(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년10월26일
(11) 등록번호 10-1912133
(24) 등록일자 2018년10월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/027 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-7010473
(22) 출원일자(국제) 2011년09월23일
심사청구일자 2016년08월18일
(85) 번역문제출일자 2013년04월24일
(65) 공개번호 10-2014-0004638
(43) 공개일자 2014년01월13일
(86) 국제출원번호 PCT/US2011/052981
(87) 국제공개번호 WO 2012/044536
국제공개일자 2012년04월05일
(30) 우선권주장
12/896,036 2010년10월01일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020080002957 A
KR1020080067584 A

(73) 특허권자
베리안 세미콘덕터 이큅먼트 어소시에이츠, 인크.
미국 01930 매사추세츠주 글로스터 도리 로드 35
(72) 발명자
고데, 루도빅
미국 매사추세츠 02108 보스톤 비콘 스트리트 66
마틴, 패트릭, 엠.
미국 01938 매사추세츠 입스위치 타운 팜 로드 116
(74) 대리인
특허법인에이아이피

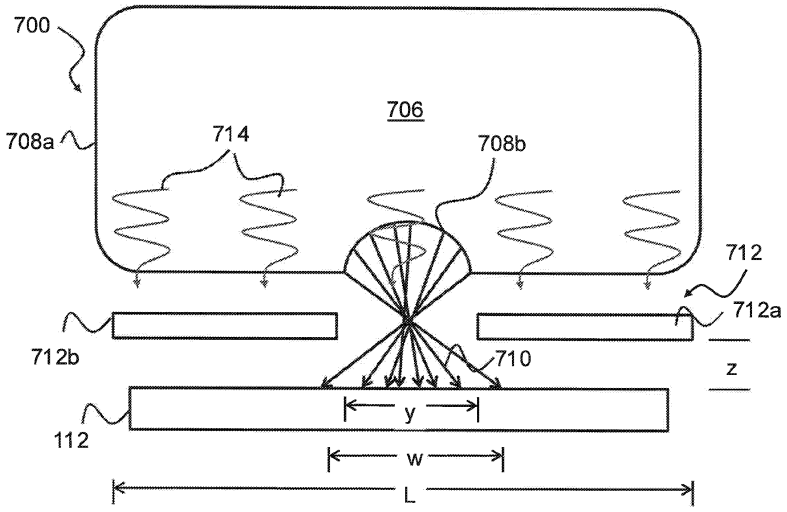
전체 청구항 수 : 총 17 항 심사관 : 이석주

(54) 발명의 명칭 **레지스터 피처의 표면 거칠기를 감소시키는 방법, 패턴화된 레지스터 피처의 거칠기를 변경하는 방법, 레지스터 피처를 프로세싱하기 위한 시스템**

(57) 요 약

기판상에 배치된 레지스트 피처(resist feature)의 표면 거칠기(surface roughness)를 감소시키기 위한 방법은 그안에 플라즈마 쉬스 및 이온들을 갖는 플라즈마를 생성하는 단계를 포함한다. 상기 플라즈마와 상기 플라즈마 쉬스 사이의 경계(boundary)의 형상은 플라즈마 쉬스 변경자(plasma sheath modifier)를 이용하여 변경되고, 상기 경계의 일부가 상기 기판에 의해 정의된 평면에 평행하지 않는다. 제 1노광동안에, 레지스트 피처는 희망하는 파장을 갖는 전자기 복사(electromagnetic radiation)에 노출되고 그리고 이온들은 각도 범위를 통하여 상기 레지스트 피처들을 향하여 상기 변경된 형상을 갖는 상기 경계를 가로질러 가속된다.

대 표 도 - 도7



명 세 서

청구범위

청구항 1

기판상에 배치된 레지스트 피처(resist feature)의 표면 거칠기(surface roughness)를 감소시키는 방법에 있어서,

그안에 플라즈마 쉬스(plasma sheath) 및 이온들을 갖는 플라즈마를 생성하는 단계;

플라즈마 쉬스 변경자(plasma sheath modifier)를 가지고 상기 플라즈마와 상기 플라즈마 쉬스 사이에 정의된 경계(boundary)의 형상을 변경하는 단계로서, 상기 기판을 마주보는 상기 경계의 일부가 상기 기판에 의해 정의된 평면에 평행하지 않도록 하는, 상기 경계의 형상을 변경하는 단계;

상기 레지스트 피처를 제 1 노광(exposure) 동안에 희망하는 파장 범위를 갖는 전자기 복사(electromagnetic radiation)에 노출시키는 단계; 및

상기 제 1 노광동안에 각도 범위(angular range)를 통하여 상기 변경된 형상을 갖는 상기 경계를 가로질러 상기 레지스트 피처들을 향하여 상기 이온들을 가속시키는 단계;를 포함하되,

상기 플라즈마 쉬스 변경자는 희망하는 파장 범위를 갖는 전자기 복사는 투과시키고 그리고 상기 희망하는 파장 범위 밖의 파장 범위를 갖는 전자기 복사는 차단시키도록 구성된, 방법.

청구항 2

청구항 1 에 있어서, 상기 경계의 형상을 변경하는 단계는 한 쌍의 변경자 파트(modifier part)들을 가지며, 그것들 사이에 갭(gap)을 정의하는 플라즈마 쉬스 변경자를 제공하는 단계를 포함하고, 상기 갭 주위에 상기 경계의 형상은 상기 평면에 대하여 볼록한(convex), 방법.

청구항 3

청구항 2 에 있어서, 상기 각도 범위는 상기 기판에 의해 정의된 상기 평면에 수직인 축에 대하여 중심을 둔 양의 60° 과 음의 60 ° 의 사이에 있는, 방법.

청구항 4

청구항 1 에 있어서, 상기 노출시키는 단계 및 상기 가속시키는 단계는 동시에 일어나는, 방법.

청구항 5

삭제

청구항 6

청구항 1 에 있어서, 상기 제 1 노광 동안에 30℃ 또는 더 높게 상기 기판의 온도를 유지하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 7

청구항 1 에 있어서, 상기 플라즈마 쉬스 변경자는 하나 또는 그 이상의 반도체 필름(film)들의 레이어(layer)들을 포함하는, 방법.

청구항 8

청구항 1 에 있어서, 상기 희망하는 파장 범위는 자외선(UV) 파장 범위를 포함하는, 방법.

청구항 9

청구항 1 에 있어서, 상기 플라즈마 쉬스 변경자는 UV 복사에 투명한, 방법.

청구항 10

기판상에 제공된 패턴화된 레지스트 피처(resist feature)에 거칠기를 변경하는 방법에 있어서, 상기 레지스트 피처는 제 1 거칠기를 가지되,

그안에 플라즈마 쉬스(plasma sheath) 및 이온들을 갖는 플라즈마를 생성하는 단계;

상기 플라즈마 및 상기 플라즈마 쉬스 사이의 경계의 형상을 변경하도록 동작 가능한 개구를 정의하는 플라즈마 쉬스 변경자(PSM : plasma sheath modifier)를 제공하는 단계;

제 1 노광동안에 상기 패턴화된 레지스트 피처를 향하여 상기 변경된 형상을 갖는 상기 경계를 가로질러 이온들을 가속시키는 단계; 및

상기 제 1 노광의 적어도 일부 동안에 상기 패턴화된 레지스트 피처를 제 1 파장 범위를 갖는 전자기 복사(electromagnetic radiation)에 노출시키는 단계로서, 상기 전자기 복사는 상기 플라즈마로부터 방출되고, 상기 이온들 및 상기 제 1 파장 범위를 갖는 상기 전자기 복사에 노출된 상기 패턴화된 레지스트 피처는 상기 제 1 거칠기보다 작은 제 2 거칠기를 나타내는, 상기 노출시키는 단계;를 포함하되,

상기 플라즈마 쉬스 변경자는 상기 제 1 파장 범위 밖에 있는 제 2 파장 범위를 갖는 전자기 복사를 차단시키는 재료를 포함하는, 방법.

청구항 11

청구항 10 에 있어서, 상기 제 1 파장 범위는 UV 파장 범위인, 방법.

청구항 12

청구항 10 에 있어서, 상기 제 1 파장 범위는 적외선(IR : infra-red) 파장 범위인, 방법.

청구항 13

청구항 10 에 있어서, 상기 플라즈마는 제 1 및 제 2 종을 함유하고, 상기 제 1 종은 상기 레지스트 피처들 상의 충돌에 기하여 상기 제 1 거칠기를 감소키는 이온들을 생산하도록 구성되고, 상기 제 2 종은 UV 파장 범위 내에서 상기 전자기 복사(electromagnetic radiation)를 방출하도록 구성된, 방법.

청구항 14

청구항 10 에 있어서, 상기 제 1 노광동안에 30℃ 와 300℃ 사이에서 상승된 기판 온도를 제공하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 15

청구항 10 에 있어서, 상기 플라즈마 쉬스 변경자는 석영(quartz)을 포함하는, 방법.

청구항 16

청구항 10 에 있어서, 상기 플라즈마 쉬스 변경자는 하나 또는 그 이상의 실리콘 박막(thin film)들을 포함하는, 방법.

청구항 17

청구항 10 에 있어서, 상기 이온들은 상기 제 1 노광 동안에 각도 범위를 통하여 상기 패턴화된 레지스트 피처 상에 충돌하는, 방법.

청구항 18

레지스트 피처(resist feature)에서의 거칠기(roughness)를 감소시키는 방법에 있어서,

플라즈마 쉬스(plasma sheath)를 갖는 플라즈마를 생성하는 단계;

플라즈마 쉬스 변경자(plasma sheath modifier)를 가지고 상기 플라즈마와 상기 플라즈마 쉬스 사이에 정의된 경계(boundary)의 형상을 변경하는 단계로서, 상기 경계의 형상의 일부가 상기 플라즈마를 마주보는 기판에 의

해 정의된 평면에 평행하지 않도록 하는, 상기 경계의 형상을 변경하는 단계;

제 1 노광 동안에 30℃ 로부터 300℃까지 상기 기판의 온도를 유지하는 단계; 및

상기 레지스트 피처들의 거칠기를 축소시키기 위해서 상기 제 1 노광 동안에 상기 플라즈마로부터의 이온들을 각도 범위를 통하여 상기 레지스트 피처상에 충돌시키는 단계; 및

상기 제 1 노광의 적어도 일부 동안에 상기 레지스트 피처를 제 1 파장 범위를 갖는 전자기 복사(electromagnetic radiation)에 노출시키는 단계로서, 상기 전자기 복사는 상기 플라즈마로부터 방출되고, 상기 플라즈마 쉬스 변경자는 상기 제 1 파장 범위 밖에 있는 제 2 파장 범위를 갖는 전자기 복사를 차단시키는 재료를 포함하는, 상기 노출시키는 단계;를 포함하는, 방법.

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명의 실시예들은 디바이스 제조 분야에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 본 발명은 디바이스 제조를 위해 기판에 주입 및 기판을 패터닝(patterning) 하기 위한 방법, 시스템 및 구조에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 광 리소그래피(optical lithography)은 전자 디바이스들을 제조하는데 종종 사용된다. 그것에 의해 기판이 패턴화되어서 패턴화에 따라 기판상에 회로가 형성될 수 있도록 하기 위한 프로세스(process)이다. 도 1a-1e과 관련하여, 광 리소그래피 프로세스의 간략화된 예제들이 도시된다. 일반적으로, 기판(112)는 광 경화형(photo-curable), 고분자 포토레지스트(polymeric photoresist)(114) (도 1a)로 코팅(coat)된다. 그 후에, 희망하는 개구 패턴을 가지는 마스크 (142)가 기판 (114)과 광 소스(light source)(미도시)사이에 배치된다. 광 소스로부터의 광(10)은 마스크(142)의 개구를 통하여 기판 (112)상에 조사되고, 그리고 마스크의 개구(또는 패턴의 이미지)를 통과하여 투과된 광은 포토레지스트(114)위에 투영(project)된다. 포토레지스트(114a)의 부분은 광(10)에 노출(expose)되고 경화되는 반면에, 포토레지스트(114b)의 나머지는 경화되지 않은 채 잔존한다(도 1b). 결과적으로, 마스크 개구의 이미지가 포토레지스트(114a)의 경화된 부분에 의해 형성될 수 있다.

[0003] 도 1c에 예시된 바와 같이, 포토레지스트의 경화되지 않은 부분(114b)은 제거되고 그리고 마스크 개구 패턴에 대응하는 3D 포토레지스트 피처(feature) 또는 릴리프(relief)(114a)가 기판(112) 상에 잔존할 수 있다. 그 후에, 기판은 에칭되고, 그리고 마스크 개구 패턴의 음성 이미지(negative image)에 해당하는 트렌치(trench)들(116)이 형성될 수 있다(도 1d). 남은 포토레지스트 (114b)가 제거된 후에, 패턴화된 기판(112)이 형성될 수 있다(도 1e). 만약 금속 층(metallic layer)이 트렌치들위에 증착되면, 희망하는 패턴을 가지는 회로가 기판(112)

상에 형성될 수 있다.

