(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0002891
(43) 공개일자 2011년01월11일

(51) Int. Cl.
H01J 37/26 (2006.01) *G01L 5/04* (2006.01)
B82B 3/00 (2006.01) *D01D 5/04* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2009-0057120
(22) 출원일자 2009년06월25일
심사청구일자 2009년06월25일

(71) 출원인
서울대학교산학협력단
서울 관악구 신림동 산 56-1
(72) 발명자
유웅열
서울특별시 서초구 반포동 1-8 경남아파트 7동 110호
황윤기
서울특별시 관악구 대학동 산 4-2 서울대 BK국제관 946B동 322호
(74) 대리인
특허법인필앤온지

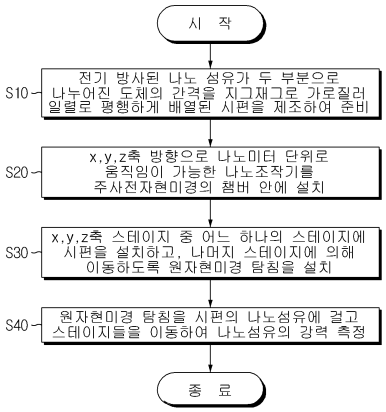
전체 청구항 수 : 총 2 항

(54) 나노섬유 강력측정 방법

(57) 요 약

본 발명의 나노섬유 강력측정 방법은, (a) 하나의 도체가 일정간격 이격되어 두 부분으로 나누어져 전기적으로 분리되고, 그 도체 위에 나노섬유를 전기방사하여 상기 도체의 간격을 지그재그로 가로지르는 나노섬유가 일렬로 평행 배열되어 고정된 시편을 제조하여 준비하는 단계; (b) x축, y축, z축 스테이지를 구비하고, 상기 각 스테이지에 압전 모터가 설치되어 상기 압전모터에 의해 x축, y축, z축 방향으로 나노미터의 단위로 움직임이 가능한 나노조작기를 주사전자현미경(SEM)의 챔버 안에 설치하는 단계; (c) 상기 x축, y축, z축 스테이지 중 어느 하나의 스테이지에 상기 시편을 설치하고, 나머지 스테이지에 의해 이동되도록 원자현미경 탐침을 설치하는 단계; 및 (d) 상기 각 스테이지를 이동시켜 상기 원자현미경 탐침을 상기 시편의 나노섬유의 중심에 걸고 상기 원자현미경 탐침이 상기 나노섬유의 단면방향으로 이동되도록 상기 스테이지를 이동시켜 나노섬유의 응력 및 변형률을 측정하는 단계;를 포함한다.

대 표 도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 NT070105
부처명 서울특별시
연구관리전문기관
연구사업명 신기술연구개발 지원사업
연구과제명 완전섬유구조 및 이론강력을 갖는 고분자섬유 개발
기여율
주관기관 서울대학교 산학협력단
연구기간 2007년 10월 1일 ~ 2009년 9월 30일

특허청구의 범위

청구항 1

(a) 하나의 도체가 일정간격 이격되어 두 부분으로 나누어져 전기적으로 분리되고, 그 도체 위에 나노섬유를 전기방사하여 상기 도체의 간격을 지그재그로 가로지르는 나노섬유가 일렬로 평행 배열되어 고정된 시편을 제조하여 준비하는 단계;

(b) x축, y축, z축 스테이지를 구비하고, 상기 각 스테이지에 압전 모터가 설치되어 상기 압전모터에 의해 x축, y축, z축 방향으로 나노미터의 단위로 움직임이 가능한 나노조작기를 주사전자현미경(SEM)의 챔버 안에 설치하는 단계;

(c) 상기 x축, y축, z축 스테이지 중 어느 하나의 스테이지에 상기 시편을 설치하고, 나머지 스테이지에 의해 이동되도록 원자현미경 탐침을 설치하는 단계; 및

(d) 상기 각 스테이지를 이동시켜 상기 원자현미경 탐침을 상기 시편의 나노섬유의 중심에 걸고 상기 원자현미경 탐침이 상기 나노섬유의 단면방향으로 이동되도록 상기 스테이지를 이동시켜 나노섬유의 응력 및 변형률을 측정하는 단계;를 포함하는 나노섬유 강력측정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 (a) 단계는,

(a1) 섬유원료 용액이 저장된 주사기를 준비하고, 상기 하나의 도체를 일정간격 이격시켜 두 부분으로 나누고 상기 이격된 도체 사이에 절연체를 형성하여 전기적으로 분리시킨 뒤, 도체를 절연기재 위에 설치하는 단계;

(a2) 고전압 생성기를 이용하여 주사기에 양극성(+) 전압을 인가하여 용액을 하전시킨 후 하전된 용액을 바늘을 통해 나노급에 해당하는 섬유로 분사시키고, 상기 두 부분으로 나누어진 각 도체에 음극성 전압을 인가하여 상기 분사된 나노섬유가 상기 주사기와 도체 사이에 형성된 전기장 속에서 요동되면서 두 부분으로 나누어진 도체의 간격을 지그재그로 가로질러 일렬로 평행 배열되게 전기방사하는 단계; 및

(a3) 상기 도체 위에 전도성 접착제를 도포하여 상기 도체 위에 평행 배열된 나노섬유를 고정시키는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 나노섬유 강력측정 방법.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 나노섬유 강력측정 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 나노섬유, 나노와이어, 탄소나노튜브 등 일반적인 나노소재의 강력(인장에 의한 응력 및 변형률)측정을 할 수 있는 나노섬유 강력측정 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근, 환경에 부담을 주는 유리섬유나 탄소섬유를 보강재로 사용한 복합재료를 대체하기 위하여 재활용이 가능한 고성능의 자기강화복합재료(self-reinforced composites)의 개발을 위한 연구가 활발히 진행되고 있는 추세이다.

