



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년04월24일
(11) 등록번호 10-2660772
(24) 등록일자 2024년04월22일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/67 (2006.01) H01L 21/306 (2006.01)
H01L 21/3065 (2006.01) H01L 21/687 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 21/67075 (2013.01)
H01L 21/30604 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2021-7017192
- (22) 출원일자(국제) 2019년11월15일
심사청구일자 2022년11월02일
- (85) 번역문제출일자 2021년06월04일
- (65) 공개번호 10-2021-0076994
- (43) 공개일자 2021년06월24일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2019/061683
- (87) 국제공개번호 WO 2020/102657
국제공개일자 2020년05월22일
- (30) 우선권주장
62/767,808 2018년11월15일 미국(US)
(뒷면에 계속)
- (56) 선행기술조사문헌
US06616014 B1
KR1020090090368 A
KR1020170077839 A
KR1020170141117 A
- (73) 특허권자
도쿄엘렉트론가부시키키가이사
일본 도쿄도 미나토쿠 아카사카 5초메 3반 1고
- (72) 발명자
아벨 폴
미국 텍사스주 78741 오스틴 그로브 블러바드 2400
- (74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 22 항

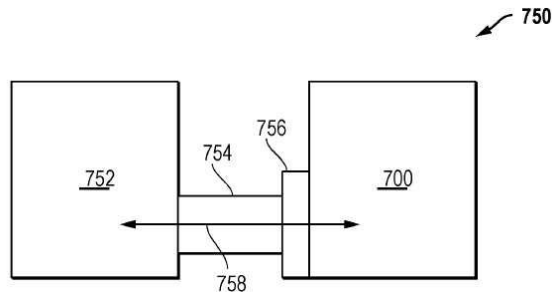
심사관 : 오만일

(54) 발명의 명칭 자기 제어 및 용해도 제한 반응을 사용하는 습식 원자층 에칭을 위한 공정 시스템 및 플랫폼

(57) 요약

에칭 동안 재료의 미시적 및 거시적 균일성을 모두 개선하기 위한 공정 시스템 및 플랫폼이 본원에 개시된다. 이러한 개선은 습식 원자층 에칭(ALE) 기술을 사용하여, 재료 표면 상에 얇은 자기 제어 층을 형성하고 용해시킴으로써 달성될 수 있다. 다결정 재료의 에칭을 위해, 이러한 자기 제어 반응은, 에칭 동안 표면의 이러한 거칠기를 방지하기 위해 사용될 수 있다. 따라서, 본원에 개시된 바와 같이, 습식 ALE 공정은 순차적 자기 제어 반응을 사용하여, 재료의 표면 층을 먼저 변형시킨 다음, 변형된 층을 선택적으로 제거한다.

대표도 - 도7b



(52) CPC특허분류

H01L 21/3065 (2013.01)
H01L 21/67069 (2013.01)
H01L 21/6715 (2013.01)
H01L 21/67276 (2013.01)
H01L 21/68785 (2013.01)

(30) 우선권주장

16/287,658 2019년02월27일 미국(US)
16/402,611 2019년05월03일 미국(US)

명세서

청구범위

청구항 1

기관 상에 습식 에칭 공정을 수행하기 위한 공정 시스템으로서,

습식 화학 공정을 수행하도록 구성된 습식 공정 챔버;

상기 습식 공정 챔버 내에 있고, 제1 재료 및 제2 재료를 갖는 기관을 지지하도록 구성되는 기관 홀더;

제1 화학 용액 및 제2 화학 용액을 공급하도록 구성된 화학 물질 공급 시스템으로서, 상기 제2 화학 용액은 상기 제1 화학 용액과 상이한, 상기 화학 물질 공급 시스템;

상기 습식 공정 챔버에 유동 가능하게 연결되고, 상기 제1 화학 용액 및 상기 제2 화학 용액을 주기적으로 분배하도록 구성되는, 화학 물질 분사 매니폴드; 및

상기 제1 화학 용액 및 상기 제2 화학 용액의 각각의 분배 사이클에 대한 지속시간을 제어함으로써 상기 제2 재료와 관련하여 상기 제1 재료를 선택적으로 제거하기 위해 상기 습식 에칭 공정을 수행하도록 프로그래밍 가능하게 구성된 제어기를 포함하고,

상기 제어기는, 각각의 분배 사이클에서,

화학적으로 변형된 층을 생성하도록 상기 제1 재료를 화학적으로 변형시키기 위해 상기 제1 화학 용액에 상기 기관을 노출시키도록 상기 화학 물질 분사 매니폴드를 제어하고 - 상기 화학적으로 변형된 층을 생성하도록 상기 화학 물질 분사 매니폴드를 제어하는 것은, 상기 기관의 표면 상에 상기 제1 화학 용액을 분배하도록 상기 화학 물질 분사 매니폴드를 제어하는 것을 포함하고, 상기 제1 화학 용액은 상기 화학적으로 변형된 층을 생성하도록 상기 기관의 상기 표면을 화학적으로 변형시킴 - ,

상기 제2 재료를 제거하지 않으면서 상기 화학적으로 변형된 층을 제거하기 위해 상기 화학 물질 분사 매니폴드를 제어하도록 - 상기 화학적으로 변형된 층을 제거하기 위해 상기 화학 물질 분사 매니폴드를 제어하는 것은, 상기 화학적으로 변형된 층 상에 상기 제2 화학 용액을 분배하는 것을 포함함 - 구성되는,

기관 상에 습식 에칭 공정을 수행하기 위한 공정 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 화학 용액은 산화제를 포함하는, 공정 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제1 화학 용액은 산소 포화 화학 용액을 포함하는, 공정 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1 화학 용액은, 물, 알코올, 또는 아세톤에 용해된 산소를 포함하는 산소 포화 화학 용액을 포함하는, 공정 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 화학 물질 공급 시스템은 또한, 착화제(complexing agent)를 공급하도록 구성되는, 공정 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,
상기 착화제는 시트르산염을 포함하는, 공정 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,
상기 화학 물질 공급 시스템은 또한, 용제 세척 용액(solvent rinse solution)을 공급하도록 배치되는, 공정 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,
상기 제어기는, 상기 표면의 화학적 변형 후에 그리고 상기 화학적으로 변형된 층의 선택적 제거 전에, 상기 용제 세척 용액을 제공하기 위해 상기 화학 물질 분사 매니폴드를 제어하도록 프로그래밍 가능하게 구성되는, 공정 시스템.

청구항 9

제1항에 있어서,
상기 제어기는, 시간에 따라 부분적으로 중첩되는, 상기 제1 화학 용액 및 상기 제2 화학 용액의 주기적 분배를 제공하도록 프로그래밍 가능하게 구성되는, 공정 시스템.

청구항 10

제1항에 있어서,
상기 제어기는, 시간에 따라 중첩되지 않는 방식으로, 상기 제1 화학 용액 및 상기 제2 화학 용액의 주기적 분배를 제공하도록 프로그래밍 가능하게 구성되는, 공정 시스템.

청구항 11

제1항에 있어서,
상기 제1 화학 용액은 착화제를 포함하며, 상기 제2 화학 용액은 물을 포함하는, 공정 시스템.

청구항 12

다결정 재료를 갖는 기관을 에칭하기 위한 플랫폼으로서,

상기 다결정 재료를 에칭하도록 구성된 건식 에칭 장치;

상기 기관 상의 다른 재료와 관련하여 상기 다결정 재료를 선택적으로 에칭하도록 구성된 습식 에칭 장치로서,

상기 습식 에칭 장치는, 습식 공정 챔버, 상기 습식 공정 챔버 내의 상기 기관을 지지하도록 구성된 기관 홀더, 화학 물질 공급 시스템, 화학 물질 분사 매니폴드, 및 상기 다른 재료와 관련하여 상기 다결정 재료를 선택적으로 에칭하기 위해 적어도 상기 화학 물질 분사 매니폴드를 제어하도록 구성된 제어기를 포함하고,

상기 습식 에칭 장치는, 상기 습식 공정 챔버 내의 상기 기관 상에 제1 화학 용액 및 제2 화학 용액을 공급하도록 구성되고, 상기 제2 화학 용액은 상기 제1 화학 용액과 상이하고,

상기 제1 화학 용액은, 화학적으로 변형된 층을 생성하기 위해 상기 다결정 재료를 화학적으로 변형시키도록 구성되고,

상기 제2 화학 용액은, 상기 다른 재료를 제거하지 않으면서 상기 화학적으로 변형된 층을 제거하도록 구성되는, 상기 습식 에칭 장치;

상기 건식 에칭 장치와 상기 습식 에칭 장치 간에 상기 기관을 이동시키기 위한 이송 모듈; 및

상기 이송 모듈의 이송 모듈 환경을 상기 습식 에칭 장치의 습식 에칭 장치 환경과 분리시키기 위해, 상기 이송 모듈과 상기 습식 에칭 장치 사이에 배치된 분리 관통 모듈을 포함하는,

다결정 재료를 갖는 기판을 에칭하기 위한 플랫폼.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 다결정 재료는 전이 금속인, 플랫폼.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 건식 에칭 장치는, 상기 다결정 재료를 제1 표면 거칠기 값으로 먼저 에칭하도록 구성되며,

상기 습식 에칭 장치는, 상기 다결정 재료를 제2 표면 거칠기 값으로 후속적으로 에칭하도록 구성되고, 상기 제 2 표면 거칠기 값은 상기 제1 표면 거칠기 값 미만인, 플랫폼.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 플랫폼은, 상기 기판이 상기 건식 에칭 장치로부터 상기 습식 에칭 장치로 이송되는 경우, 주위 환경에 노출되지 않는 제어된 환경에 상기 기판을 유지하도록 구성되는, 플랫폼.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 제1 화학 용액은 산화제를 포함하는, 플랫폼.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 습식 에칭 장치는 또한, 용제 세척 용액을 공급하도록 배치되는, 플랫폼.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 습식 에칭 장치는, 상기 표면의 화학적 변형 후에 그리고 상기 화학적으로 변형된 층의 선택적 제거 전에, 상기 용제 세척 용액을 제공하도록 구성되는, 플랫폼.

청구항 19

제12항에 있어서,

상기 플랫폼은, 상기 기판이 상기 건식 에칭 장치로부터 상기 습식 에칭 장치로 이송되는 경우, 주위 환경에 노출되지 않는 제어된 환경에 상기 기판을 유지하도록 구성되는, 플랫폼.

청구항 20

제12항에 있어서,

상기 제1 화학 용액은 산화제를 포함하는, 플랫폼.

청구항 21

제5항에 있어서,

상기 화학적으로 변형된 층을 생성하도록 상기 화학 물질 분사 매니폴드를 제어하는 것은, 상기 기판의 표면 상에 상기 착화제를 분배하도록 상기 화학 물질 분사 매니폴드를 제어하는 것을 더 포함하는, 공정 시스템.

