

SU-8 레진을 이용한 이광자 흡수 광조형 공정에서 고강성 3 차원 마이크로 형상 제작을 위한 공정 변수 분석

손 용*, 임태우*, 양동열#, 이신욱**, 공홍진**, 박상후***

Study on Process Parameters of a SU-8 Resin in Two-photon Stereolithography for the Fabrication of Robust Three-dimensional Microstructures

Yong Son*, Tae Woo Lim*, Dong-Yol Yang#, Shin Wook Yi**, Hong Jin Kong** and Sang Hu Park***

ABSTRACT

Two-photon stereolithography (TPS) is recognized as a useful process for the fabrication of three-dimensional microstructures. Recently, the need for a two-photon curable resin with high strength increases as 3-D microstructures of high aspect ratio or large scale of several hundreds micrometers are required for applications of nano/micro devices in IT/BT. In this work, process parameters of TPS employing the SU-8 which is a representative two-photon curable resin with high strength have been studied for the precise fabrication of 3-D microstructures with high strength. The pre-baking and post-baking processes are studied and the parameter study of the SU-8 in TPS is conducted. Through this work, very small roughness of 12 nm and the minimum aspect ratio of ~1 which provides a precise accumulation of layers could be obtained. Using the conditions studied in this work, some 3-D examples are fabricated.

Key Words : Two-photon stereolithography process (이광자 흡수 광조형 공정), Three-dimensional microstructure (3 차원 마이크로 형상), SU-8(에폭시 계열의 광경화성 수지)

1. 서론

이광자 흡수 (two-photon absorption; TPA) 광조형 공정은 완전한 입체의 마이크로 형상 제작을 할 수 있는 공정으로 3 차원 고기능성 소자 제작에 매우 유리하다.¹⁻³ 지금까지 이광자 흡수 광조형 공정의 안정화 및 정밀화에 대한 많은 연구가 진행되

어 왔으며 최근에는 이를 이용한 응용소자 개발을 위하여 대면적의 형상 제작에 대한 연구가 진행되고 있다.⁴⁻⁶ 이 형상 제작 방식은 제작 시간의 절감을 위하여 형상의 외각만을 경화시키는 방식이 주로 사용되고 있다. 이 방법은 제작될 형상의 외각만을 경화시키기 때문에 구조적으로 약한 강성으로 현상 시 현상액의 증발에 의한 표면 장력에

☞ 접수일: 2007년 7월 12일; 게재승인일: 2007년 11월 19일

* 한국과학기술원 기계공학과

교신저자: 한국과학기술원 기계공학과

E-mail: dyyang@kaist.ac.kr Tel. (042) 869-3214

** 한국과학기술원 물리학과

*** 부산대학교 기계공학과

의해 제작된 형상이 변형 하거나 무너지는 문제점을 갖고 있다. 이를 해결하기 위하여 최근에는 다중 윤곽선 스캐닝 방법을 이용하여 제작될 형상의 정밀도를 유지하면서 경화되는 외각의 두께를 증가시켜 제작된 형상의 강성을 현상 시 받게 되는 외력에 견딜 수 있도록 개선하는 방법 등이 제시되어 왔다.³ 하지만 이러한 개선 방법은 스캐닝 영역이 늘어남에 따라 제작시간이 많이 소요되므로 수십 마이크로미터 이하의 형상에 대해서는 유용하게 적용될 수 있으나 수백 마이크로 미터 이상의 형상 및 고세장비의 형상의 경우에는 적용하기 어렵다. 따라서, 대면적 3 차원 형상 제작의 경우 고강성 재료를 이용한 공정이 필요하다.

이광자 흡수 광경화성을 갖는 대표적인 고강성 레진으로는 에폭시 계열의 SU-8 레진이 있다.⁷⁻¹⁰ 하지만, 아직 SU-8 의 이광자 흡수 광경화성에 대한 공정변수 분석 및 정밀도 개선에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 정밀한 고강성 3 차원 형상 제작을 위하여 이광자 흡수 물질 (TPA material)과 광발산제 (photo acid generator; PAG) 가 혼합 된 SU-8 레진의 공정특성 분석 및 정밀화를 수행하였다. 이러한 SU-8 레진을 이용한 형상 제작 공정에 대한 연구를 통해 표면 조도가 우수한 형상을 제작하여 정밀 형상 제작에 유리함을 보였고 세장비가 큰 형상을 제작하여 고강성이 필요한 형상 제작에도 유리한 공정임을 확인하였다.

