



(19) 대한민국특허청(KR)
 (12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0008245
 (43) 공개일자 2018년01월24일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 23/00 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 24/44 (2013.01)
H01L 24/43 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2016-7029046(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2015년07월22일
 심사청구일자 없음
- (62) 원출원 특허 10-2016-7010922
 원출원일자(국제) 2015년07월22일
 심사청구일자 2016년05월18일
- (85) 번역문제출일자 2016년10월19일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2015/070861
- (87) 국제공개번호 WO 2016/203659
 국제공개일자 2016년12월22일
- (30) 우선권주장
 JP-P-2015-120509 2015년06월15일 일본(JP)
- (71) 출원인
닛데쓰스미킹 마이크로 메탈 가부시키가이샤
 일본 사이타마켄 이루마시 오아자 사야마가하라
 158 반치 1
신닛데쓰스미킹 마테리알즈 가부시키가이샤
 일본 도쿄도 추오구 긴자 7초메 16방 3고
- (72) 발명자
야마다 다카시
 일본 358-0032 사이타마켄 이루마시 오아자 사야
 마가하라 158-1 낫데쓰스미킹마이크로메탈가부시
 키가이샤 내
오다 다이조
 일본 358-0032 사이타마켄 이루마시 오아자 사야
 마가하라 158-1 낫데쓰스미킹마이크로메탈가부시
 키가이샤 내
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인
장수길, 성재동

전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 **반도체 장치용 본딩 와이어**

(57) 요 약

Cu 합금 코어재와 그 표면에 형성된 Pd 피복층을 갖는 반도체 장치용 본딩 와이어에 있어서, 175°C~200°C의 HTS에서의 볼 접합부의 접합 신뢰성 향상과, 내력비(=최대 내력/0.2% 내력): 1.1~1.6의 양립을 도모한다.

와이어 중에 Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt 중 1종 이상을 총계로 0.03~2질량% 함유함으로써 HTS에서의 볼 접합부의 접합 신뢰성을 향상시키고, 또한 본딩 와이어의 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면에 대해 결정 방위를 측정한 결과에 있어서, 와이어 길이 방향의 결정 방위 중, 와이어 길이 방향에 대해 각도 차가 15도 이하인 결정 방위 <100>의 방위 비율을 50% 이상으로 하고, 본딩 와이어의 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면에 있어서의 평균 결정입경을 0.9~1.3μm로 함으로써, 내력비를 1.6 이하로 한다.

(52) CPC특허분류

H01L 24/47 (2013.01)

H01L 24/745 (2013.01)

H01L 24/78 (2013.01)

(72) 발명자

하이바라 테루오

일본 358-0032 사이타마켄 이루마시 오아자 사야마
가하라 158-1 냇데쓰스미킹마이크로메탈가부시키가
이샤 내

오이시 료

일본 358-0032 사이타마켄 이루마시 오아자 사야마
가하라 158-1 냇데쓰스미킹마이크로메탈가부시키가
이샤 내

사이트 가즈유키

일본 358-0032 사이타마켄 이루마시 오아자 사야마
가하라 158-1 냇데쓰스미킹마이크로메탈가부시키가
이샤 내

우노 도모히로

일본 100-8071 도쿄도 치요다구 마루노우치 2초메
6방 1고 신닛데츠스미킨카부시키카이샤 내

명세서

청구범위

청구항 1

Cu 합금 코어재와, 상기 Cu 합금 코어재의 표면에 형성된 Pd 피복층을 갖는 반도체 장치용 본딩 와이어에 있어서,

상기 본딩 와이어가 Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt로부터 선택되는 적어도 1종 이상의 원소를 포함하고, 와이어 전체에 대한 상기 원소의 농도가 총계로 0.03질량% 이상 2질량% 이하이고,

하기 (1)식으로 정의하는 내력비가 1.1 이상 1.6 이하인 것을 특징으로 하는, 반도체 장치용 본딩 와이어.

$$\text{내력비} = \text{최대 내력} / 0.2\% \text{ 내력}$$

(1)

