



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년05월25일

(11) 등록번호 10-2401846

(24) 등록일자 2022년05월20일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/027 (2006.01) *C23C 14/04* (2006.01)
C23C 14/48 (2006.01) *G03F 7/36* (2006.01)
H01L 21/3105 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 21/0279 (2013.01)
C23C 14/042 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2017-7023155
- (22) 출원일자(국제) 2015년12월30일
 심사청구일자 2020년10월28일
- (85) 번역문제출일자 2017년08월18일
- (65) 공개번호 10-2017-0105601
- (43) 공개일자 2017년09월19일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2015/068047
- (87) 국제공개번호 WO 2016/118299
 국제공개일자 2016년07월28일
- (30) 우선권주장
 62/106,874 2015년01월23일 미국(US)
 14/645,646 2015년03월12일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
 JP2001358061 A*
 US20140272728 A1*
 JP2005072518 A
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
 베리안 세미콘덕터 이큅먼트 어소시에이츠, 인크.
 미국 01930 메사추세츠주 글로스터 도리 로드 35
- (72) 발명자
 마, 트리스탄 와이.
 미국, 02420 메사추세츠, 렉싱턴, 호손 로드 3
 페터슨, 모린 케이.
 미국, 01970 메사추세츠, 살렘, 브릭스 스트리트
 17, 아파트. 1에이
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인
 특허법인에이아이피

전체 청구항 수 : 총 13 항

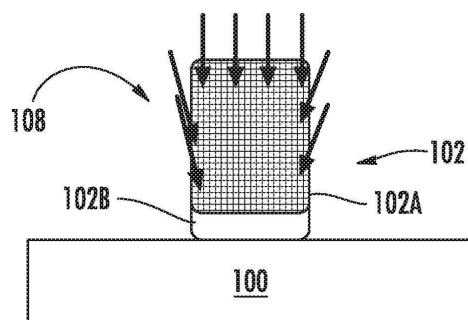
심사관 : 윤지영

(54) 발명의 명칭 패턴화 특징부를 프로세싱하기 위한 다중 노출 처리

(57) 요약

패턴화 특징부를 프로세싱하기 위한 다중 노출 처리는 기판을 프로세싱하기 위한 방법을 포함한다. 방법은, 기판 상에 패턴화 특징부를 제공하는 단계를 포함할 수 있으며, 패턴화 특징부는 측벽을 갖는다. 방법은, 제 1 노출 동안 제 1 이온종을 패턴화 특징부 내로 주입하는 단계로서, 제 1 이온종은 제 1 주입 깊이를 갖는, 단계; 및 제 2 노출 동안 제 2 이온종을 패턴화 특징부 내로 주입하는 단계로서, 제 2 이온종은 제 1 주입 깊이보다 더 작은 제 2 주입 깊이를 갖는, 단계를 더 포함할 수 있다.

대표도 - 도1c



(52) CPC특허분류

C23C 14/48 (2013.01)

G03F 7/36 (2013.01)

H01L 21/0276 (2013.01)

H01L 21/0277 (2013.01)

H01L 21/31058 (2013.01)

(72) 발명자

하우탈라, 존

미국, 01915 메사추세츠, 비벌리, 로베트 스트리트
78

고데트, 루도빅

: 미국, 94086 캘리포니아, 서니베일, 워싱턴 애비
뉴 299더블유

명세서

청구범위

청구항 1

기판을 프로세싱하기 위한 방법으로서,

상기 기판 상에 패턴화 특징부를 제공하는 단계로서, 상기 패턴화 특징부는 측벽을 갖는, 단계;

제 1 노출 동안 제 1 이온 종을 상기 패턴화 특징부 내로 주입하는 단계로서, 상기 제 1 이온 종은 제 1 주입 깊이를 갖는, 단계; 및

제 2 노출 동안 제 2 이온 종을 상기 패턴화 특징부 내로 주입하는 단계로서, 상기 제 2 이온 종은 상기 제 1 주입 깊이보다 더 작은 제 2 주입 깊이를 갖는, 단계를 포함하고,

상기 패턴화 특징부는 패턴화된 반-반사 코팅(anti-reflective coating) 특징부이며, 상기 방법은, 상기 패턴화된 ARC 특징부를 형성하기 위하여 ARC 층이 패턴화된 포토레지스트 특징부 아래에 배치될 때 상기 패턴화된 포토레지스트 특징부를 에칭하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 패턴화 특징부는 제 1 패턴화 특징부이며, 상기 측벽은 제 1 측벽 프로파일을 가지고, 상기 제 1 측벽 프로파일은 상기 제 2 노출을 사용하여 상기 제 2 이온 종에 의해 주입되는 제 2 패턴화 특징부 상에 형성된 제 2 측벽 프로파일보다 덜 요입(reentrant)하며, 상기 제 2 측벽 프로파일은 상기 제 1 노출을 사용하여 상기 제 1 이온 종으로 주입되지 않는, 방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 제 1 노출은 상기 제 2 노출 이전에 수행되는, 방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 제 1 노출은 상기 제 2 노출과 동시에 수행되는, 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 제 2 이온 종은 3 돌턴(Dalton)보다 더 큰 질량을 포함하는, 방법.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 제 2 이온 종은 상기 패턴화 특징부의 내부 부분 내의 제 2 밀도보다 더 큰 제 1 밀도를 갖는 밀도가 높은

층을 상기 패턴화 특징부의 외부 부분 내의 생성하도록 구성되는, 방법.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 제 1 이온 종은 수소 이온들, 헬륨 이온들, 탄소 이온들, 붕소 이온들, 또는 질소 이온들을 포함하는, 방법.

청구항 8

삭제

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 제 1 이온 종 및 상기 제 2 이온 종은 동일한 이온 종을 포함하며, 상기 제 1 노출은 제 1 이온 에너지를 포함하고, 상기 제 2 노출은 상기 제 1 이온 에너지보다 더 작은 제 2 이온 에너지를 포함하는, 방법.

청구항 10

삭제

청구항 11

측벽을 갖는 패턴화 특징부를 프로세싱하기 위한 방법으로서,

제 1 노출에서 제 1 종을 제공하는 단계로서, 상기 제 1 종은 제 1 깊이까지 상기 패턴화 특징부로 침투하도록 구성되고, 추가로 상기 패턴화 특징부를 부드럽게 하도록 구성되는, 단계; 및

제 2 노출 동안 제 2 종을 상기 패턴화 특징부 내로 주입하는 단계로서, 상기 제 2 종은 상기 제 1 깊이보다 더 작은 얇은 주입 깊이를 갖는 이온들을 포함하며, 상기 제 2 종은 상기 패턴화 특징부의 내부 부분 내의 제 2 밀도보다 더 큰 제 1 밀도를 갖는 밀도가 높은 층을 상기 패턴화 특징부의 외부 부분 내에 생성하도록 구성되는, 단계를 포함하고,

상기 패턴화 특징부는 패턴화된 반-반사 코팅(anti-reflective coating) 특징부이며, 상기 방법은, 상기 패턴화된 ARC 특징부를 형성하기 위하여 ARC 층이 패턴화된 포토레지스트 특징부 아래에 배치될 때 상기 패턴화된 포토레지스트 특징부를 에칭하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 패턴화 특징부는 제 1 패턴화 특징부이고, 상기 측벽은 제 1 측벽 프로파일을 가지며, 상기 제 1 측벽 프로파일은 상기 제 2 노출을 사용하여 상기 이온들에 의해 주입된 제 2 패턴화 특징부 상에 형성된 제 2 측벽 프로파일보다 덜 요입하고, 상기 제 2 측벽 프로파일은 상기 제 1 노출을 겪지 않은, 방법.

청구항 13

청구항 11에 있어서,

상기 제 1 노출은, 이온들, 진공 자외선 방사, 및 전자들 중 적어도 하나를 포함하는, 방법.

청구항 14

청구항 11에 있어서,

상기 제 1 노출은 제 1 이온들을 포함하며, 상기 제 2 종의 이온들은 상기 제 1 이온들보다 더 큰 질량을 갖는 제 2 이온들을 포함하고, 상기 제 1 이온들은 상기 제 2 이온들의 얇은 주입 깊이보다 더 큰 깊은 주입 깊이를 갖는, 방법.

