



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년05월22일
(11) 등록번호 10-1143014
(24) 등록일자 2012년04월27일

(51) 국제특허분류(Int. C1.)
B32B 15/04 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2005-7014006
(22) 출원일자(국제) 2003년12월10일
 심사청구일자 2008년12월03일
(85) 번역문제출일자 2005년07월29일
(65) 공개번호 10-2005-0097961
(43) 공개일자 2005년10월10일
(86) 국제출원번호 PCT/US2003/039980
(87) 국제공개번호 WO 2004/069536
 국제공개일자 2004년08월19일
(30) 우선권주장
 10/354,791 2003년01월30일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

JP11329872 A

JP2001307936 A

전체 청구항 수 : 총 16 항

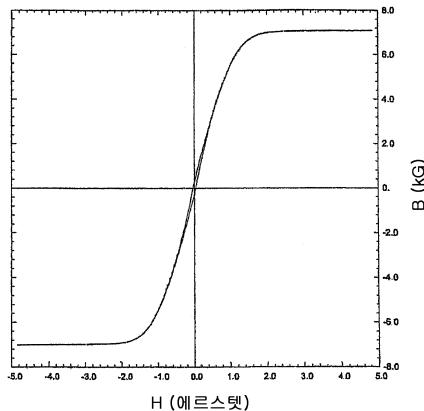
심사관 : 오순영

(54) 발명의 명칭 절연체로 코팅된 자기 금속 리본을 사용하는 자기 기구

(57) 요 약

자기 기구의 형성 전에 자기 리본 또는 시트가 전기적 절연체에 의해 코팅된다. 상기 자기 기구의 제조가 자기 및 절연 리본을 공동 퀸선할 필요성이 없는 단일공정에서 확보된다. 자기재료와 절연체 사이의 열특성 차이가 열처리중 작용하여 상기 기구의 자기특성 변경을 향상시킨다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

폴리이미드 전기 절연체에 의해 코팅되어 DC 자기장의 존재 하에서 열처리된 자기 리본을 포함하고, 상기 자기 리본의 자기기계적인 특성과 상기 절연체의 열적 특성이 상기 열처리 동안 작용하여 그 BH 루프(BH loop)의 자기 특성을 개선하는 자기 기구로서,

- (a) 상기 자기 리본에 수직한 방향에 적용된 1 kOe의 자기장으로 열처리가 수행될 때, 상기 자기 리본은 선형 BH 루프 및 5,700의 DC 투자율을 나타내거나; 또는
- (b) 상기 자기 리본에 따르는 방향에 적용된 20 Oe의 자기장으로 열처리가 수행될 때, 상기 자기 리본은 에스 자상결장(sigmoidal) BH 루프를 나타내는 자기 기구.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 자기 리본은 비정질금속 자기합금을 포함함을 특징으로 하는 자기 기구.

청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 자기 리본은 결정질 자기합금임을 특징으로 하는 자기 기구.

청구항 4

제 1항에 있어서, 상기 전기적 절연체는 10 이하의 유전상수를 가지며 100°C 이상의 온도에서 안정함을 특징으로 하는 자기 기구.

청구항 5

삭제

청구항 6

제 1항에 있어서, 상기 기구는 고주파 자기 인덕터인 것을 특징으로 하는 자기 기구.

청구항 7

제 1항에 있어서, 상기 기구는 고주파 변압기인 것을 특징으로 하는 자기 기구.

청구항 8

제 1항에 있어서, 상기 기구는 자기적 여기방향(magnetic excitation direction)을 가지며, 상기 열처리는 상기 자기적 여기방향을 따라 부과된 자장과 함께 수행됨을 특징으로 하는 자기 기구.

청구항 9

제 1항에 있어서, 상기 기구는 자기적 여기방향을 가지며, 상기 열처리는 상기 자기적 여기방향에 수직한 방향을 따라 부가된 자장과 함께 수행됨을 특징으로 하는 자기 기구.

청구항 10

제 6항에 있어서, 상기 열처리는 부가된 자장 없이 수행됨을 특징으로 하는 자기 기구.

