

## 실란 프라이머를 이용한 PDMS-PMMA 접착

김강일, 박신욱, 양상식  
 아주대학교 정보통신대학 전자공학부

### A study on PDMS-PMMA Bonding using Silane Primer

Kangil Kim, Sin Wook Park, and Sang Sik Yang

Division of electrical & Computer Engineering, College of Information Technology, Ajou University

**Abstract** - In this paper, we present surface treatments for achieving bonds between PMMA and PDMS substrates. Silane primer is used for the formation of hydroxyl group on PMMA surfaces. The formed hydroxyl groups enhance the bonding strength of PDMS-PMMA substrates without channel clogging and structure deformation. The bonding strength on the different surface treatments (include oxygen plasma, 3-APTES, and corona discharge) is evaluated to find optimal bonding condition. The maximum bonding strength at the optimal surface treatment is over 300 kPa. The surface treatment using silane primer can be used to the bonding process of Micro-TAS and Lab-on-a-Chip.

#### 1. 서 론

최근 MEMS 기술을 이용한 초소형 종합 분석 시스템(Micro-TAS)이나 랩온어칩(Lab-on-a-chip)은 여러 층의 구조물로 이루어져 있기 때문에 접착과 패키징 기술이 필수적으로 필요하다. 실리콘과 유리를 이용한 여러 접착이나 패키징 기술들이 보고되어 왔다[1]. 그러나 저렴한 가격의 일회용 진단 칩이나 랩온어칩을 실용화하기 위해 폴리머를 이용한 소자의 연구가 활발해지며 폴리머 간의 접착 및 패키징 기술이 중요시 되고 있다. 폴리머를 이용한 접착 공정은 열접착이나 용매를 이용한 접착 등이 보고되었지만 접착 공정 중에 폴리머에 형성된 유로나 형상이 변형되는 문제점이 있다[2]. 폴리머 중 Polydimethylsiloxane (PDMS)는 표면 처리를 통해 형성된 수산기의 공유결합으로 접착을 하기 때문에 접착 공정이 간단하고 유로나 형상이 변형되는 문제점이 발생하지 않는다. 이제까지의 PDMS 접착에 관한 연구에서는 PDMS를 PDMS나 유리, 실리콘과 접착할 때는 확실한 접착이 이루어지지만, PDMS를 제외한 다른 종류의 폴리머와의 접착은 안 되거나 약한 접착력을 갖는다고 보고되었다[3]-[5].

본 논문에서는 실란 프라이머를 사용하여 PDMS와 Poly(methyl methacrylate) (PMMA)를 수산화기를 이용한 공유결합으로 접착하였고 최적화된 접착조건을 찾기 위하여 여러 가지 조건으로 접착한 후 접착력을 측정하였다.

#### 2. Materials and Chemicals

접착에 사용된 PDMS는 Dow Corning 사의 Sylgrad 184이고 실란 단분자막(Silane mono-layer)을 형성하기 위해 사용한 3-aminopropyl triethoxysilane (3-APTES) 99% 는 Sigma-Aldrich사의 제품을 사용하였다. PDMS는 SU8-2100을 이용하여 패턴 된 실리콘 몰드 에 부어서 두께가 1.5mm로 만들었으며 가로, 세로 각 5 mm부터 25 mm 까지 5mm 간격으로 만들었다. 두께 2 mm의 PMMA를 PDMS와 같은 크기로 잘라서 준비하였다. 3-APTES는 DI water와 섞어서 5 %(v/v)의 3-APTES로 만들었다.