[0004] 도 2에 관련하여, 기판에 마스크 개구 패턴의 이미지를 투영하기 위한 통상의 광 리소그래피 시스템(200)이 도시된다. 광 리소그래피 시스템(200)은 광원(light source)(222), 광 적분기(optical integrator)(232) 및 콘덴서 렌즈(condenser lens)(234)를 포함한다. 추가하여, 광 리소그래피 시스템(200)은 희망하는 개구 패턴을 가지는 마스크(142) 및 투영 렌즈(projection lens)(252)를 포함한다. 도면에서 예시된 바와 같이, 희망하는 파장을 가지는 광이 광원(222)으로부터 광 적분기(232) 및 콘덴서 렌즈(234)로, 총괄하여 조사기(illuminator)(230) 로서 알려진, 방출된다. 조사기 (230)에서의, 광(10)은 확장되고, 균질화되고, 집중(condense)되거나 또는 그렇지 않으면 조절(condition)된다. 광(10)은 그런 다음 기판 (112)상으로 투영되도록 하기 위해 희망하는 개구 패턴을 가지는 마스크(142)위로 조사된다. 마스크 (142)의 개구들을 통과하여 투과된 광(10)은 마스크 개구 패턴위에 정보(information)를 수용할 수 있다. 광(10)은 그런 다음 기판(112)위에 증착된 포토레지스트 상으로 마스크 개구 패턴의 이미지 또는 광(10)을 투영시키는 투영 렌즈(252)에 의해 캡처된다. 이미지를 투영시키는 때에, 투영 렌즈(10)는 네개 또는 다섯개의 인자(factor)에 의해 이미지를 축소시킬 수 있다.

[0005] 보다 작은 피처(feature) 사이즈(size)(예, 트렌치의 폭)를 갖는 회로 패턴들을 생성하기 위해서, 몇몇 변형예들이 프로세스에서 구현될 수 있다. 관련 기술분야에서 알려진 것처럼, 보다 작은 피처의 명확한 이미지를 투영시키는 능력은 다른 것들 중에서 프로세스 동안에 사용되는 광의 파장(wavelength)에 의존될 수 있다. 현재는, 365nm 그리고 248nm, 및 193 nm 의 파장을 갖는 UV(자외선) 광이 사용된다.

[0006] 비록 광 리소그래피(optical lithography)는 높은 스루풋을 가지는 효율적인 프로세스이지만, 해당 프로세스가 단점들이 없지는 않다. 하나의 단점은 선폭 거칠기(LWR:line width roughness) 또는 라인 엣지 거칠기(LER : line edge roughness)를 포함할 수 있다. 관련 기술 분야에서 알려진 것처럼, LWR은 포토레지스트(114b)의 경화되지 않은 부분이 기판으로부터 제거된 후에 형성된 포토레지스트 피처(photoresist feature)의 폭에서의 과도한 변화(variation)들이다. 만약 변화들이 포토레지스트 릴리프 또는 피처들의 측면 표면상에서 발생하면, 해당 변화들은 LER로 이해된다. 변화가 에칭동안에 트렌치들상으로 그리고 궁극적으로는 회로로 전사될 수 있기 때문에 LWR 또는 LER에 기인한 거칠기 또는 변화들은 불리할 수 있다. 변화들은 포토레지스트 릴리프 또는 트렌치들의 피처 사이즈가 감소함에 따라서 더 중요하게 된다. 32nm 디바이스들에 대하여, 4nm 또는 보다 큰 변화들이 관측되었다. 라인 거칠기 결과들을 포함하는 패턴화된 레지스트(resist) 피처의 기하학적인 형상은 레지스트 층으로부터 밑에 놓이는 층의 패터닝 동안에 디바이스의 밑에 놓인 영구 층(permanent layer)으로 전사되기 때문에, LWR 및 LER가 약 100nm이하의 치수들에 대하여 수용 가능한(acceptable) 품질의 디바이스들을 형성하는 능력들을 제한할 수 있다. 이런 변화들은 불균일한 회로들 및 궁극적으로 디바이스 성능저하(degradation) 또는 고장(failure)로 이어질 수 있다. 추가하여, 설계 기준에 의존하는 디바이스 성능은 짧은, 중간 또는 긴 범위의 거칠기 중 하나에 의해 더 많이 영향을 받을 수 있다.

[0007] 몇몇 접근법들이 LWR 및 LER 결과들을 다루기 위해서 시도되어 왔다. 일 예로서, 건식 화학 에칭 프로세스는 레지스트를 제거하는 능력을 가질 수 있지만 제거(removal)는 격리된 피처(isolated feature)들에 반대하는 조밀하게 패턴화된 영역(densely patterned region)들에서는 다른 패턴 의존 로딩 효과(pattern dependent loading effect)들을 일반적으로 겪을 수 있다. 이런 건식 화학 에칭 프로세스들은 또한 수율 손실(yield loss)로 귀결될 수 있는 레지스트 패턴에 원치 않는 결함들을 또한 첨가할 수 있다. 추가하여, 레지스트에서 LWR/LER 를 다루는데 사용되는 임의의 프로세스가 패턴화될 밑에 놓이는 피처들의 임계 치수(CD: critical dimension)의 엄격한 제어를 유지하기 위해서 레지스트 높이, 폭 및 프로파일(profile)과 같은 원래의 레지스트 속성들을 손상되지 않는 채로 남기는 것은 중요하다.

[0008] 다른 접근법은 복사 노광(radiation exposure)을 통한 가열(heating)이 거친 라인들을 평탄(smooth)하게 하기 위해 사용되는 UV 램프에 거친 패턴(rough pattern)을 노출시킴으로써 심 자외선(DUV: deep ultraviolet) 경화(curing)하기를 사용하는 것이다. 이 접근법은 라인 세그먼트 코너(corner)들에서 패턴 장애(pattern pullback), 디바이스들을 사용하게 할 수 없을 정도로 라인들 모양을 훼손하는,를 일으키는 원치 않는 부작용(side effect)을 가진다.

[0009] 레지스트 UV 리소그래피 프로세싱의 회절 한도(diffraction limit), 라인들 또는 다른 패턴들이 조사하는 복사(radiation)의 회절 한도 이하의 CD 피처 사이즈들을 가질 수 있는,를 다루기 위해서, 더블 패터닝 리소그래피(DPL : double patterning lithography)가 개발되었다. 다수의 접근법들이 자체 정렬 더블 패터닝 리소그래피(self aligned double patterning lithography) 및 화학적 동결 리소그래피(chemical freeze lithography)를 포함하는 DPL의 성공을 보장하기 위한 시도가 개발되었다. 그러나, 이들 프로세스들의 각각은 비용 및/또는 수

율에 대하여 장점들 및 단점들 둘 모두를 가질 수 있다.

[0010] 상기의 점을 고려하여, 서브 100nm CD 디바이스들과 같은 매우 작은 피처 사이즈들을 필요로 하는 기술들을 위한 레지스트 리소그래피 프로세스들(resist lithography processes) 개선에 대한 요구가 있는 것이 인식될 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

[0011] 본 발명의 실시예들은 특별히 밑에 놓인 기판을 패턴화 하기 위해 사용되는 일련의 레지스트 피처들 내의 거칠기(roughness)를 개선시킴으로써 기판 패턴화를 개선하기 위한 시스템들 및 방법들을 알려준다. 일 대표적인 실시예에서, 기판상에 배치된 레지스트 피처(resist feature)의 표면 거칠기(surface roughness)를 감소시키기 위한 방법은 그안에 플라즈마 쉬스 및 이온들을 갖는 플라즈마를 생성하는 단계를 포함한다. 상기 플라즈마와 상기 플라즈마 쉬스 사이의 경계(boundary)의 형상은 플라즈마 쉬스 변경자(plasma sheath modifier)를 이용하여 변경되어 상기 경계의 일부가 상기 기판에 의해 정의된 평면에 평행하지 않는다. 제 1 노광동안에, 레지스트 피처는 희망하는 파장을 갖는 전자기 복사(electromagnetic radiation)에 노출되고 그리고 이온들은 각도 범위를 통하여 상기 레지스트 피처들을 향하여 상기 변경된 형상을 갖는 상기 경계를 가로질러 가속된다.

[0012] 다른 실시예에서, 방법은 기판상에 제공되고 제 1 거칠기를 갖는 패턴화된 레지스트 피처 내 거칠기를 변경하는 것을 허용한다. 방법은 그안에 플라즈마 쉬스를 갖는 플라즈마를 생성하는 단계, 상기 플라즈마와 상기 플라즈마 쉬스 사이 경계의 형상을 변경하도록 동작 가능한 개구를 정의하는 플라즈마 쉬스 변경자(PSM)을 제공하는 단계, 제 1 노광 동안에 상기 패턴화된 레지스트 피처를 향하여 변경된 형상을 갖는 상기 경계를 가로질러 이온들을 가속시키는 단계를 포함한다. 방법은 상기 제 1 노광의 적어도 일부 동안에 상기 패턴화된 레지스트 피처를 상기 플라즈마로부터 방출되고 그리고 제 1 파장 범위를 갖는 전자기 복사(electromagnetic radiation)에 노출시키는 단계로서, 상기 이온들 및 상기 제 1 파장 범위를 갖는 상기 전자기 복사에 노출된 상기 패턴화된 레지스트 피처는 상기 제 1 거칠기보다 작은 제 2 거칠기를 나타내는, 상기 노출시키는 단계;를 더 포함한다.

[0013] 다른 실시예에서, 기판상에 배치된 레지스트 피처들을 프로세싱하기 위한 시스템에 있어서 플라즈마 쉬스를 갖는 플라즈마를 생성하도록 구성된 플라즈마 소스 및 상기 플라즈마와 상기 기판 사이에 배치된 플라즈마 쉬스 변경자를 포함한다. 플라즈마 쉬스 변경자(plasma sheath modifier)는 상기 경계의 형상의 일부가 상기 플라즈마 앞의 상기 기판에 의해 정의된 평면에 평행하지 않도록 하기 위해 상기 플라즈마와 상기 기판 사이에 정의된 경계의 형상을 제어하도록 구성되고, 그리고 희망하는 파장 범위를 갖는 전자기 복사(electromagnetic radiation)를 투과시키도록 구성되고, 상기 전자기 복사는 상기 플라즈마로부터 방출된다.

[0014] 추가 실시예에서, 레지스트 피처 내 거칠기를 감소시키는 방법은 플라즈마 쉬스를 갖는 플라즈마를 생성하는 단계, 플라즈마 쉬스 변경자를 가지고 플라즈마와 플라즈마 쉬스 사이에 정의된 경계의 형상을 변경하는 단계로서 상기 경계의 형상 일부는 상기 플라즈마를 마주보는 상기 기판에 의해 정의된 평면에 평행하지 않는 상기 경계의 형상을 변경하는 단계, 상기 제 1 노광 동안에 약 30℃ 로부터 약 300℃까지 상기 기판의 온도를 유지시키는 단계 및 상기 레지스트 피처들의 거칠기를 축소시키기 위해 제 1 노광 동안에 각도 범위를 통하여 상기 플라즈마로부터 이온들을 상기 레지스트 피처상으로 충돌시키는 단계를 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1a-1e는 통상의 광 리소그래피 프로세스의 스텝들을 예시하는 기판의 개략적인 단면도들이다.

도 2 는 기판상에 마스크 개구 패턴 이미지를 투영하기 위한 통상의 광 리소그래피 시스템의 개략적인 도시이다.

도 3a는 본 발명의 일 실시예에 따른 기판 프로세싱 시스템의 개략도이다.

도 3b는 본 발명의 실시예들로 제공된 기판 위에 입사 입자들(incident particles)의 대표적인 각도 분포(angular distribution)를 예시한다.

도 4 는 본 발명의 대표적인 피처들을 예시하는 레지스트 피처 및 플라즈마 쉬스 변경자(plasma sheath modifier)의 개략적인 단면도이다.

도 5 는 본 발명에 따라 배열된 플라즈마 쉬스 변경자를 이용한 플라즈마 시스템으로부터 추출된 이온들에 노광 전 및 후에 레지스트 라인(resist line)들에 대한 대표적인 LER 데이터를 제공하는 그래프이다.

도 6 는 본 발명에 따라 배열된 플라즈마 쉬스 변경자를 이용한 플라즈마 시스템으로부터 추출된 이온들에 노광 전 및 후에 레지스트 라인(resist line)들에 대한 거칠기에 주파수 변화(frequency variation)를 묘사하는 대표적인 데이터를 제공하는 그래프이다.

도 7 은 본 발명의 일 구성에 따라 배열된 플라즈마 시스템의 세부사항들을 묘사한다.

도 7a 는 PSM이 플라즈마로부터 방출된 UV 광자(photon)들을 투과시키도록 구성된 대표적인 시스템 구성을 묘사한다.

도 7b 는 PSM이 플라즈마로부터 방출된 UV 광자(photon)들을 차단하도록 구성된 대표적인 시스템 구성을 묘사한다.

도 7c 는 PSM이 플라즈마로부터 방출된 UV 광자(photon)들을 선택적으로 투과시키도록 구성된 대표적인 시스템 구성을 묘사한다.

도 8 은 본 발명의 일 구성에 따른 다양한 기판 온도들에서의 대표적인 LWR 및 CD 데이터를 제공하는 그래프이다.

도 9 는 본 발명의 방법에 수반된 대표적인 스텝들을 예시하는 요약(summary)을 제공한다.

도 10a 및 10b는 본 발명의 다른 실시예에 따른 3D 구조를 프로세싱하기 위한 기술의 일 예시, 단면도 및 평면도(plan view) 각각에서,를 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 본 발명은 이제 본 발명의 선호된 실시예들이 도시된 첨부 도면들을 참고로 하여 이하에서 더 완벽하게 설명될 것이다. 그러나, 본 발명은 본 출원에서 개시된 실시예들에 한정되는 것으로 해석되지 않아야 하고 많은 다른 형태들로 구체화될 수 있다. 오히려, 이런 실시예들은 본 발명이 상세하고 완벽하게 될 것이고 기술 분야의 통상의 기술자들에 본 발명의 범위를 충분히 전달하도록 제공된다. 도면들에서 같은 번호들은 전체에 걸쳐 같은 엘리먼트(element)들에 관련된다.

