(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0119253
(43) 공개일자 2009년11월19일

(51) Int. Cl.
H01F 13/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-0045180
(22) 출원일자 2008년05월15일
심사청구일자 2008년05월15일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내
(72) 발명자
이경진
서울특별시 동대문구 제기2동 벽산아파트 106동 306호
서수만
서울특별시 강북구 미아4동 경남아너스빌아파트 107동 1504호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
현종철

전체 청구항 수 : 총 20 항

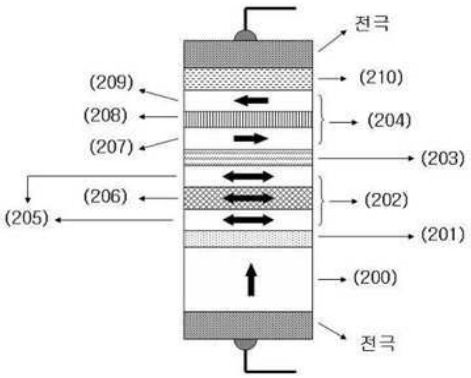
(54) 스핀전달토크현상을 이용한 고주파 마이크로 웨이브 및고주파 자기장 생성 소자

(57) 요 약

스핀전달토크현상을 이용한 고주파 마이크로 웨이브 생성 소자 및 고주파 자기장 생성 소자가 제공된다.

본 발명에 따른 고주파 마이크로 웨이브 생성 소자는 고정 자성층 / 비자성층 / 자유 자성층 / 비자성층 / 감지 자성층 / 반강자성층으로 구성된 구조이며, 상기 자유 자성층은 연자성의 제 1 물질을 포함하는 제 1 박막 및 음의 자기이방성 상수(K)를 갖는 제 2 물질로 이루어진 제 2 박막을 포함하고, 상기 고정 자성층은 박막의 수직방향의 자화 특성을 가지며, 그리고 상기 감지 자성층은 박막의 수평방향의 자화 특성을 가지며, 본 발명에 따른 고주파 마이크로 웨이브 생성 소자는 보다 높은 전류에서도 자화회전이 가능하다. 따라서 본 발명에 따른 고주파 소자는 고주파 교류신호를 생성할 수 있으므로, 이러한 고주파 영역에서 구동되는 Resonator, Oscillator, Band-path filter 등의 소자의 개발에 따라 기존 소자에 비해 보다 많은 정보를 빠른 시간에 전송 및 처리할 수 있으므로, 소자의 효율성을 증대시킬 수 있다.

대 표 도 - 도2



(72) 발명자

이현우

경북 포항시 남구 지곡동 756 교수숙소 9동 1902호

정순욱

경북 포항시 남구 지곡동 포항공과대학교 대학원 아파트 1동1303호

특허청구의 범위

청구항 1

고정 자성층 / 제 1 비자성층 / 자유 자성층 / 제 2 비자성층 / 감지 자성층 / 반강자성층을 포함하는 구조이며,

상기 자유 자성층은 연자성의 제 1 물질을 포함하는 제 1 박막 및 음의 자기이방성 상수(K)를 갖는 제 2 물질을 포함하는 제 2 박막을 포함하며,

상기 고정 자성층은 박막의 수직방향의 자화 특성을 가지며, 그리고

상기 감지 자성층은 박막의 수평방향의 자화 특성을 갖는 것을 특징으로 하는 고주파 마이크로 웨이브 생성 소자.

청구항 2

고정 자성층 / 비자성층 / 자유 자성층을 포함하는 구조이며,

상기 자유 자성층은 연자성의 제 1 물질을 포함하는 제 1 박막, 및 음의 자기이방성 상수(K)를 갖는 제 2 물질을 포함하는 제 2 박막을 포함하며,

상기 고정 자성층은 박막에 대하여 수직방향의 자화 특성을 가지며, 그리고

상기 감지 자성층은 박막의 수평방향의 자화 특성을 갖는 것을 특징으로 하는 고주파 자기장 생성 소자.

청구항 3

제 1 고정 자성층 / 자유 자성층 / 제 2 고정 자성층을 포함하는 구조이며,

상기 자유 자성층은 연자성의 제 1 물질을 포함하는 제 1 박막 및 음의 자기이방성 상수(K)를 갖는 제 2 물질을 포함하는 제 2 박막을 포함하며,

제 1 고정 자성층은 박막의 수직방향의 자화 특성을 가지며, 그리고

제 2 고정 자성층은 박막의 수직방향의 자화특성을 갖는 것을 특징으로 하는 고주파 자기장 생성소자.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 고정 자성층은 $(X/Y)_n$ 구조($n \geq 1$)의 다층박막이며, 여기에서 X 및 Y는 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr, Pt, Pd 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나로 이루어진 박막인 것을 특징으로 하는 고주파 마이크로 웨이브 생성소자.

청구항 5

제 2항 또는 제 3항에 있어서,

상기 고정 자성층은 $(X/Y)_n$ 구조($n \geq 1$)의 다층박막이며, 여기에서 X 및 Y는 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr, Pt, Pd 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나로 이루어진 박막인 것을 특징으로 하는 고주파 자기장 생성소자.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 감지 자성층은 제 1 자성층/비자성층/제 2 자성층의 인위적 반자성체구조를 가지며, 제 1 자성층과 제 2 자성층은 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나로 이루어지고, 상기 감지 자성층의 비자성층은 Ru, Cu, Al, Ta, Au, Ag 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나로 이루어진 것을 특징으로 하는 고주파 마이크로 웨이브 생성소자.

청구항 7

제 1항에 있어서,

제 1 물질은 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 고주파 마이크로 웨이브 생성소자.

청구항 8

제 2항 또는 제 3항에 있어서,

제 1 물질은 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 고주파 자기장 생성소자.

청구항 9

제 1항에 있어서,

제 2 물질은 이중 hcp 구조를 갖는 CoFe, α-FeC, MnSb, CoIr 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 고주파 마이크로 웨이브 생성 소자.

청구항 10

제 2항 또는 제 3항에 있어서,

제 2 물질은 이중 hcp 구조를 갖는 CoFe, α-FeC, MnSb, CoIr 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나인 것을 특징으로 하는 고주파 자기장 생성 소자.

청구항 11

제 1항에 있어서,

상기 반강자성층은 Ir, Pt, Mn 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나로 이루어진 것을 특징으로 하는 고주파 마이크로 웨이브 생성 소자.

청구항 12

제 3항에 있어서,

제 1 고정 자성층의 자기이방성자계 H_{k1}는 제 2 고정자성층의 자기이방성자계 H_{k2}와 상이한 것을 특징으로 하는 고주파 자기장 생성 소자.

