



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년12월10일  
(11) 등록번호 10-0930966  
(24) 등록일자 2009년12월02일

(51) Int. Cl.  
B82B 3/00 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2007-0093708  
(22) 출원일자 2007년09월14일  
심사청구일자 2007년09월14일  
(65) 공개번호 10-2009-0028246  
(43) 공개일자 2009년03월18일  
(56) 선행기술조사문헌  
US20060134556 A1\*  
Macromolecules 2006  
고분자 과학과 기술, 2005  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
한국과학기술원  
대전 유성구 구성동 373-1  
(72) 발명자  
김상욱  
대전 유성구 구성동 한국과학기술원 신소재공학과  
연성나노소재연구실  
신동욱  
대전 유성구 구성동 한국과학기술원 신소재공학과  
연성나노소재연구실  
김봉훈  
대전 유성구 구성동 한국과학기술원 신소재공학과  
연성나노소재연구실  
(74) 대리인  
이처영

전체 청구항 수 : 총 25 항

심사관 : 박종철

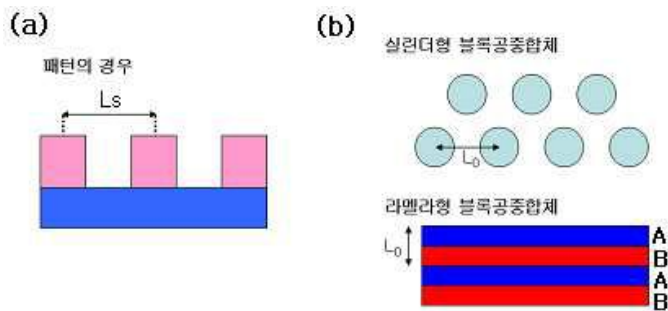
(54) 블록공중합체의 나노구조와 일치하지 않는 형태의 표면패턴상에 형성되는 블록공중합체의 나노구조체 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명은 블록공중합체의 나노구조와 일치하지 않는 형태의 표면패턴상에 형성되는 블록공중합체의 나노구조체 및 그 제조방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 블록공중합체의 주기와 일치하지 않는 주기를 가지는 패턴으로 패턴화된 기판에서 상에 블록공중합체 박막을 형성한 뒤 열처리하여 제조한 블록공중합체의 나노구조체 및 그 제조방법에 관한 것이다.

본 발명에 따르면, 패턴화된 기판상에서 블록공중합체의 나노구조체를 제조하되, 패턴의 주기를 블록공중합체의 주기와 일치시키는 과정을 거치지 않는 간소화된 공정으로 나노구조체를 제조할 수 있고, 블록공중합체의 각 블록의 상대적인 조성비 및 분율에 따라 또는 패턴의 주기에 따라 다양한 구조의 나노구조체를 구현할 수 있으며, 나노구조체의 정렬도를 임의로 제어할 수 있어, 나노와이어, 나노닷 어레이와 같은 나노스케일의 구조를 용이하게 제작할 수 있고, 다양한 용도로 실제 산업에 응용할 수 있다.

대표도 - 도2



**특허청구의 범위**

**청구항 1**

다음의 단계를 포함하는 블록공중합체의 자기조립 나노구조체를 제조하는 방법:

- (a) 기판에 중성층을 형성하는 단계;
- (b) 상기 중성층이 형성된 기판을 블록공중합체의 주기보다 큰 주기를 가지는 패턴으로 패턴화하는 단계;
- (c) 상기 패턴화된 기판에 블록공중합체 박막을 형성하는 단계; 및
- (d) 상기 블록공중합체를 열처리하여 자기조립을 유도한 다음 나노구조체를 수득하는 단계.

**청구항 2**

제1항에 있어서, 상기 (a)단계의 중성층은 유기단분자층인 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 3**

제2항에 있어서, 상기 유기단분자층은 자기조립 단분자층 또는 고분자 브러쉬층인 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 4**

제3항에 있어서, 상기 자기조립 단분자층은 페닐트리클로로시란(Phenethyltrichlorosilane: PETCS), 페닐트리클로로실란(Phenyltrichlorosilane: PTCS), 벤질트리클로로실란(Benzyltrichlorosilane: BZTCS), 토일트리클로로실란(Tolyltrichlorosilane: TTCS), 2-[(트리메톡시실일)에틸]-2-피리딘[2-((trimethoxysilyl)ethyl)-2-pyridine: PYRTMS], 4-바이페닐일트리메톡시실란(4-biphenyltrimethoxysilane: BPTMS), 옥타데실트리클로로실란(Octadecyltrichlorosilane: OTS), 1-나프틸트리메톡시실란(1-Naphthyltrimethoxysilane: NAPTMS), 1-((트리메톡시실일)메틸)나프탈렌[1-((trimethoxysilyl)methyl)naphthalene: MNATMS] 및 (9-메틸안트라세닐)트리메톡시실란((9-methylanthracenyl)trimethoxysilane: MANTMS)으로 구성된 군에서 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 5**

제3항에 있어서, 상기 고분자 브러쉬층은 폴리(스티렌-랜덤-메틸메타크릴레이트){poly(styrene-ran-methylmethacrylate): PS-r-PMMA} 브러쉬층인 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 6**

제1항에 있어서, 상기 (b)단계의 패턴화는 탑-다운(top down) 방식의 리소그래피(lithography)에 의해 수행되는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 7**

제1항에 있어서, 상기 (b) 단계에서 패턴화된 기판의 표면은 중성표면 및 선택적표면으로 구성되는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 8**

제1항에 있어서, 상기 (c) 단계의 블록공중합체는 폴리스티렌(polystyrene)과 폴리스티렌 이외의 고분자가 공유 결합한 형태의 블록공중합체인 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 9**

제8항에 있어서, 상기 블록공중합체의 폴리스티렌:폴리스티렌 이외의 고분자의 조성비가 0.70~0.65:0.30~0.35 또는 0.30~0.35:0.70~0.65인 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 10**

제8항에 있어서, 상기 블록공중합체의 폴리스티렌:폴리스티렌 이외의 고분자의 조성비가 0.5:0.5인 것을 특징으로 하는 방법.

로 하는 방법.

**청구항 11**

제8항에 있어서, 상기 블록공중합체의 폴리스티렌:폴리스티렌 이외의 고분자의 조성비가 0.82~0.77:0.18~0.23 또는 0.18~0.23:0.82~0.77인 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 12**

제8항에 있어서, 상기 블록공중합체의 폴리스티렌:폴리스티렌 이외의 고분자의 조성비가 0.65~0.60:0.35~0.40 또는 0.35~0.40:0.65~0.60인 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 13**

제8항에 있어서, 상기 블록공중합체는 PS-b-PMMA{poly(styrene-b-methylmethacrylate)}, PS-b-PB{poly(styrene-b-butadiene)}, PS-b-PI{poly(styrene-b-isoprene)}, PS-b-PEP{poly(styrene-b-ethylene propylene)}, PS-b-PDMS{poly(styrene-b-dimethylsiloxane)}, PS-b-PE{poly(styrene-b-ethylene)}, PS-b-P4VP{poly(styrene-b-vinylpyridine)} 및 PS-b-PEO{poly(styrene-b-ethyleneoxide)}로 구성된 군에서 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 14**

제1항에 있어서, 상기 중성층이 자기조립 단분자층이고, 상기 기관상에 DI water 층을 형성시키는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 15**

제1항에 있어서, 상기 (b) 단계의 패턴의 주기는 블록공중합체의 주기보다 큰 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 16**

제1항에 있어서, 상기 (b) 단계의 패턴의 형태는 선형 또는 비선형인 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 17**

제9항의 방법으로 제조되며, 중성표면 및 선택적표면으로 구성되는 패턴화된 기관상에 블록공중합체 박막을 포함하되, 상기 패턴의 주기가 블록공중합체의 주기보다 큰 것을 특징으로 하는 실린더(cylinder)형 나노구조체.

**청구항 18**

제17항에 있어서, 상기 중성표면에서는 실린더형 블록공중합체가 기관에 수직으로 배향되고, 상기 선택적표면에서는 실린더형 블록공중합체가 기관에 평행하게 배향되는 것을 특징으로 하는 나노구조체.

**청구항 19**

제17항에 있어서, 상기 블록공중합체 박막의 두께가 감소할수록 나노구조체의 정렬도가 향상되는 것을 특징으로 하는 나노구조체.

**청구항 20**

제10항의 방법으로 제조되며, 중성표면 및 선택적표면을 구성되는 패턴화된 기관상에 블록공중합체 박막을 포함하되, 상기 패턴의 주기가 블록공중합체의 주기보다 큰 것을 특징으로 하는 라멜라(lamella)형 나노구조체.

**청구항 21**

제20항에 있어서, 상기 중성표면에서는 라멜라형 블록공중합체가 기관에 수직으로 배향되고, 상기 선택적표면에서는 라멜라형 블록공중합체가 기관에 평행하게 배향되는 것을 특징으로 하는 나노구조체.

**청구항 22**

제20항에 있어서, 상기 블록공중합체 박막의 두께가 증가할수록 나노구조체의 정렬도가 향상되는 것을 특징으로

하는 나노구조체.

**청구항 23**

제20항에 있어서, 상기 중성표면의 너비가 감소할수록 나노구조체의 정렬도가 저하되는 것을 특징으로 하는 나노구조체.

**청구항 24**

제11항의 방법으로 제조되며, 중성표면 및 선택적표면을 구성되는 패턴화된 기판상에 블록공중합체 박막을 포함 하되, 상기 패턴의 주기가 블록공중합체의 주기보다 큰 것을 특징으로 하는 구(sphere)형 나노구조체.

**청구항 25**

제12항의 방법으로 제조되며, 중성표면 및 선택적표면을 구성되는 패턴화된 기판상에 블록공중합체 박막을 포함 하되, 상기 패턴의 주기가 블록공중합체의 주기보다 큰 것을 특징으로 하는 자이로이드(gyroid)형 나노구조체.