[0017] 상기에서 언급된 방법들과 관련된 불완전함을 해결하기 위해서, 기판 패터닝을 위한 새롭고 창조적인 기술들 및 시스템들이 소개된다. 특별히, 본 발명은 레지스트 피처들에서의 LWR 및 LER를 개선하는 것과 같은 레지스트 피처들의 품질을 개선하기 위한 이온 주입 프로세스(ion implantation processes)들을 수반하는 기술들에 중점을 둔다. 본 출원에서 개시된 프로세스들은 예를 들어 약 250nm보다 작은 핏치와 같은 매우 작은 핏치(pitch)를 가지는 어레이들에 통합되는 피처들을 포함한 좁은 피처들을 형성하기 위한 프로세스들와 함께 사용될 수 있다. 이런 프로세스들은 통상의 DUV 리소그래피, 더블 패터닝 리소그래피, 자기 정렬 더블 패터닝 리소그래피 및 다른 리소그래피 프로세스들을 포함한다. 그러나, 기술 분야에서의 통상 기술자들은 본 출원에서 개시된 기술들이 임의의 특정 리소그래피 또는 레지스트 피처 치수들의 임의 범위와 함께 사용하는데 제한되지 않는 것을 인식할 것이다.

[0018] 본 발명의 일부 실시예들은 매우 작은 치수들을 가지는 레지스트 피처들을 다루기 위한 플라즈마 잠입 주입 프로세스들(plasma immersion implantation processes)을 채용한다. 3차원(3D) 구조들을 프로세싱하기 위한 새로운 기술들을 포함하는 몇몇 실시예들이 개시된다. 명확성과 단순함을 위하여, 실시예들은 다수의 각도들에서 지향된(oriented) 표면들을 가지는 포토레지스트를 프로세싱하기 위한 기술들로서 설명된다. 그러나, 기술분야에서의 통상의 기술자들은 본 발명이 그것들에 제한되지 않는 것을 인식할 것이다. 구조는 다른 각도들에서 지향된 표면들을 가지는 임의 타입의 구조일 수 있다.

[0019] 실시예들은 플라즈마 기반 기판 프로세싱 시스템들을 이용하는 기술들로 또한 설명된다. 그러나, 기술 분야에서의 통상의 기술자들은 플라즈마 스퍼터링 뿐만 아니라 빔 라인 이온 주입 시스템(beam line ion implantation system)들을 포함하는 서브 원자(sub-atomic), 원자 또는 분자 입자 기반 기판 프로세싱 시스템들의 다른 타입들이 본 발명의 범위 내에 있는 것을 인식할 것이다.

[0020] 도 3a에 관련하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 3D 구조를 프로세싱하기 위한 기판 프로세싱 시스템(300)이 보여진다. 도 3b는 포토레지스트를 다루는 입자들의 각도 분포를 예시한다. 이러한 도면들은 반드시 축적에 맞지는 않는다.

[0021] 도 3a에 예시된 바와 같이, 시스템(300)은 기판(112) 및 기판(112)을 지지하는 플래튼(304)가 배치된 프로세스 챔버 (302)를 포함할 수 있다. 본 발명에서, 기판(112)은 금속성(metallic), 반도전성(semiconducting) 또는 절연성(insulating) 재료 기반 기판일 수 있다. 본 발명에서, 패턴화된 포토레지스트가 기판상에 배치될 수 있다. 패턴화된 포토레지스트는 경화되지 않은 부분이 제거된 후에 기판상에 잔존하는 포토레지스트의 경화된 부분일 수 있다.

[0022] 시스템 (300)은 프로세싱 챔버(302)내에 수용된 플라즈마 (306)를 생성하기 위한 플라즈마 소스(미도시)를 또한 포함할 수 있다. 플라즈마 소스는 인 시튜(in situ) 또는 원격(remote) 유도성 결합 플라즈마 소스, 용량성 결합 플라즈마 소스, 헬리콘 소스, 마이크로파 소스, 또는 플라즈마 소스의 임의의 다른 타입일 수 있다. 기술 분야에서의 통상의 기술자들은 일부 예들에서 플래튼 (304)이 플라즈마 소스를 대행할 수 있는 것을 또한 인식할 것이다.

[0023] 플라즈마 (306)와 기판 (112)사이의, 하나 또는 그 이상의 플라즈마 쉬스 변경자(plasma sheath modifier)들(312)이 배치될 수 있다. 본 발명에서, 플라즈마 쉬스 변경자(312)는 갭 "y"에 의해 서로에 대하여 분리하여 떨어진 한 쌍의 변경자 파트(part)들(312a 및 312b)를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 변경자 (312)는 단일 변경자 파트를 포함할 수 있다. 또 다른 실시예들에서, 변경자 (312)는 갭으로 정의되어 서로로부터 분리하여 떨어진 세 개 또는 그 이상의 변경자 파트들을 포함할 수 있다.

[0024] 플라즈마 쉬스 변경자(312)는 플라즈마 쉬스의 전기장(electric field)을 조정하는 것이 가능할 수 있다. 일부 실시예들에서, 플라즈마 쉬스 변경자(312)는 양으로(positively) 또는 음으로(negatively) 대전될 수 있다. 플라즈마 쉬스 변경자(312)는 전기적으로 절연(예, 석영(quartz)) 또는 도전성(예,금속) 재료 또는 그것의 조합으로 만들어질 수 있다. 대안적으로, 플라즈마 쉬스 변경자(312)는 반도체(예,실리콘(Si)) 재료로 만들어질 수 있다. 만약 시스템(300)이 하나보다 많은 변경자 파트(part)들을 포함하면, 해당 파트들은 동일하거나 또는 상이한 재료로 만들어질 수 있다. 예를 들어, 시스템 (300)은 두 개의 변경자 파트들(312a 및 312b)를 포함하는 플라즈마 쉬스 변경자(312)를 포함할 수 있다. 변경자 파트들(312a 및 312b)는 동일한 재료 또는 상이한 재료들로 만들어질 수 있다.

[0025] 플라즈마 쉬스 변경자(312)가 두 개 또는 그 이상의 파트들을 포함하면, 해당 파트들은 같은 평면 또는 상이한 평면들 상에 배치될 수 있다. 예를 들어, 프로세싱 시스템(300)내에 포함된 플라즈마 쉬스 변경자(312)는 두 개의 변경자 파트들(312a 및 312b)를 포함할 수 있고 그리고 기판(112) 및 각 변경자 파트(312a) 사이의 수직 간격들 "z"가 같은 동일 평면에 배치될 수 있다. 다른 실시예에서, 변경자(312)는 두 개의 변경자 파트들(312a 및 312b)를 포함할 수 있고 그리고 각 파트(312a 및 312b)는 서로 다른 수직 간격들 "z"에 의해 기판(112)으로부터 떨어져 분리될 수 있다. 플라즈마 쉬스 변경자를 가진 프로세싱 시스템의 추가적인 설명은 미국 특허 번호 7,767,977로 발행되고 2009년 4월 3일에 출원되어 계류중인 미국 특허 출원 번호 12/417,929, 2010년 4월 3일에 출원된 12/418,120, 2009년 12월 22일에 출원된 12/644,103, 그리고 2010년 8월 2일에 출원된 12/848,354에서 찾아질 수 있고, 그것의 각각은 전체가 참고로서 본 출원에 통합된다.

[0026] 동작에서, 인 시튜 또는 원격에서 생성된 플라즈마는 프로세싱 챔버(302)에 수용될 수 있다. 플라즈마 (306)는 전자들, 양성자 및 원자 또는 분자 이온들, 중성자들 및 희망하는 종의 라디칼들을 포함하는 단편(fragment)들을 수용할 수 있다. 본 발명에서, 플라즈마 단편들은 기판(112)상에 재료를 도핑, 에칭 또는 증착하기 위해 사용될 수 있다. 플라즈마(306)에 수용된 종은 하나 또는 그 이상의 특정 종에 한정되지 않는다. 종은 그룹 I 및 3A-8A로부터의 하나 또는 그 이상의 엘리먼트들을 포함할 수 있다. 플라즈마(306)에 함유된 종의 예는 수소(H), 헬륨(He) 또는 다른 불활성 가스들, 탄소(C), 산소(O), 질소 (N), 비소(As), 붕소(B), 인(P), 안티모니, 갈륨(Ga), 인듐 (In), 카보레인($C_2B_{10}H_{12}$) 또는 다른 분자 화합물들을 포함할 수 있다. 도 3 에 예시된 바와 같이, 플라즈마 (306)는 주변부 부근에 플라즈마 쉬스(308)를 또한 포함할 수 있다. 본 발명에서, 플라즈마 쉬스 (308)는 양으로 대전된 이온들(310)을 포함할 수 있다.

[0027] 도면들에서 도시된 바와 같이, 쉬스(308)는 플라즈마(306)를 가진 쉬스의 경계에 의해 표시된다. 그러나, 쉬스(308)는 플라즈마(306)의 에지로부터 플라즈마(306) 주위의 객체들의 표면들로 한정된 거리를 연장할 수 있어서 예를 들어 쉬스(308)는 기판(112)의 표면에 연장될 수 있다.

[0028] 플라즈마 쉬스 (308) 또는 플라즈마 (306)내의 이온들(310)은 기판(112)이 DC 또는 RF 바이어스 공급(미도시)에 의해 바이어스 될 때 기판(112)을 향하여 보내질 수 있다. 기판(112)에 인가된 바이어스 신호가 DC 또는 RF이든 간에 연속 또는 펄스화될 수 있다.

[0029] 플라즈마 쉬스 변경자(312)는 이온들의 입사 각도 분포(310)를 제어하기 위해서 플라즈마 쉬스(308)의 형상을 변경할 수 있다. 예를 들어, 플라즈마 쉬스 변경자(312)는 플라즈마 쉬스(242)에서의 전기장을 변경할 수 있고 그리고 플라즈마 쉬스 (308)의 형상을 변경할 수 있다. 본 발명에서, 플라즈마 쉬스 변경자(312)는 벌크 플라즈마 (306)에 관하여 쉬스 (308)의 적어도 일부분을 오목(concave)한 형상의 플라즈마 쉬스 (308b) (변경된 쉬스(308b))로 또는 벌크 플라즈마 (306)에 관하여 돔 형상의(볼록(convex)한) 플라즈마로 변경할 수 있다. 기판(112)에 비교하여 변경된 쉬스(308b)의 형상은 기판(112)에 의해 정의된 평면에 관하여 비평행(non-parallel)일 수 있다. 기판(112)이 바이어스 될 때, 기판(112)을 향하여 끌어당겨지는 이온들 (310)은 입사 각도들의 넓은 범위에서 그리고 변경자 파트들(312a 및 312b) 사이의 갭 "y"을 통하여 이동할 수 있다. 통상의 플라즈마 기반 프로세싱 시스템들에서, 기판에 아주 근접한 플라즈마 쉬스는 기판에 평행한 상태이다. 기판이 바이어스 될 때, 이온들은 플라즈마 쉬스에 실질적으로 직교하는 경로에서 이동하여 따라서 기판에 실질적으로 직교한다. 결과적으로, 통상의 플라즈마 프로세싱 시스템에서의 이온들은 -5° 에서 +5° 까지 범위의 입사 각도들을 가지며 전형적으로 제로(0) 각도에 가까운 입사 각도들을 가진다. 그러나, 본 발명에서, 이온들의 입사 각도(310)는 변경된 쉬스(308b)를 가지고 변경될 수 있다. 도 3a에서 예시된 바와 같이, 변경된 쉬스(308b)는 기판에 관하여 다수 각도화(multi-angled)된다. 이와 같이, 변경된 쉬스(308b)에 직교하여 이동하는 이온들(310)은 다수 각도들에서 이동할 수 있다. 변경된 쉬스(308b)의 상이한 부분들로부터 기판(112)을 향하여 이동하는 이온들(310)은 여러 입사 각도들을 가질 수 있어서 이온들(310)은 넓은 범위의 입사 각도들을 가질 것이다. 도 3b에서 예시된 바와 같이, 이온들(310)의 입사 각도들은 약 +60° 내지 약 -60°, 약 0°에서 중심인, 사이의 범위일 수 있다. 일부 실시예들에서, 이온들(310)의 입사 각도들은 플라즈마 쉬스 변경자(312)에 의해 생성된 전기장에 의해 추가적으로 변경될 수 있다.

[0030] 한정되는 것은 아니지만, 플라즈마 쉬스 변경자(312)의 구성들 및 특성들을 포함한 다수의 요인들에 의존하는 이온들(310)의 입사 각도는 추가적으로 변경될 수 있다. 이런 요인들의 예는 변경자 파트들(312a 및 312b) 사이의 수평 간격(y), 변경자(312) 와 기판(112)사이의 수직 간격(Z), 기판(112)과 각 변경자 파트들(312a 및 312b)(미도시)사이의 수직 간격(z)에서의 차이, 및 변경자(312)의 전기적 특성들을 포함할 수 있다. 다른 플라즈마 프로세스 파라미터들이 이온들(310)의 입사 각도 및/또는 입사 각도 분포를 조정하기 위해서 또한 조정될 수 있다. 추가적인 설명은 출원중인 미국 특허 출원 번호 12/418,120, 12/417929, 12/644103, 및 12/848,354에서 찾을 수 있고 위에서 언급된 바와 같이 그것의 각각은 그 전체가 참고로서 본 출원에 통합된다.

[0031] 플라즈마 쉬스(312)를 변경함으로써, 다른 각도들에서 지향되는 구조를 가지는 3차원적 구조가 등도포성으로(conformally) 또는 등방성으로(isotropically) 다루어질 수 있다. 이하에서 언급될 것처럼, 변경된 플라즈마 쉬스(312)는 예를 들어 3D 포토레지스트 릴리프(relief)들을 한번에 등방성으로 같이, 3D 구조들의 다수 표면들을 다루기 위해서 사용될 수 있다.

