



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2011년02월23일  
(11) 등록번호 10-1016007  
(24) 등록일자 2011년02월11일

(51) Int. Cl.  
B82B 3/00 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)  
B82Y 40/00 (2011.01)  
(21) 출원번호 10-2008-0062547  
(22) 출원일자 2008년06월30일  
심사청구일자 2008년06월30일  
(65) 공개번호 10-2010-0002597  
(43) 공개일자 2010년01월07일  
(56) 선행기술조사문헌  
W. Yang et al., Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems, January 16-19, 2007, Bangkok, Thailand, pp. 571-574\*  
Huang, Heng-Chi et al., The 4th IEEE Conference on Sensors, Oct. 31 - Nov. 3, 2005, Irvine, CA, USA, pp. 484-487\*  
KR1020080054397 A  
US5814414 A  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
한국과학기술원  
대전 유성구 구성동 373-1  
(72) 발명자  
이승섭  
대전 유성구 구성동 한국과학기술원 기계공학과  
이석우  
충남 공주시 유구읍 석남리 388-6번지  
이정아  
대전 유성구 구성동 한국과학기술원 기계공학과  
별동 211호  
(74) 대리인  
특허법인다인

전체 청구항 수 : 총 16 항

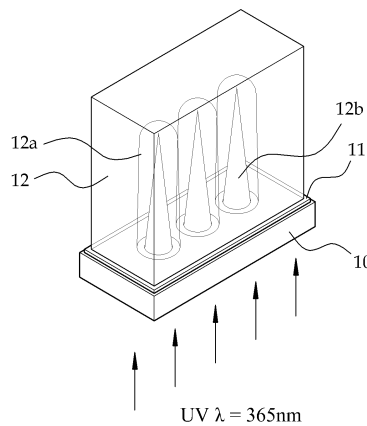
심사관 : 박종철

**(54) 고종횡비 미세 구조물 및 그 제조방법과 고종횡비 미세구조물 어레이 및 그 제조방법**

**(57) 요약**

본 발명에 의한 고종횡비 미세 구조물의 제조방법은, 투명 기관의 표면에 패턴 홈을 갖는 포토 마스크를 부착하는 포토 마스크 부착단계와, 포토 마스크의 표면에 네가티브 포토레지스트를 부착하는 포토레지스트 부착단계와, 투명 기관의 포토 마스크가 부착된 부분의 반대쪽에서 빛을 조사하여 패턴 홈을 통해 네가티브 포토레지스트로 조사되는 빛으로 네가티브 포토레지스트의 일부를 경화시키는 노광 단계와, 네가티브 포토레지스트의 노광되지 않은 부분을 제거하여 네가티브 포토레지스트가 경화되어 이루어진 미세 구조물을 드러내는 현상 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다. 본 발명에 의하면, 포토리소그래피 공정을 이용하여 미세 구조물을 저렴하고 간편하게 제조할 수 있다.

**대표도 - 도3**



**특허청구의 범위**

**청구항 1**

투명 기판의 표면에 패턴 홈을 갖는 포토 마스크를 부착하는 포토 마스크 부착단계와;

상기 포토 마스크의 표면에 네가티브 포토레지스트를 부착하는 포토레지스트 부착단계와;

상기 투명 기판의 상기 포토 마스크가 부착된 부분의 반대쪽에서 빛을 조사하여 상기 패턴 홈을 통해 상기 네가티브 포토레지스트로 조사되는 빛으로 상기 네가티브 포토레지스트의 일부를 경화시키는 노광 단계와;

상기 네가티브 포토레지스트의 노광되지 않은 부분을 제거하여 상기 네가티브 포토레지스트가 경화되어 이루어진 미세 구조물을 드러내는 현상 단계와;

상기 미세 구조물을 가열하여 탄화시킴으로써 그 폭을 축소시키는 열분해 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 고종횡비 미세 구조물의 제조방법.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 노광 단계에서 상기 미세 구조물의 형상을 한정하기 위해 상기 네가티브 포토레지스트에 입사되는 빛의 축적 에너지량을 조절하는 것을 특징으로 하는 고종횡비 미세 구조물의 제조방법.

**청구항 3**

제 2 항에 있어서,

상기 네가티브 포토레지스트에 입사되는 빛의 축적 에너지량 조절하기 위해 상기 네가티브 포토레지스트로 조사하는 빛의 세기를 조절하는 것을 특징으로 하는 고종횡비 미세 구조물의 제조방법.

**청구항 4**

제 2 항에 있어서,

상기 네가티브 포토레지스트에 입사되는 빛의 축적 에너지량을 조절하기 위해 상기 네가티브 포토레지스트로 조사하는 빛의 조사 시간을 조절하는 것을 특징으로 하는 고종횡비 미세 구조물의 제조방법.

