



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0038271
(43) 공개일자 2010년04월14일

(51) Int. Cl.

B81C 1/00 (2006.01) *B81B 3/00* (2006.01)
H01J 37/28 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0028077

(22) 출원일자 2009년04월01일

심사청구일자 2009년04월01일

(30) 우선권주장

1020080095499 2008년09월29일 대한민국(KR)

(71) 출원인

울산대학교 산학협력단

울산 남구 무거2동 산29

(72) 발명자

정귀상

울산광역시 남구 무거2동 무거현대아파트 101동 408호

(74) 대리인

정홍식, 김종선, 김태현, 이현수

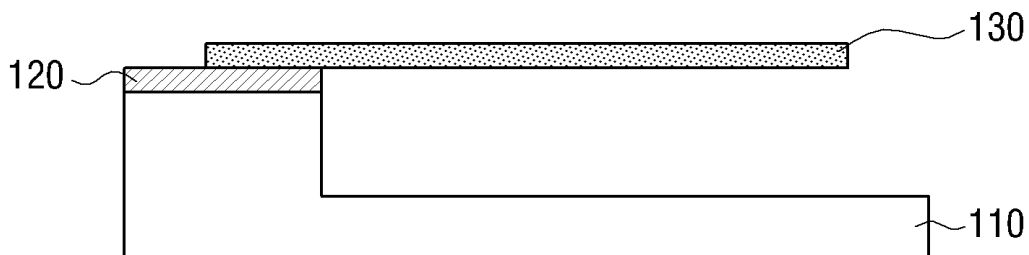
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 다결정 3C-SiC를 이용한 공진기 및 그 제작 방법

(57) 요약

3C-SiC를 이용한 공진기의 제작방법이 개시된다. 본 제작방법은, 기판 상에 산화막을 형성하는 단계, 산화막 상에 3C-SiC(Cubic Silicon Carbide) 박막을 형성하고 패터닝하여 공진부를 형성하는 단계, 및 공진부 하층의 산화막의 일 영역을 식각하는 단계를 포함한다. 이에 따라 3C-SiC를 이용하여 공진기를 제조하는 방법을 제공할 수 있게 된다.

대표도 - 도3g



특허청구의 범위

청구항 1

기관 상에 산화막을 형성하는 단계;

상기 산화막 상에 3C-SiC(Cubic Silicon Carbide) 박막을 형성하고 패터닝하여 공진부를 형성하는 단계; 및
상기 공진부 하층의 산화막의 일 영역을 식각하는 단계;를 포함하는 공진기 제조 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 기관의 일 영역을 식각하여 에어갭을 마련하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 공진기 제조 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 3C-SiC 박막을 형성하는 단계는,

화학 기상 증착법(Chemical Vapor Deposition; CVD)을 이용하며, 헥사메틸다이사이레인(HMDS; Hexamethyldisilane)을 전구체로 이용하는 것을 특징으로 하는 공진기 제조 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 3C-SiC 박막을 식각하는 단계는,

상기 3C-SiC 박막 상에 기설정된 패턴의 금속막을 형성하는 단계; 및

상기 기설정된 패턴의 금속막을 이용하여 상기 3C-SiC 박막을 식각하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 공진기 제조 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 금속막을 형성하는 단계는 스퍼터링법을 이용하며,

상기 3C-SiC 박막을 식각하는 단계는 반응성 이온 식각(RIE:Reactive Ion Etching)을 이용하는 것을 특징으로 하는 공진기 제조 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 금속막은,

니켈(Ni) 또는 알루미늄(Al)으로 형성되는 것을 특징으로 하는 공진기 제조 방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 반응성 이온 식각에 이용되는 혼합가스는,

트리 플로로 메탄(CHF₃), 아르곤(Ar) 및 산소(O₂) 중 적어도 두 개의 혼합가스인 것을 특징으로 하는 공진기 제조 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 반응성 이온 식각은,

상기 산소 주입량, 고주파 전력, 챔프 압력 및 전극 간격 중 적어도 하나를 조절하는 것을 특징으로 하는 공진기 제조 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 기판을 식각하는 단계는,

테트라메틸암모늄하이드록사이드(TMAH; Tetramethylammoniumhydroxide)을 이용하여 상기 기판을 기설정된 시간 동안 식각하는 것을 특징으로 하는 공진기 제조 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 공진부는,

일단이 고정된 캔틸레버 형태인 것을 특징으로 하는 공진기 제조 방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 공진부는,

양단이 고정된 브리지 형태인 것을 특징으로 하는 공진기 제조 방법.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 3C-SiC 박막은,

다결정 3C-SiC 박막인 것을 특징으로 하는 공진기 제조방법.

청구항 13

기판;

상기 기판 상에 일 영역에 형성된 산화막;

상기 산화막과 접하는 지지 영역 및 상기 기판으로부터 일정 거리 이격된 공진 영역으로 구분되며, 3C-SiC로 이루어진 공진부; 및,

상기 공진부 하측에 형성된 에어갭;을 포함하는 공진기.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 공진부는,

일단이 고정된 캔틸레버 형태인 것을 특징으로 하는 공진기.

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 공진부는,

양단이 고정된 브리지 형태인 것을 특징으로 하는 공진기.

청구항 16

제13항에 있어서,

상기 3C-SiC는,

다결정 3C-SiC인 것을 특징으로 하는 공진기.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 공진기 및 그 제작 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 다결정 3C-SiC를 기반으로 하는 공진기 및 그 제작 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 무선통신 소자 그리고 화학 및 바이오 센서로 응용하기 위해 전기적인 공진기에 비해 높은 품질 계수를 갖는 기계적 공진기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0003] 최근, 고온, 고압, 고주파수, 내방사성, 내마모성 및 내부식성을 가지는 탄화규소(Silicon carbide, SiC)가 차세대 반도체로 빠른 성장을 보이고 있다.

[0004] 특히, SiC는 Si보다 우수한 공진 주파수(600 MHz)와, 생체와 고온에서 매우 안정적이기 때문에 향후 자동차, 선박, 우주항공 산업 등의 극한 환경 뿐만 아니라 차세대 RF 및 바이오용 미세전자기계시스템으로써 주목을 받고 있다.

[0005] SiC 중에서도 육방형 결정 구조로 벌크형으로 성장된 4H, 6H-SiC는 비교적 성장이 쉽지만, 대면적화가 어려우며 미세가공이 불가능하고 고가격화로 인해 대량생산이 어렵다. 또한 화학적 결합력이 강하여 모스(Mohs) 지수가 약 9 정도로 다이아몬드에 상응하는 절고함을 지니고 있어 고온, 고압, 진동 등 극한 환경에서도 사용 가능하지만, 마이크로머시닝에 의한 미세가공기술이 어렵다는 문제점이 있었다.

발명의 내용

[0006] 본 발명은 다결정 3C-SiC를 이용한 공진기 및 그 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0007] 이상과 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시 예에 따른 공진기의 제조 방법은, 기판 상에 산화막을 형성하는 단계, 상기 산화막 상에 3C-SiC(Cubic Silicon Carbide) 박막을 형성하고 패터닝하여 공진부를 형성하는 단계, 및 상기 공진부 하층의 산화막의 일 영역을 식각하는 단계를 포함한다.

[0008] 또한, 상기 기판을 식각하여 공동부를 마련하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0009] 여기서, 상기 3C-SiC 박막을 성장시키는 단계는, 화학 기상 증착법(Chemical Vapor Deposition; CVD)을 이용하며, 헥사메틸다이사이레인(HMDS; Hexamethyldisilane)을 전구체로 이용할 수 있다.

[0010] 또한, 상기 3C-SiC 박막을 식각하는 단계는, 상기 3C-SiC 박막 상에 기설정된 패턴의 금속막을 형성하는 단계, 및 상기 기설정된 패턴의 금속막을 이용하여 상기 3C-SiC 박막을 식각하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 또한, 상기 금속막을 형성하는 단계는 스퍼터링법을 이용하며, 상기 3C-SiC 박막을 식각하는 단계는 반응성 이온 식각(RIE:Reactive Ion Etching)을 이용할 수 있다.

[0012] 또한, 상기 금속막은, 니켈(Ni) 또는 알루미늄(Al)으로 형성될 수 있다.

