(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0104454
(43) 공개일자 2019년09월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H05K 9/00 (2018.01)
(52) CPC특허분류
H05K 9/0084 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-7025681(분할)
(22) 출원일자(국제) 2016년04월07일
심사청구일자 2019년08월30일
(62) 원출원 특허 10-2018-7001066
원출원일자(국제) 2016년04월07일
심사청구일자 2018년01월12일
(85) 번역문제출일자 2019년08월30일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2016/061433
(87) 국제공개번호 WO 2016/203825
국제공개일자 2016년12월22일
(30) 우선권주장
JP-P-2015-120679 2015년06월15일 일본(JP)

(71) 출원인
제이엑스금속주식회사
일본 도쿄도 지요다쿠 오테마치 1쵸메 1방 2고
(72) 발명자
간무리 가즈키
일본국 3170056 이바라키현 히타치시 시로가네쵸 1쵸메 1반 2고 제이엑스금속주식회사 기술개발센터 내
다나카 고이치로
일본국 3170056 이바라키현 히타치시 시로가네쵸 1쵸메 1반 2고 제이엑스금속주식회사 기술개발센터 내
(74) 대리인
특허법인(유한) 대아

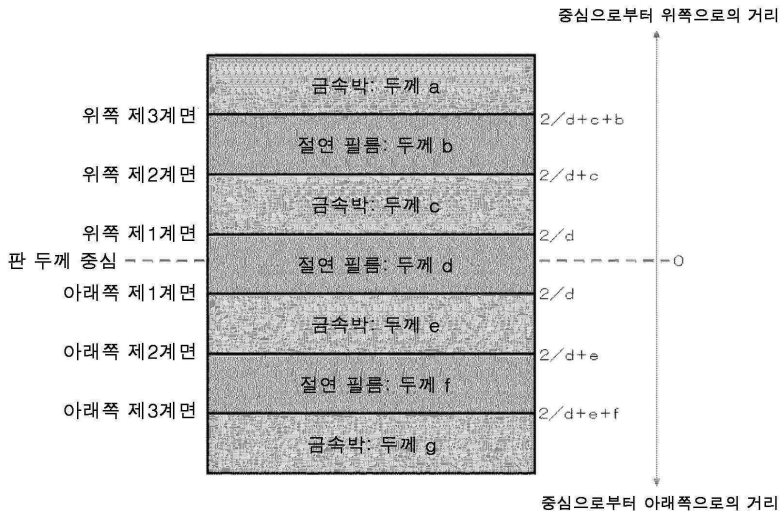
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **전자파 실드재**

(57) 요 약

전자파 실드 특성, 경량 특성 및 성형성이 우수한 전자파 실드재를 제공한다. N을 2 이상의 정수로 했을 때에, 두께 5~100㎛의 N매의 금속박과 두께 5㎛ 이상의 N+1매의 수지층이 교대로 적층된 적층체, 또는, 두께 5~100㎛의 N+1매의 금속박과 두께 5㎛ 이상의 N매의 수지층이 교대로 적층된 적층체에 의해 구성되는 전자파 실드재로서, 상기 적층체의 두께가 100~500㎛이며, 상기 적층체의 두께 중심을 기준으로 하여 상하 양측에 있는 수지층과 금속박의 순서가 서로 대응하는 경계면에 대해서 기준으로부터 이들 경계면까지의 거리가 모두 오차 ±10% 이내인 전자파 실드재.

대 표 도 - 도1



명 세 서

청구범위

청구항 1

N을 2 이상의 정수로 했을 때, 두께 5~100㎛의 N매의 금속박과, 두께 5㎛ 이상의 N+1매의 절연 수지층이 교대로 적층된 적층체, 또는 두께 5~100㎛의 N+1매의 금속박과 두께 5㎛ 이상의 N매의 절연 수지층이 교대로 적층된 적층체에 의해 구성되는 전자파 실드재로서, 상기 적층체의 두께가 100~500㎛이고, 절연 수지층과 금속박이 교대되는 2N개의 경계면에 대해 상기 적층제의 두께 중심으로부터 상하 양측으로 대응되는 경계면까지의 거리 차이가 상기 거리의 ±10% 범위 이내인 전자파 실드재.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 절연 수지층의 한 장당 두께가 5㎛ 이상 150㎛ 이하인 전자파 실드재.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 절연 수지층이 열가소성 수지로 이루어지는 전자파 실드재.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 절연 수지층은 응력 변형도 곡선(SS 곡선)에서 δσ / δε가 ε=0.2~0.5인 범위에서 항상 0Pa 이상인 전자파 실드재.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 금속박이 동박인 전자파 실드재.

청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 금속박의 절연 수지층과의 계면에 Ni, Cr, Co 및 Fe로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종 이상의 원소를 포함하는 도금이 실시된 전자파 실드재.

청구항 7

제6항에 있어서,

도금 부착량이 합계로 50~600㎍/dm²인 전자파 실드재.

청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 금속박의 표면 조도가 Rz(10점 평균 조도)로 0.1~1.5㎛인 전자파 실드재.

청구항 9

제1항 또는 제2항에 기재된 전자파 실드재를 구비한 전기·전자기기용의 외장재.

청구항 10

제1항 또는 제2항에 기재된 전자파 실드재를 구비한 전기 · 전자기기용의 피복재.

청구항 11

제9항에 기재된 외장재를 구비한 전기 · 전자기기.

청구항 12

제10항에 기재된 피복재를 구비한 전기 · 전자기기.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 전자파 실드재에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 전기 · 전자기기의 피복재 또는 외장재에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 근년, 지구 환경 문제에 대한 관심이 전 세계적으로 높아지고 있고, 전기 자동차나 하이브리드 자동차와 같은 2차 전지를 탑재한 환경 배려형 자동차의 보급이 진전되고 있다. 이들 자동차에서는, 탑재된 2차 전지로부터 발생하는 직류 전류를 인버터를 통해서 교류 전류로 변환한 후, 필요한 전력을 교류 모터에 공급하여, 구동력을 얻는 방식을 채용하는 것이 많다. 인버터의 스위칭 동작 등에 기인해 전자파가 발생한다. 전자파는 차재의 음향기기나 무선기기 등의 수신 장해가 되는 점에서, 인버터 혹은 인버터와 함께 배터리나 모터 등을 금속제 케이스 내에 수용하여, 전자파를 차단하는 대책을 실행해 왔다(일본 공개특허공보 2003-285002호).

[0003] 또한, 자동차에 한정하지 않고, 통신 기기, 디스플레이 및 의료기기를 포함하여 많은 전기 · 전자기기로부터 전자파가 방사된다. 전자파는 정밀 기기의 오작동을 일으킬 가능성이 있고, 나아가서는 인체에 대한 영향도 우려된다. 이 때문에, 전자파 실드재를 이용해서 전자파의 영향을 경감하는 각종 기술이 개발되어 왔다. 예를 들면, 동박과 수지 필름을 적층하여 이루어지는 동박 복합체가 전자파 실드재로서 이용되고 있다(일본 공개특허공보 평7-290449호). 동박은 전자파 실드성을 갖고, 수지 필름은 동박의 보강을 위해서) 적층된다. 또한, 절연 재료로 이루어지는 중간층의 내측과 외측에 각각 금속층을 적층한 전자파 실드 구조도 알려져 있다(일본 특허공보 제4602680호). 또한, 베이스 기판과, 상기 베이스 기판의 일면에 형성되고, 금속층 및 고굴절률층(오산화니오븀)을 포함하는 복수의 반복 단위막으로 구성된 적층 부재를 구비하는 전자파 차단용 광학 부재도 알려져 있다(일본 공개특허공보 2008-21979호).

