(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0115427
(43) 공개일자 2009년11월05일

(51) Int. Cl.
G01N 25/00 (2006.01) *G01N 25/64* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-0041285
(22) 출원일자 2008년05월02일
심사청구일자 2008년05월02일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내
(72) 발명자
권오명
서울특별시 성북구 안암동 5가 1번지 고려대학교 자연계 캠퍼스기계공학과 418호
김경태
서울특별시 성북구 안암동 5가 1번지 고려대학교 자연계 캠퍼스기계공학과 432호
정승필
서울특별시 성북구 안암동 5가 1번지 고려대학교 자연계 캠퍼스기계공학과 432호
(74) 대리인
김정식

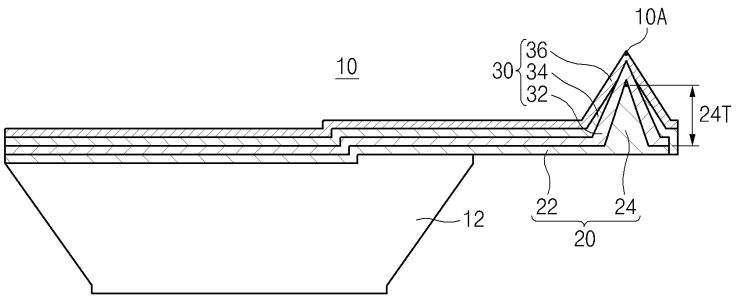
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 주사탐침열현미경의 열전탐침 및 그 제조방법

(57) 요 약

본 발명은 나노스케일(nano scale)의 해상력을 가지고 시편을 주사(scanning)하여 시편의 열적 특성 등을 이미지로 나타내는 주사탐침열현미경에 관한 것으로서, 특히 본 발명은 캔틸레버 및 상기 캔틸레버로부터 돌출된 팁을 갖고, 실리콘 산화막으로 형성되는 열전탐침 모체와; 상기 열전탐침 모체 상에 형성되어 시편의 열물성을 계측하는 열전쌍을 포함하는 것을 특징으로 하는 주사탐침열현미경의 열전탐침 및 그 제조방법에 관한 것으로서, 높은 계측감도를 가질 수 있다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

캔틸레버 및 상기 캔틸레버로부터 돌출된 팁을 갖고, 실리콘 산화막으로 형성되는 열전탐침 모체와;

상기 열전탐침 모체 상에 형성되어 시편의 열물성을 계측하는 열전쌍을 포함하는 것을 특징으로 하는 주사탐침열현미경의 열전탐침.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 팁 높이는 10㎛이상인 것을 특징으로 하는 주사탐침열현미경의 열전탐침.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 팁과 연결되고, 상기 팁으로부터 이격되어 상기 열전탐침에 조사되는 피드백 레이저를 반사하는 반사부를 갖는 반사판을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 주사탐침열현미경의 열전탐침.

청구항 4

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항의 열전탐침을 제조하기 위한 방법으로서,

웨이퍼의 전면에 상기 열전탐침 모체의 팁의 모체를 형성하는 팁 모체 형성단계와;

상기 팁 모체가 형성된 웨이퍼의 전면에 실리콘 산화막을 성장시켜서 상기 열전탐침 모체를 형성하는 열전탐침 모체 형성단계와;

상기 열전탐침 모체를 형성하는 실리콘 산화막 상에 열전쌍을 형성하는 열전쌍 형성단계와;

상기 웨이퍼를 벌크 식각하는 웨이퍼 벌크식각단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 주사탐침열현미경의 열전탐침 제조방법.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 팁 모체 형성단계는, 상기 웨이퍼의 전면에 팁 마스크를 형성하는 팁 마스크 형성과정과;

상기 웨이퍼의 전면을 등방성 습식 식각하여 1차적으로 상기 팁 모체를 형성하는 팁 모체 1차형성과정과;

산화 공정에 의해 산화 공정에 의해 1차적으로 형성된 상기 팁 모체를 예리하게 형성함과 아울러, 이에 의해 상기 팁 마스크가 제거되게 하는 팁 모체 2차형성과정과;

상기 팁 모체 2차형성과정에서 형성된 산화막을 제거하여 최종적으로 팁 모체를 완성하는 팁 모체 최종형성과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 주사탐침열현미경의 열전탐침 제조방법.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 팁 마스크 형성과정은, 상기 웨이퍼의 표면에 실리콘 질화막을 성장시키는 실리콘 질화막 형성과정과;

상기 웨이퍼의 전면을 감광제에 의해 포토리소그래피 공정으로 패터닝하는 팁 마스크 패터닝과정과;

상기 실리콘 질화막을 비등방성 건식 식각하여 상기 팁 마스크를 완성하는 팁 마스크 완성과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 주사탐침열현미경의 열전탐침 제조방법.

청구항 7

청구항 5에 있어서,

상기 팁 모체 2차형성과정은 1회 또는 2회 이상의 850℃ 내지 1050℃에서 건식 산화법에 의해 이루어지는 것을 특징으로 하는 주사탐침열현미경의 열전탐침 제조방법.

청구항 8

청구항 5에 있어서,

상기 팁 모체 최종형성과정은 완충식각액(BOE:buffered oxide etchant)에 의한 습식 식각에 의해 이루어지는 것을 특징으로 하는 주사탐침열현미경의 열전탐침 제조방법.

청구항 9

청구항 4에 있어서,

상기 팁 모체의 높이는 10㎛이상인 것을 특징으로 하는 주사탐침열현미경의 열전탐침 제조방법.

청구항 10

청구항 4에 있어서,

상기 열전탐침 모체 형성단계는 1000℃ 내지 1200℃에서 습식 산화법에 의해 이루어지는 것을 특징으로 하는 주사탐침열현미경의 열전탐침 제조방법.

청구항 11

청구항 4에 있어서,

상기 열전탐침 모체의 두께는 1.0㎛이상인 것을 특징으로 하는 주사탐침열현미경의 열전탐침 제조방법.

청구항 12

청구항 4에 있어서,

상기 열전탐침 모체형성단계에서, 상기 웨이퍼의 배면에도 상기 실리콘 산화막을 성장시키는 것을 특징으로 하는 주사탐침열현미경의 열전탐침 제조방법.

청구항 13

청구항 4에 있어서,

상기 열전쌍 형성단계는 제1열전기층을 형성하는 제1열전기층 형성과정과;

상기 제1열전기층 상에 절연층을 형성하는 절연층 형성과정과;

상기 절연층 상에 감광제를 도포하는 감광제 도포과정과;

상기 감광제와 상기 절연층을 CF_4 플라즈마로 동시에 건식 식각하여 상기 팁의 첨단 측 제1열전기층을 노출시키는 제1열전기층 노출과정과;

상기 제1열전기층과 연결되도록 상기 절연층 상에 제2열전기층을 형성하는 제2열전기층 형성과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 주사탐침열현미경의 열전탐침 제조방법.

청구항 14

청구항 13에 있어서,

상기 절연층 형성과정은 플라즈마 화학기상증착(PECVD) 방법에 의해 이루어지는 것을 특징으로 하는 주사탐침열현미경의 열전탐침 제조방법.

청구항 15

청구항 4에 있어서,

상기 벌크식각단계는 상기 웨이퍼의 배면에 벌크식각용 마스크를 형성하고, 상기 웨이퍼 상에 형성된 열전탐침

전체를 열전탐침 보호막으로 보호하는 준비과정과;

상기 열전탐침이 형성된 웨이퍼를 수산화칼륨(KHO)용액에 의해 언더컷하여, 상기 열전탐침을 릴리즈시키는 1차 벌크식각과정과;

상기 잔여 웨이퍼 및 벌크식각용 마스크, 상기 열전탐침 보호막을 테트라메틸 암모늄 수산화물(TMAH)용액으로 제거하여 상기 열전탐침을 형성하는 2차벌크식각과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 주사탐침열현미경의 열전탐침 제조방법.