청구항 15

기판을 패터닝하기 위한 방법으로서,

기판 상에 포토레지스트 특징부를 제공하는 단계로서, 상기 포토레지스트 특징부는 패터닝 특징부인, 단계;

제 1 이온 종을 상기 포토레지스트 특징부 내로 주입하는 단계로서, 상기 제 1 이온 종은 제 1 주입 깊이를 형성하도록 구성된 제 1 이온 에너지를 갖는, 단계; 및

상기 제 1 이온 종을 주입하는 단계 이후에, 제 2 이온 종을 상기 포토레지스트 특징부 내로 주입하는 단계로서, 상기 제 2 이온 종은 상기 제 1 주입 깊이보다 더 작은 제 2 주입 깊이를 갖는, 단계를 포함하며,

상기 제 1 이온 종 및 제 2 이온 종을 주입하는 단계 이후에, 상기 포토레지스트 특징부는 셸(shell) 및 내부 부분을 포함하고, 상기 셸은 상기 내부 부분보다 밀도가 더 높고 더 많이 교차-결합(cross-link)되며,

상기 패터닝 특징부는 패터닝된 반-반사 코팅(anti-reflective coating) 특징부이며, 상기 방법은, 상기 패터닝된 ARC 특징부를 형성하기 위하여 ARC 층이 패터닝된 포토레지스트 특징부 아래에 배치될 때 상기 패터닝된 포토레지스트 특징부를 에칭하는 단계를 더 포함하는, 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 실시예들은 기판 패터닝에 관한 것으로서, 더 구체적으로는, 이온들을 가지고 패터닝 특징부들을 처리하기 위한 기술들에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 반도체 디바이스들이 더 작은 치수들로 스케일링(scale)함에 따라, 기판들을 패터닝(pattern)하기 위해 사용되는 포토레지스트(photoresist)(레지스트)의 치수들 및 형상들을 더 정확하게 확정(define)하고 제어해야 할 필요성이 생겨났다. 포토레지스트 특징부들이 형성된 이후에 그리고 포토레지스트 특징부들이 기판을 패터닝하기 위하여 사용되기 이전에 포토레지스트 특징부들을 처리하기 위한 다양한 기술들이 개발되었다. 처리는, 예를 들어, 포토레지스트 특징부들의 형상 및 거칠기를 제어하기 위하여 사용될 수 있다.

[0003] 포토레지스트 특징부들 또는 다른 패터닝 특징부들의 프로세싱을 추가로 개선하는 것이 균일성, 기계적 안정성, 형상, 에칭 저항성, 또는 다른 특징들을 개선하기 위하여 유용할 수 있다. 따라서, 이러한 그리고 다른 고려사항들에 관하여 본 개선들이 요구될 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

[0004] 일 실시예에 있어서, 기판을 프로세싱하기 위한 방법은, 기판 상에 패터닝 특징부를 제공하는 단계로서, 패터닝

특징부는 측벽을 갖는, 단계; 제 1 노출 동안 제 1 이온 종을 패턴화 특징부 내로 주입하는 단계로서, 제 1 이온 종은 제 1 주입 깊이를 갖는, 단계; 및 제 2 노출 동안 제 2 이온 종을 패턴화 특징부 내로 주입하는 단계로서, 제 2 이온 종은 제 1 주입 깊이보다 더 작은 제 2 주입 깊이를 갖는, 단계를 포함한다.

[0005] 다른 실시예에 있어서, 측벽을 갖는 패턴화 특징부를 프로세싱하기 위한 방법은: 제 1 노출에서 제 1 종을 제공하는 단계로서, 제 1 종은 제 1 깊이까지 패턴화 특징부로 침투하도록 구성되며, 패턴화 특징부를 부드럽게 하도록 더 구성되는, 단계; 및 제 2 종을 패턴화 특징부 내로 주입하는 단계로서, 제 2 종은 제 1 깊이보다 더 작은 얇은 주입 깊이를 갖는 이온들을 포함하며, 제 2 종은 패턴화 특징부의 내부 부분 내의 제 2 밀도보다 더 큰 제 1 밀도를 갖는 고밀도(dense) 층을 패턴화 특징부의 외부 부분 내에 생성하도록 구성되는, 단계를 포함한다.

[0006] 추가적인 실시예에 있어서, 기판을 패턴화하기 위한 방법은, 기판 상에 포토레지스트 특징부를 제공하는 단계; 제 1 이온 종을 포토레지스트 특징부 내로 주입하는 단계로서, 제 1 이온 종은 제 1 주입 깊이를 생성하도록 구성된 제 1 이온 에너지를 갖는, 단계; 및 제 1 이온 종을 주입하는 단계 이후에, 제 2 이온 종을 포토레지스트 특징부 내로 주입하는 단계로서, 제 2 이온 종은 제 1 주입 깊이보다 더 작은 제 2 주입 깊이를 가지며, 제 1 이온 종 및 제 2 이온 종을 주입하는 단계 이후에, 포토레지스트 특징부는 셸(shell) 및 내부 부분을 포함하고, 셸은 내부 부분보다 더 밀도가 높으며 더 많이 교차-결합(cross-link)되는, 단계를 포함한다.

발명의 효과

도면의 간단한 설명

[0007] 도 1a 내지 도 1d는 본 개시의 다양한 실시예들에 따른 포토레지스트 특징부를 프로세싱하기 위한 방법에 수반되는 예시적인 동작들을 예시하는 다양한 예들에서의 포토레지스트 특징부의 단면을 도시한다.

도 1e 및 도 1f는 각기 도 1a 및 도 1d에 도시된 예들에서의 포토레지스트 특징부의 상면도를 도시한다.

도 1g는 본 개시의 다른 예시적인 실시예에 따른 프로세싱 이후의 포토레지스트의 단면도를 도시한다.

도 2a 내지 도 2b는 본 개시의 추가적인 실시예에 따른 포토레지스트 특징부를 프로세싱하기 위한 방법에 따른 2개의 상이한 예들에서의 예시적인 포토레지스트 구조체들의 단면 현미경 사진들을 도시한다.

도 2c는 이온 주입 프로세스를 사용하는 프로세싱 이후의 포토레지스트 구조체의 단면 현미경 사진을 도시한다.

도 3a는 본 개시의 추가적인 실시예에 따른 프로세싱 이후의 포토레지스트 구조체의 단면 현미경 사진을 도시한다.

도 3b는 주입 동작들의 순서가 변경될 때의 프로세싱 이후에서의 포토레지스트 구조체의 단면 현미경 사진을 도시한다.

도 4는 예시적인 프로세스 흐름을 도시한다.

도 5는 다른 예시적인 프로세스 흐름을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0008] 본원에서 설명되는 실시예들은, 이온들, 전자들, 및 진공 UV 방사를 포함하는 활성화 종의 복수의 노출들을 사용하여 포토레지스트 특징부와 같은 패턴화 특징부를 프로세싱하기 위한 기술들을 제공한다. 본원에서 사용되는 용어 "패턴화 특징부"는 반-반사 코팅(anti-reflective coating; ARC)들, 하단 반-반사 코팅(bottom anti-reflective coating; BARC)들, 또는 기판으로 패턴을 전사하기 위하여 사용되는 다른 특징부들을 포함하는, 포토레지스트, 패턴화 기층(underlayer)들과 같은 특징부들을 지칭한다. 다양한 실시예들은 포토레지스트를 프로세싱하기 위하여 사용되는 공지된 기술들을 뛰어 넘는 다양한 이점들을 제공한다. 포토레지스트 특징부를 처리하기 위하여 이온 주입이 사용될 때, 예를 들어, 라인 에지 거칠기(line edge roughness; LER) 또는 라인 폭 거칠기(line width roughness; LWR)에서의 개선들이 관찰되었다. LER 또는 LWR은, 예를 들어, 평면도에서 보여질 때 포토레지스트 특징부의 길이를 따른 포토레지스트 특징부의 라인 폭에서의 또는 포토레지스트 라인의 에지를 따른 편차를 지칭한다. 단점으로서, 이온들의 주입은 포토레지스트 특징부의 단면 프로파일과 같은 포토레지스트 프로파일의 품질을 저하시키는 경향이 있을 수 있다. 이는 그 이후에 포토레지스트 특징부가 에칭 마스크로서 사용될 때 품질이 저하된 에칭 성능을 야기할 수 있으며, LER 또는 LWR(본원에서 집합적으로 "LER/LWR"로서

지칭됨)의 개선을 제한할 수 있다.