**청구항 5**

삭제

**청구항 6**

제 2 항에 있어서,

상기 네가티브 포토레지스트는 SU-8이고,

상기 SU-8에 빛을 조사하기 전에 다음의 식 1, 식 2, 식 3을 통해 노광에 의해 상기 SU-8가 경화되는 부분의 형상을 산출하는 수치해석 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 고종횡비 미세 구조물의 제조방법.

$$U(P_0) = \frac{1}{j\lambda} \iint_{\Sigma} U(P_1) \frac{\exp(jkr_{01})}{r_{01}} \cos \theta ds \quad , \quad \text{식 1,}$$

$$I(P_0) = \frac{c\epsilon}{2} |U(P_0)|^2 \quad , \quad \text{식 2,}$$

$$D(P_0, t_{\text{Exp}}) = \frac{(1 - R_1) I(P_0) t_{\text{Exp}} (e^{-\alpha_{Unexp} t_{\text{Exp}}} - e^{-\alpha_{Exp} t_{\text{Exp}}})}{\alpha_{\text{Exp}} - \alpha_{Unexp}} \quad , \quad \text{식 3}$$

U: 전파에 의해 유도되는 전기(Electric Field),  $\lambda$ : 파장, c: 빛의 속도,  $\epsilon$ : 유전상수(Dielectric Constant),  $P_0$ : SU-8(12)에서의 위치,  $P_1$ : 패턴 홈(11a)의 위치,  $t_{Exp}$ : 노광 시간,  $R_1$ : 유리 기판(10)과 SU-8(12) 사이의 반사계수(Reflection Coefficient), z: 유리 기판(10)으로부터의 빛의 투사거리,  $\alpha_{Exp}$ : 노광된 SU-8(12)의 흡수율(Absorption Coefficient),  $\alpha_{Un exp}$ : 비노광된 SU-8(12)의 흡수율

**청구항 7**

제 1 항에 있어서,

상기 열분해 단계에서 상기 미세 구조물을 가마의 내부에 넣고, 상기 가마에 열을 가하면서 상기 가마의 내부에 질소가스를 공급하는 것을 특징으로 하는 고종횡비 미세 구조물의 제조방법.

**청구항 8**

제 7 항에 있어서,

상기 열분해 단계에서 상기 가마 내부의 온도를 제 1 온도로 제 1 시간 동안 유지시켜 상기 미세 구조물로부터 휘발성 화학물을 증발시키고, 상기 가마 내부의 온도를 제 1 온도보다 높은 제 2 온도로 제 2 시간 동안 유지시켜 상기 미세 구조물을 탄화시키는 것을 특징으로 하는 고종횡비 미세 구조물의 제조방법.

**청구항 9**

제 8 항에 있어서,

상기 제 1 온도는 300℃, 상기 제 1 시간은 3시간, 상기 제 2 온도는 700℃, 상기 제 2 시간은 30분인 것을 특징으로 하는 고종횡비 미세 구조물의 제조방법.

**청구항 10**

제 1 항에 있어서,

상기 포토 마스크는 크롬 필름인 것을 특징으로 하는 고종횡비 미세 구조물의 제조방법.

**청구항 11**

제 1 항에 있어서,

상기 네가티브 포토레지스트는 SU-8인 것을 특징으로 하는 고종횡비 미세 구조물의 제조방법.

**청구항 12**

투명 기판의 일측 표면에 패턴 홈을 갖는 포토 마스크를 부착하는 포토 마스크 부착단계와;

상기 포토 마스크가 부착된 면과 반대쪽인 상기 투명 기판의 타측 표면에 네가티브 포토레지스트를 부착하는 포토레지스트 부착단계와;

상기 패턴 홈을 통해 상기 네가티브 포토레지스트로 빛을 조사하여 상기 네가티브 포토레지스트의 일부를 경화시키는 노광 단계와;

상기 네가티브 포토레지스트의 노광되지 않은 부분을 제거하여 상기 네가티브 포토레지스트가 경화되어 이루어진 미세 구조물을 드러내는 현상 단계와;

상기 미세 구조물을 가열하여 탄화시킴으로써 그 폭을 축소시키는 열분해 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 고종횡비 미세 구조물의 제조방법.

**청구항 13**

제 12 항에 있어서,

상기 노광 단계에서 상기 미세 구조물의 형상을 한정하기 위해 상기 네가티브 포토레지스트에 입사되는 빛의 축적 에너지를 조절하는 것을 특징으로 하는 고종횡비 미세 구조물의 제조방법.

**청구항 14**

삭제

**청구항 15**

제 1 항 내지 제 4 항, 제 6 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 의한 제조방법으로 제조되는 고종횡비 미세 구조물.

**청구항 16**

투명 기관의 표면에 일정한 간격으로 배치된 복수의 패턴 홈을 갖는 포토 마스크를 부착하는 포토 마스크 부착 단계와;

상기 포토 마스크의 표면에 네가티브 포토레지스트를 부착하는 포토레지스트 부착단계와;

상기 투명 기관의 상기 포토 마스크가 부착된 부분의 반대쪽에서 빛을 조사하여 상기 복수의 패턴 홈을 통해 상기 네가티브 포토레지스트로 조사되는 빛으로 상기 네가티브 포토레지스트의 일부를 경화시키는 노광 단계와;

상기 네가티브 포토레지스트의 노광되지 않은 부분을 제거하여 상기 네가티브 포토레지스트가 경화되어 이루어진 복수의 미세 구조물을 드러내는 현상 단계와;

상기 복수의 미세 구조물을 가열하여 탄화시키는 열분해 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 고종횡비 미세 구조물 어레이의 제조방법.

**청구항 17**

제 16 항에 있어서,

상기 노광 단계에서 상기 미세 구조물의 형상을 한정하기 위해 상기 네가티브 포토레지스트에 입사되는 빛의 축적 에너지를 조절하는 것을 특징으로 하는 고종횡비 미세 구조물 어레이의 제조방법.

**청구항 18**

삭제

**청구항 19**

제16항 내지 제17항 중 어느 한 항에 의한 제조방법으로 제조된 고종횡비 미세 구조물 어레이.