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 일본 공개특허공보 2003-285002호

(특허문헌 0002) 일본 공개특허공보 평7-290449호

(특허문헌 0003) 일본 특허공보 제4602680호

(특허문헌 0004) 일본 공개특허공보 2008-21979호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 자동차에 있어서는 연비 향상의 관점에서 경량화가 큰 과제가 되고 있고, 금속 재료로부터 수지 재료나 탄소 섬유 재료로의 전환도 검토가 진행되고 있다. 그러나, 수지 재료나 탄소 섬유 재료는 입체 성형이 가능하지만 전자파 실드 효과는 기대할 수 없다. 그렇다고 해서 금속제의 전자파 실드재의 두께를 너무 작게 하면 우수한 실드 효과를 얻을 수 없고, 쉽게 갈라져서 성형 가공도 어려워진다. 일본 공개특허공보 평7-290449호에 기재된 기술이나 일본 특허공보 제4602680호에 기재된 기술도 마찬가지로, 우수한 실드 효과를 얻는데 필요한 전자파

실드재의 두께는 상당히 크게 할 필요가 있어, 충분한 경량화를 달성하지 못하고, 또한, 우수한 성형성을 얻을 수도 없다. 일본 공개특허공보 2008-21979호에 기재된 기술은 빛의 통과를 확보하기 위해서 나노미터 오더의 금속층을 적층하는 기술이기 때문에, 전자파 실드 특성에 한계가 있고, 지나치게 얇아서 성형성에도 어려움이 있다.

[0006] 본 발명은 상기 사정을 감안하여 창작된 것으로, 전자파 실드 특성, 경량 특성, 및 성형성이 우수한 전자파 실드재를 제공하는 것을 과제로 하고, 특히 전기·전자기기용 피복재 또는 외장재로서 바람직한 전자파 실드재를 제공하는 것을 과제로 한다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명자는 상기 과제를 해결하기 위하여 예의 검토를 거듭한 바, 금속박 및 수지층을 5매 이상 교대로 적층함으로써, 전자파 실드 효과가 현격히 향상되는 것을 알아냈다. 그리고, 적층체의 두께 중심으로부터 두께 방향으로 대칭성이 있는 적층 구조로 함으로써, 금속박과 수지층의 밀착성이 높아지고, 높은 성형성을 얻을 수 있다는 것을 알아냈다. 본 발명은 이러한 지견에 근거하여 완성한 것이고, 이하와 같이 특정할 수 있다.

[0008] 본 발명은 일측면에 있어서, N을 2 이상의 정수로 했을 때, 두께 5~100㎛의 N매의 금속박과, 두께 5㎛ 이상의 N+1매의 수지층이 교대로 적층된 적층체, 또는 두께 5~100㎛의 N+1매의 금속박과 두께 5㎛ 이상의 N매의 수지층이 교대로 적층된 적층체에 의해 구성되는 전자파 실드재로서, 상기 적층체의 두께가 100~500㎛이고, 상기 적층체의 두께 중심을 기준으로 하여 상하 양측에 있는 수지층과 금속박의 순서가 서로 대응하는 경계면에 대해서 기준으로부터 이들 경계면까지의 거리가 모두 오차 ±10% 이내인 전자파 실드재이다.

[0009] 본 발명에 관련된 전자파 실드재의 일 실시형태에 있어서는, 상기 수지층이 열가소성 수지로 이루어진다.

[0010] 본 발명에 관련된 전자파 실드재의 다른 일 실시형태에 있어서는, 상기 수지층은 응력 변형도 곡선(SS 곡선)에서 $\delta\sigma/\delta\varepsilon$가 ε=0.2~0.5로 항상 0Pa 이상이다.

[0011] 본 발명에 관련된 전자파 실드재의 또 다른 일 실시형태에 있어서는, 상기 금속박이 동박이다.

[0012] 본 발명에 관련된 전자파 실드재의 또 다른 일 실시형태에 있어서는, 상기 금속박의 수지층과의 계면에 Ni, Cr, Co 및 Fe로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종 이상의 원소를 포함하는 도금처리가 되어 있다.

[0013] 본 발명에 관련된 전자파 실드재의 또 다른 일 실시형태에 있어서는, 도금 부착량이 합계로 50~600㎍/dm²이다.

[0014] 본 발명에 관련된 전자파 실드재의 또 다른 일 실시형태에 있어서는, 상기 금속박의 표면 조도가 Rz(10점 평균 조도)로 0.1~1.5㎛이다.

[0015] 본 발명은 다른 일측면에 있어서, 본 발명에 관련된 전자파 실드재를 구비한 전기·전자기기용 피복재 또는 외장재이다.

[0016] 본 발명은 또 다른 일측면에 있어서, 본 발명에 관련된 피복재 또는 외장재를 구비한 전기·전자기기이다.

발명의 효과

[0017] 본 발명에 관련된 전자파 실드재에서는, 우수한 전자파 실드 특성을 갖고, 경량화를 달성할 수 있는 외에, 두께 방향으로 대칭성이 높은 적층 구조를 채용함으로써 성형성도 확보할 수 있다. 또한, 본 발명에 관련된 전자파 실드재는 금속박과 수지층이라는 단순한 구성으로 구축 가능하고, 경제성도 우수하다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명에 관련된 전자파 실드재를 구성하는 적층체 구조의 일례를 모식적으로 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] (금속박)

[0020] 본 발명에 관련된 전자파 실드재에 사용하는 금속박의 재료로는 특별히 제한은 없지만, 교류 자계나 교류 전계에 대한 실드 특성을 높이는 관점에서는, 도전성이 우수한 금속재료로 하는 것이 바람직하다. 구체적으로는, 전기 저항률이 $5.0\times10^{-5}\Omega\cdot m$(20℃의 값. 이하 동일.) 이하인 금속에 의해 형성하는 것이 바람직하고, 금속의 전기 저항률이 $1.0\times10^{-7}\Omega\cdot m$ 이하이면 보다 바람직하며, $7.0\times10^{-8}\Omega\cdot m$ 이하이면 더욱 바람직하고, $5.0\times10^{-8}\Omega$

·m 이하이면 가장 바람직하다. 이러한 금속으로서는, 전기 저항률이 약 $1.0\times10^{-7}\Omega\cdot m$의 철, 전기 저항률이 약 $2.65\times10^{-8}\Omega\cdot m$의 알루미늄, 전기 저항률이 약 $1.68\times10^{-8}\Omega\cdot m$의 구리, 및 전기 저항률이 약 $1.59\times10^{-8}\Omega\cdot m$의 은을 들 수 있다. 전기 저항률과 비용 쌍방을 고려하면, 알루미늄 또는 구리를 채용하는 것이 실용성상 바람직하고, 알루미늄은 이종 금속과 접촉하면 부식하기 쉬운 점에서 전자파 실드재와 같이 접지를 필요로 하는 재료에는 구리가 보다 적합하다. 본 발명에 관련된 전자파 실드재 중에 사용하는 금속박은 모두 동일한 금속이어도 좋고, 층마다 다른 금속을 사용해도 좋다. 또한, 상술한 금속의 합금을 사용할 수도 있다. 금속박 표면에는 접착 촉진, 내환경성, 내열 또는 방청 등을 목적으로 한 도금층 등의 각종 표면 처리층이 형성되어 있어도 좋다.

