(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0110027
(43) 공개일자 2024년07월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22C 38/02 (2006.01) *C21D 8/12* (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01) *C22C 38/10* (2006.01)
C22C 38/42 (2006.01) *C22C 38/60* (2006.01)
H01F 1/147 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C22C 38/02 (2013.01)
C21D 8/12 (2023.08)
(21) 출원번호 10-2024-7019407
(22) 출원일자(국제) 2022년12월14일
심사청구일자 2024년06월11일
(85) 번역문제출일자 2024년06월11일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2022/046096
(87) 국제공개번호 WO 2023/132197
국제공개일자 2023년07월13일
(30) 우선권주장
JP-P-2022-001878 2022년01월07일 일본(JP)

(71) 출원인
제이에프이 스틸 가부시키가이샤
일본 도쿄도 지요다꾸 우찌사이와이쵸 2쵸메 2방 3고
(72) 발명자
자이젠 요시아키
일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자이산부 나이
미야모토 유키노
일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자이산부 나이
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이철

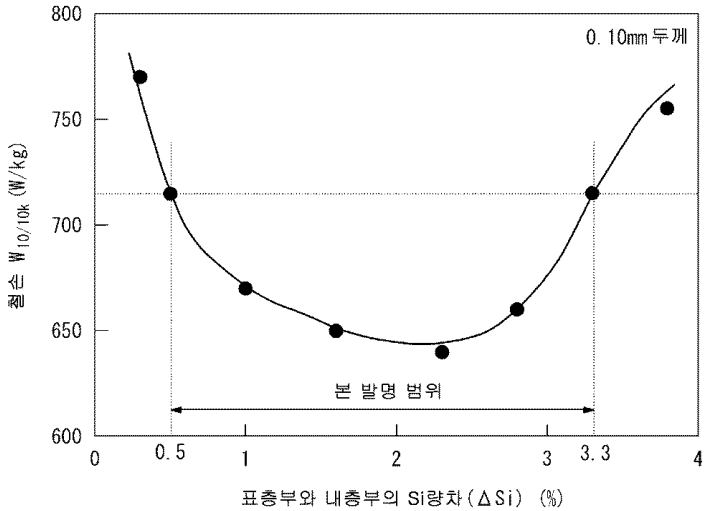
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **무방향성 전자 강판**

(57) 요 약

Si 경사 자성 재료에 있어서의 저철손화 및 고자속 밀도화를 실현한다. 내층부와, 상기 내층부의 양측에 위치하는 표층부와의 적층 구조를 갖는 복층형 전자 강판으로서, 상기 표층부 및 상기 내층부는 소정의 성분 조성을 갖고, 상기 표층부에 있어서의 Si 함유량: $[Si]_1$과 상기 내층부에 있어서의 Si 함유량: $[Si]_0$과의 차($[Si]_1-[Si]_0$)로서 정의되는 ΔSi가 0.5~3.3질량%이고, 상기 전자 강판의 판두께: t에 대한 상기 표층부의 합계 두께: t1의 비율(t1/t)이 0.08~0.73이고, 자계의 강도: 5000A/m에 있어서의 자속 밀도 B_{50}에 대한 포화 자화 Bs의 비(B_{50}/Bs)가 0.825 이상이고, 또한 주파수: 10㎑, 최대 자속 밀도: 1.0T에 있어서의 철손: $W_{10/10k}$와 상기 판두께 t가 식 $W_{10/10k} \leq 25+6900\times t$를 충족하는 것으로 한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C22C 38/002 (2013.01)
C22C 38/004 (2013.01)
C22C 38/005 (2013.01)
C22C 38/008 (2013.01)
C22C 38/10 (2013.01)
C22C 38/42 (2013.01)
C22C 38/60 (2013.01)
H01F 1/14766 (2013.01)

(72) 발명자
오다 요시히코
일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자이산부 나이
오쿠보 토모유키
일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자이산부 나이
요시자키 소우이치로
일본국 도쿄토 지요다쿠 우치사이와이쵸 2쵸메 2반 3고 제이에프이 스틸 가부시키가이샤 치테키자이산부 나이

명 세 서

청구범위

청구항 1

내층부와, 상기 내층부의 양측에 위치하는 표층부와의 적층 구조를 갖는 복층형 전자 강판으로서,

상기 표층부는, 질량%로, Si: 4.0~7.5% 및 C: 0.0010~0.0100%, Co: 0.0010%~0.0100%를 포함하고, 추가로 Sn: 0.010~0.100% 및 Sb: 0.010~0.100%의 어느 1종 또는 2종을 포함하고, 잔부가 Fe 및 불가피 불순물인 성분 조성을 갖고,

상기 내층부는, 질량%로, Si: 3.0~6.0% 및 C: 0.0010~0.0100%, Co: 0.0010%~0.0100%를 포함하고, 추가로 Sn: 0.010~0.100% 및 Sb: 0.010~0.100%의 어느 1종 또는 2종을 포함하고, 잔부가 Fe 및 불가피 불순물인 성분 조성을 갖고,

상기 표층부에 있어서의 Si 함유량: $[Si]_1$과 상기 내층부에 있어서의 Si 함유량: $[Si]_0$과의 차($[Si]_1-[Si]_0$)로서 정의되는 ΔSi가 0.5~3.3질량%이고,

상기 전자 강판의 판두께: t에 대한 상기 표층부의 합계 두께: t_1의 비율(t_1/t)이 0.08~0.73이고,

자계의 강도: 5000A/m에 있어서의 자속 밀도 B_{50}에 대한 포화 자화 Bs의 비(B_{50}/Bs)가 0.825 이상이고, 또한 주파수: 10㎑, 최대 자속 밀도: 1.0T에 있어서의 철손: $W_{10/10k}$와 상기 판두께 t가 하기 (1)식을 충족하는 무방향성 전자 강판.

$$W_{10/10k} \leq 25+6900\times t \quad \cdots(1)$$

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 표층부의 성분 조성과 상기 내층부의 성분 조성의 어느 한쪽, 또는 양쪽이 추가로 질량%로, P: 0.100% 이하를 포함하는 무방향성 전자 강판.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 표층부의 성분 조성과 상기 내층부의 성분 조성의 어느 한쪽, 또는 양쪽이 추가로 질량%로, Ge 및 Ga로부터 선택되는 1종 또는 2종을 합계로 0.0100% 이하 포함하는 무방향성 전자 강판.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 표층부의 성분 조성과 상기 내층부의 성분 조성의 어느 한쪽, 또는 양쪽이 추가로 질량%로, Cu, Cr 및 Ni로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상을 합계로 1.00% 이하 포함하는 무방향성 전자 강판.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 표층부의 성분 조성과 상기 내층부의 성분 조성의 어느 한쪽, 또는 양쪽이 추가로 질량%로, Ca, Mg 및 REM으로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상을 합계로 0.0200% 이하 포함하는 무방향성 전자 강판.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 표층부의 성분 조성과 상기 내층부의 성분 조성의 어느 한쪽, 또는 양쪽이 추가로 질량%로, Zn을 0.0500% 이하 포함하는 무방향성 전자 강판.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 표층부의 성분 조성과 상기 내층부의 성분 조성의 어느 한쪽, 또는 양쪽이 추가로 질량%로, Mo 및 W로부터 선택되는 1종 또는 2종을 합계로 0.0500% 이하 포함하는 무방향성 전자 강판.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 복층형 전자 강판의 표면으로부터 판두께의 1/4의 깊이의 면에 있어서의 방위 분포 함수의 $\Phi_2=45^\circ$ 단면에 있어서, {100}면 집적도의 최고 강도값이 6.0 이상인 무방향성 전자 강판.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 판두께가 0.03~0.20㎜인 무방향성 전자 강판.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은, 무방향성 전자 강판(non-oriented electrical steel sheet), 특히 판두께 방향으로 Si 농도 구배를 갖는 무방향성 전자 강판에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 예를 들면, 드론용 모터나 청소기용 모터는, 소형화·경량화·고효율화의 관점에서, 1㎑~20㎑와 같은 매우 높은 주파역에서의 구동이 행해지도록 되어 있다. 이러한 모터의 코어재(core material)로서 사용되는, 무방향성 전자 강판에는 고주파 철손(iron loss)이 낮고, 또한 자속 밀도가 높은 특성이 요망되고 있다.

[0003] 고주파 철손을 저감하기 위해서는 고유 저항의 증대가 효과적이기 때문에, 종래는 고Si 강의 개발이 행해지고 있다. 그러나, Si는 비자성 원소이기 때문에, 자속 밀도, 그리고 포화 자화가 저하된다는 문제가 있었다.