[0003] 상기 자기강화복합재료의 보강재로 사용하기 위한 소재 중 섬유형태의 소재는 축 방향에서의 분자 배열로 인해 이차원 또는 삼차원 벌크 형태의 소재보다 그 물성이 우수하기 때문에 널리 사용되고 있다. 특히, 나노섬유는 일반 고분자로 단결정 구조이면서 그 결정이 섬유 축에 완전히 배향(配向)되고, 결함(defect)이 없는 완전섬유 구조로 구현이 가능하기 때문에 나노섬유를 자기강화복합재료의 보강재로 사용하려는 연구가 진행되고 있다. 이때, 상기 나노섬유를 자기강화복합재료의 보강재로 사용하기 위하여 상기 나노섬유에 대한 강력측정(섬유를 인장하여 응력 및 변형률을 측정하는 것)이 필수적이다. 즉, 나노섬유에 대한 강력측정이 상기 나노섬유를 자기강화복합재료와 같은 구조재(structural material)로 활용하기 위한 응용연구 및 개발에 필수적이다. 따라서, 상

기 나노섬유의 응력 및 변형률을 측정하기 위하여 기존의 인장시험기나 압입기를 사용하였으나, 이는 나노뉴턴 단위의 힘과 나노미터 단위의 움직임을 가해주거나 감지할 수 없으므로 나노재료를 강력측정 하기에 부적절하였다.

[0004] 이에, 상기 나노섬유의 응력 및 변형률을 확인하기 위한 강력측정법 개발이 진행되고 있다.

[0005] 예를 들면, 2개의 원자현미경(AFM : Atomic Force Microscope) 탐침을 나노조작기에 탑재하여 주사전자현미경(SEM : Scanning Electron Microscope)의 챔버 안에서 구동하는 탄소나노튜브(CNT : Carbon Nano Tube) 강력측정법이 개발되었다. 이는, 원자현미경 탐침의 휨 정도에 따라 나노뉴턴 단위의 힘 감지가 가능함에 따라, 전자빔유도증착기술(EBID : Electron-beam-induced Deposition)로 탄소나노튜브를 탐침에 고정시켜 측정하는 것이다.

[0006] 그러나, 전자빔유도증착기술은 탄소나노튜브를 탐침에 고정시킬 수 있으나, 나노섬유는 전자빔에 의해 쉽게 녹아내림으로써 나노섬유를 탐침에 고정시킬 수 없어 나노섬유의 강력측정을 할 수 없다는 문제점이 있다.

[0007] 또한, 광학현미경(optical microscope) 관찰 하에 원자현미경 탐침을 이용한 강력측정법이 개발되었으나, 광학현미경을 사용하여 나노섬유의 인장시험 조작 및 관찰 시, 가시광선 본유의 파장에 의해 관찰 분해능이 수 마이크론 내지 수백 나노미터로 제한되어 수십 나노 또는 그 이하의 지름을 가진 나노섬유의 경우 인장시험 조작 및 관찰이 불가능하다는 문제점이 있다.

[0008] 아울러, 고분자 섬유원료를 알루미늄과 마분지 프레임에 전기방사시킨 후, 이중 대략 평행하게 배열된 몇몇 섬유를 채취하여 상용화된 인장시험기를 통한 강력 측정법이 개발되었으나, 상기 상용화된 인장시험기의 경우 기기 센서의 한계로 인해 나노섬유의 강력측정은 불가능하고, 마이크론 단위의 지름을 가지는 고분자 섬유의 강력측정까지만 가능하여 나노재료의 측정은 불가능하다는 문제점이 있다.

[0009] 이에, 이론적, 추상적인 나노섬유의 강력측정을 구체화하기 위해 더욱 정밀한 측정기기나 측정법이 요구되고 있는 실정이다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0010] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 창안된 것으로서, 추상적 또는 이론적인 나노소재 강력측정방법을 구체적이고 체계적으로 표준화된 나노소재 강력측정을 구현할 수 있는 나노섬유 강력측정 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제 해결수단

[0011] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 나노섬유 강력측정 방법은, (a) 하나의 도체가 일정간격 이격되어 두 부분으로 나누어져 전기적으로 분리되고, 그 도체 위에 나노섬유를 전기방사하여 상기 도체의 간격을 지그재그로 가로지르는 나노섬유가 일렬로 평행 배열되어 고정된 시편을 제조하여 준비하는 단계; (b) x축, y축, z축 스테이지를 구비하고, 상기 각 스테이지에 압전 모터가 설치되어 상기 압전모터에 의해 x축, y축, z축 방향으로 나노미터의 단위로 움직임이 가능한 나노조작기를 주사전자현미경(SEM)의 챔버 안에 설치하는 단계; (c) 상기 x축, y축, z축 스테이지 중 어느 하나의 스테이지에 상기 시편을 설치하고, 나머지 스테이지에 의해 이동되도록 원자현미경 탐침을 설치하는 단계; 및 (d) 상기 각 스테이지를 이동시켜 상기 원자현미경 탐침을 상기 시편의 나노섬유의 중심에 걸고 상기 원자현미경 탐침이 상기 나노섬유의 단면방향으로 이동되도록 상기 스테이지를 이동시켜 나노섬유의 응력 및 변형률을 측정하는 단계;를 포함한다.

