



(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.

G02F 1/1347 (2006.01)  
G02B 5/18 (2006.01)  
B05D 5/06 (2006.01)  
B29D 11/00 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2007-0034992  
(43) 공개일자 2007년03월29일

(21) 출원번호 10-2006-7023383

(22) 출원일자 2006년11월08일

심사청구일자 없음

번역문 제출일자 2006년11월08일

(86) 국제출원번호 PCT/US2005/011860

(87) 국제공개번호 WO 2005/101112

국제출원일자 2005년04월08일

국제공개일자 2005년10월27일

(30) 우선권주장 10/866,416 2004년06월11일 미국(US)  
60/562,890 2004년04월15일 미국(US)

(71) 출원인 나노옵토 코포레이션  
미국 뉴저지 서머셋 코튼데일 레인 1600 (우:08873-5117)

(72) 발명자 왕, 지안, 짐  
미국 18069 펜실베니아 오레필드 테릭 드라이브 5923  
뎡, 수에공  
미국 08854 뉴저지 피스카타웨이 민디 레인 903  
니콜로브, 야구엘, 엔.  
미국 08807 뉴저지 브리지워터 서니 슬로프 로드 1905

(74) 대리인 남상선

전체 청구항 수 : 총 40 항

(54) 광학적 막들 및 이들의 제조 방법

(57) 요약

광학적으로 이용되는 막들, 이러한 막들을 구비하는 제품들, 이러한 막들을 제조하는 방법들 및 이러한 막들을 이용하는 시스템들이 개시된다.

대표도

도 1

특허청구의 범위

### 청구항 1.

제 1 재료층을 포함하는 제품을 제공하는 단계 - 상기 제 1 재료층은 적어도 하나의 트렌치를 포함하며 상기 층은 축을 따라 상기 층을 통해 전파되는 파장( $\lambda$ )에 대해 복굴절되며,  $\lambda$ 는 150nm 내지 2,000nm 사이임 - ; 및

상기 트렌치 내에 제 2 재료의 다수의 단층들을 순차적으로 형성함으로써 상기 트렌치 볼륨의 적어도 약 50%를 채우는 단계

를 포함하는, 방법.

### 청구항 2.

제 1 항에 있어서,

상기 채우는 단계는 상기 트렌치내에 제 3 재료의 하나 이상의 단층들을 형성하는 단계를 더 포함하며, 상기 제 2 재료와 제 3 재료는 상이한 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 3.

제 2 항에 있어서,

상기 제 2 재료 및 제 3 재료의 단층들은 나노적층 재료를 형성하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 4.

제 1 항에 있어서,

상기 트렌치 내의 제 2 재료의 다수의 단층들을 순차적으로 형성함으로써 상기 트렌치 볼륨의 적어도 약 80%가 채워지는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 5.

제 1 항에 있어서,

상기 트렌치 내의 제 2 재료의 다수의 단층들을 순차적으로 형성함으로써 상기 트렌치 볼륨의 적어도 약 90%가 채워지는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 6.

제 1 항에 있어서,

상기 트렌치 내의 제 2 재료의 다수의 단층들을 순차적으로 형성함으로써 상기 트렌치 볼륨의 적어도 약 99%가 채워지는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 7.

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 재료는 상기 제 1 재료와 상이한 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 8.

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 재료 및 상기 제 2 재료의 층은 연속층을 형성하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 9.

제 1 항에 있어서,

상기 제품은 상기 제 1 재료층의 표면에 형성되는 추가의 트렌치들을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 10.

제 9 항에 있어서,

상기 방법은 상기 추가의 트렌치들 내에 상기 제 2 재료의 다수의 단층들을 순차적으로 형성함으로써 상기 추가의 트렌치들 각각의 볼륨의 적어도 약 50%를 채우는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 11.

제 9 항에 있어서,

상기 방법은 상기 추가의 트렌치들 내에 상기 제 2 재료의 다수의 단층들을 순차적으로 형성함으로써 상기 추가의 트렌치들 각각의 볼륨의 적어도 약 80%를 채우는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 12.

제 9 항에 있어서,

상기 방법은 상기 추가의 트렌치들 내에 상기 제 2 재료의 다수의 단층들을 순차적으로 형성함으로써 상기 추가의 트렌치들 각각의 볼륨의 적어도 약 90%를 채우는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 13.

제 9 항에 있어서,

상기 방법은 상기 추가의 트렌치들 내에 상기 제 2 재료의 다수의 단층들을 순차적으로 형성함으로써 상기 추가의 트렌치들 각각의 볼륨의 적어도 약 99%를 채우는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 14.**

제 9 항에 있어서,

상기 트렌치들은 상기 제 1 재료의 행들에 의해 분리되는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 15.**

제 7 항에 있어서,

상기 제 1 재료층은 표면 양각 회절격자(surface relief grating)를 형성하는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 16.**

제 15 항에 있어서,

상기 표면 양각 회절격자는 약 500nm 이하의 회절격자 주기를 갖는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 17.**

제 7 항에 있어서,

상기 트렌치는 연속적인 상기 제 1 재료층을 에칭함으로써 형성되는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 18.**

제 17 항에 있어서,

상기 에칭은 반응성 이온 에칭을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 19.**

제 1 항에 있어서,

상기 트렌치는 리소그래피방식으로 형성되는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 20.**

제 19 항에 있어서,

상기 트렌치는 나노-임프린트 리소그래피를 이용하여 형성되는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 21.**

제 20 항에 있어서,

상기 나노-임프린트 리소그래피는 열가소성 재료에 패턴을 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 22.

제 20 항에 있어서,

상기 나노-임프린트 리소그래피는 UV 경화가능 재료에 패턴을 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 23.

제 19 항에 있어서,

상기 트렌치는 홀로그래픽 리소그래피를 이용하여 형성되는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 24.

제 1 항에 있어서,

상기 트렌치들 위로 상기 제 2 재료의 단층들을 순차적으로 형성함으로써 채워진 트렌치 위로 제 2 재료층을 형성하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 25.

제 24 항에 있어서,

상기 제 2 재료층은 약 50nm 이하의 산술적 평균 조도를 갖는 표면을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 26.

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 재료는 유전체 재료인 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 27.

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 재료의 다수의 단층들을 형성하는 단계는 전구체의 단층을 증착하는 단계 및 상기 제 2 재료의 단층을 제공하기 위해 상기 전구체의 단층을 반응제에 노출시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 28.

제 27 항에 있어서,

상기 반응제는 상기 제 2 재료를 형성하도록 상기 전구체와 화학적으로 반응하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 29.

제 28 항에 있어서,

상기 반응제는 상기 제 2 재료를 형성하도록 상기 전구체와 산화되는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 30.

제 27 항에 있어서,

상기 전구체의 단층을 증착하는 단계는 상기 제품을 보유하는 챔버에 상기 전구체를 포함하는 제 1 가스를 주입하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 31.

제 30 항에 있어서,

상기 전구체의 단층이 증착되는 동안 상기 챔버에서 상기 제 1 가스의 압력은 약 0.01 내지 약 100Torr인 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 32.

제 30 항에 있어서,

상기 전구체의 단층을 반응제에 노출시키는 단계는 상기 챔버에 상기 반응제를 포함하는 제 2 가스를 주입하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 33.

제 30 항에 있어서,

상기 전구체의 단층이 상기 반응제에 노출되는 동안 상기 챔버에서 제 2 가스의 압력은 약 0.01 내지 약 100Torr인 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 34.

제 30 항에 있어서,

상기 제 1 가스가 주입된 이후 및 상기 제 2 가스가 주입되기 이전에 상기 챔버에 제 3 가스가 주입되는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 35.

제 27 항에 있어서,

상기 제 3 가스는 상기 전구체에 비해 비활성인 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 36.

제 27 항에 있어서,

상기 제 3 가스는 헬륨, 아르곤, 질소, 네온, 크립톤 및 크세논으로 이루어진 그룹에서 선택되는 적어도 하나의 가스를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 37.

제 27 항에 있어서,

상기 전구체는 트리(테트라-보톡시)실라놀,  $(\text{CH}_3)_3\text{Al}$ ,  $\text{TiCl}_4$ ,  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{TaCl}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ , Hf-에타산화물 및 Ta-에타산화물로 이루어진 그룹에서 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 38.

제 1 항에 있어서,

상기 트렌치는 약 1,000nm 이하의 폭을 갖는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 39.

제 1 항에 있어서,

상기 트렌치는 약 10nm 이상의 깊이를 갖는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 40.

제 8 항에 있어서,

상기 연속층은 축을 따르는 연속층을 통해 전파되는 파장( $\lambda$ )의 광에 대해 복굴절되며,  $\lambda$ 는 150nm 내지 2,000nm 사이인 것을 특징으로 하는 방법.

명세서

기술분야

본 발명은 광학적 막들 및 이와 관련된 제품들, 시스템들 및 방법들에 관한 것이다.

배경기술

광학적 소자들 및 광학적 시스템들은 광 변조(manipulation)가 요구되는 분야에 공통적으로 사용된다. 광학 소자들의 예로는 렌즈들, 편광기들, 광학 필터들, 반사방지 막들, 지연기들(retarders)(이를 테면, 4분의 1 파판들), 및 빔 분할기들(이를 테면, 편광 및 비편광 빔 분할기들)이 포함된다.

### 발명의 상세한 설명

본 발명은 광학적으로 이용되는 막들, 이러한 막들을 구비한 제품들, 이러한 막들을 제조하는 방법들, 및 이러한 막들을 이용하는 시스템들에 관한 것이다.

일면에 따라, 본 발명은 적어도 하나의 트렌치를 포함하는 제 1 재료층을 포함하는 제품을 제공하는 단계, 및 상기 트렌치 내에 제 2 재료의 다수의 단층들(monolayers)을 순차적으로 형성함으로써 상기 트렌치 볼륨의 적어도 50%를 채우는 단계를 포함하는 방법으로, 상기 제 1 재료층은 축을 따라 상기 층을 통해 전파되는 파장( $\lambda$ )의 광에 대해 복굴절되며,  $\lambda$ 은 150nm 내지 2,000nm 사이인 것을 특징으로 한다.

또 다른 면에서, 본 발명은 원자층 증착을 이용하여 회절격자(grating) 표면에 재료층을 형성하는 단계를 포함하는 방법을 특징으로 한다.

또 다른 면에서, 본 발명은 원자층 증착을 이용하여 광학적 지연막을 형성하는 단계를 포함하는 방법을 특징으로 한다.

또 다른 면에서, 본 발명은 나노적층 재료의 행들(rows)과 교번하는 제 1 재료의 행들을 포함하는 연속층을 포함하는 제품을 특징으로 하며, 상기 연속층은 축을 따라 상기 연속층을 통해 전파되는 파장( $\lambda$ )의 광에 대해 복굴절되며,  $\lambda$ 은 150nm 내지 2,000nm 사이이다.

또 다른 면에서, 본 발명은 나노적층 재료를 포함하는 형태 복굴절(form birefringent)의 광학적 지연막을 포함하는 제품을 특징으로 한다.

본 발명의 실시예들은 하기의 특징들중 하나 이상을 포함할 수 있다.

상기 채우는 단계는 트렌치 내에 제 3 재료층의 하나 이상의 단층을 형성하는 단계를 더 포함하며, 제 2 재료 및 제 3 재료는 상이하다. 제 2 재료 및 제 3 재료의 단층은 나노적층 재료를 형성할 수 있다. 트렌치 볼륨의 적어도 약 80%(예를 들면, 적어도 약 90%, 적어도 약 99%)가 트렌치내에 제 2 재료의 다수의 단층을 순차적으로 형성함으로써 채워질 수 있다. 제 2 재료는 제 1 재료와 상이할 수 있다. 제 1 재료와 제 2 재료의 층은 연속층을 형성할 수 있다. 연속층은 축을 따라 연속층을 통해 전파되는 파장( $\lambda$ )의 광에 대해 복굴절되며,  $\lambda$ 은 150nm 내지 2,000nm 사이이다. 제품은 제 1 재료층 표면에 형성되는 추가의 트렌치들을 포함할 수 있다. 상기 방법은 상기 추가의 트렌치들 내에 제 2 재료의 다수의 단층을 순차적으로 형성함으로써 추가의 트렌치들 각각의 볼륨의 적어도 약 50%를 채우는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 방법은 상기 추가의 트렌치들 내에 제 2 재료의 다수의 단층을 순차적으로 형성함으로써 추가의 트렌치들 각각의 볼륨의 적어도 약 80%(예를 들면, 적어도 약 90%, 적어도 약 99%)를 채우는 단계를 더 포함할 수 있다. 트렌치들은 제 1 재료의 행들에 의해 구분될 수 있다. 제 1 재료층은 표면 양각 회절격자(surface relief grating)를 형성할 수 있다. 표면 양각 회절격자는 약 500nm 이하(예를 들면, 약 400nm 이하, 약 300nm 이하, 약 200nm 이하, 약 100nm 이하)의 회절격자 주기를 가질 수 있다.