청구항 11

제 6항에 있어서, 상기 자기 인덕터는 펄스 컴프레서(pulse compressor)인 것을 특징으로 하는 자기 기구.

청구항 12

제 6항에 있어서, 상기 자기 인덕터는 전기적 죄크(electrical choke)인 것을 특징으로 하는 자기 기구.

청구항 13

제 7항에 있어서, 상기 변압기는 펄스 변압기인 것을 특징으로 하는 자기 기구.

청구항 14

제 7항에 있어서, 상기 변압기는 시그널(signal) 변압기인 것을 특징으로 하는 자기 기구.

청구항 15

제 7항에 있어서, 상기 변압기는 전류측정 변압기인 것을 특징으로 하는 자기 기구.

청구항 16

제 7항에 있어서, 상기 변압기는 고주파 전기변압기인 것을 특징으로 하는 자기 기구.

청구항 17

폴리아미드 전기 절연체에 의해 코팅되어 DC 자기장의 존재 하에서 열처리된 자기 시트를 포함하고,

상기 자기 시트의 자기기계적인 특성과 상기 절연체의 열적 특성이 상기 열처리 동안 작용하여 그 BH 루프(BH loop)의 자기 특성을 개선하는 자기 기구로서,

(a) 상기 자기 시트에 수직한 방향에 적용된 1 kOe의 자기장으로 열처리가 수행될 때, 상기 자기 시트는 선형 BH 루프 및 5,700의 DC 투자율을 나타내거나; 또는

(b) 상기 자기 시트에 따르는 방향에 적용된 20 Oe의 자기장으로 열처리가 수행될 때, 상기 자기 시트는 에스 자상결장(sigmoidal) BH 루프를 나타내는 자기 기구.

명세서

기술 분야

[0001]

본 발명은 변압기 및 인덕터 코어용 자기 기구에 관한 것으로서, 보다 상세히는, 전기적 절연체로 코팅된 금 속합금 리본으로 조성되고 고주파에서 작동하는 변압기 및 인덕터에서의 사용에 적합한 자기 기구에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

자기 코어(magnetic core)는 정형적으로 500Hz 미만의 저주파에서 전류를 운반하는 전력 변압기에 널리 사용된다. 변압기가 주어진 주파수에서 작동할 때, 부분적으로 그 자기순실 때문에 에너지를 잃는다. 상기 자기순실에는, 그 주파수에 비례하는 히스테리시스손(hysteresis loss), 그리고 약 1.3~2 범위의 n-주파수 전력에 비례하는 와전류손의 2가지 소스(source)가 있다. 일반적으로 상기 와전류손의 비례계수(proportional coefficient)는 상기 코어재료 두께의 제곱에 비례한다. 따라서 전기적으로 절연된 보다 얇은 자기재료는 보다 낮은 와전류손을 가져온다. 유사한 상황이 AC 여기(excitation)하에서 작동되는 인덕터에서 존재한다. 이러한 변압기 및 인덕터에 대한 작동하는 주파수가 낮을 때, 50 또는 60 Hz에서 통상적으로 작동되는 전력 변압기의 경우와 같이, 와전류에 기인한 자기순실이 히스테리시스손에 비교하여 상대적으로 낮으며, 상기 자기재료의 표면상에 약간의 얇은 산화물 코팅은 그 재료를 절연함에 충분하다. 마그네슘 산화물이 상기 코팅을 위해 널리 사용되고 있다. 그러나 이러한 산화물의 자기재료 표면에의 부착 정도는 분말이기 때문에 좋지 않으며, 종종 상기 분말은 코어 제조중 그 표면으로부터 떨어진다.

[0003]

코어재료로서 종종 사용되는 자기재료는 리본 또는 시트(sheet) 형태를 가지며, 이는 테이프-권선되거나 또는 적층된 코어를 제조함에 유익하다. 자기 리본 및 시트를 형성함에 있어서 최근의 이루어진 발전은 비정질재료를 포함한다. 이러한 재료들은 U.S 재발행된 특허 RE32925의 개시내용을 사용함으로써 용이하게 제조된다.

[0004]

자기 코어가 고주파에서 사용될 때, 자기 재료들 사이의 효과적인 전기적 절연을 담보하기 위하여, 보다 우수하거나, 또는 보다 안정한 표면코팅이 필요해 진다.

