

표면거칠기에 따른 글래스 웨이퍼와 UV 경화 폴리머사이의 계면접착 에너지 평가

장은정[†] · 현승민* · 최대근* · 이학주* · 박영배**

Effect of surface toughness on the interfacial adhesion energy between glass wafer and UV curable polymer for different surface roughness

Eun -Jung Jang, Seung-Min Hyun, Dae-Geun Choi, Hak-Joo Lee and Young-Bae Park

Key Words : Nanoimprint lithography(NIL), 4 point bending test(4 점굽힘시험), surface roughness(표면거칠기)

Abstract

The interfacial adhesion energy between resist and a substrate is very important due to resist pull-off problems during separation of mold from a substrate in nanoimprint process. And effect of substrate surface roughness on interfacial adhesion energy is very important. In this paper, we have treated glass wafer surface using CF_4 gas for increase surface roughness and it has tested interfacial adhesion properties of UV resin/glass substrate interfaces by 4 point bending test. The interfacial adhesion energies by bare, 30, 60 and 90 sec surface treatments are 0.62, 1.4, 1.36 and 2 J/m^2 , respectively. The test results showed quantitative comparisons of interfacial fracture energy (G) effect of glass wafer surface roughness.

1. 서 론

반도체 제조 공정 중 리소그래피(lithography)는 게이트, 금속배선 등을 형성하는 가장 기본적이고도 핵심적인 기술이라 할 수 있다. 하지만 기존의 포토리소그래피 기술은 현상하는 공정과정이 복잡하며 제조비용이 비싸다. 또한 마스크 현상 시 빛의 회절 및 간섭으로 100 nm 이하의 패터닝 현상에 어려움을 가지며 기판의 형상과 종류에 많은 제약을 받고 있다.¹⁾

이에 따라 도장을 찍듯이 대면적을 한번에

원하는 패턴을 형성 할 수 있는 나노임프린트 리소그래피 (nanoimprint lithography, NIL) 기술의 개발 연구가 활발히 진행되고 있다.

NIL 기술은 1995 년 프린스턴대학의 Chou 교수가 ²⁾가 최초로 제안하였으며, 경제적이고도 효과적으로 나노구조물을 제작할 수 있는 기술로써 나노구조물이 패터닝 된 스탬프로 스핀코팅 혹은 디스펜싱으로 레진이 도포되어 있는 기판 위를 눌러서 나노구조물을 얻을 수 있다.³⁾

이러한 NIL 기술은 스탬프와 폴리머가 직접 접촉하고 있기 때문에 두 물질 사이의 접착력과 이들을 분리 시킬 때 가지는 마찰력으로 인해 패턴의 변형, 분리 등 많은 문제점을 야기 시킬 수 있다. 따라서 NIL 기술에 있어서 기판과 폴리머사이의 접착특성은 매우 중요한 의미를 가지며, Fig. 1 과 같이 UV 경화 폴리머와 기판사이에서는 접착력이 좋지 않아 폴리머가

[†] 이학주, 한국기계연구원
E-mail : hjlee@kimm.kr.kr
TEL : (042)868- FAX : (042)868-7884

* 한국기계연구원

** 안동대학교

기판과 함께 뜯겨져 나가는 현상이 발생한다. 또한 스탬프/UV 경화 폴리머에서는 전자와 반대로 스탬프와의 접착력이 강하여 폴리머가 스탬프와 분리 되지 않는 문제가 발생한다.⁴⁾