#### 3. Bonding Fabrication

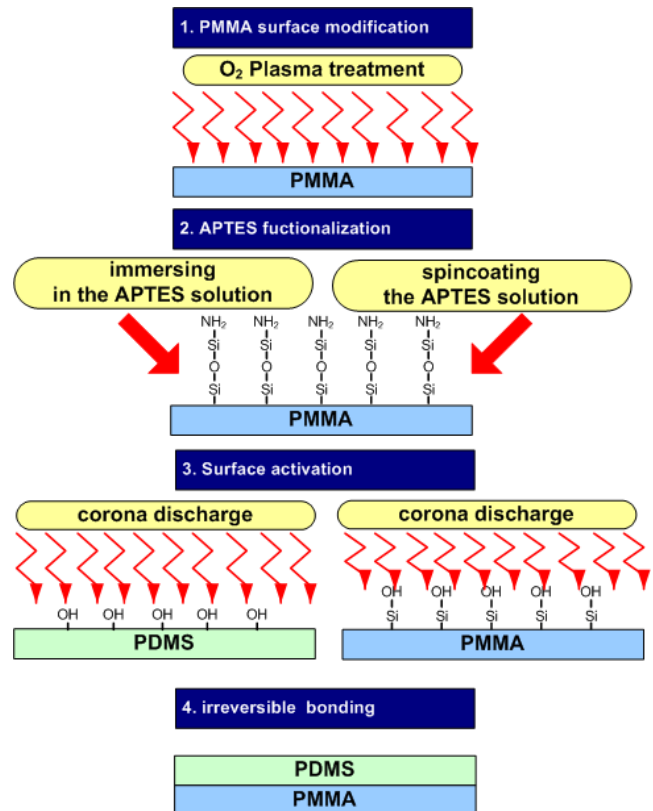
3-APTES를 이용한 PDMS와 PMMA의 접착은 표면처리를 통해서 형성된 수산기의 공유결합을 이용한다. PDMS의 표면에 수산기를 형성하기 위해서는 O<sub>2</sub> 플라즈마를 통한 표면처리를 사용하지만 PMMA의 경우에는 O<sub>2</sub> 플라즈마 처리를 통해서 수산기가 형성되는지 여부가 확실치 않다[6]. 그래서 PMMA위에 수산기를 형성하기 위해서 3-APTES로 PMMA 표면에 실란 단분자막을 형성하고 표면처리를 통해 수산기를 형성하였다. PMMA 표면의 수산기를 형성하는 방법은 다음과 같다. 준비된 PMMA를 IPA(Isopropyl alcohol)로 세척한 후 그림 1의 (1)처럼 RIE를 사용하여 O<sub>2</sub> 50 sccm, 200 W 의 조건으로 1 분간 표면처리 한

다. 처리한 PMMA 위에 활성화된 실란 단분자막을 형성하기 위해 85 °C의 5 % 3-APTES 용액에 PMMA 시편을 5 분 동안 담근 후 질소 가스로 불어서 말린다. 그림 1의 (2)와 같이 형성된 실란 단분자막을 코로나 방전처리 하여 그림 1의 (3)과 같은 수산기를 형성한다. PDMS에도 동일한 방법으로 표면에 수산기를 형성하고 서로 붙여주면 공유결합을 하여 접착이 이루어진다.

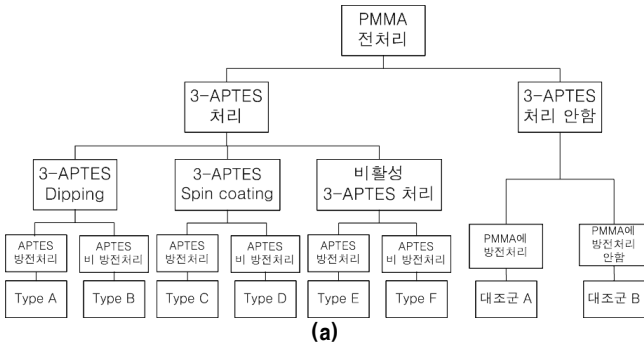
접착공정에 영향을 주는 조건들을 PMMA의 표면처리, 3-APTES의 활성화, PMMA에 실란 단분자막을 형성한 방법, APTES의 코로나 방전처리, 접착 면적으로 추측하고 각 조건들이 접착에 미치는 영향을 알아보기 위해 그림 2와 같이 실험군을 나누었다.

