(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0106328
(43) 공개일자 2012년09월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B25J 7/00 (2006.01) *B25J 5/00* (2006.01)
B25J 13/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0024383
(22) 출원일자 2011년03월18일
심사청구일자 2011년03월18일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
조종두
서울특별시 강남구 남부순환로377길 25, 401호 (도곡동, 현대파크빌라)
이홍식
인천광역시 남구 숭의4동 5-16 9/1
(74) 대리인
이은철

전체 청구항 수 : 총 8 항

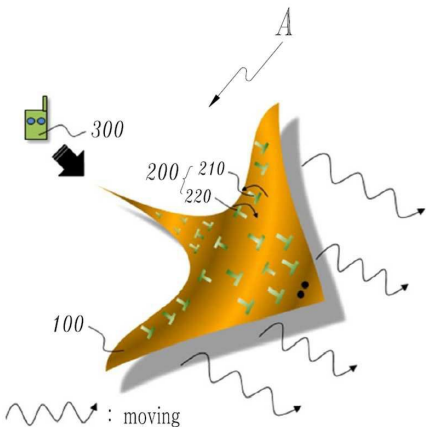
(54) 발명의 명칭 **자기변형 현상을 이용한 마이크로 가오리 운동체**

(57) 요 약

본 발명은 자기변형 현상을 이용한 마이크로 가오리 운동체에 관한 것으로서, MEMS 공정에 의해 제작되되, 유연 플레이트에 자기변형박막들을 특정 형상으로 증착하여 원격 조정부로부터 전송되는 AC자기장에 의해 특정 방향으로 굽힘을 발생시킴으로써 전체적인 가오리 움직임을 나타내는 자기변형 현상을 이용한 마이크로 가오리 운동체를 제공함에 그 목적이 있다.

이러한 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 몸체부; 및 상기 몸체부의 상하단면에 다수 증착 형성되어, 외부로부터 전송되는 자기장의 주파수에 따라 자기 변형되어, 상기 몸체부를 가오리 운동 형태로 변형시켜 원하는 방향으로 이동시키는 자기변형박막; 을 포함하는 것을 특징으로 한다.

대 표 도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	38987-1
부처명	교육과학기술부
연구사업명	대학교수해외방문연구지원사업
연구과제명	자왜 초소형 무선제어 운동체 개발[D00005]
주관기관	인하대학교 산학협력단
연구기간	2009.08.17 ~ 2010.08.16

특허청구의 범위

청구항 1

자기변형 현상을 이용한 마이크로 가오리 운동체에 있어서,

몸체부(100); 및

상기 몸체부(100)의 상하단면에 다수 증착 형성되어, 외부로부터 전송되는 자기장의 주파수에 따라 자기 변형되어, 상기 몸체부(100)를 가오리 운동 형태로 변형시켜 원하는 방향으로 이동시키는 자기변형박막(200); 을 포함하는 것을 특징으로 하는 자기변형 현상을 이용한 마이크로 가오리 운동체.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 몸체부(100)는,

가오리 형상의 유연 플레이트로서, 플레이트는 비닐 또는 폴리이미드필름 재질인 것을 특징으로 하는 자기변형 현상을 이용한 마이크로 가오리 운동체.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 자기변형박막(200)으로 소정의 주파수를 갖는 AC자기장을 전송하여, 다수개의 자기변형박막(200)의 길이를 선택적으로 변형시키는 원격 조정부(300); 를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 자기변형 현상을 이용한 마이크로 가오리 운동체.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 자기변형박막(200)은,

인접하는 박막들과 서로 다른 재질인 것을 특징으로 하는 자기변형 현상을 이용한 마이크로 가오리 운동체.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 자기변형박막(200)은,

인접하는 박막들과 자기변형되는 방향이 서로 다르게 형성되되,

그 방향은 X축 또는 Y축 방향인 것을 특징으로 하는 자기변형 현상을 이용한 마이크로 가오리 운동체.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 자기변형박막(200)은,

인접하는 박막들과 자기변형되는 공명주파수가 서로 다르게 형성되는 것을 특징으로 하는 자기변형 현상을 이

용한 마이크로 가오리 운동체.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 자기변형박막(200)은,

스퍼터링 방식에 의해 상기 몸체부(100) 상에 증착 형성되는 것을 특징으로 하는 자기변형 현상을 이용한 마이크로 가오리 운동체.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 자기변형박막(200)은,

TbDyFe, Tb-Fe, Sm-Fe 및 Terfenol 재질 중에서 선택 사용되는 것을 특징으로 하는 자기변형 현상을 이용한 마이크로 가오리 운동체.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 마이크로 전자기계 시스템(MEMS; Micro Electro Mechanical System) 공정에 의해 제작되되, 원격조정기로 사방으로 이동이 가능한 자기변형 현상을 이용한 초소형 운동체에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 MEMS 공정에 의해 제작되되, 유연 플레이트에 자기변형박막들을 특정 형상으로 증착하여, 원격 조정부로부터 전송되는 AC자기장에 의해 특정 방향으로 굽힘을 발생시킴으로써 전체적으로 가오리 움직임을 나타내는 자기변형 현상을 이용한 마이크로 가오리 운동체에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] MEMS의 중요한 소재로 자기변형 재료가 사용되고 있으며, 자기변형재료는 외부에서 인가되는 자기장에 의해 치수의 변화(주로 길이의 변화를 일컬음)가 발생하는 재료를 말한다.

[0003] 자기변형재료에 대하여는 1842년 Joule에 의해 처음으로 자기변형 현상이 이론적으로 정립되었으며, 1960년대 희토류 금속(rare earth elements)과 자기 천이금속(magnetic transition metals)과의 합금을 통해 상온에서 10-3정도의 큰 자기변형을 갖는 Terfenol이 개발되었다. 1980년대 미국의 AMES에서 작은 인가 자기장 하에서도 큰 변형을 보이는 Terfenol-D가 개발되어 상업적인 성공을 거두었다.