**명세서**

**발명의 상세한 설명**

**기술 분야**

<1> 본 발명은 블록공중합체의 나노구조와 일치하지 않는 형태의 표면패턴상에 형성되는 블록공중합체의 나노구조체 및 그 제조방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 블록공중합체의 주기보다 큰 주기를 가지는 패턴으로 패턴화된 기판에서 상에 블록공중합체 박막을 형성한 뒤 열처리하여 제조한 블록공중합체의 나노구조체 및 그 제조방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

<2> 인위적인 조작 없이 분자 사이에서 자발적으로 반응이 일어나는 현상을 '자기조립(self-assembly)'이라 한다. 이러한 자기조립 현상은 자연계에서 흔히 발견되는 것으로, 모든 생물체를 이루는 근간이 되므로, DNA를 기본 단위로 구성되는 생물체는 자기조립 현상의 결정체라 할 수 있다. 현재, 전 세계적으로 자기조립 현상을 이용하여 물리화학적으로 나노 구조물을 생성하는 한편, 그 방법을 재현하는 연구가 진행되고 있으며, 더 나아가 이를 학문적 또는 상업적으로 이용하기 위한 시도가 주목받고 있다.

<3> 한편, 자기조립 현상은 분자단위의 스케일에서 기존의 유기화학적인 방법으로 합성이 가능한 블록공중합체(block copolymer)에서 발견되고 있다.

<4> 블록공중합체는 서로 다른 화학적 구조를 가지는 고분자 블록들이 공유결합을 통하여 연결되어 있는 분자 구조를 가지고 있다. 한 분자내에 존재하는 서로 다른 블록들은 상분리를 일으키려고 하나, 이들을 연결하고 있는 공유결합으로 인하여 상분리의 정도가 제한되므로, 마이크로 상분리(microphase separation)가 일어나면 결국, 구(sphere), 실린더(cylinder), 라멜라(lamella) 등이 주기적으로 배열된 형태의 나노구조를 형성한다. 이때, 블록공중합체의 자기조립 현상으로 형성된 나노구조의 도메인 크기는 5~100nm로 광범위하며, 다양한 형태의 나노 구조의 제작이 가능하다.

<5> 블록공중합체가 형성하는 나노구조는 열역학적으로 안정한 구조이므로 상기 나노구조의 형성이 자발적으로 진행되며, 각 블록의 상대적인 조성비와 분자량을 조절함으로써 손쉽게 나노구조의 형태 및 크기를 조절할 수 있다. 특히, 블록공중합체 나노구조의 형성은 병렬적으로 진행되므로 뛰어난 양산능력을 나타내며, 기존의 탑-다운(top-down) 방식과 결합하여 나노스케일의 구조를 형성하는 주요한 기술로써 연구되고 있다.

<6> 실제적으로, 블록공중합체가 형성하는 나노구조를 활용하기 위해서는 기판 상에 블록공중합체 박막을 형성시킨 다음, 원하는 형태의 나노구조로 조절하는 것이 중요하다. 그러나, 자연적으로 형성되는 블록공중합체의 나노구조는 무질서한 배향 방향을 가지는 등의 많은 결함을 가지게 되므로, 최근, 이러한 문제점들을 극복하기 위하여 탑-다운 방식과 바텀-업(bottom-up) 방식을 융합시켜 대면적으로 완벽히 제어된 블록 공중합체의 나노구조를 구현하려는 연구가 시도되고 있다.

<7> 자기조립 현상에 의해 형성되는 블록공중합체의 나노구조를 완벽하게 정렬시키기 위하여 탑-다운 방식과 바텀-

업 방식을 융합시킨 기술의 대표적인 예로써, 탑-다운 패턴의 특성에 따라 그래포에픽택시(graphoepitaxy)와 에피택시얼 셀프 어셈블리(epitaxial self-assembly)로 나눌 수 있다.

- <8> 그래포에픽택시란, 기질 표면의 마이크로 패턴을 이용하여 대면적 정렬(long range order)을 가지는 블록공중합체 나노구조를 제조하는 방법으로, 구체적으로는, 기존의 리소그래피(lithography) 방법을 이용하여 기판상에 마이크로 또는 서브마이크로 패턴을 생성하고, 블록 공중합체 박막을 형성한 다음, 자기조립에 의해 만들어진 블록공중합체 나노구조의 배향을 조절하는 방법이다. 이때, 생성된 패턴은 기판상의 요철로서 나노구조의 정렬이 패턴의 가장자리에서부터 시작하여 블록공중합체 박막 전체에 걸쳐 대면적의 정렬을 가지게 된다. 그러나, 패턴의 간격이 너무 넓게 되면 패턴 가장자리에 의한 경계효과(boundary effect)가 미치지 못하는 곳에서 결합이 생기게 되며, 분자수준의 깨끗한 가장자리를 제조하지 못하는 점도 결합이 생기는 원인이 되므로 궁극적으로 그 활용범위가 한정되는 문제점이 있다.
- <9> 에피택시얼 셀프 어셈블리란, 블록공중합체 나노구조와 일치하는 주기를 가지는 표면패턴을 형성시키고, 이를 이용하여 나노구조를 조절함으로써 임의의 넓은 면적에 대해 원하는 형태로 배열된 자기조립 나노구조를 수득할 수 있는 대표적인 방법 중 하나로서, 구체적으로는, 유기단분자층 위에 기존의 탑-다운 방식의 리소그래피 기술을 이용하여 평형상태의 블록공중합체 주기와 일치하는 화학적 패턴을 기판 위에 형성시키고 그 위에 블록공중합체 박막을 형성시켜 완벽하게 정렬된 나노구조를 형성하는 방법이다. 이러한 에피택시얼 셀프 어셈블리는 종래 연구들에서 문제점으로 꾸준히 제시되어왔던 제한된 면적에서만 자기조립 물질의 정렬을 조절할 수 있었던 점을 극복한 것으로, 대면적에서 정렬된 나노구조를 반도체 양산 공정과 같은 실제 디바이스 제작공정에 적용할 수 있는 가능성을 보여주었으나, 블록 공중합체의 주기와 일치하는 화학적 표면 패턴을 형성하기 위해서는 기존의 탑-다운 방식의 기술에서 상기 블록공중합체의 주기에 상응하는 미세 패턴을 안정적으로 제작해야 하므로, 공정 자체가 용이하지 않다는 한계가 있다.
- <10> 최근, 실리콘 웨이퍼 상에 고분자 형태의 이미지층을 형성하고, 극자외선 간섭 광식각공정을 이용하여 55nm의 주기를 가지는 화학적 패턴을 제작한 다음, 여기에 열처리를 통한 PS-b-PtBA 자기조립에 의하여 실린더 형태의 나노구조를 형성한 후, 추가적인 열처리 과정을 거쳐 PAA(polyanhydride) 나노닷(nanodot)들의 계층적인 배열을 유도하여 수득한 나노구조가 초고밀도 자기저장매체에 이용될 수 있다는 가능성이 제시되었으나, 상기 나노구조를 수득하기 위하여 두 번의 열처리 과정이 필요하며, 또한 최종 수득된 나노구조가 구 형태이므로 높은 종횡비를 가지는 구조를 얻을 수 없어 실제 다양한 산업에로의 적용에 많은 제약이 따른다 (La,Y.H. *et al.*, *Nano Letters* 5, 1379:1378, 2005).
- <11> 한편, 본 발명자는 실리콘 웨이퍼에 유기단분자층을 이미지층으로 형성시키고, 극자외선 간섭 광식각공정을 적용하여 탑-다운 패턴을 형성하고, X-ray를 조사하여 화학적 표면패턴을 제작한 다음, 블록공중합체 박막을 형성한 후 블록공중합체의 자기조립을 이용하여, 상기 나노패턴에 따라 원하는 형태로 완벽히 조절된 블록공중합체 나노구조를 개발한 바 있다. 여기서 개발된 나노구조는 자기조립 물질을 결합이 전혀 없이 완벽히 제어한 최초의 연구결과라는 데 의의가 있다고 할 것이나, 상기 화학적 표면패턴의 주기가 블록공중합체의 주기와 일치할 때에만 가능하다는 단점이 있다 (Kim,S.O. *et al.*, *Nature* 424, 411, 2003).
- <12> 더 나아가, 본 발명자는 단순한 직선 패턴뿐만 아니라 다양한 비정형 패턴 상에서도 라멜라형 블록공중합체의 정렬이 가능함을 밝혀내었으나, 이 연구결과 역시 상기 다양한 패턴의 주기가 블록공중합체의 주기와 일치할 경우에만 구현될 수 있다는 점에서 여전히 기술상의 한계가 존재한다. 즉, 패턴의 주기와 블록공중합체의 주기를 일치시키기 위하여, 극자외선간섭 광식각공정을 도입하여 라멜라형의 블록공중합체와 주기가 일치하는 레지스트 패턴을 제작하고 X-ray 조사를 하여 패턴을 유기단분자층에 전사하는 과정을 거쳐야만 한다 (Kim,S.O. *et al.*, *Science* 308, 1442, 2005).

<13>

**발명의 내용**

**해결 하고자하는 과제**

<14> 이에, 본 발명자들은 상기 종래기술의 문제점을 개선하고자 예의 노력한 결과, 블록공중합체의 주기보다 큰 주기를 가지는 패턴으로 패턴화된 기판상에 블록공중합체 박막을 형성한 뒤 열처리한 결과, 패턴의 주기와 블록공중합체의 주기를 일치시키지 않고도 상기 기판상에 나노구조체를 제조할 수 있다는 것을 확인하고 본 발명을 완성하게 되었다.

<15> 본 발명의 목적은 블록공중합체의 나노구조와 일치하지 않는 형태의 표면패턴상에 형성되는 블록공중합체의 나노구조체 및 그 제조방법을 제공하는 데 있다.

**과제 해결수단**

<16> 상기 목적을 달성하고자, 본 발명은 (a) 기판에 중성층을 형성하는 단계; (b) 상기 중성층이 형성된 기판을 블록공중합체의 주기보다 큰 주기를 가지는 패턴으로 패턴화하는 단계; (c) 상기 패턴화된 기판에 블록공중합체 박막을 형성하는 단계; 및 (d) 상기 블록공중합체를 열처리하여 자기조립을 유도한 다음 나노구조체를 수득하는 단계를 포함하는 블록공중합체의 나노구조체를 제조하는 방법을 제공한다.

<17> 본 발명은 또한, 상기 방법으로 제조되며, 중성표면 및 선택적표면으로 구성된 패턴화된 기판상에 블록공중합체 박막을 포함하는 실린더(cylinder)형 나노구조체를 제공한다.