청구항 13

제 1 항에 있어서,

고주파 마이크로 웨이브 생성 소자의 면내 모양은 원형인 것을 특징으로 하는 고주파 마이크로 웨이브 생성 소자.

청구항 14

제 2항 또는 제 3항에 있어서,

고주파 자기장 생성 소자의 면내 모양은 원형인 것을 특징으로 하는 고주파 자기장 생성 소자.

청구항 15

제 1 항에 있어서,

제 1 비자성층과 제 2 비자성층은 Ru, Cu, Al, Ta, Au, Ag, AlO_x, MgO, TaO_x, ZrO_x 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나로 이루어지는 것을 특징으로 하는 고주파 마이크로 웨이브 생성소자.

청구항 16

제 15항에 있어서,

제 1 비자성층과 제 2 비자성층은 서로 상이한 물질인 것을 특징으로 하는 고주파 마이크로 웨이브 생성소자.

청구항 17

제 1항에 있어서,

상기 자유 자성층은 제 2 박막이 제 1 박막 내에 삽입된 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 고주파 마이크로 웨이브 생성소자.

청구항 18

제 1항에 있어서,

상기 자유 자성층은 제 2 박막이 제 1 박막의 일 측면 또는 양 측면 상에 적층된 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 고주파 마이크로 웨이브 생성소자.

청구항 19

제 2항 또는 제 3항에 있어서,

상기 자유 자성층은 제 2 박막이 제 1 박막 내에 삽입된 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 고주파 자기장 생성소자.

청구항 20

제 2항 또는 제 3항에 있어서,

상기 자유 자성층은 제 2 박막이 제 1 박막의 일 측면 또는 양 측면 상에 적층된 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 고주파 자기장 생성소자.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

<1> 본 발명은 스핀전달토크현상을 이용한 고주파 마이크로 웨이브 및 고주파 자기장 생성 소자에 관한 것으로, 보다 상세하게는 종래 기술에 비하여 월등히 높은 주파수의 전기 신호 및 교류 자기장을 생성할 수 있는 고주파 마이크로 웨이브 및 고주파 자기장 생성 소자에 관한 것이다.

배 경 기 술

<2> 자성체는 외부에서 자기장을 걸어주지 않더라도 자발적으로 자화되어 있는 물질을 말한다. 특히 제 1 자성체 (고정 자성층) / 비자성체 / 제 2 자성체 (자유 자성층)를 순차적으로 적층한 스핀밸브 구조에서는 고정 자성층과 자유 자성층의 상대적인 자화방향, 예를 들어 서로 평행한가, 또는 반 평행한가에 따라 전기 저항이 달라지는 거대자기저항 효과가 발생한다. 이러한 거대자기저항 효과는 상대적인 자화방향이 전류를 조절할 수 있다는 것을 의미하며, 뉴톤의 제 3 법칙인 작용-반작용 법칙에 따라 전류를 흘려주면 상대적인 자화방향을 조절할 수 있다. 따라서 이와 같이 스핀밸브 구조에 전류를 인가하여 자유 자성층의 자화를 반전, 회전시키는 소자가 IBM에서 제안되었고, 또한 실험적으로 입증되었다. 이 경우 제 1 자성체에 의해 스핀분극된 전류가 제 2 자성체를 통과하면서 자신의 스핀각운동량을 전달하기 때문이며, 이를 스핀전달토크 (Spin-Transfer Torque)라 부른다.

<3> 효과적인 자화회전을 위해 고정 자성층의 자화방향을 박막면에 수직이 되도록 하는 구조가 제안되었는데, 이 구조에서 고정 자성층에 의해 분극된 전류의 스핀분극방향은 고정 자성층의 자화방향과 같은 수직방향을 갖는다. 스핀분극된 전류의 스핀전달토크로 인하여 전류주입에 의한 자화회전이 발생하며, 전류증가에 따라 자화회전 주파수가 증가하고 동시에 자유 자성층 자화의 수직성분이 증가하여, 자유 자성층 자화의 수평성분은 감소한다. 그 결과 충분히 큰 전류에서 자유 자성층의 자화가 완전히 수직방향으로 포화되면 더 이상 자화회전이

일어나지 않게 된다.

<4> 이와 같은 스핀전달토크에 의한 고속 자화회전을 이용하여 두 가지 응용소자가 가능하다. 첫 번째 응용소자는 고주파영역의 통신 및 논리소자 등에 사용할 수 있는 고주파 교류신호 전자소자이다.

<5> 도 1은 종래의 기술에 따른 고주파 교류신호 전자소자의 구조를 나타내는 단면도이다.

<6> 도 1을 참조하면, 고주파 교류신호 전자소자는 기본적으로 수직방향의 자화를 갖는 제 1 자성체 (100: 고정 자성층) / 비자성체 (101) / 전류에 의해 고속으로 회전하는 제 2 자성체 (102: 자유 자성층) / 비자성체 (103) / 신호 감지를 위해 수평방향의 자화를 갖는 제 3 자성체 (104: 감지층) / 반강자성층 (108)의 구조를 갖는다. 이때 감지층은 자성층1 (105) / 비자성체 (106) / 자성층2 (107)의 구조를 갖으며, 이는 Ru 등의 비자성체 (106)를 통한 RKKY 상호작용에 의해 자성층1 (105)과 자성층2 (107)의 자화방향이 서로 반대가 되어, 전체 감지층 (104)으로부터 발생하여 자유 자성층 (102)에 인가되는 누설자계가 거의 0이 되도록 하여, 자유 자성층 자화의 자유로운 자화회전을 방해하지 않도록 한다. 또한, 반강자성층 (108)은 감지층 중 자성층2 (107)의 자화방향을 한 방향으로 고정시켜주는 교환 바이어스를 제공한다. 따라서 전류 인가에 의해 자유 자성층의 자화가 고속으로 회전하면 자유 자성층 자화와 감지층 자화의 각도가 시간에 따라 변하게 되고, 그 결과 거대자기저항 효과로 인하여 저항이 시간에 따라 변하게 되어 고주파 교류신호를 발생시키는 것이 가능하다.

<7> 두 번째 응용소자는 고밀도 정보저장소자인 컴퓨터 하드디스크 등에 사용할 수 있는 고주파 자기장 발생소자이다. 하드디스크의 기록밀도를 증가시키기 위해서는 자기기록매체의 단위결정립 (crystalline grain)의 크기를 줄여야 한다. 이는 시그날 대 노이즈 비 (SNR: Signal-to-Noise Ratio)가 단위 기록비트 내의 결정립 수가 클수록 크기 때문이다. 그러나 이와 같이 결정립 크기를 줄이게 되면 초상자성 한계, 즉 상온에서의 열에너지에 의해 기록된 자화방향이 일정 시간 내에 바뀌어버리는 문제, 즉 기록된 자기정보가 원하지 않게 지워지는 문제가 발생한다. 열에너지에 저항하여 평균적으로 자화방향이 유지되는 시간 (t)은 하기 수학식 1로 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$t = \frac{1}{f_0} exp\left(\frac{KV}{k_B T}\right)$$

<8>

<9> 상기 식에서 f_0는 시도주파수로 1 GHz 정도이며, K는 기록매체의 자기이방성 상수, V는 결정립의 부피, k_B는 볼쯔만 상수 (=1.381x10^{-16} erg/K), T는 캘빈온도이다.