트렌치는 연속적인 제 1 재료층을 (예를 들어, 반응성 이온 에칭)에칭함으로써 형성될 수 있다. 트렌치는 리소그래피방식으로 형성될 수 있다. 예를 들어, 트렌치는 나노-임프린트 리소그래피 또는 홀로그래픽 리소그래피를 이용하여 형성될 수 있다. 트렌치가 나노-임프린트 리소그래피를 이용하여 형성될 경우, 나노-임프린트 리소그래피는 열가소성 재료에 패턴을 형성하는 단계를 포함할 수 있다. 선택적으로, 또는 부가적으로, 나노-임프린트 리소그래피는 UV 경화가능 재료에 패턴을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

상기 방법은 트렌치 위에 제 2 재료의 나노층들을 순차적으로 형성함으로써 채워진 트렌치 위로 제 2 재료층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다. 제 2 재료층은 약 50nm 이하(예를 들어, 약 40nm 이하, 약 30nm이하, 약 20nm이하, 약 10nm 이하)의 산술적 평균 조도를 가지는 표면을 포함한다.

제 2 재료는 유전체 재료일 수 있다. 일부 실시예에서, 제 2 재료의 다수의 단층들을 형성하는 단계는 전구체의 단층을 증착하는 단계 및 제 2 재료의 단층을 제공하도록 상기 전구체의 단층을 반응체에 노출하는 단계를 포함한다. 반응체는 제 2



재료를 형성하도록 전구체와 화학적으로 반응할 수 있다. 예를 들어, 반응제는 제 2 재료를 형성하도록 전구체를 산화시킬 수 있다. 전구체의 단층을 증착하는 단계는 전구체를 포함하는 제 1 가스를 제품을 보유하는 챔버속으로 주입하는 단계를 포함할 수 있다. 전구체 단층이 증착되는 동안 챔버내의 제 1 가스의 압력은 약 0.01 내지 약 100Torr이다. 전구체의 단층을 반응제에 노출하는 단계는 반응제를 포함하는 제 2 가스를 챔버에 주입하는 단계를 포함할 수 있다. 전구체의 단층이 반응제에 노출되는 동안 챔버내의 제 2 가스의 압력은 약 0.01 내지 약 100Torr이다. 제 1 가스가 주입된 이후 및 제 2 가스가 주입되기 이전에 제 3 가스가 챔버속으로 주입될 수 있다. 제 3 가스는 전구체에 비해 비활성적일 수 있다. 제 3 가스는 헬륨, 아르곤, 질소, 네온, 크립톤, 및 크세논으로 이루어진 그룹에서 선택된 적어도 하나의 가스를 포함할 수 있다. 전구체는 트리(테트라-부톡시)실라놀,  $(\text{CH}_3)_3\text{Al}$ ,  $\text{TiCl}_4$ ,  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{TaCl}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ , Hf-에타옥사이드 및 Ta-에타옥사이드로 이루어진 그룹에서 선택될 수 있다.

트렌치는 약 1,000nm 이하(예를 들어, 약 900nm 이하, 약 800nm 이하, 약 700nm 이하, 약 600nm 이하, 약 500nm 이하, 약 400nm 이하, 약 300nm 이하, 약 200nm 이하)의 폭을 가질 수 있다. 트렌치는 약 10nm 이상(예를 들어, 약 20nm 이상, 약 30nm 이상, 약 40 nm 이상, 약 50nm 이상, 약 75nm 이상, 약 100nm 이상, 약 150nm 이상, 약 200nm 이상, 약 300nm 이상, 약 400nm 이상, 약 500nm 이상, 약 1,000nm 이상, 약 1,500nm 이상, 약 2,000nm 이상)의 깊이를 가질 수 있다.

상기 방법은 트렌치를 채운 후에 제 1 재료층상에 제 2 복굴절층을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다. 제 2 복굴절층은 다수의 트렌치를 포함할 수 있으며 제 2 복굴절층을 형성하는 단계는 제 2 복굴절층의 트렌치 내에 제 3 재료의 다수의 단층을 순차적으로 형성함으로써 다수의 트렌치를 채우는 단계를 포함한다. 상기 방법은 제 2 복굴절층상에 추가의 복굴절층들을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

소정의 실시예에서, 회절격자는 표면 양각 회절격자일 수 있다. 회절격자는 약 2,000nm 이하(예를 들어, 약 1,500nm 이하, 약 1,000nm 이하, 약 750nm 이하, 약 500nm 이하, 약 300nm 이하, 약 200nm 이하)의 회절격자 주기를 가질 수 있다.

광학적 완화막은 복굴절을 형성할 수 있다.

상기 제품은 적어도 하나의 반사방지 막을 더 포함할 수 있으며, 상기 제품 표면은 반사방지 막의 표면을 포함한다. 일부 실시예에서, 제품은 연속층에 인접한 제 3 재료층을 포함한다. 제품은 연속층에 인접한 나노적층 재료층을 포함할 수 있다. 연속층에 인접한 나노적층 재료층은 약 50nm 이하(예를 들어 약 40nm 이하, 약 30nm 이하, 약 20nm 이하, 약 10nm 이하)의 산술적 평균 조도를 갖는 표면을 포함할 수 있다. 나노적층 재료는  $\lambda$ 에서 약 1.3 이상(예를 들어, 약 1.4 이상, 약 1.5 이상, 약 1.6 이상, 약 1.7 이상, 약 1.8 이상, 약 1.9 이상, 약 2.0 이상, 약 2.1 이상)의 굴절률을 가질 수 있다. 제 1 재료는  $\lambda$ 에서 약 1.3 이상(예를 들어, 약 1.4 이상, 약 1.5 이상, 약 1.6 이상, 약 1.7 이상, 약 1.8 이상, 약 1.9 이상, 약 2.0 이상, 약 2.1 이상)의 굴절률을 가질 수 있다. 나노적층 재료는 제 2 재료의 부분들 및 제 3 재료의 부분들을 포함할 수 있으며, 상기 제 2 재료와 제 3 재료는 상이하다. 일부 실시예에서, 제 1 재료와 제 3 재료는 동일하다.

나노적층 재료는 유전체 재료, 무기 재료, 및/또는 금속을 포함할 수 있다. 나노적층 재료는  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiN}_x$ , Si,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{HfO}_2$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  및  $\text{MgF}_2$ 로 이루어진 그룹에서 선택된 재료를 포함할 수 있다.

제 1 재료는 유전체 재료, 무기 재료, 글래스, 폴리머, 반도체, 및/또는 금속일 수 있다. 소정의 실시예에서, 제 1 재료는  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiN}_x$ , Si,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{HfO}_2$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  및  $\text{MgF}_2$ 로 이루어진 그룹에서 선택된다.

연속층은 약 500nm 이하(예를 들어, 약 200nm 이하, 약 100nm 이하, 약 50nm 이하)의 회절격자 주기로 회절격자를 형성할 수 있다. 제 1 재료의 행들은 약 500nm 이하(약 200nm 이하, 약 100nm 이하, 약 50nm 이하, 약 20nm 이하, 약 10nm 이하)의 최소 폭을 가질 수 있다. 제 1 재료의 행들은 나노적층 재료 행들의 최소폭과 동일한 또는 이와 상이한 최소 폭을 가질 수 있다. 제 1 재료의 행들 각각의 최소폭은 실질적으로 동일할 수 있다. 선택적으로 또는 부가적으로, 나노적층 재료의 행들 각각의 폭은 실질적으로 동일하다.

연속층은 약 15nm 이상(예를 들어, 약 30nm 이상, 약 50nm 이상, 약 75nm 이상, 약 100nm 이상, 약 150nm 이상, 약 200nm 이상, 약 300nm 이상, 약 500nm 이상, 약 1,000nm 이상, 약 1,500nm 이상, 약 2,000nm 이상)의 두께를 갖는다. 소정의 실시예에서, 연속층은 연속층을 통해 전파되는 150nm 내지 2,000nm 사이의 파장( $\lambda$ )의 광에 대해 약 1nm 이상(예를 들어, 약 2nm 이상, 약 5nm 이상, 약 10nm 이상, 약 20nm 이상, 약 50nm 이상)의 광학적 지연(optical retardation)을 갖는다. 연속층은 축을 따라 복합층을 통해 전파되는 200nm 내지 2,000nm 사이의 파장( $\lambda$ )의 광에 대해 약 2,000nm 이하

의 광학적 지연을 가질 수 있다. 일부 실시예에서,  $\lambda$ 는 약 400nm 내지 약 700nm(예를 들면, 약 510nm 내지 약 570nm) 사이이다. 일부 실시예에서, 연속층은 축을 따라 연속층을 통해 전파되는 약 400nm 내지 약 700nm 사이의 파장( $\lambda$ )의 광에 대해 약 4nm 이상의 광학적 지연을 갖는다.

상기 제품은 제 2 나노적층 재료의 행들과 교번하는 제 3 재료의 행들을 포함하는 제 2 연속층을 포함할 수 있으며, 상기 제 2 연속층은 축을 따라 제 2 연속층을 통해 전파되는 파장( $\lambda$ )의 광에 대해 복굴절된다. 또한 상기 제품은 추가의 형태 복굴절 층들을 포함할 수 있으며, 상기 형태 복굴절 층들 각각은 축을 따라 형태 복굴절 층 각각을 통해 전파되는 파장( $\lambda$ )의 광에 대해 복굴절된다.

본 발명의 실시예들은 하기의 장점들을 하나 이상 포함할 수 있다.

일부 실시예에서, 상기 제품은 상대적으로 강건한 광학적 지연기들일 수 있으며, 해당 파장에서 높은 투과율(transmission)을 가질 수 있으며, 정확하게 제어될 수 있는 지연을 갖는다. 광학적 지연은 하나 이상의 형태 복굴절 층들을 포함할 수 있다. 형태 복굴절은 매체의 서브-파장으로 야기되며, 이는 적어도 2개의 상이한 재료(예를 들어, 광학적 등방성 재료)가 교번하는 방식으로 배열됨으로써 달성된다. 형태 복굴절은 서브-파장 회절격자 구조에서 야기될 수 있으며, 매체는 그의 굴절률이 주기적으로 변하며, 상기 주기는 실질적으로 해당 파장 보다 작다. 상기 주기가 해당 파장 보다 작기 때문에, 실질적으로 제로-차수의 회절만이 이루어지며 보다 높은 차수의 모든 회절들은 사라지게 된다(예를 들어, 해당 파장에서의 빔은 실질적으로 투과 및/또는 반사된다). 형태 복굴절 매체를 구성하는 재료들이 광학적으로 등방성일 수 있는(즉, 균일한 굴절률을 가짐) 반면, 매체 자체는 광학적으로 비등방성이어서, 복굴절이 야기된다.

일부 실시예에서, 광학적 지연기들은, 예를 들어 가스(예를 들어, 공기)로 채워진 트렌치들을 갖는 것과는 대조적으로, 연속 재료들로 형성된 하나 이상의 형태 복굴절 층들을 포함할 수 있다. 따라서, 광학적 지연기들은 비연속층들(예를 들어, 공기로 채워진 하나 이상의 트렌치들을 포함하는 층들)을 포함하는 광학적 지연기들보다 기계적으로 더 강건할 수 있다.

소정의 실시예에서, 연속적인 형태 복굴절 층들은 상기 층들의 부분들의 폭과 두께 간에 비교적 높은 중형비를 갖게 형성될 수 있다. 예를 들어, 높은 중형비의 트렌치들이 층으로 에칭될 수 있고, 트렌치들은 비교적 높은 중형비를 가지는 연속적 형태 복굴절층을 제공하도록 컨포멀한 코팅 방식(예를 들어, 원자층 증착)을 이용하여 순차적으로 채워진다.