<18> 본 발명은 또한, 상기 방법으로 제조되며, 중성표면 및 선택적표면으로 구성된 패턴화된 기판상에 블록공중합체 박막을 포함하는 라멜라(lamella)형 나노구조체를 제공한다.

<19> 본 발명은 또한, 상기 방법으로 제조되며, 중성표면 및 선택적표면으로 구성된 패턴화된 기판상에 블록공중합체 박막을 포함하는 구(sphere)형 나노구조체를 제공한다.

<20> 본 발명은 또한, 상기 방법으로 제조되며, 중성표면 및 선택적표면으로 구성된 패턴화된 기판상에 블록공중합체 박막을 포함하는 자이로이드(gyroid)형 나노구조체를 제공한다.

**효과**

<21> 본 발명에 따르면, 패턴화된 기판상에서 블록공중합체의 나노구조체를 제조하되, 패턴의 주기를 블록공중합체의 주기와 일치시키는 과정을 거치지 않는 간소화된 공정으로 나노구조체를 제조할 수 있고, 블록공중합체의 각 블록의 상대적인 조성비 및 분율에 따라 또는 패턴의 주기에 따라 다양한 구조의 나노구조체를 구현할 수 있으며, 나노구조체의 정렬도를 임의로 제어할 수 있어, 나노와이어, 나노닷 어레이와 같은 나노스케일의 구조를 용이하게 제작할 수 있고, 다양한 용도로 실제 산업에 응용할 수 있다.

**발명의 실시를 위한 구체적인 내용**

<22> 본 발명은 일 관점에서, (a) 기판에 중성층을 형성하는 단계; (b) 상기 중성층이 형성된 기판을 블록공중합체의 주기보다 큰 주기를 가지는 패턴으로 패턴화하는 단계; (c) 상기 패턴화된 기판에 블록공중합체 박막을 형성하는 단계; 및 (d) 상기 블록공중합체를 열처리하여 자기조립을 유도한 다음 나노구조체를 수득하는 단계를 포함하는, 블록공중합체의 나노구조체를 제조하는 방법에 관한 것이다.

<23> 본 발명은 블록공중합체의 나노구조와 일치하지 않는 형태의 표면패턴상에 형성되는 블록공중합체의 나노구조체 및 그 제조방법에 관한 것으로, 본 발명에서 형태가 일치하지 않는다는 의미는 기판 표면패턴의 주기와 상기 표면패턴 상에 형성되는 블록공중합체의 주기가 일치하지 않는다는 것을 의미한다.

<24> 본 발명에서는 '패턴의 주기(L<sub>s</sub>)'는 예를 들어, 선(line) 형태의 패턴에 대해서는 가장 인접한 피크(peak)와 피크 사이의 거리를 의미하며 (도 2의 (a)), '블록공중합체의 주기(L<sub>0</sub>)'는 반복되는 구조사이의 거리를 가리키는 것으로서, 예를 들어, 실린더형 블록공중합체의 경우 실린더 중심사이의 거리가, ABABAB 형태의 판상을 이루는 라멜라형 블록공중합체의 경우 AB 레이어(layer)의 두께가 블록공중합체의 주기에 해당된다 (도 2의 (b)). 결국, 본 발명에서 주기란 주기적으로 반복되는 구조사이의 최인접 거리라 정의한다.

<25> 한편, 본 발명에서는 블록공중합체 나노구조체를 형성하기 위한 기판으로서 실리콘 기판을 사용하였으나, 블록공중합체의 자기조립 나노구조를 유도할 수 있는 기판이라면 제한없이 사용될 수 있다. 일 예로서, 전도성 산화물 및 비전도성 산화물을 포함하는 산화물 기판, 금속 기판 등이 사용될 수 있다.

<26> 일반적으로 블록공중합체 나노구조의 배향을 제어하기 위하여 널리 사용되는 수단 중 하나로서, 기질표면을 블록공중합체의 두 성분에 대한 화학적 선호도가 동일한 중성적인 표면을 만든 후, 상기 중성적인 표면상에 블록공중합체 나노구조를 형성하는 방법이 있다. 여기서, '중성적'이라는 용어는 블록공중합체를 구성하는 각 성분들이 기질표면에 대해 동일한 계면장력(surface tension)을 가진다는 것을 의미한다.

<27> 두 성분으로 구성된 블록공중합체의 각각의 성분들이 기질표면에 대해 서로 다른 계면장력을 가진다면, 계면장력이 작은 성분은 블록공중합체와 기질의 계면에 위치하여, 기질에 평행한 방향으로 배향된 나노구조를 형성하

게 된다. 그러나, 중성적인 표면에서는 상기 블록공중합체의 각각의 성분이 기질표면에 대해 동일한 계면장력을 가지므로, 어느 성분이 계면에 위치하더라도 계면에서의 화학적 에너지는 동일하게 된다. 이때, 나노구조의 배향을 결정하는 것은 기질표면에 의한 강성표면효과(hard surface effect)로서, 강성표면효과란 마이크로 상분리 효과에 의해 비등방적인 형태를 가지는 블록공중합체 사슬이 평평한 표면에 평행하게 배향되는 현상을 의미한다.

- <28> 본 발명에서는 중성적인 표면으로서 기판에 중성층을 형성하며, 상기 중성층을 이용하여 나노구조의 배향을 제어함으로써, 열역학적으로 안정한 나노구조체를 획득할 수 있는 효과를 기대할 수 있다. 특히, 상기 중성층에 의해 기판에 수직한 블록공중합체 나노구조를 구현할 수 있다.
- <29> 본 발명에 있어서, 상기 중성층은 유기단분자층인 것을 특징으로 할 수 있고, 상기 유기단분자층은 자기조립 단분자층(self-assembly monolayer) 또는 고분자 브러쉬층(polymer brush layer)인 것을 특징으로 할 수 있다.
- <30> 본 발명에 있어서, 상기 자기조립 단분자층은 페닐트리클로로실란(Phenethyltrichlorosilane: PETCS), 페닐트리클로로실란(Phenyltrichlorosilane: PTCS), 벤질트리클로로실란(Benzyltrichlorosilane: BZTCS), 토일트리클로로실란(Tolyltrichlorosilane: TTCS), 2-[(트리메톡시실일)에틸]-2-피리딘[2-((trimethoxysilyl)ethyl)-2-pyridine: PYRTMS], 4-바이페닐일트리메톡시실란(4-biphenyltrimethoxysilane: BPTMS), 옥타데실트리클로로실란(Octadecyltrichlorosilane: OTS), 1-나프틸트리메톡시실란(1-Naphthyltrimethoxysilane: NAPTMS), 1-((트리메톡시실일)메틸)나프탈렌[1-((trimethoxysilyl)methyl)naphthalene: MNATMS] 및 (9-메틸안트라세닐)트리메톡시실란((9-methylantraceny)trimethoxysilane: MANTMS)으로 구성된 군에서 선택되는 유기물질인 것을 특징으로 할 수 있다.
- <31> 본 발명에서는 기판을 클리닝 처리한 후 상기 유기물질의 용액에 담지함으로써, 기판에 자기조립 단분자층을 생성할 수 있으며, 생성된 자기조립 단분자층 상에 균일한 컨택앵글(contact angle) 또는 블록공중합체 박막을 올려놓음으로써, 자기조립 단분자층의 생성 유무를 확인할 수 있다.
- <32> 본 발명에 있어서, 상기 고분자 브러쉬층은 PS-r-PMMA{poly(styrene-ran-methylmethacrylate)} 브러쉬층인 것을 특징으로 할 수 있다.
- <33> 본 발명에서는 Conventional Free Radical Polymerization를 통해 상기 PS-r-PMMA 브러쉬를 합성하는 것이 바람직하다. 구체적으로는, 프리 라디칼 개시제(free radical initiator), 모노머(monomer) 및 CTA(chain transfer agent)를 혼합한 후, 벌크중합(bulk polymerization)을 통하여 고분자 브러쉬를 합성하고, 상기 고분자 브러쉬를 기판에서 열처리함으로써 기판상에 고분자 브러쉬층을 형성한다.
- <34> 본 발명에서 중성층으로서 고분자 브러쉬를 사용할 경우, 기판에 수직한 블록공중합체 나노구조체를 구현하기 위해 중요한, 기판의 표면에너지에 대한 제어가 가능하다.
- <35> 본 발명에 있어서, 상기 중성층이 형성된 기판의 패터닝은 탑-다운(top-down) 리소그래피에 의해 수행되는 것을 특징으로 할 수 있다.
- <36> 한편, 본 발명에서는 상기 탑-다운 리소그래피에 의해 형성된 패턴을 이용하여 고분자 박막의 에피택시얼 셀프 어셈블리를 유도하는 것을 그 주요원리로서 규정한다. 여기서, 에피택시얼 셀프 어셈블리란 대면적상에 원하는 형태로 완벽하게 정렬된 자기조립 나노구조를 구현하는 방법이다.
- <37> 중성층이 형성된 기판을 패터닝하기 위하여 우선, 탑-다운 방식의 차세대 리소그래피인 극자외선 간섭 리소그래피(extreme ultraviolet interference lithography) 또는 전자빔 리소그래피(e-beam lithography)를 사용하여 상기 기판상에 나노스케일의 미세한 패턴을 생성한다. 그후, 현상(development)공정 및 에칭(etching)에 의한 패턴 전사공정을 순차적으로 적용하여 상기 기판상에 화학적 표면 패턴을 형성함으로써, 상기 기판을 패터닝할 수 있다. 이때, 상기 에칭에 의한 패턴 전사공정은 현상공정 이후에 기판에 남아있는 레지스트(resist)로 인하여 에칭으로부터 보호된 부분이 화학적으로 변화하지 않는 원리를 이용한 것이다.
- <38> 여기서, 극자외선 간섭 리소그래피는 극자외선을 광원으로 이용하는 것을 특징으로 하며, 작은 NA(numerical aperture) 및 단과장을 사용함으로써 높은 해상도 및 큰 DOF(depth of focus)를 제공할 수 있다. 한편, 극자외선 영역의 빛은 공기를 포함한 대부분의 물질에 의해 흡수되게 되므로, 기존의 투과형 마스크와 투과형 optics를 사용해서는 관찰할 수 없고, 반사형의 마스크와 optics를 사용하여 관찰하여야 한다. 따라서, 상기 극자외선 간섭 리소그래피는, 광원에서 발생된 극자외선이 미러(mirror)를 거쳐 포집되고 정렬되어 마스크상의 패턴을 거친후, Projection optics를 통해 웨이퍼상에 축소투영되는 과정을 포함하는 기존의 리소그래피에 반사형 optics

와 마스크, 극자외선 광원, 레지스트 및 웨이퍼 스테이지(wafer stage)와 같은 구성요소들이 결합되어 구현될 수 있다.

