면에너지(γ_{LV})와의 관계는 다음과 같이 주어진다[4].

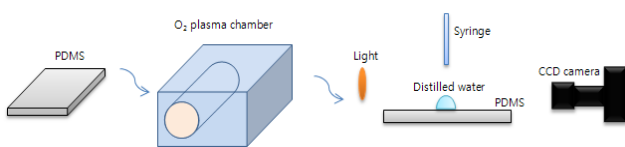
$$W_a = \gamma_{LV}(1 + \cos\theta)$$

즉, 물질의 표면에너지가 높으면 접착력이 증가한다. PDMS의 표면은 O₂ plasma 처리를 통해 그 표면에너지를 변화시킬 수 있다[5]. 본 논문에서는 O₂ plasma의 출력과 시간을 조절하여 표면 처리된 PDMS의 표면에너지 변화를 확인하고, 이에 따른 silicon-PDMS 간의 접착 특성을 분석하고 접착력을 증가시키기 위한 방법을 찾고자 하였다.

2. 본 론

2.1 접촉각 측정 및 표면에너지 산출

본 논문에서 사용한 PDMS(Dow Corning, Sylgard® 184 Silicone Elastomer)는 base PDMS : curing agent를 3:1, 5:1, 10:1, 15:1의 4가지의 비율로 혼합한 후 교반기(Daihan Science, DH.WOS01066 model)를 사용하여 5분간 혼합하였다. 혼합된 PDMS는 진공 챔버에서 40분간 degassing한 후 70°C oven에서 30분간 curing 하였다. Curing 한 PDMS를 15mm * 15mm의 크기로 자른 후 각각의 sample을 O₂ plasma chamber(Femto Science, CUTE)에 넣고 plasma power를 20 ~ 50W로, 시간은 5 ~ 25 초로 조절하여 표면 처리하였다. 표면 처리된 PDMS 표면에 micro-syringe를 이용하여 droplet(distilled water)을 떨어뜨리고 contact angle analyzer(SEO, Phoenix Plus300)를 이용하여 droplet과 PDMS 표면의 접촉각을 측정하였다(그림 1).



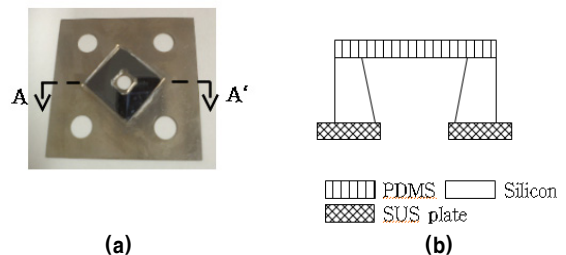
〈그림 1〉 PDMS의 O₂ plasma 처리 후 접촉각 측정 모식도

Plasma 처리 시간(sec)	0	5	10
Droplet 모양 변화			
Contact angle(°)	102.9	86.3	75.4
Plasma 처리 시간(sec)	15	20	25
Droplet 모양 변화			
Contact angle(°)	40.8	26.8	11.2

〈그림 2〉 PDMS 표면 위 droplet의 접촉각(power= 50W)

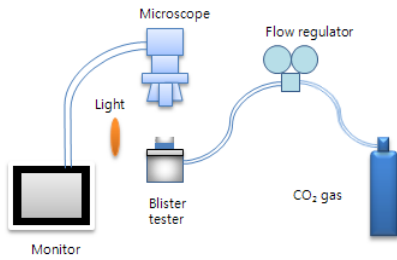
2.2 Silicon-PDMS 접착력 측정

O₂ plasma 표면 처리된 PDMS와 silicon 사이의 접착력을 측정하기 위해 먼저 silicon 시편을 제작하였다. 양면에 silicon dioxide가 deposition된 <100> silicon wafer를 준비하고, photolithography와 BOE 6:1 용액을 이용하여 silicon dioxide를 패터닝하였다. 패터닝된 silicon dioxide를 마스크 층으로 사용하여 silicon을 TMAH(Tetramethyl ammonium hydroxide, sigma-aldrich)용액을 사용하여 비등방성 식각하여 wafer를 관통하였고, 이 후 BOE 용액으로 silicon dioxide 마스크 층을 식각하여 제거하였다. 관통된 silicon wafer를 15mm * 15mm의 크기로 dicing하고 silicon die를 holder인 SUS plate 위에 순간접착제로 고정시켰다. 고정된 silicon die 위에 표면 처리한 PDMS를 올려놓고 80°C의 hot plate 위에서 1시간동안 접착시켰다. Silicon의 경우 표면 처리를 하지 않은 상태에서 그대로 접착시켰다. 그림 3은 holder 위에 접착된 silicon-PDMS이다.