<10> 상기 수학식 1로부터 고밀도 자기기록을 위하여 결정립의 크기 (V)를 줄이게 되면, 시간 (t)를 상용화가 가능한 값으로 유지하기 위해 K를 키워야 함을 알 수 있다. 그런데 자기기록매체에 원하는 자기정보를 기록하기 위해 필요한 자기장의 크기는 자기기록매체의 이방성자계 H_k (=2K/Ms, Ms는 자기기록매체의 포화자화양)에 비례한다. 즉, 결정립의 크기를 줄일수록 높은 K가 필요하게 되므로, 결과적으로 기록에 필요한 자기장의 크기가 증가하게 된다. 현재 하드디스크에서 현존하는 기록헤드를 이용하여 만들 수 있는 최대 자기장은 제한되어있기 때문에 보다 높은 기록밀도를 얻기 위해 높은 H_k를 갖는 자기기록매체를 효과적으로 기록할 수 있는 방법이 요구된다. 최근 카네기멜론대의 Zhu 교수 등은 기록헤드로부터 발생하는 자기장에 더하여 고주파 변조 자기장을 동시에 인가하여 기록에 필요한 전체자기장의 크기를 효과적으로 저감할 수 있는 방식을 제안하였다(J. -G. Zhu, X. Zhu, and Y. Tang, IEEE Trans. Magn. **44**, 125 (2008)). 이 방식에서는 스핀전달토크에 의해 자유 자성층 자화가 고속으로 회전하고, 이로 인해 외부에 발생되는 교류자기장의 주파수가 기록매체의 자화의 공진주파수에 근접하면 원래 H_k 보다 낮은 자기장으로 자기기록매체를 기록하는 것이 가능하다. 이때 자유 자성층의 자화에 따른 회전 주파수를 충분히 얻는 것은 매우 중요하며, 상기 회전 주파수는 전류의 크기에 비례한다. 하지만, 큰 회전 주파수를 얻기 위하여 전류를 증가시키는 경우 자유 자성층의 자화는 점차 박막의 수직방향으로 커지며, 그 결과 일정 수준의 임계 전류 이상에서는 더 이상 자화회전을 하지 않게 되는 문제가 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

<11> 따라서 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 높은 임계 전류를 가지며, 그 결과 큰 자화회전이 가능한 고주파 마이크로 웨이브 및 고주파 자기장 생성 소자를 제공하는 데 있다.

과제 해결수단

<12> 상기 과제를 해결하기 위하여, 본 발명은 고정 자성층 / 제 1 비자성층 / 자유 자성층 / 제 2 비자성층 / 감지 자성층 / 반강자성층을 포함하는 구조이며, 상기 자유 자성층은 연자성의 제 1 물질을 포함하는 제 1 박막 및 음의 자기이방성 상수(K)를 갖는 제 2 물질을 포함하는 제 2 박막을 포함하며, 상기 고정 자성층은 박막의 수직방향의 자화 특성을 가지며, 그리고 상기 감지 자성층은 박막의 수평방향의 자화 특성을 갖는 것을 특징으로 하는 고주파 마이크로 웨이브 생성 소자를 제공한다. 또한, 본 발명은 고정 자성층 / 비자성층 / 자유 자성층을 포함하는 구조이며, 상기 자유 자성층은 연자성의 제 1 물질을 포함하는 제 1 박막, 및 음의 자기이방성 상수(K)를 갖는 제 2 물질을 포함하는 제 2 박막을 포함하며, 상기 고정 자성층은 박막에 대하여 수직방향의 자화 특성을 가지며, 그리고 상기 감지 자성층은 박막의 수평방향의 자화 특성을 갖는 것을 특징으로 하는 고주파 자기장 생성 소자를 제공한다. 더 나아가, 본 발명은 제 1 고정 자성층 / 자유 자성층 / 제 2 고정 자성층을 포함하는 구조이며, 상기 자유 자성층은 연자성의 제 1 물질을 포함하는 제 1 박막 및 음의 자기이방성 상수(K)를 갖는 제 2 물질을 포함하는 제 2 박막을 포함하며, 제 1 고정 자성층은 박막의 수직방향의 자화 특성을 가지며, 그리고 제 2 고정 자성층은 박막의 수직방향의 자화특성을 갖는 것을 특징으로 하는 고주파 자기장 생성소자를 제공한다.

<13> 본 발명의 일 실시예에서 상기 고정 자성층은 $(X/Y)_n$ 구조($n \geq 1$)의 다층박막이며, 이때 X 및 Y는 Fe, Co, Si, Zr, Ni, B, Si, Zr, Pt, Pd 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나로 이루어진 박막이며, 또한 상기 감지 자성층은 제 1 자성층/비자성층/제 2 자성층의 인위적 반자성체구조를 가지며, 이때 제 1 자성층과 제 2 자성층은 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나로 이루어지고, 상기 감지 자성층의 비자성층은 Ru, Cu, Al, Ta, Au, Ag 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나로 이루어진다.

<14> 또한 본 발명의 또 다른 일 실시예에서 상기 제 1 물질은 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나이며, 제 2 물질은 이중 hcp 구조를 갖는 CoFe, α-FeC, MnSb, CoIr 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나이다. 더 나아가, 상기 반강자성층은 Ir, Pt, Mn 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나로 이루어지며, 제 1 고정 자성층의 자기이방성자계 H_{k1}는 제 2 고정자성층의 자기이방성자계 H_{k2}와 상이하다.

<15> 또한 본 발명에 따른 고주파 마이프로 웨이브 생성 소자 및 고주파 자기장 생성소자는 면내 모양은 원형이다. 본 발명의 일 실시예에서 상기 제 1 비자성층과 제 2 비자성층은 Ru, Cu, Al, Ta, Au, Ag, AlO_x, MgO, TaO_x, ZrO_x 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나로 이루어지며, 이때 제 1 비자성층과 제 2 비자성층은 서로 상이한 물질일 수 있다.