[0012] 바람직하게, 상기 (a) 단계는, (a1) 섬유원료 용액이 저장된 주사기를 준비하고, 상기 하나의 도체를 일정간격 이격시켜 두 부분으로 나누고 상기 이격된 도체 사이에 절연체를 형성하여 전기적으로 분리시킨 뒤, 도체를 절연기재 위에 설치하는 단계; (a2) 고전압 생성기를 이용하여 주사기에 양극성(+) 전압을 인가하여 용액을 하전시킨 후 하전된 용액을 바늘을 통해 나노급에 해당하는 섬유로 분사시키고, 상기 두 부분으로 나누어진 각 도체에 음극성 전압을 인가하여 상기 분사된 나노섬유가 상기 주사기와 도체 사이에 형성된 전기장 속에서 요동되면서 두 부분으로 나누어진 도체의 간격을 지그재그로 가로질러 일렬로 평행 배열되게 전기방사하는 단계; 및 (a3) 상기 도체 위에 전도성 접착제를 도포하여 상기 도체 위에 평행 배열된 나노섬유를 고정시키는 단계;를 포함한다.

효 과

[0013] 본 발명에 따른 나노섬유 강력측정 방법은 나노섬유에 대한 추상적 또는 이론적 측정법을 대체하여 구체적이고 체계적인 표준 평가체계를 확립할 수 있으므로, 나노섬유를 구조재로써 활용할 수 있다. 이에, 나노섬유를 보강재로써 활용한 자기강화복합재료의 개발이 가능하여 환경에 악영향을 미치는 기존의 복합재료를 대체할 수 있다.

[0014] 또한, 자기강화복합재료 및 응용제품에 대한 새로운 시장의 개척을 구현할 수 있으며, 자기강화복합재료의 속성상 재활용이 용이하여 환경부담을 줄일 수 있다.

[0015] 아울러, 본 발명에 따른 강력측정방법을 이용하면 수 나노미터에서 수백 나노미터에 이르는 나노섬유뿐만 아니라 나노와이어, 탄소나노튜브와 같은 다양한 나노소재에 대한 강력측정이 가능하여 이를 이용한 응용제품 개발에 기여할 수 있는 효과가 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0016] 이하 첨부된 도면을 참조로 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다. 따라서, 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시예에 불과할 뿐이고 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.

[0017] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 나노섬유 강력측정 방법을 설명하는 플로우 차트이다.

[0018] 도면을 참조하면, 먼저, 전기방사를 통하여 나노섬유가 도체에 일렬로 평행하게 배열된 시편을 제조하여 준비한다(S10). 여기서, 상기 시편을 제조하기 위한 방법을 보다 구체적으로 설명하기로 한다.

[0019] 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 나노섬유 강력측정 방법에 사용되는 시편의 제조방법을 설명하는 플로우 차트이고, 도 3은 도 2의 시편 제조방법에 사용되는 전기방사장치를 설명하기 위한 사시도이다.

[0020] 본 발명에 따른 나노섬유 강력측정 방법에 사용되는 시편의 제조방법은 전기방사(electrospinning)법에 의해 제조된다. 상기 전기방사법에 사용되는 전기방사장치(1)는, 도 3에 도시된 바와 같이, 섬유원료 용액이 저장된 주사기(2)와, 상기 주사기(2)의 하측에 마련된 절연기재(5) 위에 설치되어 접지된 도체(11) 및, 상기 주사기(2)와 도체(11)에 고전압을 인가하는 고전압 생성기(4)를 구비한다.

[0021] 상기와 같은 전기방사장치(1)를 이용한 전기방사법은 섬유원료 용액에 높은 전압을 인가함으로써 분자 쇄간에 조성된 정전기적 반발력과 음극과 양극 사이에 발생되는 전기장을 이용하여, 직경이 수십에서 수백 nm인 나노섬유(9)를 얻는 공정이다. 즉, 주사기(2)에 양극성(+)의 전압을 직접 인가하여 섬유원료 용액을 하전시킨 후, 하전된 용액을 주사기(2)의 바늘(3)을 통해 나노급에 해당하는 섬유(이하, '나노섬유'라 함)를 분사시키고, 도체(11)에 음극성(-)의 전압을 인가하여 분사된 나노섬유(9)를 도체(11)에 수집하는 방법이다.