청구항 22

제21항에 있어서,

상기 제1 화학 용액은 상기 착화제를 포함하는, 공정 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

관련 출원에 대한 상호 참조

[0002]

본 출원은 2018년 11월 15일자로 출원된 "자기 제어 및 용해도 제한 반응을 사용하는 습식 원자층 에칭"이라는 명칭의 미국 가특허출원 번호 제62/767,808호; 2019년 2월 27일자로 출원된 "자기 제어 및 용해도 제한 반응을 사용하는 습식 원자층 에칭"이라는 명칭의 미국 특허출원 번호 제16/287,658호; 및 2019년 5월 3일자로 출원된 "자기 제어 및 용해도 제한 반응을 사용하는 습식 원자층 에칭을 위한 공정 시스템 및 플랫폼"이라는 명칭의 미국 특허출원 번호 제16/402,611호에 대한 우선권을 주장하며, 이들의 개시물은 그 전체가 본원에 참조로 명시적으로 포함된다.

[0003]

본 개시물은 기관의 공정(processing)에 관한 것이다. 특히, 이는 기관 상의 층의 에칭 방법을 제공한다.

배경 기술

[0004]

기관 공정 동안, 기관 상의 다양한 층을 에칭하기 위한 다양한 기술이 알려져 있다. 플라즈마 에칭 및 습식 에칭은 잘 알려진 두 가지 기술이다. 습식 에칭은 기관의 표면 위에 화학 용액을 분배하거나, 화학 용액에 기관을 침지하는 단계를 포함한다. 흔히, 화학 용액은, 용제, 기관 표면 상의 재료와 반응하도록 설계된 화학 물질, 및 반응 생성물의 용해를 촉진시키기 위한 화학 물질을 포함한다. 기관 표면을 에천트(etchant)에 노출시킴으로써, 결과적으로 기관으로부터 재료가 제거된다. 에천트 조성 및 온도에 따라, 에칭율, 특이성(specificity), 및 에칭 후의 기관 표면 상의 잔류 재료를 제어할 수 있다.

[0005]

열역학 및 동역학 모두가 에천트 제제에서 역할을 한다. 원하는 반응은 성공적인 에칭을 위해 열역학적으로 그리고 동역학적으로 모두 적합해야 한다. 다결정 재료를 에칭하기 위한 성공 요건은 훨씬 더 엄격하게 된다. 이러한 재료의 경우, 각각의 개별 미결정 면(crystallite facet) 및 결정립계(grain boundary) 기하학적 구조에 대한 제거율은, 미결정 형태 또는 환경과 상관없이 실질적으로 유사한 것이 바람직하다. 표면 거칠기는 나노스케일 형상부(feature)의 계면 품질 및 전기 특성에 중요한 역할을 한다. 나노스케일 다결정 재료를 에칭하는 경우, 상이한 결정체 면과 비교하여 결정립계에서의 상이한 에칭율은, 에칭 동안 표면의 거칠기를 유발한다. 또한, 재료 제거율은 거시적 및 미시적 레벨로 균일해야 하며, 대량 제조와 양립될 수 있는 비율로 이루어는 것이 바람직하다. 거시적 균일성은 신중한 엔지니어링을 통해 해결될 수 있지만, 미시적 균일성은 에칭 자체의 화학 작용에 따라 좌우된다.

[0006]

기관 구조물의 기하학적 구조가 계속 축소되고, 구조물의 유형이 진화함에 따라, 기관 에칭 문제가 증가하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 사용되었던 한 가지 기술은 원자층 에칭(ALE)이다. ALE 공정은 일반적으로 하나 이상의 자기 제어(self-limiting) 반응을 통해 얇은 층을 순차적으로 제거하는 공정을 포함하는 것으로 알려져 있다. 예를 들어, ALE는 전형적으로 원자 정밀도로 에칭할 수 있는(한 번에 하나 또는 몇 개의 단분자층 재료를 제거할 수 있는) 기술을 지칭한다. 일반적으로, ALE 방식은 에칭될 표면의 화학적 변형 후에, 변형된 층의 선택적 제거를 필요로 한다. 따라서, ALE 공정은, 에칭 공정을 표면 변형 및 변형된 표면 제거의 순차적 단계로 분리시킴으로써, 개선된 성능을 제공한다. 이러한 공정은 흔히 다수의 주기적인 일련의 층 변형 및 에칭 단계를 포함한다. 변형 단계는 노출된 표면을 변형시킬 수 있고, 에칭 단계는 변형된 층을 선택적으로 제거할 수 있다. 따라서, 일 실시형태에서, 일련의 자기 제어 반응이 발생할 수 있고, 사이클이 반복적으로 수행될 수 있다. 다른 실시형태에서, 공정은 단지 하나의 사이클을 사용할 수 있다. 본원에 사용된 바와 같은 ALE 공정은 준-ALE 공정을 더 포함할 수 있다. 이러한 공정에서, 일련의 변형 및 에칭 단계 사이클이 여전히 사용될 수 있다. 그러나, 변형된 층의 제거 후에, 에칭이 실질적으로 둔화됨에 따라(그러나 완전히 중단되지는 않을 수 있음), 제거 단계가 전적으로 자기 제어되지 않을 수 있다. 따라서, 알려진 ALE 기술은 오랜 기간 진공상태 또는 기상(gas phase)으로 수행되어 왔다. 이러한 기술은 플라즈마 또는 고온 열화학 반응을 사용하여, 재료 표면을 변형시킨 후에, 화학 교환 또는 리간드 교환 반응을 사용하여, 변형된 층을 휘발시킨다. ALE의 특성은, 표면이 에칭됨에

따라 표면의 평활화를 유발한다.

[0007] 다른 알려진 순차적 에칭 기술은, 산화물을 선택적으로 제거하기 위한 자기 제어 산화 단계 및 산성 습식 에칭으로서, 산소 플라즈마, 오존, 또는 과산화수소를 사용하는 III-V 반도체의 에칭을 포함한다. 그러나, 종래기술은 순차적 에칭 공정을 제공하지만, 요구되는 활동적인 산화제로 인해 원자층 제어를 필요로 한다.

[0008] 에칭되는 형상부의 크기가 계속 감소함에 따라, 알려진 에칭 기술을 통해 미시적 및 거시적 에칭 균일성 요건을 허용 가능한 정도로 충족시키는 것은 점점 더 어려워지고 있다. 따라서, 개선된 에칭 공정을 제공하는 것이 바람직하다.

발명의 내용

[0009] 에칭 동안 재료의 미시적 및 거시적 균일성을 모두 개선하기 위한 방법이 본원에 개시된다. 이러한 개선은 습식 ALE 기술을 사용하여, 재료 표면 상에 얇은 자기 제어 층을 형성하고 용해시킴으로써 달성될 수 있다. 다결정 재료의 에칭을 위해, 이러한 자기 제어 반응은, 에칭 동안 표면의 이러한 거칠기를 방지하기 위해 사용될 수 있다. 따라서, 본원에 개시된 바와 같이, 습식 ALE 공정은 순차적 자기 제어 반응을 사용하여, 재료의 표면 층을 먼저 변형시킨 다음, 변형된 층을 선택적으로 제거한다. 다른 실시형태에서, 개시된 방법을 수행하기 위한 플랫폼이 개시된다. 플랫폼은, 습식 ALE 공정의 화학 용액을 공급하도록 배치된 습식 화학 물질 공급 시스템을 포함할 수 있다. 또한, 플랫폼은 습식 에칭 도구 및 건식 에칭 도구를 모두 포함할 수 있으며, 기판은 건식 에칭 도구로부터 습식 에칭 도구로 이동할 수 있으며, 습식 에칭 도구는 환경적으로 분리된 챔버를 갖는다. 일 실시형태에서, 기판은 주위 대기에 노출되지 않으면서 건식 및 습식 에칭 도구 내에서 처리될 수 있다.

[0010] 일 실시형태에서, 기판을 에칭하는 방법이 제공된다. 방법은 기판을 수용하는 단계를 포함할 수 있으며, 기판은 노출된 제1 재료를 갖고, 제1 재료는 다결정 재료를 포함한다. 방법은 다결정 재료를 선택적으로 에칭하는 단계를 더 포함하며, 선택적으로 에칭하는 단계는, 변형된 표면 층을 제공하기 위해, 다결정 재료의 표면을 화학 용액에 노출시킴으로써, 다결정 재료의 표면을 화학적으로 변형시키는 단계; 및 변형된 표면 층을 액상 화학 용액에 노출시킴으로써, 다결정 재료의 변형된 표면 층을 선택적으로 제거하는 단계를 포함한다.

[0011] 일 실시형태에서, 다결정 재료의 표면을 화학적으로 변형시키는 단계는, 산화제를 사용하여 다결정 재료를 산화시키는 단계를 포함한다. 일 실시형태에서, 산화제는, 산소 함유 가스 환경, 용존 산소 또는 다른 산화제를 함유하는 화학 용액, 또는 표면의 산화에 직접 관여하는 물과 같은 용제를 포함한다. 다른 실시형태에서, 산화제는, 물, 알코올, 또는 아세톤에 용해된 산소를 포함하는 산소 포화 화학 용액이다.

[0012] 다른 실시형태에서, 화학적으로 변형시키는 단계는, 착화제(complexing agent)를 사용하여 다결정 재료의 변형된 층을 패시베이션(passivation)하는 단계를 더 포함한다. 일 실시형태에서, 착화제는 시트르산염(citrate)을 포함한다.

[0013] 다른 실시형태에서, 화학적으로 변형시키는 단계는, 기판을 시트르산에 노출시킴으로써, 다결정 재료의 변형된 층을 패시베이션하는 단계를 더 포함한다. 다른 실시형태에서, 화학적으로 변형시키는 단계는, 기판을 분자 산소 및 시트르산염에 노출시키는 단계를 포함한다.

[0014] 다른 실시형태에서, 전술한 기판을 에칭하는 방법은, 화학적으로 변형시키는 단계 후에 그리고 선택적으로 제거하는 단계 전에, 용제가 있는 기판을 세척(rinsing)하는 단계를 더 포함한다.

[0015] 전술한 기판을 에칭하는 방법의 다른 실시형태에서, 선택적으로 제거하는 단계는, 변형된 층을 용해시키기 위해, 다결정 재료의 변형된 층을 수용액에 노출시키는 단계를 포함한다.

[0016] 다른 실시형태에서, 화학적으로 변형시키는 단계 및 선택적으로 제거하는 단계가 순차적으로 그리고 교대로 수행되는, 설명된 기판을 에칭하는 방법이 사용된다. 일부 실시형태에서, 화학적으로 변형시키는 단계 및 선택적으로 제거하는 단계의 순차적 단계는, (1) 시간에 따라 부분적으로 중첩되거나, (2) 연속적으로 수행된다. 일부 실시형태에서, 화학적으로 변형시키는 단계 및 선택적으로 제거하는 단계의 순차적 단계는, 시간에 따라 중첩되지 않는다.

[0017] 또 다른 실시형태에서, 전술한 선택적 에칭을 수행하기 전에, 다결정 재료를 기상 환경에 노출시킴으로써, 다결정 재료를 선택적으로 건식 에칭하는 단계가 수행될 수 있다.

[0018] 일 실시형태에서, 다결정 재료는 전이 금속일 수 있거나, 귀금속일 수 있다. 바람직한 일 실시형태에서, 다결정 재료는 루테튬 또는 코발트이다.