[0005]

종이, 중합체 필름등과 같은 얇은 비전도성의 절연체가 통상 이러한 목적을 위하여 사용되고 있다. 상기 절연을 최대화하기 위해, 충분한 유전특성이 상기 절연재료들에 요구된다. 낮은 유전상수와 높은 절연파괴전압이 일반적으로 바람직하다. 자기 소자들이 고주파수 및 고전압에서 작동될 때, 이러한 특징들은 아주 중요하게 된다. 앞서 기술한 자기금속-절연체-자기금속 형태가 널리 사용되지만, 이러한 형태를 제조하는 공정은 문제

점들을 가진다. 이러한 제조공정은 특수한 장치를 요구하며, 그 내부에서 자기금속과, 리본 또는 시트 형태의 절연체가 함께 권선되어 권선된 코어 형태를 갖는 자기 소자(magnetic component)를 제조한다. 상기 자기금속-절연체-자기금속 형태는 또한 적층된 코어를 형성하기 위하여 자기금속과 절연체가 번갈아 놓여지는 장치에 의해 제조될 수 있다. 기술된 상기 유형의 공동-권선(Co-winding)공정은 종종 상기 자기금속 리본 또는 시트의 날카로움 때문에, 구멍나거나 찢어진 절연체를 가져온다.

[0006] 고주파에서 작동하는 변압기와 인덕터에서의 사용에 적합한 자기 기구를 제조하기 위한 방법 및 수단이 본 기술분야에서 필요함이 남아 있다. 특히, 공동권선공정중 구멍과 찢어짐을 피할 수 있는 비정질금속 리본 또는 시트로 이루어진 자기 기구의 제조를 위한 공정이 필요해지고 있다. 또한 열처리에 의해 유입되는 개선된 자기특성들의 조합을 갖는 열적으로 절연된 자기기구가 필요해지고 있다.

발명의 상세한 설명

[0007] 본 발명은 향상된 자기특성의 조합을 갖는 열적으로 절연된 자기 기구(magnetic implement)를 제공한다. 강자성의 리본 또는 시트가 자기 기구의 형성전에 절연체로 코팅된다. 자기 기구의 제조는 자기 및 절연체 리본을 공동-권선할(co-winding) 필요없이 하나의 공정으로 확보된다. 상기 자기 재료와 절연체 사이의 열적 특성의 차이가 열처리 동안 상기 자기 기구의 자기 특성 변화를 향상시키기 위해 작용을 한다.

[0008] 하나의 관점에 있어서, 본 발명은 금속 자기 재료 사이에서 전기적 절연체를 신뢰성있게 병치하고, 소망하는 자기 성능을 얻기 위하여 상기 기구의 자기 특성을 동시에 맞추는 자기 기구의 제조방법을 제공한다. 상기 자기 기구의 제조 동안 자기 재료의 표면에 부과되는 전기적 절연 재료는 액체 형태로 쉽게 구입가능하다. 그 위에 상기 액체 절연체를 브러싱(brushing)하거나, 또는 액체 절연체 욕(bath)에 상기 자기 재료를 통과시킴으로써 상기 자기 재료상에 코팅된다. 상기 절연 재료를 건조한 후, 코팅된 자기 재료는 그 재료를 권선하거나 적층함에 의하여 자기 기구로 제조된다. 이어, 상기 제조된 기구는 열처리되어 그 자기 특성을 변경하거나 또는 향상시킨다. 제조될 때, 상기 자기 기구는 다른 유전 특성과 두께를 갖는 전기적 절연체로 코팅된 자기 리본 또는 시트로 조성된 자기 코어를 포함한다.