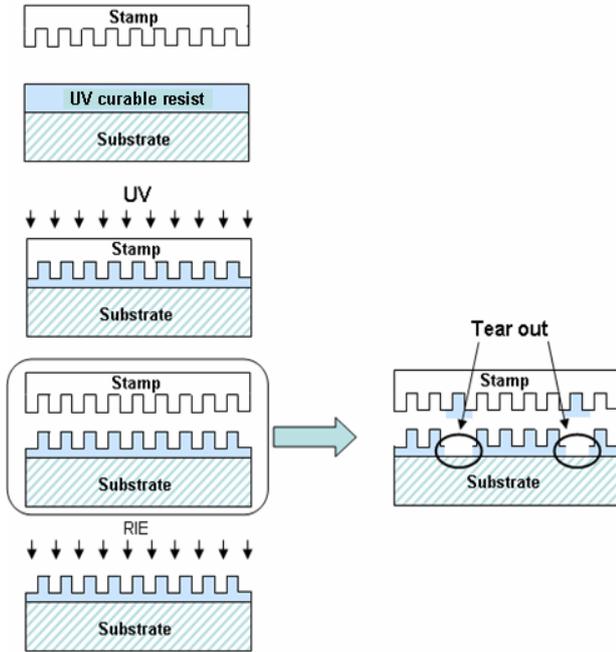


Fig. 1 Defect of between UV curable polymer/substrate, stamp/UV curable polymer in NIL.

기판과 스탬프의 접착 특성의 향상을 위해 자기조립 단분자막 (self assembly monolayer, SAM)을 기판과 폴리머 사이에 증착하여 공정하는 연구가 진행 중이며, 이에 대하여 4 점굽힘시험을 통해 계면접착에너지를 정량적으로 평가되어져 있다.⁵⁾ 4 점굽힘시험법을 통해 측정된 계면접착에너지는 접촉하고 있는 계면의 순수한 원자 간의 에너지뿐만 아니라 재료가 가지고 있는 소성변형에너지, 실험 중 발생하는 phase angle of loading, 재료의 표면 거칠기 등에 의해 영향을 받는다. 그 중 표면 거칠기와 계면접착에너지 간의 상관관계가 가장 크게 발생한다.⁶⁾

이에 본 연구에서는 글래스 웨이퍼 표면을 CF₄ 가스를 사용하여 30, 60, 90 sec 동안 플라즈마 에칭을 실시하여 UV 경화 폴리머와의 계면접착에너지를 정량적으로 평가 하였다. 또한 글래스 웨이퍼의 표면거칠기와 계면접착에너지 사이의 상관관계를 규명하였다.

1.1 4 점굽힘시험법

4 점굽힘시험법은 단일재료 내부에 생긴 균열이 진전됨에 있어 필요한 에너지 해방률 G_c의 측정에 기초를 두어 박막의 계면 접착력을 측정하는 시험 방법이다. 이 시험법은 Fig. 2 와 같이 두 개의 탄성 기판 사이에 샌드위치 구조로 박막을 쌓아 올린 뒤 노치로 초기 균열을 유도한 시험편을 통하여 이루어지며, 모멘트가 일정한 사이의 영역에 계면균열의 정량적인 계면파괴에너지를 측정할 수 있다.⁷⁾

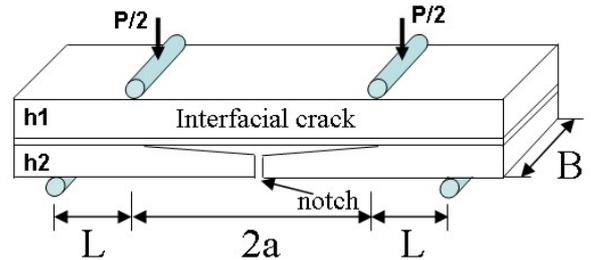


Fig. 2 A schematic diagram of 4 point bending test sample.

4 점을 통해 가해진 하중에 의해 노치가 깨어지며 균열을 생성하고, 이러한 균열은 두 기판의 내부로 진전된다. 4 점굽힘시험법은 변위체어로 실험이 진행되며 Fig. 3 과 같은 하중과 변위 곡선을 얻을 수 있다. 변위 증가로 인해 시험편에 가해지는 하중이 노치에 집중되고, 이로 인해 글래스 웨이퍼에 균열을 생성 시켜 Fig. 3 과 같은 첫 번째 피크 점이 나타난다.