- [0019] 다른 실시형태에서, 기관을 에칭하는 방법이 설명된다. 방법은, 다결정 재료로 구성된 제1 재료, 및 상이한 재료로 구성된 제2 재료를 갖는 기관을 수용하는 단계를 포함할 수 있으며, 다결정 재료의 노출된 표면은, 제1 표면 거칠기 값을 특징으로 하는 표면 거칠기를 갖는다. 방법은, 화학적으로 변형된 층을 생성하도록 다결정 재료를 화학적으로 변형시키기 위해, 기관을 제1 습식 화학 용액에 노출시킨 후에, 화학적으로 변형된 층을 용해시키기 위해, 기관을 제2 습식 화학 용액에 노출시킴으로써, 표면 거칠기를 제2 표면 거칠기 값으로 감소시키는 단계를 더 포함한다. 일 실시형태에서, 다결정 재료는 전이 금속이다. 다른 실시형태에서, 다결정 재료를 화학적으로 변형시키는 단계는, 산화제를 사용하여 다결정 재료를 산화시키는 단계를 포함한다. 또 다른 실시형태에서, 방법은, 건식 에칭 공정을 사용하여 기관 상의 다결정 재료를 에칭하는 단계를 더 포함하며, 제1 표면 거칠기 값은 건식 에칭 공정의 결과이다.
- [0020] 또 다른 실시형태에서, 기관 상에 습식 에칭 공정을 수행하기 위한 공정 시스템이 개시된다. 시스템은, 습식 화학 공정을 수행하도록 구성된 습식 공정 챔버; 및 습식 공정 챔버 내에 있고, 기관을 지지하도록 구성되는 기관 홀더를 포함한다. 시스템은, 습식 공정 챔버 내의 기관 상에 제1 화학 용액 및 제2 화학 용액을 공급하도록 배치된 화학 물질 공급 시스템을 더 포함하며, 제2 화학 용액은 제1 화학 용액과 상이하고, 제1 화학 용액은, 화학적으로 변형된 층을 생성하기 위해 기관의 표면을 화학적으로 변형시키도록 선택되며, 제2 화학 용액은, 화학적으로 변형된 층을 제거하도록 선택된다. 시스템은, 습식 공정 챔버에 유동 가능하게(fluidically) 연결되고, 제1 화학 용액 및 제2 화학 용액을 주기적으로 분배하도록 구성되는, 화학 물질 분사 매니폴드(chemical injection manifold)를 더 포함한다. 시스템은, 제1 화학 용액 및 제2 화학 용액의 각각의 분배 사이클에 대한 지속시간(time duration)을 제어하도록 프로그래밍 가능하게 구성된 제어를 더 포함한다.
- [0021] 전술한 시스템의 일 실시형태에서, 시스템이 배치되며, 제1 화학 용액은 산화제를 포함한다. 다른 실시형태에서, 제1 화학 용액은 산소 포화 화학 용액을 포함한다. 또 다른 실시형태에서, 제1 화학 용액은, 물, 알코올, 또는 아세톤에 용해된 산소를 포함하는 산소 포화 화학 용액을 포함한다. 시스템이 추가로 구성될 수 있으며, 화학 물질 공급 시스템은 착화제를 공급하도록 추가로 배치된다. 일 실시형태에서, 착화제는 시트르산염을 포함한다.
- [0022] 전술한 시스템의 또 다른 실시형태에서, 화학 물질 공급 시스템은, 용제 세척 용액을 공급하도록 추가로 배치된다. 일 실시형태에서, 제어기는, 화학적 변형 후에 그리고 선택적 제거 전에, 용제 세척 용액을 제공하도록 프로그래밍 가능하게 구성된다.
- [0023] 전술한 시스템의 다른 실시형태에서, 제어기는, 시간에 따라 부분적으로 중첩되는, 제1 화학 용액 및 제2 화학 용액의 주기적 분배를 제공하도록 프로그래밍 가능하게 구성된다. 다른 실시형태에서, 제어기는, 시간에 따라 중첩되지 않는 방식으로, 제1 화학 용액 및 제2 화학 용액의 주기적 분배를 제공하도록 프로그래밍 가능하게 구성된다.
- [0024] 전술한 시스템의 또 다른 실시형태에서, 제1 화학 용액은 착화제를 포함하며, 제2 화학 용액은 물을 포함한다.
- [0025] 또 다른 실시형태에서, 다결정 재료를 갖는 기관을 에칭하기 위한 플랫폼이 개시된다. 플랫폼은, 다결정 재료를 에칭하기 위한 건식 에칭 도구, 및 다결정 재료를 에칭하기 위한 습식 에칭 도구를 포함할 수 있으며, 습식 에칭 도구는, 습식 공정 챔버 내의 기관 상에 제1 화학 용액 및 제2 화학 용액을 공급하도록 배치되고, 제2 화학 용액은 제1 화학 용액과 상이하며, 제1 화학 용액은, 화학적으로 변형된 층을 생성하기 위해 기관의 표면을 화학적으로 변형시키도록 선택되고, 제2 화학 용액은, 화학적으로 변형된 층을 제거하도록 선택된다. 플랫폼은, 건식 에칭 도구와 습식 에칭 도구 간에 기관을 이동시키기 위한 이송 모듈을 더 포함한다. 플랫폼은, 이송 모듈의 이송 모듈 환경을 습식 에칭 도구의 습식 에칭 도구 환경과 분리시키기 위해, 이송 모듈과 습식 에칭 도구 사이에 배치된 분리 관통(isolation pass-through) 모듈을 더 포함한다.
- [0026] 전술한 플랫폼의 다른 실시형태에서, 건식 에칭 도구는, 다결정 재료를 제1 표면 거칠기 값으로 먼저 에칭하도록 구성되며, 습식 에칭 도구는, 다결정 재료를 제2 표면 거칠기 값으로 후속적으로 에칭하도록 구성되고, 제2 표면 거칠기 값은 제1 표면 거칠기 값 미만이다. 또 다른 실시형태에서, 플랫폼은, 기관이 건식 에칭 도구로부터 습식 에칭 도구로 이송되는 경우, 주위 환경에 노출되지 않는 제어된 환경에 기관을 유지하도록 구성된다. 또 다른 실시형태에서, 제1 화학 용액은 산화제를 포함한다. 또 다른 실시형태에서, 습식 에칭 도구는, 용제 세척 용액을 공급하도록 추가로 배치된다. 다른 실시형태에서, 습식 에칭 도구는, 화학적 변형 후에 그리고 선택적 제거 전에, 용제 세척을 제공하도록 구성된다.

도면의 간단한 설명

[0027] 본 발명 및 이의 장점의 더 완전한 이해는 첨부된 도면과 함께 고려되는 이하의 설명을 참조함으로써 달성될 수 있으며, 첨부된 도면에서 유사한 참조 번호는 유사한 특징부를 나타낸다. 그러나, 첨부된 도면은 개시된 개념의 예시적인 실시형태만을 도시하므로 범위를 제한하는 것으로 간주되어서는 안되며, 개시된 개념에 대해 동일하게 효과적인 다른 실시형태가 허용될 수 있음을 유의해야 한다.

도 1a 내지 도 1c는 다결정 금속 에칭의 동역학 분석을 도시한다.

도 2a 내지 도 2d는 예시적인 습식 ALE 금속 에칭의 예시적인 에칭 사이클을 도시한다.

도 3은 도 2a 내지 도 2d에 도시된 바와 같은 에칭 사이클 동안 용제 세척의 영향을 도시한다.

도 4는 습식 ALE 금속 에칭 공정에서 발생할 수 있는 피크-대-피크 거칠기 감소를 도시한다.

도 5 및 도 6은 본원에 설명된 기술에 따라 기판을 처리하기 위한 예시적인 방법을 나타낸다.

도 7a는 본원에 개시된 기술을 수행하기 위한 예시적인 습식 에칭 도구를 도시한다.

도 7b는 도 7a의 습식 에칭 도구 및 건식 에칭 도구를 포함하는 예시적인 플랫폼을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 에칭 동안 재료의 미시적 및 거시적 균일성을 모두 개선하기 위한 방법이 본원에 개시된다. 이러한 개선은 습식 ALE 기술을 사용하여, 재료 표면 상에 얇은 자기 제어 층을 형성하고 용해시킴으로써 달성될 수 있다. 다결정 재료의 에칭을 위해, 이러한 자기 제어 반응은, 에칭 동안 표면의 이러한 거칠기를 방지하기 위해 사용될 수 있다. 따라서, 본원에 개시된 바와 같이, 습식 ALE 공정은 순차적 자기 제어 반응을 사용하여, 재료의 표면 층을 먼저 변형시킨 다음, 변형된 층을 선택적으로 제거한다. 다른 실시형태에서, 개시된 방법을 수행하기 위한 플랫폼이 개시된다. 플랫폼은, 습식 ALE 공정의 화학 용액을 공급하도록 배치된 습식 화학 물질 공급 시스템을 포함할 수 있다. 또한, 플랫폼은 습식 에칭 도구 및 건식 에칭 도구를 모두 포함할 수 있으며, 기판은 건식 에칭 도구로부터 습식 에칭 도구로 이동할 수 있으며, 습식 에칭 도구는 환경적으로 분리된 챔버를 갖는다. 일 실시형태에서, 기판은 주위 대기에 노출되지 않으면서 건식 및 습식 에칭 도구 내에서 처리될 수 있다.

[0029] 본원에 설명된 바와 같이, 습식 화학 방법을 사용하여, 순차적인 자기 제어 반응을 구현하기 위한 방법이 제공된다. 방법의 습식 ALE 공정을 사용하여, 에칭 용액의 표면 반응이 자기 제어됨으로써, 총 에칭량이 사이클당 에칭량의 정수 배수일 수 있다. 이러한 이유로, 방법은 "디지털 에칭(digital etch)"으로도 지칭될 수 있다. 본원에 설명된 기술은 기판 공정 당업계에 알려져 있는 다양한 재료에 대해 사용될 수 있다. 그러한 재료는 다결정 재료를 포함할 수 있다. 일 실시형태에서, 다결정은 금속일 수 있다. 일부 실시형태에서, 금속은 전이 금속일 수 있다. 다른 실시형태에서, 금속은 비부식성 재료(noble material)이다. 일부 구체적인 실시형태에서, 금속은 루테튬(Ru) 또는 코발트(Co)를 포함할 수 있다.

[0030] 일 실시형태에서, 설명된 습식 에칭 기술은, 기판 표면을 2개 이상의 에천트 용액에 순차적으로 노출시키는 단계로 이루어진다. 제1 에천트는 자기 제어 방식으로 기판의 표면과 반응한다. 제2 에천트는 반응 생성물을 용해시키고, 후속 사이클에서 제1 에천트와 자유롭게 반응하는 새로운 표면을 노출시킨다. 반응 생성물의 휘발성에 의존하는 건식 공정인 건식 ALE와 대조적으로, 이러한 습식 에칭 ALE는 이들의 제거를 위해 반응 생성물의 용해도에 의존한다. 자기 제어되기 위해서는, 표면 반응 생성물이 제1 에천트에 대체로 불용성인 것이 바람직하다. 그러나, 반응 생성물은, 디지털 에칭으로 제거될 재료를 위한 제2 에천트에 용이하게 용해된다.