[0032] 도 4에 관련하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 3D 구조들을 프로세싱하기 위한 기술을 보여준다. 본 발명에서, 기술은 3D 포토레지스트 릴리프(114a)에 수용된 LER 및 LWR를 줄이기 위해서 사용될 수 있다. 위에서 언급한 바와 같이, LER 및 LWR은 포토레지스트 레지스트의 경화되지 않은 부분이 제거된 후에 광 리소그래피동안에 획득되는 3D 포토레지스트 릴리프(114a)에서 일어날 수 있다. 본 발명에서, 포토레지스트 릴리프(114a)에 함유된 LER 및 LWR은 포토레지스트 릴리프(114a)의 다른 표면들상의 플라즈마 쉬스 변경자(312)를 이용하여 플라즈마 보조 도핑(PLAD :plasma assisted doping) 또는 플라즈마 잠입 이온 주입(PIII :plasma immersion ion implantation)을 수행함으로써 감소될 수 있다. 기술분야에서의 통상의 기술자들은 도면이 반드시 축척에 맞게 도시되지 않은 것을 인식할 것이다.

[0033] 도 4 에 예시된 바와 같이, 측부 표면(114a-1) 및 상부 표면(114a-2)를 가지는 3D 포토레지스트 릴리프 (114a)는 기판(112)상에 배치될 수 있다. 기판(112) 및 포토레지스트 릴리프(114a)는 플라즈마 쉬스 변경자(312)를 수용하는 플라즈마 프로세싱 시스템 내에 배치되고 그리고 플라즈마는 기판(112) 근처에 배치된다. 그 후에, 플라즈마내의 이온들(310)은 플라즈마 쉬스 변경자 파트들(312a 및 312b)사이의 갭을 통하여 포토레지스트 릴리프(114a)의 표면들을 향하여 보내질 수 있다. 도면에서 예시된 바와 같이, 이온들(310)은 다수의 입사 각도들에서 보내질 수 있다.

[0034] 본 발명에서, 이온들(310)은 포토레지스트 릴리프(114a)의 상부 및 측부 표면들(114a-2 및 114a-1)에 주입될 수

있다. 다양한 이온 종이 주입될 수 있지만, 헬륨(He) 또는 아르곤(Ar) 이온들이 본 발명에서 주입될 수 있다. 레지스트 노광의 지속기간(duration)은 폭 넓은 범위를 포함할 수 있지만, 노광 시간은 약 1 초에서부터 몇 분까지로 변할 수 있다.

[0035] 실험들이 본 발명의 실시예에 따라 배열된 플라즈마 프로세싱 시스템(plasma processing system)(PSM 시스템)의 LER에 관한 효과를 연구하기 위해 실시되었다. 이하에서 사용되는, "PSM 시스템" 또는 "PSM 플라즈마 시스템"은 플라즈마의 부분에 근접하여 위치된 기판을 향하여 폭 넓은 범위의 이온들의 각도 분포를 제공하기 위한 플라즈마 쉬스 변경자(plasma sheath modifier)를 채용한 플라즈마 프로세싱 시스템을 지칭한다. 이온 주입의 각도와 함께 사용되는 용어 "폭 넓은(wide)" 또는 "폭 넓은 각 범위(wide angular range)"는 전체 범위가 약 5 도 또는 더 큰 일련의 각도들을 지칭한다. 플라즈마 쉬스 변경자는 도 3b에서 예시된 바와 같이, 폭 넓은 각도 범위들에 거쳐서 분포된 이온들의 도우즈(dose)를 포함하는 노광(exposure)을 제공하기 위해서 사용된다. 다시 도 4를 참고하여, 약 40nm의 명목상의 CD를 갖는 일련의 레지스트 라인들은 3KeV의 헬륨(He) 플라즈마에 노출된다. 3-4kV에서 포토레지스트 릴리프(114a)의 상부(114a-2) 및 측부(114a-1) 표면들로 헬륨(He) 이온들(310)을 주입함으로써, LER은 5.6에서 3.2nm로 개선되고 그리고 LER 및 LWR 에서 약 40%의 개선이 관측된다. 플라즈마 쉬스 변경자(312)를 이용하여 헬륨(He) 이온들을 주입함으로써, 개선들이 포토레지스트 릴리프(114a)의 다수 표면들(114a-1 및 114a-2) 상에서 동시에 등방성으로 일어난다.

[0036] 추가하여, 포토레지스트 릴리프(114a)의 단지 최소의 임계 치수 축소(shrinkage)가 관측된다. 특별히,프로세싱 전에 39.1nm로 관측된 CD는 프로세싱 후에 37.6nm로 감소되었을 뿐이며 레지스트 릴리프(114a)가 다수의 입사 각도들에서 헬륨(He) 이온들(310)로 주입되었을 때 단지 4% 축소를 나타낸다. 최소의 마면화(faceting) 또는 스퍼터링이 또한 관측된다. PLAD 또는 PIII 프로세스는 낮은 에너지 프로세스이기 때문에, 그것에 의해 이온들(310)이 주입되는 깊이는 매우 낮다. 이와 같이 포토레지스트 릴리프(114a)에 대한 임의의 변화가 예를 들어 레지스트 축소 및/또는 스퍼터링이 최소인 것과 같은 이온 주입에 의해 야기된다.

[0037] 추가하여, 포토레지스트 릴리프(114a)의 다수 표면들에 동시의, 등방성 경질화(hardening)가 관측된다. 만약 추가적인 광 리소그래피 프로세스가 더블 패터닝 리소그래피(DPL: double patterning lithographic) 또는 자기 정렬된 더블 패터닝 리소그래피 (SADPL: self-aligned double patterning lithographic) 프로세스를 달성하기 위해서 수행된다면, 포토레지스트 릴리프(114a)의 동시, 등방성 경질화는 유리할 수 있다. DPL 또는 SADPL에서, 제 2 리소그래피 프로세스는 제 1 리소그래피 프로세스 동안에 형성된 두 개의 원래 포토레지스트 릴리프들 사이에 추가적인 포토레지스트 릴리프들을 생성하기 위해 수행된다. 추가의 포토레지스트 릴리프들을 형성하는 것은 그것들 사이의 거리를 줄일 수 있고 그리고 심지어 더 작은 폭들을 갖는 트렌치들을 가진 기판(112)으로 이어질 수 있다. 제 2 리소그래피 프로세스 동안에 화학적 처리가 수행될 수 있다. 수행되었을 때, 제 1 리소그래피 프로세스 동안에 형성된 포토레지스트 릴리프의 구조는 반대로(adversely) 영향을 받을 수 있다. 본 발명에서, 등방성으로 경질화된 포토레지스트 릴리프(114a)는 제 2 리소그래피 프로세스와 연관된 화학적 처리에 내성(withstand)을 가질 수 있다. 이와 같이, DPL 또는 SADPL를 달성하기 위한 추가의 리소그래피 프로세스가 가능할 수 있다.

[0038] 본 발명의 다른 실시예들에 따라, 이온의 에너지 및 타입은 도 4에 예시된 바와 같이 다수의 각도 이온 충돌(ion bombardment)에 지배되는 패턴화된 레지스터 피처들 내의 LER 또는 LWR를 최적화하기 위해 선택될 수 있다. 레지스트 피처 거칠기(roughness)에 대한 이온 타입 및 에너지의 효과는 도 5 및 도 6에 예시된다. 도 5는 통상의 플라즈마 배열을 이용한 플라즈마 시스템을 이용하여 그리고 본 발명에 따라 배열된 플라즈마 쉬스 변경자를 이용하여 플라즈마 시스템으로부터 추출된 이온들에 노광(기준) 전 및 후에 레지스터 라인(resist line)들에 대한 LER을 도시한다. 노광 전에, 약 4.4nm의 LER이 관측된다. 결과적인 LER에 관한 플라즈마에 노광의 효과는 실리콘(Si), 아르곤(Ar), 및 헬륨(He) 플라즈마를 포함하는 일련의 플라즈마에 대하여 보여준다. 도 5는 아르곤(Ar) 및 실리콘(Si)에 관한 동일한 종을 이용하는 가변 이온 에너지의 LER의 효과를 또한 도시한다. LER에서의 상당한 감소가 도 5에 도시된 모든 플라즈마 상태들 하에서 관측된다. LER 및 LWR 과 같은 거칠기 파라미터들에 관하여 본 출원에서 사용되는 용어 "상당한(substantial)"은 일반적으로 주어진 값에서 약 5% 또는 그 이상의 감소를 지칭한다. 통상의 플라즈마 구성을 이용하는 2 KeV 및 8 KeV 의 실리콘 이온들에 대하여 플라즈마 노광 후의 LER은 각각 약 3.9 및 4.0nm로 감소되고 동시에 2 KeV 및 8 KeV 의 아르곤(Ar) 이온들에 대하여 LER은 각각 약 3.8 및 3.7nm로 각각 감소된다. 그러나 본 발명의 PSM 구성을 이용하여, 훨씬 더 큰 감소가 4 KeV에서의 아르곤(Ar) 플라즈마 노광 그리고 3 KeV에서의 헬륨(He) 플라즈마 노광에 대하여 관측되고 LER은 각각 2.5nm 및 2.3nm로 감소되며 이것은 각각 LER에서 43% 및 48% 수축과 같다.

[0039] LER 및 LWR 개선되는 것에 추가하여, 본 발명의 실시예들은 도 6에 의해 표시된 바와 같이 개선된 저(low) 그리

고 중간(mid) 주파수 거칠기를 제공한다. 저 및 중간 주파수 거칠기에서의 개선, 둘 모두는 전계 효과 트랜지스터(field effect transistor)에서의 채널 길이 L_{eff}에 영향을 미칠 수 있기 때문에 디바이스 성능을 개선하는데 특별히 유용할 수 있다. 널리 알려진 바와 같이, 패턴화된 기판의 물리적 게이트 치수에서의 변화는 이어서 밑에 놓이는 게이트 구조를 패턴화하기 위해서 사용되는 레지스터 피처들의 LWR에 직접적으로 관련된다. 게이트 및 활성 영역(active area)사이에서 상대적으로 더 작은 중첩을 갖는 디바이스들에 관하여 중간 주파수 거칠기 컴포넌트들이 디바이스 성능에 큰 영향을 줄 수 있지만 게이트 및 활성 영역(active area)사이에서 더 큰 중첩을 갖는 디바이스들에 관하여 중간 주파수 및 저 주파수 거칠기 컴포넌트들이 디바이스 성능에 큰 영향을 미칠 수 있다.

[0040] 상기의 점을 고려하여, 패턴화된 레지스터 피처들에 대한 최적의 라인 거칠기는 패턴화된 레지스트를 이용하여 밑에 놓인 기판에 제조될 디바이스들의 성질(nature)에 의존할 수 있다. 따라서, 본 발명의 실시예들에서, 일련의 파라미터들은 희망하는 거칠기 특징들에서 최적의 감소를 생산하기 위해 동조될 수 있다. 이들 파라미터들은 다른 것들 중에서 이온 타입, 이온 에너지, 레지스트 타입, 레지스트 피처 사이즈 뿐만 아니라 플라즈마 쉬스 변경자와 연관된 기하학적인 특징들을 포함할 수 있다. 다시 도 3을 참고로 하여, 후자의 특징들은 수평 간격 Y, 수직 간격 Z, 및 출원중인 미국 특허 출원 번호 12/418,120, 12/417929, 및 12/644103에 개시된 다른 요인들을 포함한다.

[0041] 본 발명의 추가의 실시예들에 따라, 패턴화된 레지스트 피처들은 (312)에 의해 제공되는 폭 넓은 각의 이온들 도우즈에 추가하여 전자기 복사(electromagnetic radiation)의 노광에 구속될 수 있다. 만약 달리 언급되지 않는 한, 본 출원에서 사용되는, 용어 "전자기 복사(electromagnetic radiation)"는UV-가시광(visible)-적외선(IR) 스펙트럼 범위에서의 복사를 지칭한다. 본 발명자들은 이온 충돌(ion impingement) 및 전자기 복사의 조합이 레지스트 피처에서의 거칠기(roughness)를 제거하기 위한 추가적이거나 또는 상승적인(synergistic) 방식의 역할을 할 수 있다는 것을 인식한다.

[0042] 일 실시예에서, 이온들의 도우즈를 일련의 패턴화된 레지스트 피처들로 제공하기 위해 사용되는 플라즈마는 동일한 레지스트 피처들에 제공되는 UV 복사의 소스로서 또한 채용된다. 가시적인 복사(visible radiation)를 방출하는 것에 추가하여, 플라즈마에서 이온화된 가스는 자외선 스펙트럼 범위에 활성 복사를 방출한다. 본 발명의 실시예들에서 제공된 것들과 같은 플라즈마로부터 방출된 복사는 종이 더 낮은 에너지 상태로 회귀할 때 여기된 종의 완화 프로세스들로 특징되는 것은 알려졌다. 아르곤(Ar) 또는 헬륨(He) 플라즈마들과 같은 불활성 가스플라즈마를 포함하는 플라즈마들에서의 이런 완화 프로세스(relaxation processes)들은 통상적으로 많다. IR, 가시 광 또는 UV 복사 방출로 귀결되는 이들 프로세스들은 레지스트 피처들에 충돌하고 그리고 포토레지스트 에 변화를 야기하기 위한 적절한 에너지의 광자(photon)들을 제공할 수 있다. 알려진 포토리소그래피 프로세스들을 이용하는 UV 복사 노광(exposure)은 노출된 부분들이 후속하는 현상액 용액(developer solution)에서 용해하기 쉽게 하는 화학적인 변화들을 진행하기 위해서 미리 미노출된(unexposed) 양성 포토레지스트(positive photoresist)를 유발한다. 본 발명에서, 패턴화된 레지스트 피처의(즉, 패턴화된 레지스트 피처들을 형성하기 위해서 사용되는 최초 리소그래피 프로세스 동안에 미노출되어서 현상 후에 기판상에 잔존하는 원래의 레지스트의 부분) IR, 가시 광 또는 UV 복사 노광은 화학적 및/또는 물리적 변화들을 초래할 수 있다. 비록 리소그래피 프로세싱후에 레지스트 피처가 베이킹(baking)될 수 있지만, UV 복사와 같은 전자기 복사(electromagnetic radiation)노광이 충분히 연화시키는데 중대한 의의를 가질 수 있으며 또는 다른 방법들이 패턴화된 레지스터를 플라즈마로부터의 이온 충돌에 더 민감하게 한다. 이런 식으로, 이온 충돌(ion bombardment)은 패턴화된 레지스트 피처들의 표면 거칠기를 개선하기 위해서 전자기 복사와 함께 사용될 수 있다.