<16> 본 발명에 따른 고주파 마이크로 웨이브 생성 소자 및 고주파 자기장 생성 소자에서, 상기 자유 자성층은 제 2 박막이 제 1 박막 내에 삽입된 구조이거나, 제 2 박막이 제 1 박막의 일 측면 또는 양 측면 상에 적층된 구조일 수 있다.

효 과

<17> 본 발명에 따른 고주파 마이크로 웨이브 생성 소자는 보다 높은 전류에서도 자화회전이 가능하다. 따라서 본 발명에 따른 소자는 고주파 교류신호를 생성할 수 있으므로, 이러한 고주파 영역에서 구동되는 Resonator, Oscillator, Band-path filter 등의 소자의 개발에 따라 기존 소자에 비해 보다 많은 정보를 빠른 시간에 전송 및 처리할 수 있으므로, 소자의 효율성을 증대시킬 수 있다. 또한 컴퓨터 하드디스크용 고주파 자기장 소자 관점에서 보다 높은 주파수 영역에서 작동하는 소자가 개발되면, 자기기록매체의 공진주파수가 $\gamma \cdot H_K$이고 (이때 γ (=$1.76 \times 10^7 Oe^{-1} s^{-1}$)는 자이로마그네틱 상수), H_K는 K에 비례하기 때문에, 보다 높은 K를 갖는 자기기록매체에 자기정보를 기록할 수 있게 되므로, 자기결정립의 크기를 기존 기술에 비해 더 작게 만들어도 열적 안정성에 문

제가 없게 되며, 결과적으로 보다 높은 기록밀도를 갖는 하드디스크 제조가 가능해진다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

<18> 상술한 바와 같이 본 발명은 보다 높은 전류에서도 자화회전이 가능한 고주파 마이크로 웨이브 생성 소자 및 고주파 자기장 생성 소자를 제공하는데, 본 발명에서는 자유 자성층의 임계 전류 값을 상승시킴으로써 종래 기술에 비하여 우수한 자화회전이 가능한 고주파 마이크로 웨이브 생성소자 및 고주파 자기장 생성 소자를 달성한다. 즉, 상술한 바와 같이 자유 자성층 자화에 따른 회전 주파수는 전류의 크기에 비례하며, 전류, 즉 스핀전달토크에 의해 자유 자성층의 자화가 완전히 박막의 수직방향으로 포화되면 더 이상 자화회전을 하지 않게 된다. 따라서 본 발명자는 높은 주파수의 신호 및 자기장을 발생시키기 위해서 자유 자성층 자화가 박막의 수직방향으로 포화시키는 임계전류의 값을 키우는 것이 필요하다는 점에 기초하여 본 발명에 이르게 되었으며, 이러한 임계전류 상승은 자유 자성층에 음의 자기이방성 상수 K를 갖는 자성체를 삽입함으로써 달성된다.

<19> 자성체의 자기이방성에너지는 하기 수학식 2로 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$E_K = K\sin^2\theta$$

<20>

<21> 상기 식에서 θ는 자화용이축과 자성체의 자화방향이 이루는 각도이다.

<22> 일반적인 상술한 응용소자에서 자유 자성층의 자화용이축은 박막의 면내방향에 있다. 따라서 자기이방성 상수 K가 음의 값을 갖는 물질을 자유 자성층에 덧붙이거나 삽입하면 θ=0, 즉 자화방향이 면내방향에 있을 때 자기이방성 에너지가 최소가 되기 때문에 자화의 수직성분이 생기는 것을 효과적으로 막을 수 있다.

<23> 이러한 음의 K값을 갖는 물질로는 이중 hcp 구조를 갖는 CoFe, α-FeC, NiAs-typed MnSb, hcp CoIr 등이 있다 (M. Takahashi and S. Kadowaki, J. Phys. Soc. Jpn. 48, 1391 (1980); M. Thkahashi, Y. Takahashi, and H. Shoji, IEEE Trans. Magn. **37**, 2179 (2001); N. Kikuchi *et al.*, J. Phys. Condens. Matter **11**, L485 (1999); T. Oikawa *et al.*, IEEE Trans. Magn. **38**, 1976 (2002). 상기 이중 hcp 구조를 보다 자세히 설명하면, 원자 한 층의 배열패턴을 A, B, C로 구분할 때, fcc 구조는 ABCABC…순서이며 일반적인 hcp는 ABAB…순서인데 비해, 본 발명의 일 실시예에서 사용된 이중 hcp 구조는 ABAC…순서로 fcc와 hcp와 구분되는 구조를 말한다. 하지만 본 발명은 상술한 물질에 제한되지 않으며, 음의 자기 이방성 상수를 갖는 한 어떠한 물질도 본 발명에 따른 마이크로 웨이브 생성 소자에 적용될 수 있으며, 이 또한 본 발명의 범위에 속한다.

<24> 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 고주파 마이크로 웨이브 생성 소자의 구조를 나타내는 단면도이다.

<25> 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 고주파 마이크로 웨이브 생성 소자는 기본적으로 수직방향의 자화를 갖는 제 1 자성체 (200: 고정 자성층) / 제 1 비자성체 (201) / 전류에 의해 고속으로 회전하는 제 2 자성체 (202: 자유 자성층) / 제 2 비자성체 (203) / 신호 감지를 위해 수평방향의 자화를 갖는 제 3 자성체 (204: 감지자성층) / 반강자성층 (210)으로 구성되어 있고, 자유 자성층 (202)은 스핀전달토크 및 감지신호의 극대화를 위하여, 큰 스핀분극률과 용이한 회전이 가능한 작은 자기이방성의 연자성체로 이루어진 제 1 박막 (205) 및 음의 자기이방성 상수(K) 값을 갖는 물질로 이루어진 제 2 박막 (206)을 포함한다. 특히 도 2는 상기 자유 자성층은 제 2 박막(206)이 제 1 박막(205) 내로 삽입된 구조를 개시하나, 이는 예시일 뿐, 상기 제 2 박막(206)은 제 1(205)의 일 측면 또는 양 측면 상에 적층되어, 제 1 박막/제 2 박막, 제 2 박막/제 1 박막, 제 2 박막 / 제 1 박막 / 제 2 박막의 구조를 가져도 무방하며, 이 또한 본 발명의 범위에 속한다. 즉, 음의 자기이방성 상수(K) 값을 갖는 물질로 이루어진 제 2 박막 (206)은 스핀분극률이 큰 물질로 이루어진 제 1 박막 (205) 내에 삽입되거나, 상기 제 1 박막을 가운데 두고 상기 제 1 박막의 양쪽 또는 어느 한쪽에 위치할 수 있다.