[0031] 추가적으로, 제거될 기판 표면은 제1 에천트의 성분과 자기 제어 방식으로 용이하게 반응하지만, 제2 에천트와는 반응하지는 않는다. 기판 반응성 및 생성물 용해도의 차이는, 공통 용제 중의 상이한 화학 첨가제를 통해, 또는 각각의 2개의 에천트를 위해 사용되는 상이한 용제를 통해 달성될 수 있다.

[0032] 설명된 방법은 원자층 제어를 제공한다. 방법은 습식 화학 작용을 사용하여 에칭될 임의의 유형의 재료에 일반화될 수 있다. 방법은 선택 용제의 역할을 패시베이션 층 용해도로 확장시킬 수 있다. 또한, 반응 생성물의 용해도를 제어하기 위한 방법으로서 착화제가 사용될 수 있다.

[0033] 본원에 설명된 기술은 다른 에칭 접근법에 비해 다수의 이점의 기회를 제공한다. 본 기술은 총 에칭량의 정밀한 제어, 표면 거칠기의 제어, 및 웨이퍼-스케일 균일성의 개선과 같은, ALE의 이점을 제공한다. 또한, 본 기술은 에칭 챔버의 단순화, 대기 에칭 조건, 및 그것이 달성될 수 있는 속도와 같은, 습식 에칭의 다수의 이점을 제공한다.

[0034] 습식 ALE는 기판 표면을 다수의 에칭 에천트에 순차적으로 노출시킴으로써 수행된다. 흔히, 각각의 에천트는 용제를 포함하며, 용제는, 기판 표면과 반응하는 화학 물질(들); 기판 표면 상에 형성된 생성물과 반응하는 화학 물질(들); 기판 표면 상에 형성된 생성물의 용해를 촉진시키는 화학 물질(들); 또는 기판 표면의 세척을 촉진시키는 화학 물질(들) 중 하나 이상을 함유할 수 있다. 에천트의 교차 오염을 방지하기 위해, 순차적인 에천트로의 노출 사이에 불활성 용액으로 기판이 세척될 수 있다. 또한, 추가적인 화학 작용을 생성하기 위해, 에천트 노출 사이에 기상 반응물에 기판이 노출될 수 있다.

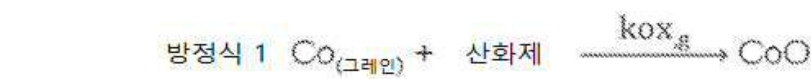
[0035] 습식 ALE 공정에서 에천트는 대체로 기판 표면과 자기 제어 방식으로 반응할 것이다. 에천트는 기판 표면 상에 화학적으로 변형된 층을 형성하도록 기판 표면과 반응할 수 있거나, 이는 변형된 층과 반응할 수 있거나, 이는 변형된 층을 용해시킬 수 있거나, 또는 이는 이러한 공정의 일부 조합을 수행할 수 있다. 일반적으로, 에천트는 선택적이고 자기 제어되는 것이 바람직하다. 또한, 하부층은 변하지 않는 상태로 유지되면서, 기판 표면이 에천트에 의해 영향을 받을 수 있는 것이 바람직하다. 자기 제어 반응의 두께는 대체로 원자 스케일이다. 하나의 단분자층이 이상적이지만, 필수적인 것은 아니다.

[0036] 단일 에천트로의 노출은, 용기(bath) 내에 기판을 침지시키는 단계, 기판을 에어로졸 스프레이에 노출시키는 단계, 또는 회전 챔버 내의 기판 상에 에천트를 분배하는 단계를 포함하는, 다양한 기술에 의해 수행될 수 있다. 각각의 경우, 에천트의 투입량은, 전체 기판 표면에 걸쳐서 이의 자기 제어 값으로 반응을 생성하기에 충분한 것이 바람직하다.

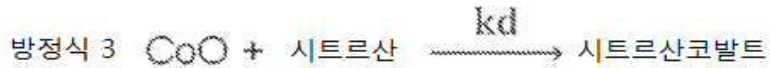
[0037] 본원에 개시된 기술과 함께 사용되는 기판은, 재료의 에칭이 바람직한 임의의 기판일 수 있다. 예를 들어, 일 실시형태에서, 기판은, 하나 이상의 반도체 공정 층(이들 모두가 함께 기판에 포함될 수 있음)이 그 위에 형성된 반도체 기판일 수 있다. 일 실시형태에서, 기판은, 기판 공정 당업계에 모두 알려져 있는, 다양한 구조물 및 층을 산출하는 다수의 반도체 공정 단계를 거친 기판일 수 있다. 일 실시형태에서, 기판은, 형성된 다양한 구조물 및 층을 포함하는 반도체 웨이퍼일 수 있다.

[0038] 전술한 바와 같이, 본원에 설명된 기술은 다양한 재료를 에칭하기 위해 사용될 수 있다. 그러한 재료는 다결정 재료를 포함할 수 있다. 그러한 재료는, 전이 금속 및 귀금속을 포함하지만 이에 제한되지 않는, 금속을 포함할 수 있다. 예시적인 일 실시형태에서, 에칭될 재료는 다결정 코발트 재료일 수 있다. 아래에 제공되는 바와 같은 본원에 설명된 기술은 다결정 코발트 재료의 에칭과 관련하여 설명된다. 그러나, 이러한 일 실시예는 단지 예시적인 것일 뿐이며, 다른 재료가 사용될 수 있음을 당업자라면 인식할 것이다.

[0039] 많은 화학 물질이 다결정 코발트를 에칭할 수 있지만, 에칭 동안 표면 거칠기를 제어하는 것은 어렵다. 결정립계에서의 우선적인 에칭 및 피팅(pitting)을 방지하는 것은 어렵다. 제로 발렌트(zero valent) 코발트는 대체로 불용성이기 때문에, 이는 먼저 산화되어야 한다. 본원에 사용된 바와 같은 코발트의 산화는, 코발트의 형식 전하(formal charge)를 증가시키는 것을 지칭한다. 그 다음, 산화된 종은 용액에 용해될 수 있다. 포괄적인 2-단계 에칭 공정(산화 후의 용해)의 동역학 분석은, 3가지 관련 반응물로서, $K_{ox,b}$ (결정립계에서의 산화율), $K_{ox,g}$ (그레인 표면에서의 산화율), 및 K_d (산화물 용해율)를 나타낸다. 이러한 반응의 상대 속도는, 에칭후 거칠기를 결정한다. 이러한 반응은 다결정 금속 에칭의 동역학 분석을 나타내는 도 1a 내지 도 1c에 제시된다. 도 1a 내지 도 1c에 도시된 바와 같이, (에칭될) 다결정 금속, 예를 들어, 코발트(105)는 유전체(110)로 둘러싸이고, 산화된 금속 영역(115A, 115B 및 120)이 코발트(105) 위에 형성된다. 도 1a에 도시된 바와 같이, 산화된 금속 영역(115A)은 코발트(105)의 결정립계(125)에 형성된다. 산화된 금속 영역(115B)은 그레인 표면 상에 형성된다. 방정식 1 및 2는 결정립계 및 그레인 표면에서의 산화를 위한 산화 방정식을 각각 나타낸다.



[0042] 방정식 3은, 반응에 시트르산을 사용하는 경우, 산화 코발트의 예시적인 용해 반응을 나타낸다.



[0043]

[0044] $K_{ox,b}$ (결정립계에서의 산화율)가 $K_{ox,g}$ (그레인 표면에서의 산화율)를 초과하는 경우, 결정립계에서 우선적인 산화가 발생할 수 있다. 산화 반응률(K_{ox})이 용해 반응률(K_d)을 훨씬 초과하는 경우, 도 1b에 도시된 바와 같이, 표면 거칠기 증가가 발생하지 않을 수 있다(도 1b는 산화된 금속 영역(120)이 구조물 표면 상의 산화 코발트인 구조물을 도시한다). 산화 반응률(K_{ox})이 용해 반응률(K_d) 이하인 경우, 도 1c에 도시된 바와 같이, 표면 거칠기가 증가할 수 있다. 위의 방정식에서, 산화 코발트로서 천연 산화물 층이 제시된다. 그러나, 형성된 천연 산화물은, 산화 코발트, 수산화 코발트, 옥시수산화 코발트, 또는 이들 중의 일부 조합물로 구성될 수 있다.

[0045] 구체적으로, 산화가 용해보다 더 빠른 경우, 에칭 용액에 제공되는 표면은 산화된 금속일 것이다. 산화된 층은 자기 제어되지 않는 한, 두께가 계속 증가할 것이다. 그것이 자기 제어되는 경우, 금속이 에칭됨에 따라, 제한된 두께의 산화된 층이 코발트를 통하여 아래로 증식될 것이다. 이 경우, 결정립계 및 그레인 표면에서의 산화율은 중요하지 않기 때문에(용해는 비율-결정 수단임), 평활한 에칭이 야기될 것이다. 그러나, 용해가 산화보다 더 빠른 경우, 산화된 코발트는 그것이 형성되는 즉시 용액 내에 용해되기 때문에, 금속 표면은 에칭 용액과 접촉될 것이다. 이는 에칭율이 산화 동역학에 의해 제어되는 상황이므로, 결정립계에서의 더 빠른 산화율은, 결정립계에서의 더 빠른 에칭, 피팅, 및 표면 거칠기 증가를 유발한다.

[0046] 아래에 설명되는 바와 같이, 이하는 에칭 공정의 산화 및 용해 단계를 일시적으로 분리하기 위한 방법이다. 각각의 반응은 그 자체의 에칭 용액으로 수행된다. 산화 단계는 자기 제어되고, 용해 단계는 산화된 금속만을 제거하도록 선택적이다. 이러한 조건이 대체로 충족되는 경우, 총 에칭량은 자기 제어 산화물 두께의 정수 배수일 것이다. 이러한 공정은, 에칭이 진행됨에 따라, 표면 거칠기 감소를 유발하는 습식 ALE 공정을 제공할 것이다.

[0047] 용해율보다 훨씬 더 빠른 산화율을 제공하기 위해, 산화 생성물이 이에 불용성인 용제를 사용하여 산화 단계가 수행될 수 있다. 이에 따라, 용해로 손실된 어떠한 재료도 없이, 자기 제어 산화된 층을 형성할 수 있다. 그 다음, 산화된 표면은, 표면을 추가로 산화시키지 않으면서, 산화된 층을 용해시키는 에천트에 노출될 수 있다. 산화된 금속 종의 용해도를 촉진시키기 위해 착화제가 사용될 수 있다. 이러한 착화제가 산화 에천트에 존재하는 경우, 자기 제어 금속 착물이 형성된다. 용해를 위해 사용된 에천트가 착물을 용해시킬 수 있지만, 산화된 금속을 용해시킬 수 없는 경우, 용해가 여전히 자기 제어됨에 따라, 에천트도 산화될 수 있다. 다수의 에천트를 사용하여 착화 및 용해시킬 수도 있다. 예를 들어, 에천트 1은 표면 상에 착물 1을 형성한다. 에천트 2는 착물 1을 용해시키고, 표면 상에 착물 2를 형성한다. 그 다음, 에천트 1은 착물 2를 용해시키고, 착물 1을 다시 형성함으로써 사이클이 계속된다. 유리하게는, 이러한 기술은 사이클당 에칭율을 증가시킬 수 있다.