[0043] 예시의 목적들을 위한 아래의 논의에서, 본 발명의 실시예들은 패턴화된 레지스터 피처들을 변경하기 위해서 플라즈마로부터의 UV 복사의 사용에 중점을 두어 개시된다. PSM 플라즈마로부터 폭 넓은 각도의 이온들의 플럭스(flux)에 노광동안의 UV 광자들에 패턴화된 레지스트 인 시튜 노광(in situ exposure)은 폭 넓은 이온 플럭스 단독의 노광에 의해 야기되는 레지스트 거칠기에 대한 효과를 증가시킬 수 있다. 이 방식에서, LER 및 LWR은 UV 복사 도우즈가 제공되지 않을 때보다 보다 효과적으로 감소될 수 있다. 그러나, 본 발명은 또한 파장이 가시광-(IR) 스펙트럼에 있는 광 같은 다른 파장들을 가지는 전자기 복사와 함께 폭 넓은 각도의 이온 플럭스에 노광을 채용하는 방법들 및 시스템들을 또한 포함한다. 따라서, 본 발명은 UV-가시광-IR 파장 범위(스펙트럼)일 수 있는 파장의 복사를 패턴화된 레지스트에 제공하기 위한 시스템들 및 방법들을 포함한다.

[0044] 본 발명의 실시예들에서, 플라즈마 시스템의 플라즈마 특성 및/또는 구성은 레지스트를 이온들의 도우즈에 노광함으로써 야기될 수 있는 거칠기에서의 감소를 증가시키는 효과적인 UV 복사의 도우즈 및 폭 넓은 각도의 범위

에 걸친 이온들의 도우즈, 둘 모두를 제공하도록 조정된다.

[0045] 대표적인 프로세스에서, 레지스트 시스템, 플라즈마 가스 합성물(composition) 및 일련의 동작 조건들이 PSM 플라즈마 시스템에서의 사용을 위해 선택되어, 거기에서 형성된 플라즈마는 선택된 레지스트 시스템에서의 변화를 도입하도록 구성된 일련의 주파수들에서의 UV 복사를 제공한다. 플라즈마 가스 합성물은 아르곤(Ar) 또는 헬륨(He)과 같은 단일 가스에 기반될 수 있거나 또는 불활성 가스들의 혼합물(mixture)(아르곤(Ar)/헬륨(He), 아르곤(Ar)/ 네온(Ne), 등)과 같은 가스들의 혼합물, 플루오르카본/불활성 가스 혼합물, 산소(O)를 함유하는 가스 혼합물 또는 다른 가스 합성물들을 포함할 수 있다.

[0046] 레지스트 시스템은 193 또는 248 nm 광 리소그래피 시스템과 함께 사용을 위해 구성된 레지스트와 같은 알려진 레지스트 일 수 있다. 일 대표적인 방법에서, 가스 합성물 및 플라즈마 운용 조건들은 100 nm-300 nm 범위에서의 UV 복사를 산출하기 위해 선택될 수 있다. UV 파장들의 이 범위는 레지스트 시스템들에서, 특별히 레지스트의 표면 영역들에서의 화학적 본딩(bonding)을 변경하는데 효과적일 수 있다. 예를 들어, 아르곤(Ar) /플루오르카본 플라즈마 방전들은 UV 복사를 산출하는 것으로 이해된다. 대표적인 실시예들에서, 메타크릴레이트 기반(methacrylate-based) 시스템들과 같은 UV 포토레지스트 시스템들은 패턴화된 포토레지스트 시스템들을 형성하기 위해 사용될 수 있다. 이런 타입들의 폴리머들은 적절한 파장들의 UV 복사에 노광에 기반한 제거에 민감할 수 있는 산소(O)를 함유하는 펜던트 그룹들로 구성될 수 있다. 이것은 이어서 폴리머 구조 및/또는 합성물에 영향을 주는 체인 절단(chain scission) 또는 다른 반응들로 이어질 수 있다.

[0047] PSM 플라즈마로부터 추출된 UV 복사를 이용하여 패턴화된 포토레지스트의 폴리머 구조 및/또는 합성물을 개조함으로써, PSM 플라즈마에 의해 제공되는 폭 넓은 각도의 이온 플럭스도 또한 포토레지스트 피처들에서의 거칠기를 감소시키는데 더 효과적으로 될 수 있다. 예를 들어, 포토레지스트 피처들의 적어도 일부는 UV 복사 노광에 의해 유도된 화학적/물리적 변화들에 의해 연화될 수 있다. 이 연화(softening)는 포토레지스트 피처들에 대한 이온 충돌에 의하여 유도되는 평탄화 프로세스(smoothening processes)들을 것을 가능하게 할 수 있다.

[0048] 그러나, UV 복사의 초과(excess)는 레지스터 피처들의 원치 않는 분해 또는 레지스트의 과도한 제거를 초래하거나, CD의 과도한 손실 또는 표면 거칠기 개선의 실패로 이어질 수 있다. 따라서, 본 발명의 실시예들은 패턴화된 레지스트 피처들에서 LWR 및 LER을 개선하기 위해서 플라즈마로부터 추출된 이온들을 가지고 추가적 또는 상승적인 방식에서 역할을 할 수 있는 적절한 도우즈의 UV 복사를 제공하도록 관리된다.

[0049] 도 7 은 본 발명의 일 구성에 따라 배열된 PSM 플라즈마 시스템(700)의 세부사항들을 묘사한다. 시스템 (700)은 기판(112)을 향하여 이온들(710) 및 UV 광자들(714)이 방출되는 플라즈마(706)을 포함한다.시스템 (700)은 챔버 벽들 및 기판 홀더(substrate holder)(둘다 미도시)를 포함할 수 있다. 부분들(712a 및 712b)를 포함하는 PSM(712)는 플라즈마 쉬스 경계(708a)를 부분들(712a 및 712b)사이의 개구 영역(aperture region) 위에 오목한 영역(concave region)(708b)를 형성하도록 유도한다. 도 3a-6에 관하여 위에서 논의된 것처럼, 레지스트 피처들에서의 개선된 LER 및 LWR로 이어지는 이온들(710)은 도시된 바와 같이 폭 넓은 범위의 각도들에 걸쳐서 기판(112)상에 충돌할 수 있다. 추가하여, 플라즈마(706)로부터 방출된 UV 광자들(714)의 일부는 기판(710)에 제공될 수 있다. 예를 들어, 플라즈마 (706)가 점화되는 동시에, IR, 가시 광 및 UV 광자들을 포함하는 전자기 복사(electromagnetic radiation)가 폭 넓은 범위의 각도들에 걸쳐서 방출될 수 있다. 단순화를 위하여, 기판(112)에 수직으로 향하는 일련의 광자들만이 도시된다.

[0050] 이하에서 상세하게 논의될 본 발명의 실시예에 따라, 플라즈마 (706) 및 플라즈마 쉬스 변경자(712)는 기판(112)에 대하여 UV 복사의 소스로서 동작한다. 플라즈마 가스 합성물의 선택에 의해, PSM 재료,및 PSM (712)의 기하학적인 구성, 기판(112)의 UV 복사(714)에 노광은 동조(tune)될 수 있다.

[0051] 도 7a는 PSM (716)이 UV 광자들(714)을 투과시키는 시스템 구성(702)을 도시한 것으로 플라즈마 (706)으로부터 방출된 광자들은 기판(112)전체의 표면에 걸쳐서 충돌한다. PSM (716)은 희망하는 주파수 범위에 걸친 UV 복사를 높게 투과시키는 재료를 포함할 수 있다. 예를 들어, 위에서 논의된 것처럼, 기판(112)상에 제공된 패턴화된 레지스트 피처 (미도시)는 180 nm 내지 250 nm 파장 범위 UV 복사에 민감한 포토레지스트를 포함할 수 있다. 다시 말해서, 포토레지스트는 180-250 nm 파장 복사에 지배되어 진행중인 화학적 및/또는 물리적 변화들에 영향을 받기 쉬울 수 있다. 따라서, PSM(716)는 도 7a에 도시된 것처럼 전체 기판(112)에 UV 광자들(714)을 투과시키기 위해서 180-250nm 범위의 복사를 높게 투과시키는 재료를 포함할 수 있다. 예를 들어, PSM (716)은 약 180nm이하의 차단 주파수를 가지는 용융 실리카(fused silica) 재료를 포함할 수 있다. 대안적으로, 130-150nm 범위 복사에 민감한 포토레지스트를 가진 사용을 위한 PSM(716) 은 약 130nm 파장 아래에서 높게 투과시키는 불화칼슘(CaF_2) 재료를 포함할 수 있다. PSM(716)은 박막으로 하나 또는 그 이상의 측면들을 코딩한 PSM(716)의 벌크한

부분, 상이한 절연체들을 포함하는 스택(stack)을 포함하는 하나이상의 재료를 포함할 수 있다. 알루미늄 산화물들, 실리콘 산화물들, 넓은 밴드갭 반도체들, 및 다른 재료들과 같은 재료들이 PSM (716)을 형성하기 위해서 적어도 일부에 사용될 수 있다.

[0052] UV 복사를 투과시키는 PSM(716)을 제공함으로써, 이 실시예는 플라즈마 (706)가 존재하는 동안에 UV 복사 및 이온 충돌, 둘 모두에 기판(112) 노광을 가능하게 한다. 예를 들어, PSM (716)은 PSM(716) 과 기판(112)사이에 상대적인 횡축 병진이동 움직임을 제공하도록 구성된 메커니즘 (미도시)가 제공될 수 있다. 이 메커니즘은 L에 의해 정의된 +/- 방향들에서 전체 기판에 PSM (716)의 개구를 움직이도록 활성화될 수 있어서 스캔 동안에 이온들(710)에 전체 기판(112)의 노광을 제공할 수 있다. 스캔 또는 일련의 스캔들 동안에 횡축 치수 w에 의해 정의된 기판(112)의 일부만이 임의의 주어진 순간에 이온들(710)에 노광에 지배되지만, 전체 스캔 동안에 전체 기판(112)에 UV 복사 (714)에 지배될 수 있다. 따라서, 도 7a의 구성은 LWR 또는 LER을 감소시키기 위해 이온들(710) 일 수 있는 희망하는 화학적 또는 물리적 변화들을 유도하기 위한 이온 플럭스에 비교되었을 때 상대적으로 더 많은 양의 UV 플럭스를 요구할 수 있는 레지스트 시스템들에 유용하다.

[0053] 도 7b는 PSM (718)이 UV 광자 (714)들 차단하는 대표적인 시스템 구성(704)을 도시한 것으로, 플라즈마(706)로부터 방출된 UV 광자들은 부분들(718a 및 718b)사이에 형성된 개구 아래의 영역을 제외하고는 기판(112)에 부딪치는 것이 차단된다. PSM (718)은 UV 광자들 (714)를 차단시키는 임의의 재료를 포함할 수 있다. 이 구성에서, 임의의 주어진 순간에 만약 스캐닝 메커니즘이 적용되면, 이온 플럭스를 수취하는 기판(112)의 영역들(영역 w에 의해 도시된)은 UV 광자들을 수취하는 영역(영역 y) 들에 유사하거나 또는 다소 더 클 수 있다. 따라서, 도 7b의 구성은 화학적 또는 물리적 변화들을 유도하기 위한 이온 플럭스에 비교되었을 때 LWR 또는 LER을 감소시키기 위해 넓은 각도 이온 플럭스와 함께 작용하는 상대적으로 더 적은 양의 UV 플럭스를 요구할 수 있는 레지스트 시스템들에 유용할 수 있다.

[0054] 도 7c는 PSM (720)이 부분적으로 UV 광자들(714)를 차단시키는 시스템 구성(705)을 묘사하는 것으로 플라즈마(706)로부터 방출된 UV 광자들은 광자 파장에 기반하여 PSM(720)에 의해 선택적으로 투과된다. 예를 들어, PSM (720)은 제 1 UV 범위에서 선택적으로 투과할 수 있고 그리고 제 2 UV 범위에서 복사를 차단시킬 수 있다. 이 선택성(selectivity)은 PSM (720)제조시에 알려진 재료들을 이용함으로써 성취될 수 있다.실리카 기반 재료들과 같은 산화물 재료들에 도펀트들의 추가는 UV 범위에서의 실리카의 투과율(transmissivity)을 개조시킬 수 있다는 것을 잘 알려져 있다. 따라서, PSM (720)은 UV 스펙트럼의 단지 일부에서 UV 복사를 투과시키는 벌크 재료를 포함할 수 있다. 대안적으로, PSM (720)은 UV 파장들 특정 범위 또는 범위들에서만 통과시키는 필터(filter)로서 동작하는 레이어 구조(layer structure)를 포함할 수 있다. 예를 들어, PSM (720)은 복사(radiation)가 PSM(720)를 통과하여 투과되지 않는 파장 범위를 의미하는 차단된 파장 범위에 의해 분리된 두 개의 서로 다른 파장 범위들에서 복사를 통과시키도록 구성될 수 있다. 이런 필터들은 다수의 산화물 레이어들, 반도체 및 산화물 레이어들, 및 다른 조합들을 포함할 수 있다. 다수의 레이어 구조는 예를 들어 유사한 두께의 복수개의 레이어들을 포함할 수 있거나 또는 하나 또는 그 이상의 표면들 상에 코팅한 박막을 갖는 벌크 레이어를 포함할 수 있다. 따라서, 도 7c에서의 구성에서, 임의의 주어진 순간에, 플라즈마(706)로부터 방출된 모든 UV 파장들의 광자들(광자들(714a,714b)에 의해 표시된)은 더 큰 영역 L에 대하여 영역 'y'에서 기판(112)에 도달할 수 있고, 필터링되지 않은 파장들(714b)의 UV 광자들만이 PSM(720)을 통과 투과되어 기판(112)에 도달한다.