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 Pd 피복층의 두께가 $0.015\mu\text{m}$ 이상 $0.150\mu\text{m}$ 이하인 것을 특징으로 하는, 반도체 장치용 본딩 와이어.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 Pd 피복층 상에 Au와 Pd를 더 포함하는 합금 표피층을 갖는 것을 특징으로 하는, 반도체 장치용 본딩 와이어.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층의 두께가 $0.0005\mu\text{m}$ 이상 $0.050\mu\text{m}$ 이하인 것을 특징으로 하는, 반도체 장치용 본딩 와이어.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 본딩 와이어의 최표면에 Cu가 존재하는 것을 특징으로 하는, 반도체 장치용 본딩 와이어.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은, 반도체 소자 상의 전극과 외부 리드 등의 회로 배선 기판의 배선을 접속하기 위해 이용되는 반도체 장치용 본딩 와이어에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

현재, 반도체 소자 상의 전극과 외부 리드의 사이를 접합하는 반도체 장치용 본딩 와이어(이하, 「본딩 와이어」라고 함)로서, 선 직경 $15\sim50\mu\text{m}$ 정도의 세선이 주로 사용되고 있다. 본딩 와이어의 접합 방법은 초음파 병용 열압착 방식이 일반적이며, 병용 본딩 장치, 본딩 와이어를 그 내부에 통과시켜 접속에 사용하는 캐필러리지그 등이 사용된다. 본딩 와이어의 접합 프로세스는, 와이어 선단을 아크 입열로 가열 용융하고, 표면 장력에 의해 볼(FAB: Free Air Ball)을 형성한 후에, $150\sim300^\circ\text{C}$ 의 범위 내에서 가열한 반도체 소자의 전극 상에 이 볼부를 압착 접합(이하, 「볼 접합」이라고 함)하고, 다음으로 루프를 형성한 후, 외부 리드 측의 전극에 와이어부를 압착 접합(이하, 「웨지 접합」이라고 함)함으로써 완료된다. 본딩 와이어의 접합 상대인 반도체 소자 상의 전극에는 Si 기판 상에 Al을 주체로 하는 합금을 성막한 전극 구조, 외부 리드 측의 전극에는 Ag 도금이나 Pd 도금을 실시한 전극 구조 등이 사용된다.

[0003] 지금까지 본딩 와이어의 재료는 Au가 주류였지만, LSI 용도를 중심으로 Cu로의 대체가 진행되고 있다. 한편, 최근의 전기 자동차나 하이브리드 자동차의 보급을 배경으로, 차량 탑재용 디바이스 용도에 있어서도 Au로부터 Cu로의 대체에 대한 요구가 높아지고 있다.

[0004] Cu 본딩 와이어에 대해서는, 고순도 Cu(순도: 99.99질량% 이상)를 사용한 것이 제안되어 있다(예를 들어, 특허문현 1). Cu는 Au에 비해 산화되기 쉬운 결점이 있어, 접합 신뢰성, 볼 형성성, 웨지 접합성 등이 떨어지는 과제가 있었다. Cu 본딩 와이어의 표면 산화를 방지하는 방법으로서, Cu 코어재의 표면을 Au, Ag, Pt, Pd, Ni, Co, Cr, Ti 등의 금속으로 피복한 구조가 제안되어 있다(특허문현 2). 또한, Cu 코어재의 표면에 Pd를 피복하고, 그 표면을 Au, Ag, Cu 또는 이를 합금으로 피복한 구조가 제안되어 있다(특허문현 3).

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문현 0001) 일본 특허 공개 소61-48543호 공보

(특허문현 0002) 일본 특허 공개 제2005-167020호 공보

(특허문현 0003) 일본 특허 공개 제2012-36490호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 차량 탑재용 디바이스는 일반적인 전자 기기에 비해, 가혹한 고온 고습 환경 하에서의 접합 신뢰성이 요구된다. 특히, 와이어의 볼부를 전극에 접합한 볼 접합부의 접합 수명이 최대의 문제가 된다.

[0007] 반도체 장치의 패키지인 몰드 수지(예전시 수지)에는, 실란 커플링제가 포함되어 있다. 실란 커플링제는 유기물(수지)과 무기물(실리콘이나 금속)의 밀착성을 높이는 작용을 갖고 있으므로, 실리콘 기판이나 금속과의 밀착성을 향상시킬 수 있다. 또한, 더욱 고온에서의 신뢰성이 요구되는 차량 탑재용 반도체 등, 높은 밀착성이 요구되는 경우에는 「황 함유 실란 커플링제」가 첨가된다. 몰드 수지에 포함되는 황은, 175°C 이상(예를 들어, 175°C~200°C)의 조건에서 사용하면 유리되어 간다. 그리고, 175°C 이상의 고온에서 유리된 황이 Cu와 접촉하면, Cu의 부식이 심해져, 황화물(Cu₂S)이나 산화물(CuO)이 생성된다. Cu 본딩 와이어를 사용한 반도체 장치에서 Cu의 부식이 생성되면, 특히 볼 접합부의 접합 신뢰성이 저하되게 된다.