[0048] 일 실시형태에서, 코발트를 에칭하기 위해, 산소가 산화제로서 사용되고, 착화제는 시트르산염을 포함한다. 일 실시형태에서, 산화제는, 산소 함유 가스 환경 또는 산소 포화 화학 용액을 포함한다. 예시적인 산소 포화 화학 용액은, 물, 알코올, 또는 아세톤에 용해된 산소를 포함하지만, 이에 제한되지 않는다. 일 실시형태에서, 시트르산이 착화제로서 사용된다. 시트르산은 산화 코발트와 반응하여, 수용액에 가용성인 종을 형성한다. 시트르산과 산화 코발트 사이의 반응도 자기 제어된다. 산화 코발트 표면이 시트르산에 노출되는 경우, 생성물의 단일 단분자층이 형성된다. 시트르산은 금속 코발트와 반응하지 않을 것이다. 용액 중의 용존 산소 또는 공기에 노출 시킴으로써, 코발트 상에 자기 제어 천연 산화물 층을 형성한다. 천연 산화물 층은, 산화 코발트, 수산화 코발트, 옥시수산화 코발트, 또는 이들 중의 일부 조합물로 구성될 수 있다. 이는 습식 ALE의 산화 부분을 달성한다. 아세톤 또는 이소프로필 알코올과 같은 비수성 용제가 착물화 단계를 위해 사용될 수 있다. 시트르산 코발트는 이러한 용제에 불용성이므로, 자기 제어 패시베이션 층으로서 시트르산코발트의 단분자층이 형성된다. 시트르산의 비수용액이 에칭 용기로서 사용될 수 있거나, 회전 챔버 내의 기관 표면 위에 분배될 수 있다. 이러한 단계 동안, 자기 제어 시트르산코발트 층이 형성된다. 이러한 반응은 빠르고 자기 제어된다. 용액이 용존 산소 및 시트르산을 모두 함유하는 경우, 산화 및 착물화 단계는 동일한 용액으로 수행될 수 있다. 두 반응은 자기 제어되고, 용액 중의 시트르산과 분자 산소 사이의 반응이 없기 때문에, 에천트는 이들 성분 둘 모두를 함유할 수 있다.

[0049] 착물화 단계 후에, 자기 제어 코발트 착물을 방해하지 않으면서, 과잉 시트르산 용액을 제거하기 위해, 용제 세척이 수행될 수 있다. 이러한 세척은 용제 용기에서 수행될 수 있거나, 회전 챔버 내의 기관 위에 용제를 분배

함으로써 수행될 수 있다. 착물화 단계를 위해 사용된 용제가 세척 단계를 위해 사용될 수 있지만, 착화제는 가용성이지만 금속 착물은 가용성이 아닌 경우, 임의의 용제가 사용될 수 있다. 이러한 세척 단계는, 산화/착화 용액 및 용해 용액의 혼합을 방지한다. 이들 용액의 혼합은 코발트를 자발적으로 에칭할 수 있다. 세척 단계를 없앴으로써, 코발트의 자발적인 에칭을 가능하게 할 수 있으며, 디지털 에칭의 많은 이점은 보호된다.

[0050] 착물화 및 용제 세척 후에, 수용액을 사용하여, 시트르산코발트 층을 제거한다. 기관이 수조에 침지될 수 있거나, 회전 챔버 내의 기관 표면 위에 물이 분배될 수 있다. 시트르산코발트는 수용액에 용이하게 용해되지만, 산화 코발트 및 금속 코발트는 용이하게 용해되지 않는다. 이러한 공정은 하나의 에칭 사이클을 도시하는 도 2a 내지 도 2d의 4개의 단계로 도시된다.

[0051] 도 2a에 도시된 바와 같이, 에칭 사이클의 제1 단계는, 코발트(215)의 표면을 산화시키는 단계를 포함한다. 도 2a에 도시된 바와 같이, 코발트(215)는 유전체(220)에 내장된다. 코발트(215)의 표면의 산화는, 코발트(215)의 표면을 대기, 산소 환경, 또는 물, 알코올, 아세톤, 또는 다른 용액의 산소 포화 용액에 노출시킴으로써 수행될 수 있다. 도 2a에 도시된 바와 같이, 코발트(215)는 아세톤/이소프로필 알코올(225) 중의 산소(205)에 노출된다. 결과적으로, 도 2b에 도시된 바와 같이, 자기 제어 산화 코발트 층(235)이 코발트(215) 위에 형성된다. 그 다음, 시트르산이 아세톤 또는 이소프로필 알코올에 용해됨으로써 도 2b에 시트르산염(210)으로 나타낸 바와 같은 비수성 시트르산 용액에 표면이 노출된다. 도 2c에 도시된 바와 같이, 산화 코발트 층(235)에 노출 시에, 자기 제어 시트르산코발트 착물(245) 층이 형성되며, 산화 코발트 층(235)의 일부가 소비된다. 결국, 하나 이상의 사이클 동안, 착화의 그것은 산화 코발트 층(235)을 소비할 것이다. 그 다음, 도 2d에 도시된 바와 같이, 시트르산코발트 착물(245)이 용액 내로 제거된 것으로 나타낸 바와 같이, 물 세척제의 물(230)에 의해, 자기 제어 시트르산코발트 착물(245) 층이 제거된다. 산화물 소비/시트르산코발트 착물 형성 및 시트르산코발트 착물 제거의 자기 제어 비율은 동일할 필요가 없음을 유의한다. 2개의 에칭 용액이 혼합되는 경우에 자발적인 에칭을 방지하기 위해, 도 2c 및 도 2d의 단계 사이에 용제 세척이 필요할 수 있다. 또한, 그러한 단계에 사용된 용액에 산소를 첨가시킴으로써 다양한 단계가 조합될 수 있지만, 일반적으로, 그러한 용액이 혼합되는 경우 발생하는 자발적인 에칭을 방지하기 위해, 도 2d 및 도 2b의 단계 사이에 표면이 세척되어야 한다.

[0052] 진술한 구체적인 산화, 착화 및 용해 용액은 단지 예시적인 것일 뿐임을 인식할 것이다. 따라서, 에칭되는 구체적인 재료에 적합할 수 있는 바와 같은 다양한 용액이 사용될 수 있으며, 본원에 설명된 개념은 설명된 구체적인 산화, 착화 및 용해 용액으로 제한되지 않는다. 예를 들어, 산소, 오존, 물, 아산화질소, 또는 과산화수소와 같은 산화제; 시트르산염, 아세트산염, 카르복시산염 함유 중, 또는 아민 함유 중과 같은 착화제; 및 아세토니트릴과 같은 용해 용액이 사용될 수 있다.

[0053] 용제 세척이 있는 경우 및 용제 세척이 없는 경우의 코발트의 에칭 특성은, 두께 대 에칭 사이클 수를 그래프로 나타내는 도 3에 도시된다. 구체적으로, 도 3은 공정의 다수의 사이클 동안 사이클당 에칭량을 나타낸다. 용제 세척이 있는 경우, 그래프(310)로 도시된 바와 같이, 약 0.28 nm의 코발트가 에칭 사이클당 제거된다. 이러한 양의 에칭은 코발트의 단일 단분자층에 가깝다. 그래프(305)로 도시된 바와 같이, 세척 단계가 없는 경우, 2배 이상 많은 재료인 0.6 nm의 코발트가 에칭 사이클당 제거되며, 이는 에칭 용액의 혼합으로 인해, 자발적인 에칭이 발생함을 나타낸다.

[0054] 자기 제어 산화물 두께는, 사용된 용제 및 산화제에 기초하여 변경될 수 있다. 금속 착물 층의 자기 제어 두께는, 상이한 착화제를 사용함으로써 변경될 수 있다. 분자 산소 및 시트르산의 경우, 약 0.28 nm의 코발트가 에칭 사이클당 제거된다. 더 강한 산화제가 에칭 사이클당 제거되는 코발트의 양을 증가시키지 않으며, 이는 시트르산코발트 층의 두께가 사이클당 에칭율을 결정한다는 것을 의미한다.

[0055] 동일한 에칭 화학 작용을 달성하기 위해, 순차적인 에천트 노출을 구조화하기 위한 다수의 방식이 있다. 자기 제어 시트르산코발트 층을 형성하기 위해, 용존 산소 또는 일부 다른 산화제 및 시트르산을 함유하는 에천트가 사용될 수 있다. 대신에, 용액 또는 기상의 산화 에천트로의 순차적인 노출 후에, 시트르산 함유 에천트로의 노출이 사용될 수 있다. 이러한 경우 둘 모두에서, 시트르산코발트 층은 후속적인 수성 세척제에 의해 제거된다. 제3 기술은 수성 세척제에 산화제를 포함시키는 것이다. 세척제는 자기 제어 시트르산코발트 층을 제거할 뿐만 아니라, 자기 제어 산화 코발트 층을 형성한다. 비수성 시트르산 용액에 후속적으로 노출시킴으로써, 다음 에칭 사이클을 위한 자기 제어 시트르산코발트 층이 재형성된다.

[0056] 개시된 에칭 화학 작용을 사용함으로써, 에칭 동안 코발트 막의 표면 거칠기가 감소된다. 일 실시형태에서, 사용된 바와 같은, 코발트 막의 실효값(RMS) 거칠기는, ~1.5 nm의 RMS 거칠기였다. 이는 10 nm의 코발트가 에칭된 후에 ~0.6 nm로 감소된다. 이러한 레벨의 거칠기는 추가적인 에칭에 대해 유지된다. RMS 거칠기는 30 nm의 코발트

트가 제거된 후에 ~0.6 nm로 유지된다. 또한, 피크-대-피크 거칠기는, 프로파일 높이 대 기관 위치를 그래프로 나타내는 도 4에 도시된 바와 같이 감소된다. 보다 구체적으로, 도 4는 상이한 양의 습식 ALE 후에, 코발트 막의 이러한 피크-대-피크 거칠기를 도시한다. 예칭되지 않은 기준의 초기 거칠기는 그래프(405)로 도시된다. >5 nm의 이러한 초기 거칠기는, 그래프(415)로 도시된 바와 같이, 10 nm의 코발트만이 제거된 후에 ~1.5 nm로 감소된다. 이러한 개선은, 30 nm의 코발트 예칭을 나타내는 그래프(410)로 도시된 바와 같이, 추가적인 예칭에 대해 유지된다.

[0057] 코발트 습식 ALE는, 기관이 회전되면서 예칭 용액이 기관 표면 상에 분배되는 회전 챔버에서 수행될 수 있다. 기관의 움직임에 따라, 예천트가 기관 표면에 걸쳐서 균일하게 분배된다. 각각의 예천트의 분배 시간은, 자기 제어 반응 두께가 전체 기관 표면에 걸쳐서 달성되도록 충분히 길어야 한다. 분배되는 화학 물질은, 디지털 예칭을 수행하기 위해 예칭 성분 간에 전환될 수 있다. 착물화 용액과 용해 용액 중간에 세척 용액이 분배될 수 있으므로, 이들 간의 전환 시의 용액의 일시적 혼합 동안 코발트의 자발적인 예칭을 방지할 수 있다. 산화/착물화 후의 착물의 용해로 한정되는 단일 예칭 사이클은, 적절한 양의 재료가 제거될 때까지 반복될 수 있다.