[0013] 또한, 상기 반응성 이온 식각에 이용되는 혼합가스는, 트리 플로로 메탄(CHF₃), 아르곤(Ar) 및 산소(O₂) 중 적어도 두 개의 혼합가스가 될 수 있다.

[0014] 또한, 상기 반응성 이온 식각은, 상기 산소 주입량, 고주파 전력, 챔프 압력 및 전극 간격 중 적어도 하나를 조절할 수 있다.

[0015] 또한, 상기 기판을 식각하는 단계는, 테트라메틸암모늄하이드록사이드(TMAH; Tetramethylammoniumhydroxide)을

이용하여 상기 기판을 기설정된 시간 동안 식각할 수 있다.

[0016] 여기서, 상기 공진부는, 일단이 고정된 캔틸레버 형태가 될 수 있다.

[0017] 또는, 상기 공진부는, 양단이 고정된 브리지 형태가 될 수 있다.

[0018] 이 경우, 상기 3C-SiC 박막은, 다결정 3C-SiC 박막이 될 수 있다.

[0019] 한편, 본 발명의 일 실시 예에 따른 공진기는, 기판, 상기 기판 상에 일 영역에 형성된 산화막, 상기 산화막과 접하는 지지 영역 및 상기 기판으로부터 일정 거리 이격된 공진 영역으로 구분되며, 3C-SiC로 이루어진 공진부 및, 상기 공진부 하측에 형성된 에어갭을 포함한다.

[0020] 여기서, 상기 공진부는, 일단이 고정된 캔틸레버 형태가 될 수 있다.

[0021] 또는, 상기 공진부는, 양단이 고정된 브리지 형태가 될 수 있다.

[0022] 또한, 상기 3C-SiC는, 다결정 3C-SiC이 될 수 있다.

[0023] 이에 따라, 무선통신 부품 및 바이오/화학 센서로 유용하게 이용될 수 있는 마이크로/나노 공진기를 제공할 수 있게 된다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0024] 이하에서, 첨부된 도면을 참고하여 본 발명에 대하여 자세하게 설명한다.

[0025] 도면을 설명하기에 앞서 본 발명에 이용되는 3C-SiC의 특성에 대해 설명하도록 한다.

[0026] 3C-SiC(Cubic Silicon Carbide)는 높은 열전도도, 높은 항복전계, 높은 전자포화 속도, 낮은 열팽창계수, 우수한 기계적 강도 및 화학적 안정성으로 인해 극한 환경용 M/NEMS(Micro/Nano electro mechanical system) 소자의 재료로 적합하다. 더구나, 표 1에서 나타낸 바와 같이 다이아몬드를 제외한 물질 중에서 SiC의 $(E/\rho)^{1/2}$ 가 다른 물질에 비해서 높은 값을 가지므로 3C-SiC는 산화막, 질화막 등을 희생층으로 하는 표면 미세가공이 적용이 쉽기 때문에 M/NEMS형 공진기 제작이 용이한 장점을 지닌다.

표 1

[0027]

	ρ [kg/m ³]	E [GPa]
Si	2300	190
SiNx	3440	250
AlN	3230	345
3C-SiC	3200	448
Diamond	3500	1200

[0028] 도 1a 및 도 1b는 본 발명의 일 실시 예에 따른 캔틸레버형(외팔보형) 공진기의 구조를 나타내는 수직 단면도들이다.

[0029] 도 1a에 따르면, 본 캔틸레버형 공진기(100)는 기판(110), 공진부(A, B) 및 에어갭(C)을 포함한다.

[0030] 기판(110)으로는 통상적으로 실리콘(Si) 기판을 이용할 수 있지만, 경우에 따라서는 고저항 실리콘 기판(HRS)을 이용할 수 있다.

[0031] 기판(110) 일 측에는 기판(110)의 일정 영역이 식각된 형태의 에어갭(C)이 형성된다.

[0032] 공진부(A,B)는 지지영역(A) 및 공진영역(B)으로 구분되며, 3C-SiC막(130) 특히, 다결정 3C-SiC막(130)를 이용하여 형성될 수 있다.

[0033] 공진영역(B)은 기판(110)과 일정 거리 이격되어 형성되며, 외부 요인에 의해 지지영역(A)을 기반으로 진동하게 된다. 여기서, 외부 요인이란 벌크 상태의 압전물질이 될 수 있다. 예를 들어, 공진영역(B)은 석영(수정)(quartz)와 같은 압전물질을 액츄에이터로 사용하여 진동할 수 있다. 석영은 높은 주파수에서도 안정된 특성을 가지므로 공진기의 액츄에이터로서 적합하다. 이에 대한 자세한 설명은 후술하도록 한다.

[0034] 지지영역(A)은 기관(110)의 일 측 및 공진영역(B) 사이를 연결하며, 공진영역(B)이 에어갭(C) 상층에 부유하도록 지지하는 역할을 한다. 지지영역(C)은 기관(110) 상의 일 영역에 형성된 산화막(120)에 접하는 형태로 형성될 수 있다.

[0035] 도 1b는 캔틸레버형 공진기의 또 다른 형태를 나타내는 수직 단면도이다.

[0036] 도 1b에 따르면, 에어갭(C)이 도 1a와 달리 기관(110) 상부에 형성된다. 한편, 도 1b에 도시된 그 밖의 구성요소는 도 1a에 도시된 구성요소와 유사하므로 더 이상의 자세한 설명은 생략하도록 한다.

[0037] 수학식 1은 도 1a 및 도 1b에 도시된 캔틸레버형 공진기의 공진 주파수를 나타낸다.

수학식 1

$$f_n = \frac{(\lambda_n)^2}{2\pi\sqrt{12}} \frac{h}{L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

[0038]

[0039] 여기서, h는 두께[m], L은 길이 [m], E는 탄성계수(영률) [Pa], ρ는 질량밀도 [kg/m³] 그리고 λ_n은 진동모드에 따른 상수(1차모드: 1.857, 2차모드: 4.684)를 각각 나타낸다.

[0040] 도 2a 및 도 2b는 본 발명의 다른 실시 예에 따른 양단이 고정된 브리지형(빔형) 공진기의 구조를 나타내는 수직 단면도들이다. 도 2a 및 도 2b는 도 1a 및 도 1b에 도시된 한쪽 단이 고정된 캔틸레버형 공진기(100)와는 달리 양단이 고정된 브리지형 공진기(200)를 도시한다.

[0041] 도 2a에 따르면, 본 양단이 고정된 브리지형 공진기(200)는 기관(210), 공진부(A', B') 및 에어갭(C')을 포함한다.

[0042] 기관(210)으로는 Si 기관을 이용할 수 있으며, 기관(210) 상부 표면에는 중심부에는 에어갭(C')이 형성된다.

[0043] 공진부(A', B')는 지지영역(A') 및 공진영역(A')으로 구분되며, 3C-SiC막(130) 특히, 다결정 3C-SiC막(130)를 이용하여 형성될 수 있다.

[0044] 공진영역(B')은 기관(210)과 일정 거리 이격되어 형성되며, 외부 요인에 의해 지지영역(A')을 기반으로 진동하게 된다. 여기서, 외부 요인이란 벌크 상태의 압전물질이 될 수 있다. 예를 들어, 공진영역(B')은 석영(수정)(quartz)와 같은 압전물질을 액츄에이터로 사용하여 진동할 수 있다. 석영은 높은 주파수에서도 안정된 특성을 가지므로 공진기의 액츄에이터로서 적합하다. 이에 대한 자세한 설명은 후술하도록 한다.

[0045] 지지영역(A')은 기관(210)의 양 측 및 공진영역(B') 사이를 연결하며, 공진영역(B)이 에어갭(C) 상층에 부유하도록 지지하는 역할을 한다. 지지영역(C)은 기관(210) 상의 양 측에 형성된 산화막(220)에 접하는 형태로 형성될 수 있다. 여기서, 지지영역(A')은 도 1에 도시된 구조와는 달리, 기관(210)의 중심부에 마련된 에어갭(C') 양측으로 기관(210) 및 공진영역(B') 사이를 연결한다.

[0046] 도 2b는 양단이 고정된 브리지형 공진기의 또 다른 형태를 나타내는 수직 단면도이다.