**명세서**

**발명의 상세한 설명**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 고종횡비를 갖는 미세 구조물에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 포토리소그래피에 의해 제조되는 고종횡비 미세 구조물 및 그 제조방법과 고종횡비 미세 구조물 어레이 및 그 제조방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 나노기술(Nano Technology)은 물질의 크기가 대략 100nm 이하일 때 나타나는 새로운 현상 및 특성을 이용하는 기술이다. 나노기술은 원자, 분자 수준에서 물질을 물리적 혹은 화학적으로 제어하여 유용한 구조와 기능을 발현시키는 기술이며, 이를 통해 종래와는 전혀 다른 원리의 디바이스 구축을 가능하게 하는 기술로서 활용 가능성이 매우 광범위한 기술분야이다. 이러한 나노기술은 제조, 의약, 국방, 에너지, 운송, 통신, 컴퓨터 등 다양한 분야에서 현재의 마이크로기술을 대체할 것으로 예상되고 있다.

[0003] 나노기술에 있어서 나노와이어와 나노튜브가 핵심적인 연구 분야라고 할 수 있다. 나노와이어(Nanowire)는 길이는 수 $\mu$ m에서 수십 $\mu$ m, 지름은 100nm 이하의 고종횡비(High Aspect Ratio)를 갖는 미세 구조물을 말하는 것으로 단결정성 및 1차원특성을 갖는다. 이러한 나노와이어의 특성을 이용하면 전자요소들의 집적도를 향상시킬 수 있어 소자의 소형화를 촉진시킬 수 있다. 일례로 수직으로 배열되는 나노와이어 트랜지스터의 가능성이 증명되고

있고, 잘 정렬된 다층의 나노와이어를 이용하여 3차원적인 나노전자소자를 구현하는 연구도 이루어지고 있다. 그리고 나노와이어는 TFT(Thin-Film-Transistor)나 센서, 투명하고 플렉시블한 전자소자에 적용되어 성능면에서 혁신적인 결과를 가져다줄 수 있다.

[0004] 나노와이어의 제조방법으로는 포토리소그래피(Photolithography) 등과 같이 나노미터 수준의 가공을 통해 나노미터 크기의 구조체를 인공적으로 형성하는 하향식(Top-down) 방식과, 화학기상증착법(Cheical Vapor Deposition)과 같이 물질의 최소 단위인 원자나 분자를 조작하여 원하는 구조체를 형성하는 상향식(Bottom-up) 방식이 있다.

**발명의 내용**

**해결 하고자하는 과제**

[0005] 크기가 마이크로 혹은 나노 수준의 미세 구조물을 제조함에 있어서, 상향식 방식은 재현성이 낮고, 크기의 조절이 어려우며, 공정의 범용성이 부족해 다양한 분야로의 적용이 어려운 단점을 가지고 있다. 그리고 하향식 방식은 빛의 회절현상으로 인하여 제작 가능한 나노와이어의 종횡비에 한계가 있다고 알려져 있다. 일례로, 널리 쓰이고 있는 I-line 자외선( $\lambda=365\text{nm}$ )의 경우 포토마스크(Photomask)를 통과한 자외선이 회절현상으로 인해 퍼져 제작 가능한 미세 구조물의 종횡비가 3이하로 제한된다.

[0006] 본 발명은 종래 미세 구조물의 제조방법이 갖는 문제점을 해결하기 위한 것으로, 비용이 저렴하고 간편한 포토리소그래피를 이용하여 고종횡비를 갖는 미세 구조물을 제조할 수 있는 고종횡비 미세 구조물 및 고종횡비 미세 구조물 어레이 제조방법과 이들 제조방법에 의해 만들어지는 고종횡비 미세 구조물 및 고종횡비 미세 구조물 어레이를 제공하는데 그 목적이 있다.

**과제 해결수단**

[0007] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명에 의한 고종횡비 미세 구조물의 제조방법은, 투명 기관의 표면에 패턴 홈을 갖는 포토 마스크를 부착하는 포토 마스크 부착단계와, 포토 마스크의 표면에 네가티브 포토레지스트를 부착하는 포토레지스트 부착단계와, 투명 기관의 포토 마스크가 부착된 부분의 반대쪽에서 빛을 조사하여 패턴 홈을 통해 네가티브 포토레지스트로 조사되는 빛으로 네가티브 포토레지스트의 일부를 경화시키는 노광 단계와, 네가티브 포토레지스트의 노광되지 않은 부분을 제거하여 네가티브 포토레지스트가 경화되어 이루어진 미세 구조물을 드러내는 현상 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0008] 본 발명에 의한 고종횡비 미세 구조물의 제조방법은, 투명 기관의 일측 표면에 패턴 홈을 갖는 포토 마스크를 부착하는 포토 마스크 부착단계와, 포토 마스크가 부착된 면과 반대쪽인 투명 기관의 타측 표면에 네가티브 포토레지스트를 부착하는 포토레지스트 부착단계와, 패턴 홈을 통해 네가티브 포토레지스트로 빛을 조사하여 네가티브 포토레지스트의 일부를 경화시키는 노광 단계와, 네가티브 포토레지스트의 노광되지 않은 부분을 제거하여 네가티브 포토레지스트가 경화되어 이루어진 미세 구조물을 드러내는 현상 단계를 포함하고, 본 발명에 의한 고종횡비 미세 구조물은 상기와 같은 제조방법으로 제조된 것을 특징으로 한다.