[0004] 고주파 철손의 저감과 고자속 밀도를 양립하는 수법으로서, 판두께 방향의 Si 농도 구배를 제어하는, 소위 Si 경사 자성 재료가 개발되고 있다. 예를 들면, 특허문헌 1에는, 판두께 방향으로 Si의 농도 구배를 갖고, 강판 표면의 Si 농도가 강판의 판두께 중심부의 Si 농도보다도 높고, Si 농도 5~8%의 부분이, 강판의 양 표면으로부터 판두께 깊이 방향으로 판두께의 10% 이상이고, 또한 판두께 중심부의 Si 농도가 3.4% 이상인 전자 강판이 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 일본공개특허공보 평11-293422호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 그러나, 판두께 방향으로 Si 농도 구배를 부여했을 뿐인 재료를 드론이나 청소기 모터 등(예를 들면, 주파수: 1~20㎑, 자속 밀도: 0.8~2.0T)의 철심 재료로서 사용하면, 히스테리시스손이 크고 또한 자속 밀도가 낮아지기

때문에, 철손 및 구리손(copper loss)이 충분히 저하하지 않는다. 그래서, 본 발명은, Si 경사 자성 재료에 있어서의 저철손화 및 고자속 밀도화를 과제로 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 발명자들은, 상기의 과제의 해결을 위하여 저철손과 고자속 밀도를 양립하기 위하여, Si 경사재의 자기 특성에 미치는 성분의 영향에 주목하여 검토를 거듭했다. 그 결과, Si 경사재의 표층부와 내층부의 Si 농도차를 적절하게 하고, 추가로 Co와, Sn 및 Sb로부터 선택되는 1종 또는 2종을 첨가함으로써, 고주파 저철손 또한 고자속 밀도를 양립 가능한 것을 발견했다.

[0008] 본 발명의 요지는, 이하와 같다.

[0009] 1. 내층부와, 상기 내층부의 양측에 위치하는 표층부와의 적층 구조를 갖는 복층형 전자 강판으로서,

[0010] 상기 표층부는, 질량%로, Si: 4.0~7.5% 및 C: 0.0010~0.0100%, Co: 0.0010%~0.0100%를 포함하고, 추가로 Sn: 0.010~0.100% 및 Sb: 0.010~0.100%의 어느 1종 또는 2종을 포함하고, 잔부가 Fe 및 불가피 불순물인 성분 조성을 갖고,

[0011] 상기 내층부는, 질량%로, Si: 3.0~6.0% 및 C: 0.0010~0.0100%, Co: 0.0010%~0.0100%를 포함하고, 추가로 Sn: 0.010~0.100% 및 Sb: 0.010~0.100%의 어느 1종 또는 2종을 포함하고, 잔부가 Fe 및 불가피 불순물인 성분 조성을 갖고,

[0012] 상기 표층부에 있어서의 Si 함유량: $[Si]_1$과 상기 내층부에 있어서의 Si 함유량: $[Si]_0$과의 차($[Si]_1-[Si]_0$)로서 정의되는 ΔSi가 0.5~3.3질량%이고,

[0013] 상기 전자 강판의 판두께: t에 대한 상기 표층부의 합계 두께: t_1의 비율(t_1/t)이 0.08~0.73이고,

[0014] 자계의 강도: 5000A/m에 있어서의 자속 밀도 B_{50}에 대한 포화 자화 Bs의 비(B_{50}/Bs)가 0.825 이상이고, 또한 주파수: 10㎑, 최대 자속 밀도: 1.0T에 있어서의 철손: $W_{10/10k}$와 상기 판두께 t가 하기 (1)식을 충족하는 무방향성 전자 강판.

[0015] $$W_{10/10k} \leq 25+6900\times t \quad \cdots(1)$$

[0016] 2. 상기 표층부의 성분 조성과 상기 내층부의 성분 조성의 어느 한쪽, 또는 양쪽이 추가로 질량%로, P: 0.100% 이하를 포함하는 상기 1에 기재된 무방향성 전자 강판.

[0017] 3. 상기 표층부의 성분 조성과 상기 내층부의 성분 조성의 어느 한쪽, 또는 양쪽이 추가로 질량%로, Ge 및 Ga로부터 선택되는 1종 또는 2종을 합계로 0.0100% 이하 포함하는 상기 1 또는 2에 기재된 무방향성 전자 강판.

[0018] 4. 상기 표층부의 성분 조성과 상기 내층부의 성분 조성의 어느 한쪽, 또는 양쪽이 추가로 질량%로, Cu, Cr 및 Ni로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상을 합계로 1.00% 이하 포함하는 상기 1 내지 3 중 어느 하나에 기재된 무방향성 전자 강판.

[0019] 5. 상기 표층부의 성분 조성과 상기 내층부의 성분 조성의 어느 한쪽, 또는 양쪽이 추가로 질량%로, Ca, Mg 및 REM으로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상을 합계로 0.0200% 이하 포함하는 상기 1 내지 4 중 어느 하나에 기재된 무방향성 전자 강판.

[0020] 6. 상기 표층부의 성분 조성과 상기 내층부의 성분 조성의 어느 한쪽, 또는 양쪽이 추가로 질량%로, Zn을 0.0500% 이하 포함하는 상기 1 내지 5 중 어느 하나에 기재된 무방향성 전자 강판.

[0021] 7. 상기 표층부의 성분 조성과 상기 내층부의 성분 조성의 어느 한쪽, 또는 양쪽이 추가로 질량%로, Mo 및 W로부터 선택되는 1종 또는 2종을 합계로 0.0500% 이하 포함하는 상기 1 내지 6 중 어느 하나에 기재된 무방향성 전자 강판.

[0022] 8. 상기 복층형 전자 강판의 표면으로부터 판두께의 1/4의 깊이의 면에 있어서의 방위 분포 함수의 $\Phi_2=45°$ 단면에 있어서, {100}면 집적도의 최고 강도값이 6.0 이상인 상기 1 내지 7 중 어느 하나에 기재된 무방향성 전자 강판.

[0023] 9. 상기 판두께가 0.03~0.20㎜인 상기 1 내지 8 중 어느 하나에 기재된 무방향성 전자 강판.

발명의 효과

[0024] 본 발명에 의하면, 저철손 또한 고자속 밀도의 Si 경사 자성 재료를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 표층부와 내층부에 있어서의 Si 함유량의 차($[Si]_1-[Si]_0$)로서 정의되는 ΔSi(질량%)와, 1.0T, 10㎑에 있어서의 전체 철손: $W_{10/10k}$(W/kg)와의 상관을 나타내는 그래프이다.

도 2는 ΔSi와, 자속 밀도비(B_{50}/Bs)와의 상관을 나타내는 그래프이다.

도 3은 복층비와 전체 철손($W_{10/10k}$)과의 상관을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] (발명을 실시하기 위한 형태)

[0027] 발명자들은, 상기의 과제를 해결하기 위해 여러 가지의 실험을 행하여 본 발명을 도출하기에 이르렀다. 이들 실험의 일 예에 대해서, 이하에 설명한다. 무방향성 전자 강판을, 내층부와 이를 양측으로부터 사이에 끼우는 표층부와의 사이에 Si 함유량차가 있는, 복층형 전자 강판으로 하는 경우에, 표층부와 내층부와의 Si 함유량의 차 ΔSi(이하, 간단히 ΔSi라고도 나타냄)가 자기 특성에 미치는 영향에 대해서 검토했다. 즉, ΔSi가 상이한 복층형 전자 강판을 이하의 순서로 제작하고, 그의 자기 특성을 평가했다. 또한, 이하에 나타내는 「%」 표시는, 특별히 언급하지 않는 한 「질량%」를 나타내고 있다.

[0028] 우선, 전자 강판의 판두께(전체 두께)에 대한 표층부 각각의 두께의 비율이 0.3(합계로 0.6)이 되도록, 내층부용의 강 소재의 양면에 표층부용의 강 소재를 접합하고 나서, 열간 압연에 제공했다. 상기 표층부용의 강 소재와 내층부용의 강 소재에는, 어느것이나 소망하는 성분 조성이 되도록 용제한, 잉곳을 이용했다. 내층부의 Si 함유량$[Si]_0$은 3.7%로 했다. 표층부의 Si 함유량$[Si]_1$은 4.0%~7.5%의 범위에서 변화시키도록 Si 함유량이 상이한 표층부용의 강 소재를 복수 준비했다. 또한, 표층부와 내층부의 어느 것에 대해서도, C 함유량을 0.0025%, Co 함유량을 0.0030%, Sn 함유량을 0.030%로 했다. 표층부 및 내층부의 어느 성분 조성이나, 잔부는 Fe 및 불가피적 불순물로 했다. 또한, 표층부의 성분 조성은, 내층부의 양측의 표층부에 있어서 동일하게 했다.

[0029] 상기 열간 압연 후, 980℃×30s의 열연판 어닐링을 행하고, 이어서, 냉간 압연에 의해 판두께를 0.10㎜로 했다. 그 후, 1050℃×30s의 마무리 어닐링을 행하여, 전자 강판을 얻었다.

[0030] 얻어진 전자 강판의 각각으로부터, 폭 30㎜ 및 길이 180㎜의 시험편을 채취하고, 엡스타인(Epstein) 시험을 행하여 자기 특성을 평가했다. 상기 엡스타인 시험에서는, 시험편의 길이 방향이 압연 방향(L 방향)이 되도록 채취한 L 방향 시험편과, 시험편의 길이 방향이 압연 직각 방향(C 방향)이 되도록 채취한 C 방향 시험편을 등량 이용하여 측정하고, L 방향과 C 방향에 있어서의 자기 특성의 평균값으로 평가했다.