- <39> 또한, 전자빔 리소그래피를 구현하기 위한 전자빔 리소그래피 장치는 포토마스크를 통하여 빛으로 포토레지스트(photoresist)와 같은 감광재료에 노광하는 광리소그래피 장치와는 달리, 음극에서 방출되는 전자빔을 수십kV로 가속하면서 자기장(magnetic field)를 이용하여 방출된 전자빔을 보다 잘 집속시켜서 별도의 마스크를 사용하지 않고 나노미터 크기의 패턴을 제작할 수 있는 장치이다.
- <40> 다음으로, 본 발명에 적용되는 현상공정은 일반적인 포토레지스트의 현상공정과 동일하다. 즉, 전자빔에 노출된 부분은 현상액에 잘 녹게되고 노출되지 않았던 부분은 남게되어 패턴을 형성하게 되며, 사용하는 레지스트에 따라 사용되는 현상액이 달라지는데, 본 발명에서는 특히 PMMA 레지스트 및 MIBK(methylisobutylketone)과 IPA(isopropyl alcohol)을 1:3의 부피비로 혼합한 현상액을 사용하는 것이 바람직하다.
- <41> 한편, 에칭에 의한 패턴 전사공정은 상술한 바와 같은 극자외선 간섭 리소그래피 또는 전자빔 리소그래피 기술에 의해 중성층이 형성된 기판에 생성된 포토레지스트 패턴을 형태의 변형 없이 기판에 전사하는 공정이다.
- <42> 본 발명에 있어서, 상술한 바와 같은 공정을 통하여 패턴화된 기판의 표면은 중성표면 및 선택적 표면으로 구성되는 것을 특징으로 할 수 있다.
- <43> 본 발명에서 중성표면이란, 상기 중성표면에 둘 이상의 물질들이 위치할 때 이 물질들에 대한 화학적 에너지 값이 균일한 표면을 의미하고, 선택적 표면이란, 상기 선택적 표면에 둘 이상의 물질들이 위치할 때 이 물질에 대한 화학적 에너지 값이 균일하지 않은 표면, 즉, 어느 하나의 물질에 대한 선호도가 높은 표면을 의미한다.
- <44> 본 발명에서는 자기조립 나노구조체를 유도하기 위하여 두 개의 고분자 사슬이 연결된 블록공중합체를 사용하는 것이 바람직하며, 이러한 형태의 블록공중합체는 두 고분자 사슬의 상대적인 조성비에 따라 다양한 나노구조의 형태를 나타낸다. 두 고분자 사슬(A 및 B) 중 하나(A)의 분율이  $0 < A \leq 0.23$ 일 때에는 B 블록 기질로 둘러싸인 체심입방격자(body centered cubic)의 구형(sphere)의 나노구조가 형성된다. 또한,  $0.23 < A \leq 0.35$ 일 때에는 상기 구형을 형성하는 나노도메인(nanodomain)이 육방격자(hexagonal lattice)로 실린더(cylinder)의 나노구조를 형성하며, A가 더욱 증가하여  $0.35 < A \leq 0.40$ 일 때에는 상기 실린더 형태가 둘씩 연속적으로 연결되는 자이로이드(gyroid)의 나노구조가 형성된다. 최종적으로  $A \approx 0.5$ 일 때에는 라멜라(lamellae)의 나노구조가 형성된다 (도 1).
- <45> 본 발명에 있어서, 상기 블록공중합체의 폴리스티렌:폴리스티렌 이외의 고분자의 조성비가 0.70~0.65:0.30~0.35 또는 0.30~0.35:0.70~0.65인 것을 특징으로 할 수 있고, 상기 블록공중합체의 폴리스티렌:폴리스티렌 이외의 고분자의 조성비가 0.5:0.5인 것을 특징으로 할 수 있으며, 상기 블록공중합체의 폴리스티렌:폴리스티렌 이외의 고분자의 조성비가 0.82~0.77:0.18~0.23 또는 0.18~0.23:0.82~0.77인 것을 특징으로 할 수 있고, 상기 블록공중합체의 폴리스티렌:폴리스티렌 이외의 고분자의 조성비가 0.65~0.60:0.35~0.40 또는 0.35~0.40:0.65~0.60인 것을 특징으로 할 수 있다.
- <46> 본 발명에서는 블록공중합체의 자기조립을 응용하여 나노구조체를 제조함으로써, 분자수준의 배열에 의해 패턴이 형성되므로 수 나노미터 이하의 매우 높은 패턴 정밀도를 가지고 나노구조가 열역학적으로 안정한 형태이므로 높은 중형비의 패턴제작이 가능하고, 또한, 나노구조의 형성이 전체적으로 동시에 병렬적으로 진행되므로 양산성이 뛰어나고 분자구조에 따라 3차원적인 나노구조의 제작을 기대할 수 있다.
- <47> 본 발명에 있어서, 상기 (c) 단계의 블록공중합체는 폴리스티렌(polystyrene)과 폴리스티렌 이외의 고분자가 공유결합한 형태의 블록공중합체인 것을 특징으로 할 수 있고, 상기 블록공중합체는 PS-b-PMMA{poly(styrene-b-methylmethacrylate)}, PS-b-PB{poly(styrene-b-butadiene)}, PS-b-PI{poly(styrene-b-isoprene)}, PS-b-PEP{poly(styrene-b-ethylene propylene)}, PS-b-PDMS{poly(styrene-b-dimethylsiloxane)}, PS-b-PE{poly(styrene-b-ethylene)}, PS-b-P4VP{poly(styrene-b-vinylpyridine)} 및 PS-b-PEO{poly(styrene-b-ethyleneoxide)}로 구성된 군에서 선택되는 것을 특징으로 할 수 있다.
- <48> 본 발명에 있어서, 상기 중성층이 자기조립 단분자층이고, 상기 기판상에 DI water 층을 형성시키는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- <49> 본 발명에서, 기판에 DI water 층을 형성시킨 다음 자기조립 단분자층을 형성하게 되면 균일하고 재현성 있는 자기조립 단분자층을 제조할 수 있는 장점이 있다.



- <50> 본 발명에 있어서, 패턴의 주기는 블록공중합체의 주기보다 큰 것을 특징으로 할 수 있고, 본 발명에 있어서, 상기 패턴의 형태는 선형 또는 비선형인 것을 특징으로 할 수 있다.
- <51> 본 발명에서 기관상에 형성되는 패턴의 주기가 블록공중합체의 주기보다 더 크다면 기관에 패턴을 제작하기가 더 용이해지고, 기관상에 원하는 위치에 원하는 구조를 형성시킬 수 있다.
- <52> 다른 관점에서, 본 발명은 상기 방법으로 제조되며, 중성표면 및 선택적표면으로 구성된 패턴화된 기관상에 블록공중합체 박막을 포함하는 실린더(cylinder)형 나노구조체에 관한 것이다.
- <53> 본 발명에 있어서, 상기 중성표면에서는 실린더형 블록공중합체가 기관에 수직하게 배향되고, 상기 선택적표면에서는 실린더형 블록공중합체가 기관에 평행하게 배향되는 것을 특징으로 할 수 있다.
- <54> 본 발명에서 중성표면은 중성층의 일부분이므로 상기 중성표면상에서는 실린더형 블록공중합체가 기관에 수직하게 배향되는 것이다.
- <55> 본 발명에 있어서, 상기 블록공중합체 박막의 두께가 감소할수록 실린더형 나노구조체의 정렬도가 향상되는 것을 특징으로 할 수 있다.
- <56> 본 발명에 따른 나노구조체의 제조시에 상기 블록공중합체 박막을 형성하기 위하여 블록공중합체 유기용액을 기관상에 스핀코팅하는 과정을 거친다. 상기 블록공중합체 박막의 두께는 상기 블록공중합체 유기용액의 농도 및 스핀코팅의 속도에 따라 조절이 가능하며, 구체적으로는, 상기 블록공중합체 유기용액의 농도가 증가할수록 형성되는 블록공중합체 박막의 두께도 증가하며, 상기 스핀코팅의 속도가 증가할수록 형성되는 블록공중합체 박막의 두께가 감소한다.
- <57> 또 다른 관점에서, 본 발명은 상기 방법으로 제조되며, 중성표면 및 선택적표면으로 구성된 패턴화된 기관상에 블록공중합체 박막을 포함하는 라멜라(lamella)형 나노구조체에 관한 것이다.
- <58> 본 발명에 있어서, 상기 중성표면에서는 라멜라형 블록공중합체가 기관에 평행하게 배향되고, 상기 선택적표면에서는 라멜라형 블록공중합체가 기관에 수직으로 배향되는 것을 특징으로 할 수 있다.
- <59> 본 발명에 있어서, 상기 블록공중합체 박막의 두께가 증가할수록 라멜라형 나노구조체의 정렬도가 향상되는 것을 특징으로 할 수 있고, 상기 중성표면의 너비가 감소할수록 라멜라형 나노구조체의 정렬도가 저하되는 것을 특징으로 할 수 있다.
- <60> 본 발명에 따른 나노구조체의 제조시에 중성표면 및 선택적표면으로 구성되는 패턴화된 기관을 형성하기 위하여 중성층이 형성된 기관에 에피택시얼 셀프 어셈블리를 적용하는 과정을 거친다. 상기 중성표면의 너비는 에피택시 과정 중 탑-다운 방식의 리소그래피에 의해 조절이 가능하다. 즉, 패턴을 형성하기 위한 리소그래피 과정에서 패턴 디자인에 따라 중성표면의 너비를 조절할 수 있다.
- <61> 본 발명에서는 패턴화된 기관상에 블록공중합체 박막을 형성함으로써 수득한 나노구조체의 구조를 다양화할 수 있고, 패턴화된 기관 표면의 성질, 즉 중성표면 및 선택적표면의 면적 및 상기 블록공중합체 박막의 두께를 조절하여 나노구조체의 정렬도를 조절할 수 있을 뿐만 아니라, 블록공중합체의 주기와 일치하지 않는 패턴으로 패턴화된 기관상에서 블록공중합체 나노구조체의 제조를 실현함으로써 보다 간소화된 공정으로 다양한 구조를 가지는 나노구조체를 제공할 수 있다.
- <62> 이하, 도면을 참조하여 본 발명을 상세히 설명한다.
- <63> 도 3 및 도 4는 중성표면 및 선택적 표면으로 구성되는 패턴으로 패턴화된 기관상에 형성된 블록공중합체 박막 형태의 실제 실험결과 및 SCF(self-consistent field) calculation을 실시하여 시뮬레이션(simulation)한 결과를 나타낸 것으로, PS 블록과 PMMA 블록을 포함하는 이종블록공중합체가 중성표면 및 선택적 표면으로 구성되는 화학적 표면 패턴상에서 형성하는 구조를 나타낸다 (PS 블록의 분율 : 0.3, N; 블록공중합체 체인의 길이,  $\chi$  = PS와 PMMA사이의 Flory-Huggins parameter = 18.3). 여기서,  $L_s$ 는 패턴의 주기이고,  $L_0$ 는 블록공중합체의 주기이며, D는 블록공중합체 박막의 두께이며, 선택적 표면의 넓이는  $0.5L_0$ 이고, 한 성분을 선호하는 선택적 표면의 특성으로 인하여, 상기 선택적 표면에는 PMMA 블록이 먼저 위치하게 된다. SCF 이론은 제한된 구조나 나노 패턴화된 표면에서 벌크상태의 블록공중합체의 자기조직을 설명하는데 이용되며, 특히, 박막에서의 3차원적인 구조를 분석하는데 유용하다.
- <64> 도 3의 (a) 및 도 4의 (a)는 각각  $L_s=L_0=45\text{nm}$  및  $D=40\text{nm}$ 일 때 기관에 형성된 블록공중합체 박막 구조의 실제 실험