[0022] 상기 전기방사를 통해 상기 나노섬유(9)를 강력측정하기 위한 시편(도 4의 '10')을 제조하기 위하여, 먼저, 섬유원료 용액이 저장된 주사기(2)를 준비하고, 접지된 도체(11)를 절연기재(5) 위에 설치한다(S11). 이때, 상기 섬유원료 용액은 전기방사를 수행하여 나노섬유(9)를 제조할 수 있는 것이라면 모두 사용이 가능한데, 예를 들어 용액 전기방사를 위해 용매에 고분자를 적정량 용해시킨 고분자 용액 외에, 용융 전기방사를 위해 용매를 사용하지 않고 고분자를 용융시킨 용액도 섬유원료 용액에 포함되는 것으로 해석해야 한다.

[0023] 상기 도체(11)는 두 부분으로 나누어져 일정간격(S) 이격되도록 이루어진다. 상기 두 부분으로 나누어진 도체(11) 사이에는 절연체(12)가 형성되어 도체(11)를 전기적으로 분리시키게 된다. 상기 도체(11)는 전도성이 우수한 구리인 것이 바람직하고, 상기 도체(11) 사이에 형성된 절연체(12)는 테프론 필름인 것이 바람직하다.

[0024] 다음으로, 주사기(2)와 도체(11)에 높은 전압을 인가하여 나노섬유(9)를 얻는 전기방사를 실시한다(S12). 전술한 바와 같이, 주사기(2)에 인가된 양극(+) 전압에 의해 양극(+) 전하가 대전된 나노섬유(9)가 바늘(3)을 통해 분사하여 음극(-) 전압이 인가된 두 부분으로 나누어진 도체(11)의 간격(S)을 가로질러 지그재그로 배열된다.

[0025] 보다 구체적으로, 전압이 인가되기 전에 섬유원료 용액은 바늘(3)의 끝에서 표면장력 때문에 구형의 방울 형태

로 매달려 있다가, 전압이 인가되면서 그 방울의 표면에 전하가 도입되고 일그러지기 시작하며, 전압이 증가하면서 임계전압에 도달하면 방울의 끝 정점부터 분사되어 나간다. 분사체(나노섬유)가 도체(11)에 도달하기 전에 그 분사체(나노섬유)의 불안정성은 증가하며, 그 불안정성이 고분자 전하를 띤 고체섬유 형태로 도체(11)에 집속되게 된다. 여기서, 상기 나노섬유(9)는 하전된 나노섬유(9)와 도체(11)간의 인력 및 하전된 나노섬유(9)간의 척력에 의해 요동하면서 두 부분으로 나누어진 도체(11)의 간격(S)을 가로질러 지그재그로 배열되는 것이다. 이때, 상기 도체(11)의 간격(S)을 가로지르는 나노섬유(9)는 대략 일렬로 평행하게 배열된다.

[0026] 한편, 본 발명의 전기방사 단계에 있어서, 전술한 도 3의 장치 외에, 공지의 전기방사 장치가 사용될 수 있음은 물론이다.

[0027] 마지막으로, 도체(11) 위에 전도성 접착제(13)를 도포하여 상기 도체(11) 위에 배열된 나노섬유(9)를 고정시킨다(S13). 즉, 도 4에 도시된 바와 같이, 상기 전도성 접착제(13)는 상기 두 부분으로 나누어진 도체(11)의 간격(S)을 사이에 두고 간격(S)의 길이방향으로 도포되어, 상기 간격(S)과 대략 직각되게 일렬로 배열된 나노섬유(9)의 양측을 고정시키도록 이루어진다. 이 과정에서 상기 도체(11)에 나노섬유(9)가 고정되면 시편(10)의 제조가 완료된다.

[0028] 상기 전도성 접착제(13)는 은(Ag) 페이스트를 사용하는 것이 바람직하다. 상기 은 페이스트를 사용하는 것은, 상기 시편(10)을 후술할 주사전자현미경(도 5의 '101' 참조)의 챔버(도 5의 '102' 참조)에 넣고 관찰할 때, 주사전자현미경(101)의 기기 자체와 진공도에 가해지는 영향을 최소화하기 위함이며, 상기 전도성 접착제(13)가 전도성을 띄므로 관찰 시 전자가 쌓이는 것을 방지할 수 있기 때문이다.

[0029] 한편, 상기 전기방사를 통하여 고분자 용액 또는 용융물인 나노섬유(9)를 두 부분으로 나누어진 도체(11)에 간격(S)을 지그재그로 가로질러 일렬로 평행하게 배열시키는 것으로 도시하고 설명하였으나, 이에 한정되지 않으며, 탄소나노튜브 함유 고분자 용액을 이용하여 탄소나노튜브(CNT) 또는 나노와이어 등을 도체(11)의 간격(S)을 가로질러 대략 일렬로 평행 배열시킬 수 있음은 자명하다. 즉, 두 부분으로 나누어진 도체(11)에 전기방사를 통하여 탄소나노튜브, 나노와이어 등 다양한 나노소재를 간격을 가로질러 대략 일렬로 평행 배열시켜 시편을 제조하는 것은, 이 기술에 속한 당업자라면 전술된 시편 제조방법으로부터 실시할 수 있는 것이므로 상세한 설명은 생략하기로 한다.