[0009] 본 발명의 또 다른 관점에 있어서, 제조동안, 리본 또는 시트 형태의 금속 자기 재료가 상기 기구에 요구되는 성능의 관점에서 선택된다. 이후, 절연 특성 및 파괴 전압(dielectric properties and breakdown voltage)과 같은 상기 절연 재료의 전기적 절연 특성이 결정된다. 후보(candidate) 절연체 재료가 선택되어 상기 자기 재료 표면상에 부과된다. 상기 자기 금속과 후보 절연체 재료의 선택은 상기 금속과 절연 재료의 열팽창 계수의 차이를 포함하는 특정한 기준에 의하여 관리된다. 이러한 열팽창 계수의 차이는 상기 열처리된 기구의 자기 성능에 중대한 영향을 미친다. 따라서 상기 제조된 자기 기구는 펄스 변압기, 시그널 또는 전류계 변압기, 전기적 초크 및 고주파 전기 변압기로서의 사용에 특히 적합하다.

실시예

[0018] 상업적으로 구입가능한 비정질 금속 리본 METGLAS® 2705M은 Molecu Corporation, NJ의 폴리이미드(polyimide)로 코팅된다. 상기 코팅의 두께는 약 $2\sim4\mu\text{m}$ 의 범위이다. 상기 코팅된 절연체의 유전상수는 약 3.9이다. 약 25mm의 폭을 갖는 상기 코팅된 비정질 금속 리본을 권선하여 OD=100~125mm, ID=58mm 및 HT=25mm의 크기를 갖는 환상형 코어(toroidally shaped cores)를 형성한다. 권선될 때, 상기 코어는 약 300~350°C의 온도에서 1~5시간 동안 열처리되었다. 상기 열처리온도 범위는 상기 합금의 큐리온도가 약 350°C이기 때문에 선택된다. 상기 열처리동안, 선형적인 BH 거동을 얻기 위하여 약 1kOe(80kA/m)의 DC 자기장이 상기 코어의 축방향을 따라서 부과된다. 335°C에서 2시간 동안 열처리된 OD=102mm를 갖는 코어에서 얻어진 결과는 도 1에 나타나 있다. 이 도면은 약 0.7 Oe(56A/m)의 자기장이 부과될 때까지 약 5,700의 상대적으로 일정한 DC 투자율 μ_{dc} 과 약 30mOe(2.4A/m)의 보자력 H_c 를 나타낸다. 상기 코어의 고주파 특성을 평가하기 위하여, 5-회전(5-turn) 구리 권선(winding)이 상기 코어상에 놓여졌다. 800kHz에서, 약 88 μH 의 인덕턴스가 얻어졌으며, 이는 상기 코어의 AC 투자율이 상기 주파수에서 약 1,800임을 나타낸다. 이러한 특징은 상기 코어가 펄스 변압기(pulse transformer), 시그널 변압기(signal transformer) 및 전기적 초크(electrical chokes)에 이용될 수 있음을 나타낸다. 상기 리본상에 폴리이미드 표면 코팅이 없는 유사한 코어가, 도 1에서의 코어 경우와 같이, 그 코어의 축방향을 따라 부과된 1kOe DC 자기장과 함께 335°C에서 2시간 동안 열처리되었다. 약 1 Oe(80A/m)까지의 자기장을 갖는 상기 코어에서 얻어진 DC BH루프의 결과가 도 2의 그래프에 의해 보여진다. 동일한 코어가 금속층들 사이에 마일라(Mylar)막을 삽입하기 위해 재권선되어, DC BH루프가 얻어졌으며, 이는 도 2의 결과와 실질적으로 동일한 것으로 나타났다. 도 2로 알 수 있는 바와 같이, 상기 코어의 상대적으로 선형적인 BH 거