2. SU-8 의 이광자 흡수 광조형 공정

2.1 이광자 흡수 광조형 공정

Fig. 1 은 이광자 흡수 광조형 공정 시스템의 개념도로 이광자 흡수 광경화가 일어나는 국부적인 영역을 3 차원으로 제어하여 정밀한 3 차원 형상을 제작할 수 있다. 사용된 레이저는 80fs 의 펄스 폭을 갖는 펨토초 레이저 (femto-second laser)이며 작동 주파수는 80MHz, 사용 파장은 780nm 이다. 1.2nm 분해능을 갖는 갈바노 (galvano) 스캐너와 0.1nm 분해능을 갖는 압전소자 스테이지 (piezo-electric stage)를 이용하여 3 축을 제어하고 1ms 의 반응 속도를 갖는 갈바노 셔터를 이용하여 레이저의 on/off 를 제어하였다. 외각선을 적중하여 제작하는 3 차원 형상의 정밀화를 위하여 단위 복셀의 세장비가 낮게 제작되는 개구수 (numerical aperture;

NA) 1.4 인 대물렌즈 (objective lens)를 이용 하였다.¹¹

본 연구에서 사용한 레진은 SU-8 2000 (Microchem Corp.)이며 적절한 이광자 흡수 물질 (TPA material)과 광발산제 (PAG)를 첨가하여 이광자 흡수 광조형 공정에 적합한 SU-8 레진으로 사용하였다. 레진은 두께 150 μm 의 커버글라스 기판 위에 놓여지게 된다. 이때 SU-8 레진은 커버 글라스와 부착력 (adhesion)이 좋지 않아 세척 과정이 필요하다. 커버 글라스를 황산 (H_2SO_4)과 과산화수소 (H_2O_2)를 3:1 비율로 섞은 용액에 1 시간 동안 담구어 유리 표면의 유기물을 제거한 뒤 아세톤과 DI water 를 흘려주어 세척을 하게 된다. 세척된 커버 글라스 위에 SU-8 레진을 100 μm 두께로 작은 영역에 대해 퍼서 바른 후 열처리 공정과 레이저를 이용한 형상 제작 공정을 통하여 형상을 제작하게 된다.

이후 경화되지 않은 레진을 제거하는 현상 단계에서는 PGMEA (propylene glycol methyl ether acetone) 솔벤트를 이용하였다. 가교되지 않은 부분을 충분히 녹여 내기 위하여 PGMEA 용액이 담긴 유리 용기 안에 10 분 동안 넣어 두었고 이후 가교되지 않은 부분을 녹인 PGMEA 와 이물질을 제거하기 위하여 IPA (isopropyl alcohol)로 씻어 주었다.

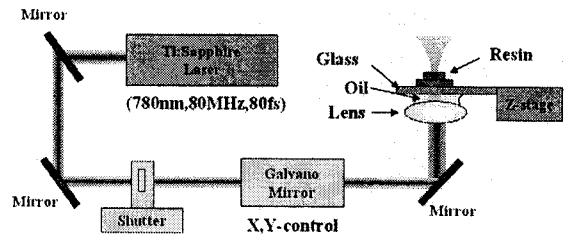


Fig. 1 Schematic diagrams of the two-photon stereolithography system

2.2 SU-8 의 이광자 흡수 광경화 현상

Fig. 2 와 같이 SU-8 은 두 개의 광자 (photon)를 동시 (10^{-15}sec 이내)에 받아 두 개의 광자 에너지에 해당하는 에너지를 발광하고, 이 발광된 에너지를 광발산제가 (PAG) 흡수하여 산 (H^+)을 내어 놓는 이광자 흡수 산 (H^+) 발생 현상을 갖는다. 이렇게 광에너지를 통해 제작될 형상에 따라 산 (H^+)을 형성하고, post-baking 과정을 통해 열에너지

를 가함으로써 형상을 경화 (crosslinking) 시킨다. 이와 같이 SU-8 레진을 이용하여 형상을 제작하기 위해서는 광조사 공정뿐만 아니라 형상 경화를 위한 열처리 공정도 필요하다.