〈그림 3〉 Blister tester를 위한 silicon-PDMS sample; (a)접착 후 모습, (b)silicon-PDMS의 접착된 단면도(A-A')

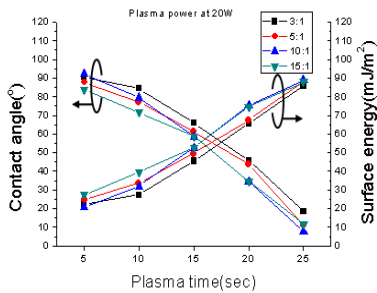
Blister test를 이용하여 접착된 silicon-PDMS sample의 접착력을 측정하였다[6](그림 4). Holder를 blister tester에 올리고 holder 아래로 CO₂ gas가 들어올 때 새지 않게 고정시킨 후 모니터가 연결된 광학 현미경으로 silicon-PDMS sample 중앙의 접착된 부분이 잘 보이도록 움직여 조절하였다. Gas flow regulator를 열어 holder의 가운데 구멍과 silicon die의 관통된 구멍을 통해 gas가 유입되도록 하였다. 이 때 gas의 유입량을 천천히 증가시키며 흐르게 하였다. Gas 유입량이 증가하면 silicon die에 접착된 PDMS의 표면에 압력이 가해지게 되고 PDMS가 점차 부풀어 오르게 되는데, PDMS가 부풀어 오르다 silicon과의 접착이 떨어지는 순간 gas의 압력을 측정하였다.



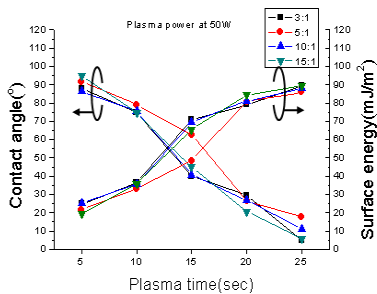
〈그림 3〉 Blister test 모식도

2.3 Silicon-PDMS 접착력 실험 결과 및 검토

그림 4(a), (b)는 각각 plasma power를 20W와 50W로 고정시킨 상태에서 plasma 처리 시간을 증가시키면서 그에 따른 droplet과 PDMS의 접착각을 측정하고 PDMS의 표면에너지를 산출한 것이다. Plasma 처리 전 약 110° 였던 접착각이 점차 낮아져 처리 시간이 25초인 경우 약 10° 까지 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 또한 표면에너지는 plasma 처리 후 25초에서 약 90mJ/m²까지 커지는 것을 확인할 수 있었다. 반면, 그림 4(a), (b)를 비교해보면 plasma power가 20W일 때와 50W일 때 접착각과 표면에너지의 값이 크게 차이나지 않음을 볼 수 있으며 PDMS 혼합 비율 또한 접착각과 표면에너지에 거의 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었다. 따라서 PDMS의 O₂ plasma 표면 처리 후 표면 특성에 영향을 미치는 것은 plasma 처리 시간임을 알 수 있었다(표 1).



(a)



(b)

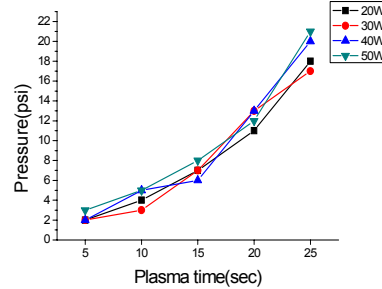
〈그림 4〉 O₂ plasma의 시간에 따른 PDMS 조성별 접착각 및 표면에너지; (a)20W, (b)50W