동은, 약 1.5kG(0.15T)의 잔류자기 B_r 과 60mOe(4.8A/m)의 보자력 H_c 를 갖는 약 0.05 Oe(4A/m)의 부과된 낮은 자기장에 의하여 단지 제한된다. 도 2에 나타낸 구부러진 BH 특성은 어떤 종류의 전기적 쿠크에는 적합하나, 펠스 및 시그널 변압기에는 적합하지 않다. 도 1 및 2의 비교는 상기 리본의 표면상에 폴리이미드를 코팅하는 것이 상기 코어의 축방향을 따라 자기 이방성을 발달시키는데 도움을 주며, 도 1의 선형적인 BH 거동을 초래함을 보여준다. 따라서 상기 코어 제조 전의 절연체 코팅은 바람직한 자기특성을 얻는데 효과적이다. 또한 상기 전기적 절연은 상기 자기 코어의 와전류손(eddy current losses)을 감소시키는데 도움이 된다. 또한 상기 폴리이미드 절연체의 약 3.9의 낮은 유전상수는 높은 주파수에서 감소된 소자 손(component loss)을 초래하며, 그 결과 800kHz에서 약 1800의 상대적으로 높은 AC 투자율을 가져온다. 도 3에 제시된 데이터는 본 발명의 코어(도 1에 나타낸)와 종래기술의 코어(도 2에 나타낸) 사이에서 철손(core loss)의 주파수 의존을 직접적으로 비교하여 보여준다. 같은 재료로부터 제조된 종래기술의 코어와 비교할 때, 본 발명의 코어는 약 50kHz 이상의 보다 낮은 철손을 가짐이 분명하다.

[0019] 도 1 및 2에 의하여 예시된 상기 코어 데이터는 거의 0에 가까운 자외 합금이며, 이는 열처리동안 발달된 응력에 덜 지배되는 경향이 있다. 상기 자기 리본이 양의 자외일 때, 상기 2개의 재료사이의 열팽창계수의 차이에 기인한 리본과 절연체 사이의 계면을 통하여 발달된 응력은 상기 코어의 최종 자기상태에서 중요한 역할을 한다.

[0020] 도 4에는 양의 자외를 띠는 상업적으로 구입가능한 METGLAS® 2605S3A 비정질 합금 리본이 폴리이미드 코팅으로 제조된 실시예에서 얻어진 BH 루프를 보여주고 있다. 상기 코어는 OD×ID×HT=104×40×12.7 mm의 물리적 크기를 가졌다. 상기 코어 각각은 자기장없이(곡선 A), 그리고 상기 코어의 외주방향을 따라 부과된 20 Oe(1.6kA/m)의 자기장과 함께(곡선 B) 390°C에서 1시간 동안 열처리되었다. 실질적으로 같은 크기를 갖는 코어가 폴리이미드 코팅없이 실질적으로 같은 리본으로부터 마련되었으며, 도 4A의 코어와 실질적으로 같은 조건하에서 열처리되었다. DC 여기(excitation)에서 얻어진 상기 종래기술의 코어의 BH 자화 거동은 도 5에서 설명된다. 도 4 및 5에 의하여 포함된 상기 데이터의 비교는 상기 리본의 자기 이방성이 상기 열처리동안 상기 폴리이미드 코팅에 의하여 상당히 변경됨을 나타낸다. 상기 변경된 자기 이방성은 상기 코어의 축방향을 따라 유도된 이방성(induced anisotropy)을 도입한다. 다음으로, 상기 코어의 축방향을 따라 크게 유도된 자기 이방성은 부과된 자기장과 함께 상기 코어 재료의 투자율을 점차적으로 변화시킨다. 이러한 결과가 도 6에서 보여지며, 여기에서 10-회전 권선을 갖는 도 4A의 코어를 갖는 인덕터의 인덕턴스가 부과된 자기장에 대하여 플롯(plotted)되어 있다. 도 6에 의하여 포함된 데이터는 본 발명의 인덕터 코어가 전기적 쿠크로 유용함을 나타낸다. 같은 인덕터의 인덕턴스에 대한 주파수 의존성이 도 7에 나타나 있다. 주파수 1MHz에 이를 때까지에 대하여 상대적으로 일정한 인덕턴스는 사용된 상기 리본의 표면상에 폴리이미드 절연체 코팅의 결과이며; 상기 절연체는 상기 코어 재료에서 와전류손을 감소시킨다. 이것은 상기 인덕터가 약 1MHz까지의 쿠크 코일로 이용될 수 있음을 나타낸다. 한편 도 4B의 BH 거동에서 보이는 코어는 스위치-모드 파워 서플라이에서 메인 변압기와 같은 고주파수에서 이용되는 전기적 변압기에 적합하다.

[0021] 다음의 실시예는 본 발명의 보다 완전한 이해를 제공하기 위하여 표시된다. 본 발명의 원리 및 실시를 예시하기 위하여 제시된 특정한 기술, 조건, 재료, 비율 및 보고된 데이터는 대표적인 것이며, 본 발명의 범위를 제한하는 것으로 해석되지는 않는다.