[0030] 다시, 도 1을 참조하면, x축, y축, z축 방향으로 나노미터(nm)의 단위로 움직임이 가능한 나노조작기(nanomanipulator)(100)를 주사전자현미경(SEM)(101)의 챔버(102) 안에 설치한다(S20). 상기 나노조작기(100)는 도 5에 도시된 바와 같이, 고정판(110) 위에 설치된 x축, y축, z축 스테이지(111)(112)(113) 및 상기 각 스테이지(111)(112)(113)에 설치되어 각 스테이지(111)(112)(113)를 나노미터(nm)의 단위로 이동시키는 압전 모터(121)(122)(123)를 구비한다. 이때, 상기 x축, y축, z축 방향으로 이동되는 것은 -x축, -y축, -z축 방향으로 이동되는 것을 포함하는 것으로 해석해야 한다.

[0031] 상기 x축, y축, z축 스테이지(111)(112)(113)는 주사전자현미경(101)의 챔버(102) 안에 넣고 구동시킬 시 진공상태에서 장시간 견딜 수 있는 스테인리스 스틸로 이루어진 것이 바람직하다. 이러한 각 스테이지(111)(112)(113)는 상기 각 스테이지(111)(112)(113)의 내부 베어링(미도시) 사이에 아웃개싱(outgassing)을 방지할 수 있는 실리콘 윤활제가 사용된 제품을 이용하여 조립하였다.

[0032] 상기 압전 모터(121)(122)(123)는 x축, y축, z축 스테이지(111)(112)(113)에 각각 설치된다. 즉, x축 스테이지(111)는 압전 모터(121)에 의해 x축 방향으로 자유도를 가지며 이동되고, y축 스테이지(112)는 압전 모터(122)에 의해 y축 방향으로 자유도를 가지며 이동되며, z축 스테이지(113)는 압전 모터(123)에 의해 z축 방향으로 자유로를 가지면 이동된다. 상기 압전 모터들(121)(122)(123)은 최소 30nm의 움직임을 가해줄 수 있도록 이루어지며, 진공상태의 챔버(102) 안에서 10^{-6}Torr의 진공도까지 견딜 수 있도록 이루어진 제품인 것이 바람직하다.

[0033] 한편, 나노조작기(100)는 주사전자현미경(101)의 챔버(102)의 내부 부속품들과 접촉되는 것을 방지하기 위해 나노조작기(100)의 높이를 낮추도록 각 스테이지(111)(112)(113)와 압전 모터(121)(122)(123)가 조립된다. 예를 들면, 상기 x, y축 스테이지(111)(112)와 두 개의 압전 모터(121)(122)를 나노조작기(100)의 일측에 위치시키고, z축 스테이지(113)와 나머지 하나의 압전 모터(123)를 나노조작기(100)의 타측에 위치되도록 조립시켰다. 즉, 상기 z축 스테이지(113)는 독립적으로 이동되며, x축 스테이지(111)와 y축 스테이지(112)는 서로의 이동에 따라 함께 이동되도록 이루어진다. 이와 같은 각 스테이지(111)(112)(113)의 구분은 일 실시예로서, x축 스테이지(111)와 z축 스테이지(113)가 함께 이동되도록 이루어지거나, y축 스테이지(112)와 z축 스테이지(113)가 함께 이동되도록 선택적으로 설계 변경할 수도 있다.

[0034] 이어서, 상기 x축, y축, z축 스테이지(111)(112)(113) 중 어느 하나의 스테이지에 상기 시편(10)을 설치하고, 나머지 스테이지에 의해 이동되도록 원자현미경 탐침(130)을 설치한다(S30). 예컨대, 도 5에 도시된 바와 같이, 상기 나노조작기(100)의 일측에 위치된 x축 스테이지(111)와 y축 스테이지(112)가 함께 조립된 부분에 원자현미경 탐침(130)을 설치하고, 나노조작기(100)의 타측에 위치된 z축 스테이지(113)에 상기 시편(10)을 설치하였다. 이때, 상기 원자현미경 탐침(130)은 그 끝단부에 직각방향으로 원뿔 형상의 돌기(131)가 형성된다. 이는 추후 탐침(130)의 이동시 나노섬유(9)가 원뿔 형상의 돌기(131)에 걸려 나노섬유(9)가 탐침(130)으로부터 빠져나오지 못하도록 하기 위함이다.

[0035] 한편, 상기 원자현미경 탐침(130)과 시편(10)을 설치하는 단계(S30)는 상기 나노조작기(100)를 주사전자현미경(101)의 챔버(102)에 설치하는 단계(20) 전에 미리 실시할 수 있다. 즉, 나노조작기(100)에 먼저 원자현미경 탐침(130)과 시편(10)을 설치한 후, 나노조작기(100)를 주사전자현미경(101)의 챔버(102)에 설치할 수 있다.