<26> 상기 제 1 박막의 구성 물질은 큰 스핀 분극률과 용이한 회전을 가능하게 하는 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다. 하지만, 본 발명은 이에 제한되지 않으며 큰 스핀 분극률과 용이한 회전이 가능한 한 어떠한 물질도 제 1 물질로 사용될 수 있으며, 이 또한 본 발명의 범위에 속한다. 또한 상기 제 2 박막의 구성 물질로 상술한 바와 같이 음의 자기이방성 상수를 갖는 한 임의의 어떠한 물질이 사용될 수 있다.

<27> 상기 고정 자성층은 $(X/Y)_n$ 구조(n≥1)의 다층박막이며, X 및 Y는 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr, Pt, Pd 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나로 이루어진 박막일 수 있다. 또한 상기 감지자성층(204)은 기존 구조와 동일하게, 제 1 자성층 (207) / 비자성체 (208) / 제 2 자성층 (209)의 구조를 갖으며, 이때 Ru 등의 비자성체(208)를 통한 RKKY 상호작용에 의해 자성층 (207)과 자성층 (209)의 자화방향이 서로 반대가 되어, 전체 감지층(204)으로부터 발생하여 자유 자성층 (202)에 인가되는 누설자계가 거의 0이 되도록 하여, 자유 자성층 자화의 자유로운 자화회전을 방해하지 않도록 한다. 이때 상기 감지자성층(204)의 제 1 자성층(207)과 제 2 자성층(209)은 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나로 이루어지고, 상기 감지 자성층의 비자성층(208)은 Ru, Cu, Al, Ta, Au, Ag 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나로 이루어질 수 있다.

<28> 또한 반강자성층 (210)은 감지자성층 중 자성층 (209)의 자화방향을 한 방향으로 고정시켜주는 교환바이어스를 제공한다.

<29> 더 나아가, 본 발명의 일 실시예에서 제 1 비자성체(201)와 제 2 비자성체(203)는 전기전도도가 현저히 높은 금속을 사용될 수 있는데, 소자의 전체 저항이 낮으면 동일한 인가전압에서 보다 많은 양의 전류가 흐르게 되어 고전력 소자가 가능해지기 때문이다. 예를 들면 Ru, Cu, Al, Ta, Au, Ag 등과 같이 전기전도도가 현저히 큰 물질이 제 1 비자성체(201)와 제 2 비자성체(203)의 구성물질로 사용될 수 있다. 또한 비자성체에 전기전도도가 현저히 낮은 물질을 사용하면, 동일전압 하에서 전류는 감소하지만, 전자의 터널링 효과에 의해 자화회전에 따른 자기저항의 차이가 매우 커지게 되므로, 비자성체 (201)과 비자성체 (203) 중 하나 혹은 둘 다에 전기전도도가 현저히 낮은 물질 또한 사용할 수 있으며, 예를 들어 AlO_x, MgO, TaO_x, ZrO_x 등의 산화물을 사용할 수 있다. 따라서, 상기 제 1 비자성체(201)와 제 2 비자성체(203)는 서로 상이한 전기전도도를 가지는 상이한 물질이 사용될 수 있다.

<30> 도 3은 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 고주파 자기장 생성 소자의 구조를 나타내는 단면도이다.

<31> 도 3에 따른 고주파 자기장 생성 소자의 경우 거대자기저항효과를 이용한 전기신호를 검출할 필요가 없기 때문에, 도 2에 개시한 구조에서 '신호 감지를 위해 수평방향의 자화를 갖는 제 3 자성체 (204: 감지층) / 반강자성층 (210)'을 제외한 구조를 갖는다.

<32> 더 나아가 고주파 자기장 생성 소자에서는 거대자기저항효과를 이용한 전기신호를 검출할 필요가 없기 때문에, 본 발명의 또 다른 일 실시예는 상기 구조보다 더 간단한 박막 적층 구조를 제공할 수 있는데, 이는 도 4에 도시된다.

<33> 도 4는 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 고주파 마이크로 웨이브 생성 소자의 구조를 나타내는 단면도이다.

<34> 도 4를 참조하면, 상기 일 실시예에 따른 고주파 마이크로 웨이브 생성 소자는 수직방향의 자화를 갖는 제 1 자성체, 즉 제 1 고정 자성층 (300) / 전류에 의해 고속으로 회전하는 자유 자성층 (301) / 수직방향의 자화를 갖는 제 2 자성체, 즉 제 2 고정 자성층 (302)으로 구성되며, 전류에 의해 고속으로 회전하는 자유 자성층(301)은 고주파 전자소자에서와 같이, 스핀전달토크 및 감지신호의 극대화를 위해, 높은 스핀분극률과 용이한 회전을 위한 작은 자기 이방성의 연자성체를 포함하는 제 1 박막 (303) 및 음의 자기 이방성 상수(K) 값을 갖는 물질을 포함하는 제 2 박막 (304)이 적층된 구조를 갖는다. 하지만, 이와 같은 구조는 예시일 뿐, 스핀분극률이 큰 물질로 이루어진 제 1 박막 (303)은 음의 K 값을 갖는 물질로 이루어진 제 2 박막 (304)을 양쪽에 두고 삽입되거나 어느 한쪽에 위치할 수 있다.

<35> 상기 구조에서 자유 자성층 양 옆의 수직자기이방성을 갖는 제 1 고정 자성층 (300)과 제 2 고정 자성층 (302)은, 자유 자성층에 존재하는 자벽이 전류에 의해 소자의 어느 한쪽 방향으로도 빠져나가지 못하도록 하는 포텐셜 우물의 역할을 한다.

<36> 상기 제 1 또는 제 2 고정 자성층은 전술한 바와 같이 $(X/Y)_n$ 구조(n≥1)의 다층박막구조로서, 이때 상기 X 및 Y는 Fe, Co, Ni, B, Si, Zr, Pt, Pd 및 이들의 혼합물 중에서 선택된 어느 하나로 이루어진 박막일 수 있다.

<37> 또한 자유 자성층에 자벽을 형성시키기 위해서는 제 1 자성체 (300)의 자기이방성자계 (H_{k1})과 제 3 자성체 (302)의 자기이방성자계 (H_{k2})이 서로 달라야 한다. 예를 들어 H_{k1}이 H_{k2}보다 큰 경우, 먼저 H_{k1}보다 큰 자기장을 외부에서 인가하여 제 1 자성체 및 제 3 자성체의 자화를 한쪽 수직 방향으로 정렬한 후, H_{k2}보다는 크고

H_{k1}보다는 작은 또 다른 외부자기장을 반대방향으로 인가하면 제 1 자성체의 자화방향과 제 3 자성체의 자화방향을 서로 반대가 되도록 만들 수 있고, 그 결과 제 2 자성층에 자벽이 형성된다. 이 상황에서 전류를 인가하면 스핀전달토크에 의해 자벽이 고속으로 회전하고, 그 결과 외부에 고주파 자기장을 형성하게 된다.