Fig. 3 은 SU-8 레진을 이용한 형상제작 공정의 전체 공정도로 Pre-baking 단계를 통한 레진의 솔벤트 제거 단계, 이광자 흡수 광조형 공정을 이용한 형상 제작 단계, 제작된 형상을 경화 하는 post-baking 단계, 미 제작된 영역의 제거를 위한 현상 단계로 크게 4 단계로 구성되어 있다. 각 단계별 공정은 완성된 SU-8 형상의 정밀도 및 강성에 영향을 미치므로 정밀한 고강성 3 차원 형상 제작을 위해서는 각 단계별 적절한 공정을 찾아내는 것이 중요하다.

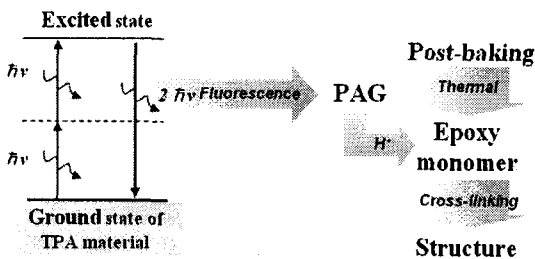


Fig. 2 Schematic diagrams of the two-photon acid generation of the SU-8 resin

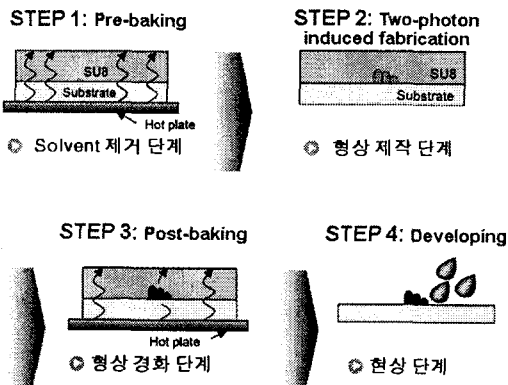


Fig. 3 Schematic illustrations of the fabrication procedure of a 3-D SU-8 microstructure

2.3 SU-8 의 열처리 공정 영향 분석

SU-8 레진은 1989 년에 개발되어 오래 전부터 UV (ultraviolet) 리소공정을 기반으로 한 MEMS 공

정에 대해 많은 연구가 진행되어 왔다.¹²⁻¹⁴ 하지만 이광자 흡수 광조형 공정의 경우 레이저 조사 과정에서 산 (H^+) 발생 과정 및 열 발생량 등이 기존의 UV 리소공정과 는 차이가 있음에도 불구하고 열처리 공정 조건에 대한 분석은 아직 연구된 바 없다.

본 연구에서는 기존 연구에 의한 열처리 공정을 기본으로 하는 실험을 통하여 이광자 흡수 광조형 공정에 적합한 pre-baking 과 post-baking 에 대한 연구를 수행하였다. 열처리 공정의 첫 번째 단계인 pre-baking 단계는 레진의 솔벤트를 증발시켜 주는 역할을 하는 단계로서 레진의 밀도가 증가함에 따라 액상 상태에서 고상 상태로 변하게 된다. 열처리 공정은 레진 전체에 걸쳐 균일한 솔벤트 함유량을 유지하기 위하여 2 단계 ($65^{\circ}C$ & $95^{\circ}C$)의 온도 증가 구간을 사용하였으며, 커버 글라스와 레진이 만나는 부분을 가열하여 레진 내부 솔벤트부터 증발시키기 위해 핫플레이트 (hot plate)를 이용하였다.

Pre-baking 단계는 레진 내에 적당하고 균일한 솔벤트의 양을 유지시켜 정밀하고 고세장비의 형상 제작을 가능하게 해준다. 만약 pre-baking 시간이 적어 레진 내 함유된 솔벤트 양이 많게 되면 이광자 흡수 현상 (TPA)의 효율이 떨어지게 되어 형상 제작이 불가능하고, pre-baking 시간이 길게 되면 공정 시간이 길어질 뿐만 아니라 레진의 밀도가 너무 높게 되어 제작된 형상의 정밀도가 낮아진다. 그러므로 적합한 pre-baking 온도 조건을 찾는 것이 중요하다. Fig. 4(a)는 30mW, 30nm/1ms 제작 조건에서 pre-baking 온도 조건에 따라 제작된 선폭의 변화를 나타낸 그래프이고, Fig. 4(b), (c)는 pre-baking 온도 조건에 따른 'L' 형태로 제작된 형상의 SEM (scanning electron microscope) 사진이다. $95^{\circ}C$ 에서의 pre-baking 시간이 5 분에서 60 분으로 증가함에 따른 실험결과를 따르면 이광자 흡수 현상이 일어나기 위해서는 최소 5 분의 pre-baking 에 의한 솔벤트 제거 시간이 필요하고 그 시간이 증가함에 따라 레진의 밀도가 증가하여 같은 레이저 조사량에도 선폭이 증가하여 최소 정밀도에 불리함을 알 수 있다. 따라서 이광자 흡수 효율 및 정밀도 향상을 위한 pre-baking 온도 조건은 Fig. 6 과 같음을 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