[0008] 170°C 이상의 고온 환경에서의 볼 접합부의 접합 신뢰성을 평가하는 수단으로서, HTS(High Temperature Storage Test)(고온 방지 시험)가 사용된다. 고온 환경에 폭로한 평가용 샘플에 대해, 볼 접합부의 저항값의 경시 변화를 측정하거나, 볼 접합부의 전단 강도의 경시 변화를 측정하거나 함으로써, 볼 접합부의 접합 수명을 평가한다. 최근, 차량 탑재용 반도체 장치에 있어서는, 175°C~200°C의 HTS에서의 볼 접합부의 접합 신뢰성 향상이 요구되고 있다.

[0009] 본 발명에 있어서, 본딩 와이어가 Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt로부터 선택되는 적어도 1종 이상의 원소를 포함하고, 와이어 전체에 대한 상기 원소의 농도가 총계로 0.03~2질량%이면, 볼 접합부의 고온 환경에서의 접합 신뢰성 중, 175°C 이상에서의 HTS에서의 성적이 개선되는 것이 판명되었다.

[0010] 여기서, 하기 (1)식으로 내력비를 정의한다.

$$\text{내력비} = \text{최대 내력} / 0.2\% \text{ 내력} \quad (1)$$

[0012] 웨지 접합에 있어서, 본딩 와이어는 심하게 변형된다. 변형 시에 와이어가 가공 경화되면, 접합 후의 와이어가 단단해져, 그 결과로서 웨지 접합의 접합 강도가 저하되게 된다. 웨지 접합 강도를 유지하기 위해서는, 상기 (1)식으로 정의한 내력비가 1.6 이하이면 바람직하다. 그런데, 175°C~200°C의 HTS에서의 볼 접합부의 접합 신뢰성 향상을 위해 와이어 중에 상기 원소를 함유시킨 바, 내력비가 증대되어 1.6을 초과하게 되었다. 그로 인해, 웨지 접합의 접합 강도 저하를 초래하게 되었다.

[0013] 본 발명은, Cu 합금 코어재와 그 표면에 형성된 Pd 피복층을 갖는 반도체 장치용 본딩 와이어에 있어서, Ni,

Zn, Rh, In, Ir, Pt로부터 선택되는 적어도 1종 이상의 원소를 와이어 중에 총계로 0.03~2질량% 함유하면서, (1)식으로 정의하는 내력비를 1.1~1.6으로 할 수 있는 반도체 장치용 본딩 와이어를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0014] 즉, 본 발명의 요지로 하는 것은 이하와 같다.
- [0015] (1) Cu 합금 코어재와, 상기 Cu 합금 코어 재의 표면에 형성된 Pd 피복층을 갖는 반도체 장치용 본딩 와이어에 있어서,
- [0016] 상기 본딩 와이어가 Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt로부터 선택되는 적어도 1종 이상의 원소를 포함하고, 와이어 전체에 대한 상기 원소의 농도가 총계로 0.03~2질량%이고,
- [0017] 상기 본딩 와이어의 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면에 대해 결정 방위를 측정한 결과에 있어서, 와이어 길이 방향의 결정 방위 중, 와이어 길이 방향에 대해 각도 차가 15도 이하인 결정 방위 <100>의 방위 비율이 50% 이상이고,
- [0018] 상기 본딩 와이어의 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면에 있어서의 평균 결정입경이, 0.9~1.3 μm 인 것을 특징으로 하는 반도체 장치용 본딩 와이어.
- [0019] (2) 하기 (1)식으로 정의하는 내력비가 1.1~1.6인 것을 특징으로 하는 상기 (1)에 기재된 반도체 장치용 본딩 와이어.
- [0020] 내력비 = 최대 내력 / 0. 2% 내력 (1)
- [0021] (3) 상기 Pd 피복층의 두께가 0.015~0.150 μm 인 것을 특징으로 하는 상기 (1) 또는 (2)에 기재된 반도체 장치용 본딩 와이어.
- [0022] (4) 상기 Pd 피복층 상에 Au와 Pd를 더 포함하는 합금 표피층을 갖는 것을 특징으로 하는 상기 (1)~(3) 중 어느 한 항에 기재된 반도체 장치용 본딩 와이어.
- [0023] (5) 상기 Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층의 두께가 0.0005~0.050 μm 인 것을 특징으로 하는 상기 (4)에 기재된 반도체 장치용 본딩 와이어.
- [0024] (6) 상기 본딩 와이어가 Ga, Ge, As, Te, Sn, Sb, Bi, Se로부터 선택되는 적어도 1종 이상의 원소를 포함하고, 와이어 전체에 대한 상기 원소의 농도가 합계로 0.1~100질량ppm이고, Sn≤10질량ppm, Sb≤10질량ppm, Bi≤1질량ppm인 것을 특징으로 하는 상기 (1)~(5) 중 어느 한 항에 기재된 반도체 장치용 본딩 와이어.
- [0025] (7) 상기 본딩 와이어가 B, P, Mg, Ca, La로부터 선택되는 적어도 1종 이상의 원소를 더 포함하고, 와이어 전체에 대한 상기 원소의 농도가 각각 1~100질량ppm인 것을 특징으로 하는 상기 (1)~(6) 중 어느 한 항에 기재된 반도체 장치용 본딩 와이어.
- [0026] (8) 상기 본딩 와이어의 최표면에 Cu가 존재하는 것을 특징으로 하는 상기 (1)~(7) 중 어느 한 항에 기재된 반도체 장치용 본딩 와이어.