[0022] 실시예

[0023] 샘플 준비

[0024] 약 25mm의 폭을 갖는 METGLAS® 2705M 및 2605S3A 리본으로 제조된 상업적으로 구입가능한 비정질 재료가 폴리이미드로 코팅된다. 상기 비정질 리본의 두께는 16~25 μ m의 범위이며, 이때 상기 폴리이미드 층은 2~4 μ m의 두께이다. 상기 리본 각각은 권선되어 OD=100~125mm, ID=40~60mm 및 HT=10~30mm의 크기를 갖는 환상형 자기 코어를 형성한다. 상기 권선된 코어는 상기 토로이드(toroid)의 축을 따라(또는 가로질러) 그리고 외주(길이) 방향을 따라 부과된 자기장과 함께 또는 자기장 없이 300~400°C에서 1~5시간 동안 열처리된다. 가로지르고 길이 방향의 자기장의 경우, 상기 자기장 강도는 각각 약 1kOe(80kA/m) 및 약 20 Oe(1.6kA/m)이다. 코팅되지 않은 리본을 이용한 코어가 같은 방식으로 마련된다. 이러한 코어의 몇몇은 마일라 막과 공동권선된다.

[0025] 자기 측정

[0026] DC 히스테리시스 측정의 경우, 각각의 코어는 주(primary) 및 부(secondary) 코일에서 20개의 구리 권선 회전을 갖는다. 상업적으로 구입가능한 BH 히스테리시그래프(hysteresigraph)는 상기 코어위의 DC 히스테리시스 루프를 발생시키기 위하여 이용된다. 도 1, 2, 4 및 5는 얻어진 BH 루프를 나타낸다.

[0027] 고주파수에서 인터-와인딩(inter-winding) 캐패시턴스(capacitance)를 피하기 위하여, 상기 주 및 부 구리 권선 회전의 수는 5 또는 10으로 감소된다. 측정 주파수는 1kHz~10MHz로 선택되었으며, 이는 실시장치의 작동 주파수 범위이기 때문이다. 상업적으로 구입가능한 인덕턴스 브리지(bridge)는 이러한 목적으로 이용된다. 따라서, 발생된 데이터는 도 6 및 7에서 설명된다. 도 3의 철손 측정을 위하여, IEEE Standards 393-1991의 가이드 라인에 따라 표준기술이 이용되었다.

[0028] 따라서, 본 발명은 보다 더 상세하게 설명되기는 하였으나, 이러한 상세함에 엄격하게 포함되지는 않더라도 당업계의 통상적인 지식을 가진 자에 의하여 제안된 추가적인 변화 및 변경은 추가되는 청구항에 의하여 정의되는 본 발명의 범위에 속하는 것으로 이해될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0010] 이하의 상세한 설명 및 첨부된 도면을 참조할때, 본 발명은 보다 완전하게 이해될 것이고, 추가적인 장점이 분명해질 것이다:

[0011] 도 1은 본 발명에 따라 제조된 코어의 자화 거동을 설명하는 그래프이며, 자속이 코발트계 METGLAS® 2705M 리본으로 조성된 코어에 부과된 자장의 함수로써 나타나 있으며, 상기 코어는 OD×ID×HT=102×58×25mm의 크기를 가지며, 그리고 상기 코어의 축방향을 따라 부과된 1kOe의 DC 자기장으로 335°C에서 2시간동안 열처리되었다;

[0012] 도 2는 코팅되지 않은 METGLAS® 2705M 리본으로 조성된 종래기술의 코어에 대하여 DC에서 얻어진 BH 자화 거동을 설명하는 그래프이며, 상기 코어 크기와 열처리 조건은 도 1의 코어의 그것들과 실질적으로 동일하다;

[0013] 도 3은 도 1의 코어와 도 2의 종래기술 코어에 대하여 주파수의 함수로써 0.1T 인덕션에서 측정된 철손을 나타내는 그래프이다;