[0004] 최근에는 MEMS 기술의 발전과 더불어 자기변형재료를 이용하는 MEMS소자(주로 미소 작동기)의 제작 및 설계에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 자성재료를 다루는 세계적 연구그룹의 하나인 영국 Cardiff University의 Wolfson Center for Magnetics에서는 1997년에 자기변형 띠를 사용하여 뼈의 파손 상태를 모니터링 하는 기법을 제시한 바 있으며(Meydan T. et al., Sens. Actuator A-phys. 59, 192-196, 1997), 2004년도에는 굽힘의 양을 측정하기위한 자기변형센서를 개발하였고 그 결과를 2006년도에 발표하였으며(H. Pfutzner et al., Sens. Actuator A-phys. 129, 154-158, 2006), 2007년도에 자기변형 재료를 이용한 치과용 스케일러를 제작하였다. 최근 2009년도에는 응력 측성 센서와 작동기 제작을 위한 자성변화 및 자기-기계적 특성에 대한 연구결과를 발표하였다(Nlebedim I. C. et al., IEEE Trans. Magn., 45, 1543-1547, 2009).

[0005] 박막 자성재료 연구그룹인 영국 York 대학의 The Magnetic Thin Films Research Group은 1993년도에 자성 박막의 전기전도성과 자기저항 특성을 연구하여 발표하였으며(Shufeng Zhang et al., J. Appl. Phys., 73, 5315-5319, 1993), 2004년도에는 자성 다층 박막의 자기저항을 비 접촉식으로 측정하는 기법을 발표하였고(M. Vopsaroiu et al., Phys. Rev. B, 70, 214423-1~214423-7, 2004), 2007년도에는 다층박막과 자기변형 스핀밸브의 센서응용을 위해 자기저항 값을 30 μm 해상도 2차원 이미지화 시킨 연구 결과를 발표하였다(S. M. Stirka et al. J. Magn. Magn. Mater. 316, e953-e959, 2007). 현재는 자성 박막의 나노 공정연구 및 나노 자성특성 연구를 진행하고 있다.

[0006] 한편, 도 1 및 도 2 는 종래의 자기변형 MEMS 소자 중 초소형 리니어 모터 및 초음파 모터를 각각 도시한 것이다.

[0007] 도시된 바와 같이, 종래의 초소형 리니어 모터 및 초음파모터는 외부에서 인가되는 주파수에 반응하여 일 방향으로만 구동되었다.

[0008] 상기 MEMS소자에 적용되는 자기변형 재료는 취성이 매우 크고, 고주파수 대역에서 발생하는 와류손실이 크며, 원하는 정도의 자기변형을 얻기 위해서는 비교적 높은 자기장이 요구되는 단점을 가지고 있다.

[0009] 이러한 단점들은 자기변형재료의 응용을 상당히 제한하는데 이것은 열경화성 수지(주로 폴리머 바인더)를 이용한 자기변형복합재료를 구성함으로써 극복될 수 있다. 즉, 자기변형복합재료의 대부분을 구성하는 열경화성 수지에 의해 기계적 인성이 향상되고, 자기변형재료의 부피가 감소함으로써 와류손실과 요구되는 인가 자기장의 크기가 줄어들게 된다.

[0010] 1990년대 중반이후 자기변형 복합 재료에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이러한 자기변형 복합재료의 기계적 해석을 위한 해석 모델에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다.

[0011] 이러한 연구는 압전재료나 형상기억합금이 이용되는 복합재료의 거동 해석을 위해 개발된 해석적 모델링(analytical modeling) 기법과 유사한 방법으로 진행되고 있다.

[0012] 최근 국내에서도 자기변형 박막의 제작 및 응용에 관해 연구개발이 이루어지고 있으나 프랑스, 일본 등의 연구노력에 비해 매우 미약한 실정이다.

[0013] Lim 등[S. H. Lim, S. H. Han, H. J. Kim, Y. S. Choi, Jin-Woo Choi, C. H. Ahn, "Prototype Microactuators Driven by Magnetostrictive Thin Films", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 34, No. 4, pp. 2042-2044, 1998.]은 캔틸레버 형태의 미소 자기변형 작동기를 제작하고 동작성능을 실험적으로 측정하였다.

[0014] 또한, 그들은 Sm-Fe 박막과 Sm-Fe-B 박막을 제작하고 자기적 성질 및 자기변형에 미치는 B의 영향을 고찰하였다.

[0015] 일본 프랑스 및 미국과 같은 해외 선진국에서는 자기변형재료의 관한 연구가 폭넓게 이루어지고 있으나, 이의 산업적 응용에 있어서는 아래와 같은 문제점을 갖고 있다.

[0016] 먼저, 자기변형 MEMS 소자에 대한 연구는 매우 활발히 진행되고 있으나, 이들 대부분은 자기변형 현상의 구동원리를 미소 구조물에 적용한 것으로 자기변형의 응용에 대한 개념 검증의 단계에 머무르고 있다. 즉, 구체적인 응용사례 및 상용화에 성공한 예는 아직까지 보고되지 않았다.

[0017] 이것은 자기변형 MEMS 소자의 개발에 대한 새로운 아이디어의 창출이 빈약했거나 또는 자기변형 MEMS 소자의 설계 및 제작을 위한 수치 모델링 기법 등이 여러 연구자에 의해 제안되었지만, 자기변형 MEMS 소자의 기하학적 특성 및 비선형적인 자기변형 현상을 적절히 고려할 수 있는 효율적인 설계도구로서의 제 역할을 수행할 수 없었기 때문이기도 하다.