열처리 공정의 두 번째 단계인 Post-baking 단계는 산 (H^+)에 의해 형성된 형상을 열로 경화시켜

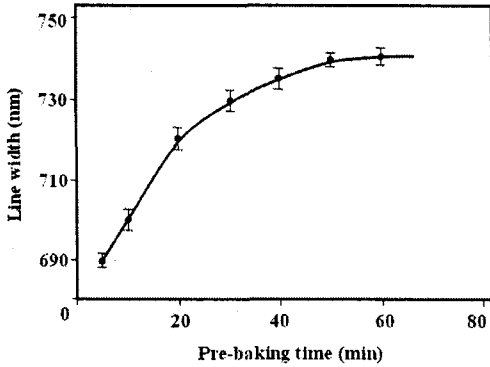


Fig. 4(a) Experiment results on the variation of line width depending on pre-baking time at the condition of 30mW, 30nm/1ms

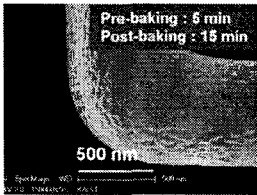


Fig. 4(b) SEM image of SU-8 'L' patterns at the condition of pre-baking time of 5min, post-baking time of 15min

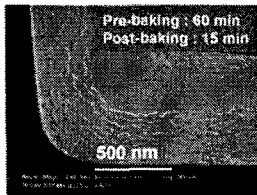


Fig. 4(c) SEM image of SU-8 'L' patterns at the condition of pre-baking time of 60min, post-baking time of 15min

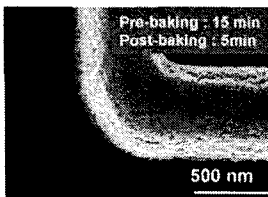


Fig. 5(a) SEM image of SU-8 'L' patterns at the condition of pre-baking time of 15min, post-baking time of 5min

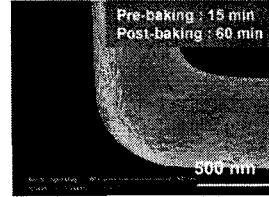


Fig. 5(b) SEM image of SU-8 'L' patterns at the condition of pre-baking time of 15min, post-baking time of 60min

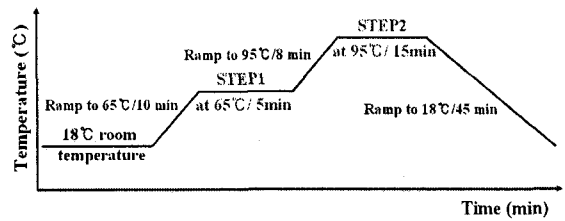


Fig. 6 A pre-baking and post-baking profile for 100 μm SU-8 resin using the two-photon stereolithography

현상 과정에서 안정적으로 형상을 남기는 역할을 한다. 그러므로 Post-baking 처리가 없으면 산 (H⁺)에 의해 형성된 형상이 경화되지 않아 현상 단계에서 사라지게 되므로 적합한 Post-baking 조건이 필요하다. Post-baking 단계 또한 레진에 균일한 열 전달을 위하여 2 단계 (65°C & 95°C)의 온도 증가 구간과 핫플레이트를 이용하였다. Fig. 5(a),(b)는 95°C에서의 post-baking 시간이 5 분에서 60 분으로 증가함에 따라 'L' 형태로 제작된 형상의 SEM 사진이다. Fig. 5(a)처럼 post-baking 시간이 적게 되면 산 (H⁺)에 의해 형성된 형상이 충분히 경화되지 못하여 현상 과정에서 현상액에 의해 뜯겨 나가는 현상이 나타나 표면이 매우 거칠어짐을 알 수 있고 Fig. 5(b)처럼 post-baking 시간이 증가하면 열에너지에 의해 강한 가교를 이루어 현상 시 안정적인 형상을 이루어 표면 거칠기가 향상됨을 알 수 있다. 따라서 충분한 가교를 통한 표면 거칠기 향상을 위한 post-baking 조건 또한 Fig. 6 와 같음을 확인할 수 있었다.