[0014] 도 4는 철계 METGLAS® 2605S3A 리본으로 조성된 본 발명의 2개의 코어에 대하여 DC에서 얻어진 BH 자화 거동을 설명하는 그래프이며, 상기 코어는 OD×ID×HT=104×40×12.7mm의 크기를 가지며, 어떠한 부과된 자장이 없이(곡선 A) 그리고 상기 코어의 외주방향을 따라 부과된 20 Oe(1.6kA/m)의 자기장으로(곡선 B) 390°C에서 1시간동안 열처리되었다;

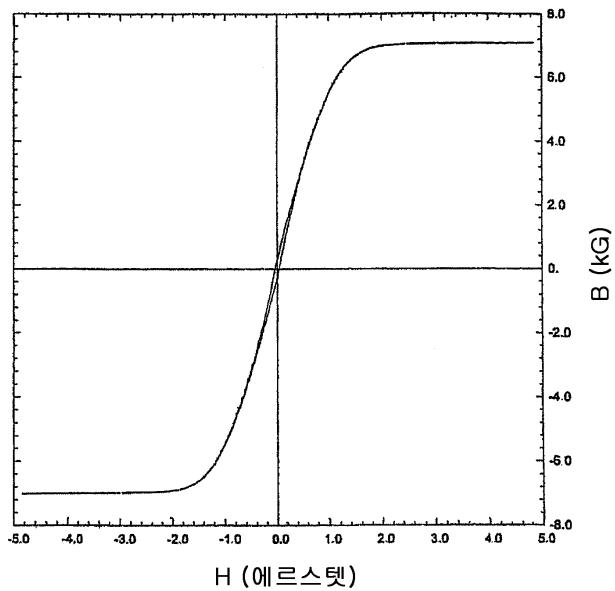
[0015] 도 5는 METGLAS® 2605S3A 리본으로 조성된 종래기술 코어에 대하여 DC에서 얻어진 BH 자화 거동을 나타내며, 상기 코어는 도 4A의 코어에 적용된 것과 실질적으로 동일한 조건하에서 열처리되었다;

[0016] 도 6은 도 4A의 코어에 대하여 DC 바이어스의 함수로써 인덕턴스를 나타내는 그래프이다; 그리고

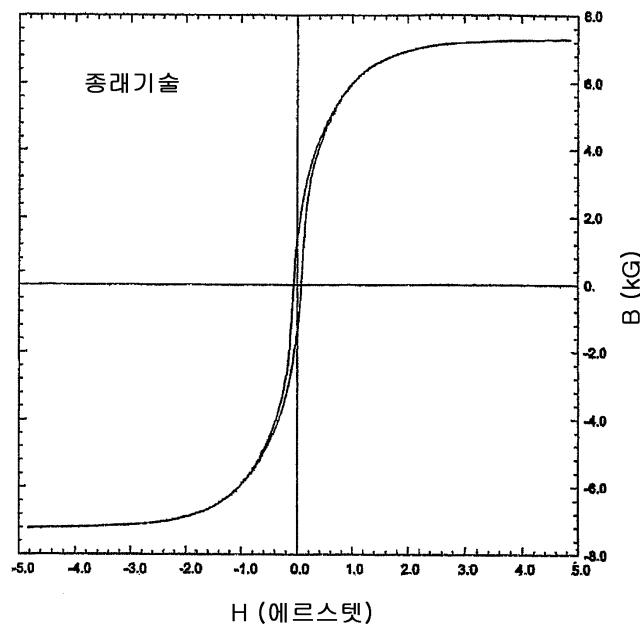
[0017] 도 7은 도 4A의 코어에 대하여 주파수의 함수로써 인덕턴스를 나타내는 그래프이다.