[0036] 마지막으로, 상기 원자현미경 탐침(130)을 시편(10)의 나노섬유(9) 중간 지검에 걸고 이동시켜 나노섬유(9)의 응력 및 변형률을 측정한다(S40). 즉, 압전 모터(121)(122)(123)에 의해 상기 각 스테이지(111)(112)(113)가 이동됨으로써 각 스테이지(111)(112)(113)에 탑재된 원자현미경 탐침(130)과 시편(10)이 함께 이동된다. 상기 압전 모터(121)(122)에 의해 x축, y축 스테이지(111)(112)에 설치된 원자현미경 탐침(130)을 x축과 y축 방향으로 선택적으로 이동시키고, z축 스테이지(113)에 설치된 시편(10)을 z축 방향으로 이동시켜 상기 탐침(130)이 시편(10), 즉 도체(11)의 간격(S) 사이에 삽입되도록 위치시킨다. 이어서, 상기 탐침(130)을 y축 방향, 즉 나노섬유(9)의 단면방향으로 이동시키면 나노섬유(9)가 원자현미경 탐침(130)에 걸려 인장된다.

[0037] 즉, 도 6에 도시된 바와 같이, 탐침(130)에 걸린 나노섬유(9)가 받는 응력은 탐침(130)의 휨 정도로 측정을 할 수 있다. 바람직하게, 상기 나노섬유(9)의 응력은 아래의 수학식 1을 이용하여 구한다. 수학식 1의 유도 과정은 아래에서 설명된다.

수학식 1

[0038] $\sigma = \{(F \times \sin\Theta) / 2\} / A = \{(\kappa \times d \times \sin\Theta) / 2\} / \{D^2 \pi / 4\}$

[0039] 상기 식에서, σ : 응력 (Pa)

[0040] F : 힘 (N)

[0041] Θ : 나노섬유가 신장된 각도 (°)

[0042] A : 나노섬유의 단면적 (m^2)

[0043] κ : 힘 상수 (N/m)

[0044] d : 탐침의 휨 정도 (m)

[0045] D : 나노섬유의 직경

[0046] 수학식 1을 이용하면, 나노섬유(9)의 신장과정에서 주사전자현미경(101)의 관찰하에 실시간으로 원자현미경 탐침(130)의 휨 정도와 나노섬유가 신장된 각도를 관찰하고 원자현미경 탐침(130)의 고유의 힘 상수를 이용해 가해준 힘을 구할 수 있고, 여기에 나노섬유(9)의 단면적을 나누어주면 응력을 계산할 수 있다.

[0047] 한편, 상기 나노섬유(9)의 직경(m)은 주사전자현미경(101)의 관찰 혹은 원자현미경의 관찰로 구할 수 있다. 상기 힘은 힘 상수와 탐침의 휨 정도를 곱하여 구할 수 있다. 여기서, 힘 상수는 원자현미경 탐침(130)의 재료성질과 크기에 따라 제조과정에서 결정된 탄성과 관련한 고유한 값이다. 또한, 탐침(130)의 휨 정도는 탐침(130)에 나노섬유(9)가 걸려 뒤로 휘게 될 때, 탐침(130)이 휘지 않은 원래의 위치를 기준으로 휘어진 거리를 뜻하며, 주사전자현미경(101)의 관찰을 통해 구할 수 있다.

[0048] 또한, 상기 주사전자현미경(101)의 관찰을 통해 알 수 있는 나노섬유(9)의 최종길이와, 시편(10)에 고정된 나노섬유(9)의 고정된 두 점 사이의 거리인 초기길이를 통해 변형률을 계산할 수 있다. 바람직하게, 상기 나노섬유의 변형률은 아래의 수학식 2를 이용하여 구한다.

수학식 2

[0049] $\varepsilon = \delta / L = \{2 \times (L / (2 \times \cos\Theta)) - L\} / L = \{1 / \cos\Theta\} - 1$

[0050] 상기 식에서, ε : 변형률

[0051] δ : 나노섬유가 신장된 길이

[0052] L : 나노섬유 초기의 길이

[0053] Θ : 나노섬유가 신장된 각도 (°)

[0054] 상기 수학식 2를 이용하여, 주사전자현미경(101)의 관찰하에 상기 나노섬유(9)가 신장하다 파단에 이르게 되면, 상기 나노섬유(9)의 파단 직전의 신장된 길이를 관찰하여 측정하고, 여기에 시편(10)에 고정된 두 점 사이의 나노섬유의 처음 길이를 나누어주면 변형률을 계산할 수 있다. 혹은, 나노섬유(9)가 신장된 각도만 주사전자현미경(101)의 관찰을 통해 측정한다면, 수학식 2를 이용해 더 간단히 변형률을 계산할 수 있다. 즉, 도 7(b)와 (c)를 (a)와 비교하여 나노섬유(9)가 신장된 각도를 측정할 수 있다. 또한, 도 7의 (d)에 도시된 바와 같이, 신장 후 결국 파단에 이르게 된다.

[0055] 한편, 상기 도 7의 (a)에 도시된 '10㎛'는, 주사전자현미경(101)으로 촬영시 기준비율을 나타낸 것이다. 즉, 상기 '10㎛'는 그 하단에 표시된 '노란색 직선'의 길이로서, 상기 '노란색 직선'의 길이가 촬영된 사물의 길이와 동일한 것으로 이해되어도 무방하다.

[0056] 이와 같은, 방법을 토대로 나노섬유(9)뿐만 아니라, 나노와이어나, 탄소나노튜브등 다양한 나노소재를 두 부분으로 나누어진 도체(11)의 간격(S)을 가로질러 대략 평행하게 배열시켜 시편(10)을 제조하고, 나노조작기(100)를 이용하여 신장시킬 수 있기 때문에 모든 나노소재의 강력측정이 가능하다.