[0031] 도 1에, 표층부와 내층부에 있어서의 Si 함유량의 차($[Si]_1-[Si]_0$)로서 정의되는 ΔSi(질량%)와, 1.0T 및 10㎑에 있어서의 전체 철손: $W_{10/10k}$(W/kg)와의 상관을 나타낸다. 또한, 도 2에, ΔSi와, 자속 밀도비(B_{50}/Bs)와의 상관을 나타낸다. 여기에서, 상기 「자속 밀도비」란, 자계의 강도: 5000A/m에 있어서의 자속 밀도: B_{50}에 대한, 포화 자화: Bs의 비(B_{50}/Bs)를 가리키는 것으로 한다.

[0032] 도 1에 나타낸 결과로부터 알 수 있듯이, ΔSi가 0.5질량% 이상 3.3질량% 이하이면, 철손을 낮게 억제할 수 있다. 구체적으로는, 판두께 t=0.10㎜인 경우, 다음식 (1)

[0033] $W_{10/10k} \leq 25+6900\times t$ ···(1)

[0034] 에, 판두께 t=0.10㎜를 대입한 값인, 715W/kg 이하로 철손 $W_{10/10k}$를 억제할 수 있다.

[0035] 또한, 도 2에 나타낸 결과로부터 알 수 있듯이, ΔSi가 3.3질량%를 초과하면, 자속 밀도비가 급격하게 저하한다. 이는, 다음과 같은 이유에 의한다고 생각된다. 즉, 표층부의 Si량이 내층부에 비해 높은 경우, 표층부의 투자율(permeability)이 내층부보다 높아진다. 그 결과, 자속이 표층부에 집중하여, 와전류손(eddy current

loss)하한다. 그러나, ΔSi가 과도하게 크면, 그에 수반하여 표층부와 내층부와의 격자 정수의 차 및 자왜(magnetostriction)의 차가 커진다. 그 결과, 강판을 자화했을 때에 가해지는 응력이 증대하기 때문에, 히스테리시스손이 증가하여, 중자장역(medium magnetic field region)에 있어서의 자속 밀도는 저하한다.

[0036] 이상의 이유에 의해, 본 발명에서는 표층부에 있어서의 Si 함유량과 상기 내층부에 있어서의 Si 함유량의 차($[Si]_1-[Si]_0$)로서 정의되는, ΔSi를 0.5~3.3질량%로 한다. 바람직하게는, ΔSi가 1.0~3.0질량%이다.

[0037] 다음으로, 복층형 전자 강판의 판두께: t에 대한, 표층부의 합계 두께: t_1의 비율(t_1/t)(이하, 「복층비」라고 하는 경우가 있음)이 자기 특성에 미치는 영향에 대해서 검토했다. 즉, 복층비가 상이한 전자 강판을 이하의 순서로 제작하고, 그의 자기 특성을 평가했다. 여기에서, 「표층부의 합계 두께」란, 내층부의 양측에 형성되어 있는 표층부의 두께의 합을 가리킨다.

[0038] 우선, 표층부용의 강 소재와 내층부용의 강 소재를, 복층비가 0.02~0.80이 되도록 접합하여, 열간 압연했다. 상기 표층용의 강 소재와 내층부용의 강 소재는, 모두 소망하는 성분 조성이 되도록 용제한, 잉곳을 이용했다. 표층부의 Si 함유량$[Si]_1$은 6.0%, 내층부의 Si 함유량$[Si]_0$은 4.5%로 했다. 또한, 표층부 및 내층부의 어느 것에 있어서나, C: 0.0030%, Co 함유량: 0.0020%, Sn 함유량: 0.050%로 하고, 잔부는 Fe 및 불가피적 불순물로 했다. 또한, 표층부의 성분 조성은, 내층부의 양측에서 동일하게 했다.

[0039] 상기 열간 압연 후, 950℃×30s의 열연판 어닐링을 행하고, 이어서, 냉간 압연에 의해 판두께를 0.08㎜로 했다. 그 후, 1100℃×30s의 마무리 어닐링을 행하여, 전자 강판을 얻었다.

[0040] 도 3에, 복층비와 전체 철손($W_{10/10k}$)과의 상관을 나타낸다. 이 결과에서, 복층비가 0.08~0.73인 경우에 철손이 크게 저하되고 있는 것을 알 수 있다. 구체적으로는, 판두께 t=0.08㎜인 경우, 다음 식 (1)

[0041] $W_{10/10k} \leq 25+6900\times t$ ···(1)

[0042] 에, 판두께 t=0.08㎜를 대입한 값인, 577W/kg 이하로 철손 $W_{10/10k}$를 억제할 수 있다. 이 철손의 저하는, 이하의 이유에 의한다고 생각된다. 우선, 복층비가 0.08 미만인 경우, 고저항인 표층부의 비율이 낮기 때문에, 표층부에 집중하는 와전류를 효과적으로 저감할 수 없다. 한편, 복층비가 0.73 초과인 경우에는 표층부와 내층부의 투자율차가 작아지기 때문에, 내층부에까지 자속이 침투하여, 내층부로부터도 와전류손이 발생한다. 따라서, 복층비를 0.08~0.73으로 하는 것에 의해 철손을 저감할 수 있다. 이상의 이유로부터, 본 발명에서는 복층비(t_1/t)를 0.08~0.73으로 한다. 바람직하게는, t_1/t가 0.10~0.70이고, 보다 바람직하게는 0.30~0.60이다.

[0043] 또한, 내층부를 사이에 끼우는 한쪽의 표층부의 두께 t_{1-1}와 동 다른 한쪽의 표층부의 두께 t_{1-2}는, 동일한 것이 바람직하지만, 반드시 동일할 필요는 없다. 즉, t_{1-1}과 t_{1-2}는 20% 정도(두꺼운 쪽을 100%로 했을 때, 얇은 쪽이 80~100%)의 두께차를 갖고 있어도 좋다.

[0044] [판두께]

[0045] 또한, 상기 복층형 전자 강판의 판두께: t는 특별히 한정되지 않고, 임의의 값으로 할 수 있다. 그러나, 복층형 전자 강판이 지나치게 얇으면, 당해 복층형 전자 강판의 제조에 있어서의 냉간 압연, 어닐링의 실시가 곤란해져 비용 상승을 초래하는 경우가 있다. 그 때문에, 제조 비용 삭감의 관점에서는, t를 0.03㎜ 이상으로 하는 것이 바람직하다. 한편, t를 0.20㎜ 이하로 하면, 와전류손을 더욱 저감하고, 그 결과, 전체 철손을 한층 저하시킬 수 있다. 그 때문에, t는 0.20㎜ 이하로 하는 것이 바람직하다.

[0046] [자속 밀도비]

[0047] B_{50}/Bs: 0.825 이상

[0048] 자계의 강도: 5000A/m에 있어서의 자속 밀도 B_{50}에 대한, 포화 자화 Bs의 비(B_{50}/Bs)를 0.825 이상으로 한다. B_{50}/Bs를 높게(0.825 이상) 함으로써, 소형 모터에서 사용되는 설계 자속 밀도 영역에 있어서의 자화 곡선의 상승(rise)을 양호하게 할 수 있다. 이에 따라, 소정의 토크를 얻기 위해 필요한 모터 전류가 적어지기 때문에, 구리손을 저감하여, 모터 효율을 개선할 수 있다.

[0049] [철손]

[0050] 본 발명에 있어서는, 주파수: 10㎑, 최대 자속 밀도: 1.0T에 있어서의 철손(전체 철손): $W_{10/10k}$(W/kg)와, 상기 판두께: t(㎜)가, 하기 (1)식을 충족할 필요가 있다.

[0051] $W_{10/10k} \leq 25 + 6900 \times t$ …(1)

[0052] 상기 (1)식의 관계를 충족하지 않는 경우, 모터 효율의 저하를 초래할 뿐만 아니라, 스테이터 코어의 발열이 100℃를 초과해 버려 냉각 계통이 필요해지기 때문이다. 또한, 철손은 판두께에 의존하기 때문에, 상기 (1)식에서는 판두께의 영향을 고려하여 철손의 상한값을 규정했다.

[0053] 또한, 상기 (1)식을 만족시키기 위해서는, 집합 조직 제어에 의해 히스테리시스손을 저감함과 함께, Si 농도 구배 및 복층비를 소정의 범위로 제어함으로써 와전류손을 저감한다.

[0054] [집합 조직]

[0055] {100}면 집적도의 최고 강도값이 6.0 이상

[0056] Co를 적당량 첨가하고, 편석(segregation) 원소인 Sn, Sb의 적어도 1개를 적당량 첨가함으로써, 무방향성 전자 강판에 있어서의 {100}면을 증가시킬 수 있고, 이 면 내에 자화하기 쉬워진다. 또한, P도 편석 원소이고, 적당량 첨가에 의해, {100}면을 증가시키는 효과가 높아진다. 그 결과, 자속 밀도가 향상함과 함께 히스테리시스손도 저하한다. 따라서, {100}면 집적도를 6.0 이상으로 하는 것이 바람직하다. 여기에서, {100}면 집적도는, 무방향성 전자 강판의 표면으로부터 판두께의 1/4의 깊이의 면에 있어서의 방위 분포 함수(ODF)의 $\Phi_2=45°$ 단면에 있어서의 강도라고 정의한다.

[0057] 본 발명의 성분의 규정 이유에 대해서, 이하에 설명한다.

[0058] [성분 조성]

[0059] 우선, 상기 표층부와 내층부의 성분 조성에 대해서 설명한다. 또한, 이하의 설명에 있어서, 각 원소의 함유량을 나타내는 「%」는, 특별히 언급하지 않는 한 「질량%」를 나타내는 것으로 한다.