험결과 및 SCF 시뮬레이션 결과를 나타낸 것으로, 서로 마주보는 두 층의 표면에 평행하게 정렬된 선(line)이 형성되어 있음을 확인할 수 있다.

- <65> 도 3의 (b) 및 도 4의 (b')와 (b'')는 각각 중성표면의 너비율 도 3의 (a)보다 증가시켜  $L_s=2.3L_0$  및  $D=40\text{nm}$ 일 때 기판에 형성된 블록공중합체 박막 구조의 실제 실험결과 및 SCF 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다.
- <66> 도 4의 (b')에서는 서로 마주보는 두 층의 표면에 평행하게 정렬된 반실린더(half-cylinder)가 형성되어 있는데, 하층의 반실린더는 중성표면과 선택적 표면에 교대로 위치하고 있음을 확인할 수 있다.
- <67> 도 4의 (b'')에서는 중성표면에 수직한 실린더 및 선택적 표면에 평행한 반실린더의 두 가지 형태가 혼합되어 있으며, 도 4의 (a) 및 도 4의 (b')와는 달리 상층의 평행한 반실린더는 하층의 평행한 반실린더 바로 위에 위치해 있으며, 상기 평행한 반실린더들은 x축 방향으로 서로 압축력을 가하므로, x축 방향에 따라 형성된 수직한 실린더의 기폭과 평행한 반실린더들의 형태의 변형이 있음을 확인할 수 있다. 이때, 블록공중합체 박막의 표면을 통해 관찰하면, 상기 상층의 평행한 반실린더 및 수직한 실린더는 각각 선(line) 및 닷(dot)으로 나타난다.
- <68> 한편, z축 방향을 따라 셀 사이즈 계산에 관련된 시스템의 자유에너지를 최소화시키는 것은 같은 열에 있는 이웃한 수직 실린더들의 사이가  $L_0$ 보다 작다는 것을 나타낸다. 결국, 도 4의 (b') 및 도 4의 (b'')에서 보여지는 시뮬레이션 결과는 상기 두 가지 형태의 블록공중합체 박막의 3차원 구조가 동일한 자유에너지(체인당 자유에너지 차이는  $0.03 k_B T$ ,  $k_B$ 는 Boltzmann 상수, T는 절대온도)를 가지고 있다는 것을 나타낸다. 즉, 도 4의 (b') 및 (b'')는 거의 동일한 자유에너지를 갖는 구조이기 때문에, 에너지 측면에서 좀 더 안정한 구조만 나타나는 것이 아니라, 도 4의 (b') 및 (b'')와 같은 구조가 동시에 나타날 수 있고, 그로 인해 실제 실험결과 도 4의 (b)와 같은 혼재된 구조를 나타내게 된다.
- <69> 도 3의 (c) 및 도 4의 (c)는 각각  $L_s=2.3L_0$  및  $D=20\text{nm}$ 일 때 기판에 형성된 블록공중합체 박막 구조의 실제 실험결과 및 SCF 시뮬레이션 결과를 나타낸 것으로, 하층에만 평행한 반실린더가 형성되어 있고, 상기 평행한 반실린더와 수직한 실린더가 교대로 형성되어 있음을 확인할 수 있다.
- <70> 실험적 결과는 구체적으로, 첫째, 도 3의 (c)에서 나타난 바와 같이, 닷 어레이(dot array) 지역 사이의 검은 줄 부분이 상기 하층의 반실린더가 존재하는 지역이라는 것을 나타낸다. 둘째, 더욱 박막의 두께가 감소하면 닷 어레이 나노구조가 형성된다는 것을 나타낸다.
- <71> 도 4의 (c)에서는 도 4의 (b'')에 비해 얇아진 박막 두께(D)로 인하여 더 높은 자유에너지를 가지게 되어, 그 결과 하층의 평행한 반실린더가 y축 방향을 따라 늘어나게 된다. 이에 따른 자유에너지 페널티(penalty)를 중성표면에 수직한 실린더를 형성시켜 경감시킴으로써, 에너지적으로 안정한 구조인 도 4의 (c)와 같은 구조를 나타내게 된다.
- <72> 도 3의 (b) 및 (c)와 도 4의 (b'), (b'') 및 (c)는 기판 상에 형성된 패턴의 주기와 블록공중합체의 주기가 일치할 경우에는 기대할 수 없는 나노구조체의 구조로서, 패턴의 주기와 블록공중합체의 주기를 일치시킬 필요가 없는 바, 이는 기판 상에 원하는 위치에 원하는 구조를 형성시킬 수 있다는 것을 의미한다. 즉, 기판 표면의 패턴의 위치에 따라 나노구조체를 형성시킬 수 있다.
- <73> 한편, 도 3의 (c)에서 검정 원형 부분은 블록공중합체 박막의 PMMA 블록으로 wet etching 공정에 의해 선택적으로 제거가 가능하며, 이러한 제거 과정을 거쳐 상기 PMMA 블록이 제거되어 구멍이 형성된 블록공중합체 박막은 템플릿(template) 역할을 한다. 따라서, 상기 구멍 사이로 금속 또는 다른 물질을 증착시키거나, 또는 상기 구멍을 통하여 기판을 에칭할 수 있으며, 예를 들어, 상기 블록공중합체의 구멍을 통해 금속을 증착시켜 일렬로 정렬된 나노와이어를 제조하거나, 금속을 증착시켜 plasmonic waveguide의 기능을 가지는 나노닷 어레이를 제조하는 등과 같이 다양한 나노스케일의 구조를 제작할 수 있다.
- <74> 상술한 바와 같은 SCF 시뮬레이션은 실험적인 결과와 일치하므로, 블록공중합체 박막에서의 세밀한 3차원 구조를 제공할 수 있다.

### 실시예

- <75> 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 상세히 설명하고자 한다. 이들 실시예는 오로지 본 발명을 예시하기 위한 것으로, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의해 제한되는 것으로 해석되지 않는 것은 당업계에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 자명할 것이다.