[0047] 도 2b에 따르면, 에어갭(C')이 도 2a와 달리 기관(210) 상부에 형성되어 캡(cap) 형태를 나타낸다. 한편, 도 2b에 도시된 그 밖의 구성요소는 도 2a에 도시된 구성요소와 유사하므로 더 이상의 자세한 설명은 생략하도록 한다.

[0048] 일반적으로 도 2a 및 도 2b에 도시된 양단이 고정된 빔형 공진기(200)의 공진 주파수는 아래의 수학식 2과 같이 표현된다.

수학식 2

$$f_0 = 1.03 \frac{h}{L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

[0049]

[0050] 여기서, h는 두께[m], L은 길이 [m], E는 탄성계수(영률) [Pa], ρ는 질량밀도 [kg/m³]이다.

- [0051] 수학적식 2에서 보인 바와 같이, 양단이 고정된 빔형 공진기는 구조적인 특성으로 인하여 외팔보형(캔틸레버형) 공진기(수학적식 1)에 비하여 6배 정도 높은 주파수 특성을 보인다.
- [0052] 여기서, 도 1a, 도 1b 및 도 2a 및 도 2b에 따른 형태의 공진기는 마이크로 또는 나노 단위로 제작될 수 있다.
- [0053] 도 3a 내지 도 3h는 도 1a에 도시된 캔틸레버 형 공진기의 단계별 제조 공정을 나타낸다.
- [0054] 도 3a에 따르면, 우선 Si 기판(110) 상에 산화막(SiO_2)(120)을 성장시킨다.
- [0055] 여기서, 기판으로는 통상의 Si(실리콘) 웨이퍼를 이용할 수 있으나, 경우에 따라서는 고저항 실리콘 기판(HRS)을 이용할 수 있다.
- [0056] 산화막(120)은 기판(110)과 3C-SiC 박막(130)을 절연시키고, 3C-SiC 박막(130)의 증착을 용이하게 하기 위한 것이다.
- [0057] Si 기판(110) 상에 산화막(120)을 성장시키는 단계에는, 습식 열산화 공정이 이용될 수 있다. 여기서, 습식 열산화 공정은 H_2O 를 이용하여 Si 기판을 열산화($\text{Si} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{H}_2$)하게 된다.
- [0058] 또는 경우에 따라서는 건식 열산화 공정($\text{Si} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2$)이 이용되는 것도 가능하다. 한편, SiO_2 막(120)은 예를 들어, 약 800nm ~ 1 μm 의 두께로 형성될 수 있으나, 이는 일 실시 예에 불과하며, SiO_2 막(120)의 두께는 이에 한정되지 않는다.
- [0059] 도 3b에 따르면, 산화막(120) 상에 다결정 3C-SiC 박막(130)을 성장시킨다.
- [0060] 산화막(120) 상에 다결정 3C-SiC 박막(130)을 성장시키는 단계에서는, 화학 기상 증착법(Chemical Vapor Deposition; CVD)이 이용될 수 있다. 구체적으로, 상압 화학 기상 증착법(Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition; APCVD)이 이용될 수 있다.
- [0061] 구체적으로, 산화막이 형성된 Si 기판(SiO_2/Si) 위에 기설정된 증착 온도 하에서 일정 두께의 다결정 3C-SiC 박막을 APCVD 법으로 증착시킬 수 있다. 여기서, 다결정 3C-SiC 박막은 예를 들어, 약 1 μm ~ 1.2 μm 두께로 형성할 수 있다.
- [0062] 예를 들어, 단일 전구체인 HMDS($\text{Si}_2(\text{CH}_3)_6$), Ar, H_2 가스 등을 주입하여 기판 위에 다결정 3C-SiC를 성장시킬 수 있다.
- [0063] 도 3c에 따르면, 다결정 3C-SiC 박막(130) 상에 금속막(140)을 증착한다. 여기서 금속막으로는 Ni 박막을 이용할 수 있으며, 이 경우, 리프트 오프(Lift off) 공정을 수행할 수 있다.
- [0064] 즉, 다결정 3C-SiC 박막(130) 상에 사진 식각 공정(PR lithography)를 이용하여 PR 패턴을 형성한 후, RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 Ni(니켈) 박막(140) 증착시킬 수 있다. 이 경우, PR 패턴은 역 테이퍼(reverse taper)의 형태로 형성할 수 있다. 이에 따라 Ni(니켈) 박막(140)은 PR Pattern과는 정반대의 형태로 증착될 수 있다. 상술한 바와 같이, 리프트 오프 공정을 이용하게 되면, 감광성 재료가 아닌 경우에도 원하는 패턴으로 형성할 수 있다는 장점이 있다.
- [0065] 또한, 다른 실시 예에 의하면, 다결정 3C-SiC 박막(130) 상에 Ni 박막(140)을 증착(F 마그네트론 스퍼터링법을 이용)하고, 사진 감광제를 이용하여 알루미늄 막을 기설정된 패턴으로 형성할 수 있다.
- [0066] 구체적으로, 식각 마스크로는 SiC와 10 정도의 선택비를 가지는 알루미늄과 사진 감광제를 함께 사용할 수 있다. 먼저, 3C-SiC 박막(130) 위에 RE 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 Ni 박막을 약 5000 Å로 증착하고, 그 위에 사진 감광제로 패턴을 형성하여 하드베이킹 처리를 한다. 여기서, RE 마그네트론 스퍼터링을 위해 예를 들어, 40 kHz 펄스 직류 마그네트론 반응성 스퍼터링 장비를 이용할 수 있다.
- [0067] 한편, 하드 베이킹(Hard baking) 처리를 함으로써 에칭 공정에서 충분한 열 저항성을 가지게 할 수 있다. 하드 베이킹 수행이 완료되면 원하는 패턴 형상만을 남겨 놓기 위한 식각을 통해 패턴을 형성하는데, 식각 마스크 상에 반응성 가스인 혼합 가스를 주입한 후, RF 마그네트론(Magnetron) 반응성 이온 식각(Reactive ion etching : RIE)을 이용하여 건식 습각을 수행할 수 있다. 이 때, 혼합가스로는 트리 폴로로 메탄(CHF_3), 아르곤(Ar), 및 산소(O_2)의 혼합 가스를 이용할 수 있다. 이 경우, 소정 범위에서 가스 유량, 고주파 전력(RF power), 챔프 압

력, 및 전극 간격을 조절하여 식각속도 및 표면 평탄도를 조절할 수 있다.