[0060] [표층부의 성분 조성]

[0061] 우선, 상기 표층부의 성분 조성에 대해서 설명한다. 본 발명에 있어서는, 복층형 전자 강판의 한쪽의 면에 형성된 제1 표층부와 다른 한쪽의 면에 형성된 제2 표층부의 양자가, 이하에 서술하는 성분 조성을 갖는다. 일반적으로는, 제1 표층부의 성분 조성과 제2 표층부의 성분 조성은 동일하게 하면 좋지만, 양자가 상이해도 좋다. 또한, 여기에서 표층부에 있어서의 원소의 함유량이란, 각각의 표층부에 있어서의 당해 원소의 평균 함유량을 가리키는 것으로 한다.

[0062] 즉, 표층부의 성분 조성은, Si: 4.0~7.5% 및 C: 0.0010~0.0100%, Co: 0.0010~0.0100%를 포함하고, 추가로 Sn: 0.010~0.100% 및 Sb: 0.010~0.100%의 어느 1종 또는 2종을 포함하고, 잔부가 Fe 및 불가피 불순물이다.

[0063] Si: 4.0~7.5%

[0064] Si는, 강판의 전기 저항을 높여, 와전류손을 저감하는 작용을 갖는 원소이다. 표층부의 Si 함유량($[Si]_1$)이 4.0% 미만이면, 효과적으로 와전류손을 저감할 수 없다. 그 때문에, 표층부의 Si 함유량은 4.0% 이상, 바람직하게는 4.5% 이상으로 한다. 한편, 표층부의 Si 함유량이 7.5%를 초과하면, 포화 자화의 저하에 의해 자속 밀도가 저하한다. 그 때문에, 표층부의 Si 함유량은 7.5% 이하, 바람직하게는 7.0% 미만, 보다 바람직하게는 6.5% 이하로 한다. 또한, 전술한 바와 같이, 표층부에 있어서의 Si 함유량이 4.0~7.5%라는 것은, 제1 표층부에 있어서의 평균 Si 함유량이 4.0~7.5%이고, 또한 제2 표층부에 있어서의 평균 Si 함유량이 4.0~7.5%인 것을 의미한다. 제1 표층부에 있어서의 평균 Si 함유량과 제2 표층부에 있어서의 평균 Si 함유량은 동일해도, 상이해도 좋다. 이하에 나타내는, 다른 원소에 대해서도 마찬가지의 정의가 적용된다.

[0065] C: 0.0010~0.0100%

[0066] C는, 결정 입계에 편석하여 입계 강도를 높여 재료의 가공성을 개선하는 원소이다. C를 0.0010% 이상 첨가함으로써, 재료의 신장이 개선된다. 이 때문에, 하한을 0.0010%로 한다. 바람직하게는, 0.0015% 이상이다.

한편, 첨가량이 0.0100%를 초과하면, 자기 시효(magnetic aging)에 의해 철손이 증가하기 때문에, 상한을 0.0100%로 한다. 바람직하게는, 0.0060% 이하이다.

[0067] Co: 0.0010~0.0100%

[0068] Co를 첨가함으로써, 최종 어닐링 후의 집합 조직이 크게 개선되어, 자속 밀도가 향상함과 함께 히스테리시스손을 저하시킬 수 있다. Co를 첨가하는 경우에, 상기 효과를 얻기 위해서는, Co 함유량을 0.0010% 이상으로 한다. 바람직하게는, 0.0015% 이상이다. 한편, Co 함유량이 0.0100%를 초과하면, 효과가 포화하는 것에 더하여, 비용의 상승을 초래한다. 그 때문에, Co 함유량은 0.0100% 이하로 한다. 바람직하게는, 0.0050% 이하이다.

[0069] Sn, Sb의 1종 또는 2종: 0.010~0.100%

[0070] Sn: 0.010~0.100%

[0071] Sn을 첨가함으로써, 최종 어닐링 후의 집합 조직이 크게 개선되어, 자속 밀도가 향상함과 함께 히스테리시스손을 저하시킬 수 있다. Sn을 첨가하는 경우에, 상기 효과를 얻기 위해서는, Sn 함유량을 0.010% 이상으로 한다. 바람직하게는, 0.020% 이상이다. 한편, Sn 함유량이 0.100%를 초과하면 효과가 포화하는 것에 더하여, 제조성의 저하 및 비용의 상승을 초래한다. 그 때문에, Sn 함유량은 0.100% 이하로 한다. 바람직하게는, 0.080% 이하이다.

[0072] Sb: 0.010~0.100%

[0073] Sn과 마찬가지로, Sb를 첨가함으로써, 최종 어닐링 후의 집합 조직이 크게 개선되어, 자속 밀도가 향상함과 함께 히스테리시스손을 저하시킬 수 있다. Sb를 첨가하는 경우에, 상기 효과를 얻기 위해 Sb 함유량을 0.010% 이상으로 한다. 바람직하게는, 0.020% 이상이다. 한편, Sb 함유량이 0.100%를 초과하면, 효과가 포화하는 것에 더하여 제조성의 저하 및 비용의 상승을 초래한다. 그 때문에, Sb 함유량은 0.100% 이하로 한다. 바람직하게는, 0.080% 이하이다.

[0074] 추가로, 필요에 따라서, P를 0.100% 이하의 범위로 함유하는 것이 바람직하다.

[0075] P: 0.100% 이하

[0076] P는, Sn, Sb, Co와 마찬가지로, 첨가함으로써 집합 조직이 크게 개선되어, 자속 밀도가 향상함과 함께 히스테리시스손을 저하시킬 수 있다. P를 첨가하는 경우에, 상기 효과를 얻기 위해서는, P 함유량을 0.010% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는, 0.030% 이상이다. 한편, P 함유량이 0.100%를 초과하면, 효과가 포화하는 것에 더하여, 제조성의 저하 및 비용의 상승을 초래한다. 그 때문에, P 함유량은 0.100% 이하로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는, 0.070% 이하이다.

[0077] 마찬가지로, 필요에 따라서, 이하의 원소의 어느 1종 이상을 함유할 수 있다.

[0078] Ge 및 Ga로부터 선택되는 1종 또는 2종을 합계로: 0.0100% 이하

[0079] Ge 및 Ga는, 집합 조직을 개선하는 효과가 있다. Ge 및 Ga의 어느 한쪽 또는 양쪽을 첨가하는 경우에, 상기 효과를 얻기 위해서는, Ge 및 Ga로부터 선택되는 1종 또는 2종을 합계로 0.0005% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는, 0.0020% 이상이다. 한편, Ge 및 Ga로부터 선택되는 1종 또는 2종을 합계로 0.0100%를 초과하여 첨가해도, 상기 효과가 포화하고, 합금 비용이 상승할뿐이다. 따라서, Ge 및 Ga의 어느 한쪽 또는 양쪽을 첨가하는 경우는, 0.0100% 이하로 한다. 보다 바람직하게는, 0.0050% 이하이다.

[0080] Cu, Cr 및 Ni로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상을 합계로: 1.00% 이하

[0081] Cu, Cr 및 Ni는, 비저항을 증대하여, 철손 저감에 유리하다. Cu, Cr 및 Ni의 어느 적어도 1종을 첨가하는 경우에, 상기 효과를 얻기 위해서는, Cu, Cr 및 Ni로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상을 합계로, 0.03% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 한편, 과도한 첨가는 자속 밀도의 저하를 초래하기 때문에, Cu, Cr 및 Ni의 어느 적어도 1종을 첨가하는 경우는, 1.00% 이하로 한다.

[0082] Ca, Mg 및 REM으로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상을 합계로: 0.0200% 이하

[0083] Ca, Mg 및 REM은, 안정적인 황화물을 형성하여, 입(grain) 성장성을 개선하는 효과가 있다. 상기 효과를 얻기 위해서는, Ca, Mg 및 REM으로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상을 합계로 0.0010% 이상 첨가하는 것이 바람직하다. 한편, Ca, Mg 및 REM으로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상을 합계로 0.0200%를 초과하여 첨가해도, 상기

효과는 포화해 버린다. 따라서, Ca, Mg 및 REM의 어느 적어도 1종을 첨가하는 경우는, 합계로 0.0200% 이하로 한다.

[0084] Zn: 0.0500% 이하

[0085] Zn은, 마무리 어닐링 시의 질화를 억제하는 효과가 있다. 이 효과를 얻기 위해 Zn을 첨가하는 경우는, 0.0010% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는, 0.0020% 이상이다. 한편, Zn을 0.0500% 초과로 첨가하면, 황화물을 형성하여 철손을 증가시키기 때문에, Zn을 첨가하는 경우는 0.0500% 이하로 한다. 보다 바람직하게는, 0.0100% 이하이다.