청구항 16

청구항 15에 있어서,

상기 벌크식각용 마스크는 상기 팁 모체 형성단계의 팁 마스크와 동시에 형성되는 것을 특징으로 하는 주사탐침열현미경의 열전탐침 제조방법.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

<1> 본 발명은 나노스케일(nano scale)의 해상력을 가지고 시편을 주사(scanning)하여 시편의 열적 특성 등을 이미지로 나타내는 주사탐침열현미경에 관한 것으로서, 특히 그 열전탐침 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

<2> 나노공학의 급속한 발전과 함께 다양한 나노재료 및 나노소자들이 빠르게 개발되고 있다. 열역학 2 법칙에 따라 나노소자의 동작은 필연적으로 열을 발생시키게 되며 나노재료의 에너지 전달 특성은 종종 벌크(bulk) 재료와 다른 특성을 나타낸다. 따라서 나노스케일에서의 열현상 계측은 나노재료의 특성 및 나노소자의 동작 분석에 있어서 매우 중요하다. 이러한 중요성 때문에 마이크로 및 나노스케일에서의 열현상을 실험적으로 분석할 수 있는 도구인 주사탐침열현미경(SThM:Scanning Thermal Microscope)의 개발 및 이의 활용에 관한 연구가 활발히 진행되어왔다.

<3> 주사탐침열현미경은 마이크로 및 나노스케일에서의 온도 등의 열물성 분포를 현재 알려진 방법 중 가장 높은 해상도로 계측할 수 있는 도구이다. Shi 등은 전기적으로 가열된 다중벽 탄소나노튜브(Multi wall carbon nanotube) 주변의 온도를 계측함으로써 주사탐침열현미경의 공간적 해상도가 100nm 보다 높음을 실험적으로 입증하였다. 또한 Rho 등은 주사탐침열현미경의 열전탐침(thermoelectric probe) 을 시편과 접촉시키고 열전탐침 첨단의 나노 열전쌍(thermocouple junction)을 교류전류로 가열하면서 동시에 열전쌍의 온도 진폭을 계측함으로써 시편의 국소 열물성을 이미지화할 수 있음을 실험적으로 보였다.

<4> 그러나 지금까지 제작된 열전탐침들은 계측감도의 측면에서 최적의 디자인이라고 보기는 어렵고 개선되어야 할 부분이 많이 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

<5> 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 계측감도를 향상시킬 수 있도록 개선된 주사탐침열현미경의 열전탐침 및 그 제조방법을 제공함을 그 목적으로 한다.

과제 해결수단

<6> 상기한 과제를 해결하기 위해 본 발명은 캔틸레버 및 상기 캔틸레버로부터 돌출된 팁을 갖고, 실리콘 산화막으로 형성되는 열전탐침 모체와; 상기 열전탐침 모체 상에 형성되어 시편의 열물성을 계측하는 열전쌍을 포함하는 것을 특징으로 하는 주사탐침열현미경의 열전탐침을 제시한다.

<7> 상기 팁 높이는 10㎛이상인 것을 특징으로 하는 것이 바람직하다.

<8> 상기 팁과 연결되고, 상기 팁의 기저로부터 이격되어 상기 열전탐침에 조사되는 피드백 레이저를 반사하는 반사부를 갖는 반사판을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 것이 바람직하다.

<9> 또한 상기한 과제를 해결하기 위해 본 발명은 상술한 열전탐침을 제조하기 위한 방법으로서, 웨이퍼의 전면에 상기 열전탐침 모체의 팁의 모체를 형성하는 팁 모체 형성단계와; 상기 팁 모체가 형성된 웨이퍼의 전면에 실리콘 산화막을 성장시켜서 상기 열전탐침 모체를 형성하는 열전탐침 모체 형성단계와; 상기 열전탐침 모체를 형성하는 실리콘 산화막 상에 열전쌍을 형성하는 열전쌍 형성단계와; 상기 웨이퍼를 벌크 식각하는 웨이퍼 벌크식각단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 것이 바람직하다.

<10> 상기 팁 모체 형성단계는, 상기 웨이퍼의 전면에 팁 마스크를 형성하는 팁 마스크 형성과정과; 상기 웨이퍼의 전면을 등방성 습식 식각하여 1차적으로 상기 팁 모체를 형성하는 팁 모체 1차형성과정과; 산화 공정에 의해 산화 공정에 의해 1차적으로 형성된 상기 팁 모체를 예리하게 형성함과 아울러, 이에 의해 상기 팁 마스크가 제거되게 하는 팁 모체 2차형성과정과; 상기 팁 모체 2차형성과정에서 형성된 산화막을 제거하여 최종적으로 팁 모체를 완성하는 팁 모체 최종형성과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 것이 바람직하다.

<11> 상기 팁 마스크 형성과정은, 상기 웨이퍼의 표면에 실리콘 질화막을 성장시키는 실리콘 질화막 형성과정과; 상기 웨이퍼의 전면을 감광제에 의해 포토리소그래피 공정으로 패터닝하는 팁 마스크 패터닝과정과; 상기 실리콘 질화막을 비등방성 건식 식각하여 상기 팁 마스크를 완성하는 팁 마스크 완성과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 것이 바람직하다.

<12> 상기 팁 모체 2차형성과정은 1회 또는 2회 이상의 850℃ 내지 1050℃에서 건식 산화법에 의해 이루어지는 것을 특징으로 하는 것이 바람직하다.

<13> 상기 팁 모체 최종형성과정은 완충식각액(BOE:buffered oxide etchant)에 의한 습식 식각에 의해 이루어지는 것을 특징으로 하는 것이 바람직하다.

<14> 상기 팁 모체의 높이는 10㎛이상인 것을 특징으로 하는 것이 바람직하다.

<15> 상기 열전탐침 모체 형성단계는 1000℃ 내지 1200℃에서 습식 산화법에 의해 이루어지는 것을 특징으로 하는 것이 바람직하다.

<16> 상기 열전탐침 모체의 두께는 1.0㎛이상인 것을 특징으로 하는 것이 바람직하다.

<17> 상기 열전탐침 모체형성단계에서, 상기 웨이퍼의 배면에도 상기 실리콘 산화막을 성장시키는 것을 특징으로 하는 것이 바람직하다.

<18> 상기 열전쌍 형성단계는 제1열전기층을 형성하는 제1열전기층 형성과정과; 상기 제1열전기층 상에 절연층을 형성하는 절연층 형성과정과; 상기 절연층 상에 감광제를 도포하는 감광제 도포과정과; 상기 감광제와 상기 절연층을 CF_4 플라즈마로 동시에 건식 식각하여 상기 팁의 기저 측 제1열전기층을 노출시키는 제1열전기층 노출과정과; 상기 제1열전기층과 연결되도록 상기 절연층 상에 제2열전기층을 형성하는 제2열전기층 형성과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 것이 바람직하다.

<19> 상기 절연층 형성과정은 플라즈마 화학기상증착(PECVD) 방법에 의해 이루어지는 것을 특징으로 하는 것이 바람직하다.

<20> 상기 벌크식각단계는 상기 벌크식각단계는 상기 웨이퍼의 배면에 벌크식각용 마스크를 형성하고, 상기 웨이퍼 상에 형성된 열전탐침 전체를 열전탐침 보호막으로 보호하는 준비과정과; 상기 열전탐침이 형성된 웨이퍼를 수산화칼륨(KHO)용액에 의해 언더컷하여, 상기 열전탐침을 릴리즈시키는 1차벌크식각과정과; 상기 잔여 웨이퍼 및 벌크식각용 마스크, 상기 열전탐침 보호막을 테트라메틸 암모늄 수산화물(TMAH)용액으로 제거하여 상기 열전탐침을 형성하는 2차벌크식각과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 것이 바람직하다.

<21> 상기 벌크식각용 마스크는 상기 팁 모체 형성단계의 팁 마스크와 동시에 형성되는 것을 특징으로 하는 것이 바람직하다.

효 과

<22> 본 발명은 캔틸레버 및 팁을 실리콘 산화막으로 형성하여 열전도도를 낮춤으로써, 캔틸레버와 시편 간 열전달을

방지하여 계측감도를 향상시킬 수 있는 이점을 가질 수 있다.