- [0068] 또는, 원하는 패턴만 남겨 놓기 위해 Ni 박막을 습식 식각할 수 있다. 여기서, 습식 식각(Wet etching)이란, 목표 금속만을 부식 용해하는 성질을 가지는 액체의 약품을 사용하는 에칭 방법이다. 습식 식각의 처리 방법으로는 에칭액을 채운 용기 내에서 침식하는 딥식, 처리 대상에 스프레이식으로 약품을 내뿜는 스프레이식, 스피너로 불리는 회전대에 기판을 달고 약품을 적시는 스프인식 등을 이용할 수 있다.
- [0069] 한편, 본 실시 예에서는 Ni 박막을 이용하는 것으로 설명하였지만, 이는 일 실시 예에 불과하며, Al(알루미늄) 박막 등 다른 금속 박막을 이용하는 것도 가능하다.
- [0070] 도 3d에 따르면, 다결정 3C-SiC 박막(130)을 Ni 박막(140)의 패턴에 따라 식각한다. 이 경우, 반응성 가스인 혼합가스의 주입을 통한 RF 마그네트론 반응성 이온 식각(RIE:Reactive Ion Etching)을 이용할 수 있다.
- [0071] 여기서, 혼합가스는, 트리 폴로로 메탄(CHF₃), 아르곤(Ar) 및 산소(O₂) 중 적어도 두 개의 혼합가스가 될 수 있다.
- [0072] 도 3e에 따르면, 다결정 3C-SiC 박막(130)의 패턴이 완료되면, Ni 식각 용액을 이용하여 남아 있는 Ni 박막(140)을 제거한다.
- [0073] 도 3f에 따르면, 다결정 3C-SiC 박막(130)을 릴리즈시키기 위하여 버퍼 산화물 식각용 화학용액(BOE:Buffered Oxide Etch)을 이용하여 다결정 3C-SiC 박막(130) 하부의 산화막(120)을 제거한다.
- [0074] 도 3g에 따르면, 기판(110)을 식각하여 에어갭(140)을 마련한다.
- [0075] 여기서, 기판(110) 식각은 습식(wet) 에칭 방법이나, 건식(dry) 에칭 방법이 사용될 수 있다. 습식 에칭 방법이란 초산수용액, 불화수소산, 인산 수용액 등의 화학 용액을 이용하여 식각하는 방법이고, 건식 에칭 방법은 가스(gas), 플라즈마(plasma), 이온 빔(ion beam) 등을 이용하여 식각하는 방법이다. 이러한 에칭 방법은 상술한 단계에서 각 층을 패턴닝하는 데에도 이용될 수 있다.
- [0076] 예를 들어, 기설정된 온도로 가열된 테트라메틸암모늄하이드록사이드(TMAH:Tetramethylammoniumhydroxide)을 이용하여 Si 기판(110)을 기설정된 시간 동안 식각할 수 있다. 이 경우, 기설정된 시간은 약 20분 ~ 30분 정도가 될 수 있다.
- [0077] 이상의 단계를 거치고 나면, 도 1a에 도시된 형태의 캔틸레버형 공진기가 최종적으로 제조된다.
- [0078] 한편, 도 1b에 도시된 형태의 캔틸레버형 공진기는 도 3a 내지 3g에 도시된 공정과 유사한 공정으로 제조될 수 있으나, 에어갭(C')의 제조 공정에 차이가 있을 수 있으므로 이에 대해서만 간략히 설명하도록 한다.
- [0079] 도 4a 및 도 4b는 도 1b에 도시된 형태의 캔틸레버형 공진기의 에어갭을 제조하는 공정을 설명하기 위한 평면도 및 수직 단면도이다.
- [0080] 도 4a에 따르면, 산화막(120) 및 빔 형태의 다결정 3C-SiC 박막(130) 사이에 마련된 주변 영역(a, b)을 통해 에칭액 등을 주입하여 기판(210) 일부를 식각함으로써 에어갭(C')을 형성할 수 있다.
- [0081] 또는, 도 4b에 도시된 바와 같이 기판(210) 하부에 비아홀(250)을 마련하고, 비아홀(250)을 통해 에칭액 등을 주입하여 기판(210) 일부를 식각함으로써 에어갭(C')을 형성할 수 있다. 다만, 경우에 따라서 다결정 3C-SiC 박막(130)에 비아홀을 마련하는 것도 가능하다.
- [0082] 한편, 도 2a 및 도 2b에 도시된 형태의 양단이 고정된 빔형 공진기 또한 도 3a 내지 도 3g, 및 도 4a, 도 4b에 도시된 공정과 유사한 방법을 적용하여 제조될 수 있으므로 이에 대한 자세한 설명은 생략하도록 한다.
- [0083] 한편, 상술한 방법으로 형성된 캔틸레버형 공진기 및 양단이 고정된 빔형 마이크로 공진기는 폭 10 μ m, 길이 100~40 μ m, 및 두께 1 μ m 정도가 될 수 있다. 하지만, 이러한 수치는 일 예에 불과하며 이에 한정되지 않는다.
- [0084] 도 5a는 본 발명의 일 실시 예에 따라 다결정 3C-SiC 박막을 성장시키는데 이용되는 APCVD 장치를 간략하게 보인 예시도이다.
- [0085] 도 5a에 따르면, APCVD 장치는 그래파이트 서스셉터(graphite susceptor), 석영 보트(quartz boat), RF 코일 등을 포함할 수 있다.
- [0086] 도 5b에 도시된 APCVD 장치를 이용하여 다결정 3C-SiC 박막(130)을 성장시키는 과정을 간략히 설명하면, 우선, 산화막(120)이 형성된 Si 기판(110)을 그래파이트 서스셉터(graphite susceptor) 위에 놓고 RF 코일의 중앙 위

치에 놓는다.

- [0087] 또한, 반응관의 초기화를 위한 저진공을 잡아주고 Ar과 H₂를 상압이 될 때까지 불어넣는 Ar 퍼징 사이클(purging cycle)을 수회 수행한다.
- [0088] 이 후, 그라파이트 서스셉터의 온도를 올리면서 전구체 HDMS를 주입하고, 성장온도까지의 ramping up time을 적절히 조정할 수 있다.
- [0089] 도 5b는 본 발명의 일 실시 예에 따라 3C-SiC 박막을 식각하는데 이용되는 마그네트론 RIE 장치를 간략하게 보인 예시도이다.
- [0090] 도 5b에 도시된 같이, 마그네트론 RIE 장치(500)는 챔버(510) 내에 마주보는 형태로 평행하게 배치된 접지 전극(grounded electrode)(520)과 파워 전극(power electrode)(530)을 포함할 수 있다. 여기서, 챔버(510), 접지 전극(520)과 파워 전극(530)은 산화 피막이 도포된 알루미늄(Al)으로 만들어질 수 있다.
- [0091] 평행하게 배치된 접지 전극(520)과 파워 전극(530)에 고주파 발생기(550)로부터 고주파가 가해지며, 반응성 가스는 MFC(Mass Flow Control)(미도시)에 의해 제어되어 접지 전극(520)을 통해 공급될 수 있다. 여기서, 이용되는 고주파는 약 13.56 MHz 정도가 될 수 있다.
- [0092] 또한, 로타리 펌프(540)를 통해 배기가 이루어지게 된다.
- [0093] 한편, 웨이퍼가 한 장씩 처리될 수 있도록 설계된 평행 전극(520, 530)에 13.56 MHz의 RF 고주파가 가해지면, 평행 전극(520, 530) 간에 강한 전기장이 발생하고 이온들이 하부전극으로 가속된다. 이 때, 자석이 적용된 자기장을 더 추가하여 플라즈마 밀도를 높일 수 있다.
- [0094] 또한, 다결정 3C-SiC 박막을 식각할 때, 산소 주입량, 고주파 전력, 챔프 압력 및 전극 간격 중 적어도 하나를 조절하여 식각할 수 있다.
- [0095] 도 6a는 도 3a 내지 도 3f에 따른 공정으로 제조된 캔틸레버형 마이크로 공진기의 FE-SEM 사진이다.
- [0096] 도 6a에 도시된 캔틸레버형 마이크로 공진기는 폭 10 μ m, 길이 100 μ m, 및 두께 1 μ m 정도가 된다. 도 4a에서는 캔틸레버가 약간 아래 방향으로 기울어진 것을 알 수 있는데, 이는 다결정 3C-SiC 박막에 약 428 MPa 정도의 스트레스가 내재되어 있기 때문이다.
- [0097] 도 6b는 도 3a 내지 도 3f에 따른 공정으로 제조된 양단이 고정된 빔형 마이크로 공진기의 FE-SEM 사진이다.
- [0098] 도 6b에 도시된 양단이 고정된 빔형 마이크로 공진기는 폭 10 μ m, 길이 60 μ m 및 두께 1 μ m 정도가 된다.
- [0099] 도 7은 본 발명에 따른 마이크로 공진기의 공진특성을 분석하기 위한 측정 시스템 구성도이다.
- [0100] 도 7에 도시된 측정 시스템은, 11MHz의 공진주파수를 가지는 진동자를 액츄에이터로 사용하였다. 여기서, 진동자는 예를 들어, 석영(Quartz)이 될 수 있다. 또한, 레이저 변위계를 이용하여 주파수에 따른 변위를 진공상태(2.7×10^{-5} Torr)에서 측정하였다.
- [0101] 도 8a 및 도 8b는 도 7에 도시된 측정 시스템을 이용하여 측정된 본 발명에 따른 마이크로 공진기의 공진 특성을 나타내는 그래프이다.
- [0102] 도 8a는 진공상태에서 길이가 80 μ m인 캔틸레버형 마이크로 공진기의 공진특성 측정결과를 나타낸 그래프로써, 측정결과 두 개의 피크가 나타나는데, 231.4kHz에서 나타난 피크는 1차 모드로 진동하는 캔틸레버형 공진기의 공진주파수이며, 1.14MHz에서 나타난 피크는 2차 모드로 진동하는 캔틸레버형 공진기의 공진주파수를 나타낸 것이다. 그 밖에 길이가 100 μ m인 캔틸레버형 공진기의 경우, 1, 2차 모드에서의 공진주파수가 각각 155kHz, 857.5kHz로 측정되었다.
- [0103] 주파수를 달리하여 캔틸레버형 공진기를 가진시키면 여러 가지 모드로 진동하게 되는데, 1, 2차 모드에서의 움직임은 캔틸레버 전체 부분에서의 변위를 스캔한 후, 그 데이터를 기반으로 시뮬레이션을 수행함으로써 관찰하였으며, 이외에 길이가 60 μ m와 40 μ m 길이인 캔틸레버형 공진기는 각각 413.7kHz, 856.3kHz의 공진주파수를 가졌다. 그리고 두께와 길이의 차이를 고려하여 Si 캔틸레버형 공진기와 비교할 때 60 μ m 길이의 3C-SiC 캔틸레버형 공진기가 1.4배 정도 높은 주파수를 갖음을 알 수 있다.
- [0104] 도 8b는 본 발명에 따른 양단이 고정된 마이크로 공진기의 공진 특성을 나타내는 그래프이다.