광학적 지연기들의 복굴절이 정확하게 제어될 수 있다. 이를 달성하기 위해, 형태 복굴절층의 하나 이상의 부분들의 굴절률은, 예를 들어, 부분(들)의 조성을 제어하고, 이로써 복굴절성을 제어함으로써 원하는 값으로 조정될 수 있다. 예를 들어, 층의 하나 이상의 부분들이 나노적층물로 형성될 수 있다. 나노적층물의 굴절률은 나노적층물이 원자층 증착을 이용하여 형성되는 단층 원리에 의해 단층 상에서 제어될 수 있는, 나노적층물의 2개 이상의 재료들의 부분들을 선택함으로써 조절될 수 있다.

선택적으로 또는 부가적으로, 층 구조물의 정확한 제어는 형태 복굴절층의 복굴절을 정확히 제어할 수 있다. 예를 들어, 형태 복굴절층의 구조물을 한정하는 리소그래피 기술(예를 들어, 전자 빔 리소그래피, 나노임프린트 리소그래피, 홀로그래픽 리소그래피)의 이용으로 구조물의 정확한 제어가 이루어질 수 있다.

소정의 실시예에서, 광학적 지연기들의 지연이 정확히 제어될 수 있다. 예를 들어, 광학적 지연기의 형태 복굴절층의 깊이 및/또는 복굴절성은 원하는 지연을 제공하도록 정확히 제어될 수 있다. 예를 들어, 광학적 지연기들은 하나 이상의 에칭 정지층들과 같이 지연기내의 형태 복굴절층 부분들의 두께를 제어하기 위해 하나 이상의 층들을 포함할 수 있다.

소정의 실시예에서, 광학적 지연기들은 해당 파장에서 높은 투과율을 갖는다. 예를 들어, 광학적 지연기들은 하나 이상의 인터페이스 상에 해당 파장에서 광 반사를 감소시키는 하나 이상의 반사방지 막들을 포함할 수 있다. 선택적으로 또는 부가적으로, 광학적 지연기들의 층들은 해당 파장에서 비교적 낮은 흡수율을 가지는 재료로 형성될 수 있다.

본 발명의 다른 특징 및 장점은 하기의 보다 상세한 설명, 도면 및 특허청구범위로부터 명확해질 것이다.

## 실시예

도 1을 참조로, 광학적 지연기(100)에 대한 실시예는 지연층(110) 및 2개의 반사방지 막(150, 160)을 포함한다. 광학적 지연기(100)는 기관(140), 에칭 스톱층(130), 및 캡층(120)을 포함한다. 지연층(110)은 회절격자 형태이며 제 1 굴절률을

갖는 부분들(111)과 제 2 굴절률을 갖는 부분들(112)을 포함한다. 지연층(110)은, 도 1에 도시된 좌표계 시스템의 z-축과 평행하게, 축(101)을 따라 전파되는 파장( $\lambda$ )의 광에 대해 복굴절된다. 일반적으로,  $\lambda$ 는 약 150nm 내지 약 5,000nm 사이이다. 소정 실시예에서,  $\lambda$ 는 전자기 스펙트럼의 가시부 내의 파장(예를 들어 약 400nm 내지 약 700nm)에 해당한다.

부분들(111, 112)은 y-방향을 따라 연장되어, 상이한 굴절률을 가지는 일련의 교번하는 행들로 이루어진 주기적 구조물을 형성한다. 부분들(111)에 대응하는 행들은 x-방향의 폭( $A_{111}$ )을 가지는 반면, 부분들(112)에 대응하는 행들은 x-방향의 폭( $A_{112}$ )을 갖는다. 행들의 폭은  $\lambda$ 보다 작아, 지연층(110)은 상당히 높은 차수의 회절 없이 파장( $\lambda$ )의 광에 대해 형태 복굴절된다. 상이한 편광 상태를 가지는 광파(optical waves)가 지연층(110)의 두께, 부분들(111, 112)의 굴절률 및  $A_{111}$  및  $A_{112}$ 와 관련된 상이한 위상 이동으로 지연층(110)을 지나 전파된다. 따라서, 이들 파라미터들은  $\lambda$ 에서 편광된 광에 대해 원하는 양의 지연을 제공하도록 선택된다.

지연층(110)은  $n_e - n_o$ 에 해당하는 복굴절률(birefringence)을 가지며, 여기서  $n_e$ 와  $n_o$ 는 각각 층(110)에 대한 유효 비정상(effective extraordinary) 굴절률 및 정상(ordinary) 굴절률이다. 지연층(110)에 대해,  $n_e$ 와  $n_o$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$n_o^2 = \frac{\Lambda_{111}}{\Lambda_{111} + \Lambda_{112}} n_{111}^2 + \frac{\Lambda_{112}}{\Lambda_{111} + \Lambda_{112}} n_{112}^2$$

$$\frac{1}{n_e^2} = \frac{\Lambda_{111}}{\Lambda_{111} + \Lambda_{112}} \frac{1}{n_{111}^2} + \frac{\Lambda_{112}}{\Lambda_{111} + \Lambda_{112}} \frac{1}{n_{112}^2} \quad (1)$$

식(1)에서,  $n_{111}$  및  $n_{112}$  및  $A_{111}$  및  $A_{112}$ 는 각각 부분들(111, 112)의 (x-방향에 따른) 굴절률들 및 두께들로 간주된다. 일반적으로,  $n_e$  및  $n_o$ 의 값들은  $n_{111}$ ,  $n_{112}$ ,  $A_{111}$  및  $A_{112}$ 에 따라 좌우되며,  $n_{111}$ 와  $n_{112}$  사이이다.  $A_{111}$  및  $A_{112}$ 는 식(1)에 의해 주어진  $n_e$  및  $n_o$ 에 대한 값들에 기초하여  $\Delta n$ 의 원하는 값들을 제공하도록 선택될 수 있다. 또한, 부분들(111, 112) 각각의 조성을 따르는 굴절률( $n_{111}$ ,  $n_{112}$ )은  $\Delta n$ 의 원하는 값을 제공하도록 선택될 수 있다. 일부 실시예에서,  $\Delta n$ 은 비교적 크다(예를 들어, 약 0.1 이상, 약 0.15 이상, 약 0.2 이상, 약 0.3 이상, 약 0.5 이상, 약 1.0 이상, 약 1.5 이상, 약 2.0 이상). 선택적으로 또 다른 실시예에서,  $\Delta n$ 은 비교적 작다(예를 들어, 약 0.05 이하, 약 0.04 이하, 약 0.03 이하, 약 0.02 이하, 약 0.01 이하, 약 0.005 이하, 약 0.002 이하, 약 0.001 이하).

일반적으로, 부분들(111)의 굴절률은 약 1.3 이상(예를 들어, 약 1.4 이상, 약 1.5 이상, 약 1.6 이상, 약 1.7 이상, 약 1.8 이상, 약 1.9 이상, 약 2.0 이상, 약 2.1 이상, 약 2.2 이상)이다. 또한, 일반적으로 부분들(112)의 굴절률은 약 1.3 이상(예를 들어, 약 1.4 이상, 약 1.5 이상, 약 1.6 이상, 약 1.7 이상, 약 1.8 이상, 약 1.9 이상, 약 2.0 이상, 약 2.1 이상, 약 2.2 이상)이다.

일반적으로,  $A_{111}$ 은 약  $0.2\lambda$  이하(예를 들어, 약  $0.1\lambda$  이하, 약  $0.05\lambda$  이하, 약  $0.04\lambda$  이하, 약  $0.03\lambda$  이하, 약  $0.02\lambda$  이하,  $0.01\lambda$  이하)일 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예에서,  $A_{111}$ 은 200nm 이하(예를 들어, 약 150nm 이하, 약 100nm 이하, 약 80nm 이하, 약 70nm 이하, 약 60nm 이하, 약 50nm 이하, 약 40nm 이하, 약 30nm 이하)이다. 유사하게  $A_{112}$ 은 약  $0.2\lambda$  이하(예를 들어, 약  $0.1\lambda$  이하, 약  $0.05\lambda$  이하, 약  $0.04\lambda$  이하, 약  $0.03\lambda$  이하, 약  $0.02\lambda$  이하,  $0.01\lambda$  이하)일 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예에서,  $A_{112}$ 은 200nm 이하(예를 들어, 약 150nm 이하, 약 100nm 이하, 약 80nm 이하, 약 70nm 이하, 약 60nm 이하, 약 50nm 이하, 약 40nm 이하, 약 30nm 이하)이다.  $A_{111}$  및  $A_{112}$ 는 서로 동일하거나 상이할 수 있다.

x-축을 따라, 지연층(110)의 굴절률은 주기 A로 주기적이며,  $A_{111} + A_{112}$ 와 대응된다. 일반적으로, A는 약  $0.5\lambda$  이하(예를 들어, 약  $0.3\lambda$  이하, 약  $0.2\lambda$  이하, 약  $0.1\lambda$  이하, 약  $0.08\lambda$  이하, 약  $0.05\lambda$  이하, 약  $0.04\lambda$  이하, 약  $0.03\lambda$  이하, 약  $0.02\lambda$  이하,  $0.01\lambda$  이하)와 같이  $\lambda$  미만이다. 소정 실시예에서, A는 약 500nm 이하(예를 들어, 약 300nm 이하, 약 200nm 이하, 약 100nm 이하, 약 80nm 이하, 약 60nm 이하, 약 50nm 이하, 약 40nm 이하)이다.

지연층(110)은 19개 부분을 갖는 것으로 도시되었지만, 일반적으로, 지연층의 부분들의 개수는 요구에 따라 변할 수 있다. 부분들의 개수는 지연기의 최종 사용 분야에 의해 요구되는 면적 및 주기(A)에 따라 좌우된다. 일부 실시예에서, 지연층

(110)은 약 50개 이상의 부분들(예를 들어, 약 100개 이상의 부분들, 약 500개 이상의 부분들, 약 1,000개 이상의 부분들, 약 5,000개 이상의 부분들, 약 10,000개 이상의 부분들, 약 50,000개 이상의 부분들, 약 100,000개 이상의 부분들, 약 500,000개 이상의 부분들)을 포함할 수 있다.

z-축을 따라 측정된 지연층(110)의 두께(d)는 요구에 따라 변할 수 있다. 일반적으로, 층(110)의 두께는  $\lambda$ 에서 지연층(110)의 원하는 지연 및 부분들(111)의 굴절률들에 기초하여 선택된다. 일부 실시예에서, d는 약 50nm 이상(예를 들어, 약 75nm 이상, 약 100nm 이상, 약 125nm 이상, 약 150nm 이상, 약 200nm 이상, 약 250nm 이상, 약 300nm 이상, 약 400nm 이상, 약 500nm 이상, 약 1,000nm 이상, 약 2,000nm)일 수 있다.

지연층 두께(d) 대  $A_{111}$  및/또는 d 대  $A_{112}$ 의 종횡비는 비교적 높다. 예를 들어,  $d:A_{111}$  및/또는  $d:A_{112}$ 는 약 2:1 이상(예를 들어, 약 3:1 이상, 약 4:1 이상, 약 5:1 이상, 약 8:1 이상, 약 10:1 이상)일 수 있다.

지연층(110)의 지연은 지연층(110)의 두께(d)와  $\Delta n$ 의 곱에 해당한다.  $\Delta n$ 과 층 두께에 대해 적절한 값을 선택함으로써, 지연이 원하는 대로 변할 수 있다. 일부 실시예에서, 지연층(110)의 지연은 약 50nm 이상(예를 들어, 약 75nm 이상, 약 100nm 이상, 약 125nm 이상, 약 150nm 이상, 약 200nm 이상, 약 250nm 이상, 약 300nm 이상, 약 400nm 이상, 약 500nm 이상, 약 1,000nm 이상, 약 2,000nm)이다. 선택적으로, 다른 실시예에서, 지연은 약 40nm 이하(예를 들어, 약 30nm 이하, 약 20nm 이하, 약 10nm 이하, 약 5nm 이하, 약 2nm 이하)이다. 일부 실시예에서, 지연은  $\lambda/4$  또는  $\lambda/2$ 에 해당한다.

또한 지연은 위상(phase) 지연( $\Gamma$ ),

$$\Gamma = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n d$$

로 표현될 수 있다.