<23> 또한 본 발명은 팁 높이를 높임으로써 공기를 통한 캔틸레버와 시편 간 열전달을 방지하여 계측감도를 향상시킬 수 있는 이점을 가질 수 있다.

<24> 또한 본 발명은 열전쌍의 제조방법을 개선함으로써 열전쌍의 수율을 높을 수 있고, 높은 계측감도를 위해 열전쌍의 두께를 감소시킬 수 있는 이점을 가질 수 있다.

<25> 또한 본 발명은 반사판을 팁과 직접 연결하여 표면 계측감도를 향상시킴과 아울러, 피드백 레이저를 반사하는 반사판의 반사부를 팁의 기저와 일정 거리 이상 떨어뜨림으로써 피드백 레이저의 영향을 최소화할 수 있는 이점을 가질 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<26> 이하, 첨부도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 관하여 상세히 설명한다.

<27> 본 발명에 따른 주사탐침열현미경의 열전탐침(10)은, 캔틸레버(22) 및 캔틸레버(22)로부터 돌출된 팁(24)을 갖는 열전탐침 모체(20)와, 열전탐침 모체(20) 상에 형성되어 시편(2)의 열물성을 계측하는 열전쌍(30)을 포함하여 구성된다.

<28> 또한 열전탐침(10)은 열전탐침(10)에 조사되는 피드백 레이저(R)를 반사하는 반사부(42)를 갖는 반사판(40)을 더 포함하여 구성될 수 있다.

<29> 특히 후술한 열적설계를 고려하여, 열전탐침 모체(20)는 열전도도가 낮은 실리콘 산화막(SiO2:Silicon dioxide)으로 형성되는 것이 바람직하다. 팁 높이(24T)는 10㎛이상인 것이 바람직하다.

<30> 반사판(40)은 팁(24)과 연결되고, 반사부(42)가 팁(24), 보다 정확하게는 팁(24)의 기저(tip base)로부터 일정 거리(40L)이상 이격되도록 형성되는 것이 바람직하다.

<31> 본 발명의 열전탐침(10)의 열적설계에 관하여 설명하면 다음과 같다.

<32> 첫째, 시편(2)의 열물성 계측시 열전탐침(10)과 시편(2) 사이의 열전달 경로를 도 2를 참조하여 설명하면 다음과 같다.

<33> 시편(2)의 계측하는 국부 온도 및 열물성은 도 2의 화살표 A, B로 도시된 바와 같이 열전탐침(10)의 첨단(10A)과 시편(2) 또는 시편(2) 상 샘플(2A) 사이의 고체 접촉 및 액막을 통해서뿐만 아니라, 도 2의 화살표 C로 도시된 바와 같이 열전탐침(10)과 시편(2) 또는 샘플(2A) 사이의 공기를 통해서도 상당한 열이 전달될 수 있다. 따라서 높은 계측감도를 갖기 위해서는 공기와 캔틸레버(22)를 통한 열전달을 줄이는 것은 매우 중요한 문제이다.

<34> 열전탐침(10)에서의 정상상태 1 차원 열전도 방정식은 다음의 수학식 1과 같다.

수학식 1

<35>
$$\frac{d}{dy}\left[\sum\left(A_i(y)k_i(y)\right)\frac{dT(y)}{dy}\right] - p(y)h_a(y)\tan\theta(T(y)-T_{sub}) = 0$$

<36> 여기서, *Tsub* 는 시편(2)(substrate)의 온도, Θ 는 원추형 열전탐침(10)의 각도, *Ai* 와 *ki* 는 각각 열전탐침(10)을 구성하는 물질의 단면적과 열전도도를 나타낸다. *p* 는 단면을 둘러싼 길이를 의미하며, *y* 는 열전탐침(10) 첨단(10A)으로부터의 거리이다. *ha* 는 공기에 의한 열전탐침(10)과 시편(2) 사이의 열전달계수(air conduction coefficient)로서 열전탐침(10)과 시편(2) 표면 사이의 거리에 따라 다른 물리적 특성을 가진다. 따라서 거리에 따라 달리 표현되게 된다. 공기의 평균자유이동경로(mean free path)를 λ 라고 할 때 열전탐침(10)과 시편(2) 표면의 거리가 충분히 큰 경우, 즉 $y/\lambda > 100$ 인 경우에는 공기에서의 온도 구배가일정하게 유지된다고 가정한다. 이 때의 *ha* 는 다음의 수학식 2와 같다.

수학식 2

$$h_a = \alpha k_a / y$$

<37>

<38> 여기서 α는 형상계수*(geometry factor)*로써 열전탐침(10)과 시편(2)의 표면이 평행한 두 평면이 아니라 기울어져 있는 형상이므로 이를 보정해주기 위해 사용되며 실험적으로 결정된다. *1 < y/λ < 100* 인 경우 분자간의 충돌빈도가 줄어들게 되어 고체 표면과 공기 사이의 온도가 불연속을 이루게 되므로, *ha* 는 다음의 수학식 3과 같다.

수학식 3

$$h_a = \frac{\alpha k_a / y}{1 + 2 f \lambda / y}; \; f = \frac{2(2-A)\gamma}{A(\gamma+1)\,\mathrm{Pr}}$$

<39>

<40> *A* 는 열조절 계수(thermal accommodationcoefficient)로 공기의 경우 0.9이며 *Pr* 은 *Prandtl*수, γ **는 공기의 열 용량비*(ratio of air heat capacity)*이다. *y/λ* < 1 **경우에** *ha* **는 다음의 수학식 4와 같다.**

수학식 4

$$h_a = \frac{\alpha k_a'}{y(1+2f)}; \; k_a' = CVy/3$$

<41>

<42> 이때 C 와 V 는 각각 공기의 단위 체적당 비열(volumetric specific heat)과 분자의 평균 운동 속도를 나타낸다. 실리콘 몸체인 탐침 바디(12)와 접하는 캔틸레버(22) 끝단(cantilever mount)의 온도는 탐침 바디(12)와 동일하게 대기 온도로 가정하였다. 따라서 본 방정식의 경계조건은 다음의 수학식 5와 같다.

수학식 5

$$A_i(0)k_i(0)\frac{dT(0)}{dy} = Q_{ts} = G_{ts}(T(0) - T_s),$$
$$T(L) = 0$$

<43>

<44> 여기서 *Qts* 는 열전탐침(10)의 첨단(10A)-시편(2)의 접촉점을 통한 열유속을 의미하며, *Gts* 는 열전탐침(10)의 첨단(10A)-시편(2)의 전도력(conductance)을 의미한다.

<45> 둘째, 열전탐침(10)의 팁 높이(24T)와 캔틸레버(22) 및 팁(24)의 재질과 관련된 열적설계를 설명하면 다음과 같다.

<46> 온도 계측감도를 향상시키고 공기를 통한 샘플(2A)과 열전탐침(10) 사이의 열전달을 줄이기 위해서 도 3과 같은 열전달 모델을 사용하였다. 샘플(2A)에서 발생하는 열량은 시편(2)으로 전달되지 않고 모두 열전탐침(10)의 첨단(10A)으로 전달되며 시편(2)과 캔틸레버(22) 끝단의 온도는 상온과 동일하다고 가정하였다.

<47> 팁 높이(24T)는 열전탐침(10)에서 계측되는 온도를 변화시킬 수 있는 중요한 요인이다. 팁 높이(24T)가 상승함에 따라 샘플(2A)과 열전탐침(10) 사이의 공기를 통한 열전달이 감소하기 때문에 열전탐침(10)의 첨단(10A)에 위치한 열전쌍(30)에서의 계측 온도는 증가하게 된다. 열전탐침(10) 첨단(10A)의 무차원 온도는 다음의 수학식 6과 같이 정의된다.

수학식 6

$$\phi_j = \frac{T_j - T_\infty}{T_s - T_\infty}$$

<48>

<49> 여기서, Tj 는 열전쌍(30)의 평균 온도이다.