- [0105] 도 8b는 길이, 폭, 두께가 각각 80, 10, 0.4 μ m인 양단이 고정된 빔형 다결정 3C-SiC 마이크로 공진기의 공진 특성을 나타낸다.
- [0106] 도 8a에 따르면, 측정결과 한 개의 피크가 나타나는데, 569.7kHz에서 피크가 발생됨을 알 수 있다.
- [0107] 한편, 공진기의 길이, 폭, 두께를 달리하여 공진특성을 변화시킬 수 있다. 예를 들어, 길이, 폭, 두께가 60, 10, 0.4 μ m인 경우에는 373.4kHz의 주파수 특성을 나타내며, 길이, 폭, 두께가 100, 10, 0.4 μ m인 경우에는 908.1kHz의 주파수 특성을 나타내었다.
- [0108] 도 9a 및 도 9b는 본 발명에 따른 길이에 따른 마이크로 공진기의 공진주파수 변화를 나타낸 그래프이다.
- [0109] 도 9a는 캔틸레버형 마이크로 공진기의 길이에 따른 공진주파수의 변화를 나타낸 그래프로서, 측정값과 계산값을 비교하여 나타내었다.
- [0110] 도 9a에 따르면, 캔틸레버의 길이가 줄어들며 따라 공진주파수가 급격히 증가하는 것을 알 수 있는데, 이는 수학적 식 1에서 공진주파수가 길이의 제곱에 반비례하는 특성과 일치함을 알 수 있다.
- [0111] 그러나, 캔틸레버의 길이가 줄어들며 따라 계산값과 측정값 사이의 오차가 점점 커짐을 알 수 있는데, 이는 캔틸레버의 크기가 작아지면서 박막에 내재된 스트레스의 영향이 커짐으로서 발생하는 것으로 보여지며, 본 발명에서 사용된 다결정 3C-SiC 박막은 n-type으로서 약 10^{17} cm^{-3} 정도의 도핑농도를 가지며 평탄도는 대략 10nm이다.
- [0112] 도 9b는 양단이 고정된 빔형 마이크로 공진기의 길이에 따른 공진주파수의 변화를 나타낸 그래프로서, 측정값과 계산값을 비교하여 나타내었다.
- [0113] 도 9b에 따르면, 빔의 길이가 줄어들며 따라 공진주파수가 급격히 증가하는 것을 알 수 있는데, 이는 상술한 수학적 식 2에서 공진주파수가 길이의 제곱에 반비례하는 특성과 일치함을 알 수 있다.
- [0114] 그러나, 도 9a에 도시된 캔틸레버형 공진기와 비교하여 측정값이 계산값보다 높은 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.
- [0115] 일반적으로, 다결정 3C-SiC 박막에는 428 MPa의 양축응력이 내재되어 있지만, 실제 양단이 고정된 빔형 공진기를 제작한 결과, 구조적인 특성으로 인장응력이 발생한 것으로 사료된다. 그러므로 원하는 공진 주파수를 갖는 양단이 고정된 빔형 공진기를 제작하기 위해서는 스트레스를 충분히 고려하여 설계하는 것이 요구된다. 한편, 빔의 길이가 줄어들며 따라 계산값과 측정값 사이의 오차가 점점 커짐을 알 수 있는데, 이는 캔틸레버의 크기가 작아지면서 박막에 내재된 스트레스의 영향이 커짐으로서 발생하는 것으로 보여진다.
- [0116] 이에 따라, 본 발명에 따른 다결정 3C-SiC 박막을 기반으로 하는 마이크로 혹은 나노 공진기는 그 형태 및 크기에 따라 다양한 대역의 주파수를 제공할 수 있으므로, 무선통신 부품 및 바이오/화학 센서로 유용하게 응용될 수 있을 것이다.
- [0117] 한편, 상술한 방법으로 제조된 마이크로 공진기는 고품질계수(high Quality factor:high Q)를 가지며 마이크로 주파수 대역에서 사용이 가능한 필터를 구현할 수 있고, 통신 시스템에서 두 개의 밴드패스필터를 이용하여 송신단 신호와 수신단 신호를 구분하는 듀플렉서(Duplexer)에서도 이용될 수 있다.
- [0118] 이상에서는 본 발명의 바람직한 실시 예에 대하여 도시하고 설명하였지만, 본 발명은 상술한 특성의 실시 예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진자에 의해 다양한 변형실시가 가능한 것은 물론이고, 이러한 변형실시들은 본 발명의 기술적 사상이나 전망으로부터 개별적으로 이해되어져서는 안 될 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0119] 도 1a 및 도 1b는 본 발명의 일 실시 예에 따른 캔틸레버형(외팔보형) 공진기의 구조를 나타내는 수직 단면도들이다.
- [0120] 도 2a 및 도 2b는 본 발명의 다른 실시 예에 따른 양단이 고정된 브리지형(빔형) 공진기의 구조를 나타내는 수직 단면도들이다.
- [0121] 도 3a 내지 도 3h는 도 1a에 도시된 캔틸레버형 공진기의 단계별 제조 공정을 보여주는 도면들이다.
- [0122] 도 4a 및 도 4b는 도 1b에 도시된 캔틸레버형 공진기의 에어캡을 제작하기 위한 제조 공정을 보여주는 도면들이다.

다.

[0123] 도 5a는 본 발명의 일 실시 예에 따라 다결정 3C-SiC 박막을 성장시키는데 이용되는 APCVD 장치를 간략하게 보인 예시도이다.

[0124] 도 5b는 본 발명의 일 실시 예에 따라 3C-SiC 박막을 식각하는데 이용되는 마그네트론 RIE 장치를 간략하게 보인 예시도이다.

[0125] 도 6a 및 도 6b는 본 발명의 다양한 실시 예에 따른 공진기의 FE-SEM 사진들이다.

[0126] 도 7은 본 발명에 따른 공진기의 공진특성을 분석하기 위한 측정 시스템 구성도이다.

[0127] 도 8a 및 도 8b는 도 7에 도시된 측정 시스템을 이용하여 측정된 본 발명에 따른 공진기의 공진 특성을 나타내는 그래프이다.

[0128] 도 9a 및 도 9b는 본 발명에 따른 길이에 따른 공진기의 공진주파수 변화를 나타낸 그래프이다.