[0018] 자기변형 복합 재료에 관한 연구 역시 매우 활발히 진행되고 있지만, 압전재료나 형상기억합금이 사용되는 복합재료의 거동해석을 위해 많은 연구가 수행된 것을 통해서도 알 수 있듯이 자기변형 복합재료를 기능성 재료로써 효율적으로 이용하기 위해서는 기계적 거동 예측을 위한 유한 요소 모델링 기법의 개발이 필수적으로 요구되나, 지금까지의 대부분의 연구는 해석적 모델의 개발에 국한되어 왔으며 수치 모델링에 관한 연구는 아직까지는 보고되지 않은 것으로 파악된다.

[0019] 외국과 비교할 때 자기변형 재료에 대한 국내의 연구는 매우 미약하며 주로 자기변형 박막 또는 자기변형 복합재료의 제조에만 머무르고 있는 실정이다. 즉, 자기변형 MEMS 소자의 개발, 자기변형 복합재료의 모델링에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 것이다. 만약, 자기변형 박막을 이용하여 동물이나 어류와 같은 움직임을 마이크로-나노 크기에서 구현할 수 있다면, 보다 더 자유로운 새로운 형태의 운송시스템 및 작업환경이 제공될 수 있을 것이며, 이를 통한 다양한 고 부가가치 응용이 활발히 이루어질 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0020] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 감안하여 안출된 것으로, MEMS 공정에 의해 제작되되, 유연 플레이트로 이루어진 몸체부에 자기변형박막들을 특정 형상으로 증착하여 원격 조정부로부터 전송되는 AC자기장에 의해 특정

방향으로 굽힘을 발생시킴으로써 전체적으로 가오리 움직임을 나타내는 자기변형 현상을 이용한 마이크로 가오리 운동체를 제공함에 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0021] 이러한 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명은 자기변형 현상을 이용한 마이크로 가오리 운동체에 관한 것으로서, 몸체부; 및 상기 몸체부의 상하단면에 다수 증착 형성되어, 외부로부터 전송되는 자기장의 주파수에 따라 자기 변형되어, 상기 몸체부를 가오리 운동 형태로 변형시켜 원하는 방향으로 이동시키는 자기변형박막; 을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0022] 또한 상기 몸체부는, 가오리 형상의 유연 플레이트로서, 플레이트는 비닐 또는 폴리이미드필름 재질인 것을 특징으로 한다.

[0023] 또한 상기 자기변형박막으로 소정의 주파수를 갖는 AC자기장을 전송하여, 다수개의 자기변형박막의 길이를 선택적으로 변형시키는 원격 조정부; 를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0024] 또한 상기 자기변형박막은, 인접하는 박막들과 서로 다른 재질인 것을 특징으로 한다.

[0025] 또한 상기 자기변형박막은, 인접하는 박막들과 자기변형되는 방향이 서로 다르게 형성되되, 그 방향은 X축 또는 Y축 방향인 것을 특징으로 한다.

[0026] 또한 상기 자기변형박막은, 인접하는 박막들과 자기변형되는 공명주파수가 서로 다르게 형성되는 것을 특징으로 한다.

[0027] 또한 상기 자기변형박막은, 스퍼터링 방식에 의해 상기 몸체부 상에 증착 형성되는 것을 특징으로 한다.

[0028] 그리고 상기 자기변형박막은, TbDyFe, Tb-Fe, Sm-Fe 및 Terfenol 재질 중에서 선택 사용되는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0029] 상기와 같은 본 발명에 따르면, MEMS 공정에 의해 제작되되 유연 플레이트에 자기변형박막들을 특정 형상으로 증착하여, 원격 조정부에서 전송하는 AC자기장에 의해 이동체를 가오리 운동 형태로 원하는 방향으로 선택 이동시킬 수 있는 효과가 있다.

[0030] 그리고 본 발명에 따르면, 자기변형을 이용한 MEMS에서 유한요소 해석을 통한 설계 기법을 기초로 MEMS를 제작하는 바, 제품의 신뢰성을 높일 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1 및 도 2 는 종래의 자기변형 MEMS 소자 중 초소형 리니어 모터 및 초음파 모터를 각각 도시한 일예시도.

도 3 은 본 발명에 따른 자기변형 현상을 이용한 마이크로 가오리 운동체에 관한 전체 구성도.

도 4 및 도 5 는 본 발명에 따른 자기변형계수의 측정에 미치는 자기변형박막의 탄성에너지의 영향에 관한 결과를 나타내기 위한 일예시도.

도 6 및 도 7 은 본 발명에 따른 자기변형을 위해 제안된 유한 요소를 설명하기 위한 일예시도.

도 8 및 도 9 는 본 발명에 따른 자기변형 MEMS소자의 해석을 위해 개발된 유한요소를 이용하여 수행된 해석결과를 보여주는 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 본 발명의 구체적 특징 및 이점들은 첨부도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다. 이에 앞서 본 발명에 관련된 공지 기능 및 그 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는, 그 구체적인 설명을 생략하였음에 유의해야 할 것이다.

[0033] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 상세하게 설명한다.

[0034] 본 발명에 따른 자기변형 현상을 이용한 마이크로 가오리 운동체에 관하여 도 3 내지 도 9 를 참조하여 설명하면 다음과 같다.

[0035] 도 3 은 본 발명에 따른 자기변형 현상을 이용한 마이크로 가오리 운동체(A)에 관한 구성도로서, 도시된 바와 같이, 몸체부(100), 자기변형박막(200) 및 원격 조정부(300)를 포함하여 이루어진다.

[0036] 몸체부(100)는 가오리 형상의 유연 플레이트로서, 비닐 또는 폴리이미드 필름(Poly-imide Film) 재질로 이루어진다.

[0037] 자기변형박막(Magnetostrictive thin film)(200)은 상기 몸체부(100)의 상하단면에 다수 증착 형성되어, 외부의 원격 조정부(300)로부터 전송되는 자기장의 주파수에 따라 자기 변형된다.

[0038] 여기서, 상기 몸체부(100) 및 자기변형박막(200)은 T형 뿐만 아니라 정사각형, 원형, 마름모형 등과 같은 다양한 형상으로 제작할 수 있다.