예를 들어, 4분의 1 파 지연은  $\Gamma = \pi/2$ 에 해당하는 반면, 반파 지연은  $\Gamma = \pi$ 에 해당한다. 일반적으로, 위상 지연은 원하는 대로 변할 수 있다. 일부 실시예에서, 위상 지연은 약  $2\pi$ 이하(예를 들어, 약  $0.8\pi$  이하, 약  $0.7\pi$  이하, 약  $0.6\pi$  이하, 약  $0.5\pi$  이하, 약  $0.4\pi$  이하, 약  $0.2\pi$  이하, 약  $0.1\pi$  이하, 약  $0.05\pi$  이하, 약  $0.01\pi$  이하)일 수 있다. 선택적으로, 다른 실시예에서 지연층(110)의 위상 지연은  $2\pi$  이상(예를 들어, 약  $3\pi$  이상, 약  $4\pi$  이상, 약  $5\pi$  이상)일 수 있다.

일반적으로, 부분들(111, 112)의 조성은 원하는 대로 변할 수 있다. 부분들(111 및/또는 112)은 무기 및/또는 유기 재료를 포함할 수 있다. 무기 재료의 예로는 금속, 반도체 및 무기 유전체 재료(예를 들어, 글래스)가 포함된다. 예를 들어, 유기 재료는 폴리머를 포함한다.

일부 실시예에서, 부분들(111) 및/또는 부분들(112)은 유전체 산화물(예를 들어, 금속 산화물), 불화물(예를 들어, 금속 불화물), 황화물 및/또는 질화물(예를 들어, 금속 질화물)과 같은 하나 이상의 유전체 재료들을 포함한다. 산화물의 예로는  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{HfO}_2$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{ErO}_2$ ,  $\text{Sc}_2\text{O}_5$ 가 포함된다. 불화물의 예로는  $\text{MeF}_2$ 가 포함된다. 다른 예로는  $\text{ZnS}$ ,  $\text{SiN}_x$ ,  $\text{SiO}_y\text{N}_x$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{TiN}$  및  $\text{HfN}$ 가 포함된다.

부분들(111, 112)의 조성은 통상적으로 이들의 광학적 성질 및 광학적 지연기(100)의 제조에 이용되는 프로세스들과의 이들의 호환성 및 광학적 지연기(100)의 다른 층을 형성하는데 이용되는 재료와 이들의 호환성을 기초로하여 선택된다. 부분들(111 및/또는 112)의 조성은  $\lambda$ 에서 특정 굴절률을 갖도록 선택될 수 있다. 일반적으로, 부분(111)의 굴절률은  $\lambda$ 에서 부분(112)의 굴절률과 상이하다. 일부 실시예에서, 부분들(111) 또는 부분들(112)은 632nm에서 약 2.35의 굴절률을 갖는  $\text{TiO}_2$  또는 632nm에서 2.15의 굴절률을 갖는  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 와 같이, 비교적 높은 굴절률을 갖는 재료로 형성된다. 선택적으로, 부분들(111) 또는 부분들(112)은 비교적 낮은 굴절률을 갖는 재료로 형성될 수 있다. 낮은 굴절률 재료의 예로는 632nm에서 각각 1.45 및 1.65의 굴절률을 갖는  $\text{SiO}_2$  및  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 있다.

일부 실시예에서, 부분들(111) 및/또는 부분들(112)의 조성은  $\lambda$ 에서 비교적 낮은 흡수율을 가져, 지연층(110)은  $\lambda$ 에서 비교적 낮은 흡수율을 갖는다. 예를 들어, 지연층(110)은 축(101)을 따라 전파되는  $\lambda$ 에서 약 5% 이하(예를 들면, 약 3% 이하, 약 2% 이하, 약 1% 이하, 약 0.5% 이하, 약 0.2% 이하, 약 0.1% 이하)로 흡수될 수 있다.

부분들(111) 및/또는 부분들(112)은 단일 재료 또는 다수의 상이한 재료로 형성될 수 있다. 일부 실시예에서, 부분들(111) 및 부분들(112)중 하나 또는 둘다는 나노적층 재료로 형성될 수 있으며, 상기 나노적층 재료는 적어도 2개의 상이한 재료의 층들을 구성하는 재료들로 간주되며 상기 재료의 적어도 하나의 층은 매우 얇다(예를 들어, 약 1 내지 10의 단층 두께). 선택적으로, 나노적층 재료는 그의 구성 재료들의 굴절률에 따라 국부적으로 균일한 굴절률을 갖는다. 각각의 구성 재료들의 양을 변화시킴으로써 나노적층 재료의 굴절률을 변화시킬 수 있다. 나노적층 부분들의 예로는 SiO<sub>2</sub> 단층들 및 TiO<sub>2</sub> 단층들, SiO<sub>2</sub> 단층들 및 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 단층들, 또는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 단층들 및 TiO<sub>2</sub> 단층들로 이루어진 부분들을 포함한다.

부분들(111 및/또는 112)은 결정성, 반결정성, 및/또는 비정질의 부분들을 포함할 수 있다. 통상적으로, 비정질 재료는 광학적으로 등방성이며 부분적으로 또는 대부분 결정성인 부분들 보다 양호하게 광을 투과시킬 수 있다. 예로서, 소정 실시예에서, 부분들(111, 112)은 비정질 유전체 재료(예를 들어, 비정질 TiO<sub>2</sub> 또는 SiO<sub>2</sub>)와 같은 비정질 재료로 형성된다. 선택적으로, 소정 실시예에서, 부분들(111)은 결정성 또는 반-결정성 재료(예를 들어, 결정성 또는 반-결정성 Si)로 형성되는 반면, 부분들(112)은 비정질 재료(예를 들어, TiO<sub>2</sub> 또는 SiO<sub>2</sub>와 같은 비정질 유전체 재료)로 형성된다.

광학적 지연기(100)의 다른 층들을 참조하면, 일반적으로 기관(140)은 광학적 지연기(100)에 기계적 지지체를 제공한다. 소정 실시예에서, 기관(140)은 파장( $\lambda$ )에서 광을 투과시키며, 파장( $\lambda$ )에서 기관 위로 충돌하는 모든 광이 실질적으로 투과된다(예를 들어, 약 90% 이상, 약 95% 이상, 약 97% 이상, 약 99% 이상, 약 99.5% 이상).

일반적으로, 기관(140)은 다른 층들을 지지할 수 있는 지연기(100)를 생성하는데 이용되는 제조 프로세스와 호환성있는 임의의 재료로 형성될 수 있다. 소정 실시예에서, 기관(140)은 BK7(Abrisa corporation), 보로실리케이트 글래스(예를 들어, Corning으로부터 입수가 가능한 파이렉스), 알루미늄실리케이트 글래스(예를 들어 Corning으로부터 입수가 가능한 C1737), 또는 석영/용융된 실리카와 같은 글래스로 형성된다. 소정 실시예에서, 기관(140)은 비선형 광학적 결정(예를 들어 가넷(garnett)과 같은 LiNbO<sub>3</sub> 또는 마그네토-광학 회전자) 또는 결정성(또는 반결정성) 반도체(예를 들어, Si, InP 또는 GaAs)와 같은 결정성 재료로 형성될 수 있다. 또한 기관(140)은 폴리머(예를 들어, 플라스틱)과 같은 무기 재료로 형성될 수 있다.

에칭 스톱층(130)은 부분들(112)을 형성하는(하기 개시됨) 재료(들)을 에칭하는데 이용되는 에칭 프로세스에 대해 저항성이 있는 재료로 형성된다. 에칭 정지층(130)을 형성하는 재료(들)은 기관(140) 및 지연층(110)을 형성하는 재료들과 호환성이 있어야 한다. 에칭 정지층(130)을 형성할 수 있는 재료들의 예로는 HfO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>, SiN<sub>x</sub> 또는 금속들(예를 들어, Cr, Ti, Ni)이 포함된다.

에칭 정지층(130)의 두께는 요구에 따라 변할 수 있다. 통상적으로, 에칭 정지층(130)은 기관(140)의 과도한 에칭을 방지하도록 충분히 두꺼워야 하나, 광학적 지연기(100)의 광학적 성능에 악영향을 미칠 정도로 두껍지 않아야 한다. 소정 실시예에서, 에칭 정지층은 약 500nm 이하(예를 들어, 약 250nm 이하, 약 100nm 이하, 약 75nm 이하, 약 50nm 이하, 약 40nm 이하, 약 30nm 이하, 약 20nm 이하)이다.

통상적으로 캡층(120)은 지연층(110)의 부분들(111)과 동일한 재료(들)로 형성되며 반사방지 막(150)을 형성하는 층들과 같이 부가의 층들이 증착될 수 있는 표면(121)을 제공한다. 표면(121)은 실질적으로 평면일 수 있다.

반사방지 막들(150, 160)은 광학적 지연기(100)상에 충돌하여 배출되는 파장( $\lambda$ )의 광의 반사율을 감소시킨다. 일반적으로 반사방지 막(150, 160)은 상이한 굴절률의 하나 이상의 층들을 포함한다. 예로서, 하나 이상의 반사방지 막(150, 160)은 교번되게 높고 낮은 굴절률의 4개 층들로 형성될 수 있다. 높은 굴절률의 층들은 TiO<sub>2</sub> 또는 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>로 형성될 수 있으며 낮은 굴절률의 층들은 SiO<sub>2</sub> 또는 MgF<sub>2</sub>로 형성될 수 있다. 반사방지 막들은 광대역 반사방지 막들 또는 협대역 반사방지 막들일 수 있다.

일부 실시예에서, 광학적 지연기(100)는 파장( $\lambda$ )에서 그위에 충돌하는 광에 대해 약 5% 이하(예를 들어, 약 3% 이하, 약 2% 이하, 약 1% 이하, 약 0.5% 이하, 약 0.2% 이하)의 반사율을 갖는다. 또한, 광학적 지연기(100)는 파장( $\lambda$ )의 광에 대해 높은 투과율을 가질 수 있다. 예를 들어, 광학적 지연기(100)는 파장( $\lambda$ )에서 그위에 충돌하는 광의 약 95% 이상(예를 들어, 약 98% 이상, 약 99% 이상, 약 99.5% 이상)을 투과시킬 수 있다.

일반적으로, 광학적 지연기(100)는 원하는대로 마련될 수 있다. 도 2A-2J는 예시적인 마련 프로세스의 상이한 단계들을 나타낸다. 초기에, 도 2A에 도시된 것처럼 기판(140)이 제공된다. 기판(140)의 표면(141)은 (예를 들어, 하나 이상의 솔벤트, 산에 기판의 노출, 및/또는 기판 베이킹에 의해) 연마 및/또는 세정될 수 있다.

도 2B를 참조로, 에칭 정지층(130)은 기판(140)의 표면(141)상에 증착된다. 에칭 정지층(130)을 형성하는 재료는 스퍼터링(예를 들어, 무선 주파수 스퍼터링), 증발(예를 들어, 전자 빔 증발, 이온 보조 증착(IAD) 전자 빔 증발), 또는 플라즈마 강화 CVD(PECVD), ALD 또는 산화에 의한 화학적 기상 증착을 포함하는 다양한 기술들중 하나를 이용하여 형성될 수 있다. 예로서, HfO<sub>2</sub>층은 IAD 전자 빔 증발에 의해 기판(140)상에 증착될 수 있다.

도 2C를 참조로, 중간층(210)이 에칭 정지층(130)의 표면(131)에 증착된다. 부분들(112)은 중간층(210)으로부터 에칭되어, 중간층(210)이 부분들(112)에 대해 이용되는 재료로 형성된다. 중간층(210)을 형성하는 재료는 스퍼터링(예를 들어, 무선 주파수 스퍼터링), 증발(예를 들어, 전자 빔 증발), 또는 화학적 기상 증착(CVD)(예를 들어, 플라즈마 강화 CVD)를 포함하는 다양한 기술들중 하나를 이용하여 증착될 수 있다. 예로서, SiO<sub>2</sub>층이 스퍼터링(예를 들어, 무선 주파수 스퍼터링), CVD(예를 들어, 플라즈마 강화 CVD), 또는 전자 빔 증발(예를 들어, IAD 전자 빔 증착)에 의해 에칭 정지층(130)상에 증착될 수 있다. 중간층(210)의 두께는 지연층(110)의 원하는 두께에 기초하여 선택된다.