발명의 효과

- [0027] 본 발명은, Cu 합금 코어재와 그 표면에 형성된 Pd 피복층을 갖는 반도체 장치용 본딩 와이어에 있어서, Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt로부터 선택되는 적어도 1종 이상의 원소를 와이어 중에 총계로 0.03~2질량% 함유함으로써 175°C~200°C의 HTS에서의 불 접합부의 접합 신뢰성을 향상시키고, 또한 본딩 와이어의 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면에 대해 결정 방위를 측정한 결과에 있어서, 와이어 길이 방향의 결정 방위 중, 와이어 길이 방향에 대해 각도 차가 15도 이하인 결정 방위 <100>의 방위 비율을 50% 이상으로 하고, 본딩 와이어의 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면에 있어서의 평균 결정입경을 0.9~1.3 μm 로 함으로써, (1)식으로 정의하는 내력비를 1.1~1.6으로 할 수 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 전술한 바와 같이, 반도체 장치의 패키지인 몰드 수지(에폭시 수지)에는, 실란 커플링제가 포함되어 있다. 실

란 커플링제는 유기물(수지)과 무기물(실리콘이나 금속)의 밀착성을 높이는 작용을 갖고 있으므로, 실리콘 기판이나 금속과의 밀착성을 향상시킬 수 있다. 또한, 더욱 고온에서의 신뢰성이 요구되는 차량 탑재용 반도체 등, 높은 밀착성이 요구되는 경우에는 「황 함유 실란 커플링제」가 첨가된다. 몰드 수지에 포함되는 황은, 175°C 이상(예를 들어, 175°C ~ 200°C)의 조건에서 사용하면 유리되어 간다. 그리고, 175°C 이상의 고온에서 유리된 황이 Cu와 접촉하면, Cu의 부식이 심해져, 횡화물(Cu₂S)이나 산화물(CuO)이 생성된다. Cu 본딩 와이어를 사용한 반도체 장치에서 Cu의 부식이 생성되면, 특히 볼 접합부의 접합 신뢰성이 저하되게 된다.

[0029] 전술한 바와 같이, 최근, 차량 탑재용 반도체 장치에 있어서는, 175°C ~ 200°C의 HTS(High Temperature Storage Test)(고온 방지 시험)에서의 볼 접합부의 접합 신뢰성 향상이 요구되고 있다.

[0030] 본 발명은, Cu 합금 코어재와, 상기 Cu 합금 코어재의 표면에 형성된 Pd 피복층을 갖는 반도체 장치용 본딩 와이어를 대상으로 한다. 본 발명에 있어서, 당해 본딩 와이어가 Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt로부터 선택되는 적어도 1종 이상의 원소를 포함하고, 와이어 전체에 대한 상기 원소의 농도를 총계로 0.03~2질량%로 함으로써, 볼 접합부의 고온 환경에서의 접합 신뢰성에 관하여, 175°C 이상에서의 HTS에서의 성적이 개선된다. 이러한 특정 구성을 갖는 본 발명의 본딩 와이어는, 차량 탑재용 디바이스에서 요구되는 고온 고습 환경에서의 볼 접합부의 접합 신뢰성을 개선할 수 있다.