[0086] Mo 및 W로부터 선택되는 1종 또는 2종을 합계로: 0.0500% 이하

[0087] Mo 및 W는, 모두 무방향성 전자 강판의 표면 결함(벗겨짐)을 억제하는 데에 유효한 원소이다. 본 발명에 따르는 무방향성 전자 강판은, 고합금 강으로 표면이 산화되기 쉽기 때문에, 표면 균열에 기인하는 벗겨짐의 발생률이 높지만, 고온 강도를 높이는 원소인 Mo 및 W의 한쪽 또는 양쪽을 미량 첨가함으로써, 상기 균열을 억제할 수 있다. 이 효과는, Mo 및 W의 1종 또는 2종 이상의 합계로 0.0010%를 하회하면 충분히 얻는 것이 어려워지기 때문에, Mo 및 W의 한쪽 또는 양쪽을 첨가하는 경우는, 0.0010% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 한편, Mo 및 W의 한쪽 또는 양쪽을 0.0500% 초과로 첨가해도, 상기 효과가 포화하고, 합금 비용이 상승할뿐이다. 따라서, Mo 및 W의 한쪽 또는 양쪽을 첨가하는 경우는, 0.0500% 이하로 한다.

[0088] 본 발명의 일 실시 형태에서는, 상기 표층부가, 상기 원소를 포함하고, 잔부가 Fe 및 불가피 불순물로 이루어지는 성분 조성을 갖는다.

[0089] 또한, 상기 불가피적 불순물로서 전자 강판에 포함될 수 있는 원소의 예로서는, Al을 들 수 있다. Al 함유량을 0.10% 이하로 억제하면, 자속 밀도를 더욱 향상시킬 수 있다. 그 때문에, Al 함유량은 0.10% 이하로 억제하는 것이 바람직하다.

[0090] [내층부의 성분 조성]

[0091] 다음으로, 내층부의 성분 조성에 대해서 설명한다. 여기에서, 내층부에 있어서의 원소의 함유량이란, 내층부에 있어서의 당해 원소의 평균 함유량을 가리키는 것으로 한다.

[0092] 즉, 내층부의 성분 조성은, Si: 3.0~6.0% 및 C: 0.0010%~0.0100%, Co: 0.0010~0.0100%를 포함하고, 추가로 Sn: 0.010~0.100% 및 Sb: 0.010~0.100%의 어느 1종 또는 2종을 포함하고, 잔부가 Fe 및 불가피 불순물이다.

[0093] Si: 3.0~6.0%

[0094] 내층부의 Si 함유량($[Si]_0$)이 3.0% 미만이면, 고주파 철손이 증가한다. 그 때문에, 내층부의 Si 함유량은 3.0% 이상으로 한다. 바람직하게는, 3.3% 이상이다. 한편, 내층부의 Si 함유량이 6.0%를 초과하면, 모터 코어의 펀칭 시에 코어가 갈라진다는 문제가 발생한다. 그 때문에, 내층부의 Si 함유량은 6.0% 이하로 한다. 내층부의 Si 함유량은, 5.5% 이하로 하는 것이 바람직하다.

[0095] C: 0.0010~0.0100%

[0096] C는, 결정 입계에 편석하여 입계 강도를 높여 재료의 가공성을 개선하는 원소이다. C를 0.0010% 이상 첨가함으로써, 재료의 신장이 개선한다. 이 때문에, 하한을 0.0010%로 한다. 바람직하게는, 0.0015% 이상이다. 한편, 첨가량이 0.0100%를 초과하면, 자기 시효에 의해 철손이 증가하기 때문에 상한을 0.0100%로 한다. 바람직하게는, 0.0060% 이하이다.

[0097] Co: 0.0010~0.0100%

[0098] Sn, Sb와 마찬가지로, Co를 첨가함으로써, 최종 어닐링 후의 집합 조직이 크게 개선되어, 자속 밀도가 향상함과 함께 히스테리시스손을 저하시킬 수 있다. Co를 첨가하는 경우에, 상기 효과를 얻기 위해서는, Co 함유량을 0.0010% 이상으로 한다. 바람직하게는, 0.0015% 이상이다. 한편, Co 함유량이 0.0100%를 초과하면, 효과가 포화하는 것에 더하여, 비용의 상승을 초래한다. 그 때문에, Co 함유량은 0.0100% 이하로 한다. 바람직하게는, 0.0050% 이하이다.

[0099] Sn, Sb의 1종 또는 2종: 0.010~0.100%

[0100] Sn: 0.010~0.100%

[0101] Sn을 첨가함으로써, 최종 어닐링 후의 집합 조직이 크게 개선되어, 자속 밀도가 향상함과 함께 히스테리시스손을 저하시킬 수 있다. Sn을 첨가하는 경우에, 상기 효과를 얻기 위해서는, Sn 함유량을 0.010% 이상으로 한다. 바람직하게는, 0.020% 이상이다. 한편, Sn 함유량이 0.100%를 초과하면 효과가 포화하는 것에 더하여, 제조성의 저하 및 비용의 상승을 초래한다. 그 때문에, Sn 함유량은 0.100% 이하로 한다. 바람직하게는, 0.080% 이하이다.

[0102] Sb: 0.010~0.100%

[0103] Sn과 마찬가지로, Sb를 첨가함으로써, 최종 어닐링 후의 집합 조직이 크게 개선되어, 자속 밀도가 향상함과 함께 히스테리시스손을 저하시킬 수 있다. Sb를 첨가하는 경우에, 상기 효과를 얻기 위해 Sb 함유량을 0.010% 이상으로 한다. 바람직하게는, 0.020% 이상이다. 한편, Sb 함유량이 0.100%를 초과하면, 효과가 포화하는 것에 더하여 제조성의 저하 및 비용의 상승을 초래한다. 그 때문에, Sb 함유량은 0.100% 이하로 한다. 바람직하게는, 0.080% 이하이다.

[0104] 추가로, 필요에 따라서, P를 0.100% 이하의 범위로 함유할 수 있다.

[0105] P: 0.100% 이하

[0106] P는, Sn, Sb, Co와 마찬가지로, 첨가함으로써 집합 조직이 크게 개선되어, 자속 밀도가 향상함과 함께 히스테리시스손을 저하시킬 수 있다. P를 첨가하는 경우에, 상기 효과를 얻기 위해서는, P 함유량을 0.010% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는, 0.030% 이상이다. 한편, P 함유량이 0.100%를 초과하면, 효과가 포화하는 것에 더하여, 제조성의 저하 및 비용의 상승을 초래한다. 그 때문에, P 함유량은 0.100% 이하로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는, 0.070% 이하이다.

[0107] 마찬가지로, 필요에 따라서, 이하의 원소의 어느 1종 이상을 함유할 수 있다.

[0108] Ge 및 Ga로부터 선택되는 1종 또는 2종을 합계로: 0.0100% 이하

[0109] Ge 및 Ga는, 집합 조직을 개선하는 효과가 있다. Ge 및 Ga의 어느 한쪽 또는 양쪽을 첨가하는 경우에, 상기 효과를 얻기 위해서는, Ge 및 Ga로부터 선택되는 1종 또는 2종을 합계로 0.0005% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는, 0.0020% 이상이다. 한편, Ge 및 Ga로부터 선택되는 1종 또는 2종을 합계로 0.0100%를 초과하여 첨가해도, 상기 효과가 포화하고, 합금 비용이 상승할뿐이다. 따라서, Ge 및 Ga의 어느 한쪽 또는 양쪽을 첨가하는 경우는, 0.0100% 이하로 한다. 보다 바람직하게는, 0.0050% 이하이다.

[0110] Cu, Cr 및 Ni로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상을 합계로: 1.00% 이하

[0111] Cu, Cr 및 Ni는, 비저항을 증대하여, 철손 저감에 유리하다. Cu, Cr 및 Ni의 어느 적어도 1종을 첨가하는 경우에, 상기 효과를 얻기 위해서는, Cu, Cr 및 Ni로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상을 합계로, 0.03% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 한편, 과도한 첨가는 자속 밀도의 저하를 초래하기 때문에, Cu, Cr 및 Ni의 어느 적어도 1종을 첨가하는 경우는, 1.00% 이하로 한다.

[0112] Ca, Mg 및 REM으로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상을 합계로: 0.0200% 이하

[0113] Ca, Mg 및 REM은, 안정적인 황화물을 형성하여, 입 성장성을 개선하는 효과가 있다. 상기 효과를 얻기 위해서는, Ca, Mg 및 REM으로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상을 합계로 0.0010% 이상 첨가하는 것이 바람직하다. 한편, Ca, Mg 및 REM으로부터 선택되는 1종 또는 2종 이상을 합계로 0.0200% 초과로 첨가해도, 상기 효과는 포화해 버린다. 따라서, Ca, Mg 및 REM의 어느 적어도 1종을 첨가하는 경우는, 합계로 0.0200% 이하로 한다.

[0114] Zn: 0.0500% 이하

[0115] Zn은, 마무리 어닐링 시의 질화를 억제하는 효과가 있다. 이 효과를 얻기 위해 Zn을 첨가하는 경우는, 0.0010% 이상 함유시키는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는, 0.0020% 이상이다. 한편, Zn을 0.0500% 초과로 첨가하면, 황화물을 형성하여 철손을 증가시키기 때문에, Zn을 첨가하는 경우는 0.0500% 이하로 한다. 보다 바람직하게는, 0.0100% 이하이다.