<50> 도 4는 팁 높이(24T)에 따른 열전탐침(10) 첨단(10A)에서의 무차원 온도로서, 도 4의 A는 실리콘 산화막 팁과 캔틸레버를 갖는 본 발명에 따른 열전탐침이고, 도 4의 B는 실리콘 산화막 팁과 실리콘 질화막 캔틸레버를 갖는 비교대상 열전탐침이다. 도 4를 참조하면 본 발명에 따른 열전탐침과 비교대상 열전탐침의 경우, 팁 높이(24T)가 20㎛ 이상 증가하면 온도 계측감도는 더 이상 향상되지 않음을 알 수 있다. 그 이유는 시편(2)과 캔틸레버(22) 사이의 거리가 20㎛ 이상 증가하면 공기열전도에 의해 손실되는 열이 일정하게 수렴하기 때문이다. 따라서, 팁 높이(24T)가 증가할수록 공기열전도에 의한 열전달이 감소하여 열전쌍(30)에서 계측되는 온도신호는 향상된다.

<51> 그리고, 캔틸레버(22)가 샘플(2A)로부터 떨어진 거리 y 에 따른 열전탐침(10) 내부의 온도 프로파일(profile)을 얻기 위해 상기의 수학식 1을 전개하였다. 거리 y 에 따른 무차원 온도는 수학식 7과 같이 정의된다.

수학식 7

<52>
$$\phi(y) = \frac{T(y) - T_{\infty}}{T_s - T_{\infty}}$$

<53> 도 5는 각기 다른 팁 높이(24T)와 재질을 지닌 열전탐침(10) 내부의 온도 프로파일을 보여주는 것으로서, 도 5의 A는 8㎛ 높이의 실리콘 산화막 팁과 실리콘 질화막 캔틸레버를 가진 열전탐침이고, 도 5의 B는 8㎛ 높이의 실리콘 산화막 팁과 실리콘 산화막 캔틸레버를 가진 열전탐침이고, 도 5의 C는 12㎛ 높이의 실리콘 산화막 팁과 실리콘 산화막 캔틸레버를 가진 열전탐침이다. 참고로 실리콘 산화막의 열전도도는 실리콘 질화막에 비해 10배 정도 작다.

<54> 도 5를 참조하면, 시편과 캔틸레버 사이 거리가 '0'인 열전탐침의 첨단에서 계측되는 무차원 온도는 도 5의 A의 경우 약 0.08이고, 도 5의 B의 경우 약 0.11이고, 도 5의 C의 경우 약 0.12이다. 이는 도 5의 C의 경우 온도계측감도가 도 5의 A 경우 온도계측감도보다 1.5 배 정도 향상됨을 보여준다.

<55> 따라서, 높은 계측감도를 갖기 위해서는 시편(2)과 캔틸레버(22) 사이 거리가 최대한 멀어질 수 있도록 팁 높이(24T)를 증가시키고, 실리콘 산화막과 같이 열전도도가 낮은 재료를 사용하는 것이 바람직하다.

<56> 셋째, 피드백 레이저(R)의 영향과 관련된 열적설계를 설명하면 다음과 같다.

<57> 피드백 레이저(R)는 반사판(40)(reflector)을 가열하여 열전탐침(10)의 첨단(10A)으로 전달되며 동시에 샘플(2A)(sample)도 가열하게 되는데, 이런 요인들은 열전탐침(10)의 온도계측감도를 크게 떨어뜨린다.

<58> 따라서 피드백 레이저(R)에 의한 샘플(2A)의 가열을 최소화하기 위하여 반사판(40)의 반사부(42)와 팁(24)의 기저를 일정 거리(40L) 이상 떨어지게 설계하는 것이 바람직하다. 이는 도 6을 참조하면 보다 명확히 알 수 있다. 도 6은 팁(24)의 기저와 반사판(40), 보다 정확하게는 반사부(42)와의 거리(40L)에 따른 팁(24)에서의 온도 상승을 보여주는 것이다. 도 6의 A는 실리콘 산화막 캔틸레버를 갖는 열전탐침이고, 도 6의 B는 실리콘 질화막 캔티레버를 갖는 열전탐침이다.

<59> 그리고, 높은 표면계측감도를 위해 팁(24)과 반사판(40)을 바로 연결하여 캔틸레버(22)의 휨(deflection)이 반사판(40)까지 손실 없이 전달될 수 있게 설계하는 것이 바람직하다. 또한 캔틸레버(22)를 열전도도가 낮은 재질로 제작함으로써 피드백 레이저(R)에 의한 온도 교란(temperature disturbance)의 정도를 최소화하는 것이 바람직하다.

<60> 상술한 바와 같은 본 발명에 따른 열전탐침(10)은 다음과 같은 제조방법에 의해 제조되는 것이 바람직하다.

<61> 즉, 본 발명에 따른 열전탐침(10)의 제조방법은 실리콘 재질 등의 웨이퍼(50)의 전면에 열전탐침 모체(20)의 팁(24)의 모체(52)를 형성하는 팁 모체 형성단계(도 7a 내지 도 7e참조)와; 팁 모체(52)가 형성된 웨이퍼(50)의 전면에 실리콘 산화막을 성장시켜서 열전탐침 모체(20)를 형성하는 열전탐침 모체 형성단계(도 7g참조)와; 열전탐침 모체(20)를 형성하는 실리콘 산화막 상에 열전쌍(30)을 형성하는 열전쌍 형성단계(도 7h 내지 도 7j참조)와; 웨이퍼(50)를 벌크 식각하는 웨이퍼 벌크 식각단계(도 7k 내지 도 7l참조)를 포함할 수 있다.

<62> 팁 모체 형성단계는, 웨이퍼(50)의 전면에 팁 마스크(60)를 형성하는 팁 마스크 형성과정(도 7a 및 도 7c참조)과, 팁 마스크(60)가 떨어지기 전까지 웨이퍼(50)의 전면을 등방성 습식 식각하여 1차적으로 팁 모체(52)를 형성하는 팁 모체 1차형성과정(도 7d참조)과, 산화 공정에 의해 1차적으로 형성된 팁 모체(52)를 예리하게 형성함

과 아울러 이에 의해 팁 마스크(60)가 제거되게 하는 팁 모체 2차형성과정(도 8참조)과, 팁 모체 2차형성과정에서 형성된 산화막을 제거하여 최종적으로 팁 모체(52)를 완성하는 팁 모체 최종형성과정(도 7e 및 도 8 참조)을 포함하여 구성되는 것이 바람직하다.

<63> 이때, 팁 마스크(60)는 팁 모체 1차형성과정에서 웨이퍼(50)의 팁(24) 형성부분을 보호하기 위한 것으로서 실리콘 질화막(SN)에 의해 형성될 수 있다. 즉 팁 마스크 형성과정은 웨이퍼(50)의 표면에 실리콘 질화막(SN)을 형성하는 실리콘 질화막 형성과정(도 7a참조)과, 웨이퍼(50)의 전면을 감광제에 의해 포토리소그래피 공정으로 패터닝(pattening)하는 팁 마스크 패터닝과정과, 실리콘 질화막(SN)을 비등방성 건식 식각하여 팁 마스크(60)를 완성하는 팁 마스크 완성과정(도 7c참조)을 포함하여 구성될 수 있다.

<64> 팁 모체 1차형성과정에서, 습식 식각용액으로 여러 가지가 사용될 수 있지만, 무엇보다 50:1로 혼합된 질산과 불산의 혼합용액이 바람직하다.

<65> 그리고, 팁 모체 1차형성과정은 팁 높이(24T)가 10㎛이상이 될 수 있도록 실시되는 것이 바람직하다. 이때 팁 높이(24T)를 높게 형성할수록 좋지만 제작 공정상 팁 높이(24T)가 대략 12㎛가 될 수 있도록 형성되는 것이 바람직하다.

<66> 이와 같은 팁 모체 1차형성과정에서, 1차적으로 형성된 팁 모체(52)는 동일한 웨이퍼(50) 상에서 복수 개가 동시에 만들어지지만 부분적으로 제작완료시간은 다소 차이가 있을 수 있다. 그리고, 팁 모체 1차형성과정에서는 팁 마스크(60)가 먼저 떨어져 팁 모체(52)가 습식 식각용액에 노출되어 팁(24)의 첨단이 무뎌질 수 있는데, 저식각율 결정면(slow-etching crystal planes)이 노출된 상태이기 때문에 충분히 팁 모체(52)의 높이를 대략 12㎛로 형성할 수 있다.