앞선 실험으로부터 구한 pre-baking 과 post-baking 온도 조건을 평가하기 위하여 사각형 블록 형상을 제작 후 표면을 관찰하였다. AFM (atomic force microscopy) 장비를 이용하여 표면 조도를 측

정한 결과 Fig. 7 과 같이 post-baking 시간이 15 분 이하일 때는 충분한 가교를 이루지 못하여 현상 시 현상 용액에 의해 표면이 뜯겨 나가 매우 거친 표면 조도 (Ra)값이 나왔지만 15 분 이상부터 Ra 값이 수렴 하면서 표면 조도가 향상됨을 알 수 있다.

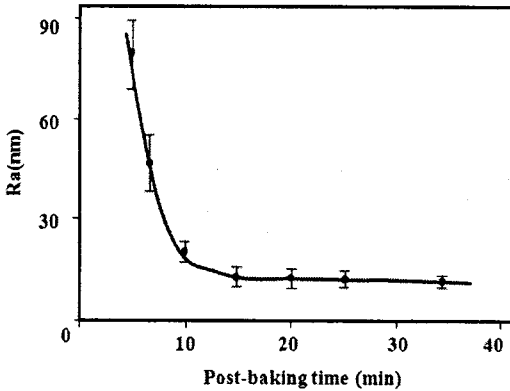


Fig. 7 Experiment results on the variation of surface roughness depending on post-baking time at the condition of 20mw, 30nm/1ms

Fig. 8 은 pre-baking 과 post-baking 각각 15 분 조건에서 제작된 사각형 블록을 AFM 으로 측정한 것으로 Ra 값이 12.5nm 로 균일한 표면조도 값을 확인 할 수 있었다. 이와 같은 낮은 표면조도 값은 광학 소자로도 응용 가능한 정밀한 값이다.

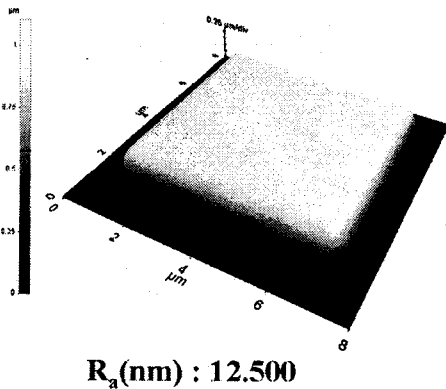


Fig. 8 AFM image of a plate (8 μm x 8 μm) at the condition (pre-baking time: 15min, laser power: 12mW, exposure time : 1ms , voxel distance : 30 nm, post-baking : 15min)

2.4 SU-8 의 이광자 흡수 공정 변수 분석

펨토초 레이저를 이용한 이광자 흡수 광조형 공정에 의한 형상 제작 단계의 공정을 각 복셀 조사 간격을 30nm로 두고 레이저 출력과 조사 시간 두 가지의 공정 변수를 통해 분석 하였다.

Fig. 9 는 레이저 출력 및 조사 시간에 따른 선 폭 및 높이를 관찰하기 위해 만든 두 기둥 사이에 공중선을 제작한 것이다.

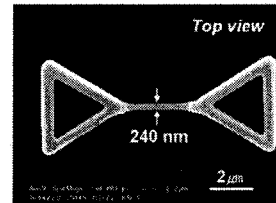


Fig. 9(a) Top view of an aerial line structure respectively at the condition of 12mW, 30nm/1ms

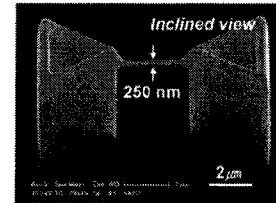


Fig. 9(b) Inclined view of an aerial line structure respectively at the condition of 12mW, 30nm/1ms

레이저 출력에 따른 선 폭 및 높이 변화를 관찰한 결과 Fig. 10(a), (b)와 같이 레이저 출력 12mW 에서부터 안정적인 선 형상이 제작되었으며 레이저 출력 12mW, 단위 조사 시간 1ms 에서 최소 선폭 240 nm, 최소 선 높이가 250 nm를 얻을 수 있었고 조사 시간이 증가함에 따라 선폭 및 선높이가 증가하다가 수렴하는 것을 알 수 있다.