〈표 1〉 Plasma 시간에 따른 표면에너지

Time[sec]	Surface Energy[mJ/m ²]
5	22.8
10	34.8
15	62.3
20	77.2
25	88.8

그림 5는 silicon-PDMS 사이의 접착력을 실험한 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 접착력의 경우 plasma power를 변화시킨 후 접착시켰을 때 silicon에서 PDMS가 떨어지는 순간의 압력이 거의 비슷한 것을 알 수 있다. 반면에 plasma 처리 시간에 따라서는 큰 변화를 보였다. Plasma 처리 시간이 5초일 때에 5psi(=34kPa) 이하의 압력에서 떨어졌으나 25초일 때에는 20psi(=130kPa) 이상의 압력까지 견디는 것으로 확

인되었다. 이것은 silicon 위에 thermal dioxide를 올리고 O₂ plasma 처리한 후의 접착력(68.9kPa)보다 강한 접착력을 보이는 것이다[7]. 이것은 접착력 또한 표면에너지와 같이 plasma power보다 plasma 처리 시간에 따른 변화가 더 커짐을 나타내며 이는 silicon-PDMS의 접착력이 표면 에너지가 클수록 강해짐을 보이는 것이다.



〈그림 5〉 Blister tester로 silicon-PDMS의 접착력 실험 결과

3. 결 론

본 논문에서는 PDMS의 O₂ plasma 처리조건에 따른 PDMS의 표면 에너지 변화를 확인하고, silicon과 PDMS 사이의 접착력 변화를 확인하였다. Plasma power에 대해서는 PDMS의 표면에너지 변화가 거의 없었지만 plasma 처리 시간에 따라서는 시간이 길어질수록 PDMS의 표면에너지가 증가함을 확인할 수 있었다. 또한 blister test를 통해 silicon과 표면 처리된 PDMS의 접착 강도를 측정하였는데, 접착력 역시 plasma 처리 시간에만 주로 영향을 받으며 처리 시간이 길수록 강한 접착력을 보이는 것을 확인하였다. Plasma 처리 시간이 20초인 경우, silicon 위에 thermal dioxide를 올리고 O₂ plasma 처리한 후의 접착력과 비슷한 접착력을 보였고 25초인 경우에는 2배 정도의 강한 접착력을 보이는 것을 확인하였다. 이 결과는 PDMS의 모양을 만들고 표면 처리하여 silicon에 접착시킴으로써 유연한 기관의 보호용 패키징 소자로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 서울테크노파크의 차세대패키징 공정·장비 실용화사업의 일환으로 산업자원부 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. Y. Chen, L. S. Huang, C. H. Chu, C. Peizen, "A New Transferred Ultra-Thin Silicon Micropackaging," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol. 12, pp. 406-409, 2002.
- [2] K. Y. Chen, R. L. D. Zenner, M. Arneson, D. Mountain, "Ultra-Thin Electronic Device Package," *IEEE Transactions on advanced packaging*, Vol. 23, No. 1, pp. 22-26, 2000.
- [3] X. Niu, S. Peng, L. Liu, W. Wen, P. Sheng, "Characterizing and Patterning of PDMS-Based Conducting Composites," *Advanced Materials*, Vol. 19, pp. 2682-2686, 2007.
- [4] S. Ebnesaajad, *Surface Treatment of Materials for Adhesion Bonding*, William Andrew Publishing, New York, pp. 9-17, 2006.
- [5] T. Murakami, S. I. Kuroda, Z. Osawa, "Dynamics of Polymeric Solid Surfaces Treated with Oxygen Plasma: Effect of Aging Media after Plasma Treatment," *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 202, pp. 37-44, 1998.
- [6] S. W. Lee, E. T. Kim, S. J. Kim, "Application of the Blister Test to Assess Reliability of Polyimide Based Retinal Electrode," 2007 Arvo annual meeting, Fort Lauderdale, Florida, May 6-10, 2007.
- [7] S. Bhattacharya, Y. Gao, V. Korampally, M. T. Othman, S. A. Grant, K. Gangopadhyay, S. Gangopadhyay, "Mechanics of Plasma Exposed Spin-On-Glass(SOG) and Polydimethyl Siloxane(PDMS) Surfaces and Their Impact on Bond Strength," *Applied Surface Science*, Vol. 253, pp. 4220-4225, 2007.