

Nd:YAG레이저를 이용한 PDMS 표면개질

Surface Modification of Polydimethylsiloxane using Nd:YAG Laser

신성권^{1,a}, 송현승¹, 이 천¹
(Sung-Kwon Shin^{1,a}, Hyun-Seung Song¹, and Cheon Lee¹)

Abstract

Nd:YAG($\lambda=266$ nm, pulse) laser beam was irradiated on the PDMS surface to improve its chemical reaction, wettability, adhesive property. The various surface modification methods of PDMS were already studied using oxygen plasma, ozone and corona discharge. The surface modification using laser has the advantage of the simple experiment that only directly irradiated laser beam on the PDMS surface in the air. After the laser treatment, the PDMS surface was investigated using a contact angle measuring instrument. The contact angle was decreased with a increase of the surface oxygen content. In conclusion, the wettability of PDMS surface was improved by the laser treatment without changing of its bulk characteristics.

Key Words : PDMS, Surface modification, Nd:YAG laser, Contact angle

1. 서 론

일반적으로 고분자화합물의 응용분야가 넓어지고 사용이 증대됨에 따라, 고분자화합물의 기능을 향상시키기 위한 연구가 다양하게 이루어지고 있다. 대부분의 고분자화합물 표면성질은 낮은 표면 에너지와 화학 반응성 그리고 소수성인 성질을 가지고 있다. 이에 따른 응용의 한계점을 개선하기 위해 현재까지 다양한 고분자화합물의 표면처리 연구들이 이루어졌다. 표면처리는 본래의 성질은 유지한 채 표면에 화학적 기능기를 형성시켜 습윤성, 접착성, 화학반응성을 향상시키는데 목적이 있다[1,2]. 표면처리의 방법으로는 화학적인 처리 방법과, 광화학적 반응에 의한 처리 방법이 있는데, 화학적인 처리 방법은 우리가 원하지 않는 표면 손상을 줄 수 있고, 정밀한 실험 환경이 필요하다는 단점이 있다. 이에 비해서 광화학적 반응을 이용한 레이저 표면 처리방법은 표면 손상이 적고,

대기중에서 간단한 레이저 빛의 조사만으로 표면을 개질할 수 있는 장점을 갖고 있다[3,4].

본 연구에서는 의료분야, 절연재료, 유체소자 등으로 많이 응용되고 있는 PDMS(Polydimethylsiloxane)를 Nd:YAG 레이저의 4고조파($\lambda=266$ nm, pulse)를 이용하여 표면처리를 시도하였다. 그림 1에 나와있는 PDMS 흡광도 스펙트럼에 의하면 PDMS는 266 nm에서 낮은 흡수율을 보인다.

대상 물질에 특정한 파장이 낮은 흡수율을 보임에도 표면 개질이 가능한 것은 잠복현상(incubation)에 기인한다고 보고되어 있다[5]. 동일한 PDMS 표면 지점에 에너지 양을 변화하면서 레이저 빔을 조사할 때, 에너지 변화에 따른 표면 입사 펄스 수와 식각률의 관계를 관찰하면 문턱 플루언스(J/cm^2) 이상에서 일정한 잠복 펄스 수 이후에 선형적으로 표면이 식각되는 것을 알 수 있다. 표면 개질을 위해서는 문턱 플루언스 이하에서 표면 처리를 해주어야 한다. 그림 2의 Lambert-Beer 법칙에 의해 문턱 플루언스 이상에서 자연로그 값에 대해 식각률이 선형적으로 증가되는 것을 볼 수 있다[6].