[0009] 본 발명에 의한 고종횡비 미세 구조물 어레이의 제조방법은, 투명 기관의 표면에 일정한 간격으로 배치된 복수의 패턴 홈을 갖는 포토 마스크를 부착하는 포토 마스크 부착단계와, 포토 마스크의 표면에 네가티브 포토레지스트를 부착하는 포토레지스트 부착단계와, 투명 기관의 포토 마스크가 부착된 부분의 반대쪽에서 빛을 조사하여 복수의 패턴 홈을 통해 네가티브 포토레지스트로 조사되는 빛으로 네가티브 포토레지스트의 일부를 경화시키는 노광 단계와, 네가티브 포토레지스트의 노광되지 않은 부분을 제거하여 네가티브 포토레지스트가 경화되어 이루어진 복수의 미세 구조물을 드러내는 현상 단계와, 복수의 미세 구조물을 가열하여 탄화시키는 열분해 단계를 포함하고, 본 발명에 의한 고종횡비 미세 구조물 어레이는 상기와 같은 제조방법으로 제조된 것을 특징으로 한다.

**효 과**

[0010] 본 발명에 의하면, 포토 마스크를 투명 기관의 표면에 부착하고 투명 기관의 포토 마스크가 부착된 반대 면으로 빛을 조사함으로써, 빛의 세기를 포토 마스크에 형성된 패턴 홈의 중심으로 집중시킬 수 있다. 이러한 원리를 이용함으로써 미세 구조물을 저렴하고 간편하게 제조할 수 있고, 빛의 세기나 조사 시간을 조절함으로써 다양한 형상의 미세 구조물의 제조가 가능하다.

[0011] 또한 본 발명에 의하면, 미세 구조물의 폭이 수  $\mu\text{m}$ 인 경우 30 이상의 고종횡비 미세 구조물의 제작이 가능하고, 미세 구조물의 폭이 수백 nm인 경우 빛의 조사량을 조절함으로써 종횡비가 5~10인 미세 구조물을 제작할 수 있다.

[0012] 또한 본 발명에 의하면 투명 기판에 수직으로 배열된 고종횡비 미세 구조물 어레이를 저렴하고 간편하게 제조할 수 있다.

**발명의 실시를 위한 구체적인 내용**

[0013] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 일실시예에 의한 고종횡비 미세 구조물의 제조방법에 대하여 설명한다.

[0014] 본 발명에 의한 고종횡비 미세 구조물의 제조방법은 하향식(Top-down) 방식으로, 크게 포토리소그라피(Photolithography) 공정과 열분해(Pyrolysis) 공정으로 구분된다.

[0015] 도 1 내지 도 4는 포토리소그라피 공정을 나타낸 것으로, 도 1에 도시된 것과 같이 두께가 500 $\mu\text{m}$ 인 유리 기판(Pyrex #7740, Corning Co., 10)의 일측 표면에 두께 1100Å의 크롬 필름(11)이 부착된다. 유리 기판(10)은 유리 이외의 다양한 투명 기판으로 변경될 수 있고, 크롬 필름(11)은 투명 기판의 일측 표면에 부착되어 빛을 차단할 수 있는 다양한 포토 마스크로 변경될 수 있다. 크롬 필름(11)은 직경이 1.0 $\mu\text{m}$ 으로 일정한 간격으로 배치된 복수의 패턴 홈(11a)을 가지고 있고, 전자빔증착법(e-beam evaporation) 또는 다른 방법에 의해 유리 기판(10)에 부착된다. 복수의 패턴 홈(11a)은 빛을 통과시키는 부분으로 그 직경과 배치 간격이 다양하게 변경될 수 있고, 형상 또한 원형 이외의 형상으로 변경될 수 있다. 유리 기판(10)의 크롬 필름(11)이 부착되는 부분은 출사면이 된다.

[0016] 도 2에 도시된 것과 같이, 크롬 필름(11)이 유리 기판(10)에 부착된 후 크롬 필름(11)의 표면에 네가티브 포토레지스트(Negative Photo Resist)인 SU-8(SU-8 100, Microchem Co., 12)이 적절한 두께로 스핀 코팅된 후 건조된다. 크롬 필름(11)의 표면에는 SU-8(12) 대신 다른 네가티브 포토레지스트가 부착될 수 있다. SU-8(12)이 크롬 필름(11)에 부착된 후 유리 기판(10)으로 자외선(UV)이 조사된다.

[0017] 도 3에 도시된 것과 같이, 자외선(UV)은 유리 기판(10)의 크롬 필름(11)이 부착된 반대쪽 표면으로 조사되어 크롬 필름(11)의 복수의 패턴 홈(11a)을 통과하여 SU-8(12)로 입사된다. 도면에는 도시되지 않았으나, 본 실시예에서는 광원과 유리 기판(10)의 사이에 밴드패스 필터(Bandpass Filter,  $\lambda=365\text{nm}$ , bandwidth=10nm, 079-0550 bandpass filter, Opto-Sigma Co.)가 배치되어 광원에서 조사된 자외선(UV)이 필터링되었다. 본 발명에 있어서 노광(Photo Exposure)에 사용되는 빛은 자외선(UV) 이외에도 DUV(Deep Ultraviolet), EUV(Extreme Ultraviolet), X-Ray 등 네가티브 포토레지스트를 경화시킬 수 있는 다양한 빛이 이용될 수 있다.