<38> 상기 구조는 전술한 구조에 비하여 간단한 구조이므로, 제조시 비용절감의 효과를 달성할 수 있다.

<39> 본 발명에 따른 상기 고주파 마이크로 웨이브 생성 소자는 높은 전류밀도를 얻기 위하여 가능한 한 작은 크기의 구조를 제조하여야 하므로, 패터닝 공정이 요구된다. 이때 면내 자기 형상 이방성이 어느 방향에서도 동일하여 자화의 고속회전을 원활하게 하도록 하기 위해서, 제조된 구조의 면내 모양이 가능하면 원에 가까워야 한다.

<40> 본 발명에 따른 고주파 마이크로 웨이브 생성 소자의 효과를 확인하기 위해 자화의 운동방정식을 이용한 수치모사결과를 개시하였다. 이 방식의 정당성은 스핀전달토크 및 컴퓨터 하드디스크를 개발하는데 있어서 이미 여러 연구에 의해 확인되었으며, 전류에 의한 자화의 운동방정식은 하기 수학식 3과 같다.

수학식 3

<41>
$$\frac{\partial \vec{M}}{\partial t} = -\gamma \vec{M} \times \vec{H}_{eff} + \frac{\alpha}{M_S} \vec{M} \times \frac{\partial \vec{M}}{\partial t} - \frac{\gamma a_J}{M_S} \vec{M} \times (\vec{M} \times \hat{p}) - \frac{b_J}{M_S^2} \vec{M} \times \left(\vec{M} \times \frac{\partial \vec{M}}{\partial x} \right)$$

<42> 이때, $\vec{M}$은 자화벡터, γ는 자이로마그네틱 상수, $\vec{H}_{eff}$는 모든 유효자기장벡터, α는 Gilbert 감쇠상수이며, α_J는 비자성체를 사이에 둔 두 자성체 사이에 유기되는 스핀전달토크로

<43> $\frac{\hbar}{2e}\frac{\eta I}{M_S V}$이며, $\hbar(=1.05\times10^{-34}\ \mathrm{J\cdot sec})$는 Planck 상수를 2π로 나눈 값이고, e (=1.6×10^{-19} C)는 전자의 전하양, η는 물질 및 전체 구조에 의해 결정되는 스핀분극효율 상수, I는 전류, Ms는 자성체의 포화자화양, x는 막에 수직방향이며, $\hat{p}$는 비자성체로부터 자성층으로 입사하는 스핀분극전류의 스핀방향의 단위 벡터로 x와 동일한 방향이다. 또한 b_J는 비자성체 없이 자화가 자성체 내에서 연속적으로 변하는, 예를 들면 자벽 구조에 발생하는 스핀전달토크의 크기로 $\frac{P\mu_B J}{eM_S}$이며, P는 물질 자체에 의해 결정되는 자성체의 스핀분극율로 0~1 사이의 값을 갖으며, $\mu_B(=9.274\times10^{-24}$ J/T)는 Bohr magneton, J는 전류밀도이다.

<44> 이하 본 발명에 따른 마이크로 웨이브 생성 소자가 갖는 우수한 효과를 실험예로서 보다 상세히 설명한다.

<45>

<46> 비교예

<47> 종래 기술에 따른 소자의 전류에 따른 주파수 측정

<48> 도 5는 도 1에 개시된 종래 기술에 따른 고주파 교류신호 전자소자, 즉 자유 자성층에 음의 K를 갖는 물질이 없는 기존 구조에서 전류에 따른 주파수 크기와 이때 수평성분의 크기를 도시한 그래프이다.

<49> 사용된 구조와 물성값들은 다음과 같다.

<50> 전체 구조의 단면적=1225nm^2, 제 1 자성체 (고정 자성층: 두께 t=50nm, 수직이방성상수 K=+10^{7}erg/cm^3, 포화자화양 M_S=1000emu/cm^3, 교환상수 A=10^{-6}erg/cm, Gilbert 감쇠상수 =0.05, 스핀분극율 P=0.2) / 비자성체 (t=10nm) / 전류에 의해 고속으로 회전하는 제 2 자성체 (자유 자성층: 두께 t=10nm, 수직이방성상수 K=0, 포화자화양 M_S=1600emu/cm^3, 교환상수 A=10^{-6}erg/cm, Gilbert 감쇠상수 =0.01, 스핀분극율 P=0.7, 스핀분극효율상수 =0.7) / 비자성체 (t=10nm) / 신호 감지를 위해 수평방향의 자화를 갖는 제 3 자성체 (감지층: 자유 자성층과 동일).

<51> 도 5를 참조하면, 종래 기술에 따른기존구조에서는 최대 고주파 마이크로 웨이브 생성 소자는 16.8GHz 정도의 주파수를 얻을 수 있는 것을 알 수 있다.

<52> 실험예 1

<53> 본 실험예에서는 자유 자성층에 음의 K를 갖는 물질을 삽입한 것을 제외하고는 비교예 1과 동일한 조건으로 전류에 따른 주파수 크기와 이때 수평성분의 크기를 측정하였다. 이때 음의 자기이방성 상수, 즉 음의 K(=-10^{7}erg/cm^3)를 갖는 물질(CoIr)을 두께 t=10nm, 수직이방성상수 K=-10^{7}erg/cm^3, 포화자화양 M_S=1000emu/cm^3, 교환상수 A=10^{-6}erg/cm, Gilbert 감쇠상수 =0.05, 스핀분극율 P=0.2의 조건으로 삽입시켰다.

<54> 도 6은 본 실험예에 따른 결과를 나타내는 그래프이다.

<55> 도 6을 참조하면, 본 발명에 따른 소자는 동일한 구조임에도 불구하고 자유 자성층에 음의 자기이방성 상수를 갖는 물질을 삽입함으로써 최대 50.2 GHz 정도의 주파수를 얻을 수 있는 것을 알 수 있으며, 이는 비교예 1의 16.8 GHz에 비하여 월등히 높은 수치이다.

<56> 실험예 2

<57> 도 7은 도 4에 개시된 구조, 즉 자유 자성층에 음의 K를 갖는 물질을 삽입하고 비자성층을 제외한 구조에서 전류에 따른 주파수 크기와 이때 수평성분의 크기를 도시한 그래프이다.