본 연구에서는 표면 손상을 최소화하며 PDMS 표면의 친수성을 증가시키는 문턱 플루언스 값을

1. 인하대학교 전기공학과
(인천시 남구 용현4동 253)
a. Corresponding Author : shinsury@naver.com
접수일자 : 2005. 11. 25
1차 심사 : 2005. 12. 8
심사완료 : 2006. 1. 2

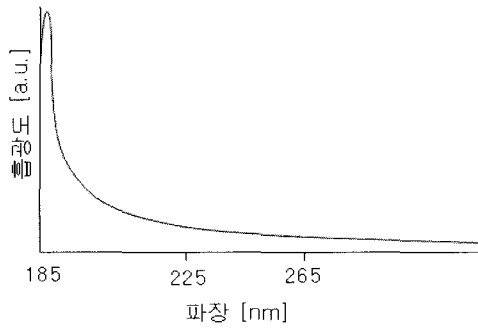


그림 1. 185-300 nm 범위에서 PDMS 흡광도 스펙트럼[5].

Fig. 1. Absorbance spectra of the PDMS ranging from 185 nm to 300 nm[5].

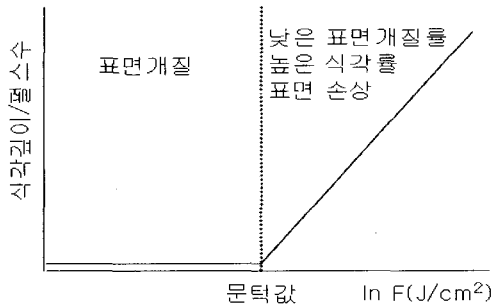


그림 2. 레이저 플루언스 값과 식각률과의 관계[6].

Fig. 2. The relationship between laser fluence and etch rate[6].

찾고자 하였다. Nd:YAG($\lambda=266$ nm, pulse) 레이저의 출력과 빔 주사 속도 및 집광렌즈를 이용한 레이저 빔의 반경을 조절하면서 최적의 표면개질 조건을 구하였다.

2. 실험 방법

본 실험은 4고조파 성분 Nd:YAG($\lambda=266$ nm, pulse) 레이저를 광학렌즈로 직경 7.6-8.0 mm로 조절하여 PDMS 표면에 조사하였다. 가로, 세로 1 cm 크기로 자른 PDMS 시료를 증류수 50 ml, 에탄올 50 ml 혼합용액에서 10분간 초음파 세척을 하였고, X-Y 축으로 0.1 μm 의 정밀도로 이동 가능한 스테이지 컨트롤러를 움직여서 레이저 빔을 조사하였다. 그림 3은 레이저 표면개질을 위한 실험장치의 개략도이다.

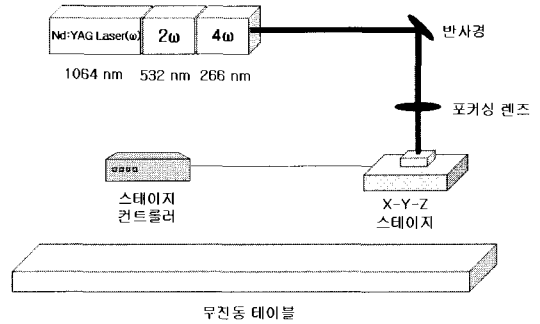


그림 3. 레이저 표면개질 장치의 개략도.

Fig. 3. The schematic diagram of laser modification system.

표 1. 표면개질을 위한 실험조건.

Table 1. The experiment conditions for surface modification.

실험조건	실험치
레이저 출력	0.1-0.7 W
스테이지 이동속도	100-600 $\mu\text{m/s}$
빔 사이즈(직경)	4.5-8 mm
빔 머문 시간	7.5-80 sec
플루언스	20-440 mJ/cm^2

레이저 빔을 반사경을 이용해서 빔 경로를 스테이지 쪽으로 바꾸어주고, 렌즈와 시료 표면의 거리 조절을 하여 빔 조사 면적을 변화시켰으며, 스테이지를 수평방향으로 이동시키면서 PDMS 시료의 표면처리를 시도하였다. 이때, 레이저의 출력과 스테이지의 이동속도를 변경하면서 레이저 빔을 조사하여 시료의 표면개질을 시도하였다. 이때, 실험 조건은 표 1과 같다.