[0129] * 도면 주요 부분에 대한 부호의 설명 *

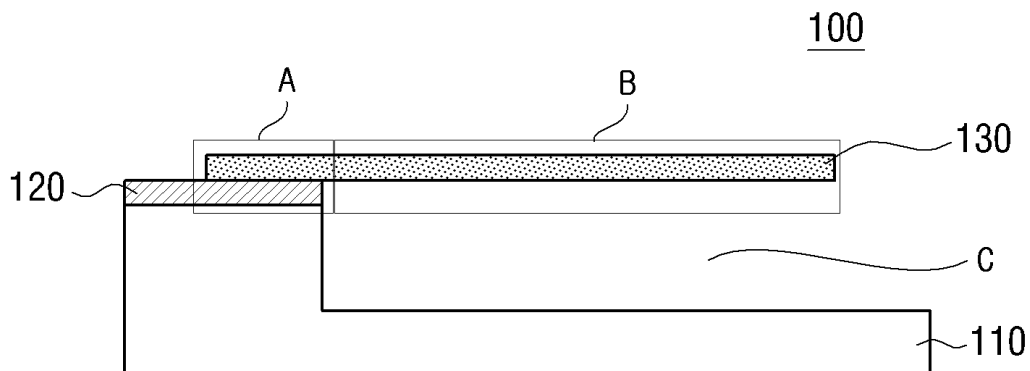
[0130] 100, 200 : 마이크로 공진기 110, 210 : 기판