#### 4. Measurement of bonding strength

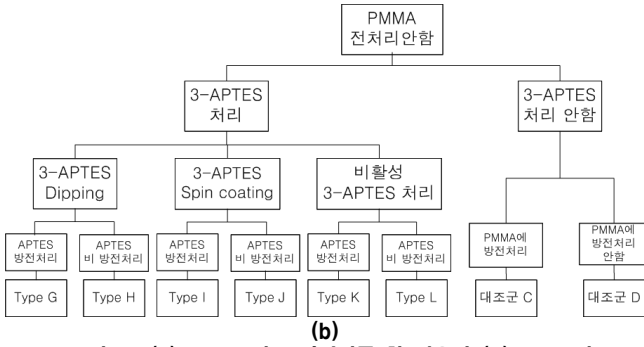
그림 3처럼 소자와 외경 4 mm의 튜브를 예폭시 본드로 고정하고, 소자와 고정된 튜브를 통해서 주사기 펌프로 밀폐된 공간에 유체를 밀어주어 PDMS와 PMMA의 접착력을 측정하였다. 그림 4는 접착력을 측정하기 위해 구축한 시스템의 사진이다. 튜브에 빨간색 잉크를 채우고 CCD 카메라를 통해 잉크가 PDMS와 PMMA 사이로 유출되어 접착이 떨어지는 여부를 관찰하면서 유체를 밀어주었다. 유체의 압력은 Honeywell 사의 26PCFFA6G (최고 측정 압력 : 690 kPa) 압력 센서를 사용하여 측정하였다.



〈그림 1〉 접착공정의 개략도

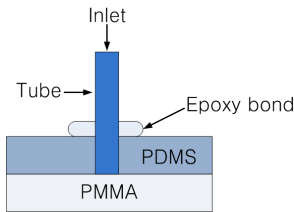


(a)

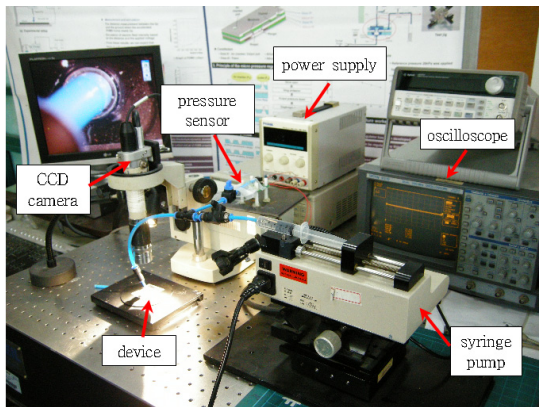


(b)

〈그림 2〉 (a) PMMA의 표면처리를 한 경우와 (b) PMMA의 표면처리를 하지 않았을 경우의 실험군의 분류



〈그림 3〉 접착력 측정을 위해 제작된 소자의 개략도

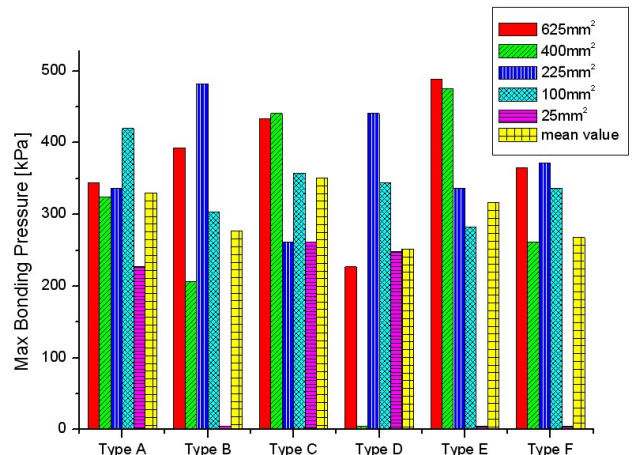


〈그림 4〉 접착력 측정 시스템

### 5. Results of bonding strength

측정한 접착력은 그림 5와 같다. PMMA에 표면처리를 하지 않은 Type G부터 Type L 까지와 3-APTES를 사용하지 않고 접착한 대조군 A, B, C, D는 접착이 되지 않았다. 이를 통해서 실란 단분자막을 형성하기 전에 PMMA를 표면처리 하지 않거나 APTES를 사용하지 않으면 접착이 이루어지지 않음을 알 수 있다. 각 실험군의 평균 접착력을 비교해 보면 코로나 방전처리를 통해 실란 단분자막을 수산기로 변화시켰을 경우에 접착력이 더 높음을 알 수 있다. Type A와 C, Type B