[0021] 예를 들면, 금속박 표면이 산화하면 수지층과의 밀착성이 저하한다. 이 때문에, 금속박의 수지층과 접촉하는 표면에, Ni, Cr, Co 및 Fe로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종 이상의 원소를 포함하는 도금층을 형성하는 것이 금속박 표면의 산화를 방지하여 수지층과의 밀착성을 향상시키는 관점에서 바람직하다. 수지층과의 밀착성이 향상함으로써, 성형 가공시에 수지층과 금속박이 잘 박리 되지 않게 된다. 또한, 실드 성능을 향상시키는 효과도 있다.

[0022] Cu 등의 금속박을 구성하는 원소를 도금 표면까지 확산시키면 밀착성의 저하로 이어지기 때문에, 도금층의 단위 면적당 부착량은 합계로 50㎍/dm² 이상으로 하는 것이 바람직하고, 100㎍/dm² 이상으로 하는 것이 보다 바람직하며, 150㎍/dm² 이상으로 하는 것이 더욱 바람직하다. 또한, 도금층이 두꺼우면 딱딱해져서, 성형성의 열화로 이어지는 점에서, 도금층의 부착량은 합계로 600㎍/dm² 이하로 하는 것이 바람직하고, 500㎍/dm² 이하로 하는 것이 보다 바람직하며, 400㎍/dm² 이하로 하는 것이 보다 더 바람직하다.

[0023] 도금층의 유무에 상관없이, 금속박 표면의 조도는, 앵커 효과에 의한 수지층과의 밀착성을 향상시키는 관점에서, Rz(10점 평균 조도)로 0.1㎛ 이상인 것이 바람직하고, 0.3㎛ 이상인 것이 보다 바람직하며, 0.6㎛ 이상인 것이 보다 더 바람직하다. 또한, 금속박 표면의 조도가 너무 크면 상기 금속박과의 접착 계면 근방에서의 수지 강도가 열화되기 쉽다. 수지 강도가 열화 함으로써 성형 가공시에 수지층이 응집 파괴를 일으켜 밀착성이 저하한다. 이 때문에, 금속박 표면의 조도는, Rz로 1.5㎛ 이하인 것이 바람직하고, 1.3㎛ 이하인 것이 보다 바람직하며, 1.2㎛ 이하인 것이 보다 더 바람직하다. 본 발명에 있어서, Rz(10점 평균 조도)는 JIS B0601：1994에 준거하여 접촉식 조도계에 의해 측정된다.

[0024] 또한, 금속면이 최외층이 되는 경우에 요구되는 내환경성, 내열성을 높이는 것을 목적으로 하여, Au 도금, Ag 도금, Sn 도금, Ni 도금, Zn 도금, Sn 합금 도금(Sn-Ag, Sn-Ni, Sn-Cu 등), 크로메이트 처리 등을 실시할 수 있다. 이들 처리를 조합해도 좋다. 비용의 관점에서 Sn 도금 혹은 Sn 합금 도금이 바람직하다.

[0025] 금속박으로서 동박을 사용하는 경우, 실드 성능이 향상하는 점에서, 순도가 높은 것이 바람직하고, 순도는 바람직하게는 99.5질량% 이상, 보다 바람직하게는 99.8질량% 이상이다. 동박으로서는, 압연 동박, 전해 동박, 금속화에 의한 동박 등을 이용할 수 있지만, 굴곡성 및 성형성이 우수한 압연 동박이 바람직하다. 동박 중에 합금 원소를 첨가해서 구리합금박으로 하는 경우, 이들 원소와 불가피적 불순물과의 합계 함유량이 0.5질량% 미만이면 좋다. 특히, 동박 중에, Sn, Mn, Cr, Zn, Zr, Mg, Ni, Si, 및 Ag의 군으로부터 선택되는 적어도 1종 이상을 합계로 200~2000질량ppm 함유하면, 같은 두께의 순동박보다 신장이 향상되므로 바람직하다.

[0026] 본 발명에 관련된 전자파 실드재에 사용하는 금속박의 두께는, 너무 얇으면 금속박의 연성이 저하하고, 실드재의 성형시에 갈라지기 쉬워진다. 균열이 생겼을 경우, 실드 효과도 저하되어 버린다. 또한, 한 매당 박의 두께가 너무 얇으면 우수한 전자파 실드 효과를 얻기 위해서 다수의 금속박을 적층할 필요성이 생기기 때문에, 제조 비용이 상승한다는 문제도 생긴다. 이러한 관점에서, 금속박은 한 매당 5㎛ 이상인 것이 바람직하고, 10㎛ 이상인 것이 보다 바람직하며, 15㎛ 이상인 것이 더욱 바람직하고, 20㎛ 이상인 것이 더욱 바람직하며, 25㎛ 이상인 것이 더욱 바람직하고, 30㎛ 이상인 것이 더욱 바람직하다. 한편, 한 매당 박의 두께가 너무 두꺼우면 강성이 생겨서 성형성을 악화시키는 점에서, 금속박의 두께는 한 매당 100㎛ 이하인 것이 바람직하고, 75㎛ 이하인 것이 보다 바람직하며, 50㎛ 이하인 것이 더욱 바람직하고, 40㎛ 이하인 것이 더욱 바람직하다. 또한, 본 발명에서는 도금층을 금속박상에 형성하는 경우, 금속박의 두께는 도금층의 두께를 포함한 두께를 가리키는 것으로 한다.

[0027] (수지층)

[0028] 본 발명에 관련된 전자파 실드재에 있어서, 복수 매의 금속박을 적층함에 따른 전자파 실드 효과의 현저한 개선은, 금속박과 금속박 사이에 수지층을 사이에 끼워 넣어서 얻을 수 있다. 금속박끼리 직접 중첩시켜도, 금속박의 합계 두께가 증가함으로써 실드 효과가 향상하지만, 현저한 향상 효과는 얻을 수 없다. 이것은, 금속박 사이

에 수지층이 존재함으로써 전자파의 반사 횟수가 증가하여, 전자파가 감쇠됨에 따른 것으로 생각된다.