[0116] Mo 및 W로부터 선택되는 1종 또는 2종을 합계로: 0.0500% 이하

[0117] Mo 및 W는, 어느것이나 무방향성 전자 강판의 표면 결함(벗겨짐)을 억제하는데에 유효한 원소이다. 본 발명에

따르는 무방향성 전자 강판은, 고합금 강으로 표면이 산화되기 쉽기 때문에, 표면 균열에 기인하는 벗겨짐의 발생율이 높지만, 고온 강도를 높이는 원소인 Mo 및 W의 한쪽 또는 양쪽을 미량 첨가하는 것에 의해, 상기 균열을 억제할 수 있다. 이 효과는, Mo 및 W의 1종 또는 2종 이상의 합계로 0.0010%를 하회하면 충분히 얻는 것이 어려워지기 때문에, Mo 및 W의 한쪽 또는 양쪽을 첨가하는 경우는, 0.0010% 이상으로 하는 것이 바람직하다. 한편, Mo 및 W의 한쪽 또는 양쪽을 0.0500% 초과로 첨가해도, 상기 효과가 포화하고, 합금 비용이 상승할 뿐이다. 따라서, Mo 및 W의 한쪽 또는 양쪽을 첨가하는 경우는, 0.0500% 이하로 한다.

[0118] [제조 방법]

[0119] 본 발명의 전자 강판의 제조 방법은, 특별히 한정되는 일 없이, 임의의 방법으로 제조할 수 있다. 제조 방법의 일 예로서는, Si 함유량이 상이한 강 소재를 클래드(clad)하는 방법을 들 수 있다. 상기 강 소재의 성분 조성은, 예를 들면, 성분이 상이한 재료를 전로(converter)에서 취련(blow)하여, 용강을 탈가스(degas) 처리함으로써 조정할 수 있다.

[0120] 클래드하는 방법은 특별히 한정되지 않지만, 예를 들면, 전술한 성분 조성을 갖는 표층부용의 강 슬래브(강 소재)와 내층부용의 강 슬래브(강 소재)를 준비하고, 최종적인 복층비가 소망하는 값이 되는 바와 같은 두께로 내층부용의 강 슬래브의 양면에 표층부용의 강 슬래브를 접합하고, 압연하면 좋다. 상기 압연은, 예를 들면, 열간 압연, 온간 압연 및 냉간 압연으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1 또는 2 이상으로 할 수 있다. 일반적으로는, 열간 압연과, 그 후의 온간 압연의 조합, 또는 열간 압연과, 그 후의 냉간 압연의 조합으로 하는 것이 바람직하다. 상기 열간 압연의 후에는, 열연판 어닐링을 행하는 것이 바람직하다. 또한, 상기 온간 압연 및 냉간 압연은, 중간 어닐링을 사이에 끼고 2회 이상 행할 수도 있다. 열간 압연에 있어서의 마무리 온도 그리고 권취 온도는 특별히 한정되지 않고, 상법에 따라서 결정하면 좋다. 상기 압연의 후, 마무리 어닐링을 행한다.

[0121] 또한, 다른 제조 방법으로서는, 침규(siliconizing) 처리를 이용할 수도 있다. 침규 처리를 이용하는 경우는, Si 함유량이 두께 방향으로 일정한 강판에 대하여 침규 처리를 실시함으로써, 강판 양면의 표층부의 Si 함유량을 높일 수 있다. 침규 처리의 방법은 특별히 한정되지 않고, 임의의 방법으로 행할 수 있다. 예를 들면, 화학 기상 증착법(CVD법)에 의해 강판 표면에 Si를 퇴적시키고, 그 후, 열처리를 행하여 Si를 강판의 내부로 확산시키는 방법을 이용할 수 있다. 표층부와 내층부의 Si 함유량은, CVD법에 의한 Si의 퇴적량이나, 열처리 조건을 조정함으로써 제어할 수 있다.

[0122] 실시예

[0123] 본 발명의 효과를 확인하기 위해, 이하에 서술하는 순서로 복층형 전자 강판을 제조하여, 그의 자기 특성을 평가했다.

[0124] 우선, 표 1~3에 나타내는 No. 3~No. 27, No. 30~No. 72에서는, 표 1에 나타내는 성분 조성을 갖는 표층부용과 표 2에 나타내는 성분 조성을 갖는 내층부용의 2종류의 강 슬래브를 준비했다. 다음으로, 상기 내층부용의 강 슬래브의 양면에 상기 표층부용의 강 슬래브를 적층하고, 적층된 강 슬래브의 외주를 용접했다. 따라서, 표층부의 성분 조성은 내층부를 사이에 끼운 양측에 있어서 동일하다. 상기 강 슬래브의 성분 조성은, 전로에서 취련한 후에 탈가스 처리를 행함으로써 조정했다. 또한, 상기 성분 조성은, 최종적으로 얻어지는 복층형 전자 강판에 있어서도 보존 유지되고 있다.

[0125] 이어서, 적층된 상기 강 슬래브를 1120℃에서 1h 가열한 후, 열간 압연을 판두께 2.0㎜까지 행하여 열연 강판으로 했다. 상기 열간 압연에 있어서의 열연 마무리 온도는 800℃로 했다. 상기 열연 강판을 권취 온도(coiling temperature): 610℃에서 권취하고, 이어서, 950℃×30s의 열연판 어닐링을 실시했다. 그 후, 산 세정 및 냉간 압연을 행하여, 표 3에 나타내는 마무리 어닐링 온도에서 어닐링을 행하여 전자 강판을 얻었다. 최종적으로 얻어진 전자 강판의 전체 판두께: t와, 상기 t에 대한 상기 표층부의 합계 두께: t_1의 비율(복층비)은 표 3에 나타내는 바와 같이 했다.

[0126] 또한, 비교를 위해, 클래드하고 있지 않은(비클래드(non-clad)) 통상의 전자 강판을 이용하여 동일한 시험을 행했다(No. 1, 2). 이들 비교예의 전자 강판에서는, 판두께 방향으로 성분이 상이한 층 구조로는 되어 있지 않다. 즉, 표층부가 존재하지 않는다.

[0127] 또한, No. 28, 29의 복층형 전자 강판은 침규법에 의해 제조했다. 구체적으로는, Si 함유량: 3.0%, 판두께 0.1㎜의 냉연 강판에 대하여, 1200℃에서 침규·확산 처리를 행했다. 강판의 전체 판두께에 있어서의 Si 함유량의 평균값을 산출하고, 상기 평균값보다도 Si 농도가 높은 부분을 표층부, 낮은 부분을 내층부로 했다. 표층

부의 Si 함유량은, 상기 표층부에 있어서의 Si량의 평균값이다.

표 1

No.	표층부																
	[Si]$_1$/(%)	C(%)	Co(%)	Sn(%)	Sb(%)	P(%)	Ga(%)	Ge(%)	Cu(%)	Cr(%)	Ni(%)	Zn(%)	Mo(%)	W(%)	Ca(%)	Mg(%)	REM(%)
1	3.0(비 클래드)	0.0025	0.0026	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	5.0(비 클래드)	0.0021	0.0019	0.020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	6.5	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	6.8	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	6.5	0.0056	0.0059	-	0.020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	6.5	0.0056	0.0059	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	6.5	0.0056	0.0006	0.020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	6.7	0.0092	0.0094	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	7.0	0.0092	0.0094	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	5.5	0.0028	0.0024	0.060	-	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	5.5	0.0028	0.0024	0.060	-	0.060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	6.4	0.0035	0.0015	0.040	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	6.4	0.0150	0.0015	0.040	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	6.4	0.0007	0.0015	0.040	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	6.5	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	6.5	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	6.5	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	6.5	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	6.5	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	6.5	0.0032	0.0130	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	6.0	0.0031	0.0014	0.050	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	6.0	0.0031	0.0014	0.050	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	6.3	0.0039	0.0028	0.030	-	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	5.0	0.0025	0.0025	0.060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	6.5	0.0035	0.0019	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	6.5	0.0038	0.0031	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	5.0	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	6.5	0.0032	0.0002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	5.5	0.0028	0.0024	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	6.3	0.0039	0.0028	-	0.010	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	6.3	0.0039	0.0028	0.010	0.010	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	6.5	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	6.5	0.0035	0.0019	0.030	-	-	0.0008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	6.5	0.0035	0.0019	0.030	-	-	0.0045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	6.5	0.0035	0.0019	0.030	-	-	-	0.0007	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	6.5	0.0035	0.0019	0.030	-	-	-	0.0048	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	6.5	0.0035	0.0019	0.030	-	-	0.0012	0.0008	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-
44	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-
45	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-
46	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	0.10	-	-	-	-	-	-	-
47	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	0.30	-	-	-	-	-	-	-
48	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	0.90	-	-	-	-	-	-	-
49	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	-
50	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	-	0.50	-	-	-	-	-	-
51	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	-	0.80	-	-	-	-	-	-
52	6.3	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	0.30	0.10	0.10	-	-	-	-	-	-
53	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	0.0015	-	-	-	-	-
54	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	0.0045	-	-	-	-	-
55	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	0.0210	-	-	-	-	-
56	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0029	-	-	-	-
57	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0300	-	-	-	-
58	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	0.0068	0.0050	-	-	-	-
59	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0011	-	-	-
60	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0140	-	-	-
61	6.4	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0360	-	-	-
62	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0024	-	-
63	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0940	-	-
64	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0180	-	-
65	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0008	-
66	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0025	-
67	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0086	-
68	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0007
69	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0034
70	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0091
71	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0019	-	0.0008
72	5.5	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0026	0.0014	-

[0128]