[0055] 따라서, 도 7c의 PSM 구성은 선택 파장 범위(select wavelength range)(714b)가 이온들(710)이 LWR을 축소하는 것을 촉진하지만 비선호된 범위(non-favored range)(714a)는 LWR을 축소하는 것을 촉진하지 않고 및/또는 추가로 리소그래피 프로세싱 (레지스트 "경도 ")에 내성을 가지는 능력과 같은 다른 레지스트 특성들 또는 LWR에 유해한 영향을 가질 수 있는 레지스트 시스템들에 유용할 수 있다.

[0056] 본 발명의 추가 실시예에서, 기판 온도는 패턴화된 레지스트 구조가 도 3a 및 7-7c에 도시된 구조들과 같은 PSM의 사용에 의해 제공되는 폭 넓은 각도의 이온 플럭스에 노광되는 동안 조정될 수 있다. 도 8 은 본 발명의 구성에 따른 PSM으로 구성된 플라즈마 시스템을 이용하여 다양한 기판 온도들에서 4kV 아르곤(Ar) 이온 충돌에 지배되는 레지스트 피처들의 실험적인 측정값들의 결과를 제공한다. 실온(room temperature)에서 75℃까지의 기판 온도 증가는 아르곤(Ar) 이온 취급에 의해 야기되는 CD 손실의 양은 감소되지만, LWR에서의 개선을 실질적으로 증가시킨다. 기판 온도에서의 더 큰 증가는 LWR /LER 에서의 추가 개선들을 생산할 수 있음이 인식될 것이다. 그러나, 기판 온도가 증가될 수 있는 정도는 상승된 온도들에서의 용융 프로세스(melting processes)들 또는 연화(softening), 분해의 개시(onset)에 의해 제한될 수 있다.

[0057] 전술한 대표적인 시스템들, 방법들 및 합성물은 일반적으로 LWR /LER에서의 감소들과 같은 개선된 거칠기 결과

들, 고(high), 저(low), 및 중간(medium) 주파수 거칠기 변화들, 및 비슷하게 패턴화된 레지스트 속성들에서의 감소들을 제공하기 위해 임의의 조합으로 사용될 수 있다.

[0058] 도 9 는 본 발명의 실시예들에 따라 패턴화된 레지스트 피처들에서 거칠기를 감소시키는 방법이 관여된 대표적인 스텝들을 예시하는 개요(summary)를 제공한다. 스텝들의 일부, 중요한(bulleted) 선택 기준이 또한 제공될 수 있고, 그것은 방법의 대표적인 서브스텝들을 포함할 수 있다. 스텝(902)에서, 레지스트 프로세스 프로파일이 결정된다. 프로세스 프로파일은 예를 들어, 패턴화된 포토레지스트 피처들을 형성하기 위해서 사용되는 레지스트의 타입을 수반할 수 있다. 예를 들어, 이것은 표준의 산업 레지스트일 수 있거나 그것은 특정 애플리케이션을 위해 개발된 레지스트 프로파일일 수 있다. 레지스트 프로세스 프로파일은 패턴화된 레지스트 피처들을 생산하기 위해 채용된 포토리소그래피 프로세싱의 타입을 또한 수반할 수 있다. 예를 들어, 해당 프로세스는 표준 리소그래피 프로세스일 수 있거나 또는 그것은 본 발명에 의해 제공된 플라즈마 취급들 후에 채용된 추가의 포토리소그래피 프로세스를 견딜 수 있는 보다 강건한 레지스트를 필요로 하는 더블 패터닝 프로세스(double patterning process)를 수반할 수 있다.

[0059] 스텝(904)에서, 적절한 플라즈마 이온 프로파일이 제공된다. 용어 " 플라즈마 이온 프로파일 "은 기판에 제공되는 이온들의 에너지 및 타입을 포함하는 패턴화된 레지스트를 다루기 위해 사용된 플라즈마의 파라미터들을 지칭한다. 도 5 및 6에서 예시된 바와 같이, 이들 파라미터들은 LWR /LER에서의 감소뿐만 아니라 단(short) 및 중간(medium) 길이의 거칠기에서의 특수한 감소에 강한 영향을 줄 수 있다. 플라즈마 이온 프로파일은 패턴화된 레지스트 레이어를 갖는 기판이 시스템에 놓여졌을 때 플라즈마를 개시하기 위해서 플라즈마 잠입 주입 시스템(plasma immersion implantation system)에서의 PSM 플라즈마를 동작하기 위한 제어 시스템에 제공될 수 있다.

[0060] 적절한 플라즈마 이온 프로파일은 또한 적절한 이온 도우즈에 관한 정보를 또한 포함할 수 있다. 이 도우즈 정보는 이어서 목표 LWR 과 같은 디자인 기준 뿐만 아니라 패턴화된 레지스트에 수행될 일련의 추가 프로세스 스텝들과 같은 프로세스 요인들에 기반될 수 있다. 예를 들어, 목표 디바이스 디자인은 목표 LWR 및/또는 저 주파수 거칠기를 갖는 것을 필요로 할 수 있어서 제 1 리소그래피 프로세스에 필요조건들을 배치하는 것은 레지스트 피처들을 생산하는데 사용된다. 제 1 리소그래피 프로세스는 제 2 리소그래피 프로세스가 전개될 더블 패터닝 프로세스 플로우의 일부일 수 있다. 주어진 이온 에너지 및 각도 분포(angular distribution)를 위해서, 더 큰 이온 도우즈들은 실질적으로 거칠기에 영향을 미치지 않으면서 제 1 리소그래피 프로세스 후에 패턴화된 레지스트의 LWR에서의 최대 감소를 일으키기 위해서 제 1 이온 도우즈가 효과적일 수 있다는 것은 알려질 수 있거나 또는 실험적으로 결정될 수 있다. 패턴화된 레지스트 경질화에서 제 1 이온 도우즈보다 더 큰 제 2 이온 도우즈가 제 1 이온 도우즈보다 더 효과적인 것이 추가로 알려질 수 있거나 경험적으로 결정될 수 있다. 따라서, 제 2 이온 도우즈에 패턴화된 레지스트 노광은 제 2 리소그래피 프로세스가 레지스트에 적용된 후에 다른 유해한 영향들 또는 더 작은 CD 손실로 귀결될 수 있다. 따라서, 적절한 이온 도우즈는 제 2 이온 도우즈일 수 있으며, 그것은 레지스트를 제 2 리소그래피 프로세스 에 대비하기 위해서 요구되는 LWR 및 요구되는 레지스트 경질화 둘 모두를 달성한다.

[0061] 대안적인 예에서, 제 1 이온 도우즈에서 LWR이 최소에 도달하지만, 제 1 도우즈보다 큰 이온들 도우즈들에서 증가한다면, 더 높은 이온 도우즈를 사용하는 것은 보다 바람직하지 않을 수 있다. 따라서, 최적의 도우즈는 LWR을 최적화시키는 것과 제 2 리소그래피 프로세스 동안에 일어날 수 있는 유해한 영향들에 대하여 경도를 향상시키는 것 사이의 절충점(compromise)을 나타내는 제 1 및 제 2 도우즈 사이에서 선택될 수 있다.

[0062] 스텝(906)에서, 적절한 플라즈마 복사 프로파일이 본 발명의 플라즈마 쉬스 변경자를 갖는 플라즈마 이온 주입 시스템과 같은 프로세스 시스템에 제공된다. 본 출원에서 사용되는, 용어 "플라즈마 복사 프로파일"은 플라즈마로부터의 전자기 복사(electromagnetic radiation) 특성들을 지칭하는 것으로 상기에서 상술된 가스 종의 선택을 포함하는 요인들로부터 생긴다. 이 플라즈마 복사 프로파일은 동일한 플라즈마로부터 추출된 이온들의 충돌로부터 생기는 레지스트-평탄화 효과를 증강시키기 위해 선택될 수 있다. 따라서, 적절한 플라즈마 복사 프로파일을 제공하는 것은 플라즈마가 개시될 때 희망하는 파장 범위에서 복사를 생성하도록 구성되는 플라즈마 동작 조건들 및 가스 종을 선택하는 것을 포함할 수 있다. 일 예에서, 스텝(904)에서 이온 종을 제공하는 것 그리고 스텝(906)에서 플라즈마 복사 프로파일을 제공하는 것은 이온 충돌에 기인하는 평탄화 효과 뿐만 아니라 UV 복사에 기인한 이 효과의 증강, 둘 모두를 제공하는 가스 종을 선택하는 것을 수반할 수 있다. 예를 들어, 낮은 에너지 아르곤(Ar) 프로세스는 플라즈마로부터 추출된 활성 아르곤(Ar) 이온들에 노광에 기인할 수 있는 패턴화된 레지스트 피처들의 평탄화 효과를 제공하는 것으로 확인될 수 있다. 낮은 에너지 아르곤(Ar) 프로세스는 주어진 레지스트 시스템에 대하여 평탄화 효과를 증강시키는 주파수의 UV 광자들을 또한 방출할 수 있다.

[0063] 다른 예에서, 스텝(904)의 이온 종 및 스텝(906)의 플라즈마 복사 프로파일의 선택은 하나의 가스 종은 이온 충돌에 기인(적어도 부분적으로)하는 평탄화 효과를 제공하지만 제 2 가스 종은 UV 복사에 기인(적어도 부분적으로)하는 평탄화 증강을 제공하는 복수개의 가스 종을 선택하는 것을 수반할 수 있다. 예를 들어, 아르곤(Ar) 기반 프로세스는 플라즈마로부터 추출된 활성 아르곤(Ar) 이온들에 노광에 기인할 수 있는 패턴화된 레지스트 피처들의 평탄화 효과를 제공하는 것으로 확인될 수 있다. 추가하여, 플루오르카본(fluorocarbon) 종이 증강된 평탄화 효과를 제공하는데 효과적인 에너지를 갖는 UV 광자들과 같은 복사를 방출하는 것이 알려질 수 있거나 또는 실험적으로 결정될 수 있다. 따라서, 플라즈마 가스 합성물은 패턴화된 레지스트 피처에 효과적인 복사 노광 및 이온 충돌을 제공하도록 동작 가능한 아르곤(Ar) /플루오르카본의 혼합물을 포함하도록 디자인될 수 있으며, 여기서 증강된 평탄화 효과가 생산될 수 있다.

[0064] 스텝(908)에서, 적절한 PSM 기하학적 구조 뿐만 아니라 PSM이 구성되는 적절한 일련의 재료 특성들을 제공하는 것을 포함할 수 있는 적절한 PSM 구성이 제공된다. 적절한 일련의 특성들은 파장의 관심 영역에서의 전자기 복사(electromagnetic radiation)의 적절한 투과율(투과 프로파일)를 포함할 수 있다. 일 예에서, PSM은 포토레지스트를 개조시키기에 효과적인 파장 범위에서의 UV 복사를 투과시키도록 구성된 UV 투과 프로파일을 갖는다.

[0065] 앞에서 논의된 것처럼, 본 발명의 플라즈마 쉬스 변경자들은 기판에 수직인 방향 근방에서 중심에 위치된 약 +/- 60 도 범위에 걸치는 광범위한 각도 이온들의 플럭스를 제공할 수 있다. 그러나, 이 분포는 예를 들어, 앞에서 논의된 수직(z) 및 수평(y) 간격들에서의 상대적인 조절을 제공함으로써 입사 이온들의 더 작거나 또는 더 큰 각도 범위를 제공하기 위한 특정 레지스트 시스템들 및 기하학적 구조들에 맞추어 조정될 수 있다. 추가하여, 위에서 상술된 것처럼, PSM에 사용되는 재료의 선택은 패턴화된 레지스트에 도달하는 UV 복사의 양 및 파장을 바꾸기 위해서 변화될 수 있다.

[0066] 스텝(910)에서, 패턴화된 레지스트를 지지하는 기판은 PSM 플라즈마 노광 동안에 적절한 온도를 제공하며, 예를 들어 LWR 또는 LER에서의 더 큰 감소를 초래하기 위해서 실온이상으로 기판 온도를 상승시키는 것을 수반할 수 있다.

[0067] 도 9의 전술한 스텝들과 같은 본 출원에서 설명된 방법들은, 예를 들어 명령들을 실행하는 것이 가능한 기계에 의해 판독되는 것이 가능한 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체상에 명령들의 프로그램을 유형(tangibly) 구체화함으로써 자동화될 수 있다. 범용의 컴퓨터가 이런 기계의 일 예이다. 관련 기술분야에 잘 알려진 적절한 저장 매체의 비제한적인 대표적인 리스트(list)는 판독 가능한 또는 기입 가능한 CD, 플래시 메모리 칩들(예, 썸 드라이브들(thumb drives)), 다양한 자기 저장 매체 및 유사한 것들과 같은 디바이스들을 포함한다.