[0039] 또한, 상기 자기변형박막(200)은 TbDyFe, Tb-Fe, Sm-Fe 및 Terfenol 재질 중에서 적어도 2종 이상이 선택 사용되며, 스퍼터링 방식에 의해 플레이트 상에 증착 형성되는 것이 바람직하며, 인접하는 박막들(210을 기준으로 하였을 때, 220)과 서로 다른 재질로 형성되는 것이 바람직하다.

[0040] 또한, 다수개의 자기변형박막(200)의 자기변형 방향은 X축 또는 Y축이며, 다수개의 자기변형박막(200)은, 인접하는 박막들(210을 기준으로 하였을 때, 220)과 자기변형되는 방향 및 공명주파수가 서로 다르게 형성되어 몸체부(100)를 원하는 방향으로 선택 이동시킨다.

[0041] 원격 조정부(300)는 상기 자기변형박막(200)으로 소정의 주파수를 갖는 AC자기장을 전송하여, 서로 다른 공명주파수를 갖는 다수개의 자기변형박막(200)의 길이를 선택적으로 변형시킴으로써 몸체부가 특정 방향으로 이동되도록 제어한다.

[0042] 일반적으로 MEMS에서의 대부분의 액추에이터(actuator)는 정자기에너지를 이용하는 경우가 일반적이고, 자기에너지를 활용하기 위해서는 외부 자기장에 의해서 길이가 변하는 자기변형(자왜; magnetostriction) 효과를 이용하는데, 자기변형 효과를 이용하는 경우 가장 큰 장점은 자기장에 의해서 원격 조절이 가능하다는 점이다. 원격 제어가 가능하다는 것은 MEMS에서 널리 쓰이는 압전기(piezoelectricity) 등과 대비하여 볼 때 비교할 수 없는 이점이 된다.

[0043] 원격제어가 중요하게 고려되는 분야는 MEMS의 중요한 응용 분야인 생체, 의료 등이 있는데 이 분야의 연구에 있어서 원격 제어가 필수적이라는 것은 두말할 나위가 없다.

[0044] 원격조절이 가능하다는 것은 동시에 국소적 제어가 힘들다는 문제점을 야기시키는데, 압전기(piezoelectricity)와 같이 전기적으로 제어를 하는 경우는 원하는 부위만 선택적으로 동작을 제어할 수 있는 반면에, 원격으로 조절하는 경우 외부 자기장의 영역에 있는 모든 자기변형 물질이 같은 자기장에 노출되어 국소적 제어가 곤란하다. 이 문제를 해결하기 위해 유한요소해석을 통한 동작 부위의 공명 주파수를 각기 다르게 설계하면 외부 인가 자기장의 주파수에 따라서 각 동작 부위들이 선택적으로 반응을 하게 된다. 따라서 원격으로도 국소적 제어가 가능한 것이다.

[0045] 본 발명에서는 자기변형재료(또는 자왜재료; magnetostrictive materials)가 주로 박막 형태로 응용되는 미소 감지기(micro sensor) 및 미소 작동기(micro actuator)의 설계를 위하여 3차원 유한요소 모델링 기술의 개발, 자기변형 복합재료의 설계 및 기계적 특성해석을 위한 유한요소 모델의 구성 등과 같은 요소도 상당히 중요하다.

[0046] 아울러, MEMS의 제작은 복잡한 포토리소그래피나 3차원 스테레오그래피 등의 공정을 요구하기 때문에 제작 후 문제점을 보완하는 방식의 접근은 매우 비용이 크므로, 직접 시료를 제작하기 전에 실제 동작이 예측 가능한 유한요소 해석을 이용한 설계의 중요성이 매우 큰 분야이다.

[0047] 특히, MEMS의 응용 분야 중 점차 그 중요성이 증대되고 있는 생체, 의료 분야의 응용에 있어서 원격 조절이 가능하기 위해서는 자기변형 물질을 이용한 MEMS의 제작이 요구되는데, 현재까지의 유한요소 해석법으로는 자

기변형물질의 비선형적인 동작으로 인해서 정확한 예측이 곤란한 상황이다.

[0048] 이에 따라, 정 자기변형 해석을 위한 3차원 유한요소 해석 모델을 개발하였다.

[0049] 미소 작동기로서 응용을 위해서는 일반적으로 자기변형 박막이 지니고 있는 포화 자기변형(saturation magnetostriction) 또는 이에 가까운 큰 변형이 발생할 수 있도록 외부 자기장을 인가하게 되고 이로 인해 자기변형 이력현상(magnetostrictive hysteresis)이 발생하게 된다. 따라서 자기변형 MEMS 소자의 설계를 위해서는 자기변형 이력을 고려할 수 있는 기능이 반드시 요구된다. 아울러 대변형으로 인한 기하학적 비선형을 고려할 수 있는 기능 역시 요구된다.

[0050] 또한, 자기변형 MEMS 소자의 해석을 위해서는 기계-자기 연성 해석이 요구되는 데, 지금까지의 자기변형 해석을 위해 제안된 유한요소 모델들은 주로 절점 위주의 유한요소(node-based element) 해석을 기본으로 하고 있다. 그러나 자기장 해석의 경우 이러한 유한요소 모델링은 몇 가지 단점을 지니고 있는 것으로 알려져 있다.

[0051] 즉, 첫째로 발산정리를 만족하지 못하는 물리적으로 타당하지 않은 해석 결과를 얻을 수 있으며, 둘째로 경계조건의 정의하기 어려우며, 마지막으로 모서리(edges)나 구석(corners)에서 자기장의 특이성(singularities)이 발생하기 때문에 해석영역이 이러한 구조를 갖는 경우 어려움이 발생하게 된다. 이러한 어려움 때문에 벡터 유한요소(vector finite element)가 개발되었으며 성공적인 해석 사례가 보고되었다. 이에 본 발명에서는 자기장 해석에서는 벡터 요소를 사용하며 응력 해석을 위해서는 통상적인 유한요소를 사용하는 혼용기법을 개발하여야 한다.