[0029] 성형성을 향상시키기 위해서는 접착제를 이용하지 않고 수지층과 금속박이 직접 접착하는 것이 바람직하다. 이러한 관점에서 수지층으로는 열가소성 수지를 이용하는 것이 바람직하다. 수지층의 재료로서 열가소성 수지를 사용함으로써 수지층과 금속박을 열압착 할 수 있다. 열가소성 수지로서는, PET(폴리에틸렌 테레프탈레이트), PEN(폴리에틸렌 나프탈레이트) 및 PBT(폴리부틸렌 테레프탈레이트) 등의 폴리에스테르, 폴리에틸렌 및 폴리프로필렌 등의 올레핀계 수지, 폴리아미드, 폴리이미드, 액정 폴리머, 폴리아세탈, 불소 수지, 폴리우레탄, 아크릴 수지, 에폭시 수지, 실리콘 수지, 페놀 수지, 멜라민 수지, ABS 수지, 폴리비닐 알코올, 요소 수지, 폴리염화비닐(PVC), 폴리카보네이트, 폴리스티렌, 스티렌 부타디엔 고무 등을 들 수 있고, 이들 중에서도 가공성, 비용의 이유에 의해 PET, PEN, 폴리아미드, 폴리이미드가 바람직하다. 열가소성 수지는 우레탄 고무, 클로로프렌 고무, 실리콘 고무, 불소 고무, 스티렌계, 올레핀계, 염화비닐계, 우레탄계, 아미드계 등의 열가소성 엘라스토머로 할 수도 있다. 본 발명에 관련된 전자파 실드재 중에 사용하는 수지층은 모두 동일한 수지여도 좋고, 층마다 다른 수지를 사용해도 좋다. 또한, 상술한 수지의 합금을 사용할 수도 있다. 수지층에는 탄소 섬유, 유리 섬유 및 아라미드 섬유 등의 섬유 강화재를 혼입시키는 것도 가능하다.

[0030] 성형성의 관점에서는, 인장 응력에 대해서 수지층 전체에 걸쳐서 균일하게 변형을 진행하는 수지가 우수하다. 국부 변형을 하면 수지층은 균열되지 않아도 금속박이 갈라질 우려가 높아지기 때문이다. 구체적으로는, 상기 수지층은 응력 변형도 곡선(SS 곡선)에서 δσ / δε가 ε=0.2~0.5로 항상 0Pa 이상인 것이 바람직하다. 응력 변형도 곡선(SS 곡선)에서 δσ / δε가 금속박 단체(單體)의 특성으로 파단이 일어나기 쉬운 ε=0.2~0.5에서 수지층 단체의 δσ / δε가 음이 되는 개소가 존재하면 적층체로 했을 때도 국부적으로 변형하는 장소가 있어서, 성형 가공시에 금속박이 파단하기 쉬워진다.

[0031] 응력 변형도 곡선(SS 곡선)에서 δσ / δε가 ε=0.2~0.5로 항상 0Pa 이상인 수지를 제조하는 방법으로서, 쇄상 고분자끼리 수소결합에 의해 연결되어 있는 것 같은 구조로 하는, 필름을 연신하는 방법 등을 들 수 있다.

[0032] 수지 재료는 필름 모양이나 섬유 모양의 형태로 적층할 수 있다. 또한, 금속박에 미경화 수지 조성물을 도포한 후에 경화시켜서 수지층을 형성해도 좋지만, 금속박에 첩부 가능한 수지 필름으로 하는 것이 제조하기 쉽다는 이유로 바람직하다.

[0033] 이와 같이, 금속박과 수지층은 접착제를 통하지 않고 적층시키는 것이 바람직하지만, 필요에 따라서 접착제에 의해 적층하는 것도 가능하다. 접착제를 사용하는 경우, 특별히 제한은 없지만, 아크릴 수지계, 에폭시 수지계, 우레탄계, 폴리에스테르계, 실리콘 수지계, 초산비닐계, 스티렌 부타디엔 고무계, 니트릴 고무계, 페놀 수지계, 시아노아크릴레이트계 등을 들 수 있고, 제조의 용이함과 비용의 이유로 인해, 우레탄계, 폴리에스테르계, 초산비닐계가 바람직하다. 접착제를 사용하는 경우, 접착제층의 두께는 6㎛ 이하인 것이 바람직하다. 접착제층의 두께가 6㎛를 넘으면, 금속박과 수지층을 적층한 후에 금속박 만이 파단되기 쉬워진다.

[0034] 수지층의 두께는, 너무 얇으면 성형시에 금속박마다 갈라져서 실드성을 열화 시킬 우려가 있으므로, 한 매당 두께가 5㎛ 이상인 것이 바람직하고, 10㎛ 이상인 것이 보다 바람직하며, 15㎛ 이상인 것이 더욱 바람직하고, 20㎛ 이상인 것이 더욱 바람직하다. 한편, 수지층의 한 매당 두께가 너무 두꺼우면 유연성을 열화시키기 때문에, 케이스에 실드재를 피트시키기 어려워진다. 여기서, 수지층의 한 매당 두께는 200㎛ 이하인 것이 바람직하고, 150㎛ 이하인 것이 보다 바람직하며, 125㎛ 이하인 것이 더욱 바람직하다.

[0035] (전자파 실드재)

[0036] 본 발명에 관련된 전자파 실드재는, 상술한 금속박과 수지층을 적층함으로써 제조 가능하다. 본 발명에 관련된 전자파 실드재는 일 실시형태에 있어서, N을 2 이상의 정수로 했을 때에, N매의 금속박과 N+1매의 수지층이 교대로 적층된 적층체로 구성된다. 본 실시형태에 있어서는, 수지층이 적층체의 최상층 및 최하층을 구성한다. 수지층이 적층체의 최외층을 구성함으로써 성형성이 향상한다는 이점을 얻을 수 있다. 또한, 금속박이 보호되기 때문에, 금속박의 부식이나 산화를 방지할 수 있다고 하는 이점도 얻을 수 있다. 다만, 본 실시형태에 있어서는, 접지를 얻기 위한 가공이 필요하기 때문에 제조 비용이 상승한다.

[0037] 본 발명에 관련된 전자파 실드재는 다른 일 실시형태에 있어서, N을 2 이상의 정수로 했을 때에, N+1매의 금속박과 N매의 수지층이 교대로 적층된 적층체에 의해 구성된다. 본 실시형태에 있어서는, 금속박이 적층체의 최상층 및 최하층을 구성한다. 금속박이 적층체의 최외층을 구성하는 경우, 수지층이 최외층을 구성하는 경우에 비해 성형성은 뒤떨어지지만 접지를 얻기 위한 가공이 쉬워진다.

[0038] N은 큰 편이 금속박과 수지층 사이에서 전자파의 반사 횟수가 많아져서 실드 효과도 상승하기 쉬운 점에서, N은

바람직하게는 3 이상이고, 보다 바람직하게는 4 이상이다. 그러나, N이 커지면 한 매당 수지층 및 금속박의 두께를 작게 할 필요가 있고, N이 과대하면 성형시에 분열이 발생하기 쉬워지는 점 및 제조 비용이 증대하는 점에서, N은 바람직하게는 6 이하이고, 보다 바람직하게는 5 이하이다.