SU-8 레진은 광감도가 뛰어나 레진이기 때문에 기존 이광자 흡수 광조형 공정에 주로 쓰인 우레탄 아크릴 계열의 레진 대비 약 40%의 레이저 출력만으로도 형상을 제작할 수 있다. 특히 최소 조사량 조건인 출력 12mW, 단위 조사시간 1ms 에 대하여 Fig. 9(a), (b)와 같이 선폭 240nm, 선높이 250nm 의 약 1 의 세장비를 갖는 단일 선을 만들 수 있다.

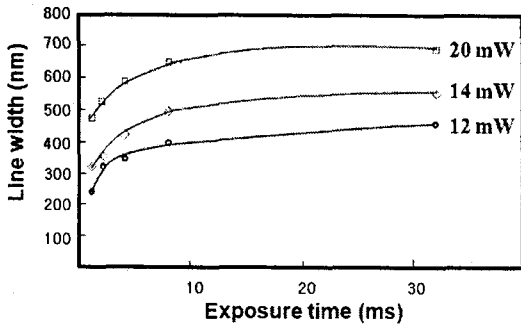


Fig. 10(a) Parameter study of the SU8 resin. A variation of a line width depending on laser power and exposure time

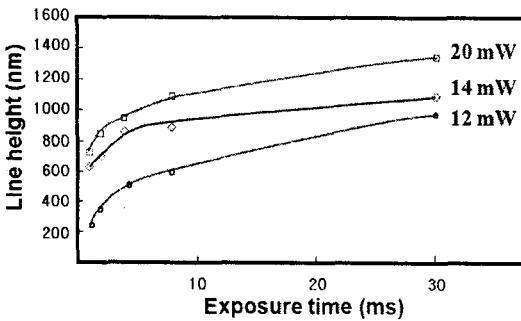


Fig. 10(b) Parameter study of the SU8 resin. A variation of a line height depending on laser power and exposure time

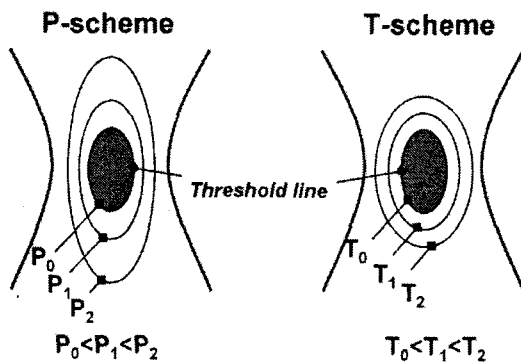


Fig. 11 Schematic diagram of P-scheme and T-scheme. 'P' and 'T' mean a laser power and an exposure time respectively. As a laser power increases, the aspect ratio of a voxel increases. As the exposure time increases, the voxel size increases isotropically¹⁵

이와 같이 낮은 형상 제작 가능한 레이저 출력은 이광자 흡수 영역을 더욱 작게 만들어 복셀의 형상을 타원 형태가 아닌 구형으로 만들 수 있다. 이러한 낮은 세장비의 원인으로서는 Fig. 11 과 같이 레이저 출력이 커지면 세장비가 커지는 방향으로 단위형상이 커지게 되고 조사시간이 증가하면 등 방향으로 세장비가 커지게 되는데, SU-8 의 경우 매우 작은 레이저 출력에 반응함으로써 나타나는 특성으로 분석된다.¹⁵ 이러한 낮은 세장비는 외각 선 적층방식으로 3 차원 형상을 만드는데 있어 언더컷 (undercut)을 가진 3 차원 형상의 정밀제작에 보다 유리하다.

3. 정밀한 고강성 3 차원 형상 제작

세장비가 높은 형상을 기존 이광자 흡수 광조형 공정에서 주로 쓰이는 SCR500 레진과 SU-8 레진을 본 연구에서 연구한 공정조건을 이용하여 제작 비교하여 SU-8 이 갖는 강성에 대해 평가하였다.

Fig. 12 는 SCR500 레진을 이용하여 만든 직경 3 μm 의 다양한 높이에 따른 원통 형상이다. 세장비 1:5 이상의 형상에 대해서는 현상 시 외부 장력에 의해 변형되어 고세장비 형상에 대해서는 무너지는 현상을 볼 수 있다. 하지만 Fig. 13 과 같이 SU-8 레진을 이용하여 직경 3 μm 의 원통형 형상을 다양한 높이에 따라 제작할 경우 세장비 1:20 의 고세장비 형상에서도 변형 없이 제작되어 짐을 알 수 있다. 이것은 에폭시 계열의 수지가 경화 됨에 따라 우레탄 아크릴레이트 계열의 수지인 SCR 5000 에 비해 강한 강성을 지니게 되어 현상 공정 시 외부 장력을 충분히 견딜 수 있음을 나타내며, 고강성 형상 제작에 매우 유리함을 나타낸다.