중간층(210)은 리소그래피 기술을 이용하여 지연층(110)의 부분들(112)을 제공하도록 처리된다. 예를 들어, 부분들(112)은 전자 빔 리소그래피 또는 포토리소그래피를 사용하여(예를 들어, 포토마스크 또는 홀로그래픽 기술들을 사용하여) 중간층(210)으로 형성될 수 있다. 일부 실시예에서, 부분들(112)은 나노-임프린트 리소그래피를 이용하여 형성된다. 도 2D를 참조로, 나노-임프린트 포토리소그래피는 중간층(210)의 표면(211)상에 레지스트층(220)을 형성하는 단계를 포함한다. 레지스트는 예를 들어 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA) 또는 폴리스틸렌(PS)일 수 있다. 도 2E를 참조로, 몰드(mold)를 이용하여 레지스트층(220)으로 패턴이 임프레션된다. 패턴닝된 레지스트층(220)은 얇은 부분들(221)과 두꺼운 부분들(222)을 포함한다. 다음 패턴닝된 레지스트층(220)은 (예를 들어, 산소 반응성 이온 에칭(RIE)에 의해) 에칭되고, 도 2F에 도시된 것처럼, 중간층(210)의 표면(211)의 부분들(224)을 노출시키기 위해 얇은 부분들(221)을 제거한다. 두꺼운 부분들(222)이 에칭되나, 완전히 제거되지는 않는다. 따라서, 에칭 이후 표면(211) 상에는 레지스트 부분들(223)이 남게된다.

도 2G를 참조로, 중간층(210)의 노출된 부분들이 순차적으로 에칭되어, 중간층(210)에 트렌치(212)가 형성된다. 중간층(210)의 에칭되지 않은 부분들은 지연층(110)의 부분들(112)에 해당한다. 중간층(210)은 예를 들어, 반응성 이온 에칭, 이온 빔 에칭, 스퍼터링 에칭, 화학적 보조 이온 빔 에칭(CAIBE) 또는 습식 에칭을 이용하여 에칭될 수 있다. 중간층(210)의 노출된 부분들은 에칭 방법에 대해 저항성이 있는 재료로 형성되는 에칭 정지층(130)으로 하향 에칭된다. 따라서, 에칭에 의해 형성된 트렌치(212)의 깊이는 부분들(112)의 두께와 동일하다. 트렌치(212)를 에칭한 후, 잔류 레지스트(223)가 부분들(112)로부터 제거된다. 레지스트는 플라즈마 애싱, O<sub>2</sub> 플라즈마 애싱, O<sub>2</sub> RIE, 또는 오존 세정에 의해 솔벤트(예를 들어, 아세톤 또는 알콜과 같은 유기 솔벤트)에서 제품을 린싱함으로써 제거될 수 있다.

도 2I를 참조로, 잔류 레지스트를 제거한 후, 재료가 제품상에 증착되어 트렌치(212)를 채우고 캡층(120)을 형성한다. 채워진 트렌치는 지연층(110)의 부분들(111)에 해당한다. 재료는 스퍼터링, 전자 빔 증발, CVD(예를 들어, 고밀도 CVD) 또는 원자층 증착(ALD)을 포함하는 다양한 방식으로 제품상에 증착될 수 있다. 주목할 것은 동일한 증착 단계 동안 캡층(120)이 형성되고 트렌치(212)가 채워질 때, 부분들(111) 및 캡층(120)이 재료의 연속부로 형성된다는 것이다.

마지막으로, 반사방지 막들(150, 160)이 각각 캡층(120)의 표면(121) 및 기판(140)의 표면(142) 상에 증착된다. 반사방지 막들을 형성하는 재료들은 예를 들어, 스퍼터링, 전자 빔 증발, 또는 ALD에 의해 제품상에 증착될 수 있다.

앞서 언급된 바와 같이, 일부 실시예에서, 지연층(110)의 부분들(111), 캡층(120), 및/또는 반사방지 막들(150, 160)중 하나 또는 둘다는 원자층 증착(ALD)을 이용하여 마련된다. 예를 들어, 도 3을 참조로, ALD 시스템(300)은 나노적층 다층막으로 중간 제품(301)(기판(140), 캡층(130) 및 부분들(112)로 구성)의 트렌치(212)를 채우는데 이용된다. 나노적층 다층막의 증착은 단층으로(monolayer by monolayer) 이루어져, 막들의 조성 및 두께에 대해 상당한 제어를 제공한다. 단층의 증착 동안, 기상 전구체가 챔버에 주입되어 부분들(112)의 노출된 표면, 에칭 정지층 표면(131) 또는 이들 표면 부근에 앞서 증착된 단층들상에 흡착된다. 순차적으로, 흡착된 전구체와 화학적으로 반응하는 반응체가 챔버에 주입되어 원하는 재료의 단층이 형성된다. 표면 상의 화학적 반응의 자기-제한 특성은 증착된 층의 막 두께 및 대면적 균일성의 정확한 제어를 제공할 수 있다. 또한, 각각의 노출된 표면 상으로의 비-방향성 전구체 흡착은, 챔버(110)에 대한 표면 배향과 상관없이, 노출된 표면상에 균일한 재료의 증착을 제공한다. 따라서, 나노적층막의 층들은 중간 제품(301)의 트렌치 형상을 따르게 된다.

ALD 시스템(300)은 매니폴드(330)를 통해 소스들(350, 360, 370, 380, 390)에 접속되는 반응 챔버(310)를 포함한다. 소스들(350, 360, 370, 380, 390)은 공급 라인들(351, 361, 371, 381, 391)을 통해 각각 매니폴드(330)에 접속된다. 밸브들(352, 362, 372, 382, 392)은 각각 소스들(350, 360, 370, 380, 390)로부터의 가스 흐름을 조절한다. 소스들(350, 380)은 각각 제 1 및 제 2 전구체를 포함하는 반면, 소스들(360, 390)은 각각 제 1 반응제 및 제 2 반응제를 포함한다. 소스(370)는 증착 프로세스 동안 전구체 및 반응제가 제품(301)을 향해 챔버(310)로 일정하게 흐르게 하는 반면, 기관으로부터 반응 부산물을 이송한다. 전구체 및 반응제는 매니폴드(330)에서 캐리어 가스와 혼합됨으로써 챔버(310)로 주입된다. 가스들은 배기 포트(345)를 통해 챔버(310)로부터 배기된다. 펌프(340)는 배기 포트(345)를 통해 챔버(310)로부터 가스들을 배기시킨다. 펌프(340)는 튜브(346)를 통해 배기 포트(345)와 접속된다.

ALD 시스템(300)은 챔버(310)의 온도를 제어하는 온도 제어기(395)를 포함한다. 증착 동안, 온도 제어기(395)는 실온 이상으로 제품(301)의 온도를 상승시킨다. 일반적으로, 온도는 전구체와 반응제 간의 급속 반응이 용이하도록 충분히 높아야 하나, 기관을 손상시키지는 않아야 한다. 일부 실시예에서, 제품(301)의 온도는 약 500°C 이하(예를 들어, 약 400°C 이하, 약 300°C 이하, 약 200°C 이하, 약 150°C 이하, 약 125°C 이하, 약 100°C 이하)일 수 있다.

통상적으로, 온도는 제품(301)의 상이한 부분들 사이에서 크게 변하지 않아야 한다. 큰 온도 변화는 기관의 상이한 부분들에서 전구체와 반응제 간의 반응물의 변화를 야기시킬 수 있어, 증착된 층들의 두께 및/또는 모폴러지(morphology)의 변화가 야기될 수 있다. 일부 실시예에서, 증착 표면의 상이한 부분들 간의 온도는 약 40°C 이하(예를 들어, 약 30°C 이하, 약 20°C 이하, 약 10°C 이하, 약 5°C 이하)로 변할 수 있다.

증착 프로세스 파라미터들은 전자 제어기(399)에 의해 제어 및 동기화된다. 전자 제어기(399)는 온도 제어기(395); 펌프(340); 및 밸브들(352, 362, 372, 382, 392)과 연통된다. 전자 제어기(399)는 사용자 인터페이스를 포함하며, 작업자는 증착 프로세스 파라미터를 설정하고, 증착 프로세스를 모니터링하고 시스템(300)과 상호작용할 수 있다.

도 4를 참조로, ALD 프로세스는 시스템(300)이 소스(350)로부터의 제 1 전구체를 소스(370)로부터의 캐리어 가스와 혼합하여 챔버(310) 속으로 주입하면서 개시된다(410). 제 1 전구체의 단층은 제품(301)의 노출된 표면에 흡착되고, 잔류 전구체는 챔버를 통한 캐리어 가스의 연속적 흐름에 의해 챔버(310)로부터 정화된다(430). 다음, 시스템은 소스(360)로부터의 제 1 반응제를 챔버(310) 속으로 주입한다(440). 제 1 반응제는 제 1 전구체의 단층과 반응하여 제 1 재료의 단층을 형성한다. 제 1 전구체에 대해, 캐리어 가스의 흐름은 챔버(450)로부터의 잔류 반응제를 정화시킨다(450). 단계들(420 내지 460)은 제 1 재료층이 원하는 두께에 도달할 때까지 반복된다(460).

막들이 단일 재료층인 실시예에서, 제 1 재료층이 원하는 두께에 도달하면(470) 프로세스는 중단된다. 그러나, 나노적층막에 대해, 시스템은 매니폴드(330)를 통해 챔버(310)로 제 2 전구체를 주입한다(480). 제 2 전구체의 단층은 제 1 재료의 증착된 층의 노출된 표면에 흡착되고 캐리어 가스는 잔류 전구체의 챔버를 정화시킨다(490). 다음 시스템은 매니폴드(330)를 통해 소스(380)로부터 챔버(310)로 제 2 반응제를 주입한다. 제 2 반응제는 제 2 전구체의 단층과 반응하여, 제 2 재료의 단층을 형성한다(500). 챔버를 통한 캐리어 가스의 흐름은 잔류 반응제를 정화시킨다(510). 단계들(480 내지 510)은 제 2 재료층이 원하는 두께에 도달할 때까지 반복된다(520).

제 1 및 제 2 재료들의 추가 층들이 단계들(520, 530)을 반복함으로써 증착된다. 일단 원하는 개수의 층들이 형성되면(예를 들어, 트렌치가 충전되고/충진되거나 캡층이 원하는 두께를 가지면), 프로세스는 종료되고(540), 코팅된 제품은 챔버(310)로부터 제거된다.

전구체가 상기 개시된 프로세스의 각각의 주기 동안 반응제 보다 먼저 챔버에 주입되었지만, 다른 실시예에서, 반응제가 전구체보다 먼저 주입될 수 있다. 전구체 및 반응제가 주입되는 순서는 노출된 표면과의 상호작용에 따라 선택될 수 있다. 예를 들면, 전구체와 표면 간의 결합 에너지가 반응제와 표면 간의 결합 에너지보다 높은 경우, 반응제 보다 먼저 전구체가 주입될 수 있다. 선택적으로, 반응제의 결합 에너지가 더 높은 경우, 전구체 보다 먼저 반응제가 주입될 수 있다.

일반적으로 각각의 단층의 두께는 다수의 요인에 따라 좌우된다. 예를 들면, 각각의 단층의 두께는 증착되는 재료 형태에 따라 좌우된다. 큰 분자로 이루어진 재료들은 작은 분자로 이루어진 재료들에 비해 두꺼운 단층을 형성할 수 있다.

제품 온도는 단층 두께에 영향을 줄 수 있다. 예를 들면, 소정의 전구체에 대해, 보다 높은 온도는 증착 주기 동안 표면 상에 전구체의 흡착을 감소시킬 수 있어, 기관 온도가 낮을 경우 형성되는 것보다 얇은 단층을 형성하게 된다.

전구체의 형태 및 반응제의 형태, 및 전구체 및 반응제의 도즈량은 단층 두께에 영향을 줄 수 있다. 소정 실시예에서, 재료의 단층은 특정한 전구체로 증착될 수 있으나, 상이한 반응제를 이용하여, 각각의 조합에 대해 상이한 두께의 단층을 형성할 수 있다. 유사하게, 상이한 전구체로 형성된 재료의 단층들은 상이한 전구체들에 대해 상이한 단층 두께를 야기할 수 있다.

단층 두께에 영향을 미칠 수 있는 다른 요인들에 대한 예로는 정화 기간, 코팅된 표면에서 전구체의 잔류 시간, 반응기 압력, 반응기의 물리적 구조, 및 증착된 재료상의 부산물로부터의 영향 가능성이 포함된다. 부산물들이 막 두께에 영향을 미칠 수 있는 예로는 부산물이 증착된 재료를 에칭할 경우이다. 예를 들어, HCl은 반응제로서  $TiCl_4$  전구체 및 물을 이용하여  $TiO_2$ 를 증착할 때의 부산물이다. HCl은 배출되기 이전에 증착된  $TiO_2$ 를 에칭할 수 있다. 에칭은 증착된 단층의 두께를 감소시켜, 기관의 소정 부분들이 다른 부분들 보다 길게 HCl에 노출될 경우(예를 들어, 배출구에 근접한 기관 부분들은 배출구로부터 먼 기관 부분들 보다 오래 부산물에 노출될 수 있다) 기관에 대해 가변적인 단층 두께를 야기할 수 있다.