[0039] 상기 어느 형태에서도, 적층체를 구성하는 금속박 및 수지층의 총 수는 홀수가 된다. 이에 따라, 금속박 또는 수지층을 중심층으로 하여 상하 방향(판 두께 중심으로부터 적층체의 상면 및 하면으로 향하는 판 두께 방향을 가리킨다)으로 대칭하는 적층 구조를 구축하는 것이 가능하다. 대칭성이 높은 적층 구조를 채용함으로써, 성형 가공시에 금속박의 균열을 억제하는 효과를 얻을 수 있다. 본 발명자의 검토 결과에 의하면, 적층체의 두께 중심을 기준으로 하여 상하 양측에 있는 수지층과 금속박의 순서가 서로 대응하는 경계면에 대해서 기준으로부터 이들 경계면까지의 거리가 모두 오차 ±10% 이내인 것이 바람직하다.

[0040] 여기서, 적층체의 두께 중심을 기준으로 하여 상하 양측에 있는 수지층과 금속박의 순서가 서로 대응하는 경계면에 대해서 기준으로부터 이들 경계면까지의 거리가 모두 오차 ±10% 이내라는 것은, 적층체의 두께 중심으로부터 위쪽에 있는 수지층과 금속박의 계면까지의 거리를 순서대로 산출하고, 적층체의 두께 중심으로부터 아래쪽에 있는 수지층과 금속박의 계면까지의 거리를 순서대로 산출하여, 두께 중심으로부터의 순서가 같은 2개의 계면까지의 거리의 차이가 두께 중심으로부터 짧은 쪽의 거리에 대해서 10% 이내에 있는 것을 의미한다. 서로 대응하는 경계면은 모두 오차 ±8% 이내의 거리에 있는 것이 보다 바람직하고, 모두 오차 ±6% 이내의 거리에 있는 것이 더욱 바람직하며, 모두 오차 ±4% 이내의 거리에 있는 것이 더욱 바람직하고, 모두 오차 ±2% 이내의 거리에 있는 것이 더욱 바람직하며, 모두 오차 0%의 거리에 있는 것이 가장 바람직하다.

[0041] 도 1에는, 본 발명에 관련된 전자파 실드재를 구성하는 적층체 구조의 일례를 모식적으로 나타낸다. 도 1의 적층체는 금속박 4매(각각 두께를 a, c, e, g로 한다), 절연 필름 3매(각각의 두께를 b, d, f로 한다)을 사용하고, 적층체의 판 두께 중심에 배치된 절연 필름으로부터 상하 방향으로 금속박 및 절연 필름이 교대로 적층된 구조를 가진다. 판 두께 중심으로부터 위쪽 및 아래쪽을 향해서 각각 제1 계면, 제2 계면 및 제3 계면이 존재한다. 판 두께 중심으로부터 위쪽 제1 계면까지의 거리(2/d)와, 판 두께 중심으로부터 아래쪽 제1 계면까지의 거리(2/d)는 필연적으로 동일하다. 판 두께 중심으로부터 위쪽 제2 계면까지의 거리(2/d+c)와, 판 두께 중심으로부터 아래쪽 제2계면까지의 거리(2/d+e)에 대해서는, 양자의 거리의 차이=|(2/d+c)-(2/d+e)|=|c-e|가, (2/d+c) 및 (2/d+e)의 작은 값에 대해서 10% 이내에 있다. 예를 들면, (2/d+c)<(2/d+e)의 경우는, 0≤|c-e|/(2/d+c)≤0.1이다. (2/d+c)=(2/d+e)의 경우는 어느 쪽을 분모로 해도 좋다. 판 두께 중심으로부터 위쪽 제3계면까지의 거리(2/d+c+b)와, 판 두께 중심으로부터 아래쪽 제3계면까지의 거리(2/d+e+f)에 대해서는, 양자의 거리의 차이=|(2/d+c+b)-(2/d+e+f)|=|(c+b)-(e+f)|가, (2/d+c+b) 및 (2/d+e+f)의 작은 값에 대해서 10% 이내에 있다. 예를 들면, (2/d+c+b)<(2/d+e+f)의 경우는, 0≤|(c+b)-(e+f)|/(2/d+c+b)≤0.1이다. (2/d+c+b)=(2/d+e+f)의 경우는 어느 쪽을 분모로 해도 좋다.

[0042] 본 발명에 관련된 전자파 실드재의 일 실시형태에 있어서는, 금속박의 합계 두께를 30~150㎛로 할 수 있고, 100㎛ 이하로 할 수도 있으며, 80㎛ 이하로 할 수도 있다.

[0043] 본 발명에 관련된 전자파 실드재의 일 실시형태에 있어서는, 수지층의 합계 두께를 50~400㎛로 할 수 있고, 300㎛ 이하로 할 수도 있으며, 200㎛ 이하로 할 수도 있다.

[0044] 본 발명에 관련된 전자파 실드재의 일 실시형태에 있어서는, 전자파 실드재를 구성하는 적층체의 전체 두께가 100㎛ 이상이다. 적층체의 전체 두께를 100㎛ 이상으로 함으로써, 성형 가공해도 잘 갈라지지 않는다는 이점을 얻을 수 있다. 적층체의 전체 두께는 바람직하게는 200㎛ 이상이다. 또한, 본 발명에 관련된 전자파 실드재의 일 실시형태에 있어서는, 전자파 실드재를 구성하는 적층체의 전체 두께가 500㎛ 이하다. 적층체의 전체 두께를 500㎛ 이하로 함으로써, 성형 가공이 용이하게 된다는 이점을 얻을 수 있다. 적층체의 전체 두께는 바람직하게는 400㎛ 이하이고, 보다 바람직하게는 300㎛ 이하다.

[0045] 본 발명에 관련된 전자파 실드재는, 특히 전기·전자기기(예를 들면, 인버터, 통신기, 공진기, 전자관·방전 램프, 전기 가열 기기, 전동기, 발전기, 전자 부품, 인쇄 회로, 의료기기 등)의 피복재 또는 외장재, 전기·전자기기에 접속된 하니스나 통신 케이블의 피복재, 전자파 실드 시트, 전자파 실드 패널, 전자파 실드 봉투, 전자파 실드 상자, 전자파 실드실 등 각종 전자파 실드 용도에 이용하는 것이 가능하다. 특히, 이들 용도에서 전자파 실드재의 입체 성형품이 요구되는 부위에 바람직하게 사용할 수 있다.

[0046] 본 발명에 관련된 전자파 실드재의 일 실시형태에 의하면, 200kHz에 있어서 23dB 이상의 자계 실드 특성(수신측에서 얼마나 신호가 감쇠했는지)을 가질 수 있고, 바람직하게는 25dB 이상의 자계 실드 특성을 가질 수 있다.

본 발명에서는, 자계 실드 특성은 KEC법에 따라서 측정하는 것으로 한다. KEC법이란, 간사이 전자 공업 진흥 센터에서의 「전자파 실드 특성 측정법」을 가리키는 것이다.