- <76> 실시예 1: 블록공중합체의 주기와 일치하지 않는 주기를 가지는 표면패턴상에서 블록공중합체의 자기조립을 이용한 실린더형 나노구조체의 제조
- <77> Si 기판을 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)과 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)를 7:3의 비율로 혼합한 용액에 넣어 110℃에서 30분 동안 클리닝(cleaning) 처리한 후, DI water로 세척하고 건조시킨 다음, DI water로 스핀코팅(spincoating)하여 DI water층을 형성하였다. PETS(phenylethyltrichlorosilane)을 톨루엔에 용해시켜 제조한 0.1 vol% PETS(phenylethyltrichlorosilane) 용액에 상기 DI water층이 형성된 Si 기판을 담그고, 약 1시간 후 Si 기판을 꺼낸 다음, 톨루엔 및 에탄올로 순차적으로 세척하여 자기조립 단분자층을 형성하였다.
- <78> 상기 자기조립 단분자층에 극자외선 리소그래피를 적용하여 100nm의 주기(L<sub>s</sub>)를 가지는 포토-레지스트(photo-resist) 패턴을 형성하고, X-ray 조사를 통해 photo-resist 패턴을 자기조립 단분자층에 전사한 다음, 기판에 남아있는 photo-resist를 씻어주어, 자기조립 단분자층이 형성된 Si 기판을 패턴화하였다.
- <79> 그 후, 상기 패턴화된 Si 기판에 주기(L<sub>o</sub>)가 45nm인 PS-b-PMMA(polystyrene-block-methylmethacrylate)를 톨루엔(toluene)에 용해시켜 제조한 1~1.5wt% 농도의 PS-b-PMMA 용액을 2000~5000rpm의 속도로 스핀코팅하고 진공오븐상에서 190℃의 온도로 3일간 열처리하여 PS-b-PMMA의 자기조립을 유도함으로써 PS-b-PMMA 나노구조체를 수득하였다. 사용된 블록공중합체인 PS-b-PMMA의 각 블록의 분자량은 각각 PS = 46100 및 PMMA = 21000이며 PMMA의 분율은 약 0.3이다.
- <80> 최종적으로 수득한 PS-b-PMMA 나노구조체를 SEM(scanning electron microscope)로 관찰한 결과, 상기 나노구조체는 실린더형의 구조를 가지는 실린더형 나노구조체임을 확인할 수 있었다 (도 5 및 도 6).
- <81> 실시예 2: 박막 두께에 따른 실린더형 나노구조체의 정렬도
- <82> Si 기판을 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)과 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)를 7:3의 비율로 혼합한 용액에 넣어 110℃에서 30분 동안 클리닝(cleaning) 처리한 후, DI water로 세척하고 건조시킨 다음, DI water로 스핀코팅(spincoating)하여 DI water층을 형성하였다. PETS(phenylethyltrichlorosilane)을 톨루엔에 용해시켜 제조한 0.1 vol% PETS(phenylethyltrichlorosilane) 용액에 상기 DI water층이 형성된 Si 기판을 담그고, 약 1시간 후 Si 기판을 꺼낸 다음, 톨루엔 및 에탄올로 순차적으로 세척하여 자기조립 단분자층을 형성하였다.
- <83> 상기 자기조립 단분자층에 극자외선 리소그래피를 적용하여 100nm의 주기(L<sub>s</sub>)를 가지는 포토-레지스트(photo-resist) 패턴을 형성하고, X-ray 조사를 통해 photo-resist 패턴을 자기조립 단분자층에 전사한 다음, 기판에 남아있는 photo-resist를 씻어주어, 자기조립 단분자층이 형성된 Si 기판을 패턴화하였다.
- <84> 그 후, 상기 패턴화된 Si 기판에 주기(L<sub>o</sub>)가 45nm인 PS-b-PMMA(polystyrene-block-methylmethacrylate)를 톨루엔(toluene)에 용해시켜 농도를 1~1.5의 범위에서 변화시켜 PS-b-PMMA 용액을 제조한 다음, 상기 패턴화된 Si 기판을 각각 상기 PS-b-PMMA 용액을 이용하여 2000~5000rpm의 속도로 스핀코팅하고 진공오븐상에서 190℃의 온도로 3일간 열처리하여 PS-b-PMMA의 자기조립을 유도함으로써 PS-b-PMMA 나노구조체를 수득하였다. 사용된 블록공중합체인 PS-b-PMMA의 각 블록의 분자량은 각각 PS = 46100 및 PMMA = 21000이며 PMMA의 분율은 0.3이다.
- <85> SEM으로 관찰한 결과, 최종적으로 실린더형 나노구조체를 수득할 수 있었고, PS-b-PMMA 용액의 농도에 따라 형성되는 PS-b-PMMA 박막의 두께가 달라졌으며, 구체적으로는, 상기 PS-b-PMMA 용액의 농도가 증가할수록 형성되는 PS-b-PMMA 박막의 두께도 증가하였다.
- <86> 또한, PS-b-PMMA 박막의 두께에 따라 상기 실린더형 나노구조체의 정렬도가 달라지는 것으로 나타났다.
- <87> 결국, 패턴화된 기판에 상기 패턴의 주기와 일치하지 않는 주기를 가지는 블록공중합체의 자기조립을 이용한 실린더형 나노구조체에서, 상기 기판상에 형성된 블록공중합체 박막의 두께가 감소할수록 상기 실린더형 나노구조체의 정렬도는 향상된다는 것을 알 수 있었다.
- <88> 실시예 3: 블록공중합체의 주기와 일치하지 않는 주기를 가지는 표면패턴상에서 블록공중합체의 자기조립을 이용한 라멜라형 나노구조체의 제조
- <89> Free radical initiator로서 2,2'-Azobis[2-methyl-N-(2-hydroxyethyl)-propionamide], monomer로서 styrene과 methyl methacrylate, 및 chain transfer agent(CTA)로서 2,4-diphenyl-4-methyl-1-pentene를 혼합하여 70℃에서 벌크중합(bulk polymerization)한 후, DI water로 세척하여 미반응 2,2'-Azobis[2-methyl-N-(2-hydroxyethyl)-propionamide]를 제거하고, 최종 반응물은 메탄올에 담그어 침전시킨 다음 건조시킴으로써, PS-

r-PMMA(polystyrene-random-methylmethacrylate) 브러쉬를 합성하였다.

- <90> Si 기판을 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)과 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)를 7:3의 비율로 혼합한 용액에 넣어 110℃에서 30분 동안 클리닝(cleaning) 처리한 후, DI water로 세척하고 건조시켰다. 상기에 합성된 PS-r-PMMA 브러쉬를 톨루엔에 용해시켜 제조한 2.5wt%의 PS-r-PMMA 브러쉬 용액을 상기 Si 기판에 스핀코팅한 후, 110℃에서 1분 동안 pre-baking하고, 진공오븐상에서 160℃의 온도로 3일간 열처리한 다음, 상기 Si 기판을 톨루엔으로 세척하여 최종적으로 5~6nm 두께의 PS-r-PMMA 브러쉬층을 형성하였다.
- <91> 상기 PS-r-PMMA 브러쉬층에 전자빔 리소그래피를 적용하여 100nm의 주기(L<sub>s</sub>)를 가지는 photo-resist 패턴을 형성하고, O<sub>2</sub> 플라즈마의 조사를 통해 photo-resist 패턴을 PS-r-PMMA 브러쉬층에 전사한 다음, 기판에 남아있는 photo-resist를 씻어주어, 상기 PS-r-PMMA 브러쉬층이 형성된 Si 기판을 패턴화하였다.
- <92> 그 후, 상기 패턴화된 Si 기판에 주기(L<sub>0</sub>)가 45nm인 PS-b-PMMA(polystyrene-block-methylmethacrylate)를 톨루엔(toluene)에 용해시켜 제조한 1~3wt% 농도의 PS-b-PMMA 용액을 2000~5000rpm의 속도로 스핀코팅하고 진공오븐상에서 190℃의 온도로 3일간 열처리하여 PS-b-PMMA의 자기조립을 유도함으로써 PS-b-PMMA 나노구조체를 수득하였다. 사용된 블록공중합체인 PS-b-PMMA의 각 블록의 분자량은 각각 PS = 52000 및 PMMA = 52000이며 PMMA의 분율은 약 0.5이다.
- <93> 최종적으로 수득한 PS-b-PMMA 나노구조체를 SEM(scanning electron microscope)로 관찰한 결과, 상기 나노구조체는 라멜라형의 구조를 가지는 라멜라형 나노구조체임을 확인할 수 있었다 (도 7).
- <94> 실시예 4: 박막 두께에 따른 라멜라형 나노구조체의 정렬도
- <95> Free radical initiator로서 2,2' -Azobis[2-methyl-N-(2-hydroxyethyl)-propionamide], monomer로서 styrene 과 methyl methacrylate, 및 chain transfer agent(CTA)로서 2,4-diphenyl-4-methyl-1-pentene를 혼합하여 70℃에서 벌크중합(bulk polymerization)한 후, DI water로 세척하여 미반응 2,2' -Azobis[2-methyl-N-(2-hydroxyethyl)-propionamide]를 제거하고, 최종 반응물은 메탄올에 담그어 침전시킨 다음 건조시킴으로써, 고분자 브러쉬를 합성하였다.
- <96> 3개의 Si 기판을 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)과 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)를 7:3의 비율로 혼합한 용액에 넣어 110℃에서 30분 동안 클리닝(cleaning) 처리한 후, DI water로 세척하고 건조시켰다. 상기에 합성된 PS-r-PMMA 브러쉬를 톨루엔에 용해시켜 제조한 2.5wt%의 PS-r-PMMA 브러쉬 용액을 상기 Si 기판에 스핀코팅한 후, 110℃에서 1분 동안 pre-baking하고, 진공오븐상에서 160℃의 온도로 3일간 열처리한 다음, 상기 Si 기판을 톨루엔으로 세척하여 최종적으로 5~6nm 두께의 PS-r-PMMA 브러쉬층을 형성하였다.
- <97> 상기 PS-r-PMMA 브러쉬층에 전자빔 리소그래피를 적용하여 300nm의 주기(L<sub>s</sub>)를 가지는 photo-resist 패턴을 형성하고, O<sub>2</sub> 플라즈마의 조사를 통해 photo-resist 패턴을 PS-r-PMMA 브러쉬층에 전사한 다음, 기판에 남아있는 photo-resist를 씻어주어, 상기 PS-r-PMMA 브러쉬층이 형성된 Si 기판을 패턴화하였다.
- <98> 그 후, 상기 3개의 패턴화된 Si 기판에 주기(L<sub>0</sub>)가 45nm인 PS-b-PMMA(polystyrene-block-methylmethacrylate)를 톨루엔(toluene)에 용해시켜 제조한 1~3wt% 농도의 PS-b-PMMA 용액을 각각 2000~5000rpm의 속도로 스핀코팅하고 진공오븐상에서 190℃의 온도로 3일간 열처리하여 PS-b-PMMA의 자기조립을 유도함으로써 PS-b-PMMA 나노구조체를 수득하였다. 사용된 블록공중합체인 PS-b-PMMA의 각 블록의 분자량은 각각 PS = 52000 및 PMMA = 52000이며 PMMA의 분율은 약 0.5이다.
- <99> SEM으로 관찰한 결과, 최종적으로 라멜라형 나노구조체를 수득할 수 있었고, 스핀코팅의 속도에 따라 형성되는 PS-b-PMMA 박막의 두께가 달라졌다. 즉, 스핀코팅의 속도가 증가할수록 형성되는 PS-b-PMMA 박막의 두께가 감소하였다.
- <100> 또한, SEM으로 관찰한 결과, PS-b-PMMA 박막의 두께에 따라 나노구조체의 정렬도가 달라지는 것으로 나타났다 (도 8).
- <101> 결국, 패턴화된 기판에 상기 패턴의 주기와 일치하지 않는 주기를 가지는 블록공중합체의 자기조립을 이용한 라멜라형 나노구조체에서, 상기 기판상에 형성된 블록공중합체 박막의 두께가 증가할수록 상기 라멜라형 나노구조체의 정렬도도 향상된다는 것을 알 수 있었다.