- [0009] 본 실시예들은 복수의 노출들을 포토레지스트 특징부로 보냄으로써 포토레지스트 프로파일을 조정하기 위한 능력을 포함하는 이점들을 제공하며, 여기에서 노출은, 예를 들어, 고 에너지 전자기 방사에 대한 노출 또는 이온들의 주입으로 구성될 수 있다. 복수의 노출들은 개선된 포토레지스트 프로파일들(단부 단면)을 야기할 수 있으며, 추가적으로 라인 에지 거칠기를 개선할 수 있다. 복수의 노출들을 제공함으로써, 저 빈도 범위(low frequency range) 내에서의 LER/LWR을 개선하는 것을 포함하여 포토레지스트 특징부의 LER/LWR이 30% 이상 개선될 수 있으며, 여기에서 "저 빈도 범위"는 포토레지스트 라인을 따른 상대적으로 더 긴 스케일의 변동들을 지칭한다. 본 실시예들은 또한 포토레지스트 특징부 아래에 배치된 아래 층에 대한 개선된 에칭 선택성뿐만 아니라 공지된 포토레지스트 포스트-리소그래피 처리(post-lithography treatment)에 대하여 개선된 포토레지스트 프로파일들을 제공할 수 있다.
- [0010] 본 실시예들은 특히 100 nm 이하의 "임계 치수(critical dimension; CD)"를 갖는 포토레지스트 특징부들을 처리하기 위하여 유익하며, 여기에서 "CD"는 최소 특징 크기를 지칭한다. 이러한 포토레지스트 특징부들에 있어서, LWR 및 LER은 포토레지스트 특징부가 위치될 때 기관의 에칭 이후에 기관 내의 특징부들 내의 CD의 크고 바람직하지 않는 변동들을 초래할 수 있다. 언급된 바와 같이, 공지된 이온 주입이 LER/LWR을 개선할 수 있지만, 반면 침투된 포토레지스트 단부 단면 프로파일들의 품질이 저하될 수 있으며, 이는 포토레지스트 특징부에 대한 바람직하지 않은 프로파일을 생성한다. 이는 이하에서 추가로 논의되는 바와 같이 이상적인 것보다 덜한 에칭 거동을 야기할 수 있다.
- [0011] 다양한 실시예들에 있어서, 다중 노출 프로세스가 이용될 수 있으며, 여기에서 포토레지스트 특징부는 제 1 노출에서 제 1 깊이까지 포토레지스트 특징부로 침투하는 제 1 종에 의해 프로세싱되고, 제 1 깊이보다 더 적은 주입 깊이까지 주입되는 제 2 종에 의해 프로세싱된다. 다양한 실시예들에 있어서, 제 1 종은 제 1 주입 깊이 또는 깊은 주입 깊이까지 주입되는 제 1 이온들로서 제공될 수 있으며, 제 2 종은 제 1 주입 깊이보다 더 작은 제 2 주입 깊이 또는 얇은 주입 깊이까지 주입되는 제 2 이온들로서 제공될 수 있다. 본원에서 사용되는 용어 "주입 깊이"는, 포토레지스트 특징부와 같은 특징부의 표면에 대하여 주입된 종의 농도의 피크(peak)가 발생하는 깊이를 지칭할 수 있다. 유익하게는, 제 1 종이 제 1 이온들을 포함하는 실시예들에 있어서, 제 1 이온들이 주입될 수 있으며, 여기에서 제 1 주입 깊이는 75% 내지 100%와 같이 포토레지스트 특징부의 높이의 큰 분율(fraction)을 나타낸다. 실시예들이 이러한 맥락으로 제한되지 않는다. 본원에서 사용되는 용어 "주입 깊이"는, 당업계에서 공지된 바와 같이 포토레지스트 내의 이온들의 범위 R_p 를 지칭할 수 있다.
- [0012] 다른 실시예들에 있어서, 제 1 주입 깊이는 포토레지스트 특징부의 높이보다 더 큰 깊이까지 연장할 수 있으며, 따라서 제 1 이온들의 적어도 일 부분이 개선된 에칭 성능을 위하여 포토레지스트 특징부에 인접하여 배치된 아래층 내로 주입된다. 제 2 노출에서, 제 2 이온들은, 포토레지스트 특징부의 높이의 50% 미만과 같이 포토레지스트 특징부의 높이보다 더 작은 제 2 주입 깊이로 제공될 수 있다. 실시예들이 이러한 맥락으로 제한되지 않는다.
- [0013] 특정 실시예들에 있어서, 포토레지스트 특징부로 보내지는 제 1 이온들은 저-질량 이온들 예컨대 수소 이온들, 헬륨 이온들, 탄소 이온들, 붕소 이온들, 또는 질소 이온들로부터 선택될 수 있다. 실시예들이 이러한 맥락으로 제한되지 않는다. 제 1 이온들의 이온 에너지 및 이온 도우즈(dose)는 포토레지스트 특징부의 전체 또는 일 부분을 수정하도록 선택될 수 있다. 이러한 수정은, 포토레지스트 특징부 내에서 체인 절단(chain scission)을 생성하는 것, 포토레지스트 특징부 내에 교차-결합을 생성하는 것, 포토레지스트 특징부로부터 수소 원자들을 제거하는 것, 포토레지스트 특징부의 밀도를 변경하는 것, 또는 다른 화학적 및/또는 물리적 효과들을 포함할 수 있다.
- [0014] 특정 실시예들에 있어서, 제 2 노출에서 제공되는 제 2 이온들은 제 1 이온들보다 더 높은 질량을 가질 수 있다. 예시적인 제 2 이온들은 비활성 가스 이온들, 예컨대 아르곤, 실리콘 이온들, 실리콘-함유 이온들, 또는 탄소를 포함한다. 제 2 이온들의 다른 예들은 크립톤 이온들, 크세논 이온들, 또는 게르마늄 이온들을 포함한다. 실시예들이 이러한 맥락으로 제한되지 않는다. 예를 들어, 일 실시예에 있어서, 탄소가 20 keV의 에너지로 주입되는 제 1 이온들로서 사용될 수 있으며, 동시에 탄소가 또한 1 keV로 주입되는 제 2 이온들로서 사용된다.
- [0015] 다른 실시예들에 있어서, 제 1 노출의 제 1 종은 진공 자외선(vacuum ultraviolet; VUV) 방사로 구성될 수 있으며, 여기에서 VUV 방사 파장은 200 nm 미만이다. VUV 방사는 75%-100%와 같이 포토레지스트 특징부의 높이의 큰 분율을 나타내는 깊이까지 침투하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 193 nm 포토레지스트에 있어서, VUV 광자들

은 포토레지스트 특징부 내로 약 100 nm 침투할 수 있다. 따라서, VUV 광자들은 50 nm의 높이를 갖는 포토레지스트 특징부를 완전히 침투할 수 있다. 실시예들이 이러한 맥락으로 제한되지 않는다. VUV 광자들에 대한 노출은 노출된 포토레지스트 특징부에서 이온들에 대한 노출에 의해 생성되는 효과들과 유사한 효과들을 생성할 수 있다.

[0016] 다른 실시예들에 있어서, 제 1 노출의 제 1 종은, 예를 들어, 이온 주입을 위한 소스로서 또한 사용되는 플라스마에 의해 생성되는 전자들로 구성될 수 있다. 전자 방사는, VUV와 유사한 효과를 나타내기 위하여, 75%-100%와 같이 포토레지스트 특징부의 높이의 큰 분율을 나타내는 깊이까지 침투하도록 구성될 수 있다. 전자들은 또한 저-질량 이온들과 같이 더 깊이 침투된 층을 보충하기 위하여 10-30%와 같이 단지 포토레지스트 특징부의 높이의 작은 분율을 침투하도록 구성될 수도 있다.

[0017] 다양한 실시예들에 있어서, 제 1 노출은 이온들, VUV, 및 전자들을 포함하는 전술된 종의 임의의 조합일 수 있다.

[0018] 유익하게는, 본 개시의 다양한 실시예들에 따르면, 제 1 종이 제 1 깊이까지 포토레지스트 층을 침투하는 제 1 노출은, 이온들이 제 1 깊이보다 더 작은 주입 깊이까지 주입되는 제 2 노출 이전에 제공될 수 있다. 제 1 노출은 포토레지스트 특징부 및 다른 아래 층(들)을 균질화(homogenize)할 수 있으며, 이는 그렇지 않았다면 레지스트 프로파일 및 에칭 속성들에 대하여 원치 않는 효과를 가졌을 화학적 및 기계적 구배(gradient)를 제거하거나 또는 감소시킨다. 제 1 노출은 또한, 포토레지스트 특징부의 벌크(bulk) 또는 내부 부분과, 셀 또는 외부 부분 사이에 밀도 구배를 생성함으로써, 포토레지스트 특징부의 상이한 부분들의 기계적인 속성들의 차이들을 최소화할 수 있다. 제 2 노출에서의 이온 주입은 제 1 깊이에 비하여 상대적으로 더 얇은 주입 깊이로 수행될 수 있다. 따라서, 제 2 노출은 포토레지스트 특징부의 내부 부분을 둘러싸는 크게 밀도가 높아진 셀의 형성을 유도한다. 제 2 노출 이전에 제 1 노출을 제공하고 그에 따라서 포토레지스트의 외부 부분과 내부 부분 사이의 기계적인 속성들의 차이들을 감소시킴으로써, 표면 장력뿐만 아니라 그렇지 않았다면 표면 장력에 의해 초래되었을 포토레지스트 특징부의 원치 않는 변형이 감소될 수 있다.

[0019] 이에 더하여, 제 1 노출은 폴리머 재조직화(reorganization) 및 포토레지스트 특징부의 리플로우(reflow)를 용이하게 할 수 있으며, 이는 LER/LWR을 감소시킨다.

[0020] 다양한 추가적인 실시예들에 있어서, 이하에서 논의되는 바와 같이, 제 1 노출 및 제 2 노출이 동시에 수행될 수 있다.

[0021] 이제 도 1a 내지 도 1d를 참조하면, 본 개시의 다양한 실시예들에 따른 포토레지스트 특징부를 프로세싱하기 위한 방법에 수반되는 예시적인 동작들을 예시하는 다양한 예들에서의 포토레지스트 특징부의 단면이 도시된다. 도 1e 및 도 1f는 각각 도 1a 및 도 1d에 도시된 예들에서의 포토레지스트 특징부의 상단 평면도를 도시한다.