도면

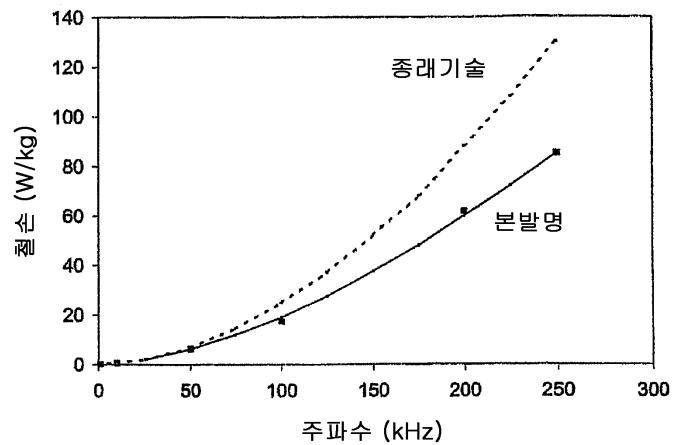
도면1



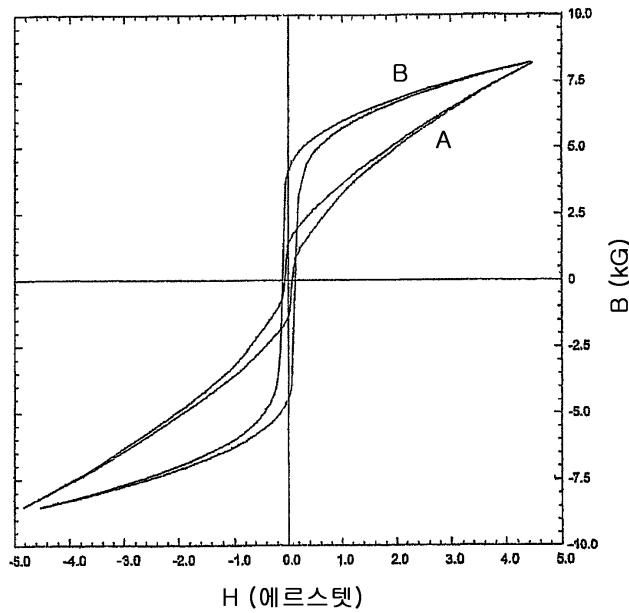
도면2



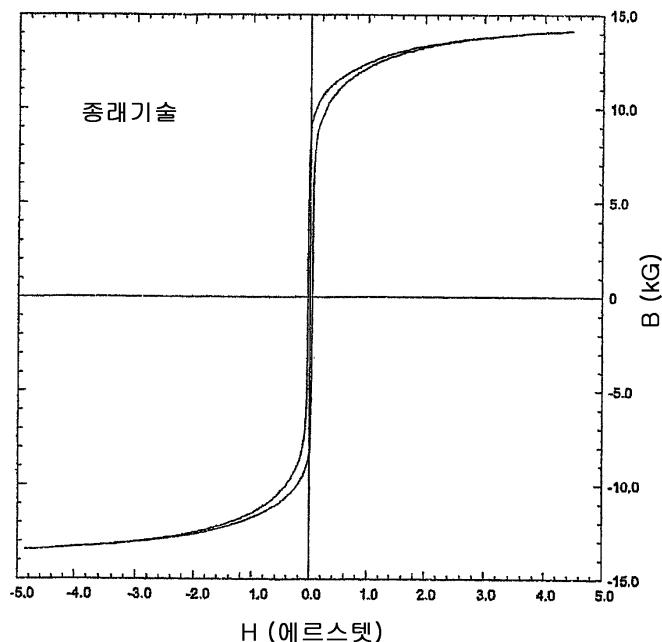
도면3



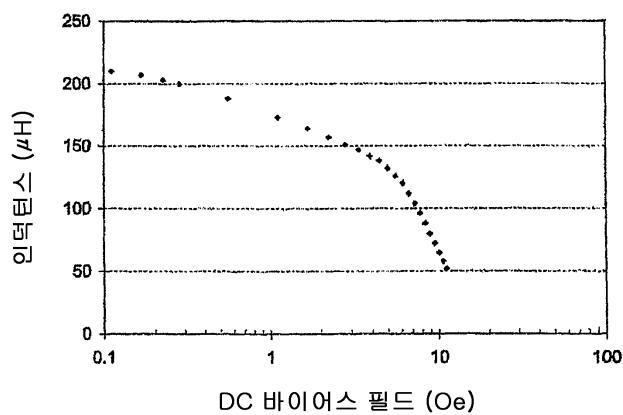
도면4



도면5



도면6



도면7