[0052] 대부분의 자기변형 MEMS 소자는 2차원 형상을 지니고 있기 때문에 응력 해석만을 고려하거나 간접적으로 자기-기계 연성 효과를 고려할 경우에는 대부분 2차원 유한 요소모델 또는 축대칭 유한요소 모델을 이용하여 해석이 충분하다. 그러나 직접적으로 자기-기계 연성 효과를 고려할 경우에는 3차원 유한요소 해석이 필요하게 된다.

[0053] 그리고, 고주파수 영역에서의 동적 해석을 위한 3차원 유한요소 해석 모델에 대해 살펴보면, 자기변형 현상을 이용하는 마이크로 모터 및 마이크로 펌프와 같은 자기변형 MEMS 소자는 일반적으로 고주파수 영역에서 동작하게 된다. 따라서 자기변형 MEMS 소자의 설계자들은 와류손실 등과 자기적 손실, 기계적 진동 및 감쇠와 같은 기계적 거동을 이해하여야 한다.

[0054] 본 발명에서는 고주파수 영역에서의 자기적 해석 및 기계적 해석을 수행할 수 있는 유한요소 모델을 개발하고, 개발된 자기변형 MEMS 소자 해석용 3차원 유한요소 해석 코드의 검증을 위해 자기 변형 MEMS 소자를 제작한 것이다.

[0055] 이러한 검증이 필요한 이유는 미소 자기변형 현상에 관한 이론적 연구 결과가 매우 빈약하며, 이론적 해석 대상의 기하학적 형태 또한 매우 한정적이기 때문에 효율적인 검증 수단이 되지 못하기 때문이다.

[0056] 또한, 선행 연구자들의 실험적 연구 역시 유한요소 모델의 검증에 필요한 충분한 자료를 제공하지 않기 때문에 직접적인 검증수단으로서의 역할을 하지 못한다. 이러한 이유로 본 발명에서는 자기변형 유한요소 해석의 효과적인 신뢰도 검증을 위한 자기변형 MEMS 소자를 제작한다.

[0057] 상기 자기변형 MEMS 소자를 제작할 경우 자기변형박막을 스퍼터링(sputtering) 방식에 의해 MEMS 소자의 플레이트 상에 증착 형성하는 것이 바람직하다.

[0058] 이와 같은 모델링과 과정을 통해 본 발명의 자기변형박막을 갖는 마이크로 이동체를 개발하였고, 자기변형박막의 정확한 자기변형계수(magnetostrictive coefficient) 측정은 자기변형 현상을 응용하는 MEMS 작동기의 설계에 있어 매우 중요하다.

[0059] 자기변형계수는 측정하고자 하는 자기변형 박막이 증착된 캔틸레버의 횡 방향 변위를 측정함으로써 측정할 수 있는데 이것은 캔틸레버의 횡 방향 변위가 자기변형계수에 선형적으로 의존하기 때문이다.

[0060] 최근까지 캔틸레버의 횡 방향 변위를 자기변형계수, 탄성계수, 포와송 비 등의 함수로 보다 정확하게 표현하려는 이론적인 연구가 지속적으로 진행되어 왔다. 그러나 이러한 대부분의 연구는 '자기변형 박막의 두께가 기판(substrate)에 비해 훨씬 작기 때문에 자기변형 박막의 탄성에너지는 무시할 수 있다'고 가정하고 있다.

[0061] 그러나 이러한 가정의 타당성은 지금까지 전혀 검증된 바가 없으며, 이에 본 출원인은 문헌에 나타난 자기변형 박막에 대해 자기변형 박막의 탄성에너지가 고려된 이론식을 적용하여 자기변형계수를 계산하고, 이를 탄

성에너지가 무시된 경우의 자기변형계수와 비교함으로써 앞서 언급된 가정의 타당성을 고찰하였다.

[0062] 본 발명을 통해 '자기변형 박막의 두께가 기판에 비해 훨씬 작기 때문에 자기변형 박막의 탄성에너지는 무시할 수 있다'는 일반적인 가정은 항상 옳지 않다는 결론을 내릴 수 있었고, 아래의 [표 1] 과 도 4 및 도 5 는 해당 연구개발에 대한 대표적인 결과를 나타낸다.

표 1

[0063]

	TbDyFe / Si	Tb-Fe / Polyimide	Sm-Fe / Polyimide
ξ	20	2	2
ζ	0.52	19.5	10.3
η	9.8	45.4	29.9
β	0.6392	0.6634	0.6634

[0064] 여기서, ξ는 박막과 기판의 두께의 비이고, ζ는 박막과 기판의 탄성에너지의 비, η는 자기변형 상수의 계산오차이다.

[0065] 도 4 및 도 5 는 자기변형계수의 측정에 미치는 자기변형박막의 탄성에너지의 영향에 관한 결과를 나타낸 도면으로, 외팔보에서 반도체 기판(Si) 상에 TbDyFe 재질의 자기변형박막을 증착하고, 폴리이미드 기판 상에 Tb-Fe 재질의 자기변형박막을 증착하며, 폴리이미드 기판 상에 Sm-Fe 재질의 자기변형박막을 각각 증착한 후 실험하여 도 5 와 같은 자계와 자기변형계수의 결과를 얻은 것이다.

[0066] 도 6 및 도 7 은 본 발명에 의해 제안된 자기변형을 위해 제안된 유한 요소를 설명하기 위해 도시한 도면으로서, 도 6 은 보 요소(beam element)를 도시한 것이고, 도 7 은 판 요소(plate element)를 나타낸 것이다.

[0067] 여러 개의 자기변형박막으로 구성되는 다층박막 자기변형 캔틸레버의 변위 해석을 위한 일차원 보 요소(beam element)를 제안하였다.