[0018] 유리 기판(10)으로 입사되어 크롬 필름(11)의 복수의 패턴 홈(11a)을 통과한 자외선(UV)은 회절(Diffraction)에 의해 패턴 홈(11a)의 외측으로 퍼지기도 하지만 빛의 세기가 가운데로 집중된다. SU-8(12)의 영역 중에서 경화되는 부분(12b)은 빛이 조사되는 부분(12a) 중에서도 조사된 빛의 에너지량이 SU-8(12)의 경화 에너지 임계값보다 큰 부분으로 한정되며, SU-8(12)의 경화되는 부분(12b)은 종횡비가 큰 원뿔 형상으로 나타난다. SU-8(12)의 경화된 부분(12b)은 미세 구조물(13)을 형성하게 되므로, 자외선(UV)의 세기나 조사 시간을 조절하여 SU-8(12)로 조사되는 빛의 에너지량을 조절함으로써 미세 구조물(13)의 모양을 바꿀 수 있다. SU-8(12)로 조사되는 빛의 에너지량을 증가시키면 SU-8(12)의 경화되는 부분(12b)은 옆으로 퍼지기 보다는 빛의 조사 방향을 따라 길어지는데, 이러한 현상은 빛이 회절에 의해 패턴 홈(11a)의 중심으로 집중되기 때문이다.

[0019] 노광 공정이 끝난 후, SU-8(12)은 현상(Development) 공정을 거친다. 노광된 SU-8(12)이 PGMEA 현상액(Microchem Co.)과 같은 현상액에 1시간 이상 담겨 있으면, 도 4에 도시된 것과 같이, SU-8(12)의 경화되지 않은 부분이 제거되고 경화된 부분만 남게 된다. 현상 공정 후, 미세 구조물들은 세척액으로 세척된다. 세척액은 이소프로필알콜(Isopropanol), 탈이온화수(Deionized Water) 또는 다른 것이 사용될 수 있다.

[0020] 이러한 포토리소그라피 공정에 있어서, 종래의 포토리소그라피 공정과는 다르게 포토 마스크가 투명 기판의 표면에 부착됨으로써, 노광 공정에서 포토 마스크와 투명 기판 사이에서 빛의 회절이 발생되지 않는다. 이러한 특징은 네가티브 포토레지스트로 조사되는 빛을 패턴 홈(11a)의 중심으로 집중시키는데 유리하게 작용한다. 도면에서는 네가티브 포토레지스트가 포토 마스크의 표면에 부착되는 것으로 설명하였으나, 네가티브 포토레지스트는 투명 기판의 포토 마스크가 부착된 부분의 반대쪽 표면에 부착될 수도 있다. 이 경우, 빛은 포토 마스크로 조사되어 투명 기판을 통과하여 네가티브 포토레지스트로 조사된다.



[0021] 도 5는 패턴 홈(11a)의 직경이 약  $3.0\mu\text{m}$ ( $2.97\mu\text{m}$ )이고, 유리 기판(10)으로 조사된 자외선(UV)의 에너지가  $109.2\text{mJ}/\text{cm}^2$ 일 때 유리 기판(10)에 만들어진 미세 구조물(13)을 나타낸 SEM(Scanning Electron Microscope) 이미지이다. 도면을 보면 미세 구조물(13)은 그 종횡비가 20 이상이고, 그 끝단 직경은 약  $700\text{nm}$ ( $697.00\text{nm}$ )까지 축소된 것을 알 수 있다. 미세 구조물(13)의 형상은 빛의 조사로 인해 SU-8(12)의 내부 영역에서 축적된 에너지량을 계산하여 예측할 수 있다.

[0022] SU-8(12)의 내부 영역에서의 축적 에너지량(Exposed Dose)은 도 6에 도시된 회절 분석 모델과 호이겐스-프레넬 회절 원리(Huygens-Fresnel diffraction principle)와 관계된 다음의 식들을 통해 구할 수 있다.

[0023] 
$$U(P_0) = \frac{1}{j\lambda} \iint_{\Sigma} U(P_1) \frac{\exp(jkr_{01})}{r_{01}} \cos\theta ds \quad (1)$$

[0024] 
$$I(P_0) = \frac{c\epsilon}{2} |U(P_0)|^2 \quad (2)$$

[0025] 
$$D(P_0, t_{\text{Exp}}) = \frac{(1 - R_1)I(P_0)t_{\text{Exp}}(e^{-\alpha_{\text{Un exp}} t_{\text{Exp}}} - e^{-\alpha_{\text{Exp}} t_{\text{Exp}}})}{\alpha_{\text{Exp}} - \alpha_{\text{Un exp}}} \quad (3)$$

[0026] 위의 식 (1), (2)에서 U는 빛의 전파에 의해 유도되는 전기장(Electric Field),  $\lambda$ 는 파장, c는 빛의 속도,  $\epsilon$ 은 유전상수(Dielectric Constant),  $P_0$ 은 SU-8(12)에서의 위치,  $P_1$ 은 패턴 홈(11a)의 위치이다. 그리고 식 (3)에서  $t_{\text{Exp}}$ 는 노광 시간,  $R_1$ 은 유리 기판(10)과 SU-8(12) 사이의 반사계수(Reflection Coefficient), z는 유리 기판(10)으로부터의 빛의 투사거리,  $\alpha_{\text{Exp}}$ 는 노광된 SU-8(12)의 흡수율(Absorption Coefficient)  $\alpha_{\text{Un exp}}$ 는 비노광된 SU-8(12)의 흡수율을 나타낸다.