통상적으로, 단층 두께는 약 0.1nm 내지 약 5nm 사이이다. 예를 들어, 증착된 하나 이상의 단층들의 두께는 약 0.2nm 이상(예를 들면, 약 0.3nm 이상, 약 0.5nm 이상)일 수 있다. 일부 실시예에서, 증착된 하나 이상의 단층들의 두께는 약 3nm 이하(예를 들어, 약 2nm, 약 1 nm 이하, 약 0.8nm 이하, 약 0.5nm 이하)일 수 있다.

증착된 단층의 평균 두께는 재료층을 제공하도록 기관상에 예정된 개수의 단층들을 증착함으로써 결정될 수 있다. 순차적으로, 증착된 층의 두께는 (예를 들어, 타원계, 전자 현미경, 또는 소정의 다른 방법에 의해) 측정된다. 증착된 단층의 평균 두께는 측정된 층 두께가 증착 주기의 수로 분할됨에 따라 결정될 수 있다. 증착된 단층의 평균 두께는 이론적인 단층 두께에 해당할 수 있다. 이론적 단층 두께는 단층을 구성하는 분자의 특정 치수로 간주되며, 이는 재료의 벌크 밀도 및 분자의 분자량으로부터 계산될 수 있다. 예를 들어,  $SiO_2$ 에 대한 단층 두께의 추정치는  $\sim 0.37nm$ 이다. 상기 두께는 큐빅 센티미터 당 2.0 그램의 밀도를 가지는 비정질  $SiO_2$ 의 화학식 단위(formula unit)의 세제곱근으로서 추정된다.

소정 실시예에서, 증착된 단층의 평균 두께는 이론적 단층 두께의 분률(fraction)(예를 들어, 이론적 단층 두께의 약 0.2, 이론적 단층 두께의 약 0.3, 이론적 단층 두께의 약 0.4, 이론적 단층 두께의 약 0.5, 이론적 단층 두께의 약 0.6, 이론적 단층 두께의 약 0.7, 이론적 단층 두께의 약 0.8, 이론적 단층 두께의 약 0.9)에 해당할 수 있다. 선택적으로, 증착된 단층의 평균 두께는 이론적 단층 두께의 약 30 배(예를 들어, 이론적 단층 두께의 약 2배 이상, 이론적 단층 두께의 약 3배 이상, 이론적 단층 두께의 약 5배 이상, 이론적 단층 두께의 약 8배 이상, 이론적 단층 두께의 약 10배 이상, 이론적 단층 두께의 약 20배 이상)에 이르는 하나 이상의 이론적 단층 두께에 해당할 수 있다.

증착 프로세스 동안, 챔버(310) 압력은 실질적으로 일정한 압력으로 유지되거나 또는 변할 수 있다. 일반적으로 챔버를 통한 캐리어 가스의 유속을 제어하는 것은 압력이다. 일반적으로, 압력은 전구체가 화학적으로 흡착된 층으로 표면을 포화시킬 정도로 충분히 높아야 하며, 반응제는 전구체에 의해 남아있는 표면 종과 완전히 반응하고 전구체의 다음 주기한 반응 사이트들(sites)을 남겨두어야 한다. 챔버 압력이 너무 낮은 경우(전구체 및/또는 반응제의 도즈량이 너무 낮은 경우 야기될 수 있음), 및/또는 펌프 속도가 너무 높은 경우, 표면은 전구체에 의해 포화될 수 없으며 반응은 자체 제한되지 않을 수 있다. 이는 증착된 층들에서의 불균일한 두께를 야기시킬 수 있다. 또한, 챔버 압력은 전구체 및 반응제의 반응에 의해 생성된 반응 부산물들의 제거를 방해할 정도로 높지 않아야 한다. 잔류 부산물들은 다음 전구체 도즈가 챔버로 주입될 때 표면 포화를 방해할 수 있다. 소정 실시예에서, 챔버 압력은 약 0.01 Torr 내지 약 100 Torr 사이(예를 들어, 약 0.1Torr 내지 약 20Torr 사이, 약 0.5Torr 내지 10 Torr 사이, 약 1Torr)로 유지된다.

일반적으로, 각각의 주기 동안 주입되는 전구체 및/또는 반응제의 양은 챔버 크기, 노출된 기관 표면적, 및/또는 챔버 압력에 따라 선택될 수 있다. 각각의 주기 동안 주입되는 전구체 및/또는 반응제의 양은 실험적으로 결정될 수 있다.

각각의 주기 동안 주입되는 전구체 및/또는 반응제의 양은 밸브(352, 362, 382, 392)의 개폐 타이밍에 의해 조절될 수 있다. 주입되는 전구체 및 반응제의 양은 각각의 밸브가 각각의 주기를 개방하는 시간량에 해당한다. 밸브들은 기관 표면의 적절한 단층 커버리지를 제공하도록 충분한 전구체를 주입하기 위해 충분히 오래동안 개방되어야 한다. 유사하게, 각각의 주기 동안 주입되는 반응제 양은 노출된 표면 상에 증착되는 실질적으로 모든 전구체와 반응하도록 충분해야 한다. 필요한 것보다 많은 전구체 및/또는 반응제 주입은 주기 시간 및/또는 폐기 전구체 및/또는 반응제를 증가시킬 수 있다. 일부 실시예에서, 전구체 도즈는 각각의 주기에 대해 약 0.1 초 내지 약 5초(예를 들어, 약 0.2 초 이상, 약 0.3초 이상, 약 0.4초 이



상, 약 0.5초 이상, 약 0.6초 이상, 약 0.8초 이상, 약 1초 이상) 사이 동안 적절한 밸브의 개방에 해당한다. 유사하게, 반응제 도르는 각각의 주기에 대해 약 0.1 초 내지 약 5초(예를 들어, 약 0.2 초 이상, 약 0.3초 이상, 약 0.4초 이상, 약 0.5초 이상, 약 0.6초 이상, 약 0.8초 이상, 약 1초 이상) 사이 동안 적절한 밸브의 개방에 해당한다.

전구체와 반응제 도르들 사이의 시간은 정화에 해당한다. 각각의 정화 기간은 챔버로부터 잔류 전구체 또는 반응제를 제거하도록 충분히 길어야 하지만, 만약 이 기간이 너무 길다면 이는 장점 없이 주기 시간을 증착시킬 수 있다. 각각의 주기에서 상이한 정화 기간들은 동일하거나 또는 변할 수 있다. 소정 실시예에서, 정화 기간은 약 0.1초 이상(예를 들어, 약 0.2초 이상, 약 0.3초 이상, 약 0.4초 이상, 약 0.5초 이상, 약 0.6초 이상, 약 0.8초 이상, 약 1초 이상, 약 1.5초 이상, 약 2초 이상)이다. 일반적으로, 정화 기간은 약 10초 이하(예를 들어, 약 8초 이하, 약 5초 이하, 약 4초 이하, 약 3초 이하)이다.

전구체의 연속적 도르 주입 사이의 시간이 주기 시간에 해당한다. 주기 시간은 상이한 재료들의 단층 증착 주기와 동일하거나 상이할 수 있다. 또한, 주기 시간은 상이한 전구체 및/또는 상이한 반응제를 사용하지만, 동일한 재료의 단층 증착 주기와 동일하거나 상이할 수 있다. 소정 실시예에서, 주기 시간은 약 20초 이하(예를 들어, 약 15초 이하, 약 12초 이하, 약 10초 이하, 약 8초 이하, 약 7초 이하, 약 6초 이하, 약 5초 이하, 약 4초 이하, 약 3초 이하)일 수 있다. 주기 시간 감소는 증착 프로세스의 시간을 감소시킬 수 있다.

일반적으로 전구체들은 ALD 프로세스와 호환되고, 반응제와의 반응에 따라 원하는 증착 재료를 제공하도록 선택된다. 또한, 전구체 및 재료들은 이들이 증착되는 재료(예를 들어, 기판 재료들 또는 이전에 증착된 층을 형성하는 재료)와 호환되어야 한다. 전구체들의 예로는  $TiCl_4$ ,  $SiCl_4$ ,  $SiH_2Cl_2$ ,  $TaCl_3$ ,  $HfCl_4$ ,  $InCl_3$  및  $AlCl_3$ 와 같은 염화물들(예를 들어, 금속 염화물들)이 포함된다. 소정 실시예에서, 유기 화합물이 전구체(예를 들어, Ti-에타산화물(ethaOxide), Ta-에타산화물, Nb-에타산화물)로서 사용될 수 있다. 유기 화합물 전구체의 다른 예로는  $(CH_3)Al$ 이 있다.

일반적으로 반응제는 ALD 프로세스와 호환되도록 선택되며 전구체 및 재료의 화학제에 기초하여 선택된다. 예를 들어, 재료가 산화물인 경우, 반응제는 산화제일 수 있다. 적절한 산화제의 예로는 물, 과산화수소, 산소, 오존,  $(CH_3)Al$  및 다양한 알콜들(예를 들어, 에틸 알콜  $CH_3OH$ )이 포함된다. 예를 들어, 물은  $TiO_2$ 를 얻기 위한  $TiCl_4$ ,  $Al_2O_3$ 를 얻기 위한  $AlCl_3$ ,  $Ta_2O_5$ 를 얻기 위한 Ta-에타산화물,  $Nb_2O_5$ 를 얻기 위한 Nb-에타산화물,  $HfO_2$ 를 얻기 위한  $HfCl_4$ ,  $ZrO_2$ 를 얻기 위한  $ZrCl_4$ , 및  $In_2O_3$ 를 얻기 위한  $InCl_3$ 와 같은 전구체들을 산화시키기에 적절한 반응제이다. 각각의 경우, HCl은 부산물로서 생성된다. 일부 실시예에서,  $(CH_3)_3Al$ 은  $SiO_2$ 를 제공하도록 실라놀(silanol)을 산화시키는데 이용될 수 있다.

소정 실시예가 개시되었지만, 일반적으로 본 발명이 이렇게 제한되는 것은 아니다. 예를 들어, 광학적 지연기(100)(도 1 참조)는 상이한 층들의 특정한 구성을 나타내지만, 다른 실시예들은 추가의 층 또는 보다 적은 층들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 소정 실시예에서 광학적 지연기들이 반사방지막들(150, 160) 중 하나 또는 둘다를 포함할 필요는 없다. 일부 실시예에서, 광학적 지연기들은 추가의 반사방지막들(예를 들어, 기관층(140)과 에칭 정지층(130) 사이)을 포함할 수 있다. 실시예들은 반사방지막들(150, 160)중 하나 또는 둘다 상에 하드코팅층(예를 들어, 하드코팅 폴리머)와 같은 보호층들을 포함할 수 있다. 소정 실시예에서, 광학적 지연기들이 캡층을 포함할 필요는 없다. 예를 들어, 부분들(112) 사이의 트렌치들을 채우는 동안 형성되는 캡층은 부분들(111)이 형성되면 제거될 수 있다. 캡층은 예를 들어 화학적 기계적 연마 또는 에칭에 의해 제거될 수 있다.

도 5를 참조로, 일부 실시예에서, 광학적 지연기(600)는 기관 속으로 직접 트렌치들을 부분적으로 에칭하고, 순차적으로 연속적인 지연층(610)을 제공하도록 트렌치들을 채움으로써 형성된다. 또한 광학적 지연기(600)는 캡층(620), 및 오리지널 기관층의 언더에칭부에 상응하는 베이스층(630)을 포함한다. 반사방지막(640)은 캡층(602)의 표면(621)상에 증착되고, 제 2 반사방지막(650)은 베이스층(630)의 표면(631)에 증착된다.

소정 실시예에서, 광학적 지연기는 하나 이상의 지연층으로 형성될 수 있다. 예를 들어, 도 6을 참조로, 광학적 지연기(800)는 4개의 지연층(810, 820, 830, 840)을 포함한다. 또한 광학적 지연기(800)는 기관층(801), 에칭 정지층(805), 및 캡층(811, 821, 831, 841)을 포함한다.

지연층(810, 820, 830, 840)은 파장( $\lambda$ )을 갖는 광범에 대해 동일한 지연을 갖거나 또는 상이한 지연을 가질 수 있다.