[0022] 도 1a에서, 포토레지스트 특징부(102)가 기판(100) 위에 배치된다. 다양한 실시예들에 있어서, 기판(100)은 반사 코팅(antireflection coating; ARC), 스핀 온 카본(spin on carbon; SOC) 층, 또는 다른 층과 같은 중간층을 포함하는 복수의 층들(미도시)을 포함할 수 있다. 포토레지스트 특징부(102)는, 도시된 직교 좌표계의 Z-방향을 따른 높이 H뿐만 아니라 Y-방향을 따른 폭 W 및 X-방향을 따른 길이 L에 의해 특징지어질 수 있다(도 1e 참조). 포토레지스트 특징부(102)는 또한 LER 또는 LWR에 의해 특징지어질 수 있으며, 여기에서 값은 도 1e에 의해 제시된 바와 같이 포토레지스트 특징부(102)의 길이 L을 따라 상이한 지점들에서의 폭 W의 변동들에 의해 측정된다. 일부 실시예들에 있어서, 폭 W는 CD에 대응할 수 있으며, 100 nm 이하일 수 있다. 다양한 실시예들에 있어서, 포토레지스트 특징부(102)는 X-Y 평면에서 약 수백 밀리미터의 치수들을 갖는 실리콘 웨이퍼 또는 다른 기판 상에 배치된 특징부들의 패턴의 부분을 형성할 수 있다. 따라서, 포토레지스트 특징부(102)는 수백만 개 또는 수십억 개의 다른 유사한 특징부들과 같은, 기판(100) 상에 배치된 다른 유사한 특징부들의 특성일 수 있다. 기판(100)을 에칭함으로써 특징부의 목표 형상 및 크기를 기판(100)으로 전사하기 위하여, 에칭 이전에 용인할 수 있는 측벽 프로파일을 유지하면서 포토레지스트 특징부(102)의 LWR을 개선하는 것이 유용할 수 있다.

[0023] 도 1b는 본 실시예들의 방법에 따른 제 1 노출을 예시하며, 여기에서 제 1 종(106)이 포토레지스트 특징부(102)로 보내진다. 제 1 종(106)은 일부 실시예들에서 이온들로 또는 다른 실시예들에서 VUV 방사 또는 전자들로 구성될 수 있다. 제 1 종(106)은 예시된 바와 같이 깊이 D1까지 포토레지스트 특징부(102) 내로 침투할 수 있다. 도 1b의 예에 있어서, 깊이 D1은 높이 H보다 더 작은 것으로서 도시된다. 대안적으로, 다른 실시예들에 있어서, 깊이 D1이 높이 H를 초과할 수 있거나 또는 높이 H와 동일할 수 있다. 도 1b에 도시된 제 1 노출은 이하에서 논의되는 바와 같이 포토레지스트 특징부(102)를 변경하는 방식으로 수행될 수 있다.

- [0024] 이상에서 언급된 바와 같이, 제 1 노출은 포토레지스트 특징부(102) 내에 체인 절단을 생성하거나, 포토레지스트 특징부(102) 내에 교차-결합을 생성하거나, 포토레지스트 특징부(102)의 밀도를 변경하거나, 또는 다른 효과들을 생성할 수 있다. 제 1 노출은 포토레지스트 특징부(102)를 균질화할 수 있으며, 이는 후속 프로세싱 이후에 그렇지 않았다면 레지스트 프로파일 및 에칭 속성들에 대하여 영향을 주었을 화학적 및 기계적 구배를 제거한다. 제 1 노출은 또한 포토레지스트 특징부(102)의 LER/LWR을 개선할 수 있다. 제 1 종(106)이 이온들로 구성되며 깊이 D1이 H를 초과하는 실시예들에 있어서, 따라서 이온들이 ARC 층과 같은 아래 층(미도시) 내로 침투할 수 있다. 특정 실시예들에 있어서, 이러한 이온들은 1 돌턴(Dalton; Da) 내지 12 Da와 같은 낮은 질량을 가질 수 있다. 아래 층 내로의 침투는 잔여 용력을 완화시킬 수 있으며, 그에 따라 라인 위글링(line wiggling) 현상을 회피하면서 패턴 에칭 전사를 용이하게 할 수 있다.
- [0025] 이온들이 제 1 종(106)을 구성하는 다양한 실시예들에 있어서, 이온들은 빔라인 이온 주입기, 플라즈마 도핑 툴(PLAD), 당업계에서 공지된 바와 같은 플라즈마 쉬스 수정기를 갖는 플라즈마 툴, 또는 이온들을 제공할 수 있는 다른 툴 내에서 포토레지스트 특징부(102)에 제공될 수 있다. 실시예들이 이러한 맥락으로 제한되지 않는다. 이온들로서 제공될 때, 제 1 종(106)은 Z-방향을 따라서, 다시 말해서, 기관(100)의 X-Y 평면에 대한 수선을 따라서 평행한 이온들의 빔으로서 보내질 수 있다. 대안적으로, 제 1 종(106)이 또한 X-Y 평면에 대한 수선에 대하여 비-제로(non-zero) 각도를 형성하는 방향을 따라 보내질 수 있다. 다른 실시예들에 있어서, 제 1 종(106)은 X-Y 평면에 대한 수선에 대하여 각도들의 범위에 걸쳐 제공될 수 있다. 제 1 종(106)으로서 사용하기에 적절한 이온들의 예들은 H^+ , H^{2+} , H^{3+} , He^+ , 및 탄소 이온들을 포함한다. 실시예들이 이러한 맥락으로 제한되지 않는다.
- [0026] 도 1c는 본 실시예들의 방법에 따른 제 2 노출을 예시하며, 여기에서 제 2 종이 이온들(108)로서 제공되며 포토레지스트 특징부(102)로 보내진다. 상이한 실시예들에 있어서, 제 2 노출은 도 1a에 도시된 제 1 노출 이후에 일어날 수 있거나 또는 제 1 노출과 동시에 일어날 수 있다. 도 1c에 예시된 특정 시나리오에 있어서, 포토레지스트 특징부(102)는 변경된 부분(102A)를 갖는 것으로서 도시되며, 이는 제 1 노출에 의해 변경된 포토레지스트 특징부(102)의 일 부분을 나타낸다. 포토레지스트 특징부(102)는 또한 포토레지스트 특징부(102)의 변경되지 않은 부분을 나타내는 변경되지 않은 부분(102B)을 나타낼 수 있다. 변경되지 않은 부분(102B)은, 도 1b에 제시된 바와 같이 제 1 종(106)이 H보다 더 작은 깊이 D1까지 침투하는 상황들에서 존재할 수 있다. 대안적으로, 다른 실시예들에 있어서, D1은 H를 초과하거나 또는 이와 동일할 수 있으며, 따라서 제 1 노출 이후에 변경되지 않은 부분(102B)이 존재하지 않는다. 변경된 부분(102A)에서의 변경은 화학적 변경, 예컨대 교차-결합, 폴리머 체인 절단에서의 변화들, 또는 포토레지스트 조성의 변화들을 포함할 수 있다. 변경된 부분(102A)은 또한, 예를 들어, 밀도 및 용력의 변화들에 의해 물리적으로 변경될 수 있다. 일부 실시예들에 있어서, 예컨대 제 1 종(106)이 이온들로서 제공될 때, 변경된 부분(102A)은 이온 종의 구배, 주입 손상, 및 Z-방향을 따르는 것과 같은 위치의 함수로서의 다른 특징들에 기인하는 속성들의 구배를 나타낼 수 있다.
- [0027] 도 1c에 도시된 제 2 노출 동안, 이온들(108)은 D1보다 더 작은 주입 깊이 D2를 야기하는 이온 에너지 및 이온 도우즈로 제공된다(도 1d 참조). 일부 예들에 있어서, H는 20 nm 내지 150 nm의 범위일 수 있으며, W는 10 nm 내지 100 nm의 범위일 수 있고, D2는 3 nm 내지 25 nm의 범위일 수 있다. 실시예들이 이러한 맥락으로 제한되지 않는다. 이온들(108)에 대한 적절한 종은, 비제한적으로, 비활성 가스 이온들, 실리콘 이온들, 탄소 이온들, 또는 실리콘-함유 이온들을 포함한다. 이온들(108)은 Z-방향을 따라서, 다시 말해서, 기관(100)의 X-Y 평면에 대한 수선을 따라서 평행한 이온들의 빔으로서 보내질 수 있다. 대안적으로, 이온들(108)이 또한 X-Y 평면에 대한 수선에 대하여 비-제로 각도를 형성하는 방향을 따라 보내질 수 있다. 다른 실시예들에 있어서, 이온들(108)은 X-Y 평면에 대한 수선에 대하여 각도들의 범위에 걸쳐 제공될 수 있다.
- [0028] 도 1d는 도 1c에서 전반적으로 예시된 제 2 노출의 완료 이후의 포토레지스트 특징부(102)의 결과적인 구조체를 예시한다. 도시된 바와 같이, 포토레지스트 특징부(102)는, 적어도 D2에 대응하는 Z-방향을 따른 두께를 갖는 외부 부분(102C)을 포함한다. 외부 부분(102C)은 내부 부분(102D)을 둘러싸며, 이는 변경되지 않은 부분(102B) 및 변경된 부분(102A)의 나머지 부분들을 나타낸다.
- [0029] 제 2 노출의 결과는 포토레지스트 특징부(102) 주변의 외부 부분(102C)에 의해 나타내지는 바와 같은 밀도가 더 높은 셸을 형성하는 것일 수 있다. 제 1 노출에서 사용된 것들에 비하여 상대적으로 더 무거운 이온들의 제 2 노출에서의 사용은 포토레지스트 폴리머 내에 더 많은 손상을 야기할 수 있으며, 이는 셸로서 형성되며 포토레지스트 특징부(102)의 벌크 또는 내부 층(102D)보다 밀도가 더 높고 더 많이 교차-결합되는 층(도 1d에서 외부 부분(102C)으로서 도시된)의 생성을 야기한다. 더 높은 밀도 및 증가된 교차-결합은 이러한 셸 내에 인장 용력

을 생성할 수 있다. 일부 실시예들에 따르면, 이온 도우즈 및 이온 에너지 및 이온 종은, 초기에 도 1b에 도시된 제 1 노출에 의해 용이하게 된 포토레지스트 리플로우를 추가로 용이하게 하기 위한 드라이빙 힘(driving force)으로서 역할하도록 외부 부분(102C) 내의 인장 응력을 제어하기 위하여 튜닝(tune)될 수 있다. 이는, 도 1f에서 제안되는 바와 같이, 포토레지스트 특징부(102) 내에 더 매끄러운 라인들 및 더 낮은 LER/LWR를 생성하는 것을 야기할 수 있다.