표 2

No.	내층부																	
	$[Si]_b$(%)	C(%)	Co(%)	Sn(%)	Sb(%)	P(%)	Ga(%)	Ge(%)	Cu(%)	Cr(%)	Ni(%)	Zn(%)	Mo(%)	W(%)	Ca(%)	Mg(%)	REM(%)	
1	3.0(비클래드)	0.0025	0.0026	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	5.0(비클래드)	0.0021	0.0019	0.020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	3.0	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	5.8	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	3.0	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	6.0	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	4.5	0.0056	0.0059	-	0.020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	4.5	0.0056	0.0059	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10	4.5	0.0056	0.0006	0.020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11	6.0	0.0092	0.0094	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12	6.0	0.0092	0.0094	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13	4.3	0.0028	0.0024	0.080	-	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14	4.3	0.0028	0.0024	0.080	-	0.080	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15	3.9	0.0035	0.0015	0.040	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16	3.9	0.0150	0.0015	0.040	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17	3.9	0.0007	0.0015	0.040	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	5.0	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19	5.0	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20	5.0	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21	5.0	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
22	5.0	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
23	5.0	0.0032	0.0130	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24	4.0	0.0031	0.0014	0.050	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25	4.0	0.0031	0.0014	0.050	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26	5.8	0.0039	0.0028	0.030	-	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
27	4.0	0.0025	0.0025	0.060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
28	5.0	0.0035	0.0019	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
29	5.5	0.0038	0.0031	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30	2.5	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
31	5.0	0.0032	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
32	4.3	0.0028	0.0024	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
33	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
34	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
35	5.8	0.0039	0.0028	-	0.010	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
36	5.8	0.0039	0.0028	0.030	0.010	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
37	5.0	0.0032	0.0024	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
38	5.0	0.0035	0.0019	0.030	-	-	0.0008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
39	5.0	0.0035	0.0019	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
40	5.0	0.0035	0.0019	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
41	5.0	0.0035	0.0019	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
42	5.0	0.0035	0.0019	0.030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
43	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
44	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	
45	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	0.50	-	-	-	-	-	-	-	-	
46	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	0.10	-	-	-	-	-	-	-	
47	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	0.30	-	-	-	-	-	-	-	
48	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	0.90	-	-	-	-	-	-	-	
49	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	-	0.04	-	-	-	-	-	-	
50	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	-	0.50	-	-	-	-	-	-	
51	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	-	-	0.80	-	-	-	-	-	-	
52	5.8	0.0039	0.0028	0.010	-	0.010	-	-	0.30	0.10	0.10	-	-	-	-	-	-	
53	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	0.0015	-	-	-	-	-	
54	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	0.0045	-	-	-	-	-	
55	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	0.0210	-	-	-	-	-	
56	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0029	-	-	-	-	
57	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0300	-	-	-	-	
58	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	0.0068	0.0050	-	-	-	-	
59	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0011	-	-	-	
60	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0140	-	-	-	
61	3.9	0.0035	0.0015	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0360	-	-	-	
62	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0024	-	-	
63	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0940	-	-	
64	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0180	-	-	
65	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0008	-	
66	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0025	-	
67	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0086	-	
68	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0007	
69	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0034	
70	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0091	
71	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0019	-	0.0008	
72	4.3	0.0028	0.0024	-	0.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0026	0.0014	-	

[0129]

표 3

No.	전체 판두께 t (mm)	ΔSi (%)	적층비 (표층 합계 두께 t_s/ 전체 판두께 t)	마무리 어닐링 온도 (℃)	비고
1	0.10	0.0	-	1000	비교예
2	0.20	0.0	-	1000	비교예
3	0.10	2.5	0.35	1050	발명예
4	0.10	3.5	0.35	1050	비교예
5	0.10	0.6	0.35	1050	발명예
6	0.10	3.8	0.35	1050	비교예
7	0.10	0.4	0.35	1050	비교예
8	0.08	2.0	0.50	1100	발명예
9	0.08	2.0	0.50	1100	비교예
10	0.08	2.0	0.50	1100	비교예
11	0.07	0.7	0.50	1000	발명예
12	0.05	1.0	0.40	1000	발명예
13	0.10	1.2	0.30	1050	발명예
14	0.10	1.2	0.30	1050	발명예
15	0.10	2.5	0.35	1050	발명예
16	0.10	2.5	0.35	1050	비교예
17	0.10	2.5	0.35	1050	비교예
18	0.15	1.5	0.08	1000	발명예
19	0.15	1.5	0.15	1000	발명예
20	0.15	1.5	0.40	1000	발명예
21	0.15	1.5	0.65	1000	발명예
22	0.15	1.5	0.75	1000	비교예
23	0.15	1.5	0.65	1000	비교예
24	0.06	2.0	0.40	1050	발명예
25	0.20	2.0	0.40	1050	발명예
26	0.10	0.5	0.40	1050	발명예
27	0.10	1.0	0.40	1100	발명예
28	0.10	1.5	0.30	1200	발명예
29	0.10	1.0	0.30	1200	발명예
30	0.10	2.5	0.35	1050	비교예
31	0.15	1.5	0.40	1000	비교예
32	0.10	1.2	0.30	1050	발명예
33	0.10	1.2	0.30	1050	발명예
34	0.10	0.5	0.40	1050	발명예
35	0.10	0.5	0.40	1050	발명예
36	0.10	0.5	0.40	1050	발명예
37	0.15	1.5	0.05	1000	비교예
38	0.10	1.5	0.30	1200	발명예
39	0.10	1.5	0.30	1200	발명예
40	0.10	1.5	0.30	1200	발명예
41	0.10	1.5	0.30	1200	발명예
42	0.10	1.5	0.30	1200	발명예
43	0.10	0.5	0.40	1050	발명예
44	0.10	0.5	0.40	1050	발명예
45	0.10	0.5	0.40	1050	발명예
46	0.10	0.5	0.40	1050	발명예
47	0.10	0.5	0.40	1050	발명예
48	0.10	0.5	0.40	1050	발명예
49	0.10	0.5	0.40	1050	발명예
50	0.10	0.5	0.40	1050	발명예
51	0.10	0.5	0.40	1050	발명예
52	0.10	0.5	0.40	1050	발명예
53	0.10	2.5	0.35	1050	발명예
54	0.10	2.5	0.35	1050	발명예
55	0.10	2.5	0.35	1050	발명예
56	0.10	2.5	0.35	1050	발명예
57	0.10	2.5	0.35	1050	발명예
58	0.10	2.5	0.35	1050	발명예
59	0.10	2.5	0.35	1050	발명예
60	0.10	2.5	0.35	1050	발명예
61	0.10	2.5	0.35	1050	발명예
62	0.10	1.2	0.30	1050	발명예
63	0.10	1.2	0.30	1050	발명예
64	0.10	1.2	0.30	1050	발명예
65	0.10	1.2	0.30	1050	발명예
66	0.10	1.2	0.30	1050	발명예
67	0.10	1.2	0.30	1050	발명예
68	0.10	1.2	0.30	1050	발명예
69	0.10	1.2	0.30	1050	발명예
70	0.10	1.2	0.30	1050	발명예
71	0.10	1.2	0.30	1050	발명예
72	0.10	1.2	0.30	1050	발명예

[0130]

[0131] (자기 특성)

[0132] 이어서, 얻어진 전자 강판의 각각에 대해서, 자기 특성을 측정했다. 상기 자기 측정은, JIS C 2550-1에 준하여, 25㎝ 엡스타인 프레임을 이용하여 행했다. 상기 자기 특성으로서는, 1.0T, 10㎑에 있어서의 철손: $W_{10/10k}$(W/kg), 자계의 강도: 5000A/m에 있어서의 자속 밀도: B_{50} 및, 포화 자화 Bs를 측정했다. 이들 측정 결과를, 표 4에 나타낸다.