광학적 지연기(800)는 본 명세서에서 개시된 방법들을 이용하여 마련될 수 있다. 예를 들어, 각각의 지연층 및 그의 해당 캡층은 에칭 정지층(805)(예를 들어, 지연층(810)) 또는 이전에 증착된 캡층(예를 들어, 지연층(820, 830, 840)) 상에 증착층을 증착 및 에칭한 다음, 에칭된 트렌치를 채우고 캡층을 형성하도록 재료들을 증착함으로써 형성될 수 있다.

일부 실시예에서, 추가의 예칭 정지층들은 순차적인 지연층을 형성하기 이전에 캡층상에 증착될 수 있다. 물론, 예를 들어 반사방지막들과 같은 다른 층들이 포함될 수 있다.

일반적으로, z-방향을 따르는 지연층들(810, 820, 830, 840)의 두께, 이들 부분들의 폭(x-방향을 따르는), 및 이들을 형성하는데 이용되는 재료들은 요구에 따라 변할 수 있다. 일부 실시예에서, 지연층(810, 820, 830, 840)은 동일한 반면, 다른 실시예에서, 하나 이상의 지연층들은 상이할 수 있다(예를 들어, 다른 지연층들에 대해 하나 이상의 상이한 재료들로 구성되며 상이한 두께 및/또는 상이한 복굴절률을 가진다).

또한, 광학적 지연기(800)는 일반적으로 4개의 지연층들을 포함하지만, 실시예들은 4개 이상 또는 4개 미만의 지연층들을 포함할 수 있다. 광학적 지연기들은 2개의 지연층, 3개의 지연층 또는 5개 이상의 지연층(예를 들어, 약 10개 이상의 지연층, 약 20개 이상의 지연층, 약 30개 이상의 지연층, 약 100개 이상의 지연층, 약 1000개 이상의 지연층)을 포함할 수 있다.

하나 이상의 지연층을 포함하는 광학적 지연기를 통해 전파되는 파장( $\lambda$ )의 광에 대한 전체 위상 지연은 비교적 클 수 있다. 예를 들어, 광학적 지연기는  $\lambda$ 에서 약  $2\pi$  이상(예를 들어, 약  $3\pi$  이상, 약  $4\pi$  이상, 약  $5\pi$  이상, 약  $8\pi$  이상, 약  $10\pi$  이상, 약  $12\pi$  이상, 약  $15\pi$  이상, 약  $20\pi$  이상, 약  $30\pi$  이상)의 위상 지연을 가질 수 있다.

하나 이상의 지연층을 포함하는 광학적 지연기의 전체 두께(z-방향)는 약  $200\mu\text{m}$  이상(예를 들면, 약  $500\mu\text{m}$  이상, 약  $800\mu\text{m}$  이상, 약  $1,000\mu\text{m}$  이상, 약  $1,500\mu\text{m}$  이상, 약  $2,000\mu\text{m}$  이상, 약  $5,000\mu\text{m}$  이상)일 수 있다.

소정 실시예에서, 광학적 지연기들은 상이한 경로를 따라 지연기들이 배출하는 정상 및 비정상 광선으로 비정상적으로 입사하는 광(예를 들어, z-방향을 따라 전파되지 않는 광)을 분할하는 광학적 워크-오프(walk-off) 결정으로서 사용될 수 있다. 이러한 광학적 워크-오프 결정들은 재질단되고 웨지(wedge)로 연나될 수 있다. 워크-오프 결정들은 텔레콤 아이솔레이터, 셔클레이터, 또는 인터리버(interleaver)와 같은 다양한 분야, 및/또는 예를 들어 광학적 저역 통과 필터와 같은 컨서머 분야에 이용될 수 있다.

광학적 지연기들의 실시예들이 직사각형 회절격자 프로파일을 갖는 형태 복굴절층을 포함하는 것으로 개시되었지만, 다른 실시예들도 가능하다. 예를 들어, 일부 실시예에서, 형태 복굴절층의 회절격자 프로파일은 사인곡선 형상을 갖는 곡선일 수 있다. 또다른 예에서, 회절격자는 삼각형 또는 톱니형 프로파일을 가질 수 있다.

또한, 광학적 지연기들의 형태 복굴절층들에서 회절격자 주기는 일정한 것으로 개시되었지만, 소정 실시예에서 회절격자 주기는 변할 수 있다. 일부 실시예에서, 형태 복굴절층의 부분들은 비-주기적으로 배열될 수 있다.

본 명세서에서 개시된 광학적 지연기들은 수동형 광소자(예를 들어 편광기) 및 능동형 광소자(예를 들어, 액정 디스플레이)를 포함하는 광소자들에 통합될 수 있다. 광학적 지연기들은 모놀리틱 소자를 제공하는 소자에 통합되거나, 또는 소자의 다른 부품들과 분리되어 배열될 수 있다.

도 7을 참조로, 광학적 지연기에 통합되는 능동 광소자의 예로는 편광기(660)가 있다. 편광기(660)는 편광막(670) 및 광학적 지연기(680)를 포함한다. 편광막(670)은 시트 편광기(예를 들어, 요오드-스테인(iodine-stained) 폴리비닐 알콜) 또는 "Multilayer Structures for Polarization and Beam Control"이란 명칭의 미국 특허 출원 번호 No.10/644,643호 및 "Method and System for Providing Beam for Polarization"이란 명칭의 PCT 특허 출원 번호 No. PCT/US03/26024호에 개시된 나노-구조화 편광기일 수 있으며, 상기 문헌들의 내용은 본 명세서에서 참조된다.

편광막(670)은 축(661)을 따라 전파되는 편광기(660) 상에 입사하는 광을 선형으로 편광시킨다. 다음 광학적 편광기(680)는 선형으로 편광된 광을 지연시켜, 원하는 타원형 배출 편광기(660)에 편광된 광을 제공한다. 타원형의 배출 광은 원하는 지연량(amount of retardation)을 제공하도록 광학적 지연기(680)의 지연층과 관련된 파라미터들을 선택함으로써 원하는대로 변할 수 있다. 예를 들어, 배출 광은 원형으로 편광되거나 또는 타원형으로 편광될 수 있다.

도 8을 참조로, 광학적 지연기가 통합되는 능동 광소자의 예로는 기관(예를 들어, 실리콘 기관), 반사 전극(720), 액정(예를 들어, 네마틱 또는 강유전성 액정) 층(730), (예를 들어, 인듐 주석 산화물로 형성된)투명 전극(740), 광학적 지연기(750), 및 편광막(760)을 포함하는 액정 디스플레이(700)가 있다. 광학적 지연기(750)는 편광막(760)을 통해 전송되는 편광된 광을 지연시킨다. 이러한 광은 전극(720)으로부터 반사되어, 액정 층(730)을 통해 전파된다. 반사된 광은 초 시간으로 편광막(760)상에 충돌하기 이전에 광학적 지연기(760)에 의해 다시 지연된다. 전극(720, 740)에 대해 인가되는 전압에

따라, 반사된 광은 편광막(760)에 의해 흡수되거나 투과되어, 각각 다크 픽셀(dark pixel) 또는 브라이트 픽셀(bright pixel)에 해당된다. 선택적으로, LCD(700)는 컬러(colored) 이미지를 제공하는 가시 스펙트럼에서 소정 파장을 흡수하는 컬러 필터를 포함한다. LCD(700)는 반사 디스플레이인 반면, 본 명세서에서 개시된 광학적 지연기는 투과형 디스플레이 또는 반투과형(transflective) 디스플레이와 같이 다른 형태의 디스플레이에 사용될 수 있다.

하기의 실시예들은 예시적인 것으로 이로 제한되는 것은 아니다.

### 실시예들

광학적 지연기들이 다음과 같이 마련된다. Abrisa Corporation(Santa Paula, CA)로부터 입수되는 0.5mm 두께의 BK7 웨이퍼(4인치 직경)는  $H_2O:H_2O_2:NH_4OH$  용액으로 불용해성 유기 오염물을 제거하고,  $H_2O:H_2O_2:HCl$  용액을 이용하여 이온 및 중금속 원자 오염물을 제거함으로써 세정된다. 이후, 웨이퍼는 이소프로필 알콜 및 탈이온수로 린스처리되고 및 스핀 건조된다.

서브-과장 회절격자는 다음과 같이 BK 웨이퍼로 에칭된다. BK7 웨이퍼는 약 115°C에서 약 1시간 동안 핫 플레이트 상에서 베이킹되는 PMMA(Sigma-Aldrich(St.Louis,MO)로부터 구입되는 15K 중량의 분자량)의 얇은(~180nm)층으로 스핀 코팅된다. 베이킹 이후, 레지스트는 200nm의 기간 및 약 110nm의 깊이를 가지는 회절격자 몰드, 및 약 100nm의 회절격자 라인폭으로 임프린트된다. 몰드는 0.5mm 두께의 실리콘 기판 상에 패터닝된  $SiO_2$ 층(약 200nm 두께)을 포함한다. 몰드는 J.Vac.Sci.Technol., B17, 2957 (1999)(J.Wang, Z.Yu 및 S.Y. Chou)에 개시된 방법들을 사용하여 마련된다. 임프린팅 이후, 변형된 UV 경화가능 레지스트는 BK7 기판 측면을 통해 UV 광에 노출됨으로써 완전히 경화된다. 다음 몰드는 레지스트로부터 분리되며, 몰드 프로파일의 네거티브 패턴을 갖는 마스크가 남게된다. 마스크는 BK7 웨이퍼가 마스크의 리세스 부분에 노출될 때까지  $O_2$  RIE에 의해 에칭된다. 이러한 에칭은 플라즈마-썸(plasma-therm) 790(Unaxis Inc.(St. Petersburg, FL)로부터 입수가 가능)을 이용하여 수행된다. 에칭 동안의 압력은 4mtorr이다. 전력은 70W로 설정되며 에칭 동안 산소 유속은 10sccm이다. BK7 웨이퍼가 노출되도록 에칭되는 레지스트의 전체 두께는 약 120nm이다.

마스크를 에칭한 후, 약 50nm의 Cr이 웨이퍼 법선으로부터 빔각으로 고진공(즉, 약  $5 \times 10^{-6}$  torr)에서 e-빔 증발에 의해 남아있는 레지스트/노출된 BK7 웨이퍼상에 증착된다. 빔각은 약 65도이다. Cr은 남아있는 마스크 라인들의 상부 및 측면 상에 증착되어 BK7의 에칭을 위한 하드 마스크를 제공한다. Cr 증착 이후, Cr에 의해 커버되지 않은 임의의 노출된 레지스트를 에칭하기 위해  $O_2$  RIE가 다시 이용된다.  $CHF_3$  RIE가 다시 사용되어 웨이퍼의 서브과장 회절격자를 형성하도록 BK7 웨이퍼 표면의 노출된 부분들을 에칭된다. BK7은 플라즈마-썸(plasma-therm) 720을 이용하여 에칭된다. 챔버 압력은 약 5mTorr이고, 전력은 약 100W이고, 각각 10sccm 및 1sccm의  $CHF_3$  및  $O_2$ 가 사용된다. 약 630nm의 깊이를 가지는 100nm 폭의 트렌치가 BK7 웨이퍼로 에칭된다. BK7 에칭 이후, 약 30 분 동안 CR-7 Cr 에천트(Cyantek(Fremont, CA)로부터 입수됨)에 웨이퍼를 침지시킴으로써 Cr이 제거된다. 나머지 레지스트는  $O_2$  RIE에 의해 순차적으로 제거된다.