[0057] 이상과 같이, 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 이것에 의해 한정되지 않으며 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 본 발명의 기술사상과 아래에 기재될 특허청구범위의 균등범위 내에서 다양한 수정 및 변형이 가능함은 물론이다.

도면의 간단한 설명

[0058] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 나노섬유 강력측정 방법을 설명하는 플로우 차트.

[0059] 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 나노섬유 강력측정 방법에 사용되는 시편의 제조방법을 설명하는 플로우 차트.

[0060] 도 3은 도 2의 시편 제조방법에 사용되는 전기방사장치를 설명하기 위한 사시도.

[0061] 도 4는 도 3의 전기방사에 의해 제조된 시편을 나타내는 사시도.

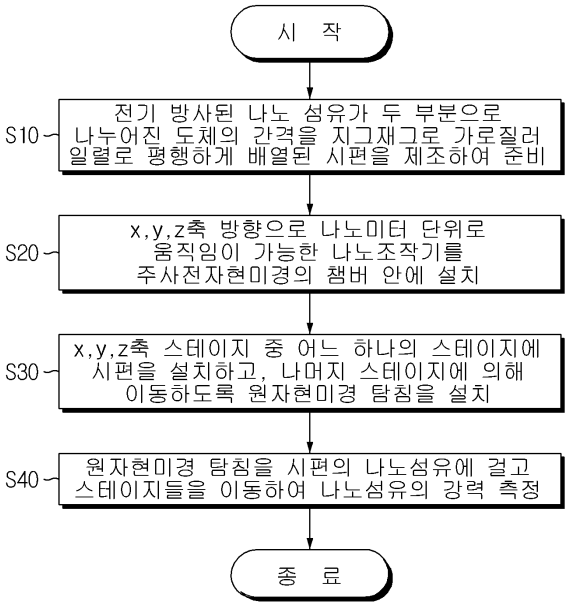
[0062] 도 5는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 나노섬유 강력측정 방법을 설명하기 위한 사시도.

[0063] 도 6은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 나노섬유 강력측정 방법에 사용되는 탐침에 의해 나노섬유가 힘을 받는 상태를 나타내는 도면.

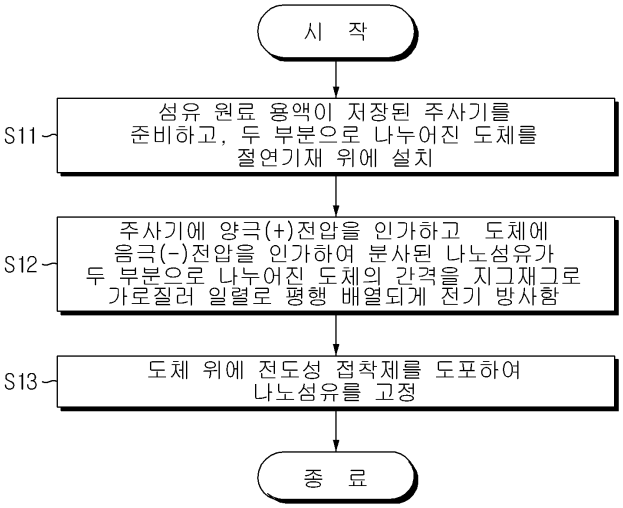
[0064] 도 7은 도 6의 나노섬유가 탐침에 걸려 힘을 받아 파단되는 상태를 나타내는 도면.

도면

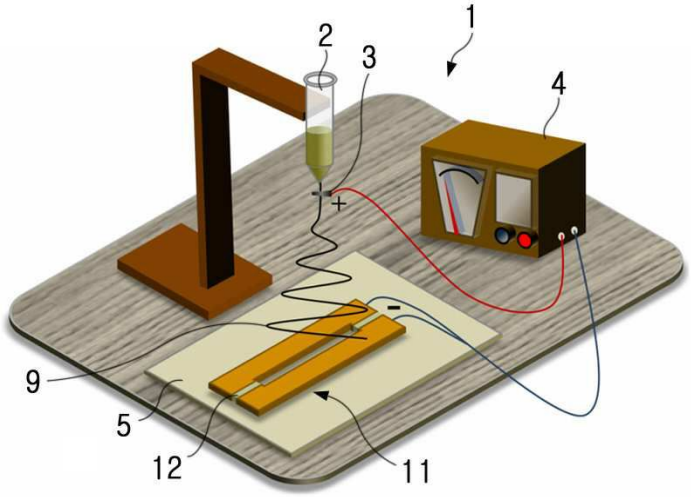
도면1


시 작
S10
전기 방사된 나노 섬유가 두 부분으로 나누어진 도체의 간격을 지그재그로 가로질러 일렬로 평행하게 배열된 시편을 제조하여 준비
S20
x,y,z축 방향으로 나노미터 단위로 움직임이 가능한 나노조작기를 주사전자현미경의 챔버 안에 설치
S30
x,y,z축 스테이지 중 어느 하나의 스테이지에 시편을 설치하고, 나머지 스테이지에 의해 이동하도록 원자현미경 탐침을 설치
S40
원자현미경 탐침을 시편의 나노섬유에 걸고 스테이지들을 이동하여 나노섬유의 강력 측정
종 료