[0031] 볼 접합부의 고온 환경에서의 접합 신뢰성(특히 175°C 이상에서의 HTS에서의 성적)을 개선하는 관점에서, 와이어 전체에 대한 상기 원소의 농도는 총계로, 바람직하게는 0.030질량% 이상, 보다 바람직하게는 0.050질량% 이상, 더욱 바람직하게는 0.070질량% 이상, 0.090질량% 이상, 0.10질량% 이상, 0.15질량% 이상, 또는 0.20질량% 이상이다.

[0032] 상기한 바와 같이, 하기 (1)식으로 내력비를 정의한다.

$$\text{내력비} = \text{최대 내력} / 0.2\% \text{ 내력} \quad (1)$$

[0034] 웨지 접합에 있어서, 본딩 와이어는 심하게 변형된다. 변형 시에 와이어가 가공 경화되면, 접합 후의 와이어가 단단해져, 그 결과로서 웨지 접합의 접합 강도가 저하되게 된다. 양호한 웨지 접합 강도를 유지하기 위해서는, 상기 (1)식으로 정의한 내력비가 1.6 이하이면 바람직하다. 그런데, 175°C ~ 200°C의 HTS에서의 볼 접합부의 접합 신뢰성 향상을 위해, Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt 중 1종 이상을 와이어 중에 총계로 0.03질량% 이상 함유시킨 바, 내력비가 증대되어 1.6을 초과하게 되었다. 코어재의 Cu 중에 상기 합금 성분을 함유한 결과, 내력비의 증대, 즉, 경도의 증가가 발생하였다고 생각된다. 그로 인해, 웨지 접합의 접합 강도 저하를 초래하게 되었다. 한편, 종래의 제조 방법의 범위 내에서 내력비를 저감시키려고 한 바, 내력비가 1.1 미만으로 되어, 웨지 접합성이 떨어지는 결과가 되었다.

[0035] 따라서, 본딩 와이어가 상기 합금 성분을 함유해도 (1)식의 내력비를 1.1~1.6의 적합 범위로 유지할 수 있는 결정 조건에 대해 검토하였다. 그 결과, (1)식의 내력비를 적합 범위로 유지할 때에는, 본딩 와이어에 있어서의 코어재의 결정 구조, 특히 (i) 본딩 와이어의 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면에 대해 결정 방위를 측정한 결과에 있어서의, 와이어 길이 방향의 결정 방위 중, 와이어 길이 방향에 대해 각도 차가 15도 이하인 결정 방위 <100>의 방위 비율(이하, 단순히 「<100> 방위 비율」이라고도 함)과, (ii) 본딩 와이어의 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면에 있어서의 평균 결정입경(이하, 단순히 「평균 결정입경」이라고도 함)을 제어하는 것이 중요한 것을 발견하였다. 상세하게는, 본딩 와이어를 통상의 제조 방법으로 제조하면, <100> 방위 비율이 50% 이상인 것과, 평균 결정입경이 0.9μm 이상 1.3μm 이하인 것을 양립할 수 없고, 그 결과로서 내력비가 1.1 미만 또는 1.6 초과로 되는 것을 알 수 있었다. 그것에 대해, 후술하는 바와 같이 제조 방법을 고안함으로써, 본딩 와이어의 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면에 있어서의 와이어 길이 방향의 결정 방위 중, 와이어 길이 방향에 대해 각도 차가 15도 이내까지를 포함하는 <100>의 방위 비율을 50% 이상으로 하고, 본딩 와이어의 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면에 있어서의 평균 결정입경을 0.9~1.3μm로 할 수 있고, 그 결과, (1)식의 내력비를 1.1~1.6으로 할 수 있는 것이 명백해졌다.

[0036] <100> 방위 비율이 50% 이상일 때에는, 웨지 접합 시의 변형에 수반되는 와이어의 가공 경화가 작으므로, 내력비를 1.6 이하로 할 수 있다. 그러나, 이 경우라도 평균 결정입경이 0.9μm 미만일 때에는 0.2% 내력이 높기(연성이 부족하기) 때문에, 내력비가 1.1 미만으로 되어 웨지 접합성이 떨어진다. 평균 결정입경이 1.3μm를 초과하는 경우는 <100> 방위 비율이 50% 미만으로 되고, 또한 0.2% 내력이 낮으므로, 내력비가 1.6 초과로 되어 웨지 접합성이 떨어지는 것이라고 추정된다.