<58> 본 실험예에서 사용된 소자 구조는 수직방향의 자화를 갖는 제 1 자성체 (두께 t=20nm, 수직이방성상수 K=+10^{8}erg/cm^3, 포화자화양 M_S=1000emu/cm^3, 교환상수 A=10^{-6}erg/cm, Gilbert 감쇠상수 =0.05, 스핀분극율 P=0.2) / 음의 K를 갖으며 전류에 의해 고속으로 회전하는 제 2-1 자성체 (두께 t=5nm, 수직이방성상수 K=-10^{8}erg/cm^3, 포화자화양 M_S=1000emu/cm^3, 교환상수 A=10^{-6}erg/cm, Gilbert 감쇠상수 =0.05, 스핀분극율 P=0.2) / 전류에 의해 고속으로 회전하는 제 2-2 자성체 (두께 t=5nm, 수직이방성상수 K=0erg/cm^3, 포화자화양 M_S=1600emu/cm^3, 교환상수 A=10^{-6}erg/cm, Gilbert 감쇠상수 =0.01, 스핀분극율 P=0.7) / 음의 K를 갖으며 전류에 의해 고속으로 회전하는 제 2-3 자성체 (2-1 자성체와 동일) / 수직방향의 자화를 갖는 제 3 자성체 (H_K가 제 1 자성체의 90%인 것을 제외하고 제 1 자성체와 동일)이다.

<59> 도 7을 참조하면, 본 실험예에 따른 마이크로 웨이브 생성 소자 또한 최대 59.1 GHz 정도의 주파수를 얻을 수 있으며, 이는 종래 기술에 따른 소자에 비하여 탁월히 높은 주파수이다.

<60> 이상의 실험예를 통하여 음의 자기이방성 상수를 갖는 물질을 자유자성층에 삽입시킴으로써 기존 구조에 비해 월등히 높은 주파수의 전기신호 및 교류자기장을 얻는 것이 가능하다는 것을 알 수 있다. 하지만 상술한 실험예는 모두 본 발명을 보다 용이하게 이해시키기 위한 것일 뿐, 상술한 실험예 등에 사용된 실험 조건, 물질 종류 등에 의하여 본 발명이 제한되거나 한정되지는 않는다.

도면의 간단한 설명

<61> 도 1은 종래의 스핀전달토크를 이용한 고주파 발생용 전자소자의 구조를 도시한 단면도.

<62> 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 스핀전달토크를 이용한 고주파 소자의 구조를 도시한 단면도.

<63> 도 3은 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 스핀전달토크를 이용한 고주파 소자의 구조를 도시한 단면도.

<64> 도 4는 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 스핀전달토크를 이용한 고주파 소자의 구조를 도시한 단면도.

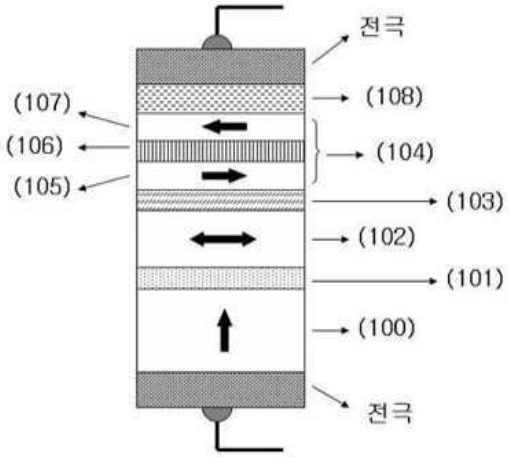
<65> 도 5는 종래 소자의 전류에 따른 주파수 특성 및 면내 자화성분을 측정한 그래프.

<66> 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 고주파 소자의 전류에 따른 주파수 특성 및 면내 자화성분을 측정한 그래프.

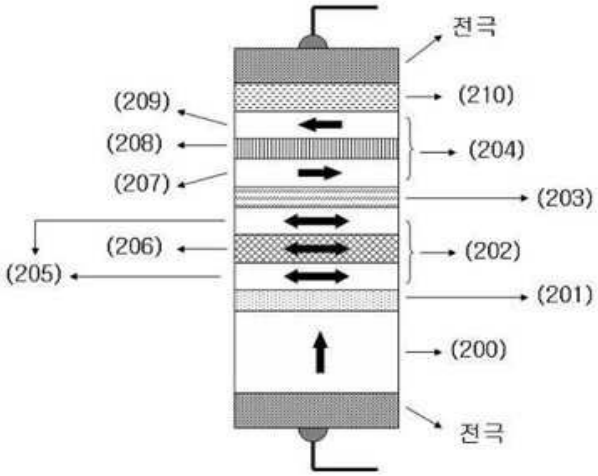
<67> 도 7은 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 고주파 소자의 주파수 특성 및 면내 자화성분을 나타내는 그래프.