표면처리 후 접촉각 측정기를 이용해 표면개질 효과를 관찰하였다. 모든 실험 장치는 무진동 테이블 위에 구성하였다.

3. 결과 및 고찰

표면이 식각되지 않는 범위 안에서 최대의 표면개질을 위한 문턱 플루언스 조건을 찾기 위해 레이저 출력과 스테이지 이동속도를 변화시켜 주면서 표면을 관찰하였다. 문턱 플루언스 조건을 표 2에 나타냈다. 레이저 조사에 의한 PDMS 표면개질

표 2. 표면개질을 위한 문턱 플루언스 실험조건.

Table 2. The experiment condition of threshold fluence for surface modification.

실험조건	실험치
레이저 출력	0.58 W
스테이지 이동속도	250 $\mu\text{m/s}$
빔 사이즈(직경)	8 mm
빔 머문 시간	32 sec
플루언스	115 mJ/cm^2

표 3. 문턱 플루언스(115 mJ/cm^2)의 조건에서 레이저 표면처리 후의 접촉각.

Table 3. The contact angle after laser treatment under the threshold fluence(115 mJ/cm^2) condition.

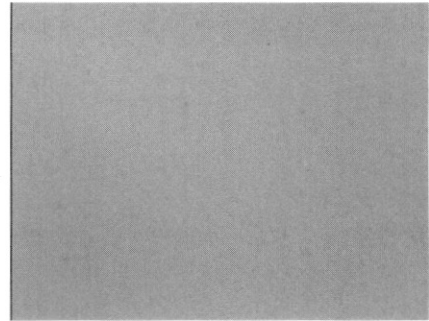
시료상태	접촉각
표면처리 전	115-120 $^\circ$
표면처리 후	100-102 $^\circ$

의 결과, 표 3에서 보는 것과 같이 표면처리 후 표면의 접촉각 감소를 볼 수 있었다. 접촉각 감소의 원인으로서는 표면 산소 함유량이 증대된 것으로 사료된다[7,8].

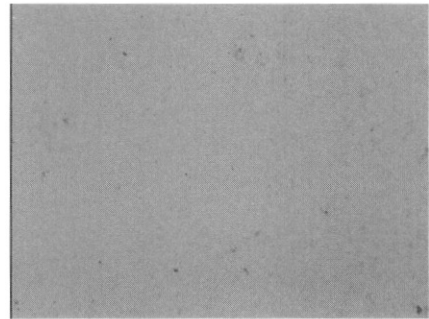
그림 4는 레이저 표면 처리 전과 후를 50 배율 광학 현미경으로 측정된 표면 형상이다. 그림 4의 (a)와 (b)를 비교해보면 표면처리 후의 표면 형상에서 레이저 빔의 열에 의한 약한 탄화가 발생된 것을 볼 수 있다.

그림 4(c)는 다른 조건은 동일하게 하고 집광렌즈를 이용해 표면에 조사되는 빔 사이즈를 줄여 플루언스를 증가시킨 후 표면처리를 실시한 표면 형상이다. 표면 손상이 증가된 것을 볼 수 있었고, 접촉각은 표면처리 전 보다는 감소하였으나 문턱 플루언스 조건에서 보다는 큰 것으로 나타났다. 이 결과는 그림 2에 제시한 레이저 플루언스 값과 식각률과의 그래프와 잘 일치되는 것으로, 문턱 플루언스 이상의 조건에서는 식각에 의한 표면손상 때문에 접촉각이 증가한 것이다.