<67> 팁 모체 2차형성과정은, 1차적으로 형성된 팁 모체(52)를 좀 더 뾰족하게 하고 동시에 팁(24)의 첨단의 균일성(uniformity)를 확보하기 위한 것으로서, 1회 또는 2회 이상 비교적 낮은 온도인 850℃ 내지 1050℃에서 건식 산화법으로 산화막(52')을 성장시키는 것이 바람직하다. 이때, 팁 모체의 2차형성과정의 제조온도를 대략 950℃로 하고, 2회에 걸쳐 실시하여, 산화막(52')을 대략 350 ㎚ 성장시키는 것이 바람직하다.

<68> 팁 모체 최종형성과정은 팁 모체 2차형성과정에서 성장된 산화막(52')을 완전히 제거하기 위한 것으로서, 완충식각액(BOE:buffered oxide etchant)에 의한 습식 식각에 의해 이루어지는 것이 보다 바람직하다. 이는 팁(24)의 첨단에서의 내부응력을 유지시켜 국부적으로 산화막 성장 속도(oxidation rate)를 팁(24)의 첨단에서 줄이는 효과를 만든다.

<69> 이와 같이 팁 모체(52)가 팁 모체 2차형성과정과 팁 모체 최종형성과정에 의해 첨단화됨으로써, 2~4개의 멀티 마이크로 팁이 형성되는 문제점이 방지될 수 있고 팁(24)의 뾰족함과 균일성을 확보할 수 있다.

<70> 한편, 팁 모체 형성단계 후, 열전탐침 모체 형성단계 전에는 도 7f에 도시된 바와 같이 웨이퍼(50)의 전면에 홈(groove)(50')이 형성될 수 있다.

<71> 열전탐침 모체 형성단계에서는 무엇보다 중요한 요소는 실리콘 산화막 성장 온도이다. 실리콘이 산화되는 동안 실리콘 산화막의 부피 팽창이 발생하기 때문에 실리콘 산화막이 성장되기 전의 팁(24)과 비교하여 실리콘 산화막 형성 후의 팁(24)의 형상은 상당히 다르다. 그러나 충분히 높은 종횡비(aspect ratio)을 가지는 형상의 경우 1000℃ 내지 1200℃, 보다 바람직하게는 1100℃정도의 온도에서 실리콘 산화막이 성장하게 되면 산화되기 전의 형상과 거의 동일한 형태의 팁(24)을 얻을 수 있다. 이때 실리콘 산화막(54)의 두께는 1.0㎛이상, 보다 바람직하게는 대략 1.4㎛이 바람직하다. 이와 같이 형성되는 열전탐침(10)은 충분한 해상도를 가짐은 물론이다.

<72> 한편, 열전탐침 모체 형성단계에서는 웨이퍼(50)의 배면에도 실리콘 산화막(54')을 성장시키는 것이 바람직하다.

<73> 열전쌍 형성단계는 다음과 같이 실시되는 것이 바람직하다.

<74> 즉, 열전쌍 형성단계는 금 등의 제1열전기층(32)을 형성하는 제1열전기층 형성과정(도 7h참조)과, 제1열전기층(32) 상에 실리콘 질화막 등의 절연층(34)을 형성하는 절연층 형성과정(도 7i참조)과, 절연층(34) 상에 감광제를 도포하는 감광제 도포과정과, 감광제와 절연층(34)을 CF_4 플라즈마로 동시에 건식 식각하여 팁(24)의 첨단 측 제1열전기층(32)을 노출시키는 제1열전기층 노출과정(도 7i참조)과, 제1열전기층(32)과 연결되도록 절연층(34) 상에 크롬 등의 제2열전기층(36)을 형성하는 제2열전기층 형성과정(도 7j참조)을 포함하여 구성될 수 있다.

<75> 제1열전기층 형성과정은, 대략 100㎚ 두께의 제1열전기층(32)을 스퍼터링(sputtering)하고 패터닝(petterning)

함으로써 실시될 수 있다.

<76> 절연층 형성과정은, 전기 절연을 위한 것으로서, 플라즈마 화학기상증착(PECVD:Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 방법을 이용하여 제1열전기층(32) 상에 대략 100nm 두께의 절연층(34)을 성층한 후, 적당한 점성의 감광제를 특정한 회전 속도로 회전하여 팁(24)의 첨단까지 모두 도포한다.

<77> 제1열전기층 노출과정에서, 식각되는 영역의 높이는 감광제의 점성과 회전 도포의 속도뿐만 아니라 건식식각(RIE) 시간에 좌우된다. 따라서, 필요한 경우 식각된 영역의 높를 AFM으로 스캔하여 높이를 검증하면서 공정을 진행하면 바람직하다. 이때 노출된 영역의 크기를 명확하게 파악하기 위해서는 절연층(34)의 식각비보다 느린 감광제를 선택하는 것이 바람직하다. 즉 본 실시 예와 같이 절연층(34)이 실리콘 질화막으로 형성되는 경우, 감광제로는 AZ4620을 선택하는 것이 바람직하다.

<78> 제2열전기층 형성과정은, 대략 100nm 두께의 제2열전기층(36)을 스퍼터링(sputtering)함으로써 실시될 수 있다.

<79> 이와 같은 제조방법에 의한 열전쌍(30)은 그 높이가 20nm 에서 900nm까지 다양하게 형성할 수 있으며, 50%정도의 수율을 가지고 10~300nm의 범위에서 조절할 수 있다.

<80> 벌크식각단계는 실리콘 산화막으로 형성된 열전탐침 모체(20)를 보호하는 것이 무엇보다 중요하다.

<81> 일반적으로 가장 널리 사용되는 수산화칼륨(KOH)용액은 우수한 선택비와 식각 균일성을 가지고 있음에도 불구하고 실리콘 산화막을 비교적 쉽게 공격한다. 테트라메틸 암모늄 수산화물(TMAH)용액은 실리콘 산화막을 거의 식각하지 않지만, 테트라메틸 암모늄 수산화물(TMAH)용액의 특성상 국부적인 식각 속도 차이가 심해 대부분의 캔틸레버(22)가 기계적인 응력에 의해 부서지기 쉽다.

<82> 따라서, 벌크식각단계는 다음과 같이 실시되는 것이 바람직하다.

<83> 벌크식각단계는 웨이퍼(50)의 배면에 벌크식각용 마스크(62)를 형성하고(도 7a 및 도 7b참조), 웨이퍼(50) 상에 형성된 열전탐침(10) 전체를 열전탐침 보호막(80)으로 보호하는(도 7k참조) 준비과정과; 열전탐침(10)이 형성된 웨이퍼(50)를 수산화칼륨(KHO)용액에 의해 언더컷(undercutting)하여 열전탐침(10)을 릴리즈(lease)시키는 1차 벌크식각과정(도 71참조)과, 잔여 웨이퍼(50) 및 벌크식각용 마스크(62), 열전탐침 보호막(80)을 테트라메틸 암모늄 수산화물(TMAH)용액으로 제거하는 2차벌크식각과정(도 71참조)을 포함하여 구성된다.

<84> 이후, 팁(24)에 반사판(40)을 연결하면 본 발명에 따른 열전탐침(10)이 형성될 수 있다.

<85> 이와 같이 벌크식각단계가 실시되면, 본 발명에 따른 열전탐침(10)의 수율이 매우 높다.

<86> 이때, 벌크식각용 마스크(62)는 팁 마스크(60)와 동일한 방법으로 팁 마스크(60)와 함께 형성되는 것이 바람직하다. 이때 벌크식각용 마스크(62)는 웨이퍼(50)의 가장자리 부분이 식각 용액에 쉽게 침범당하기 때문에 웨이퍼(50)의 가장자리에서 일정 거리(예를 들어, 14mm)이상 떨어진 웨이퍼(50)의 안쪽 영역만 형성되는 것이 바람직하다.

<87> 열전탐침 보호막(80)은 실리콘 질화막으로 형성되는 것이 바람직하다.