[0027] 위의 식들은 수치해석(Numerical Analysis)을 통해 계산된다. 도 7은 조사 에너지  $D_0$ 이  $100\text{mJ}/\text{cm}^2$ 이고 패턴 홈(11a)의 직경이  $1.0\mu\text{m}$ 일 경우의 수치해석된 결과로, 정규화된 축적 에너지( $D/D_0$ )의 분포를 나타낸 것이다. 축적 에너지량의 분포에서 SU-8(12)의 경화 에너지를 갖는 부분을 연결한 선(Conture line)이 경화 에너지의 임계값이다. 여기에서 경화 에너지의 임계값  $D_c$ 는  $50\text{mJ}/\text{cm}^2$ 이다. 선의 안쪽은 축적 에너지량이 경화 에너지 임계값보다 커서 경화되는 부분이고, 선의 바깥쪽은 축적 에너지량이 경화 에너지 임계값보다 작아서 현상 공정에서 제거되는 부분이다.

[0028] 도 8은 패턴 홈(11a)의 직경이  $1.0\mu\text{m}$ 이고 조사 에너지  $D_0$ 이  $109.2\text{mJ}/\text{cm}^2$ 일 때, 실제 제조된 미세 구조물(13)의 SEM 이미지와 계산된 축적 에너지량 D를 연결한 선을 나타낸 것이다. 도 8을 보면 SU-8(12)의 내부에서 축적 에너지량이  $63\text{mJ}/\text{cm}^2$  이상이 되는 부분이 경화된 것을 확인할 수 있고, 이때의 미세 구조물(13)의 높이는  $4.6\mu\text{m}$ 가 된다. 도 9 및 도 10은 패턴 홈(11a)의 직경이  $1.0\mu\text{m}$ 이고 조사 에너지  $D_0$ 가 각각  $218.4\text{mJ}/\text{cm}^2$ 과  $327.6\text{mJ}/\text{cm}^2$ 일 경우를 나타낸 것으로, 조사 에너지  $D_0$ 가  $218.4\text{mJ}/\text{cm}^2$ 일 때 미세 구조물(13)의 높이는  $7.0\mu\text{m}$ 이고, 조사 에너지  $D_0$ 가  $327.6\text{mJ}/\text{cm}^2$ 일 때 미세 구조물(13)의 높이는  $10.9\mu\text{m}$ 에 이르는 것을 확인할 수 있다. 따라서 SU-8(12) 또는 다른 네가티브 포토레지스트의 경화 에너지 임계값과 조사되는 빛의 파장을 고려하여 패턴 홈(11a)의 크기를 적절하게 선택하고, 노광에 의해 SU-8(12)의 경화되는 부분의 형상을 수치해석으로 산출하여 빛의 조사 에너지를 적절하게 조절함으로써 원하는 형상의 미세 구조물(13)을 만들 수 있다.

[0029] 포토리소그래피 공정을 통해 만들어진 SU-8(12)의 미세 구조물(13)들은 열분해 공정을 통해 두께가 축소된다. 도 11에 도시된 것과 같이 열분해 공정시, SU-8(12)의 미세 구조물(13)들은 석영 튜브 가마(Quartz Tube Furnace, 20)에서 고온으로 가열된다. 이때 석영 튜브 가마(20)의 외부로부터 열이 가해지고, 석영 튜브 가마(20)의 내부에는 질소가스( $\text{N}_2$ )가 공급되어 석영 튜브 가마(20)의 내부는 고온의 불활성 환경이 된다.

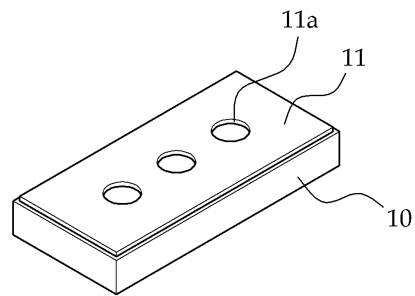
[0030] 도 12는 열분해 공정이 진행되는 동안 석영 튜브 가마(20) 내부의 온도 변화를 나타낸 것으로, 석영 튜브 가마(20) 내부의 온도는  $300^\circ\text{C}$ 로 일정 시간 유지되다가  $700^\circ\text{C}$ 로 상승한 후 냉각된다. 석영 튜브 가마(20) 내부의 온도가  $300^\circ\text{C}$ 로 3시간 동안 유지될 때 SU-8(12)의 미세 구조물(13)은 건조되면서 휘발성 화학물이 증발된다. 이후 석영 튜브 가마(20) 내부의 온도는  $700^\circ\text{C}$ 까지  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 증가율로 증가하여  $700^\circ\text{C}$ 로 30분간 유지되며, 이때