- <102> 실시예 5: 중성표면 너비(width)에 따른 라멜라형 나노구조체의 정렬도
- <103> Free radical initiator로서 2,2'-Azobis[2-methyl-N-(2-hydroxyethyl)-propionamide], monomer로서 styrene 과 methyl methacrylate, 및 chain transfer agent(CTA)로서 2,4-diphenyl-4-methyl-1-pentene를 혼합하여 70 °C에서 벌크중합(bulk polymerization)한 후, DI water로 세척하여 미반응 2,2'-Azobis[2-methyl-N-(2-hydroxyethyl)-propionamide]를 제거하고, 최종 반응물은 메탄올에 담그어 침전시킨 다음 건조시킴으로써, 고분자 브러쉬를 합성하였다.
- <104> 3개의 Si 기판을 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)과 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)를 7:3의 비율로 혼합한 용액에 넣어 110°C에서 30분 동안 클리닝(cleaning) 처리한 후, DI water로 세척하고 건조시켰다. 상기에 합성된 PS-r-PMMA 브러쉬를 톨루엔에 용해시켜 제조한 2.5wt%의 PS-r-PMMA 브러쉬 용액을 상기 Si 기판에 스핀코팅한 후, 110°C에서 1분 동안 pre-baking하고, 진공오븐상에서 160°C의 온도로 3일간 열처리한 다음, 상기 Si 기판을 톨루엔으로 세척하여 최종적으로 5~6nm 두께의 PS-r-PMMA 브러쉬층을 형성하였다.
- <105> 상기 PS-r-PMMA 브러쉬층에 전자빔 리소그래피를 적용하여 중성인 지역의 너비(width)를 다르게 하기 위한 패턴 디자인에 따라 약 300~400nm의 주기(L<sub>s</sub>)를 가지는 photo-resist 패턴을 형성하고, O<sub>2</sub> 플라즈마의 조사를 통해 photo-resist 패턴을 PS-r-PMMA 브러쉬층에 전사한 다음, 기판에 남아있는 photo-resist를 씻어주어, 상기 PS-r-PMMA 브러쉬층이 형성된 Si 기판을 패턴화하였다. 이때, SEM으로 확인한 결과, 상기 3개의 패턴화된 Si 기판은 중성표면과 선택적표면으로 구성되는 것을 확인할 수 있고, 각각의 기판의 중성표면의 너비는 모두 다른 것으로 나타났다.
- <106> 그 후, 상기 3개의 패턴화된 Si 기판에 주기(L<sub>o</sub>)가 48nm인 PS-b-PMMA(polystyrene-block-methylmethacrylate)를 톨루엔(toluene)에 용해시켜 제조한 3wt% 농도의 PS-b-PMMA 용액을 각각 2000rpm, 3000rpm 및 4000rpm의 속도로 스핀코팅하고 진공오븐상에서 190°C의 온도로 3일간 열처리하여 PS-b-PMMA의 자기조립을 유도함으로써 PS-b-PMMA 라멜라형 나노구조체를 수득하였다. 사용된 블록공중합체인 PS-b-PMMA의 각 블록의 분자량은 각각 PS = 52000 및 PMMA = 52000이며 PMMA의 분율은 약 0.5이다.
- <107> SEM으로 관찰한 결과, 최종 수득된 PS-b-PMMA 라멜라형 나노구조체에서, 상기 패턴화된 기판의 중성표면에서는 기판에 수직하게 배향된 라멜라가 기판의 선 패턴의 장축방향에 수직하게, 즉, 단축방향의 배열을 나타내며, 이러한 라멜라의 배열은 중성표면의 너비와 관련이 있음을 확인할 수 있었다(도 9).
- <108> 결국, 라멜라형 나노구조체의 중성표면과 선택적표면으로 구성된 기판에서 중성표면의 너비가 감소할수록 라멜라의 정렬도가 저하된다는 것을 알 수 있었다.
- <109> 실시예 6: 다양한 형태로 패턴화된 기판상에서 라멜라형 나노구조체의 제조
- <110> Free radical initiator로서 2,2'-Azobis[2-methyl-N-(2-hydroxyethyl)-propionamide], monomer로서 styrene 과 methyl methacrylate, 및 chain transfer agent(CTA)로서 2,4-diphenyl-4-methyl-1-pentene를 혼합하여 70 °C에서 벌크중합(bulk polymerization)한 후, DI water로 세척하여 미반응 2,2'-Azobis[2-methyl-N-(2-hydroxyethyl)-propionamide]를 제거하고, 최종 반응물은 메탄올에 담그어 침전시킨 다음 건조시킴으로써, 고분자 브러쉬를 합성하였다.
- <111> 3개의 Si 기판을 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)과 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)를 7:3의 비율로 혼합한 용액에 넣어 110°C에서 30분 동안 클리닝(cleaning) 처리한 후, DI water로 세척하고 건조시켰다. 상기에 합성된 PS-r-PMMA 브러쉬를 톨루엔에 용해시켜 제조한 2.5wt%의 PS-r-PMMA 브러쉬 용액을 상기 Si 기판에 스핀코팅한 후, 110°C에서 1분 동안 pre-baking하고, 진공오븐상에서 160°C의 온도로 3일간 열처리한 다음, 상기 Si 기판을 톨루엔으로 세척하여 최종적으로 5~6nm 두께의 PS-r-PMMA 브러쉬층을 형성하였다.
- <112> 상기 PS-r-PMMA 브러쉬층에 전자빔 리소그래피를 적용하여 중성인 지역의 모양(shape)이 굴곡(curvature)을 갖도록 하기 위한 패턴디자인에 따라 약 500nm의 주기(L<sub>s</sub>)를 가지는 photo-resist 패턴을 형성하고, O<sub>2</sub> 플라즈마의 조사를 통해 photo-resist 패턴을 PS-r-PMMA 브러쉬층에 전사한 다음, 기판에 남아있는 photo-resist를 씻어주어, 상기 PS-r-PMMA 브러쉬층이 형성된 Si 기판을 패턴화하였다. 이때, SEM으로 확인한 결과, 상기 패턴화된 Si 기판은 중성표면과 선택적표면으로 구성되는 것을 확인할 수 있고, 표면패턴모양의 굴곡을 따라 중성표면의 위에서 라멜라가 정렬됨을 알 수가 있었다(도 10).
- <113> 실험예 1: 블록공중합체 주기와 일치하는 주기를 가지는 패턴으로 패턴화된 기판상에서 실린더형 나노구조체 제조

조

- <114> Si 기판을 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)과 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)를 7:3의 비율로 혼합한 용액에 넣어 110℃에서 30분 동안 클리닝(cleaning) 처리한 후, DI water로 세척하고 건조시킨 다음, DI water로 스핀코팅(spincoating)하여 DI water층을 형성하였다. PETS(phenylethyltrichlorosilane)을 톨루엔에 용해시켜 제조한 0.1 vol% PETS(phenylethyltrichlorosilane) 용액에 상기 DI water층이 형성된 Si 기판을 담그고, 약 1시간 후 Si 기판을 꺼낸 다음, 톨루엔 및 에탄올로 순차적으로 세척하여 자기조립 단분자층을 형성하였다.
- <115> 상기 자기조립 단분자층에 극자외선 리소그래피를 적용하여 45nm의 주기(Ls)를 가지는 포토-레지스트(photo-resist) 패턴을 형성하고, X-ray 조사를 통해 photo-resist 패턴을 자기조립 단분자층에 전사한 다음, 기판에 남아있는 photo-resist를 씻어주어, 자기조립 단분자층이 형성된 Si 기판을 패턴화하였다.
- <116> 그 후, 상기 패턴화된 Si 기판에 주기(L<sub>o</sub>)가 45nm인 PS-b-PMMA(polystyrene-block-methylmethacrylate)를 톨루엔(toluene)에 용해시켜 제조한 1~1.5wt% 농도의 PS-b-PMMA 용액을 2000~5000rpm의 속도로 스핀코팅하고 진공 오븐상에서 190℃의 온도로 3일간 열처리하여 PS-b-PMMA의 자기조립을 유도함으로써 PS-b-PMMA 나노구조체를 수득하였다. 사용된 블록공중합체인 PS-b-PMMA의 각 블록의 분자량은 각각 PS = 46100 및 PMMA = 21000이며 PMMA의 분율은 약 0.3이다.
- <117> 최종적으로 수득한 PS-b-PMMA 나노구조체를 SEM(scanning electron microscope)로 관찰한 결과, 상기 나노구조체는 기판과 평행한 실린더형의 구조를 가지는 실린더형 나노구조체임을 확인할 수 있었다 (도 11).
- <118> 비교예 1: 블록공중합체의 주기와 일치하는 패턴 및 일치하지 않는 패턴으로 패턴화된 기판상에 형성된 실린더형 나노구조체의 비교
- <119> 표 1에 나타난 바와 같이, 실시예 1 및 실험예 1에서 각각 제조된 블록공중합체와 기판패턴의 주기가 일치하지 않을 경우에 형성되는 실린더형 나노구조체 및 블록공중합체와 기판패턴의 주기가 일치할 경우에 형성되는 실린더형 나노구조체를 비교하자면, 실시예 1에서 제조된 실린더형 나노구조체는 기판에 평행한 실린더와 수직인 실린더가 교대로 형성된 구조를 나타내고, 실험예 1에서 제조된 실린더형 나노구조체는 기판에 평행한 나노구조체만 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 실시예 1에서 제조된 실린더형 나노구조체에서 기판에 수직인 실린더는 기판 패턴 중 중성표면에서 형성되는데, 중성표면의 위치를 조정하여 기판에 수직인 실린더의 위치를 조정함으로써, 나노구조체의 구조를 제어할 수 있다.

**표 1**

<120>	L <sub>s</sub>	L <sub>o</sub>	D	실린더형 나노구조체의 형태
실시예 1	100nm	45nm	40nm	기판에 평행한 형태 및 기판에 수직인 형태가 교대로 형성된 형태
실험예 1	45nm	45nm	40nm	기판에 평행한 형태

<121> 이상으로 본 발명 내용의 특정한 부분을 상세히 기술하였는 바, 당업계의 통상의 지식을 가진 자에게 있어서, 이러한 구체적 기술은 단지 바람직한 실시양태일 뿐이며, 이에 의해 본 발명의 범위가 제한되는 것이 아닌 점은 명백할 것이다. 따라서, 본 발명의 실질적인 범위는 첨부된 청구항들과 그것들의 등가물에 의하여 정의된다고 할 것이다.