[0058] 회전 챔버의 사용은 단지 일 실시형태일 뿐이며, 본원에 설명된 기술을 수행하기 위해 다양한 상이한 공정 도구가 사용될 수 있음을 인식할 것이다. 예를 들어, 대안으로서, 기관은 예천트를 수용하는 화학 물질 용기에 침지될 수 있다. 기관은, 화학 물질의 교차 오염을 방지하기 위한 중간 세척 용기와 함께 각각의 예천트의 용기에 순차적으로 차례로 침지될 수 있다. 이러한 공정은 적절한 양의 재료가 제거될 때까지 반복될 수 있다. 또 다른 실시형태에서, 공정은 각각의 반응물의 에어로졸 스프레이, 연무 또는 미스트(mist)와 함께 사용될 수 있다. 또한, 공정의 하나의 사이클 내에서도, 반응물을 도포하기 위한 설명된 다양한 도구의 조합이 사용될 수 있음을 인식할 것이다.

[0059] 따라서, 본원에 설명된 바와 같이, 층을 예칭하기 위한 기술이 제공되며, 평활한 층을 제공하기 위해, 자기 제어 공정이 사용된다. 이러한 기술의 일 적용예는, 완전 자기 정렬 비아를 위한 리세스 예칭을 위해 금속 표면을 예칭하는 경우일 수 있다. 이러한 적용예에서, 금속의 표면 거칠기를 증가시키지 않으면서, 유전체 재료의 금속 충전 트렌치가 선택적으로 예칭되어야 한다. 이러한 적용예는 단지 예시적인 것일 뿐이며, 본원에 설명된 기술은 다수의 다른 적용예를 위해 사용될 수 있음을 인식할 것이다.

[0060] 일 실시형태에서, 본원에 설명된 습식 예칭 기술은, 플라즈마 예칭과 같은 건식 예칭 기술과 조합될 수도 있다. 예를 들어, 일 실시형태에서, 선택적 습식 예칭을 수행하기 전에, 다결정 재료를 기상 환경에 노출시킴으로써, 다결정 재료를 선택적으로 건식 예칭하는 단계가 먼저 수행될 수 있다. 그 다음, 본원에 설명된 습식 예칭 기술이 수행될 수 있다. 이러한 방식으로, 본원에 설명된 습식 ALE 이점을 제공하는 습식 공정과 함께, 건식 및 습식 공정의 조합이 달성될 수 있다. 따라서, 예를 들어, 건식 예칭 공정 후에 존재하는 표면 거칠기를 감소시키기 위해, 습식 예칭이 사용될 수 있다.

[0061] 도 5 및 도 6은 본원에 설명된 공정 기술을 사용하기 위한 예시적인 방법을 나타낸다. 도 5 및 도 6의 실시형태는 단지 예시적인 것일 뿐이며, 추가적인 방법이 본원에 설명된 기술을 사용할 수 있음을 인식할 것이다. 또한, 설명된 단계는 배타적인 것으로 의도되지 않기 때문에, 추가적인 공정 단계가 도 5 및 도 6에 도시된 방법에 추가될 수 있다. 더욱이, 상이한 순서로 수행될 수 있거나/수행될 수 있고 다양한 단계가 조합하여 또는 동시에 수행될 수 있기 때문에, 단계의 순서는 도면에 도시된 순서로 제한되지 않는다.

[0062] 도 5는 기관을 예칭하기 위한 방법을 도시한다. 방법은 기관을 수용하는 단계(505)를 포함하며, 기관은 노출된 제1 재료를 갖고, 제1 재료는 다결정 재료를 포함한다. 그 다음, 방법은 다결정 재료를 선택적으로 예칭하는 단계(510)를 포함하며, 선택적으로 예칭하는 단계는, 변형된 표면 층을 제공하기 위해, 다결정 재료의 표면을 화학 용액에 노출시킴으로써, 다결정 재료의 표면을 화학적으로 변형시키는 단계; 및 변형된 표면 층을 액상 화학 용액에 노출시킴으로써, 다결정 재료의 변형된 표면 층을 선택적으로 제거하는 단계를 포함한다.

[0063] 도 6은 기관을 예칭하기 위한 방법을 도시한다. 방법은, 다결정 재료로 구성된 제1 재료, 및 상이한 재료로 구성된 제2 재료를 갖는 기관을 수용하는 단계(605)를 포함하며, 다결정 재료의 노출된 표면은, 제1 표면 거칠기 값을 특징으로 하는 표면 거칠기를 갖는다. 그 다음, 방법은, 화학적으로 변형된 층을 생성하도록 다결정 재료를 화학적으로 변형시키기 위해, 기관을 제1 습식 화학 용액에 노출시킨 후에, 화학적으로 변형된 층을 용해시키기 위해, 기관을 제2 습식 화학 용액에 노출시킴으로써, 표면 거칠기를 제2 표면 거칠기 값으로 감소시키는 단계(610)를 포함한다.

[0064] 또한, 본원에 설명된 기술은 다양한 공정 시스템, 장치, 및 플랫폼과 함께 사용될 수 있음을 유의한다. 예를 들

어, 본 기술은 도 7a에 도시된 바와 같은 습식 에칭 공정 시스템에 사용될 수 있으며, 습식 에칭 공정 시스템은, 도 7b의 공정 플랫폼 실시형태에 도시된 바와 같이, 건식 에칭 공정 시스템과 조합하여 사용될 수 있다. 또한 다른 변형예가 구현될 수도 있다.

[0065] 도 7a는 기관(706)의 표면 상의 재료를 에칭하기 위한 개시된 기술(예를 들어, 본원에 설명된 습식 ALE 기술)과 관련하여 사용될 수 있는 습식 에칭 공정 시스템(700)의 예시적인 일 실시형태의 블록도이다. 습식 에칭 공정 시스템(700)은 습식 공정 챔버(710)를 포함한다. 습식 공정 챔버(710)는 압력 제어된 챔버일 수 있다. 예를 들어, 정전 척과 같은 기관 홀더(708) 상에 기관(706)(일 실시예에서, 반도체 웨이퍼)이 홀딩된다. 또한, 기관 홀더(708)는 제어된 속도로 회전하도록 구성될 수 있다.

[0066] 습식 에칭 용액(예를 들어, 본원에 설명된 바와 같은 습식 ALE 에칭)을 위한 화학 물질 분사 매니폴드 및 화학 물질 공급 시스템(702)(예를 들어, 습식 화학 물질 공급 시스템)이 습식 공정 챔버(710)와 함께 사용된다. 화학 물질 공급 시스템(702)은, 화학 물질 공급 라인 입력에 연결되거나/연결되고 다양한 액체 에칭 용액을 수용하기 위한 저장소를 포함할 수 있다. 화학 물질 분사 매니폴드(704)는 습식 공정 챔버(710)에 유동 가능하게 연결될 수 있다. 작동 시에, 화학 물질 분사 매니폴드는, 예를 들어, 습식 공정 챔버(710) 내에 위치한 분배 노즐을 갖는 액체 전달 튜브를 통해, 원하는 화학 물질을 습식 공정 챔버(710)에 선택적으로 적용할 수 있다. 따라서, 화학 물질 공급 시스템(702) 및 화학 물질 분사 매니폴드(704)는, 기관(706)의 표면 상에 액체 에칭 용액을 분배하기 위해 사용될 수 있다. 전술한 바와 같이, 수행되는 습식 에칭은, 전술한 바와 같은 습식 ALE 에칭일 수 있다. 예를 들어, 화학 물질 공급 시스템(702) 및 화학 물질 분사 매니폴드(704)는, 습식 ALE 공정을 위한 전술한 제1 에천트 및 제2 에천트를 제공할 수 있는 습식 화학 물질을 분사하기 위해 사용될 수 있다. 또한, 화학 물질 공급 시스템(702) 및 화학 물질 분사 매니폴드(704)는, 예를 들어, 전술한 세척액 및/또는 다른 용제와 같은, 다른 액체를 습식 공정 챔버(710)에 제공하기 위해 사용될 수 있다.

[0067] 습식 에칭 공정 시스템(700)의 구성 요소는 제어기(712)에 연결되어 제어기(712)에 의해 제어될 수 있으며, 제어기(712)는 해당 메모리 저장 장치 및 사용자 인터페이스(도시되지 않음)에 차례로 연결될 수 있다. 다양한 공정 작업이 사용자 인터페이스를 통해 실행될 수 있으며, 다양한 공정 방식 및 작업은 저장 장치에 저장될 수 있다. 따라서, 주어진 기관(706)은 다양한 기술로 습식 공정 챔버(710) 내에서 처리될 수 있다. 제어기(712)는 습식 에칭 공정 시스템(700)의 다양한 구성 요소에 연결되어, 구성 요소로부터 입력을 수신할 수 있고, 구성 요소에 출력을 제공할 수 있음을 인식할 것이다.

[0068] 제어기(712)는 다양한 방식으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 제어기(712)는 컴퓨터일 수 있다. 다른 실시예에서, 제어기는, 본원에 설명된 기능을 제공하도록 프로그래밍된 하나 이상의 프로그래밍 가능 집적 회로를 포함할 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 프로세서(예를 들어, 마이크로프로세서, 마이크로컨트롤러, 중앙 처리 장치 등), 프로그래밍 가능 논리 소자(예를 들어, 복합 프로그래밍 가능 논리 소자(CPLD), 필드 프로그래밍 가능 게이트 어레이(FPGA) 등), 및/또는 다른 프로그래밍 가능 집적 회로는, 규정된 플라즈마 공정 방식의 기능을 구현하기 위한 소프트웨어 또는 다른 프로그래밍 명령으로 프로그래밍될 수 있다. 소프트웨어 또는 다른 프로그래밍 명령은, 하나 이상의 비-일시적 컴퓨터 판독 가능 매체(예를 들어, 메모리 저장 장치, 플래시 메모리, 동적 랜덤 액세스 메모리(DRAM), 재프로그래밍 가능 저장 장치, 하드 드라이브, 플로피 디스크, DVD, CD-ROM 등)에 저장될 수 있으며, 소프트웨어 또는 다른 프로그래밍 명령은 프로그래밍 가능 집적 회로에 의해 실행될 때, 프로그래밍 가능 집적 회로로 하여금, 본원에 설명된 공정, 기능, 및/또는 성능을 수행하게 한다는 점을 추가로 유의한다. 다른 변형예가 구현될 수도 있다.