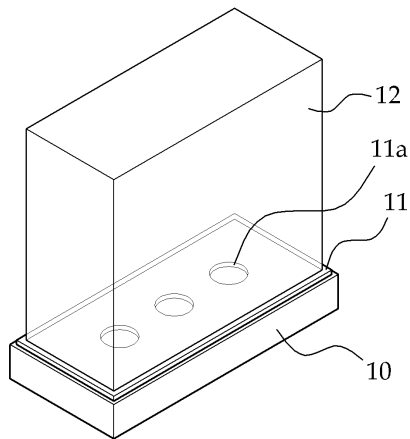


도면

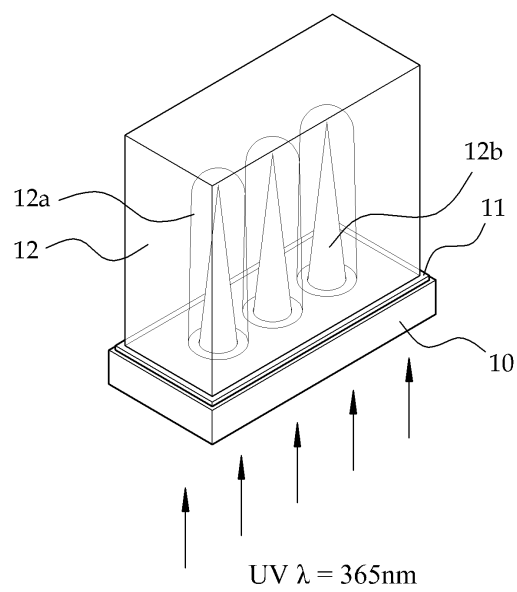
도면1



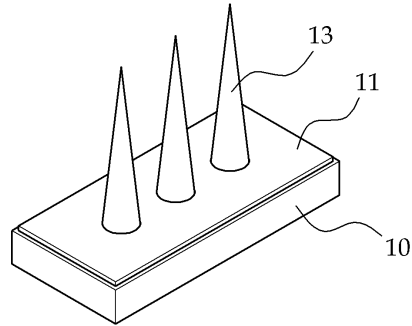
도면2



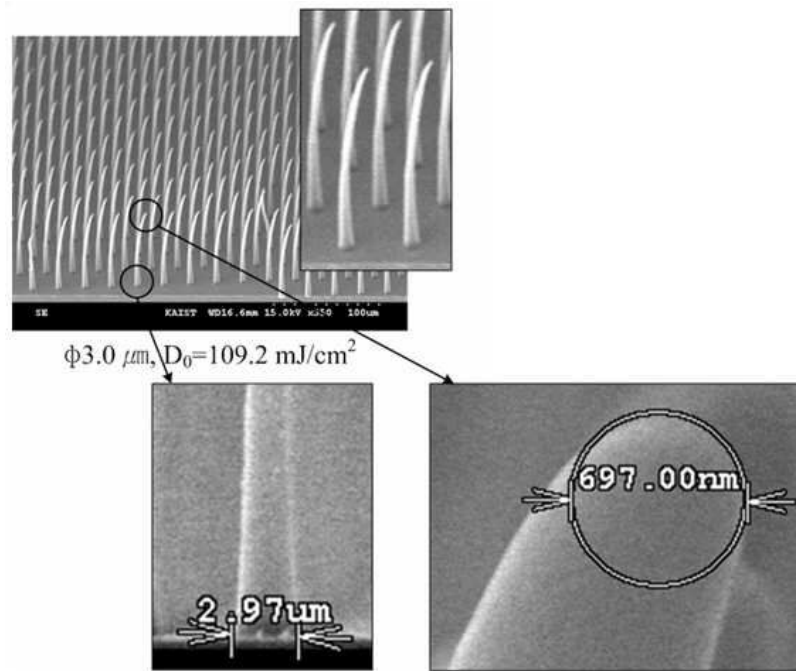
도면3



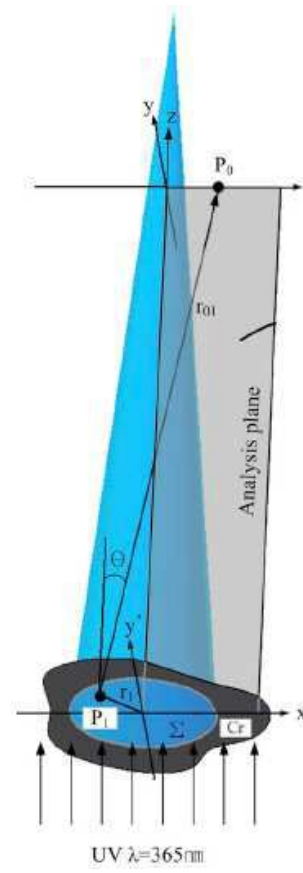
도면4



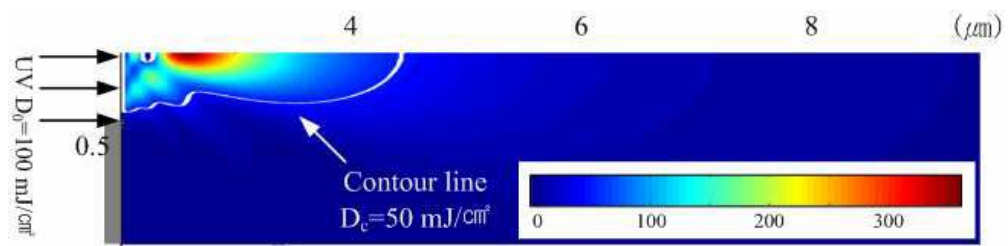
도면5



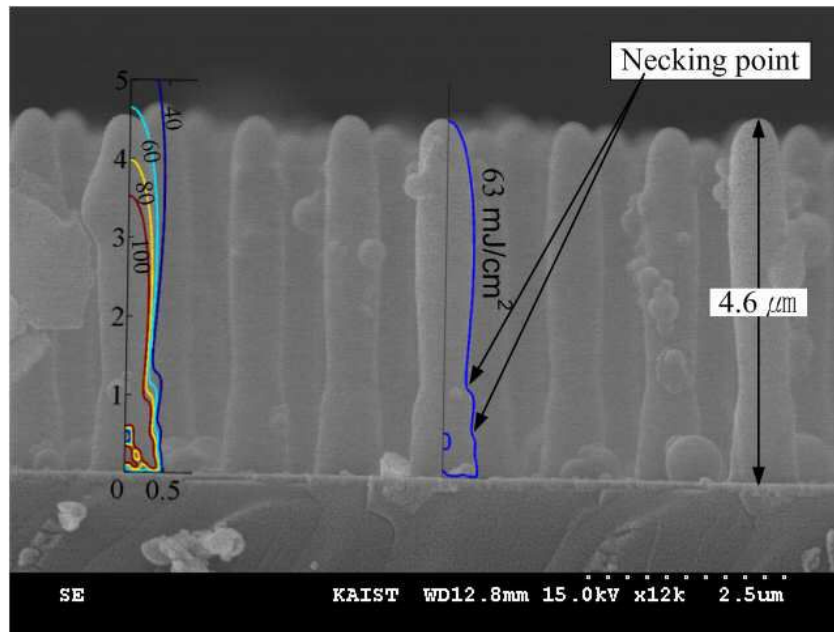
도면6



도면7