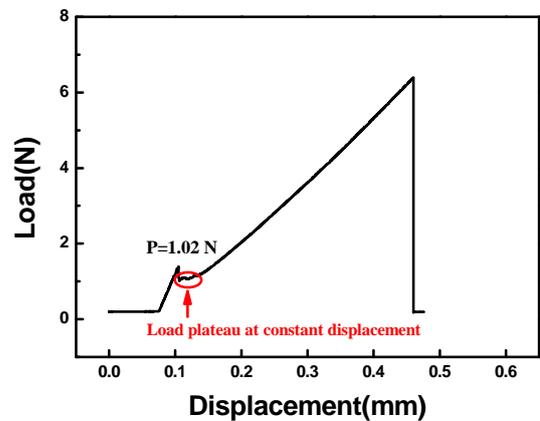


Fig. 3 The typical load-displacement graph during 4 point bending test on no treatment.

노치로부터 생성된 균열이 시험편 내부의 계면으로 진전되면서 하중은 급격히 감소함을 알

수 있다. 이때 균열은 시험편 내부에 존재하는 박막의 계면접착력으로 인해 하중이 일정한 구간을 보였다. 그리고 모멘트가 균일하게 작용되는 영역을 벗어나면서, 인장 방향으로 가해지는 하중에 의해 균열은 노치가 없는 글래스 웨이퍼로 진전되고 결국은 파손되어 두 번째 피크 점을 나타내었다. 여기서 측정된 일정한 하중값을 아래의 정의된 식에 대입하여 균열이 생긴 영역의 계면접착에너지(G)를 측정 할 수 있다.⁸⁾

$$G = \frac{21(1-\nu^2)M^2}{4Eb^2h^3} = \frac{21(1-\nu^2)p^2L^2}{16Eb^2h^3} \quad (1)$$

여기서 ν (글래스 웨이퍼 : 0.23)는 기관으로 쓰이는 탄성재료의 뾰와송비, E 는 탄성계수 (글래스 웨이퍼 : 72 GPa), b 는 시험편의 너비, h 는 샘플 두께의 절반을 의미하며, M 은 $PL/2$ 이다. P 는 그래프상에서 일정한 구간의 하중값, L 은 핀사이의 거리를 나타내며, 여기서 측정한 G 의 단위는 J/m^2 이다.

2. 실험

글래스웨이퍼의 표면거칠기에 따라 UV 경화 폴리머와의 계면접착에너지를 평가하기 위해 Fig 4 와 같이 시험편을 제작하였다. 500 μm 두께를 가진 두 장의 4 인치 글래스웨이퍼를 30 mm x 3 mm 로 절단 한 후 한 장의 웨이퍼에는 400 μm 깊이의 노치를 생성하였다. 노치는 4 점굽힘시험시 균열을 유도하기 위한 초기 균열이다. 30 mm x 3

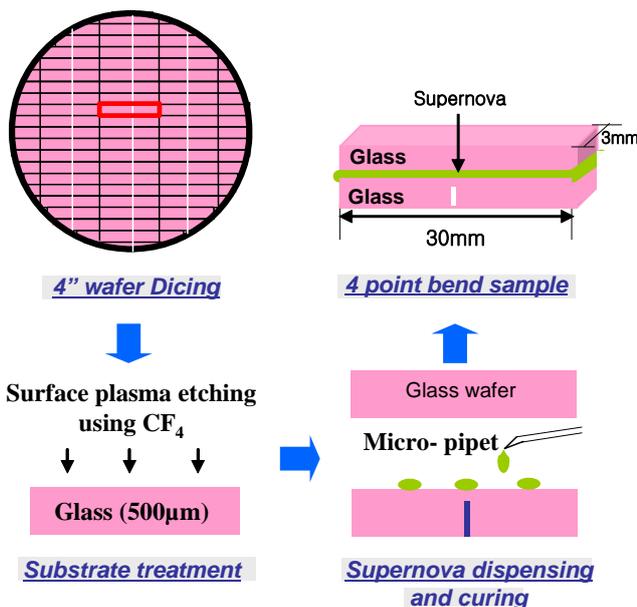


Fig. 4 Process of 4point bending test sample.

mm 크기로 절단된 글래스웨이퍼를 아세톤, 증류수, 알코올 순으로 세척 후 노치가 있는 웨이퍼만을 CF_4 가스로 에칭 하기 위해 플라즈마 챔버에 넣었다.