표 4

No.	25+6900×t	$W_{10/10k}$ (W/kg)	B_{50} (T)	포화 자화 Bs (T)	B_{50}/Bs	{100} 면의 최고 강도	비고
1	715	850	1.67	2.01	0.832	9.3	비교예
2	1405	1500	1.56	1.88	0.830	8.6	비교예
3	715	650	1.57	1.89	0.829	9.1	발명예
4	715	735	1.60	1.93	0.828	8.7	비교예
5	715	635	1.52	1.82	0.837	8.6	발명예
6	715	735	1.56	1.92	0.811	7.3	비교예
7	715	730	1.51	1.81	0.836	8.2	비교예
8	577	535	1.54	1.85	0.833	9.1	발명예
9	577	595	1.48	1.85	0.801	2.5	비교예
10	577	600	1.49	1.85	0.806	2.9	비교예
11	508	485	1.49	1.79	0.831	6.9	본 발명
12	370	350	1.48	1.79	0.827	6.5	본 발명
13	715	670	1.60	1.90	0.841	9.8	발명예
14	715	660	1.61	1.90	0.847	10.5	발명예
15	715	640	1.59	1.89	0.839	10.1	발명예
16	715	730	1.59	1.89	0.839	9.8	비교예
17	715	–	–	–	–	–	비교예(제품판에 균열 발생)
18	1060	1020	1.59	1.87	0.849	9.4	발명예
19	1060	1000	1.59	1.87	0.852	9.5	발명예
20	1060	980	1.58	1.84	0.858	9.5	발명예
21	1060	975	1.56	1.82	0.858	9.5	발명예
22	1060	1100	1.53	1.81	0.846	9.4	비교예
23	1060	1090	1.52	1.82	0.836	9.2	비교예
24	439	400	1.60	1.89	0.845	8.4	발명예
25	1405	1250	1.62	1.89	0.856	9.6	발명예
26	715	650	1.53	1.82	0.843	9.9	발명예
27	715	680	1.63	1.92	0.850	9.7	발명예
28	715	650	1.55	1.85	0.837	9.1	발명예
29	715	630	1.54	1.83	0.842	9.1	발명예
30	715	770	1.61	1.98	0.813	6.3	비교예
31	1060	1150	1.50	1.84	0.815	2.4	비교예
32	715	680	1.59	1.90	0.836	8.8	발명예
33	715	680	1.59	1.90	0.836	8.8	발명예
34	715	680	1.50	1.82	0.826	7.2	발명예
35	715	680	1.50	1.82	0.826	7.3	발명예
36	715	665	1.51	1.82	0.831	7.9	발명예
37	1060	1090	1.59	1.87	0.849	9.4	비교예
38	715	645	1.55	1.85	0.837	9.3	발명예
39	715	640	1.56	1.85	0.843	9.5	발명예
40	715	640	1.56	1.85	0.843	9.6	발명예
41	715	645	1.55	1.85	0.837	9.2	발명예
42	715	635	1.57	1.85	0.848	9.7	발명예
43	715	640	1.53	1.82	0.843	9.9	발명예
44	715	635	1.53	1.82	0.843	9.9	발명예
45	715	630	1.53	1.82	0.843	9.9	발명예
46	715	644	1.53	1.82	0.843	9.9	발명예
47	715	632	1.53	1.82	0.843	9.9	발명예
48	715	620	1.53	1.82	0.843	9.9	발명예
49	715	641	1.53	1.82	0.843	9.9	발명예
50	715	630	1.53	1.82	0.843	9.9	발명예
51	715	621	1.53	1.82	0.843	9.9	발명예
52	715	620	1.53	1.82	0.843	9.9	발명예
53	715	645	1.57	1.89	0.829	9.1	발명예
54	715	643	1.57	1.89	0.829	9.1	발명예
55	715	642	1.57	1.89	0.829	9.1	발명예
56	715	643	1.57	1.89	0.829	9.1	발명예
57	715	640	1.57	1.89	0.829	9.1	발명예
58	715	643	1.57	1.89	0.829	9.1	발명예
59	715	642	1.57	1.89	0.829	9.1	발명예
60	715	646	1.57	1.89	0.829	9.1	발명예
61	715	642	1.57	1.89	0.829	9.1	발명예
62	715	671	1.59	1.90	0.836	8.8	발명예
63	715	668	1.59	1.90	0.836	8.8	발명예
64	715	673	1.59	1.90	0.836	8.8	발명예
65	715	665	1.59	1.90	0.836	8.8	발명예
66	715	668	1.59	1.90	0.836	8.8	발명예
67	715	672	1.59	1.90	0.836	8.8	발명예
68	715	664	1.59	1.90	0.836	8.8	발명예
69	715	673	1.59	1.90	0.836	8.8	발명예
70	715	663	1.59	1.90	0.836	8.8	발명예
71	715	665	1.59	1.90	0.836	8.8	발명예
72	715	664	1.59	1.90	0.836	8.8	발명예

[0133]

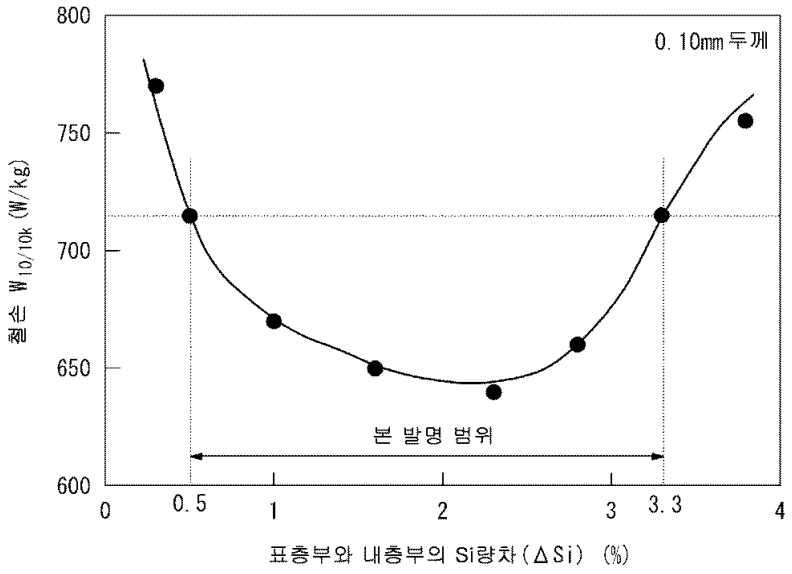
[0134] 표 4에 나타낸 결과로부터 알 수 있는 바와 같이, 본 발명의 조건을 충족하는 발명예의 전자 강판은, 고주파 철손이 낮고, 또한 자속 밀도가 높다는, 우수한 특성을 갖고 있다.

[0135] (산업상의 이용 가능성)

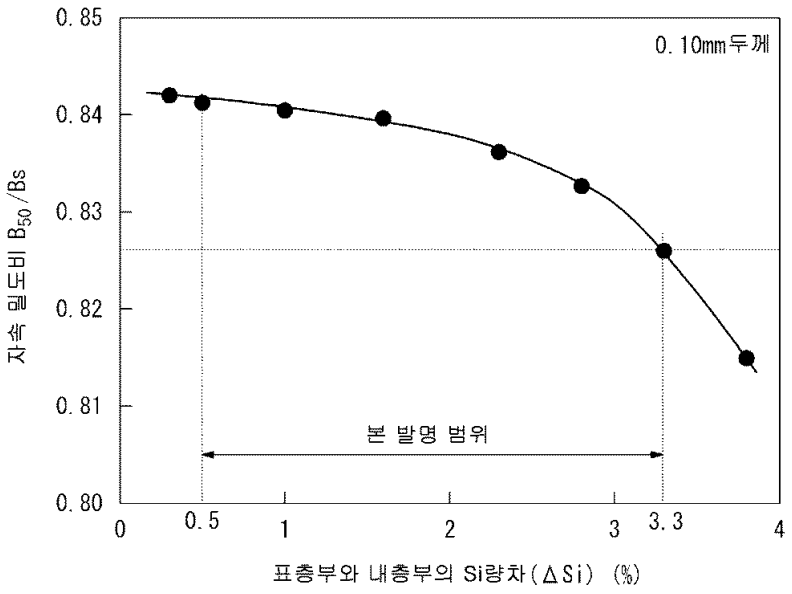
[0136] 본 발명의 전자 강판은, 고주파로 구동되는 하이브리드 전기 자동차, 전기 자동차, 청소기, 고속 발전기, 에어 컨 컴프레서, 공작 기계 등의 모터 코어 나아가서는 변압기, 리액터 등의 코어 재료로서, 매우 적합하게 이용할 수 있다.

도면

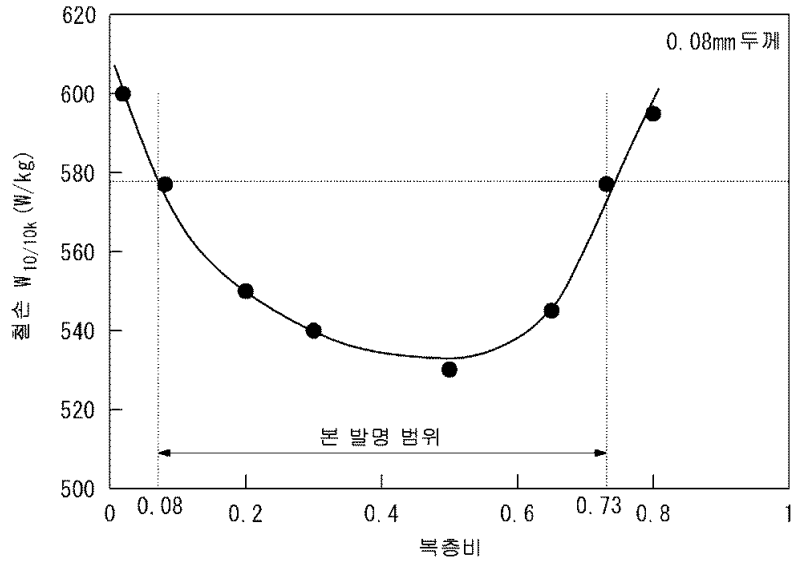
도면1


800
750
700
650
600
철손 $W_{10/10k}$ (W/kg)
0.10mm 두께
본 발명 범위
0
0.5
1
2
3
3.3
4
표층부와 내층부의 Si량차(ΔSi) (%)

도면2


0.85
0.84
0.83
0.82
0.81
0.80
자속 밀도비 B_{50}/Bs
0.10mm 두께
본 발명 범위
0
0.5
1
2
3
3.3
4
표층부와 내층부의 Si량차(ΔSi) (%)

도면3


620
600
580
560
540
520
500
철손 W10/10k (W/kg)
0.08mm 두께
본 발명 범위
0
0.08
0.2
0.4
0.6
0.73
0.8
1
복층비