본 연구에서 연구한 SU-8 레진의 이광자 흡수 광조형 공정을 이용하여 정밀한 고강성의 3 차원 형상을 제작해 보았다. Fig. 14 는 F-15 전투기의 형상을 제작한 SEM 사진이다. 이 형상은 두께가 얇고 높은 형상이어서 고강성의 레진에 의해서만 제작 가능한 형상이다. SU-8 레진을 본 연구에서 연구한 Fig. 6 과 같은 온도 공정과 레이저 파워 12mW, 단위 조사시간 1ms 조건을 이용하여 제작한 결과 형상의 왜곡 없이 강하고 정밀한 3 차원 마이크로 형상을 제작할 수 있음을 알 수 있다.

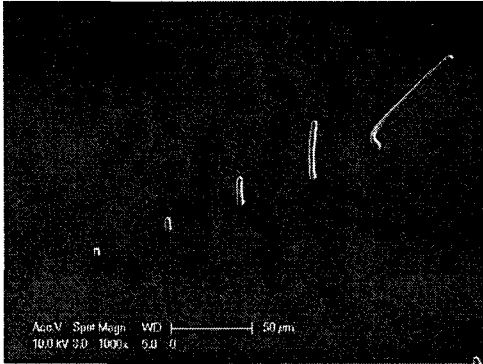


Fig. 12 SEM image of the fabricated cylinders using SCR resin. A cylinder has a diameter of $3\ \mu\text{m}$ of various heights from $4\ \mu\text{m}$ to $64\ \mu\text{m}$

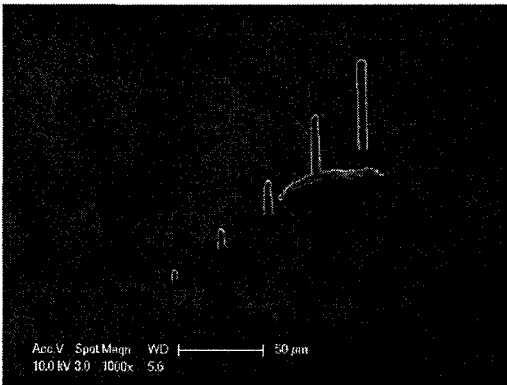


Fig. 13 SEM image of the fabricated cylinders using SU-8 resin. A cylinder has a diameter of $3\ \mu\text{m}$ of various heights from $4\ \mu\text{m}$ to $64\ \mu\text{m}$

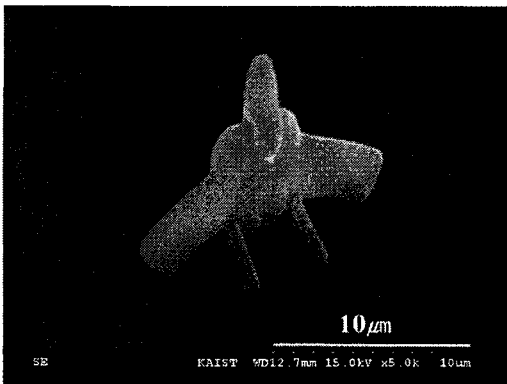


Fig. 14 SEM image of a F-15 fighter plane by two-photon stereolithography process using the SU-8 resin

4. 결론

본 연구에서는 고강성 SU-8 레진을 이용한 이광자 흡수 광조형 공정을 이용하여 3 차원 마이크로 형상 제작을 위하여 열처리 공정 및 레이저 조사 공정에 대한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 내렸다.