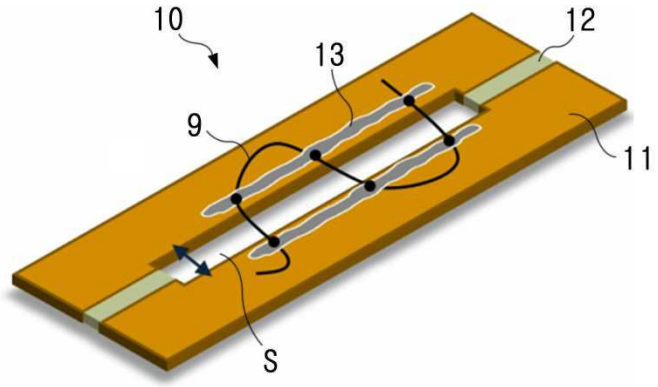
도면2


시 작
S11
섬유 원료 용액이 저장된 주사기를 준비하고, 두 부분으로 나누어진 도체를 절연기재 위에 설치
S12
주사기에 양극(+)전압을 인가하고 도체에 음극(-)전압을 인가하여 분사된 나노섬유가 두 부분으로 나누어진 도체의 간격을 지그재그로 가로질러 일렬로 평행 배열되게 전기 방사함
S13
도체 위에 전도성 접착제를 도포하여 나노섬유를 고정
종 료

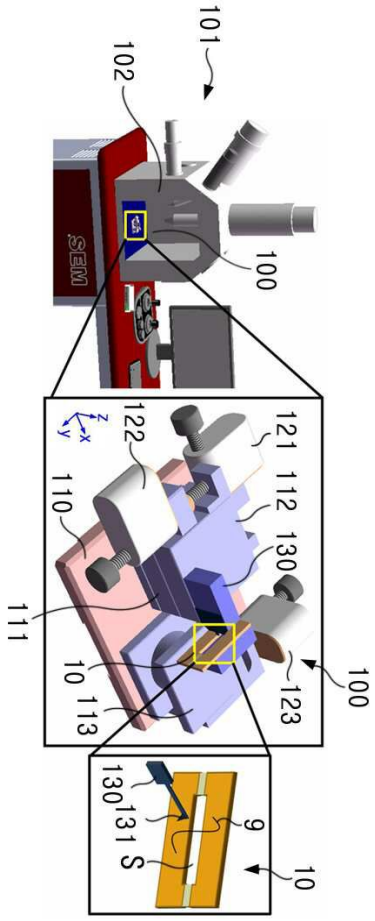
도면3



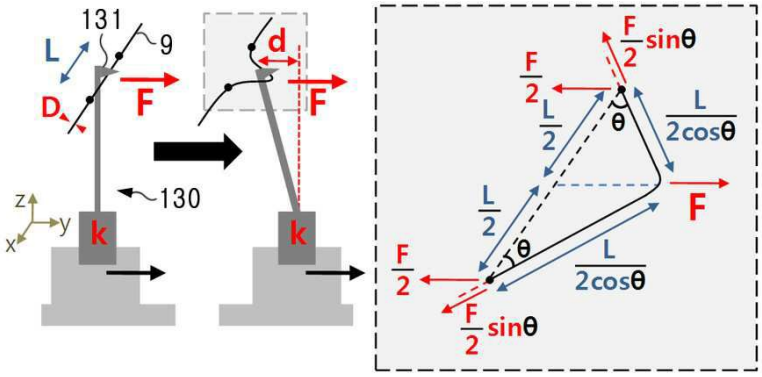
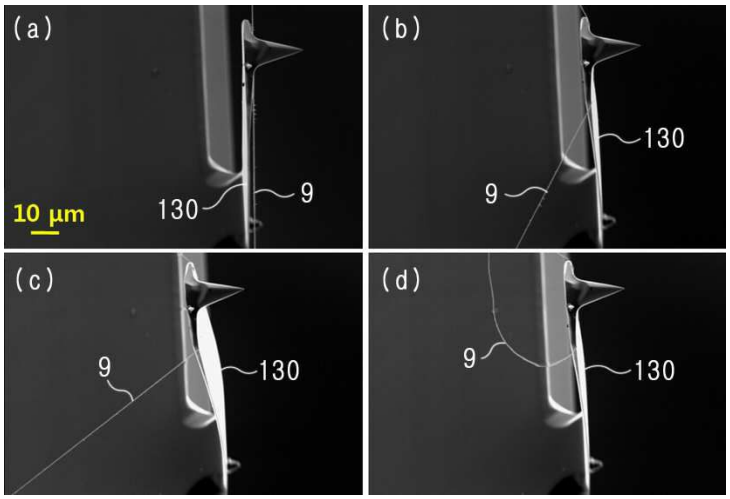
도면4



도면5


101
102
SEM
100
122
121
112
110
130
111
10
113
123
100
130
131
S
9
10

도면6


131
9
L
D
F
d
F
130
z
y
x
k
k
F/2 sinθ
F/2
L/2
θ
L/2cosθ
L/2
F
θ
L/2cosθ
F/2
F/2 sinθ

도면7