[0047] [실시예]

[0048] 이하에 본 발명의 실시예를 비교예와 함께 나타내지만, 이것들은 본 발명 및 그 이점을 보다 잘 이해하기 위해서 제공하는 것이고, 발명이 한정되는 것을 의도하는 것은 아니다.

[0049] (1. 금속박의 준비)

[0050] 표 1에 기재된 각 금속박을 준비했다. 금속박은 시험 번호에 따라서 표 1에 기재한 금속의 잉곳을 제작하고, 열간압연 및 냉간압연을 실시한 후, 소둔 및 냉간압연을 반복하여 표 1에 기재한 각 두께의 금속박을 얻었다. 도금을 하는 경우는, 탈지 및 산세 후에, 금속박의 양면에 시험 번호에 따라서 표 1에 기재한 조성 및 부착량의 조건으로 상기 도금을 실시하였다. 마지막으로, 재결정 소둔을 실시함으로써 금속박을 연화시켰다. 도금을 하지 않는 경우는, 재결정 소둔 전에 탈지 및 산세를 하지 않고 재결정 소둔을 실시하고, 마지막에 산세를 실시했다. 표 중, 「－」는 도금을 하지 않은 예이다. 또한, 각 금속박은 표면 조도의 측정, 도금 부착량의 측정 및 적층체의 제작을 각각 실시할 수 있도록 충분한 크기를 제작했다.

[0051] 표 1에 기재한 각 기호는 이하를 나타낸다. 금속박의 도전율은 JIS C2525：1999의 더블 브리치법으로 측정했다.

[0052] Cu：압연 동박(20℃에서의 도전율：58.0×10^{6}S/m)

[0053] Al：알루미늄 박(20℃에서의 도전율：39.6×10^{6}S/m)

[0054] Ni：니켈박(20℃에서의 도전율：14.5×10^{6}S/m)

[0055] Fe：연철박(20℃에서의 도전율：9.9×10^{6}S/m)

[0056] ＜표면 조도의 측정＞

[0057] 위에서 준비한 각 금속박(도금을 실시한 경우에는 도금 후의 금속박)의 표면 조도(Rz, 10점 평균 조도)를 JIS B0601：1994에 준거하여 접촉식 조도계((주)고사카 연구소제 표면 조도 측정기 SE－3400)에 의해 측정했다. 동박 표면의 Rz를 여러 차례 측정했을 때의 평균값을 표 1에 나타내고 있다. Rz의 값은 대체로 ±0.2㎛ 이내의 편차였다. 표 1에는 하나의 시험예에 대해서 하나의 Rz 값이 게재되어 있지만, 하나의 시험예에서 사용한 모든 금속박의 표면에서의 Rz를 표 1에 기재한 값으로부터 ±0.2㎛로 조정했다는 것을 의미한다. Rz의 조정은 도금의 전류 밀도나 도금 전의 금속박의 조도를 변화시킴으로써 가능하다.

[0058] ＜도금 부착량의 측정＞

[0059] 단위면적당 도금 부착량을 도금 전후의 중량을 측정하여 산출했다. 부착량은 합금 도금의 경우는 각 도금 원소의 부착량의 합계값으로 나타내고 있다. 또한, 표 1에는 하나의 시험예에 대해서 하나의 부착량의 값이 게재되어 있지만, 하나의 시험예에서 사용한 모든 금속박의 표면에서의 도금 부착량을 표 1에 기재한 값의 ±5㎍/dm²로 조정했다는 것을 의미한다.

[0060] (2. 절연 필름의 준비)

[0061] 절연 필름은 시판품을 사용했다. 표 1에 기재한 각 기호는 이하를 나타낸다.

[0062] PP：열가소성 폴리프로필렌 필름

[0063] PBT：열가소성 폴리부틸렌 테레프탈레이트 필름

[0064] TPU：열가소성 폴리우레탄 필름

[0065] PC：열가소성 폴리카보네이트 필름

[0066] TPI：열가소성 폴리이미드

[0067] ＜δσ/δε의 측정＞

[0068] 준비된 각 절연 필름에 대해서, JIS K7127：1999에 준거하여, 폭 12.7×길이 150㎜의 시험편을 제작하고, 인장

시험기(시마즈 제작소제 형식 오토 그래프 AGS-10kN)를 이용하여 인장 속도 50㎜/min로 인장 시험을 실시함으로써, 응력 변형도 곡선(SS 곡선)을 얻었다. 시험예 마다 적층체에 사용하는 모든 절연 필름에 대해서 ε=0.2~0.5에서의 δσ/δε가 항상 0Pa 이상인 경우를 ○으로 하고, 적층체에 사용하는 적어도 한 매의 절연 필름에 대해서 ε=0.2~0.5에서의 δσ/δε가 0Pa 미만이 되는 개소가 있는 경우를 ×로 했다. 결과를 표 1에 나타낸다. 사용한 절연 필름의 종류가 동일해도, 쇄상 고분자끼리 수소결합에 의해 연결되어 있는 것 같은 구조로 되어 있지 않거나, 또는 필름이 연신되어 있지 않은 비교예 3 및 4는 평가가 ×가 되었다.

[0069] (3. 전자파 실드재의 제작)

[0070] 준비한 금속박 및 절연 필름을 교대로 적층하여 압력 10N/㎠로 하고, PP는 160℃, PBT는 200℃, TPU는 180℃, PC는 230℃, TPI가 280℃의 온도에서 열압착 함으로써, 표 1에 기재한 각 적층 구조를 가지는 실시예 및 비교예의 전자파 실드재를 제작했다.

[0071] <대칭성>

[0072] 전자파 실드재를 구성하는 적층체의 판 두께 중심으로부터 절연 필름(수지층)과 금속박의 각 계면까지의 판 두께 방향의 거리를 각각 산출했다. 판 두께 중심으로부터 일방의 판면으로 향하는 방향의 각 계면까지의 거리와, 판 두께 중심으로부터 반대측 판면으로 향하는 방향의 각 계면까지의 거리를 비교하여, 서로 대응하는 계면까지의 2개의 거리의 차이가 판 두께 중심으로부터 짧은 쪽의 거리에 대해서 모두 10% 이내인 경우를 ○으로 하고, 그 이외를 ×로 했다. 결과를 표 2에 나타낸다.

[0073] <밀착성 평가>

[0074] 각 시험예에서 사용한 금속박과 수지층을 한 매씩 별도 준비하고, 양자를 압력 10N/㎠로 하여, PP는 160℃, PBT는 200℃, TPU는 180℃, PC는 230℃, TPI는 280℃의 온도로 열압착하여 박리 시험용 시료를 제작했다. 그 다음, 얻어진 시료에 대해서 JIS C5016：1994에 준거하여, 90° 박리 시험을 실시했다. 박리 강도가 0.7kN/m 이상인 경우를 ◎, 0.3kN/m 이상 0.7kN/m 미만인 경우를 ○, 0.3kN/m 미만인 경우를 ×로 했다. 결과를 표 2에 나타낸다.