<88> 한편, 벌크식각단계는 본 실시 예와 같이 웨이퍼(50)의 배면에 실리콘 산화막(54')이 형성된 경우, 준비과정과 1차벌크식각과정 사이에 완충식각액(BOE) 등에 의해 웨이퍼(50)의 배면에 형성된 실리콘 산화막(54')을 제거하는 과정이 더 포함될 수 있다.

<89> 이와 같이 형성된 열전탐침(10)의 성능 및 특성을 실험한 과정 및 결과를 설명하면, 다음과 같다.

<90> 첫째, 본 발명의 열전탐침(10)은, 팁 마스크(60)를 비등방성 식각 방법에 의해 형성한 후 실리콘 산화막으로 열전탐침 모체(20)를 형성함으로써, 필요한 만큼 높은 팁(24)을 제작할 수 있고 웨이퍼(50)가 휘어질 염려가 없다.

<91> 반면, 실리콘 질화막으로 형성된 비교 열전탐침(10)은, 저압화학기상증착(LPCVD:Low pressure Chemical Vapor Deposition)로 적층된 저온산화막(LTO:Low Temperature Oxide)를 습식 식각하는 공정으로 형성됨으로써, 팁 높이(24T)를 8㎛ 이상 제작하기 어렵다.

<92> 첫째, 본 발명의 열전탐침(10)의 우수성을 검증하기 위해서 비교 열전탐침과 비교하였다. 시편(2)은 파이렉스 글라스(pyrex glass) 위에 두께 200nm, 폭 7㎛의 금선(여기서, 금선은 금으로 형성된 제1열전기층(32)이다.)을 사용하였고 줄열에 의해 가열된 금속선의 온도는 열저항계수(TCR:Temperature coefficient resistance)를 측정

하여 정확하게 계산되어졌다. 도 9는 전기적으로 가열된 금선 주변의 온도분포를 보여주고 있다. 샘플(2A)에 의해 가열되어 상승하는 시편(2)의 온도 분포는 측정된 범위 가장자리에서 무차원 온도가 0.7까지 감소된다. 그러나 비교 열전탐침(도 9의 B)의 경우, 측정된 범위 가장자리에서 무차원 온도가 약 0.98까지 상승된 값이 계측된다. 이는 가열된 금선 주변에서 공기를 통한 열전달과 피드백 레이저(R)에 의한 영향을 크게 받는다는 것을 알 수 있다. 반면 본 발명의 열전탐침(도 9의 A)의 경우, 무차원 온도가 약 0.94로 계측되며 이는 공기를 통한 열전달과 피드백 레이저(R)에 의한 영향이 줄어들어 계측 감도가 향상되었음을 보여준다.

<93> 둘째, 도 10은 실리콘으로 제작된 깊이 200 nm, 피치(pitch) 10㎛의 시편(2)을 본 발명의 열전탐침(도 10의 A)과 비교 열전탐침(도 10의 B)으로 스캔하여 온도를 측정한 결과이다. 만약 열전탐침(10)이 이미 다른 외부요인에 의해 가열되어 있다면, 열전탐침(10)의 팁(24)이 샘플(2A)과 접촉하고 있거나 샘플(2A)에 접근할 때 가열된 열전탐침(10)과 샘플(2A) 사이에서 열전달이 발생하여 열전탐침(10)의 온도를 떨어뜨리는 효과를 일으키고 측정되는 온도 프로파일(thermoelectric voltage profile)이 샘플(2A)의 형상(topography)과 유사하게 나타날 것이다.

<94> 비교 열전탐침(도 10의 B)의 경우 샘플(2A)을 통한 열전달이 발생하여 샘플(2A)의 형상 유사한 온도 프로파일이 계측되었고 도 9과 도 10에서 보이는 것처럼 접촉면적이 작은 영역에서 온도 신호가 갑자기 상승하는 볼 수 있다. 이는 비교 열전탐침(도 10의 B)의 경우 피드백 레이저(R)에 이미 가열되어진 상태라는 것을 알 수 있다. 반면 본 발명의 열전탐침(도 10의 A)의 경우 노이즈라고 판단되는 신호를 제외하고는 온도 진폭이 없고, 도 9에서 보이는 것처럼 접촉 면적이 작은 영역에서는 금선에서 열전탐침(10)으로의 접촉 열전달량이 줄어들어 비교 열전탐침(도 10의 B)과는 반대로 온도 신호가 떨어지는 것을 볼 수 있다.

<95> 즉, 본 발명의 열전탐침(도 10의 A)의 경우, 열전탐침(10)과 샘플(2A)을 동시에 가열하여 열전탐침(10)의 계측감도를 떨어뜨리는 피드백 레이저(R)의 영향이 완전히 제거될 수 있음을 알 수 있다.

<96> 따라서, 본 발명의 열전탐침(10)은 열전탐침 모체(20)가 실리콘 산화막에 의해 형성됨으로써 높은 계측감도를 가질 수 있고, 실리콘 산화막이 압축응력(compressive stress)을 가지고 있지만 용이하게 제조될 수 있을 뿐만 아니라, 열전탐침(10)의 평균 수율이 95%이상이고 10~100nm 의 높이 범위에서 열전쌍(30)의 수율은 50% 정도로 수율이 매우 높다.

<97> 또한 공기와 캔틸레버(22)를 통한 열전달이 감소하였으며 피드백 레이저(R)에 의한 열전탐침(10)과 샘플(2A) 가열을 거의 제거할 수 있다.

<98> 이상은 본 발명에 의해 구현될 수 있는 바람직한 실시예의 일부에 관하여 설명한 것에 불과하므로, 주지된 바와 같이 본 발명의 범위는 위의 실시예에 한정되어 해석되어서는 안 될 것이며, 위에서 설명된 본 발명의 기술적 사상과 그 근본을 함께 하는 기술적 사상은 모두 본 발명의 범위에 포함된다고 할 것이다.

도면의 간단한 설명

<99> 도 1은 본 발명에 따른 열전탐침의 단면도이다.

<100> 도 2는 본 발명에 따른 열전탐침의 계측 모식도이다.

<101> 도 3은 본 발명에 따른 열전탐침의 열전달 매체를 보여주는 모식도이다.

<102> 도 4는 팁 높이에 따른 열전탐침의 첨단에서의 무차원 온도를 보여주는 그래프이다.

<103> 도 5는 팁 높이와 재질에 따른 열전탐침 내부의 온도 프로파일을 보여주는 그래프이다.

<104> 도 6은 반사판과 팁 사이의 거리에 따른 열전탐침의 온도 프로파일을 보여주는 그래프이다.

<105> 도 7a 내지 도 7l은 본 발명에 따른 열전탐침의 제조공정을 보여주는 도면이다.

<106> 도 8은 본 발명에 따른 열전탐침의 제조공정 중, 팁 첨단화과정을 보여주는 도면이다.

<107> 도 9는 전기적으로 가열된 금선 주변의 온도 분포를 보여주는 그래프이다.

<108> 도 10은 시편의 온도분포를 보여주는 그래프이다.