플라즈마 챔버 내부의 초기진공도를 2.4×10^{-1} torr 로 유지한 뒤 CF_4 가스를 25 sccm 씩 흘려주었다. 글래스 웨이퍼 표면은 각각 30, 60, 90 초 동안 플라즈마 에칭을 하였다. 에칭 후 바로 UV 경화 폴리머를 0.01 μl 씩 6 방울 도포 하여 노치가 없는 글래스 웨이퍼로 덮었고, 시험편은 아크릴로 제작된 저진공 챔버내에서 10^{-3} torr 로 5 분간 유지되었다. 아크릴 챔버를 벤트 하지 않고 노광세기(exposure intensity) 12 mW/cm^2 의 조건으로 상온에서 2 분간 UV 를 조사하여 시험편을 완성 하였다.

4 점굽힘시험을 위해 Fig. 5(a)의 LLOYD instruments 사의 인장 시험기에 Fig. 5(b)와 같은 4 점굽힘시험용 지그를 설치 하였다. 실험은 0.08 $\mu\text{m/s}$ 의 변위제어의 속도로 수행되었으며, 사용된 로드셀은 10 N 이다..

4 점굽힘시험이 끝난 후 시험편의 파면을 FE-SEM 으로 분석하여 파괴경로를 확인하고, AFM 을 통해 측정된 CF_4 에칭 후 글래스 웨이퍼의 표면거칠기와의 상관관계를 규명하였다.



(a)



(b)

Fig. 5 A schematic diagram of 4 point bending test.

3. 결과 및 고찰

글래스 웨이퍼의 표면을 CF_4 가스로 30, 60, 90 초 동안 에칭하여 표면거칠기에 따른 계면접착에너지를 평가하였다. 글래스 에칭 전 표면거칠기(Ra)는 100 nm 였으나 30, 60, 90 초 동안 CF_4 가스로 에칭 후 에는 123, 130, 161 nm 로 증가하는 거동을 보였다. Fig. 6 는 CF_4 가스로 글래스 웨이퍼 표면을 90 초 동안 에칭한 시험편을 통해 측정된 하중과 변위 곡선이다. 서론에서 설명하였듯이 그래프는 변위증가에 따라 선형적으로 하중 증가 후 일정한 하중영역을 나타냈다. 이때의 하중값을 통하여 모든 조건의 시험편의 계면접착에너지를 측정할 수 있었다. CF_4 처리를 하지 않은 경우 $0.62 J/m^2$, 30, 60 초간 처리 후에는 $1.4 J/m^2$, $1.36 J/m^2$ 로 두 배 이상 증가한 값을 나타내었으며, 90 초간 에칭한 시험편은 $2 J/m^2$ 으로 측정되었다. 글래스 웨이퍼 표면을 CF_4 가스로 에칭 후 명확히 계면접착에너지가 증가함을 알 수 있었으며 90 초간 에칭한 시험편은 3 배이상의 증가 정도를 나타내고 있었다. 이러한 결과는 접착력을 향상시키기 위해 자기조립단분자막을 글래스 웨이퍼 표면에 화학적인 처리 후 측정된 UV 경화 폴리머와 계면접착에너지 값인 $2.68 J/m^2$ 와 비교했을 때에도 유사한 값을 나타내었다⁸⁾. 이를 통해 CF_4 가스 처리를 통해 글래스 웨이퍼의 에칭 만으로도 UV 경화 폴리머와 글래스 웨이퍼 사이의 계면접착에너지를 증가 시키는데 큰 효과가 있다고 판단된다. 하지만 CF_4 가스가 불활성 가스가 아님으로 글래스 웨이퍼의 표면에 화학적인 영향이 존재 할 가능성을 배제 할 수 없었지만, 본 연구에 사용된 UV 경화 폴리머는 말단에 F 가 포함된 기관과는 화학적인