- 1) 이광자 흡수 광조형 공정에 적합한 SU-8 레진의 열처리 조건에 따른 형상 정밀도에 대한 분석을 통하여 표면 조도 12.5nm 의 정밀한 제작 조건을 도출 하였다.
- 2) 공정 변수에 따른 선폭, 높이 실험 결과 최소 레이저 파워 12mW 와 조사 시간 1ms 조건을 이용하여 선폭 240nm 선평이 250nm 인 세장비가 약 1 인 단일 선형상을 얻을 수 있어 복잡한 3 차원 형상 적층 시 매우 유리함을 보였다.
- 3) 임의의 3 차원 고세장비 구조물 예제 제작을 통하여 고강성 3 차원 형상의 정밀한 제작이 가능함을 확인 하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부 지원 나노원천기술개발 과제 (M10503000217-05M0300-21700)에 의하여 수행 되었으며 관계자 분들께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Kawata, S., Sun, H. B., Tanaka, T. and Takada, K., "Finer features for functional microdevices," Nature, Vol. 412, No. 16, pp. 697-698, 2001.
2. Serbin, J., Egbert, A., Ostendorf, A. and Chichkov, B. N., "Femtosecond laser-induced two-photon polymerization of inorganic-organic hybrid materials for applications in photonics," Optics Letters, Vol. 28, No. 5, pp. 301-303, 2003.
3. Yang, D. Y., Park, S. H., Lim, T. W., Kong, H. J., Yi, S. W., Yang, H. K. and Lee, K. S., "Ultraprecise Micro-reproduction of a Three-dimensional Artistic Sculpture by Multipath Scanning Method in Two-photon Photopolymerization," Appl. Phys. Lett., Vol. 90, Issue 1, pp. 013113-1 - 013113-3, 2007.
4. Lim, T. W., Park, S. H., Yang, D. Y., Yi, S. W. and

- Kong, H. J., "Development of contour offset algorithm (COA) in nRP process for fabricating nano-precision features," J. KSPE, Vol. 21, No. 6, pp. 160-166, 2004.
5. Park, S. H., Lee, S. H., Yang, D. Y., Kong, H. J. and Lee, K. S., "Subregional slicing method to increase 3D nanofabrication efficiency in two-photon polymerization," Appl. Phys. Lett., Vol. 87, Issue 15, pp. 154108-1 - 154108-3, 2005.
6. Park, S. H., Lim, T. W., Yang, D. Y., Kim, R. H. and Lee, K. S., "Improvement of Spatial Resolution in Nano-Stereolithography Using Radical Quencher," Macromolecular Research, Vol. 14, No. 5, pp. 559-564, 2006.
7. Deubel, M., Freymann, G. V., Wegener, M., Pereira, S., Busch, K. and Soukoulis, C. M., "Direct laser writing of three-dimensional photonic-crystal templates for telecommunications," Nature Materials, Vol. 3, Issue 7, pp. 444-447, 2004.
8. Seet, K. K., Mizeikis, V., Matsuo, S., Juodkazis, S. and Misawa, H., "Three-dimensional spiral-architecture photonic crystals obtained by direct laser writing," adv. Mater., Vol. 17, No. 5, pp. 541-545, 2005.
9. Teh, W. H., Dürig, U., Salis, G., Harbers, R., Drechsler, U., Mahrt, R. F., Smith, C. G. and Güntherodt, H. J., "SU-8 for real three-dimensional subdiffraction-limit two-photon microfabrication," Appl. Phys. Lett., Vol. 84, No. 20, pp. 4095-4097, 2004.
10. Juodkazis, S., Mizeikis, V., Seet, K. K., Miwa, M. and Misawa, H., "Two-photon lithography of nanorods in SU-8 photoresist," Nanotechnology, Vol. 16, No. 6, pp. 846-849, 2005.
11. Park, S. H., Lim, T. W., Jeong, C. G., Yang, D. Y., Yi, S. W., Lee, S. K. and Kong, H. J., "Fundamental process development of a ultramicro-stereolithography using a femto-second laser for manufacturing nano-scaled features," J. KSPE, Vol. 21, No. 3, pp. 180-187, 2004.
12. Zhang, J., Tan, K. L., Hong, G. D., Yang, L. J. and Gong, H. Q., "Polymerization optimization of SU-8 photoresist and its applications in microfluidic systems and MEMS," J. Micromech. Microeng. Vol. 11, No. 1, pp. 20-26, 2001.
13. Feng, R. and Farris, R. J., "Influence of processing conditions on the thermal and mechanical properties of SU8 negative photoresist coatings," J. Micromech. Microeng. Vol. 13, No. 1, pp. 80-88, 2003.
14. Liu, G., Tian, Y. and Kan, Y., "Fabrication of high-aspect-ratio microstructures using SU8 photoresist," Microsystem Technologies, Vol. 11, No. 4, pp. 343-346, 2005.
15. Sun, H. B., Takada, K., Kim, M. S., Lee, K. S. and Kawata, S., "Scaling laws of voxels in two-photon photopolymerization nanofabrication," Appl. Phys. Lett., Vol. 83, No. 6, pp. 1104-1106, 2003.