[0069] 도 7b는 (예를 들어, 도 7a에서 설명된 바와 같은) 습식 에칭 공정 시스템(700) 및 건식 에칭 공정 시스템(752)을 포함하는 플랫폼(750)의 예시적인 실시형태의 블록도이다. 본원에 설명된 바와 같이, 습식 에칭 공정 시스템(700)은, 전술한 바와 같은 습식 ALE 공정을 수행하기 위해 다양한 액체 에칭 용액을 재료 상에 분배할 수 있다. 건식 에칭 공정 시스템(752)은, 처리되는 기관으로부터 재료를 에칭 또는 제거하는 임의의 원하는 건식 에칭 공정을 구현할 수 있다. 예를 들어, 전술한 바와 같이, 다결정 재료를 선택적으로 건식 에칭하는 단계는, 다결정 재료를 건식 에칭의 기상 환경에 노출시킴으로써 먼저 수행될 수 있다. 작동 시에, 건식 에칭 공정 시스템(752)은, 건식 에칭 화학 작용을 사용하여 기관 상의 재료를 에칭한다.

[0070] 건식 에칭 공정 시스템(752)은 예를 들어, 플라즈마 에칭 공정, 반응성 이온 에칭(RIE) 공정, 화학 기상 에칭(CVE) 공정, 원자층 에칭(ALE) 건식 공정, 및/또는 다른 건식 에칭 공정과 같은, 다양한 건식 에칭 공정 중 어느 하나를 구현할 수 있음을 유의한다. 또한, 건식 에칭 공정은, 습식 에칭 공정 전에 또는 후에 수행될 수 있다. 예를 들어, 건식 에칭 공정은 건식 에칭 공정 시스템(752)의 건식 에칭 공정 챔버에서 수행되어, 기관으로

부터 재료를 제거함으로써 제1 표면 거칠기를 야기할 수 있다. 그 다음, (이송 모듈(754)을 통해) 기판이 습식 에칭 공정 시스템(700)의 습식 에칭 공정 챔버로 이송되어, 습식 에칭 공정을 수행함으로써 제2 표면 거칠기를 야기하며, 제2 표면 거칠기는 제1 표면 거칠기 미만이다. 또한, 필요에 따라 이송 모듈(754)을 사용하여 기판이 이송됨으로써, 다수의 건식 에칭 공정 및 다수의 습식 에칭 공정이 수행될 수 있음을 유의한다. 또한 다른 변형예가 구현될 수도 있다.

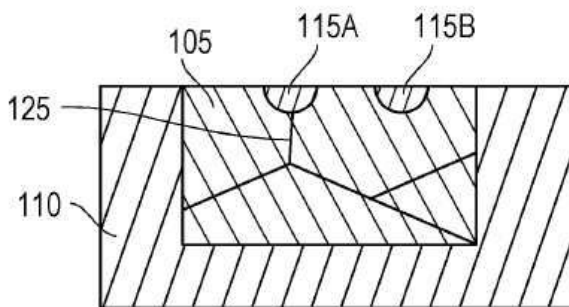
[0071] 건식 에칭 공정 시스템(752) 및 습식 에칭 공정 시스템(700) 내에서 기판의 공정을 원활하게 하기 위해, 이송 모듈(754) 및 분리 관통 모듈(756)이 2개의 시스템(700/752) 사이에 연결될 수도 있다. 이송 모듈(754)은, 화살표(758)로 표시된 바와 같이, 건식 에칭 공정 시스템(752)과 습식 에칭 공정 시스템(700) 간에 기판을 이동시키도록 구성된다. 분리 관통 모듈(756)은 이송 모듈(754)과 습식 에칭 공정 시스템(700) 사이에 배치되어, 이송 모듈(754)의 주위 환경을 습식 에칭 공정 시스템(700)의 주위 환경과 분리시킨다. 이 경우, 공정 시스템(700/752)의 외부에 존재하는 잠재적인 오염 물질에 기판을 노출시키지 않으면서, 건식 에칭 공정 시스템(752)과 습식 에칭 공정 시스템(700) 간에 기판이 이동될 수 있다. 또한, 이러한 이동은 도 7a와 관련하여 설명된 제어기(712)와 같은 제어기에 의해 제어될 수 있다.

[0072] 또한, 건식 에칭 공정 시스템(752), 습식 에칭 공정 시스템(700), 이송 모듈(754), 및 분리 관통 모듈(756)을 위해 사용될 수 있는 플랫폼에 대한 예시적인 실시형태는, "통합형 종단간 게이트 접점 공정을 위한 플랫폼 및 작동 방법"이라는 명칭으로 2019년 1월 18일자로 출원된 미국 가출원 번호 제62/794,315호; "통합형 반도체 공정 모듈을 포함하는 자기 인식 및 보정 이종 플랫폼, 및 이를 사용하기 위한 방법"이라는 명칭으로 2019년 1월 2일자로 출원된 미국 가출원 번호 제62/787,607호; "통합형 반도체 공정 모듈을 포함하는 자기 인식 및 보정 이종 플랫폼, 및 이를 사용하기 위한 방법"이라는 명칭으로 2019년 1월 2일자로 출원된 미국 가출원 번호 제62/787,608호; "통합형 계측을 사용하는 반도체 공정 도구 및 사용 방법"이라는 명칭으로 2019년 1월 4일자로 출원된 미국 가출원 번호 제62/788,195호; 및 "통합형 종단간 게이트 접점 공정을 위한 플랫폼 및 작동 방법"이라는 명칭으로 2019년 3월 18일자로 출원된 미국 특허출원 번호 제16/356,451호에 기재되어 있으며, 이들의 개시물은 모두 그 전체가 본원에 참조로 포함된다.

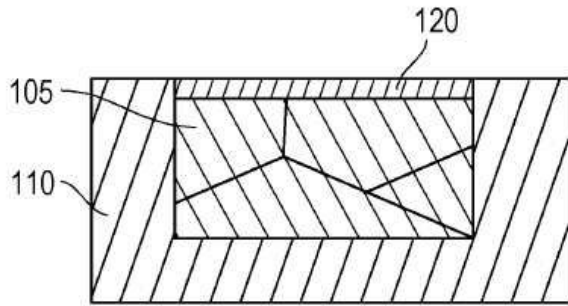
[0073] 본 발명의 추가적인 변형예 및 대안적인 실시형태는 본 설명을 고려하여 당업자에게 명백해질 것이다. 따라서, 본 설명은 단지 예시적인 것으로 해석되어야 하며, 본 발명을 수행하는 방식을 당업자에게 교시하기 위한 목적이다. 본원에 도시되고 설명된 본 발명의 형태 및 방법은 현재의 바람직한 실시형태로 간주되는 것으로 이해되어야 한다. 본원에 도시되고 설명된 것들은 동등한 기술로 대체될 수 있으며, 본 발명의 이러한 설명의 이점을 얻은 후에 당업자에게 모두 명백해지는 바와 같이, 본 발명의 특정한 특징은 다른 특징의 사용과 무관하게 사용될 수 있다.