트렌치들은  $TiO_2$  및  $SiO_2$ 로 이루어진 나노적층 재료로 채워진다. 나노적층 재료는 Planar Systems, Inc.(Beaverton, OR)으로부터 입수되는 P-400A ALD 장치를 이용하여 수행되는 ALD에 의해 증착된다. 나노적층물을 증착하기 이전에, 에칭된 기판은 약 3 시간 동안 ALD 챔버 내에서 300°C로 가열된다. 챔버는 질소 가스로 플라싱되며 약 2SLM으로 흘러 약 0.75Torr로 챔버 압력이 유지된다.  $TiO_2$  전구체는 약 140°C로 가열되는 Ti-에타산화물이다.  $SiO_2$  전구체는 약 110°C로 가열되는 실라놀이다. 이들의 전구체에 대해, 사용되는 반응제는 약 13°C로 유지되는 물이다. Ti-에타산화물 및 실라놀은 99.999% 등급의 순도를 가지며, 이는 Sigma-Aldrich(St.Louis, MO)로부터 입수된다. 나노적층물은  $TiO_2$ 의 10개 단층들을 증착하고, 이어서  $SiO_2$ 의 단일의 단층을 증착하는 주기를 반복함으로써 형성된다.  $TiO_2$  단층을 증착하기 위해, 2초 동안 물이 챔버에 주입되고, 이어서 2 초 동안 질소 정화가 이루어진다. 다음 챔버에 Ti-에타산화물이 주입되고, 이어서 추가 2초 동안 질소 정화가 이루어진다.  $SiO_2$  단층들은 1초 동안 ALD 챔버에 물을 주입하고, 이어서 2초 동안 질소 정화를 수행함으로써 증착된다. 실라놀이 1초 동안 주입된다. 다음 챔버는 다음 반응제 펄스 이전에 질소로 3초 동안 정화된다. 나노 결정물의 굴절률은 평탄 클래스 기판상에 마련된 것과 유사하게 나노적층막의 측정치로부터 결정됨에 따라 632nm에서 약 1.88인 것으로 추정된다.

광학적 지연기의 지연은 551nm의 파장에서 23.85nm인 M-2000V<sup>®</sup> 분광타원해석기(J.A.Woollam Co., Inc.(Lincoln, NE)로부터 상업적으로 입수가 가능함)를 이용하여 측정된다.

채워지지 않은 및 채워진 회절격자들은 LEO 열-방출 스캐닝 전자 현미경을 이용하여 수행되는 스캐닝 전자 현미경검사를 이용하여 조사된다. 이러한 조사를 수행하기 위해, 샘플은 Au의 얇은층으로 쪼개져(cleaved) 코팅된다. 다음 쪼개진 인터페이스의 단면이 관찰된다. 도 9A 및 도 9B는 트렌치를 채우기 이전 및 이후의 SEM 현미경도를 나타낸다.

다른 실시예들이 하기의 청구항들 범주내에 제공된다.

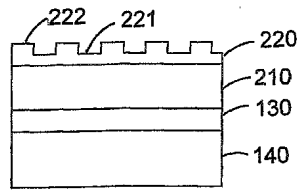
### 도면의 간단한 설명

- 도 1은 광학적 지연기에 대한 실시예의 개략도,
  - 도 2A-2J는 도 1에 도시된 광학적 지연기의 제조 단계를 나타내는 도면,
  - 도 3은 원자층 증착 시스템의 개략도,
  - 도 4는 원자층 증착을 이용하여 나노적층물을 형성하는 단계들을 나타내는 흐름도,
  - 도 5는 광학적 지연기에 대한 또다른 실시예의 단면도,
  - 도 6은 다수의 지연층들을 포함하는 광학적 지연기의 일 실시예의 단면도,
  - 도 7은 광학적 지연기가 통합된 편광기의 단면도,
  - 도 8은 광학적 지연기가 통합된 액정 디스플레이의 단면도,
  - 도 9A는 트렌치를 채우기 이전에 서브-파장 회절격자의 스캐닝 전자 현미경도,
  - 도 9B는 트렌치를 채운 후 도 9A에 도시된 서브-파장 회절격자의 스캐닝 전자 현미경도.
- 다양한 도면들에 있어서 동일한 참조부호는 동일한 부재를 나타낸다.

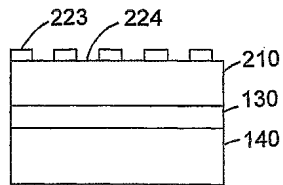
### 도면



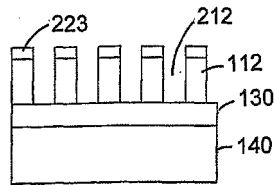
도면2E



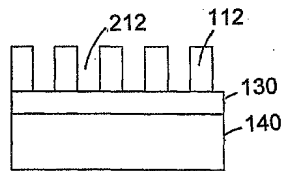
도면2F



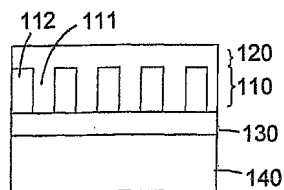
도면2G



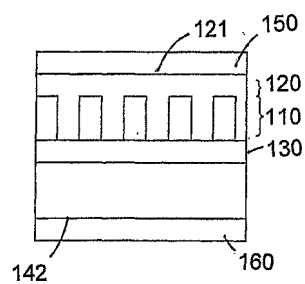
도면2H



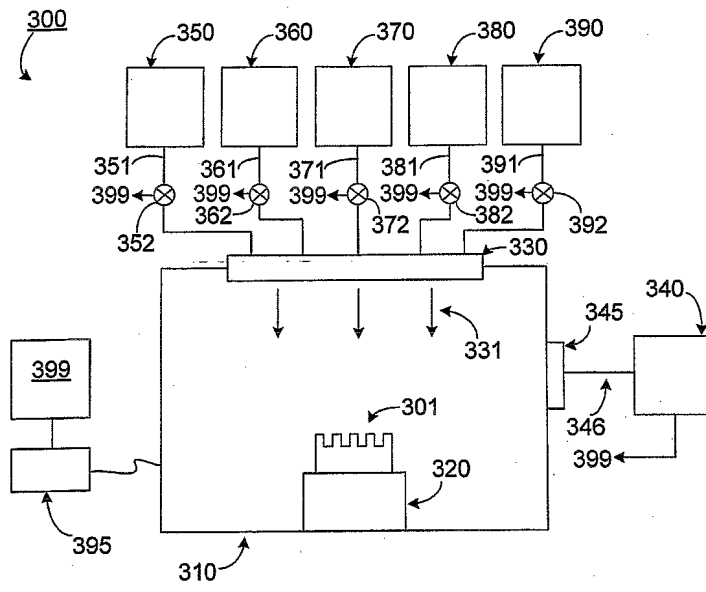
도면2I



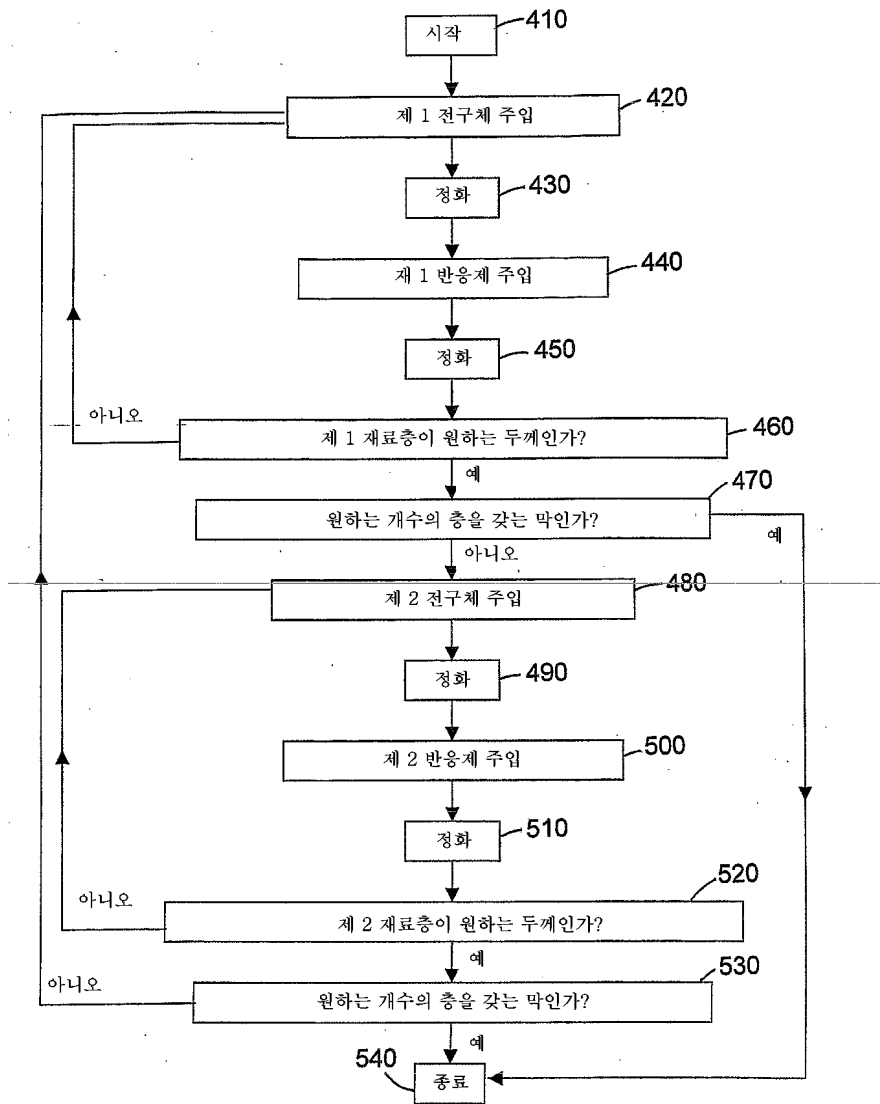
도면2J



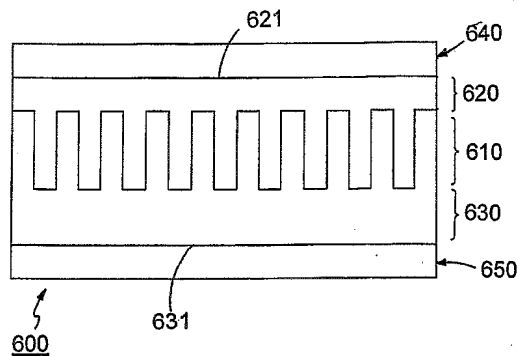
도면3



도면4

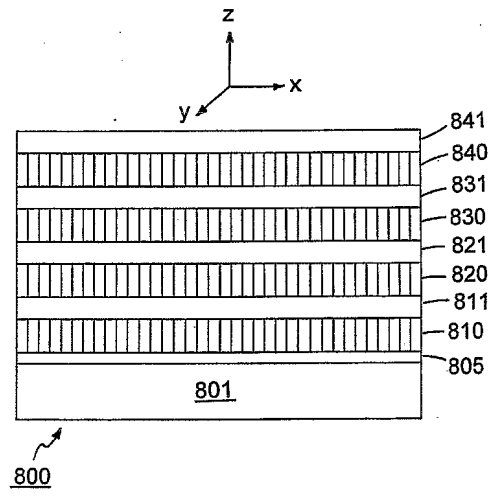


도면5

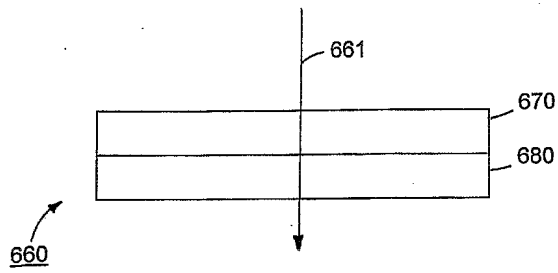




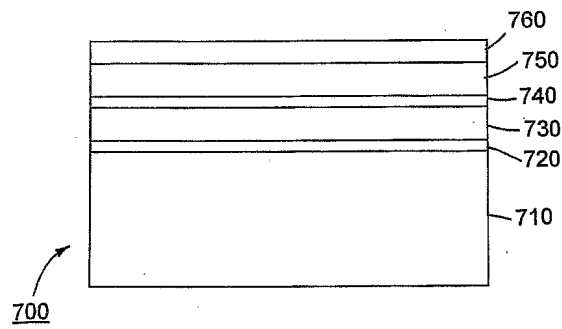
도면6



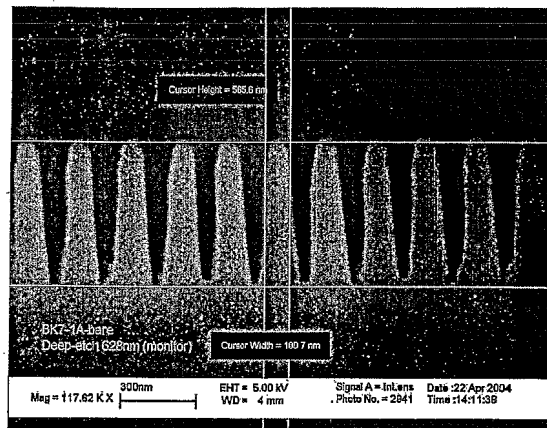
도면7



도면8



도면9A



도면9B