[0131] 120, 220 : 산화막 130, 230 : 3C-SiC 막

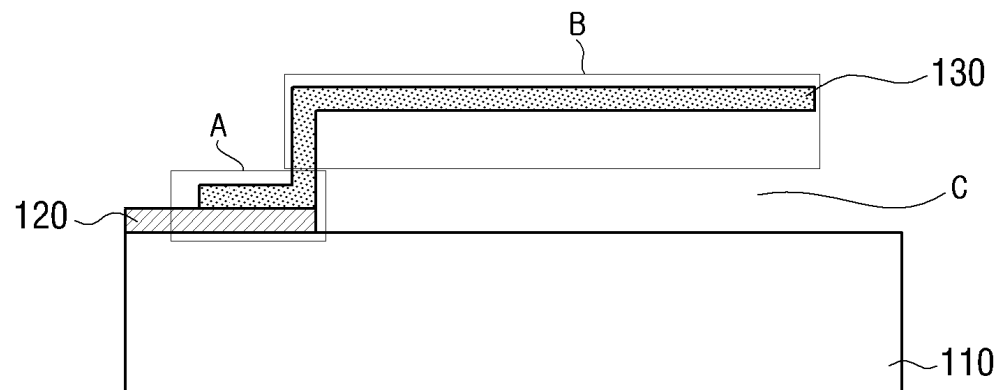
[0132] 140, 240 : 금속막

도면

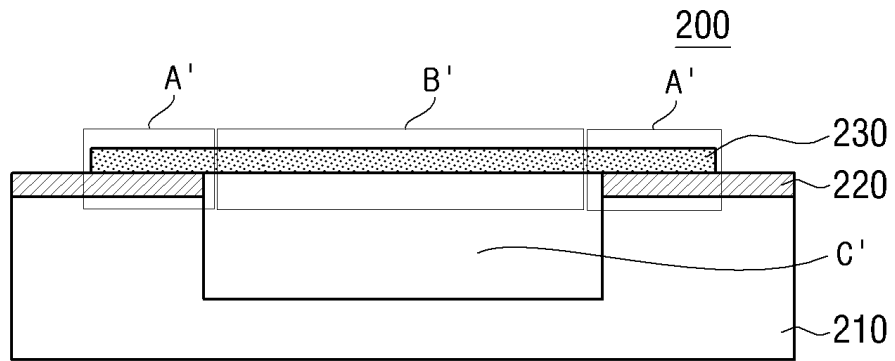
도면1a



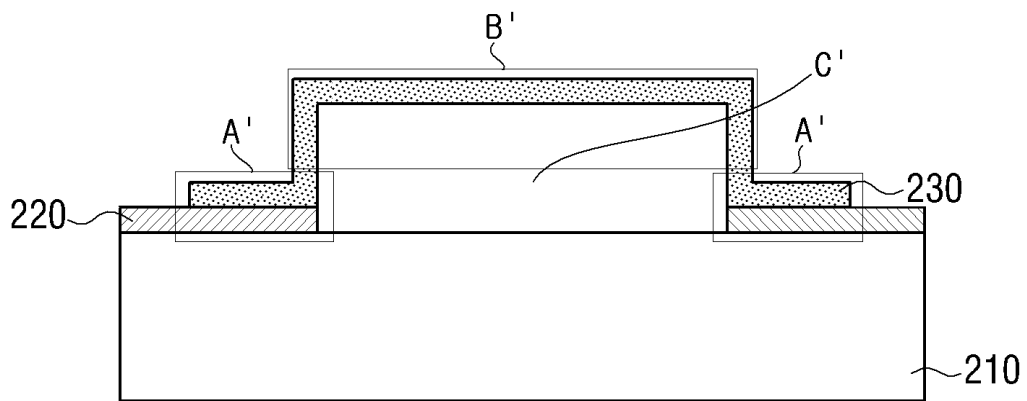
도면1b



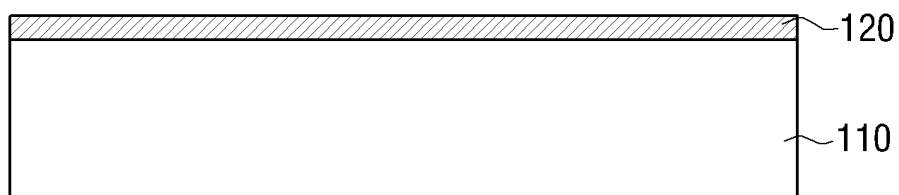
도면2a



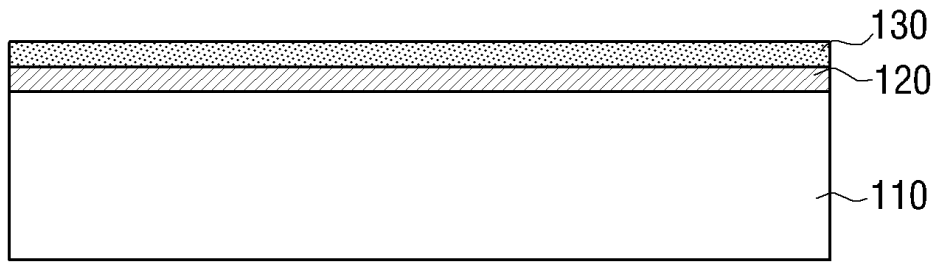
도면2b



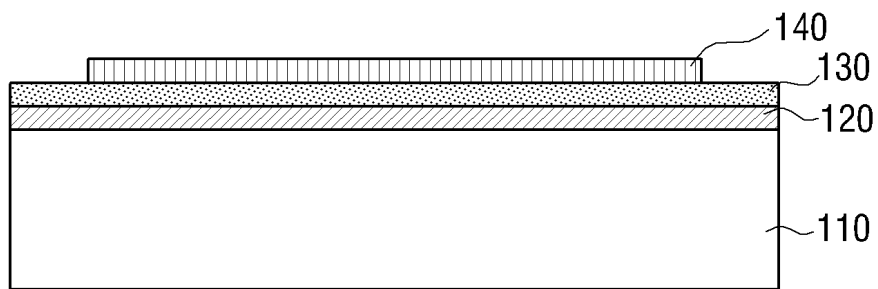
도면3a



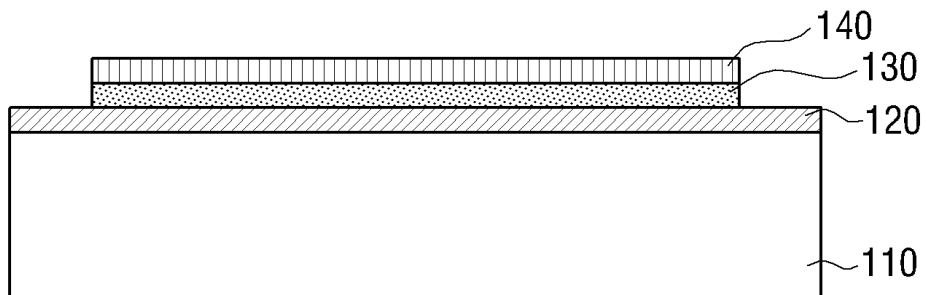
도면3b



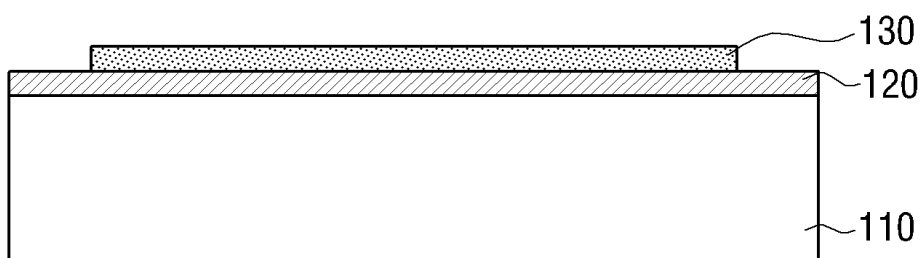
도면3c



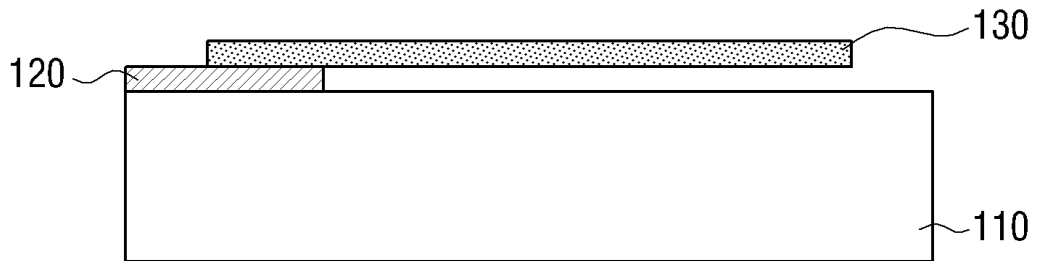
도면3d



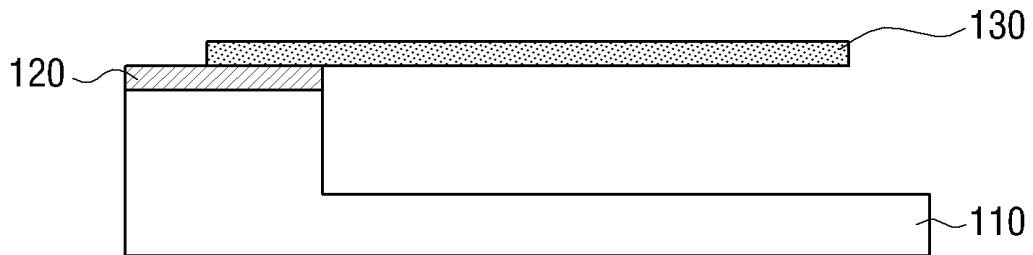