[0075] <성형성 평가>

[0076] 각 시험예의 전자파 실드재를 반경 50㎜의 반구를 만드는 금형으로 재료 온도 및 금형 온도를 50℃로 하고, 5t 프레스로 성형했을 때, 금속박 또는 적층체(금속박+수지층)이 균열되어 버리는 것을 ×, 균열되지 않는 것을 ○로 했다. 또한, 수지층만이 균열되는 경우는 없었다. 결과를 표 2에 나타낸다.

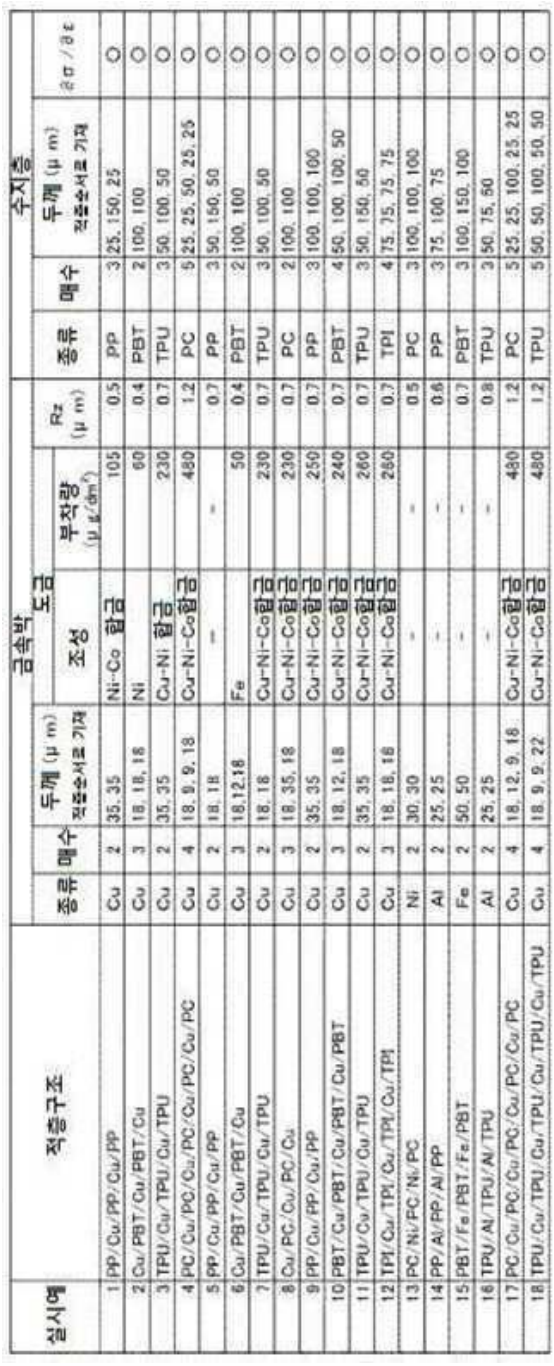
[0077] <실드 특성>

[0078] 각 시험 예의 전자파 실드재를 자계 실드효과 평가 장치(테크노사이언스 재팬사 형식 TSES-KEC)로 설치하고, 주파수를 200kHz로 하여, 20℃의 조건 하에서, KEC법에 따라 자계 실드 효과를 평가했다. 25dB 이상의 실드 효과가 있던 것을 ◎, 23dB 이상 25dB 미만인 것을 ○, 23dB 미만인 것을 ×로 했다. 결과를 표 2에 나타낸다.

[0079] (고찰)

[0080] 결과를 표 2에 나타낸다. 비교예 1은 금속박 및 수지층의 수가 부족한 점에서, 높은 전자파 실드 효과는 얻을 수 없었다. 비교예 2~7은 적층체의 대칭성이 나쁜 점에서, 성형성에 문제가 생겼다. 또한, 비교예 2는 조도 표면을 가지는 롤로 압연하고, 구리 표면의 조도(Rz)를 0.8㎛로 함에 따라 밀착성은 양호했다. 비교예 3은 도금을 실시했지만 금속박의 조도(Rz)가 크기 때문에 수지가 응집 파괴를 일으켜서, 밀착성 및 성형성이 나빴다. 비교예 1, 4는 Cu-Ni-Co 합금 도금을 실시하고, 추가로 표면 조도(Rz)가 0.8㎛가 되도록 도금을 실시하여 밀착성은 양호했다. 비교예 5 및 6은 도금을 실시하지 않은 점에서, 밀착성도 나빴다. 비교예 7은 TPU와 Cu-Ni-Co 합금 도금의 상성이 좋고, 금속박의 표면 조도가 적절했기 때문에 밀착성은 좋았지만, 대칭성의 문제로부터 성형성은 불충분하였다. 한편, 실시예 1~18은 금속박 및 수지층의 적층 구조가 적절하고, 전자파 실드 특성, 경량 특성, 및 성형성에서 뛰어난 균형을 가지고 있었다.

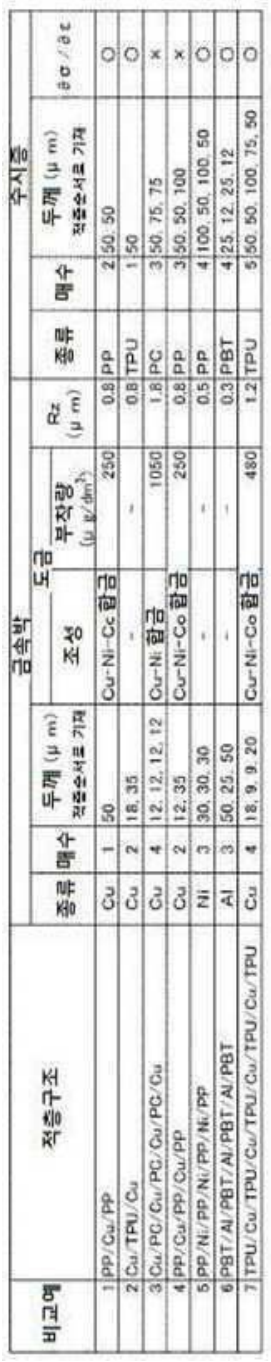
[0081] [표 1-1]