<109> <도면의 주요 부분에 관한 부호의 설명>

<110> 2; 시편 2A; 샘플

<111> 10; 열전탐침 20; 열전탐침 모체

<112> 22; 캔틸레버 24; 팁

<113> 30; 열전쌍 32; 제1열전기층

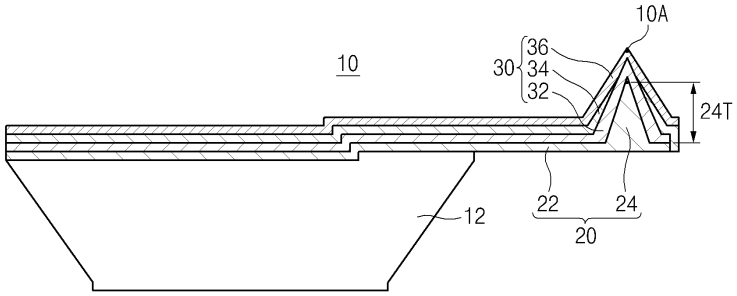
<114> 34; 절연층 36; 제2열전기층

<115> 50; 웨이퍼 60; 팁 마스크

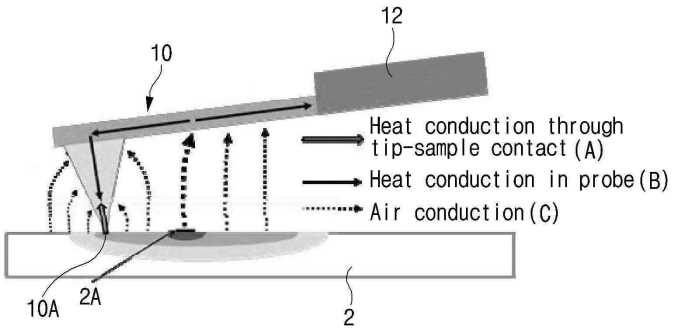
<116> 62; 벌크식각용 마스크

도면

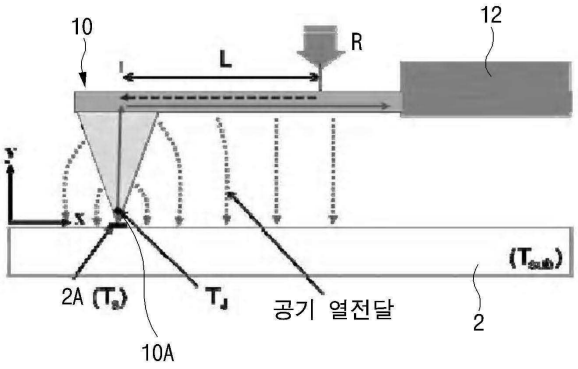
도면1



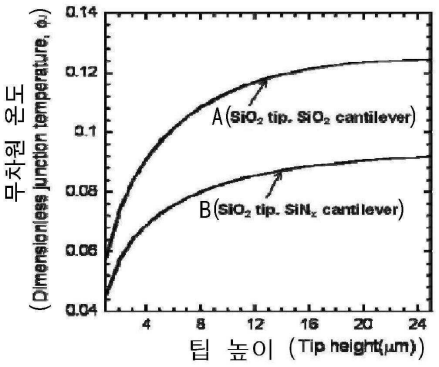
도면2



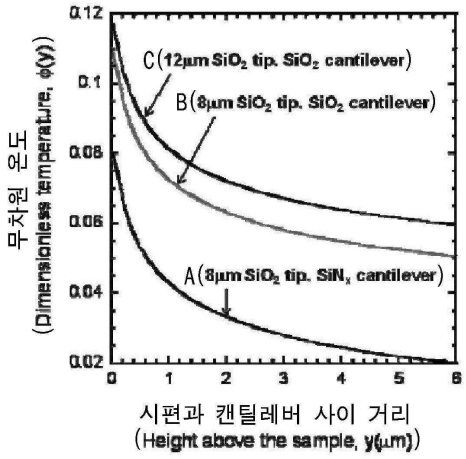
도면3



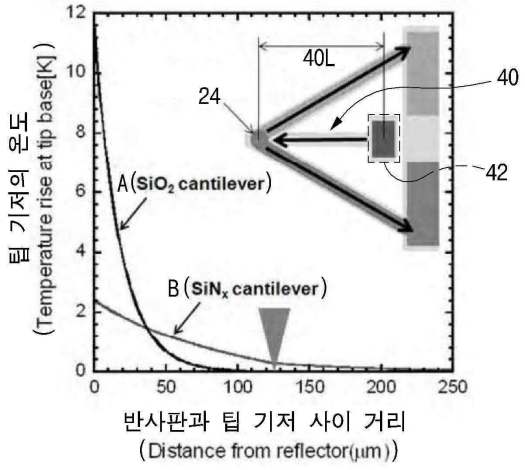
도면4


무차원 온도
(Dimensionless junction temperature, ϕ)
0.14
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
A(SiO2 tip. SiO2 cantilever)
B(SiO2 tip. SiNx cantilever)
4
8
12
16
20
24
팁 높이 (Tip height(μm))

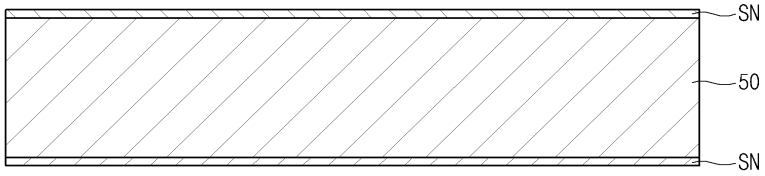
도면5


무차원 온도
(Dimensionless temperature, ϕ(y))
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
C(12μm SiO2 tip. SiO2 cantilever)
B(8μm SiO2 tip. SiO2 cantilever)
A(8μm SiO2 tip. SiNx cantilever)
0
1
2
3
4
5
6
시편과 캔틸레버 사이 거리
(Height above the sample, y(μm))

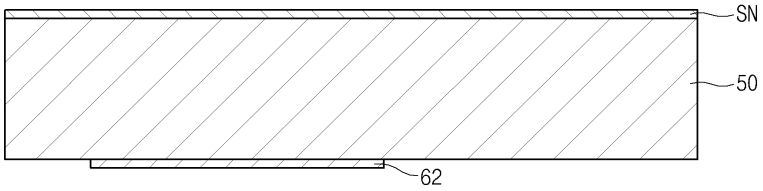
도면6


팁 기저의 온도
(Temperature rise at tip base[K])
12
10
8
6
4
2
0
40L
24
40
42
A(SiO2 cantilever)
B(SiNx cantilever)
0
50
100
150
200
250
반사판과 팁 기저 사이 거리
(Distance from reflector(μm))