도면

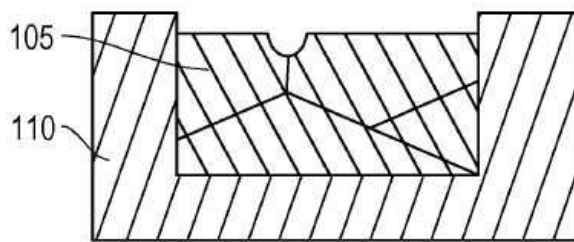
도면1a



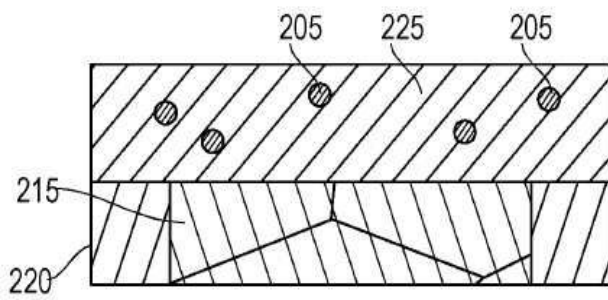
도면1b



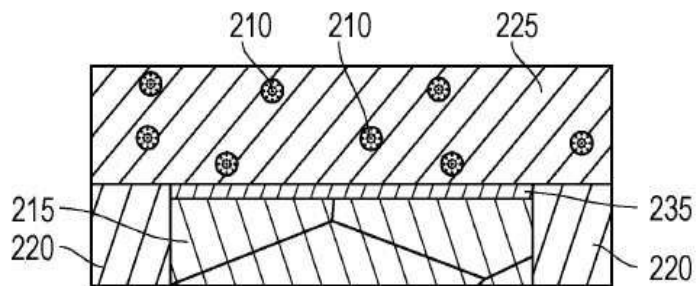
도면1c



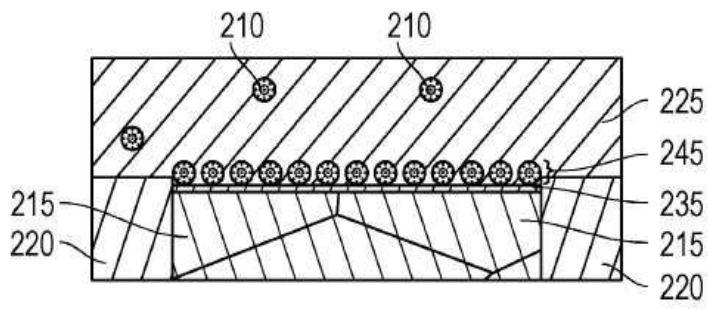
도면2a



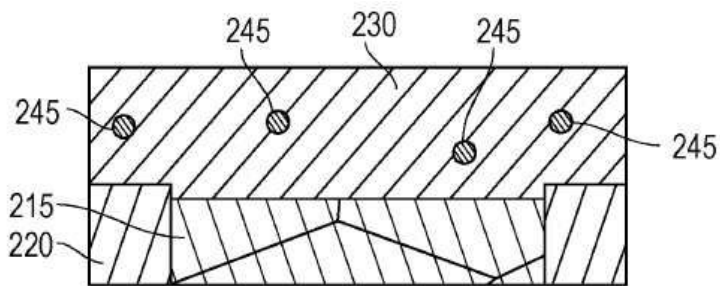
도면2b



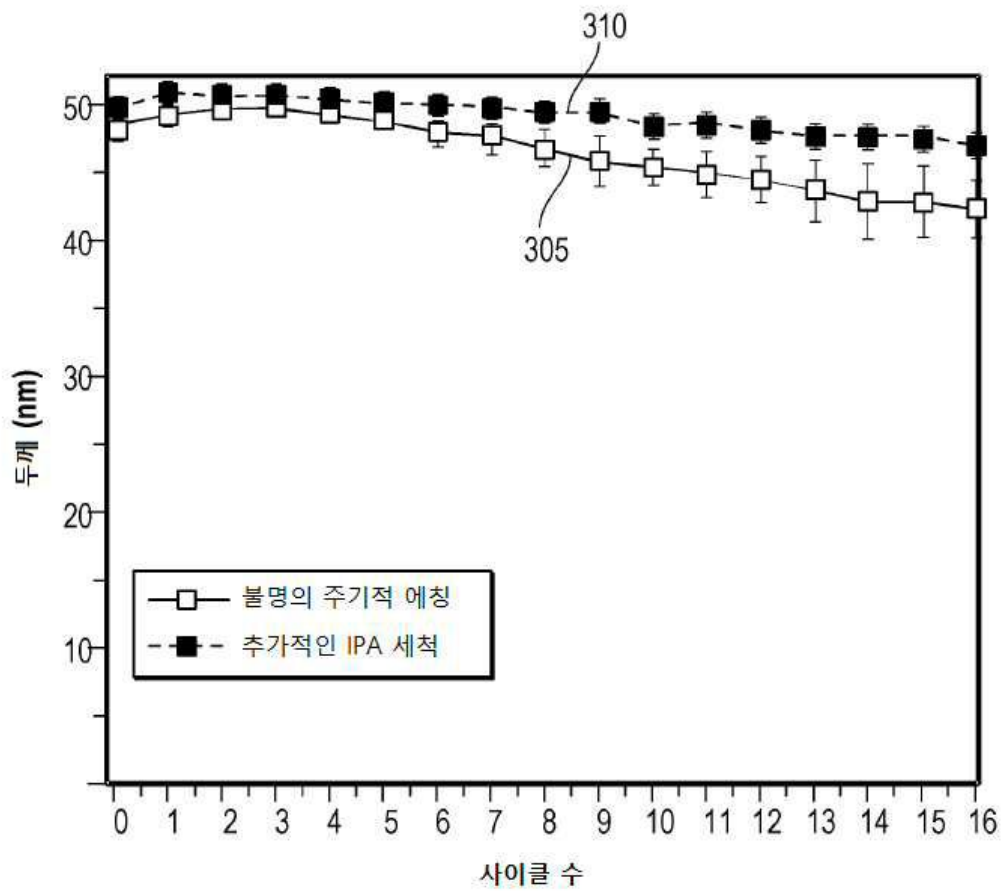
도면2c



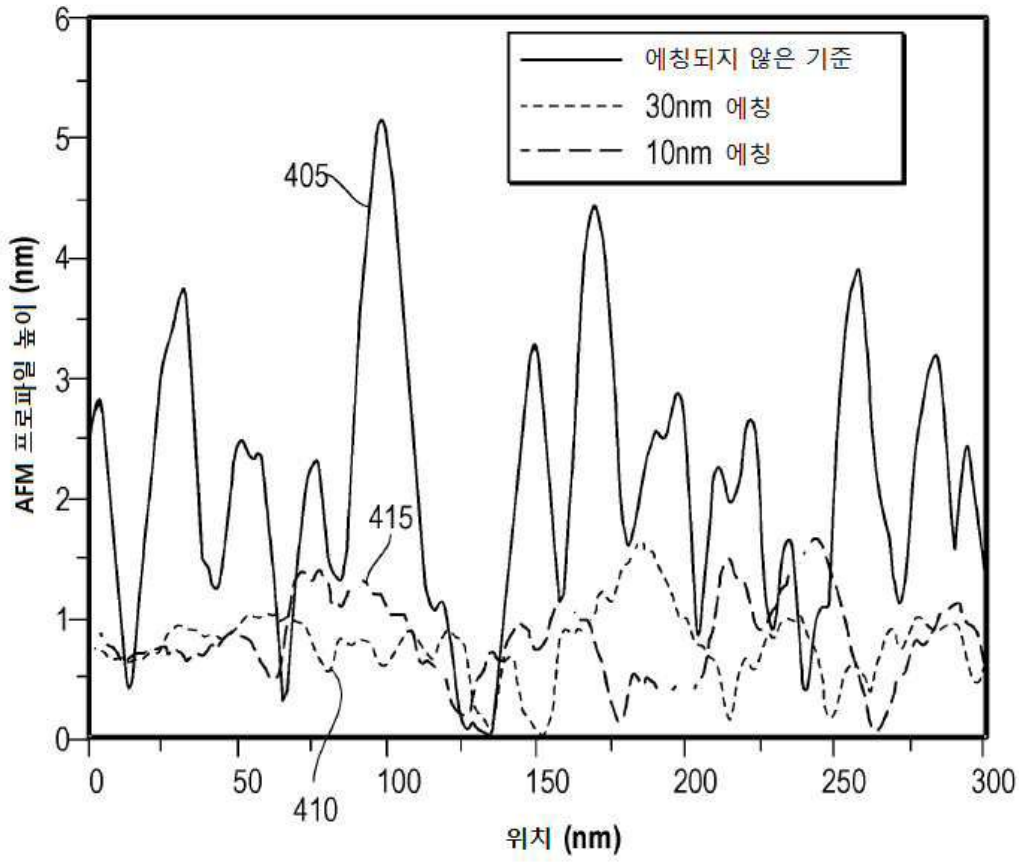
도면2d



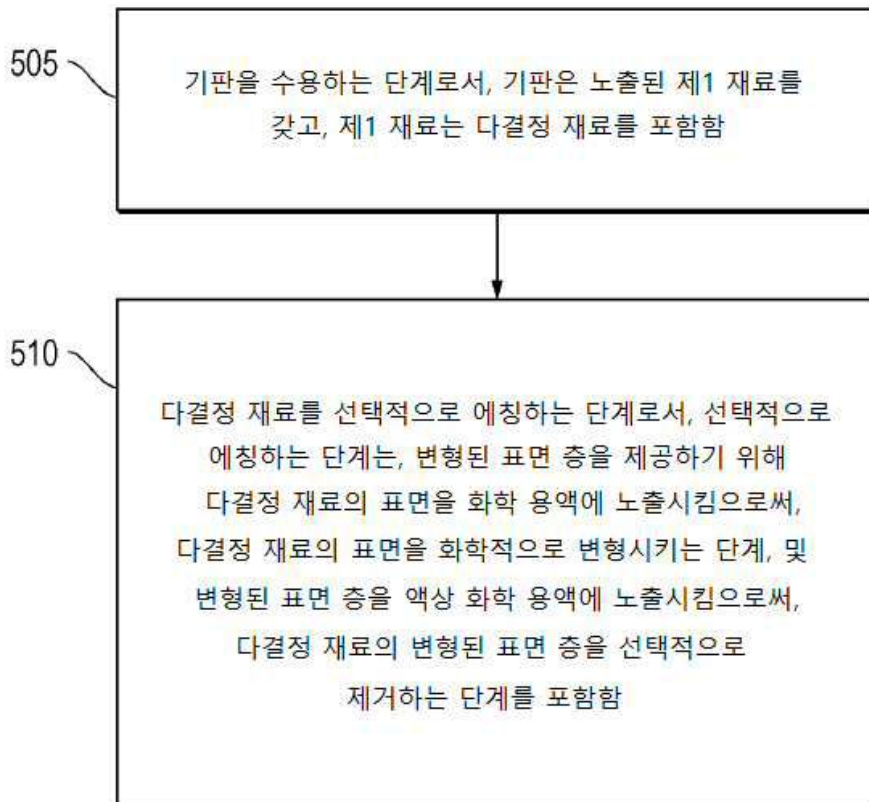
도면3



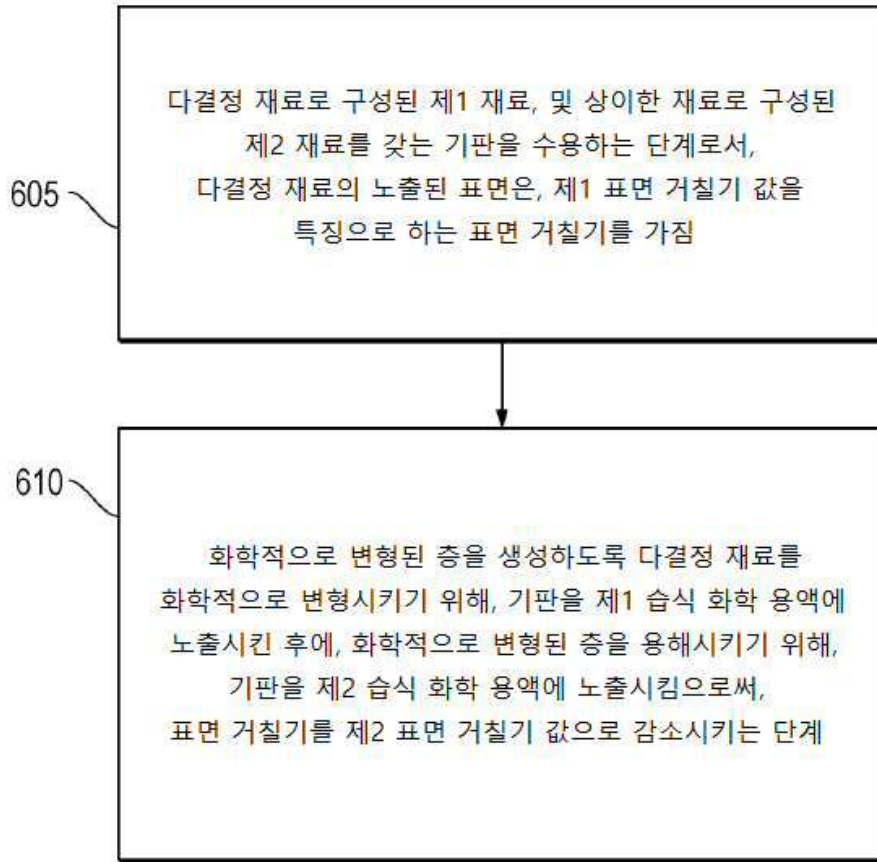
도면4



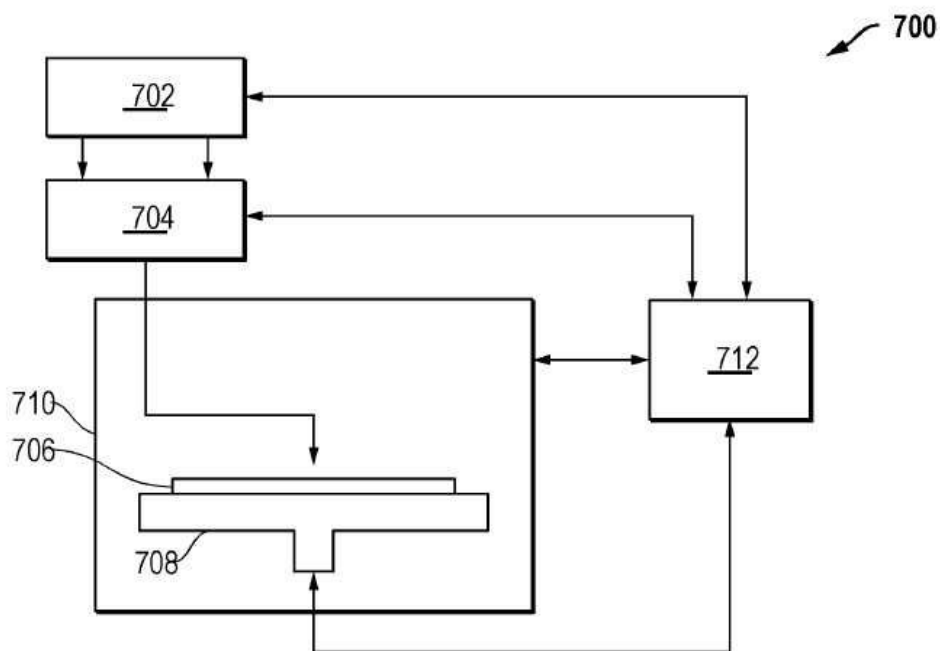
도면5



도면6



도면7a



도면7b