[0030] 예시의 단순성을 위하여, 이러한 예에 있어서, 포토레지스트 특징부(102)의 상단 상의 외부 부분(102C)이 주입 깊이 D2와 동일한 두께를 갖는 것으로서 표현된다. 본 실시예들에 있어서, 크게 변경된 셀의 실제 두께는 전반적으로 셀을 생성하기 위하여 사용된 이온들의 주입 깊이와 적어도 약간 상이할 수 있다. 이에 더하여, 외부 부분(102C)의 두께는 측벽들을 따라서 포토레지스트 특징부(102)의 상단을 따른 것과 상이할 수 있다. 이는, 예를 들어, 포토레지스트 특징부의 초기 프로파일뿐만 아니라 이온들(108)의 입사 각(들)에 의해 제어될 수 있다.

[0031] 도 1c에 전반적으로 도시된 제 2 노출은 또한 제 1 패턴을 리소-프리즈-리소-에칭(litho-freeze-litho-etch; LFLE) 다중-패턴화 접근방식으로 동결(freeze)시키도록 역할할 수 있으며, 따라서 새롭게 형성된 패턴들이 제 2 패턴들을 생성하기 위하여 사용되는 후속 리소그래피 동작들에서 존속할 수 있다. 이에 더하여, 제 2 노출은, Si-ARC를 포함하는 하단 반-반사 코팅(BARC)과 같은 아래 층(미도시)에 대한 포토레지스트 특징부(102)의 에칭 선택성을 개선할 수 있다. 특정 실시예들에 있어서, 이온들(108)은 실리콘 이온들로 구성되며, 여기에서 실리콘 이온들은 포토레지스트 특징부(102)의 에칭 저항성을 개선하기 위하여 특히 유용할 수 있다. 이러한 개선된 에칭 저항성은, 더 작은 기관 특징부들을 생성하기 위하여 포토레지스트 특징부들이 더 작아짐에 따라 높이 H가 감소될 수록 점점 더 유용할 수 있다.

[0032] 다중 노출 방법의 예시적인 실시예들에 있어서, 제 1 노출은 상대적으로 더 가벼운 이온들 예컨대 수소 또는 헬륨 이온들을 포함할 수 있으며, 여기에서 이온 도우즈는 $1\text{E}14/\text{cm}^2$ 내지 $2\text{E}16/\text{cm}^2$ 의 범위에 걸쳐, 더 구체적으로는 $1\text{E}14/\text{cm}^2$ 내지 $5\text{E}15/\text{cm}^2$ 의 범위 내에서 1 keV-20 keV의 이온 에너지로 제공된다. 제 2 노출은 제 2 이온 종에 대한 노출을 포함할 수 있으며, 여기에서 제 2 이온 종은 3 돌턴(Dalton)보다 더 큰 질량을 포함한다. 예를 들어, 제 2 노출은 상대적으로 더 무거운 이온들 예컨대 아르곤 이온들 또는 실리콘 이온들을 포함할 수 있으며, 여기에서 이온 도우즈는 $1\text{E}15/\text{cm}^2$ 내지 $3\text{E}16/\text{cm}^2$ 의 범위에 걸쳐, 더 구체적으로는 $5\text{E}15/\text{cm}^2$ 내지 $3\text{E}16/\text{cm}^2$ 의 범위 내에서 0.5 keV-3 keV의 이온 에너지로 제공된다.

[0033] 도 1g는 본 개시의 다른 예시적인 실시예에 따른 프로세싱 이후의 포토레지스트 특징부(102)의 단면도를 도시한다. 이러한 예에 있어서, 포토레지스트 특징부(102)는, 제 1 종의 깊이 D1가 H보다 더 크다는 것을 제외하고는 전반적으로 도 1a 내지 도 1f에 대하여 이상에서 설명된 바와 같이 프로세싱될 수 있다. 이는 아래 층(120)의 변경된 부분(122)의 형성을 야기한다. 일부 실시예들에 있어서, 아래 층(120)은 ARC 층일 수 있으며, 외부 부분(102C)의 형성은 아래 층(120)에 대한 포토레지스트 특징부(102)의 더 높은 에칭 선택성을 부여할 수 있다.

[0034] 다음의 도면들에 있어서, 본 개시의 실시예들에 따른 포토레지스트 특징부들의 프로세싱의 실험적인 예들이 도시된다. 도 2a 내지 도 2b는 본 개시의 추가적인 실시예에 따른 포토레지스트 특징부를 프로세싱하기 위한 방법에 따른 2개의 상이한 예들에서의 예시적인 포토레지스트 구조체들의 단면 현미경 사진들을 도시한다. 도 2c는 이온 주입 프로세스를 사용하는 프로세싱 이후의 포토레지스트 구조체의 단면 현미경 사진을 도시한다. 도 2a에서, 포토레지스트 특징부(200)는 대략 70 nm의 폭 W1을 갖는다. 레지스트 특징부의 프로파일이 약간 요입(re-entrant)한다. 도 2b에서, 본 개시의 실시예들에 따른 복수의 노출들 이후의 포토레지스트 특징부(200)의 프로세싱을 나타내는 포토레지스트 특징부(210)가 도시된다. 이러한 예에 있어서, 포토레지스트 특징부(210)는 빔라인 이온 주입기 내에서 H^+ 이온들의 제 1 노출을 겪었으며, 그 다음 Si 이온들의 제 2 노출이 이어졌다. 명백한 바와 같이, 라인폭 또는 폭 W2가 W1보다 더 작다. 이에 더하여, 포토레지스트 특징부(210)의 프로파일이 매끈하고 볼록하다. 도 2c에서, 수소 이온들에 대한 노출이 생략되는 것을 제외하고는 도 2b에서와 동일한 처리 하에서 실리콘 이온들에 대한 노출 이후의 포토레지스트 특징부(200)의 프로세싱을 나타내는 포토레지스트 특징부(220)가 도시된다. 이러한 예에 있어서, 포토레지스트 특징부(220)의 프로파일은 폭 W3으로서 도시된 바와 같이 감소된 폭을 나타낸다. 이에 더하여, 포토레지스트 특징부(220)는 "버섯" 형상을 야기하는 넥킹(necking)에 의해 특징지어지는 요입 프로파일을 나타내며, 이는 포토레지스트 특징부(220)에 대하여 더 열악한 에칭 특성들을 생성한다. 따라서, 포토레지스트 특징부(210)의 폭이 포토레지스트 특징부(210)의 상단 부분들로부터 포토레지스트 특징부(210)의 하부 부분들까지 감소하지 않기 때문에, 포토레지스트 특징부(210)의 측벽 프로파일이 포토레지스트 특징부(220)의 측벽 프로파일보다 덜 요입하는 것으로 간주될 수 있다. 명백한 바와 같이, 포토레지스트

트 특징부(220)의 폭은 포토레지스트 특징부(220)의 상단 부분들로부터 하부 부분들까지 감소한다.

[0035] 도 2c의 예에 있어서, 포토레지스트 특징부(220)의 결과적인 프로파일은, 포토레지스트 특징부(220)의 내부 부분 내의 벌크 레지스트 폴리머에 대한, 포토레지스트 특징부(220)의 외부 부분 내의 Si 주입에 의해 생성된 밀도가 높아진 층 사이의 기계적인 속성들의 상당한 차이에 의해 야기될 수 있다. 이는 밀도가 높아진 층 내에 인장 응력을 야기할 수 있다. 포토레지스트 특징부(220)는, 표면 장력의 효과 하에서의 물방울(water droplet)의 액션과 유사하게, 표면 에너지를 최소화하기 위하여 이러한 인장 응력의 효과 하에서 변형될 수 있다. 이는 도 2c에 도시된 바와 같은 문제가 있는 레지스트 프로파일을 생성한다. 포토레지스트 특징부의 베이스(base) 가까이에서 형성된 "넥킹"은 (i) 표면 장력을 최소화하기 위한 포토레지스트 "방울"의 형성, 및 (ii) 레지스트와 아래층(이러한 경우에 있어서 Si-ARC) 사이의 계면에서의 포토레지스트 특징부(220)의 핀칭(pinching)의 조합된 결과일 수 있다. 이러한 프로파일은 변화하는 CD 예컨대 폭 W3에 기인하여 후속 에칭 성능에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 넥킹으로부터 기인하는 이러한 불안정성이 또한 에칭 동안의 라인 함몰 및 위글링으로 이어질 수 있다.