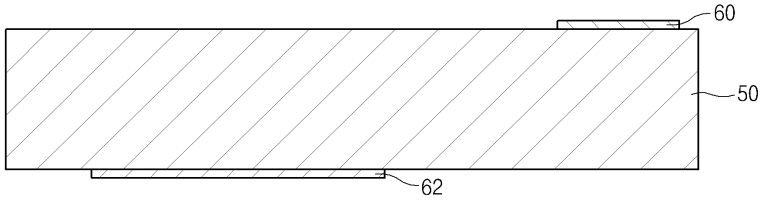
도면7a



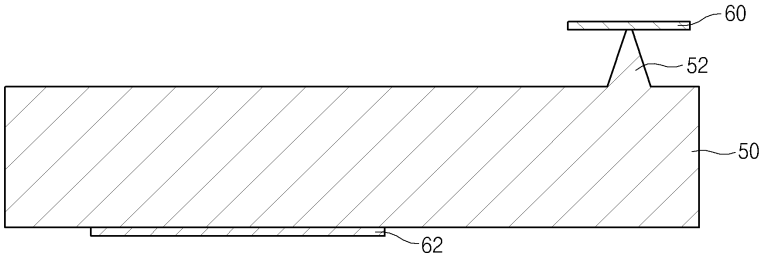
도면7b



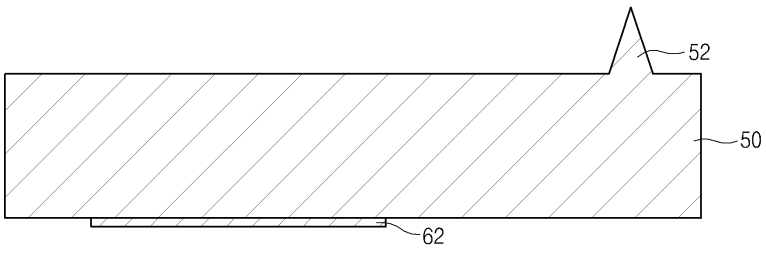
도면7c



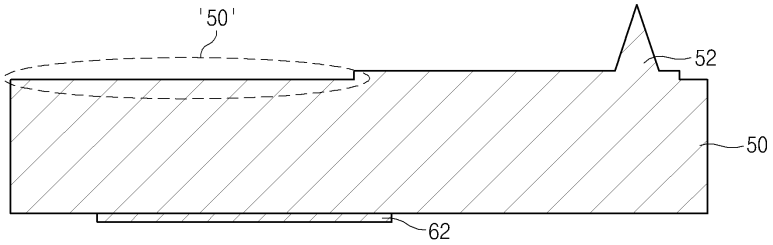
도면7d



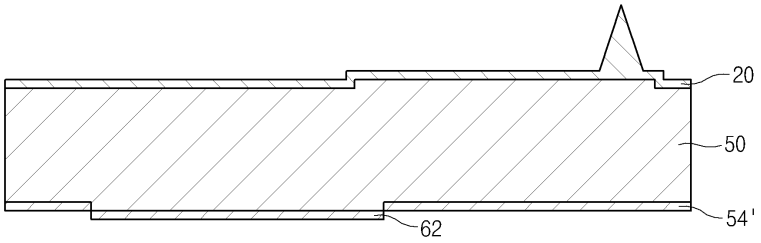
도면7e



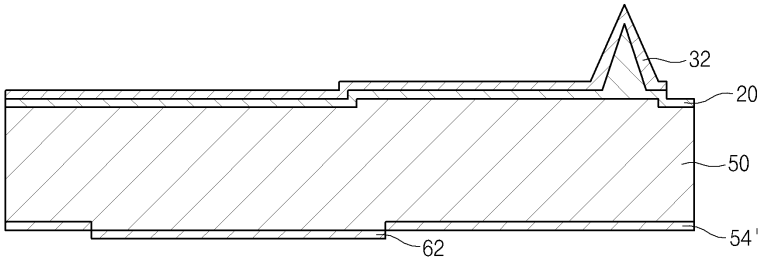
도면7f



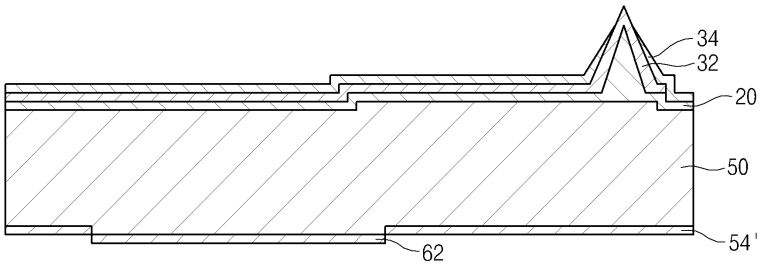
도면7g



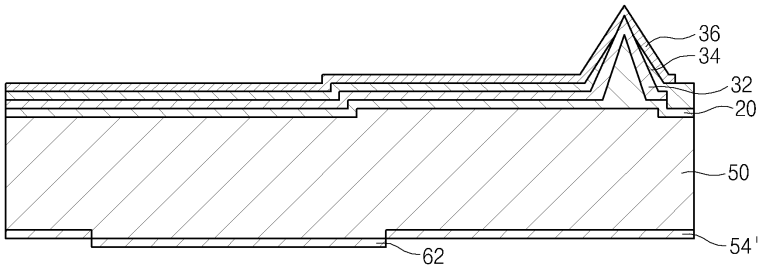
도면7h



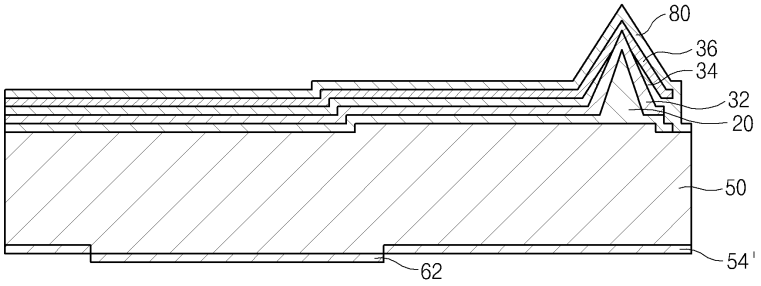
도면7i



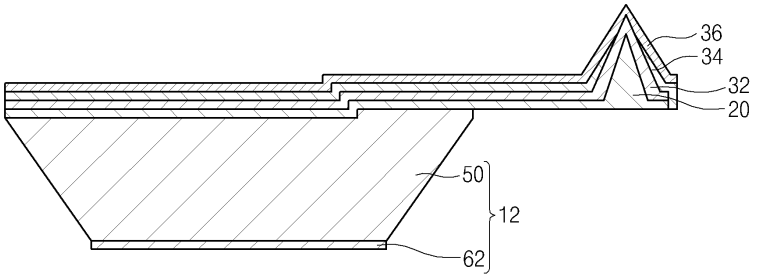
도면7j



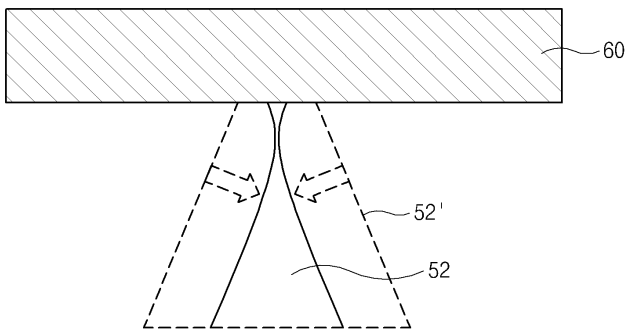
도면7k



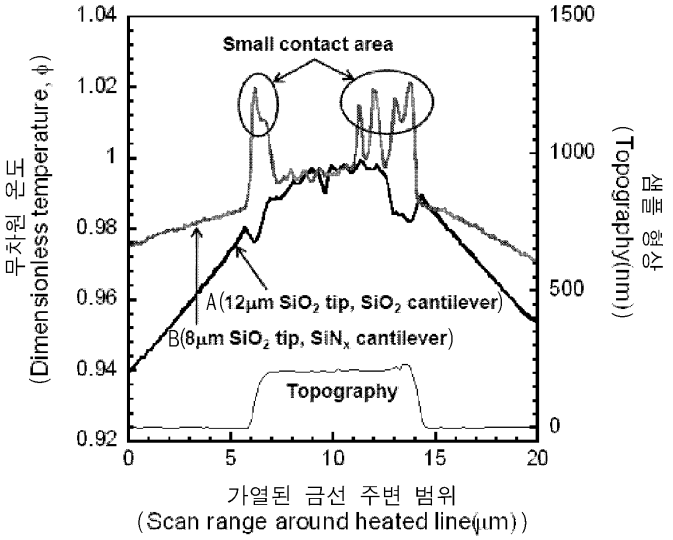
도면7l



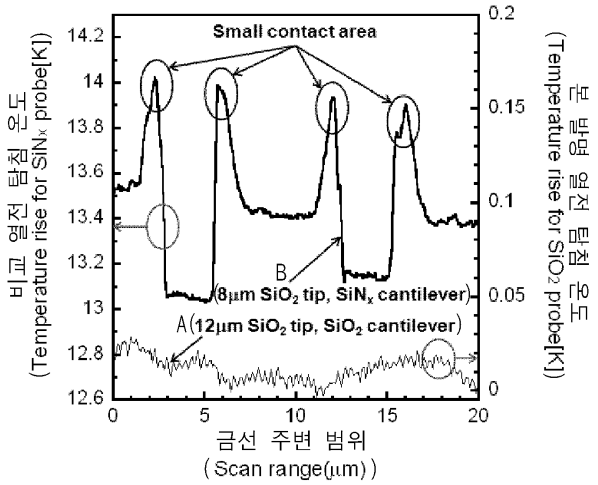
도면8



도면9


Small contact area
A(12μm SiO2 tip, SiO2 cantilever)
B(8μm SiO2 tip, SiNx cantilever)
Topography
무차원 온도
(Dimensionless temperature, ϕ)
표면 형상
(Topography(nm))
가열된 금선 주변 범위
(Scan range around heated line(μm))

도면10


Small contact area
B
(8μm SiO2 tip, SiNx cantilever)
A(12μm SiO2 tip, SiO2 cantilever)
비교 열전 탐침 온도
(Temperature rise for SiNx probe[K])
금 박막 열전 탐침 온도
(Temperature rise for SiO2 probe[K])
금선 주변 범위
(Scan range(μm))