[0068] 이 요소를 통해 등가 자기변형응력(equivalent magnetostrictive stress)의 개념을 이용하여 자기변형의 이방성을 직접적으로 고려할 수 있으며, 또한 자기변형 박막의 휨에 미치는 기판의 휨 강성을 고려할 수 있다. 또한 보 요소로는 고려할 수 없는 평면 외 변형(out of plane deformation)과 보의 굽힘에 미치는 캔틸레버의 폭의 영향을 고려하기 위해 일차원 보 요소에 적용된 개념을 이차원으로 확장한 판 요소를 도 7 과 같이 제안하였다.

[0069] 도 8 및 도 9 는 자기변형 MEMS소자의 해석을 위해 개발된 유한요소를 이용하여 수행된 해석 결과를 보여준다.

[0070] 이와 같이 다양한 형태를 지닌 자기변형 시료의 마이크로 패턴에 따른 주파수 특성 분석을 개발된 유한요수 해석법의 결과와 비교 분석하여, 유한요소해석법의 해에 대한 신뢰성을 확보한다. 또한, 다양한 형태의 미세 패턴에 대한 주파수 특성을 연구하여, 외부에서 인가한 자기장의 주파수 특성에 따라서 국소적으로 자기변형 현상이 발생할 수 있도록 한다.

[0071] 이상으로 본 발명의 기술적 사상을 예시하기 위한 바람직한 실시예와 관련하여 설명하고 도시하였지만, 본 발명은 이와 같이 도시되고 설명된 그대로의 구성 및 작용에만 국한되는 것이 아니며, 기술적 사상의 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대해 다수의 변경 및 수정이 가능함을 당업자들은 잘 이해할 수 있을 것이다. 따라서, 그러한 모든 적절한 변경 및 수정과 균등물들도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

부호의 설명

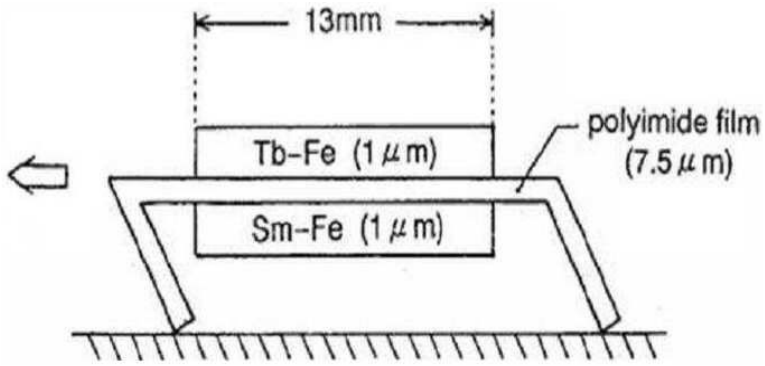
[0072] A: 자기변형 현상을 이용한 마이크로 가오리 운동체

100: 몸체부 200: 자기변형박막

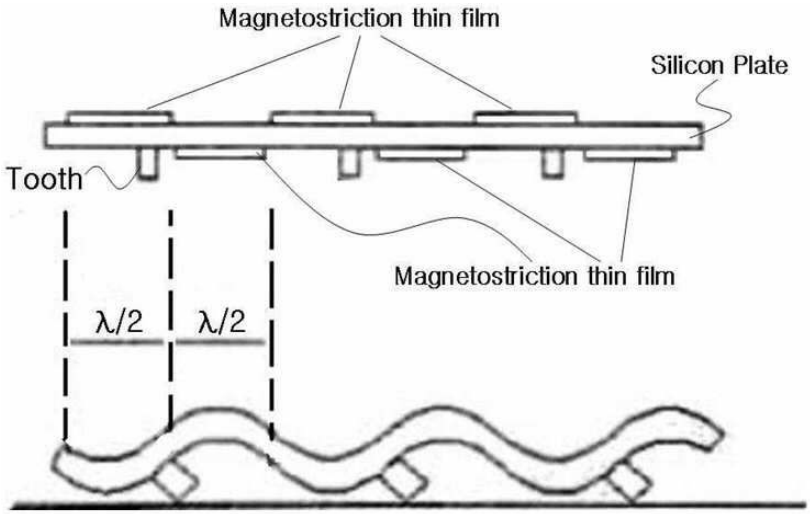
300: 원격 조정부

도면

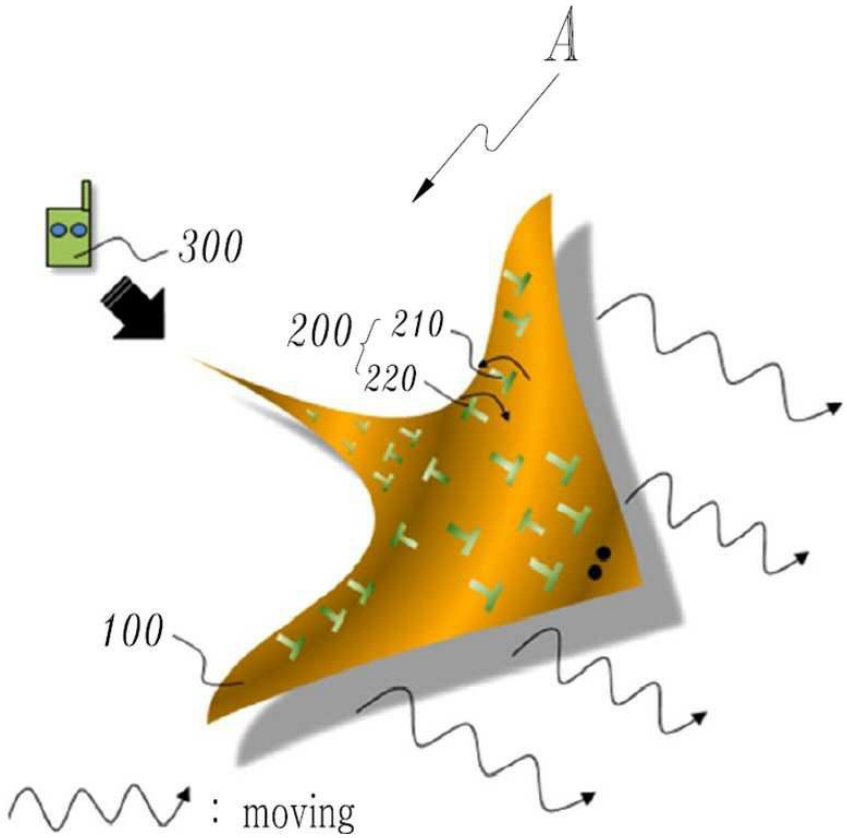
도면1


13mm
polyimide film
(7.5㎛)
Tb-Fe (1㎛)
Sm-Fe (1㎛)