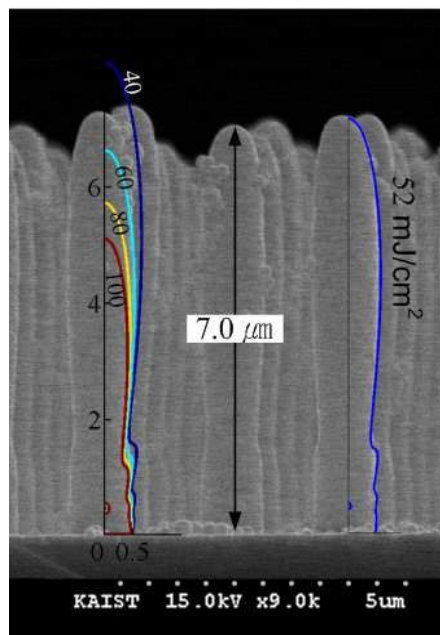


도면8



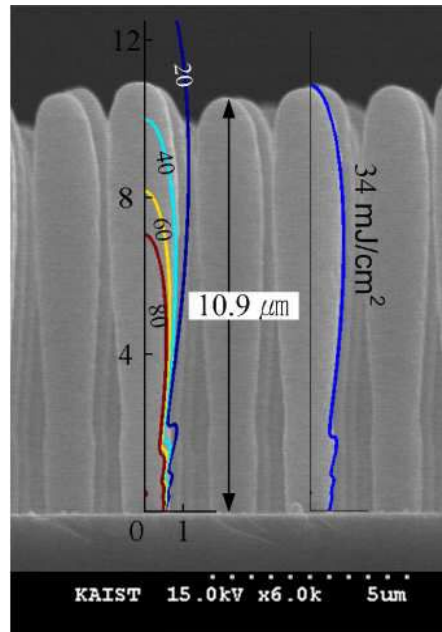
$\phi 1.0 \mu\text{m}$ ,  $D_0=109.2 \text{ mJ/cm}^2$

도면9



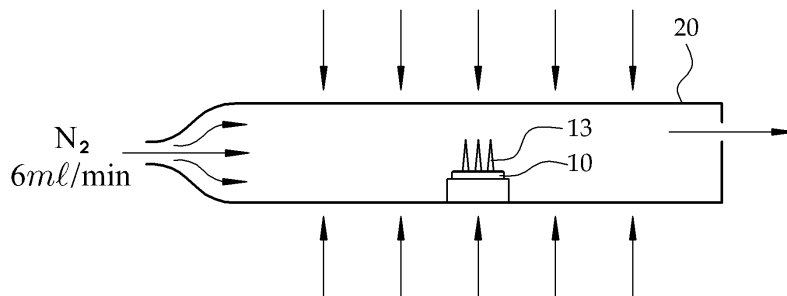
$\phi 1.0 \mu\text{m}$ ,  $D_0=218.4 \text{ mJ/cm}^2$

도면10

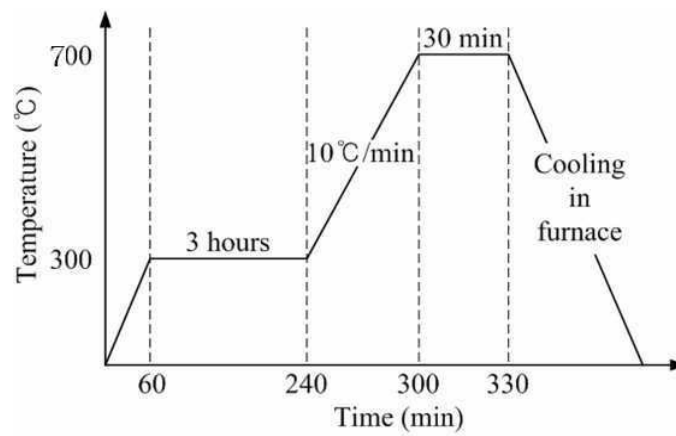


$\phi 1.0 \mu\text{m}, D_0=327.6 \text{ mJ/cm}^2$

도면11



도면12



도면13