도면

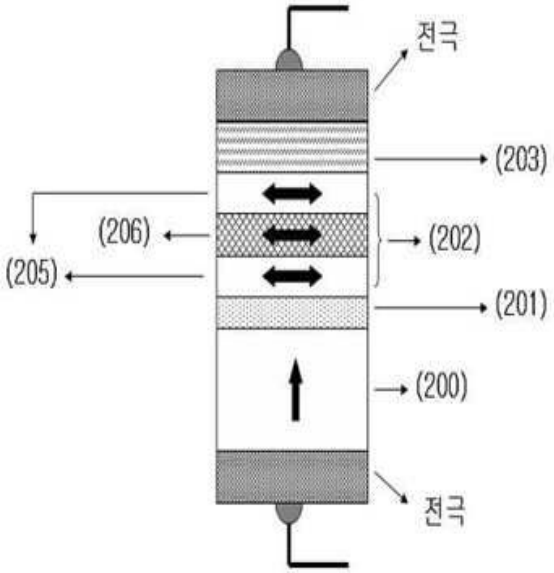
도면1



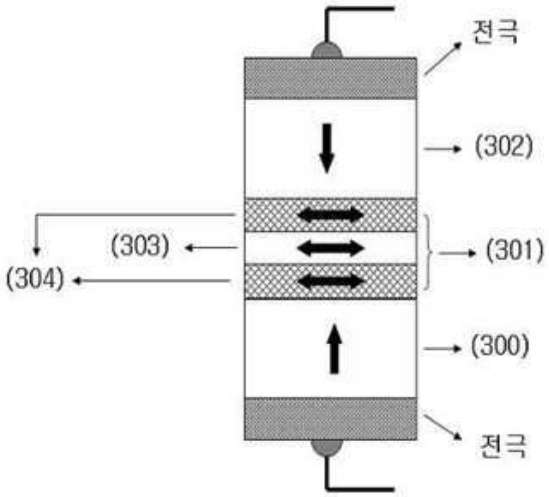
도면2



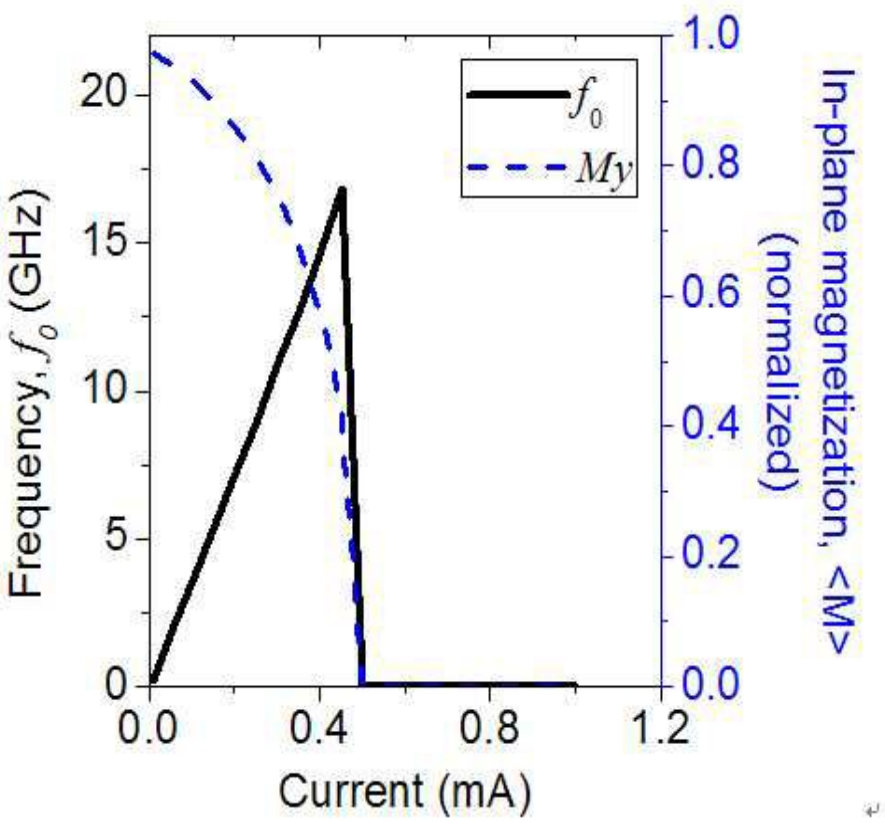
도면3



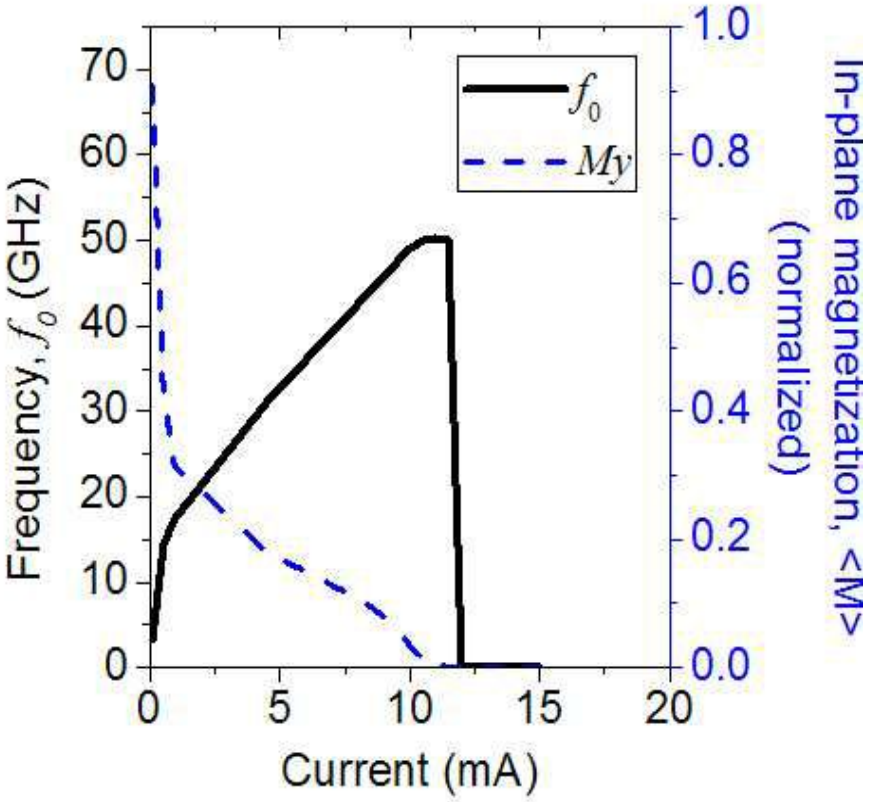
도면4



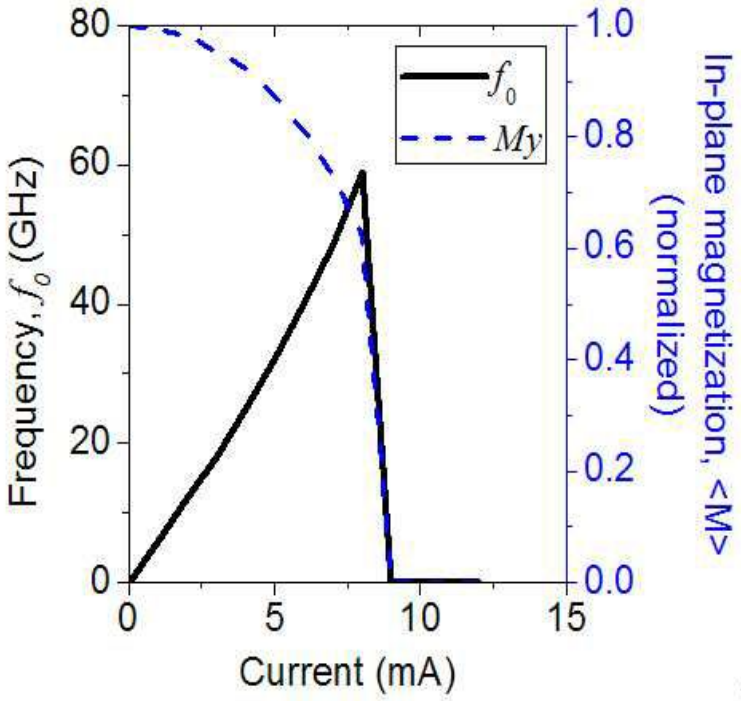
도면5


Frequency, f_0 (GHz)
Current (mA)
In-plane magnetization, <M> (normalized)
f_0
My
0
5
10
15
20
0.0
0.4
0.8
1.2
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0

도면6


Frequency, f_0 (GHz)
In-plane magnetization, <M> (normalized)
Current (mA)
f_0
My
0
10
20
30
40
50
60
70
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
0
5
10
15
20

도면7


Frequency, f_0 (GHz)
In-plane magnetization, <M> (normalized)
Current (mA)
f_0
My
0
20
40
60
80
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
0
5
10
15