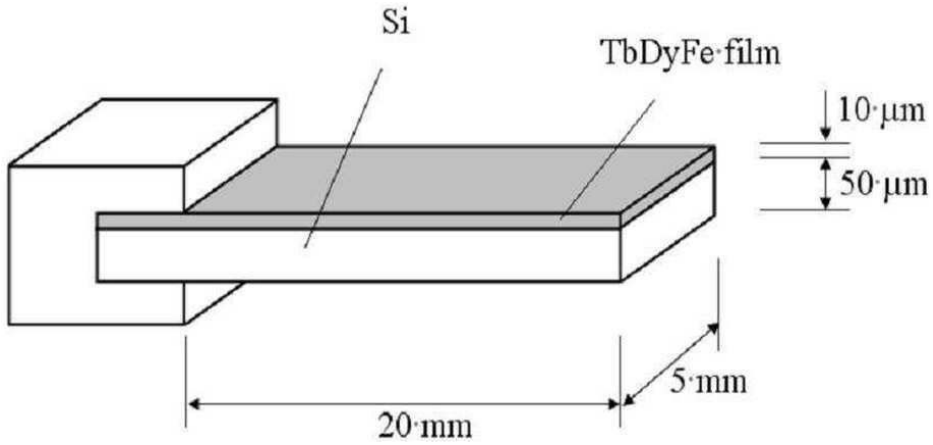
도면2


Magnetostriction thin film
Silicon Plate
Tooth
Magnetostriction thin film
λ/2
λ/2