[0036] 추가적인 실시예들에 있어서, 제 1 노출과 제 2 노출 사이의 시간적인 관계가 변화할 수 있다. 예를 들어, 도 1a 내지 도 1f와 관련하여 이상에서 도시된 바와 같이, 제 1 노출이 레지스트 특징부 전체에 걸쳐 이온들을 주입할 수 있으며, 제 2 노출은 레지스트 특징부의 외부 영역 내에 이온들을 주입할 수 있다. 일부 실시예들에 있어서, 제 1 노출은 제 2 노출 이전에 또는 그 동안에 수행될 수 있다. 이하에서 상세화되는 바와 같이, 이러한 2개의 노출들의 시퀀스가 변화될 때, 결과적인 포토레지스트 특징부들의 구조가 변화한다. 구체적으로, 이온들이 외부 부분 내에 주입되는 "제 2" 노출이 이온들이 레지스트 특징부 전체에 걸쳐 주입되는 "제 1" 노출 이전에 일어나는 경우, 문제가 있는 포토레지스트 프로파일들이 생성된다.

[0037] 도 3a 및 도 3는 포토레지스트 특징부들의 현미경 사진들을 도시하며, 이들은, 포토레지스트 특징부가 노출들의 순서가 프로세스 흐름들 사이에서 역전된다는 것을 제외하고는 2개의 별개의 노출들에 대하여 동일한 프로세스 조건들을 수반하는 프로세스 흐름들을 겪을 때 변화하는 결과들을 보여준다. 도 3a에서, 그 다음에 Ar 이온들의 제 2 노출이 이어지는 H_2 가스로부터의 수소 이온들의 제 1 노출을 겪은 포토레지스트 특징부(300)가 도시된다. 도 3b에서, 그 다음에 H_2 가스로부터의 수소 이온들의 제 2 노출이 이어지는 Ar 이온들의 제 1 노출을 겪은 포토레지스트 특징부(320)가 도시된다. 명백한 바와 같이, 포토레지스트 특징부(300)는 매끄러운 프로파일을 나타내며, 반면 포토레지스트 특징부(320)는 요입 프로파일을 나타낸다.

[0038] 다른 테스트 데이터는, 상대적으로 더 가벼운 이온들의 "제 1" 노출이 상대적으로 더 무거운 이온들의 "제 2" 노출과 동시에 수행되는 플라스마 톨 내에서의 전역 노출의 경우에, 도 3a에 도시된 바와 같은 넥킹을 회피하면서 동일한 레지스트 평탄화가 달성된다는 것을 확인하였다. 이러한 전역 노출은 상이한 이온들에 대한 2개의 상이한 동시적인 노출들을 제공하기 위한 것으로 고려될 수 있으며, 예를 들어, 수소 및 아르곤 종과 같은 상이한 이온 종을 갖는 플라스마를 제공함으로써 수행될 수 있다. 특히, 레지스트 특징부에 제공되는 이온들의 이온 에너지가 수소 이온들 및 아르곤 이온들에 대하여 동일할 수 있다. 따라서, 정확한 이온 에너지뿐만 아니라 아르곤 이온들과 비교할 때 수소의 상대적인 플럭스(flux)가 도 1d 또는 도 1g에서 보여지는 구조체와 같은 목표 포토레지스트 구조체를 생성하기 위하여 제어될 수 있다.

[0039] 다양한 실시예들에 있어서, 제 1 노출에서 제공되는 수소 이온들과 같은 이온들의 도우즈는 과도한 스퍼터링(sputtering) 및 에칭을 회피하도록 제어될 수 있다. 이는, 제 1 노출이, 자유 라디칼들이 또한 포토레지스트 특징부 상에 충돌할 수 있는 플라스마 톨에 의해 제공될 때 특히 유용할 수 있다. 이온 에너지 및 다른 프로세스 파라미터들이 또한 제 1 노출에서 포토레지스트 특징부에 제공되는 유형의 중 예컨대 수소 종을 최적화하기 위하여 플라스마 톨 내에서 신중하게 제어될 수 있다. 예를 들어, 플라스마 기반 톨들 내에서, H^+ 이온들에 대하여, 이량체(dimer)들(H_2^+) 및 삼량체(trimer)들(H_3^+)이 흔히 생성되며, 이들은 빔라인 이온 주입기를 사용하여 수행되는 순수 H^+ 주입에 비하여 상이한 이온 프로파일을 포토레지스트 특징부 내에 생성한다. 다양한 실시예들에 있어서, 가스 흐름 레이트(rate) 및 RF 파워와 같은 주입 파라미터들의 선택은 상이한 수소 이온들의 비율을 변경하도록 선택될 수 있다. 예를 들어, H^+ 에 대하여 H_2^+ 및 H_3^+ 의 농도를 감소시키는 것이 유용할 수 있으며, 이는, 그들의 증가된 질량에 기인하여, 이량체들 및 삼량체들이 주어진 주입 에너지에 대하여 H^+ 만큼 포토레지스트 특징부 내로 깊이 침투하지 않기 때문이다. 따라서, 플라스마 톨 내에서의 H_2^+ 및 H_3^+ 를 이용한 포토레지스트 특징부의 프로세싱이 깊은 주입과 연관되어 더 적은 이점을 부여할 수 있으며, 그에 따라서 플라스마 톨 내의 프

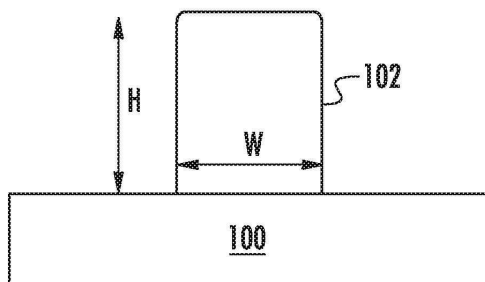
로세스 파라미터들의 적절한 선택에 의해 감소될 수 있다.