[0068] 전술한 본 발명의 실시예들은 대체로 표면 피처들에서의 거칠기를 감소 뿐만 아니라 이런 평탄화 프로세스들과 함께 일어날 수 있는 임계 치수(critical dimension)에서의 손실을 감소시키기 위한 이온 충돌을 채용하는 시스템들 및 프로세스들을 알려주며, 다른 실시예들은 표면 패턴화된 피처들에 재료를 추가함으로써 이온 충돌을 채용하는 메커니즘들을 제공한다. 도 10a 및 10b에 관련하여, 본 발명의 다른 실시예에 따른 3D 구조를 프로세싱하기 위한 기술의 일 간략화된 예시들이 도시된다. 이 실시예에서, 홀의 면적을 감소시키기 위한 기술이 보여진다. 이 실시예에서, 기판(500)은 금속성 기판, 반도체 기판 또는 유전체 기판일 수 있다. 기판 (500)은 홀(512)를 포함할 수 있다. 비록 본 실시예는 제 1 반경 R1의 홀을 가진 기판을 프로세싱하는 상황하에서 설명될 수 있지만, 본 발명은 이 실시예에 한정되지 않는다. 이전의 실시예의 포토레지스트에 유사하게, 본 발명에서 기판(500)은 단순하게 하나 또는 그 이상의 수직으로 연장되는 표면들을 가지는 구조일 수 있다.

[0069] 본 발명에서, 이온들(310)은 다수의 입사 각도들에서 홀(512)의 측벽(sidewall)을 향하여 보내진다. 비록 이온들이 선호되지만, 본 발명은 라디칼들 또는 다른 중성자들을 포함하는 다른 입자들을 배제하지 않는다. 홀(512)의 표면을 향하여 보내지는 이온들(310)은 제 2 반경 R2를 갖는 경계 레이어(522)를 형성함으로써 홀(512)의 표면상에 증착될 수 있다. 플라즈마 쉬스 변경자(522)를 이용함으로써, 이온들(310)은 다수의 입사 각도들에서 홀(512)의 표면을 향하여 보내질 수 있다. 결과적으로, 등도포성, 등방성 증착이 일어날 수 있고, 균일한 두께를 갖는 경계 레이어(522)가 형성될 수 있다. 추가하여, 기판(500)에 원래 홀의 반경은 등도포성으로 그리고 균일하게 R1에서 R2로 축소될 수 있다.

[0070] 요약에서, 본 발명은 포토레지스트와 같은 패턴화된 피처들에서의 거칠기를 감소시키기 위한 새롭고 창조적인 방법들 및 시스템들을 제공한다. 본 발명은 플라즈마 잠입 시스템들과 같은 비교적 낮은 이온 에너지를 채용하는 시스템들에서 배치될 수 있어서 패턴화된 피처들에 단지 작은 침투 깊이(penetration depth)를 가지는 이온들 및 다른 종을 제공하는 능력을 공급한다. 이것은 프로파일 및 CD와 같은 레지스트 패턴 속성들에 실질적으로 영향을 미치지 않고 표면 평탄화(surface smoothening)를 제공하는 능력을 가능하게 한다. 전혀 수직이 아닌 각

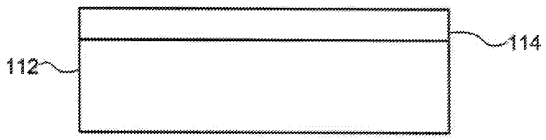
도들에서 상당한 이온들의 플럭스를 제공함으로써, 본 발명의 PSM 아키텍처는 표면 거칠기 즉 레지스트 측벽들에 가장 직접적으로 영향을 받는 면적들내의 레지스트 피처들을 타격하는데 특별히 효과적이다. 불활성 가스 플라즈마를 채용하는 것들과 같은 본 발명의 실시예들은 RIE와 같은 건식 화학적 프로세스들을 이용하여 일반적으로 행해지는 패턴 의존 효과(pattern dependent effect)들에 영향을 받지 않는다. 더욱이, 잠입 주입 시스템들과 같은 플라즈마 프로세스 시스템들과 함께 플라즈마 쉬스 변경자를 채용함으로써, 본 발명은 레지스트 취급 프로세스들을 조정하기 위한 넓은 융통성(flexibility)을 제공한다. 이것은 알맞게 그리고 독립적으로 동조될 수 있는 가스 합성물, 이온 에너지, 이온들 입사 각도의 범위, 플라즈마 복사 프로파일, PSM 투과 프로파일 및 기판 온도와 같은 다양한 실험적 파라미터들에 기인한다.

[0071] 본 발명은 본 출원에서 설명된 특정 실시예들에 의한 범위에 제한되지 않는다. 실제로, 본 출원에서 설명된 것들에 추가하여 본 발명의 다른 다양한 실시예들 및 변형예들이 앞에서의 설명 및 첨부한 도면들로부터 기술 분야에서의 통상의 기술자들에게 명백할 것이다. 비록 본 발명은 레지스트 평탄화에 기여할 수 있는 이온 충돌 효과들 외에 또는 이온 주입에 추가하여 낮은 에너지 이온들을 이용하는 플라즈마 잠입 이온 주입에 배치될 수 있지만, 본 발명은 낮은 에너지 이온들을 제공하는 것이 가능한 다른 플라즈마 시스템들에 배치될 수 있다. 더욱이, 본 발명은 PSM 플라즈마로부터 방출된 IR/가시 광 복사가 표면 거칠기를 감소시키는데 효과적인 시스템들 및 방법들을 포함한다. 이런 시스템들에서, 플라즈마 복사 프로파일은 IR /가시 광 방출 특성들에 기반하여 적어도 부분적으로 선택될 수 있고 그리고 PSM 구성은 IR /가시 스펙트럼(visible spectrum)의 하나 또는 그 이상의 범위들에서의 PSM의 차단 또는 투과 특성들에 기반하여 선택될 수 있다.

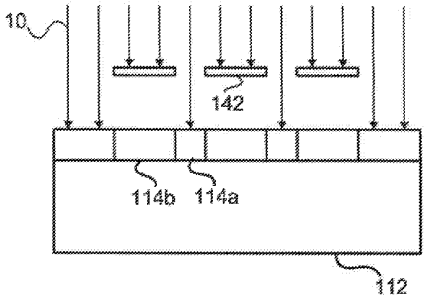
[0072] 게다가, 주입 또는 증착에 추가하여, 본 발명에서 개시된 기술들은 포토레지스트 구조 또는 포토레지스트 구조 이외의 구조상에서의 에칭을 수행하기 위해서 사용될 수 있다. 예를 들어, 본 발명에서 개시된 기술들은 트랜지스터상의 게이트의 임계 치수(critical dimension)를 감소시키기 위한 포토레지스트 트림 프로세스(photoresist trim process)를 수행하기 위해서 사용될 수 있다. 트림 프로세스가 산소(O_2) + 브롬화수소(HBr) 플라즈마를 이용하여 한번에 하나의 표면에 수행되는 통상의 트림 프로세스에 반해, 본 발명의 기술은 동시에 다수의 표면들상에서 등방성의 트림 프로세스를 수행하고 그리고 다수의 각도들에 에칭제들(etching agents)(예, 이온들)을 보내기 위해서 사용될 수 있다. 이와 같이, 트림 프로세스는 훨씬 효과적으로 그리고 더 균일하게 수행될 수 있다. 따라서, 이런 다른 실시예들 및 변형예들은 본 발명의 범위 내에 있는 것으로 의도된다. 더욱이, 비록 본 발명은 특정 목적을 위한 특정 환경에서의 특정 구현의 상황하에서 설명되었지만, 기술 분야에서의 통상의 기술자들은 그것의 유용성이 거기에 한정되지 않고 그리고 본 발명은 여러 많은 목적들을 위한 여러 많은 환경들에서 이롭게 구현될 수 있다는 것을 인식할 것이다. 따라서, 본 발명의 내용은 본 출원에서 설명된 본 발명의 충분한 효과(breadth) 및 사상(spirit)을 고려해서 해석되어야 한다.