실시예	적층구조	금속박						수지층			
		종류	매수	두께 (μm) 적층순서로 기재	도금 조성	부착량 (μg/dm²)	Rz (μm)	종류	매수	두께 (μm) 적층순서로 기재	∂σ/∂ε
1	PP/Cu/PP/Cu/PP	Cu	2	35, 35	Ni-Co 합금	105	0.5	PP	3	25, 150, 25	○
2	Cu/PBT/Cu/PBT/Cu	Cu	3	18, 18, 18	Ni	60	0.4	PBT	2	100, 100	○
3	TPU/Cu/TPU/Cu/TPU	Cu	2	35, 35	Cu-Ni 합금	230	0.7	TPU	3	50, 100, 50	○
4	PC/Cu/PC/Cu/PC/Cu/PC/Cu/PC	Cu	4	18, 9, 9, 18	Cu-Ni-Co합금	480	1.2	PC	5	25, 25, 50, 25, 25	○
5	PP/Cu/PP/Cu/PP	Cu	2	18, 18	-	-	0.7	PP	3	50, 150, 50	○
6	Cu/PBT/Cu/PBT/Cu	Cu	3	18,12,18	Fe	50	0.4	PBT	2	100, 100	○
7	TPU/Cu/TPU/Cu/TPU	Cu	2	18, 18	Cu-Ni-Co합금	230	0.7	TPU	3	50, 100, 50	○
8	Cu/PC/Cu/PC/Cu	Cu	3	18, 35, 18	Cu-Ni-Co합금	230	0.7	PC	2	100, 100	○
9	PP/Cu/PP/Cu/PP	Cu	2	35, 35	Cu-Ni-Co합금	250	0.7	PP	3	100, 100, 100	○
10	PBT/Cu/PBT/Cu/PBT/Cu/PBT	Cu	3	18, 12, 18	Cu-Ni-Co합금	240	0.7	PBT	4	50, 100, 100, 50	○
11	TPU/Cu/TPU/Cu/TPU	Cu	2	35, 35	Cu-Ni-Co합금	260	0.7	TPU	3	50, 150, 50	○
12	TPI/Cu/TPI/Cu/TPI/Cu/TPI	Cu	3	18, 18, 18	Cu-Ni-Co합	260	0.7	TPI	4	75, 75, 75, 75	○
13	PC/Ni/PC/Ni/PC	Ni	2	30, 30	-	-	0.5	PC	3	100, 100, 100	○
14	PP/Al/PP/Al/PP	Al	2	25, 25	-	-	0.6	PP	3	75, 100, 75	○
15	PBT/Fe/PBT/Fe/PBT	Fe	2	50, 50	-	-	0.7	PBT	3	100, 150, 100	○
16	TPU/Al/TPU/Al/TPU	Al	2	25, 25	-	-	0.8	TPU	3	50, 75, 50	○
17	PC/Cu/PC/Cu/PC/Cu/PC/Cu/PC	Cu	4	18, 12, 9, 18	Cu-Ni-Co합금	480	1.2	PC	5	25, 25, 100, 25, 25	○
18	TPU/Cu/TPU/Cu/TPU/Cu/TPU/Cu/TPU	Cu	4	18, 9, 9, 22	Cu-Ni-Co합금	480	1.2	TPU	5	50, 50, 100, 50, 50	○

[0082]

[0083] [표 1-2]



비교예	적층구조	금속박			도금			수지층			
		종류	매수	두께 (μm) 적층순서로 기재	조성	부착량 ($\mu g/dm^2$)	Rz (μm)	종류	매수	두께 (μm) 적층순서로 기재	$\partial\sigma/\partial\varepsilon$
1	PP/Cu/PP	Cu	1	50	Cu-Ni-Co 합금	250	0.8	PP	2	50, 50	○
2	Cu/TPU/Cu	Cu	2	18, 35	-	-	0.8	TPU	1	50	○
3	Cu/PC/Cu/PC/Cu/PC/Cu	Cu	4	12, 12, 12, 12	Cu-Ni 합금	1050	1.8	PC	3	50, 75, 75	×
4	PP/Cu/PP/Cu/PP	Cu	2	12, 35	Cu-Ni-Co 합금	250	0.8	PP	3	50, 50, 100	×
5	PP/Ni/PP/Ni/PP/Ni/PP	Ni	3	30, 30, 30	-	-	0.5	PP	4	100, 50, 100, 50	○
6	PBT/Al/PBT/Al/PBT/Al/PBT	Al	3	50, 25, 50	-	-	0.3	PBT	4	25, 12, 25, 12	○
7	TPU/Cu/TPU/Cu/TPU/Cu/TPU/Cu/TPU	Cu	4	18, 9, 9, 20	Cu-Ni-Co 합금	480	1.2	TPU	5	50, 50, 100, 75, 50	○

[0084]

[0085] [표 2-1]

[0086] *

실시예	실드재의 특성 평가				
	대칭성	밀착성	성형성	층 두께 (μm)	실드 효과
1	○	◎	◎	135	◎
2	○	◎	◎	254	◎
3	○	◎	◎	270	◎
4	○	◎	◎	204	◎
5	○	○	○	286	◎
6	○	◎	◎	248	◎
7	○	◎	◎	236	◎
8	○	◎	◎	271	◎
9	○	◎	◎	370	◎
10	○	◎	◎	348	◎
11	○	◎	◎	320	◎
12	○	◎	◎	354	◎
13	○	○	○	360	○
14	○	○	○	300	○
15	○	○	○	450	○
16	○	○	○	225	○
17	○	◎	◎	254	◎
18	○	◎	◎	381	◎

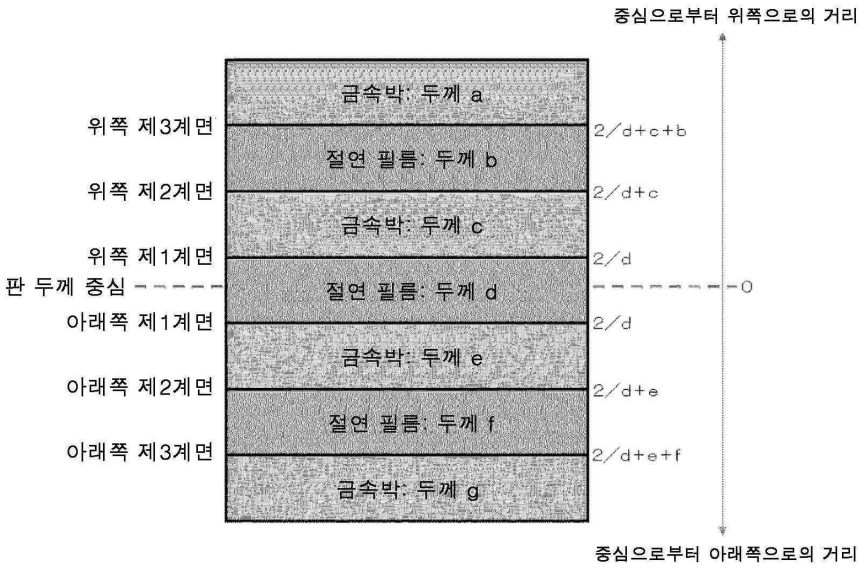
[0087] [표 2-2]

[0088]

비교예	실드재의 특성 평가				
	대칭성	밀착성	성형성	층 두께 (μm)	실드 효과
1	○	◎	○	150	×
2	×	○	×	103	◎
3	×	×	×	248	◎
4	×	○	×	247	◎
5	×	×	×	390	◎
6	×	×	×	149	◎
7	×	◎	×	381	◎

도면

도면1


중심으로부터 위쪽으로의 거리
금속박: 두께 a
위쪽 제3계면
2/d+c+b
절연 필름: 두께 b
위쪽 제2계면
2/d+c
금속박: 두께 c
위쪽 제1계면
2/d
판 두께 중심
절연 필름: 두께 d
0
아래쪽 제1계면
2/d
금속박: 두께 e
아래쪽 제2계면
2/d+e
절연 필름: 두께 f
아래쪽 제3계면
2/d+e+f
금속박: 두께 g
중심으로부터 아래쪽으로의 거리