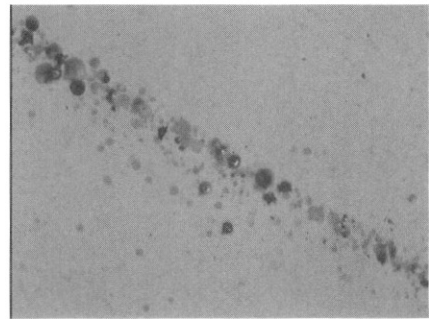
표 4는 그림 4(c)와 같은 표면 손상이 일어날 때의 접촉각 변화를 나타낸 것으로 문턱 플루언스 (115 mJ/cm^2)의 조건에서 보다 접촉각의 감소가 적어진 것을 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 4. 50 배율 광학현미경으로 관찰한 표면 형상. (a) 표면처리 전 형상. (b) 문턱 플루언스 조건(115 mJ/cm^2)에서 표면처리 된 형상. (c) 플루언스를 증가시킨 후(128 mJ/cm^2) 표면처리 된 형상.

Fig. 4. The optical microscope surface images of 50 magnifications. (a) Untreated image. (b) The surface treatment image under threshold fluence(115 mJ/cm^2). (c) The surface treatment image under the increasing fluence(128 mJ/cm^2).

표 4. 플루언스 값을 증가시킨 조건(빔 사이즈 =7.6 mm, F=128 mJ/cm²)에서 레이저 표면처리 후의 접촉각.

Table 4. The contact angle after laser surface treatment under the increasing fluence condition (beam size=7.6 mm, F=128 mJ/cm²).

시료상태	접촉각
표면처리 전	115-120 °
표면처리 후	102-105 °

4. 결론

Nd:YAG($\lambda=266$ nm, pulse) 레이저를 이용하여 PDMS 표면개질을 시도하였다. 표면손상을 최소화 하면서 최대의 접촉각 변화를 주기 위한 문턱 플루언스 값은 115 mJ/cm²로 얻어졌다. 이때의 접촉각 감소는 약 11.3-16.7 %인 것을 확인할 수 있었다. 접촉각 감소는 표면 산소 함유량이 증가됨에 따른 것으로 사료된다. 레이저 표면처리에 의한 PDMS 표면개질을 통해 표면 산소 함유량을 증대시켜 접착성 및 습윤성을 향상시킬 수 있었으며, 이는 바이오 MEMS 등의 응용이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

[1] E. M Liston, L. Martinu, and M. R. Wertheimer, "Plasma surface modification of

polymers for improved adhesion: A critical review", J. Adhesion Sci. Technol., Vol. 7, p. 1091, 1993.

[2] J. A. Folkes, "Developments in laser surface modifaion and coating", Surface Coating Technol., Vol. 63, p. 65, 1994.

[3] B. H. Youn, C. Y. Park, and C. S. Huh, "Effect of surface charges in hydrophobicity and surface potential decay with various surface states of silicone rubber for outdoor insulator", J. of KIEEME(in Korean), Vol. 15, No. 8, p. 678, 2002.

[4] M. Y. Ahn, K. C. Lee, H. K. Lee, S. D. Lee, and C. Lee, "Etching of the PDP barrier rib material using laser beam", J. of KIEEME(in Korean), Vol. 13, No. 6, p. 526, 2000.

[5] V.-M. Graubver, R. Jordan, O. Nuyken, T. Lippert, M. Hauer, B. Schnyder, and A. Wokaun, "Icubation and ablation behavior of poly(dimethylsilxane) for 266 nm irradiation", Applied Surface Science, Vol. 8110, p. 1, 2002.

[6] M. Ozdemir and H. Sadikoglu, "A new and emerging technology: Laser-induced surface modifca- tion of polymers", Trends in Food Science & Technology, Vol. 9, p. 159, 1998.

[7] C. Lee, D. Y. Kim, J. H. Kim, K. C. Lee, and C. S. Hui, "Surface modification of silicon by laser surface treatment: Improvement of adhesion and copper deposition", Journal of Electronic Materials, Vol. 34, No. 2, p. 132, 2005.

[8] P. Laurens, M. Ould Bouali, F. Meducin, and B. Sadras, "Characterization of polymer surfaces after excimer laser treatments below the ablation threshold", Applied Surface Science, Vol. 154-155, p. 211, 2000.