도면

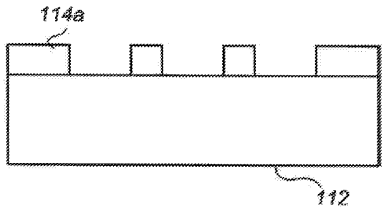
도면1a



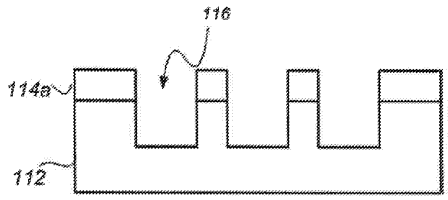
도면1b



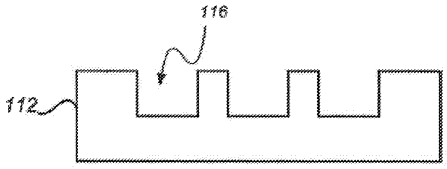
도면1c



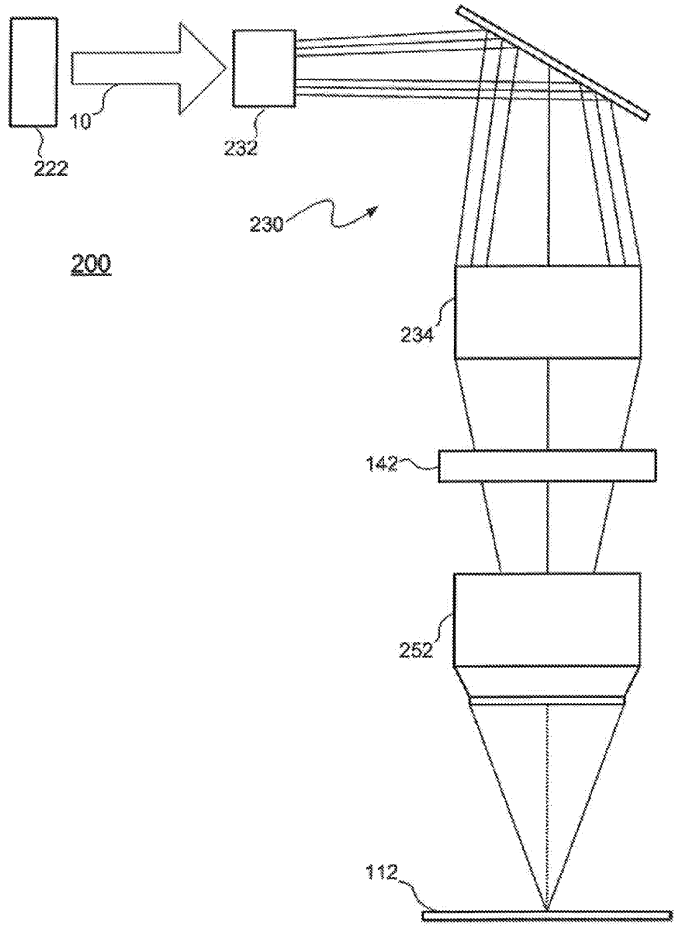
도면1d



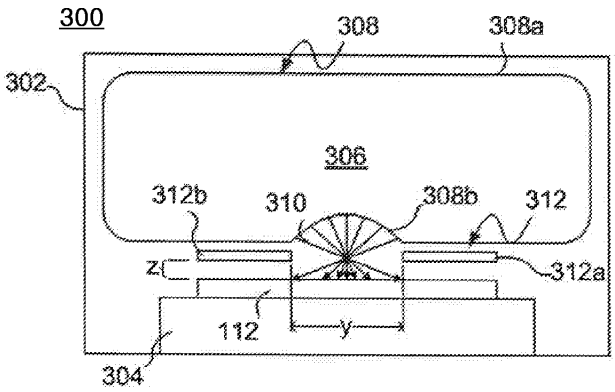
도면1e



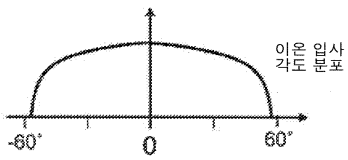
도면2



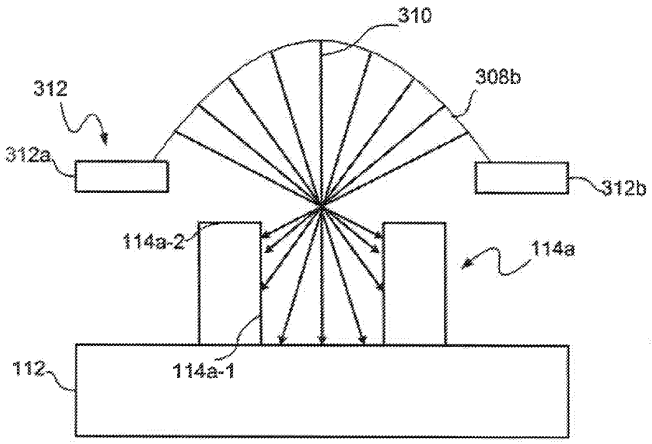
도면3a



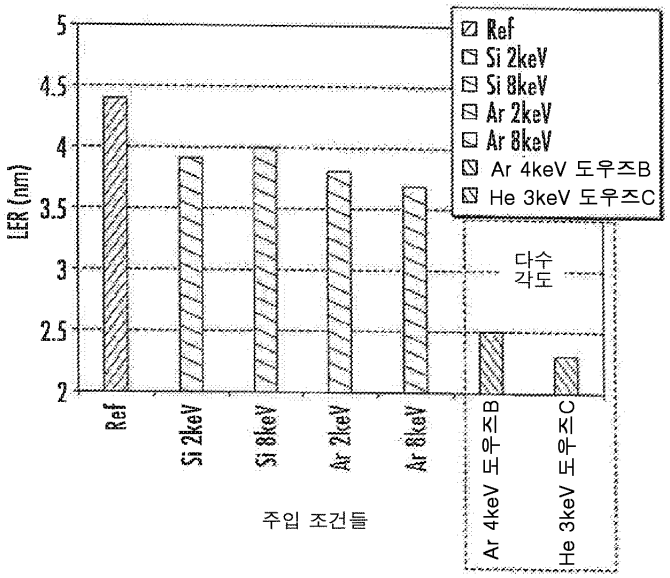
도면3b



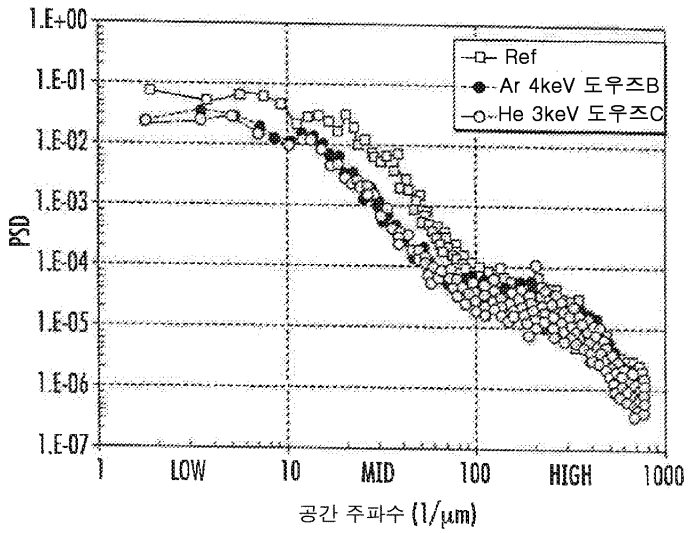
도면4


310
312
308b
312a
312b
114a-2
114a
112
114a-1

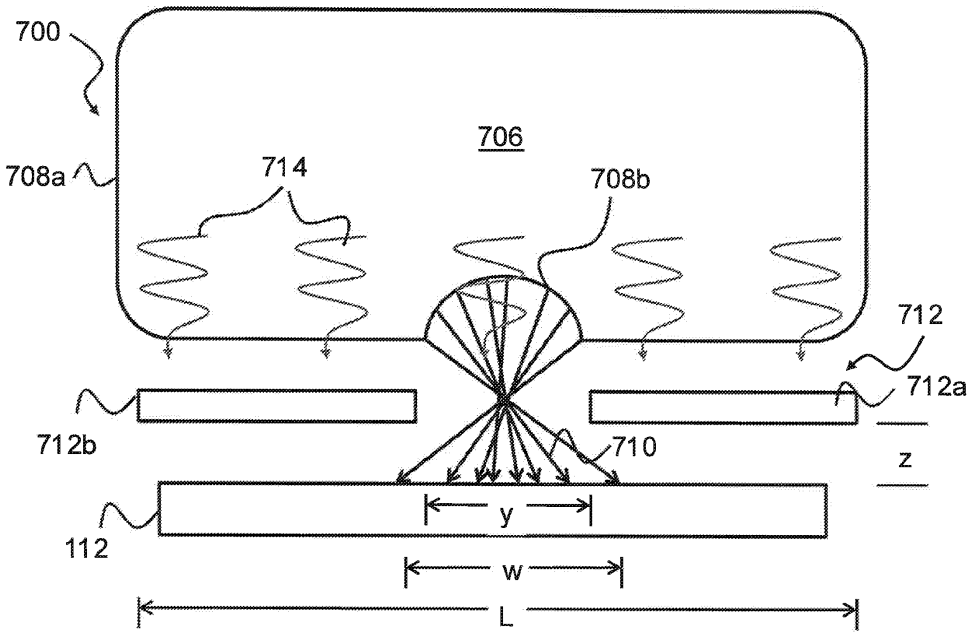
도면5


LER (nm)
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
Ref
Si 2keV
Si 8keV
Ar 2keV
Ar 8keV
Ar 4keV 도우즈B
He 3keV 도우즈C
다수 각도
주입 조건들

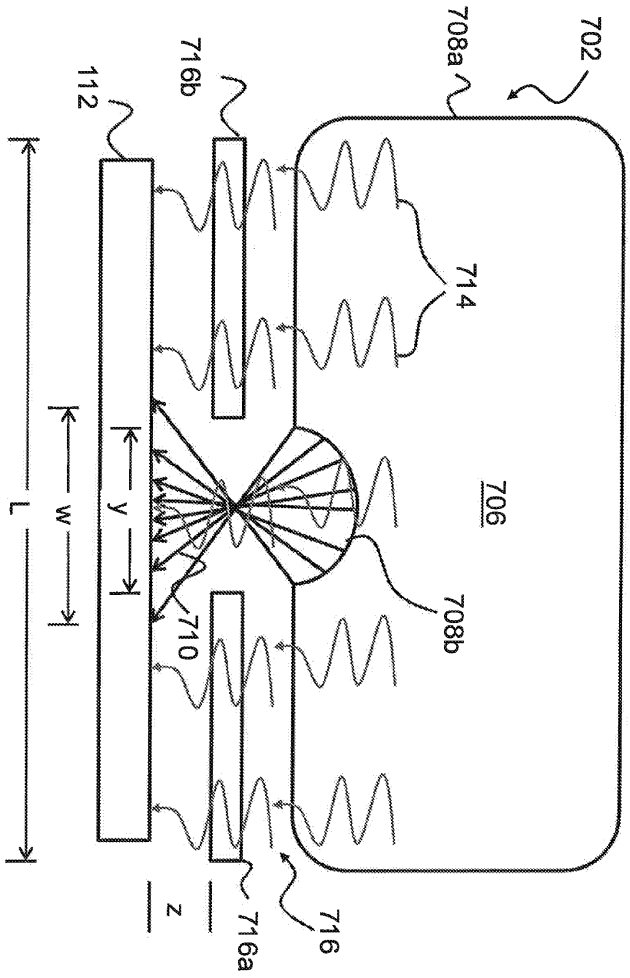
도면6


1.E+00
1.E-01
1.E-02
1.E-03
1.E-04
1.E-05
1.E-06
1.E-07
PSD
1
LOW
10
MID
100
HIGH
1000
공간 주파수 (1/μm)
Ref
Ar 4keV 도우즈B
He 3keV 도우즈C

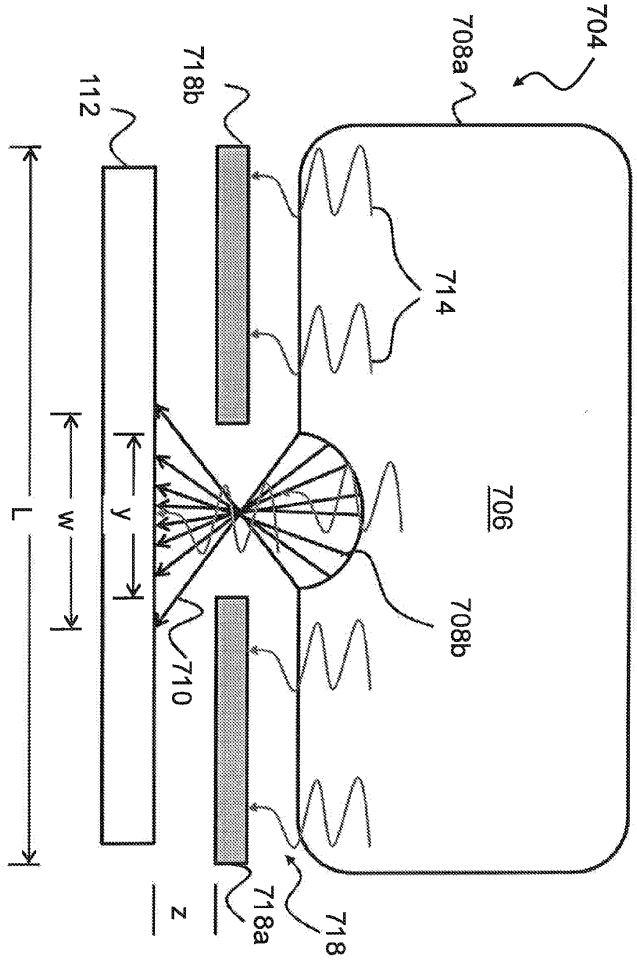
도면7


700
706
708a
714
708b
712
712a
712b
710
z
y
112
w
L

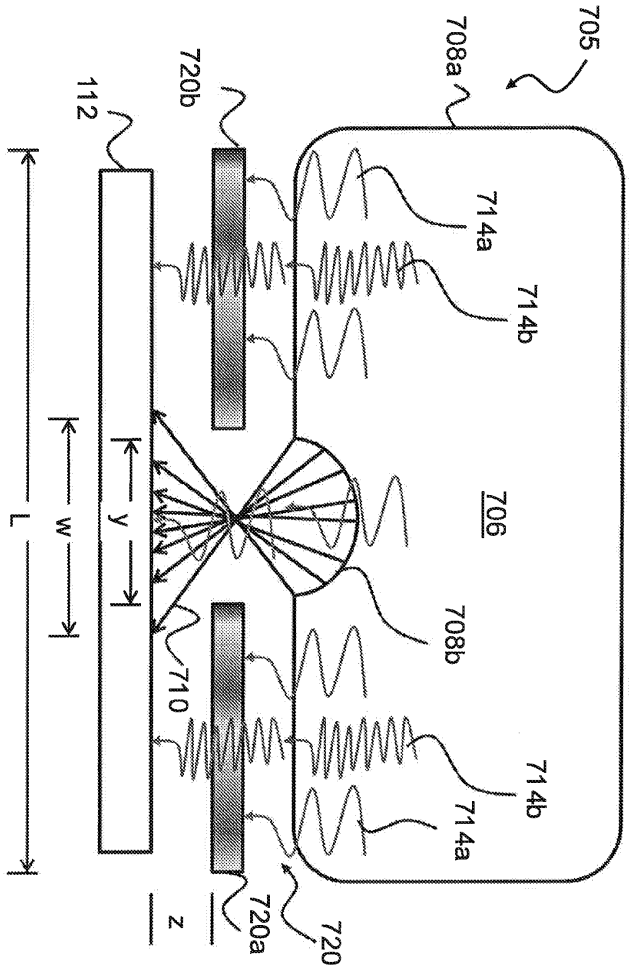
도면7a



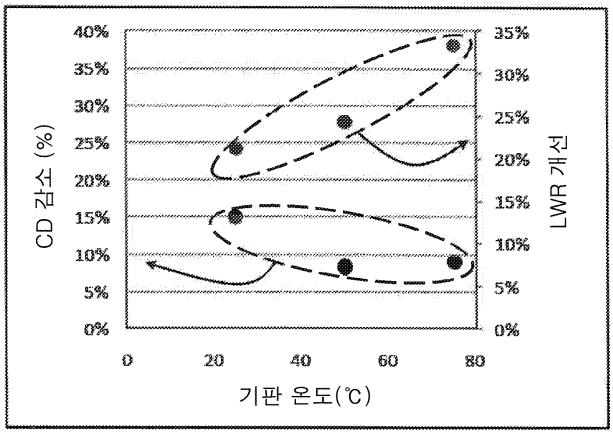
도면7b



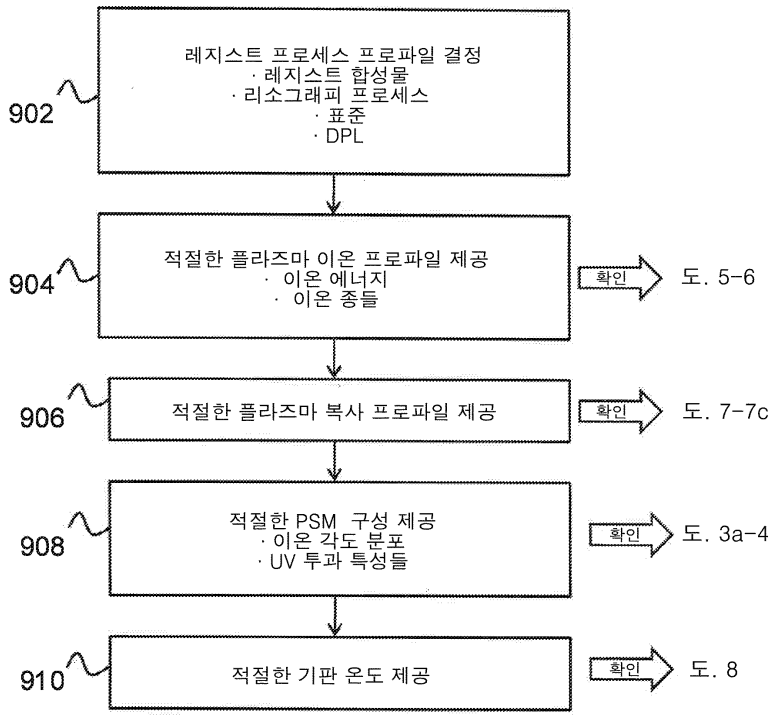
도면7c


705
708a
720b
112
714a
714b
706
L
w
y
708b
710
714b
714a
z
720a
720

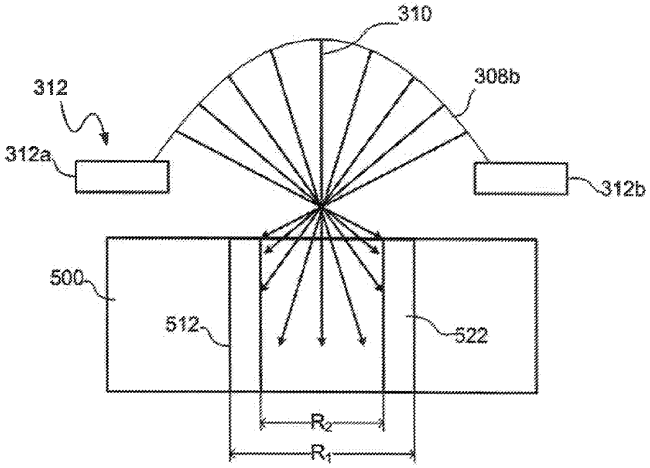
도면8


CD 감소 (%)
LWR 개선
기판 온도(℃)
40%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
0
20
40
60
80

도면9



도면10a



도면10b