- [0040] 또한, 제 1 노출 및 제 2 노출에서 제공되는 이온 에너지 및 이온 도우즈는, 목표 레지스트 프로파일 및 개선된 LER/LWR을 생성하는 것과 레지스트 재료들의 과도한 스퍼터링을 최소화하는 것 사이에 균형을 달성하도록 조정될 수 있다. 밀도가 높은 포토레지스트 특징부의 외부 부분이 형성되는 제 2 노출 동안 이온들의 이온 각도들의 제어가 또한 유용할 수 있다. 예를 들어, Z-방향에 대하여 비-제로 입사각으로 이온들의 적어도 일 부분을 제공하는 것이 포토레지스트 특징부의 상단뿐만 아니라 포토레지스트 특징부의 측벽들 상에 셀을 형성하기 위하여 유용할 수 있다(도 1a 내지 도 1d 참조).
- [0041] 이에 더하여, 다양한 실시예들에 따르면, 상이한 노출들에서 포토레지스트 특징부로 보내지는 무거운 이온들과 가벼운 이온들 사이의 균형이 제공된다. 복수의 노출들에 대한 레시피(recipe)를 선택하기 위한 고려사항들 중에서도 특히, 가벼운 이온들에 대한 이온 도우즈는 용인 가능한 균질화(homogenization) 및 폴리머 리플로우를 초래하기에 적절한 하위 도우즈 문턱값과, 상위 문턱값 위에서 과도한 교차결합이 발생하고 포토레지스트를 경화시키는 상위 도우즈 문턱값 사이에서 최적화될 수 있다. 이러한 경화는 LER의 감소를 어렵게 만들 수 있으며, 후속 에칭 동안 측벽 줄무늬(striation)를 초래할 수 있다. 이온 도우즈, 이온 에너지 및 이온들의 선택이 또한 과도한 레지스트 손실을 회피하도록 선택될 수 있다. 실리콘 또는 아르곤과 같은 상대적으로 무거운 이온들의 도우즈는, 포토레지스트 특징부의 고밀화(densification)/동결/경화를 초래하기에 적절하게 선택될 수 있다. 이러한 무거운 이온들은 민감성 포토레지스트에 손상을 줄 수 있으며, 따라서 이온 도우즈는 포토레지스트 손상을 감소시키도록 제한될 수 있다.
- [0042] 또한, 자유 라디칼들에 의한 스퍼터링 및 잠재적인 에칭은 플라즈마 툴 내에서 수행되는 이온 주입 프로세스의 일체적 부분일 수 있다. 결과적으로, 제 1 노출 및 제 2 노출에 의한 프로세싱 이후에 CD(W)의 감소가 불가피할 수 있다. 다양한 실시예들에 따르면, 가벼운 이온들과 무거운 이온들의 프로세스 파라미터들의 균형을 잡음으로써, 상대적으로 더 적은 스퍼터링 및/또는 에칭을 가지고 포토레지스트 특징부의 리플로우가 용이해질 수 있으며, 따라서 CD 손실을 최소화한다. 실제로, 제어 가능한 CD 손실을 생성하는 것(CD 트리밍(trimming))이 제 1 노출 및 제 2 노출 이후에 유용할 수 있으며, 이는 CD 트리밍이 기판 내에 포토리소그래피만에 의해 생성되는 포토레지스트 특징부들보다 더 작은 에칭된 특징부들을 생성하기 위한 메커니즘을 제공하기 때문이다.
- [0043] 추가적인 실시예들에 따르면, 포토레지스트 특징부를 지지하는 기판의 기판 온도가 포토레지스트 특징부의 결과적인 구조체를 개선하기 위하여 복수의 노출 동안 제어될 수 있다. 일부 실시예들에 있어서, 기판 온도는 과도한 포토레지스트 특징부의 흐름을 회피하면서 LER/LWR을 감소시키는 것을 가능하게 하기 위하여 25℃ 내지 75℃ 사이의 범위일 수 있다. 특정 실시예들에 있어서, 55℃의 기판 온도가 사용될 수 있다.
- [0044] 이상의 예들이 포토레지스트 특징부들을 프로세싱하기 위한 실시예들에 초점을 맞추었지만, 다른 실시예들에 있어서, 복수의 노출들은 포토레지스트 특징부 아래에 배치된 아래 층들과 같은 다른 패터닝 특징부들을 처리하기 위하여 수행될 수 있다. 예를 들어, 실리콘 또는 폴리실리콘과 같은 기판 내에 잔존하도록 기판 층에 패터를 전사시키기 위하여, 포토레지스트, ARC 층들, 탄소 층들, 하드 마스크들, 및 등등을 포함하는 복수의 층들이 패터닝 층들로서 이용될 수 있다. 초기에 포토레지스트 특징부에 의해 획정된 패터닝, 예를 들어, ARC 층을 포함하는 포토레지스트 층 아래에 배치된 중간 층 또는 층들로 전사될 수 있다. 다른 경우들에 있어서, 적어도 하나의 포토레지스트 특징부를 형성하기 위한 포토레지스트 층의 패터닝 이후에, 포토레지스트 층이 제거된 영역들에서 아래의 ARC 층이 노출된다. ARC 층은 그 후에 에칭될 수 있으며, 이는 포토레지스트 특징부의 패터를 ARC 층으로 전사시키고, 패터화된 ARC 특징부 또는 특징부들을 야기한다.
- [0045] 추가적인 실시예들에 따르면, ARC 특징부를 생성하기 위하여 ARC 층이 패터화된 이후에, 이상에서 전반적으로 설명된 바와 같이 복수의 노출들이 수행될 수 있으며, 여기에서 제 1 노출은 ARC 특징부를 통해 제 1 깊이까지 침투하며, 이온들을 주입하는 것을 사용하는 제 2 노출은 이온들을 제 1 깊이보다는 더 얇은 제 2 깊이까지 주입한다. 이는 포토레지스트 특징부에 대하여 이상에서 설명된 방식과 유사한 방식으로 ARC 특징부의 형상을 개선하도록 역할할 수 있다. 예를 들어, 일부 ARC 재료들은, 이상에서 설명된 다중 노출 처리들을 겪을 때 거칠기를 감소시키도록 반응할 수 있는 폴리머 조성물을 가질 수 있다.
- [0046] 일부 실시예들에 있어서, ARC 특징부의 다중 노출 처리는 포토 레지스트 특징부가 ARC 특징부 위에 위치해 있는 동안에 수행될 수 있다. 예를 들어, 포토레지스트 특징부의 더 큰 부분이 ARC 특징부를 형성하기 위한 에칭 동안 제거될 수 있으며, 따라서 주입 이온들, 전자들, 또는 VUV 방사가 용이하게 ARC 특징부 내로 침투할 수 있다.

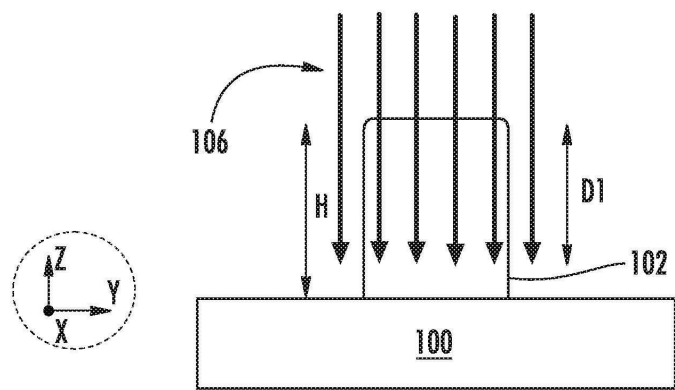
- [0047] 추가적인 실시예들에 있어서, 포토레지스트 특징부를 처리하기 위하여 제 1 다중 노출 처리가 수행될 수 있으며, 아래 층의 특징부, 예컨대 ARC 특징부를 처리하기 위하여 제 2 다중 노출 처리가 수행될 수 있다. 대안적으로, 추가적인 실시예들에 있어서, 오로지 ARC 특징부만이 복수의 노출들에 의해 처리될 수 있다.
- [0048] 도 4는 예시적인 프로세스 흐름(400)을 도시한다. 블록(402)에서, 제 1 이온들이 제 1 노출 동안 패턴화 특징부로 보내진다. 제 1 이온들은 일부 예들에 있어서 적어도 패턴화 특징부의 높이만큼 큰 제 1 깊이까지 침투하도록 구성될 수 있다. 제 1 종은 일부 예들에 있어서 수소, 헬륨, 또는 탄소와 같은 상대적으로 가벼운 이온들을 포함할 수 있다. 블록(404)에서, 제 2 이온들이 제 2 노출에서 패턴화 특징부로 보내진다. 다양한 실시예들에 있어서, 제 2 노출은 제 1 노출 동안에 또는 그 이후에 패턴화 특징부로 보내지는 상대적으로 더 무거운 이온들을 포함한다. 제 2 노출의 이온들은 제 1 깊이보다 더 작은 제 2 깊이까지 패턴화 특징부 내로 침투하도록 구성될 수 있으며, 패턴화 특징부의 내부 부분보다 상대적으로 밀도가 더 높은 포토레지스트 특징부의 외부 부분을 생성할 수 있다.
- [0049] 도 5는 예시적인 프로세스 흐름(500)을 도시한다. 블록(502)에서, 제 1 종이 제 1 노출에서 제공되며, 여기에서 제 1 종은 제 1 깊이까지 패턴화 특징부로 침투하도록 구성되고, 추가로 패턴화 특징부를 부드럽게 하도록 구성된다. 다양한 실시예들에 있어서, 제 1 종은 이온들, 진공 자외선 방사, 또는 전자들을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에 있어서, 패턴화 특징부는 패턴화된 포토레지스트 특징부를 포함할 수 있으며, 반면 다른 실시예들에 있어서, 패턴화 특징부는 패턴화된 반-반사 코팅 특징부 또는 다른 패턴화된 특징부를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에 있어서, 제 1 깊이는 패턴화 특징부 전체가 제 1 종에 의해 침투되는 위치를 나타낼 수 있다. 블록(504)에서, 제 2 종이 제 2 노출 동안 패턴화 특징부 내로 주입되며, 제 2 종은 제 1 깊이보다 더 작은 얇은 주입 깊이를 갖는 이온들을 포함한다. 제 2 종은 패턴화 특징부의 내부 부분 내의 제 2 밀도보다 더 큰 제 1 밀도를 갖는 밀도가 높은 층을 패턴화 특징부의 외부 부분 내의 생성하도록 구성될 수 있다.
- [0050] 요컨대, 본 실시예들은 복수의 노출들을 포토레지스트 특징부로 보냄으로써 포토레지스트 프로파일을 조정하기 위한 능력을 포함하는 이점들을 제공하며, 여기에서 복수의 노출들은 개선된 단면 포토레지스트 프로파일들 및 개선된 라인 에지 거칠기를 야기할 수 있다. 본 실시예들은 또한 포토레지스트 특징부 아래에 배치된 아래 층에 대한 개선된 에칭 선택성뿐만 아니라 공지된 포토레지스트 포스트-리소그래피 처리에 대하여 개선된 포토레지스트 프로파일들을 제공할 수 있다.
- [0051] 본 개시는 본원에서 설명된 특정 실시예에 의해 범위가 제한되지 않는다. 오히려, 본원에서 설명된 실시예들에 더하여, 본 개시의 다른 다양한 실시예들 및 이에 대한 수정예들이 이상의 설명 및 첨부된 도면들로부터 당업자들에게 자명해질 것이다. 따라서, 이러한 다른 실시예들 및 수정예들이 본 개시의 범위 내에 속하도록 의도된다. 추가로, 본 개시가 본원에서 특정 목적을 위한 특정 환경에서의 특정 구현예의 맥락에서 설명되었지만, 당업자들은 그 유용함이 이에 한정되지 않으며, 본 개시가 임의의 수의 목적들을 위한 임의의 수의 환경들에서 유익하게 구현될 수 있다는 것을 인식할 것이다. 따라서, 이하에서 기술되는 청구항들은 본원에서 설명된 바와 같은 본 개시의 완전한 폭과 사상의 관점에서 해석되어야만 한다.