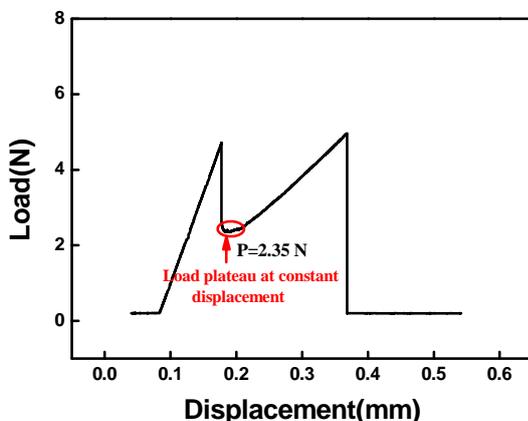


Fig. 6 The typical load-displacement graph during 4point bending test on CF_4 treatment for 90 sec.

결합력이 현저히 떨어지는 특성을 가지고 있다. 따라서 CF_4 처리시간이 길어짐에 따라 UV 경화 폴리머와의 계면접착에너지가 증가한 것은 글래스 웨이퍼의 표면 거칠기가 증가한 거동과 큰 상관관계가 있다고 판단된다. 4 점굽힘실험이 끝난 후 시험편의 파면을 FE-SEM 으로 관찰 하였다. 그 결과 CF_4 가스로 표면을 에칭하지 않은 시험편, 30, 60, 90 초 각각 처리한 시험편 모두 노치가 있는 글래스 웨이퍼와 UV 경화 폴리머사이에서 파괴가 일어난 것으로 나타났다.

4. 결론

CF_4 가스 플라즈마를 통해 글래스 웨이퍼 기판을 에칭 시킨 후 나노임프린트 리소그래피 기술에 사용되는 UV 경화레진과의 정량적인 계면접착에너지를 평가하였다. 그 결과 글래스 웨이퍼의 표면의 에칭 시간이 길어짐에 따라 표면거칠기가 증가하였고, 계면접착에너지도 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과로써 글래스 웨이퍼 표면거칠기와 계면접착에너지는 큰 상관관계가 있다고 판단되며, 글래스 웨이퍼 표면에 화학 처리를 하지 않고서 표면거칠기를 정량적으로 제어 할 경우 계면접착에너지를 쉽게 증가 또는 감소 시킬 수 있을 것이라고 판단된다.

후 기

본 연구는 21 세기 프론티어 연구개발 사업인 나노메카트로닉스 기술개발사업단의 지원(08K 1401-00610) 에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Choi, D. G., Yang, S. M., Yu, H. K., Jo, J. D. and Lee, E. S., 2003, "Fabrication of Multi-functional Self-Assembled Monolayer by Microcontact Printing and Their Application for Electronic and Biological Devices," *KSME*, P.1021.
- (2) Ckonishi T, Kikuta H, Kawata H and Hirai Y., 2006, "Multi-layered resist process in Nanoimprint lithography for high aspect ratio pattern", *Microelectron Eng*, Vol. 83, pp. 869~872.
- (3) Choi, D.G., UV-Nanoimprint lithography
- (4) Jang, E. J., Hyun, Seungmin., Choi, D. G., Park, Y. B and Lee, H. J., 2007, "Measurement of adhesion

property of polymer using the 4 point bending test for Nanoimprint process”, KSME.

- (5) Hsueh, C. H., Lee, S., Lin, H. Y., Chen, L.S. and Wang, W. H., 2006, “Analyses of mechanical failure in nanoimprint processes”, *Materials Science and Engineering*, A 433, pp. 316~322.
- (6) Lane, M., 2003, “Inter fracture”, *Annu. Rev. Mater. Res*, Vol. 33, pp. 29~54.
- (7) Dauskardt, R. H., Lane, M., Ma. Q and Kirshna. N., 1998, “Adhesion and debonding of multi-layer thin film structures”*Eng. Fracture. Mech.*, Vol. 61, pp. 141~161.
- (8) Charalambides, P. G., Lund, J., Evans, A.G., McMeeking, R. M., 1989, “A test specimen for determining the fracture resistance of bimaterial interfaces,” *J Appl Mech*, 111 pp.77~82.