와 D를 각각 비교하였을 때 PMMA 표면에 3-APTES를 스핀코팅 방법으로 퍼트리는 방법은 접착력에 영향을 크게 미치지 않음을 알 수 있다. 3-APTES를 활성화 하지 않고 접착을 한 Type E와 Type F의 접착력은 활성화된 3-APTES를 사용한 경우의 평균 접착력 보다 다소 작게 측정되었다. 이를 통해서 활성화된 3-APTES를 사용하여 접착을 한 경우의 접착력이 더 높음을 알 수 있었다. 접착 면적에 따른 접착력을 비교해 보면 제일 작은 면적인 25mm<sup>2</sup>의 경우를 제외 하고는 접착이 잘 이루어진 것을 알 수 있었다. 25mm<sup>2</sup>의 경우에는 접착 면적이 너무 작아 접착력이 작게 나타난 것으로 여겨진다. 결과를 종합해 볼 때 PMMA 표면을 처리한 후 활성화된 3-APTES를 사용하여 실란 단분자막을 형성하고 형성된 실란 단분자막에 코로나 방전처리를 한 Type A와 C가 최적 공정임을 알 수 있다. 이 경우의 접착력은 Quaglio et al. 가 보고한 PDMS와 COC(Cyclo-olefine-copolymer)간의 접착력(185kPa)과 Brown et al. 가 보고한 PMMA와 PMMA의 열접착 접착력(100kPa), 그리고 Eddings et al. 가 보고한 코로나 방전처리를 이용한 PDMS간의 접착력(290 kPa) 보다 큰 결과이다[2][4][5]. 또한, 표면처리만을 이용하여 접착을 하였기 때문에 열이나 용매를 사용하는 접착에서 발생할 수 있는 유로의 막힘이나 구조의 변형이 일어나지 않았다.



〈그림 5〉 각 실험군의 접착력 결과

### 6. 결론

본 논문에서는 3-APTES를 사용한 PMMA와 PDMS의 접착방법을 제시 하였고 접착력에 영향을 주는 접착 조건을 찾기 위하여 여러 가지 조건에서 실험을 하였다. 각 실험군의 결과를 비교 했을 때 접착력에 영향을 주는 공정 조건은 PMMA의 표면처리, 3-APTES의 활성화, 실란 단분자막의 코로나 방전 처리, 이 세 가지이며 이를 통해 최적화된 공정을 찾을 수 있었다. 최적화된 공정을 통해 유로나 형상의 변형이 없고 접착력이 300 kPa이 넘는 강력한 접착을 확인할 수 있었다. 이는 그동안 보고되었던 다른 공정들의 결과들보다 우수한 결과이며 향후 초소형 종합 분석 시스템이나 랩온어칩에 적용 할 수 있을 것으로 보인다.

### [참 고 문 헌]

- [1] A. Berthold et al, "Glass-to-glass anodic bonding with standard IC technology thin films as intermediate layers", Sensors and Actuators A:Physical, Vol. 82, pp. 224-228, 2000.
- [2] Laurie Brown et al, "Fabrication and characterization of poly(methylmethacrylate) microfluidic devices bonded using surface modifications and solvents", Lab on a Chip, Vol. 6, pp. 66-73, 2006
- [3] David C. Duffy et al, "Rapid Prototyping of Microfluidic Systems in Poly(dimethylsiloxane)", Analytical Chemistry, Vol. 70, pp. 4974-4984, 1998.
- [4] M Quaglio et al, "Evaluation of different PDMS interconnection solutions for silicon, Pyrex and COC microfluidic chips", J Micromech. Microeng, Vol. 18, 055012, 2008
- [5] Mark A Eddings et al, "Determining the optimal PDMS-PDMS bonding technique for microfluidic devices", J Micromech. Microeng, Vol. 18, 067001, 2008
- [6] J. Chai et al, "Wettability Interpretation of Oxygen Plasma Modified Poly(methylmethacrylate)", Langmuir, Vol. 20, pp. 10919-10927, 2004