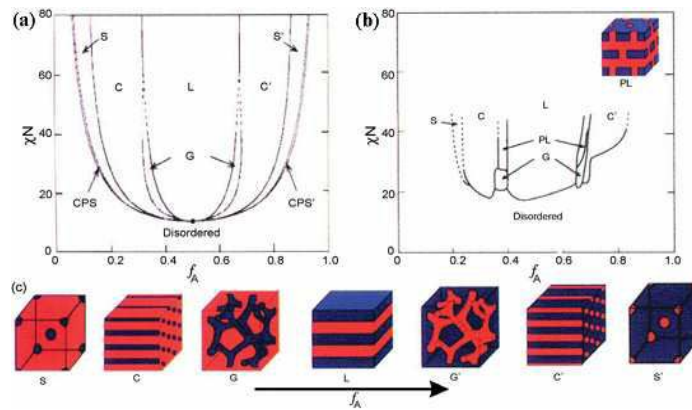
**도면의 간단한 설명**

- <122> 도 1은 블록공중합체 각 블록의 상대적인 조성비에 따라 형성되는 다양한 형태의 블록공중합체 나노구조를 나타낸 것이다.
- <123> 도 2는 본 발명에서 사용된 용어, '패턴의 주기' 및 '블록공중합체의 주기'를 나타내는 도식도이다.
- <124> 도 3은 도 3은 중성표면과 선택적표면으로 구성되는 패턴이 형성된 기판상에서 제조한 블록공중합체 박막의 구조를 SEM으로 관찰한 것이다.
- <125> 도 4는 중성표면과 선택적표면으로 구성되는 패턴이 형성된 기판상에서 제조한 블록공중합체 박막의 구조를 SCF(self-consistent field) calculation으로 분석한 것이다.

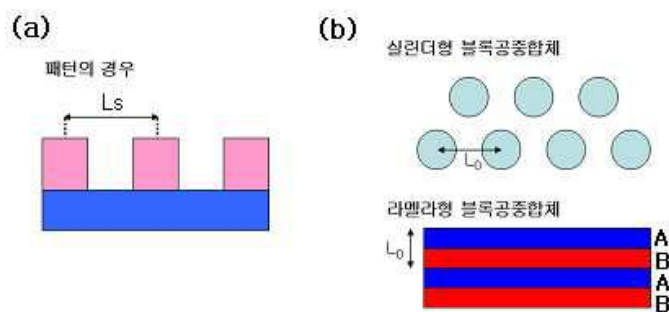
- <126> 도 5는 본 발명의 방법에 따라 제조된 실린더형 나노구조체의 구조를 SEM으로 관찰한 평면도이다.
- <127> 도 6은 본 발명의 방법에 따라 제조된 실린더형 나노구조체의 구조를 SEM으로 관찰한 단면도이다.
- <128> 도 7은 본 발명의 방법에 따라 제조된 라멜라형 나노구조체의 구조를 SEM으로 관찰한 평면도이다.
- <129> 도 8은 본 발명의 방법에 따라 제조된 라멜라형 나노구조체에서 블록공중합체 박막의 두께에 따른 정렬도 변화를 나타낸 것이다.
- <130> 도 9는 본 발명의 방법에 따라 제조된 라멜라형 나노구조체에서 중성표면의 너비에 따른 정렬도 변화를 나타낸 것이다.
- <131> 도 10은 비선형 모양의 표면 패턴이 형성된 기판에서 제조된 라멜라형 나노구조체의 구조를 SEM으로 관찰한 평면도이다.
- <132> 도 11은 기판 표면 패턴의 주기와 블록공중합체 주기가 일치할 때 상기 기판상에 형성된 실린더형 블록공중합체를 나타낸 것이다.

**도면**

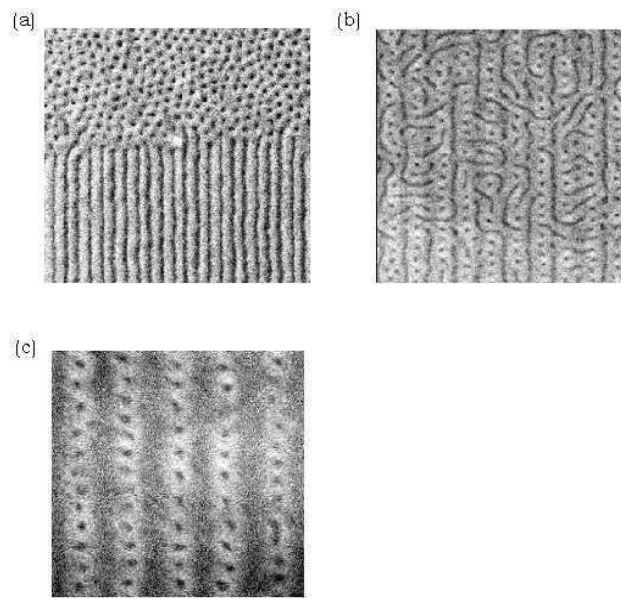
**도면1**



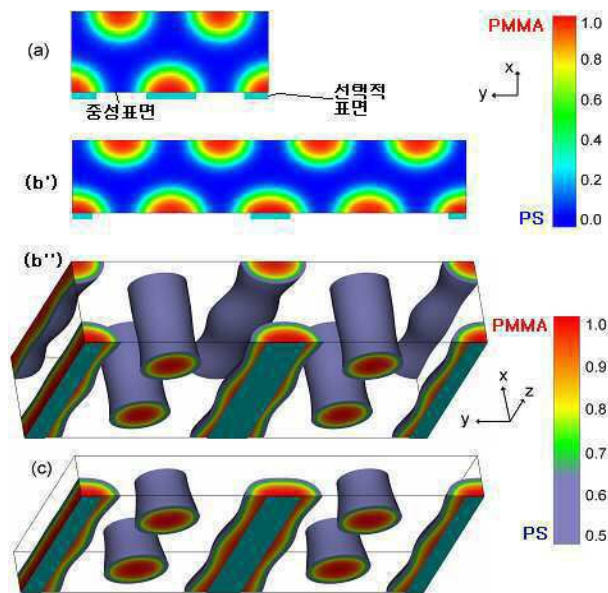
**도면2**



도면3

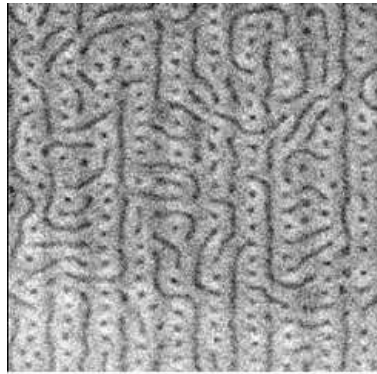


도면4



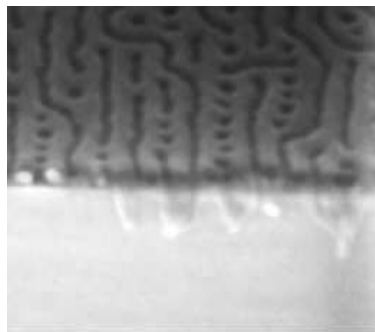


도면5



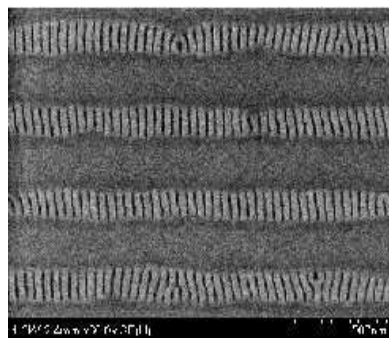
Ls = 100nm  
Lo = 45nm  
D = 40nm

도면6



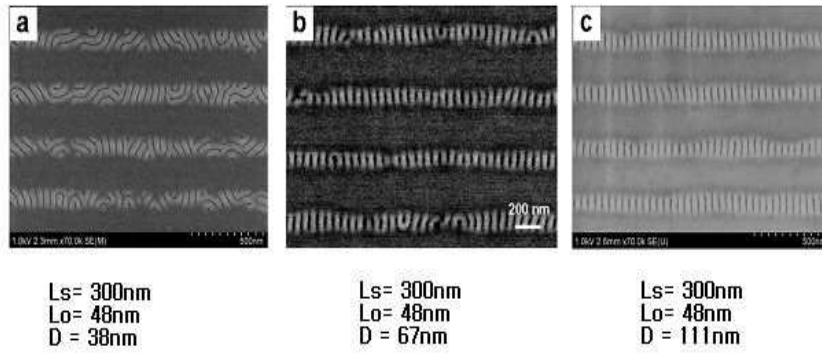
Ls = 100nm  
Lo = 45nm  
D = 40nm

도면7

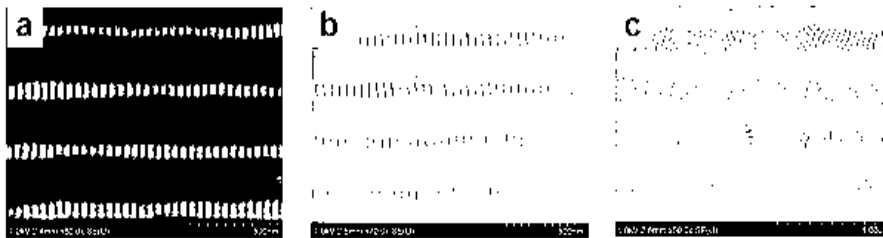


Ls= 100nm  
Lo= 48nm  
D= 110

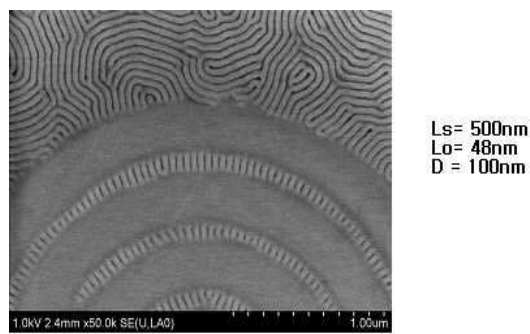
도면8



도면9



도면10



도면11