도면3e



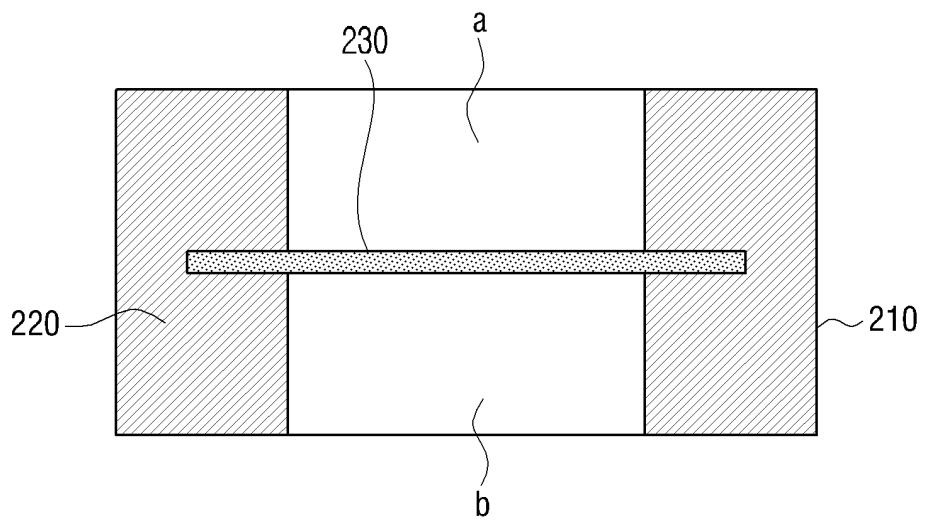
도면3f



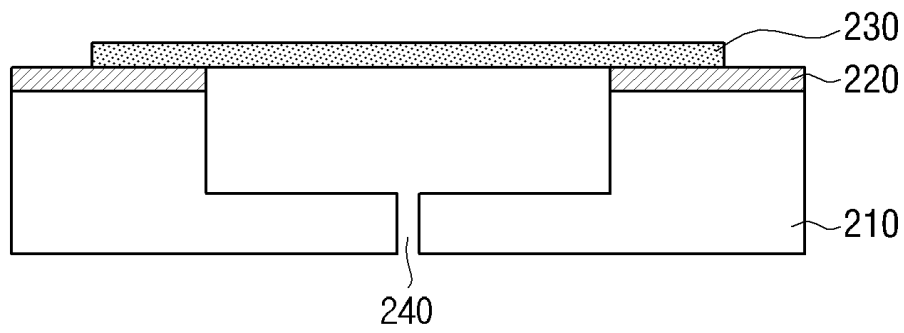
도면3g



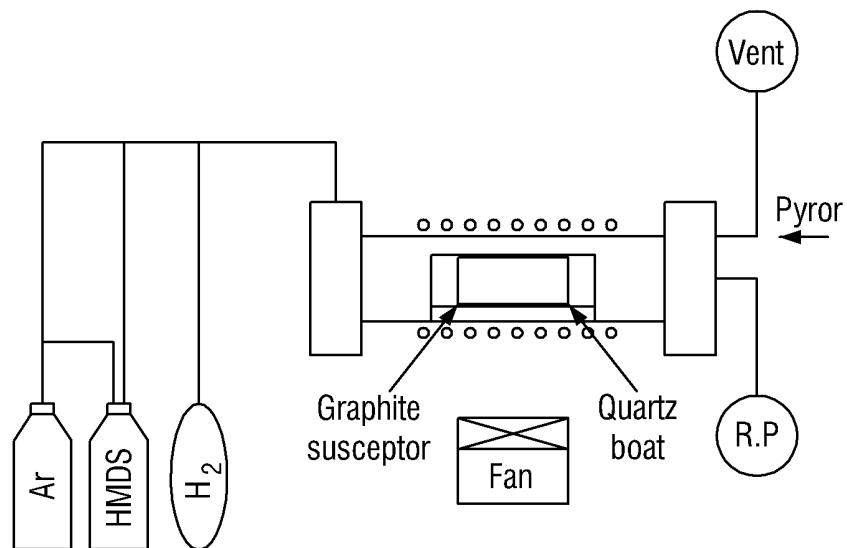
도면4a



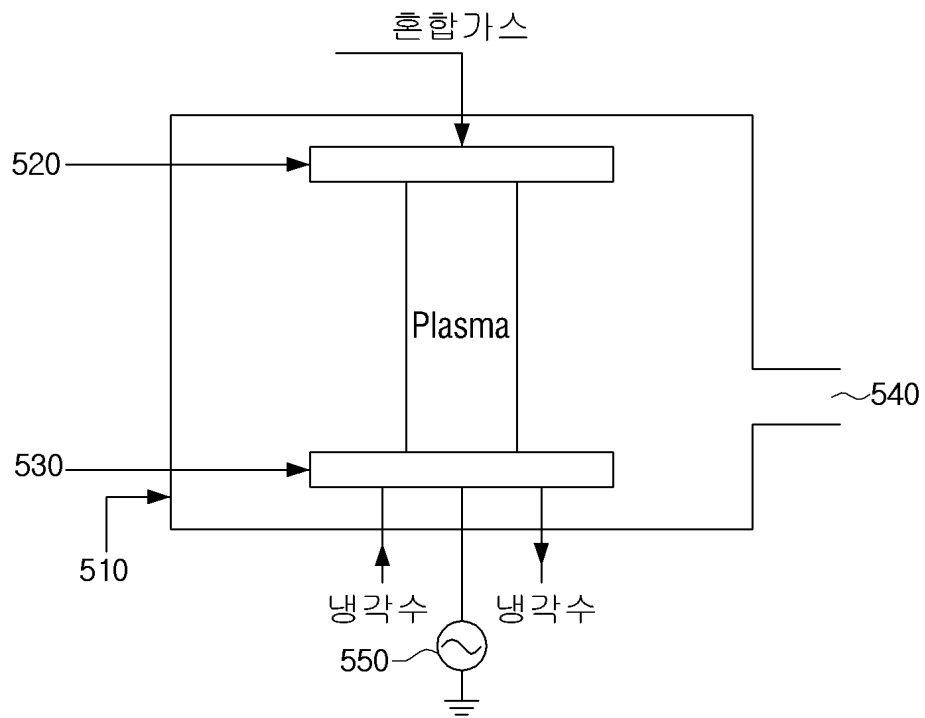
도면4b



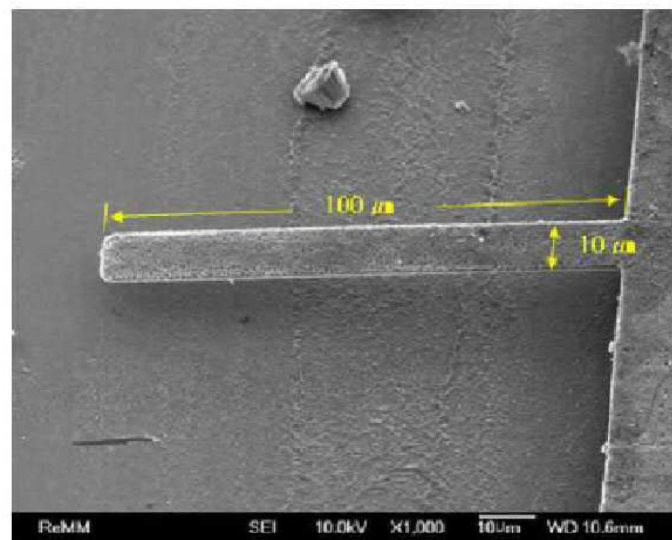
도면5a



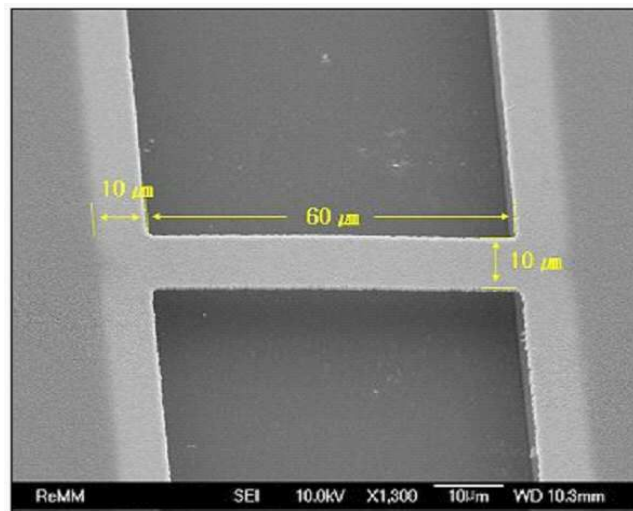
도면5b



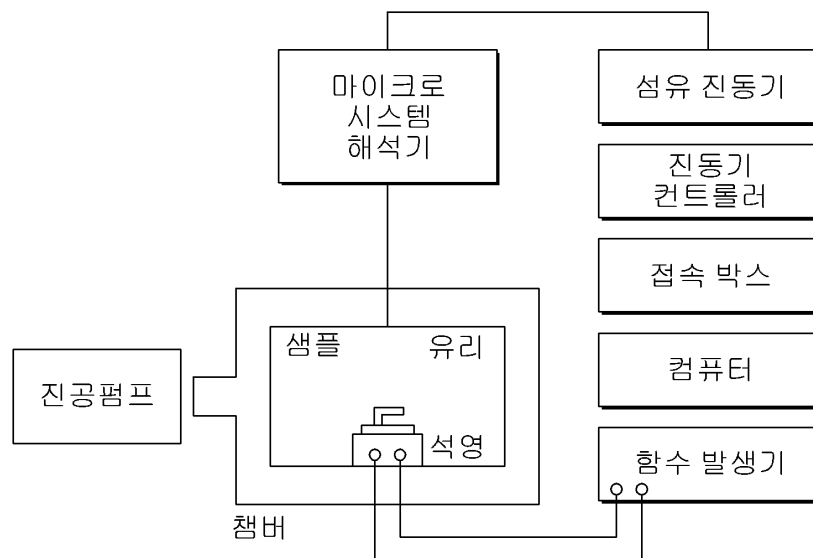
도면6a



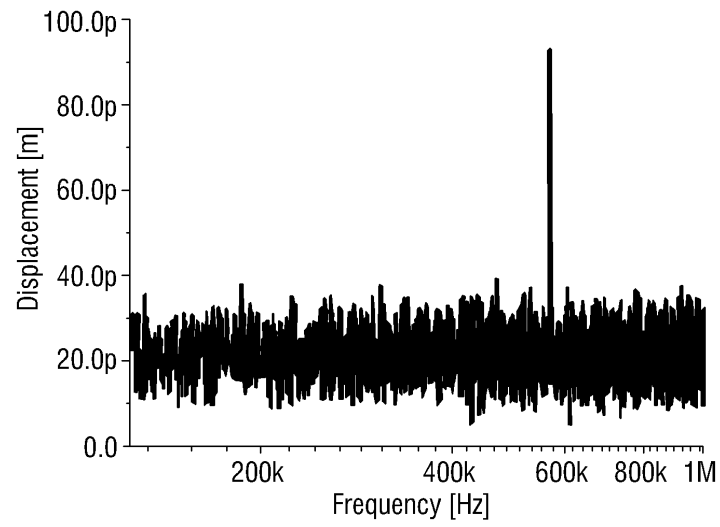
도면6b



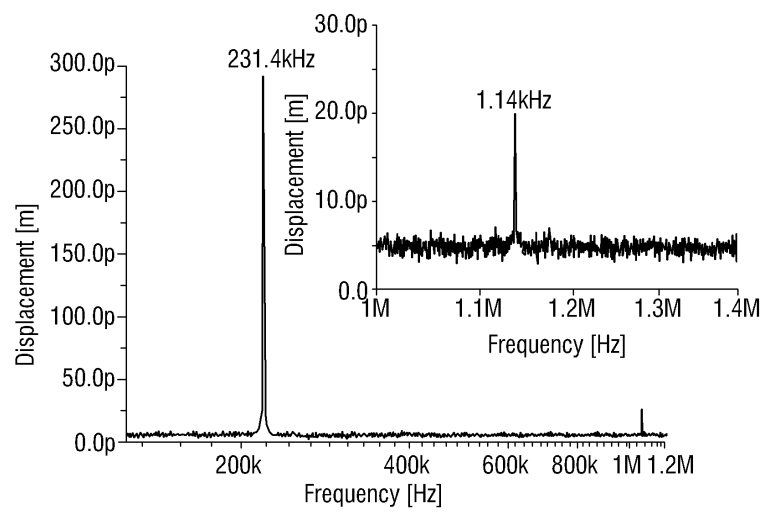
도면7



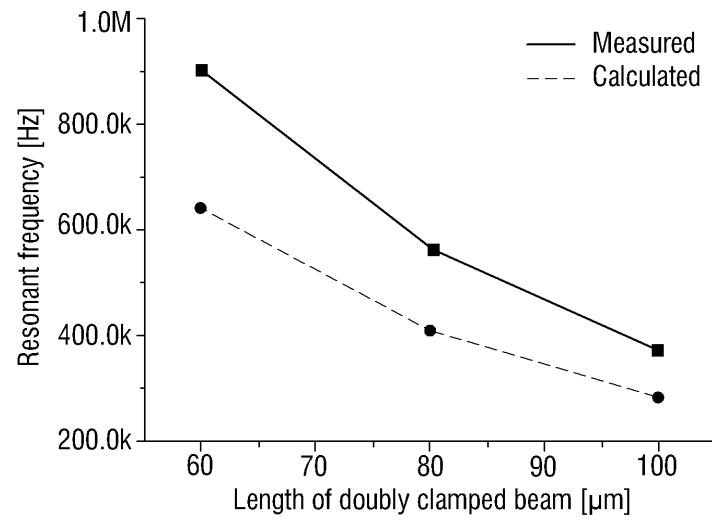
도면8a



도면8b



도면9a



도면9b