도면

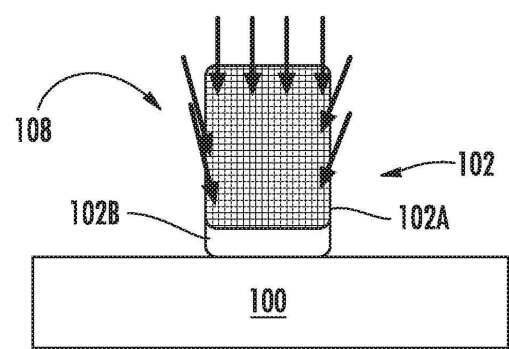
도면1a



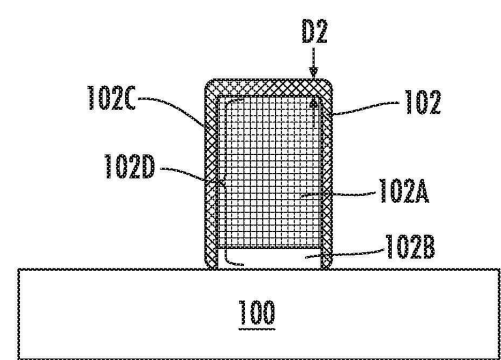
도면1b



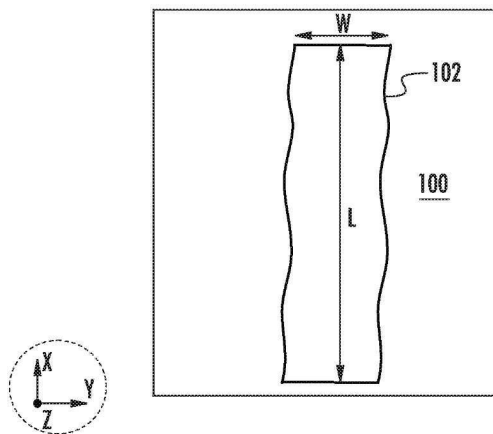
도면1c



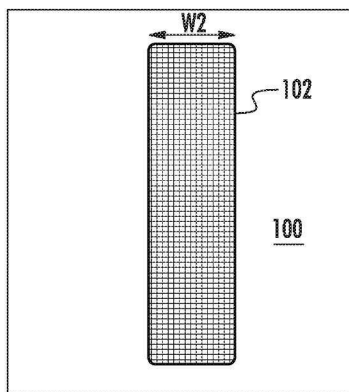
도면1d



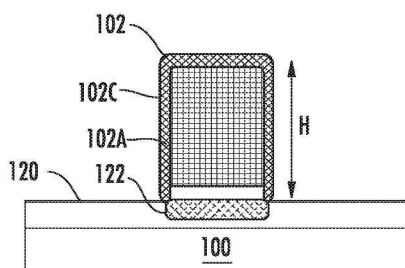
도면1e



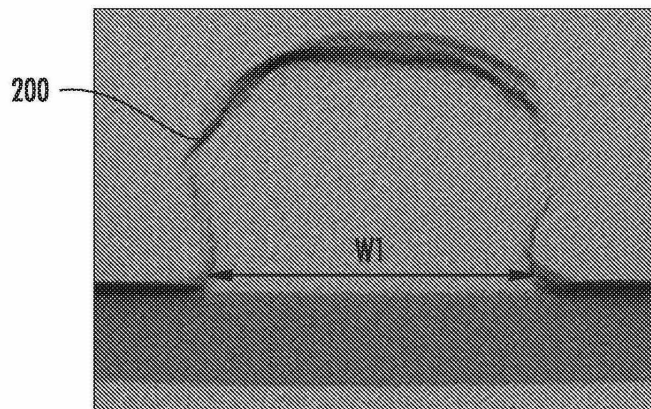
도면1f



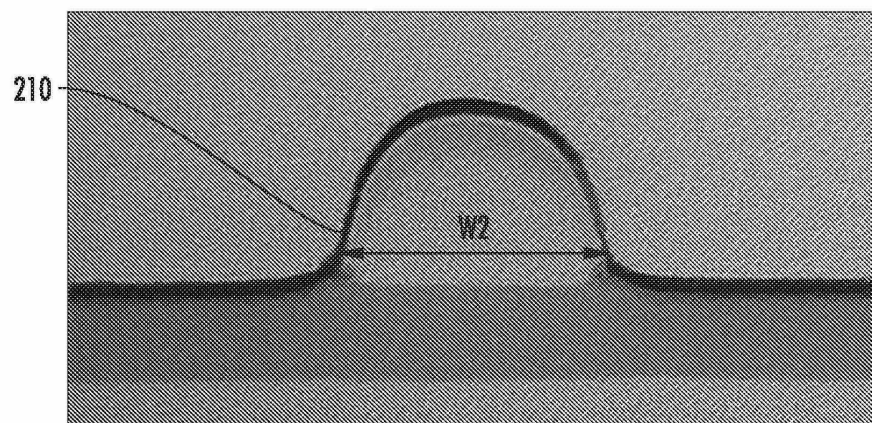
도면1g



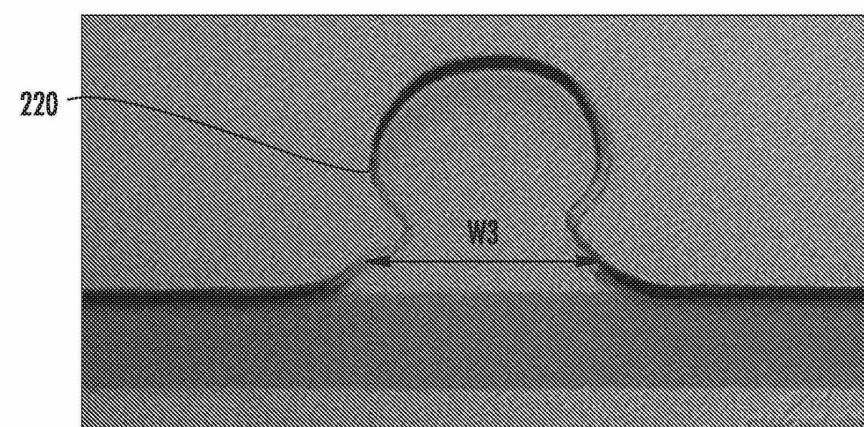
도면2a



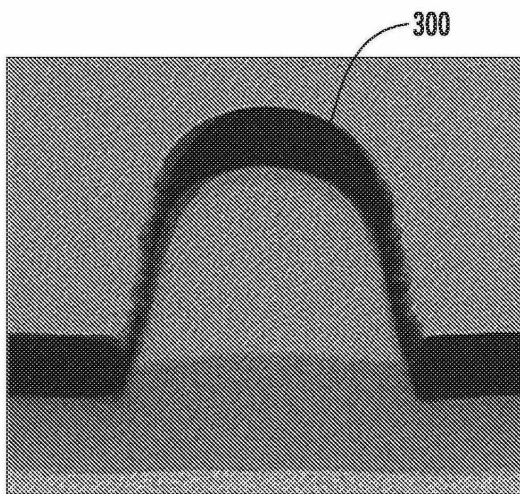
도면2b



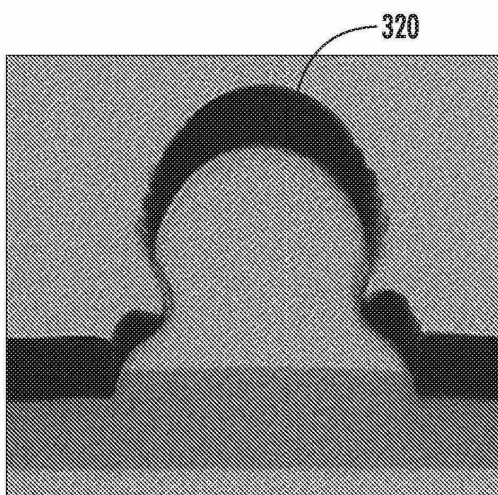
도면2c



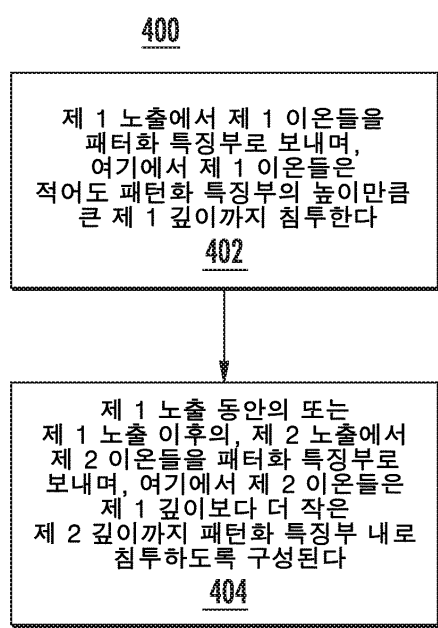
도면3a



도면3b



도면4



도면5