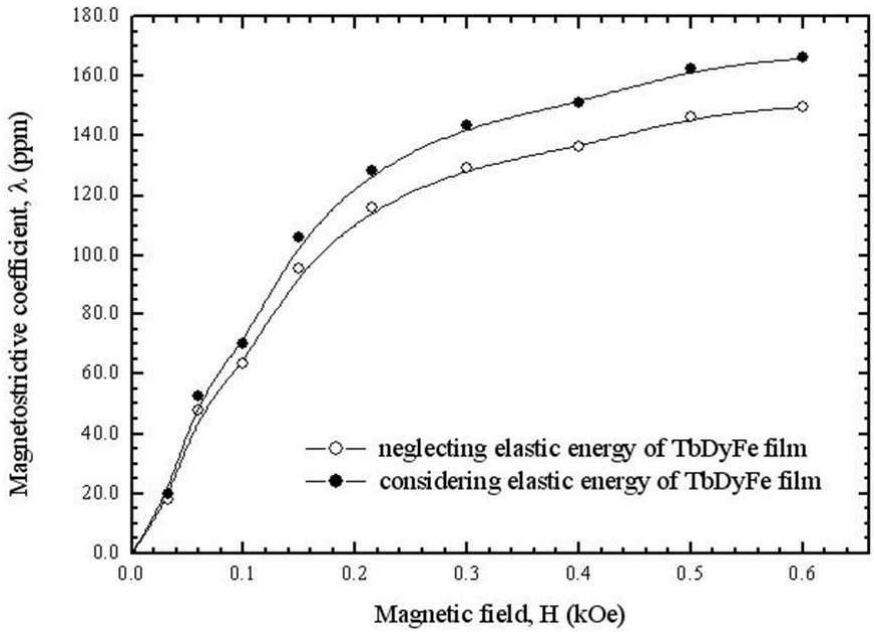
도면3



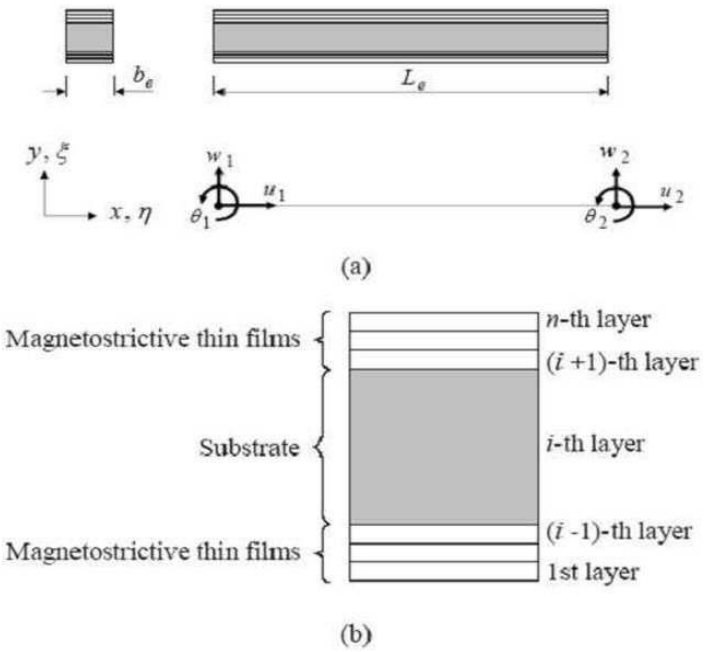
도면4



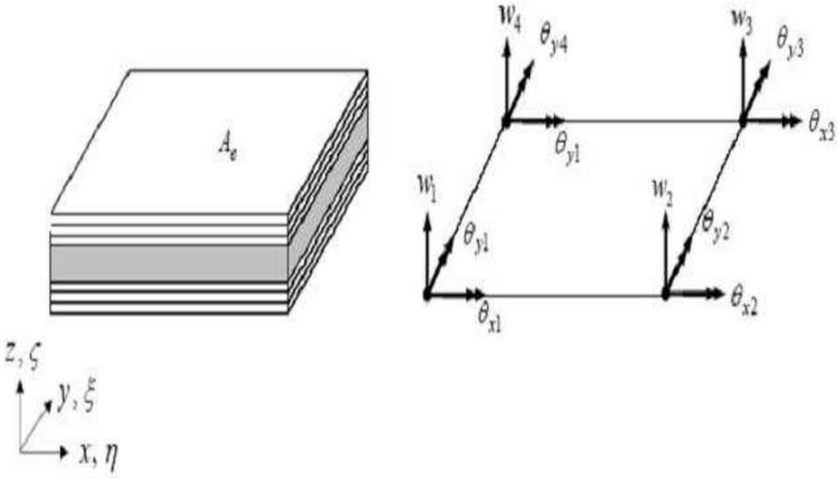
도면5


Magnetostrictive coefficient, λ (ppm)
Magnetic field, H (kOe)
neglecting elastic energy of TbDyFe film
considering elastic energy of TbDyFe film

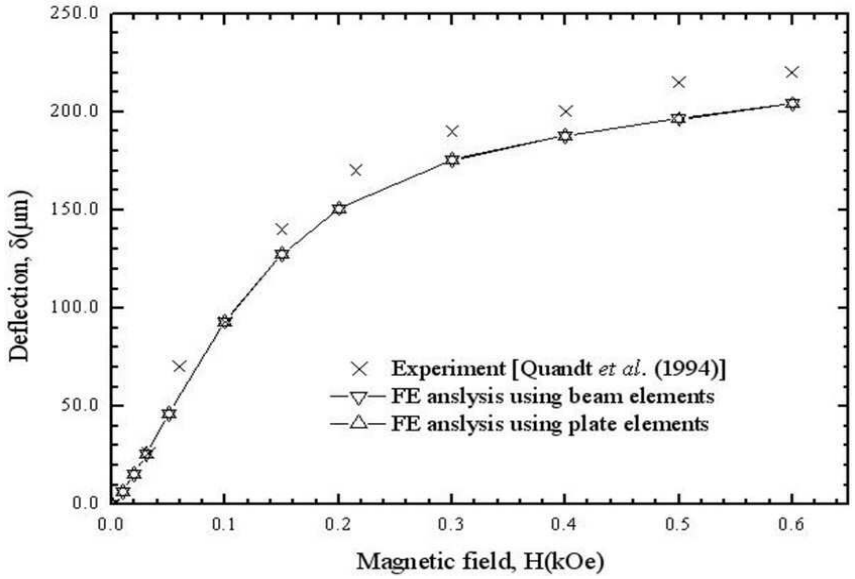
도면6


b_e
L_e
y, ξ
x, η
w_1
u_1
θ_1
w_2
u_2
θ_2
(a)
Magnetostrictive thin films
Substrate
Magnetostrictive thin films
n-th layer
$(i+1)$-th layer
i-th layer
$(i-1)$-th layer
1st layer
(b)

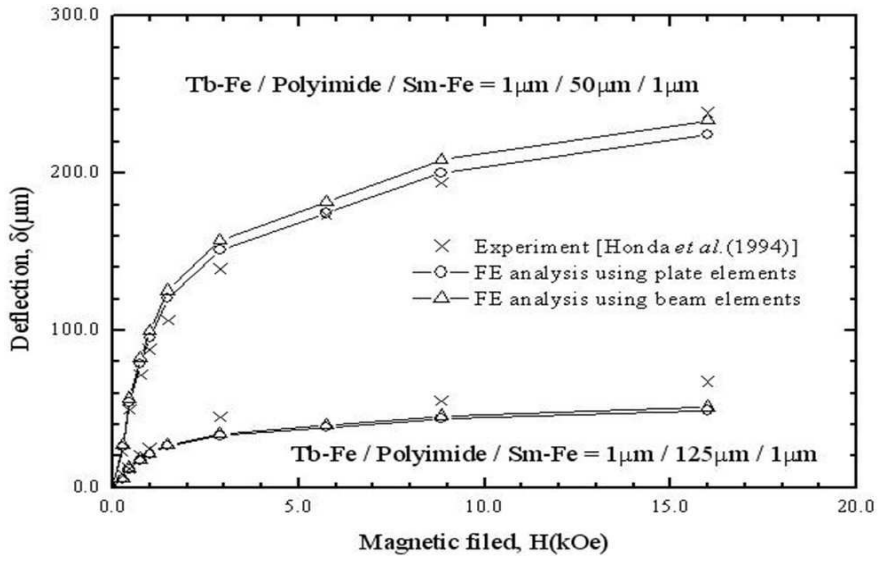
도면7


A_e
w_4
θ_{y4}
w_3
θ_{y3}
θ_{y1}
θ_{x3}
w_1
w_2
θ_{y1}
θ_{y2}
θ_{x1}
θ_{x2}
z, ζ
y, ξ
x, η

도면8


250.0
200.0
150.0
100.0
50.0
0.0
Deflection, δ(μm)
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
Magnetic field, H(kOe)
Experiment [Quandt et al. (1994)]
FE anslysis using beam elements
FE anslysis using plate elements

도면9


300.0
200.0
100.0
0.0
Deflection, δ(μm)
0.0
5.0
10.0
15.0
20.0
Magnetic filed, H(kOe)
Tb-Fe / Polyimide / Sm-Fe = 1μm / 50μm / 1μm
Experiment [Honda et al.(1994)]
FE analysis using plate elements
FE analysis using beam elements
Tb-Fe / Polyimide / Sm-Fe = 1μm / 125μm / 1μm