- [0037] 또한, 와이어의 결정 구조에 대해 상기 조건을 만족시키는 경우에 있어서도, 와이어 중의 상기 원소 함유량이 지나치게 많으면 역시 내력비가 증대되게 된다. 내력비 1.6 이하를 실현하고, 본딩 와이어의 경질화를 억제하여 웨지 접합성의 저하를 억제하는 관점에서, 와이어 전체에 대한 Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt로부터 선택되는 적어도 1종 이상의 원소 농도는 총계로, 바람직하게는 2.0질량% 이하, 1.8질량% 이하, 또는 1.6질량% 이하이다.
- [0038] 본딩 와이어 중에 Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt를 함유시킬 때, 이들 원소를 Cu 코어재 중에 함유시키는 방법, Cu 코어재 혹은 와이어 표면에 피착시켜 함유시키는 방법 중 어느 것을 채용해도, 상기 본 발명의 효과를 발휘할 수 있다. 이들 성분의 첨가량은 극미량이므로, 첨가 방법의 배리에이션은 넓어, 어떠한 방법으로 첨가해도 지정 농도 범위의 성분이 포함되어 있으면 효과가 나타난다.
- [0039] 본 발명의 본딩 와이어에 있어서, Pd 피복층의 두께는, 양호한 FAB 형상을 얻는 관점 및 차량 탑재용 디바이스에서 요구되는 고온 고습 환경에서의 볼 접합부의 접합 신뢰성을 한층 더 개선하는 관점에서, 바람직하게는 $0.015\mu\text{m}$ 이상, 보다 바람직하게는 $0.02\mu\text{m}$ 이상, 더욱 바람직하게는 $0.025\mu\text{m}$ 이상, $0.03\mu\text{m}$ 이상, $0.035\mu\text{m}$ 이상, $0.04\mu\text{m}$ 이상, $0.045\mu\text{m}$ 이상, 또는 $0.05\mu\text{m}$ 이상이다. 한편, Pd 피복층의 두께가 지나치게 두꺼워도 FAB 형상이 저하되므로, Pd 피복층의 두께는, 바람직하게는 $0.150\mu\text{m}$ 이하, 보다 바람직하게는 $0.140\mu\text{m}$ 이하, $0.130\mu\text{m}$ 이하, $0.120\mu\text{m}$ 이하, $0.110\mu\text{m}$ 이하, 또는 $0.100\mu\text{m}$ 이하이다.
- [0040] 상기 본딩 와이어의 Cu 합금 코어재, Pd 피복층의 정의를 설명한다. Cu 합금 코어재와 Pd 피복층의 경계는, Pd 농도를 기준으로 판정하였다. Pd 농도가 50원자%인 위치를 경계로 하여, Pd 농도가 50원자% 이상인 영역을 Pd 피복층, Pd 농도가 50원자% 미만인 영역을 Cu 합금 코어재라고 판정하였다. 이 근거는, Pd 피복층에 있어서 Pd 농도가 50원자% 이상이면 Pd 피복층의 구조로부터 특성의 개선 효과가 얻어지기 때문이다. Pd 피복층은, Pd 단층의 영역, Pd와 Cu가 와이어의 깊이 방향으로 농도 구배를 갖는 영역을 포함하고 있어도 된다. Pd 피복층에 있어서, 당해 농도 구배를 갖는 영역이 형성되는 이유는, 제조 공정에서의 열처리 등에 의해 Pd와 Cu의 원자가 확산되는 경우가 있기 때문이다. 본 발명에 있어서, 농도 구배라 함은, 깊이 방향으로의 농도 변화의 정도가 $0.1\mu\text{m}$ 당 $10\text{mol}\%$ 이상인 것을 말한다. 또한, Pd 피복층은 불가피 불순물을 포함하고 있어도 된다.
- [0041] 본 발명의 본딩 와이어는, Pd 피복층의 표면에 Au와 Pd를 더 포함하는 합금 표피층을 갖고 있어도 된다. 이에 의해, 본 발명의 본딩 와이어는, 접합 신뢰성을 더욱 향상시킬 수 있음과 함께 웨지 접합성을 더욱 개선할 수 있다.
- [0042] 상기 본딩 와이어의 Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층의 정의를 설명한다. Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층과 Pd 피복층의 경계는, Au 농도를 기준으로 판정하였다. Au 농도가 10원자%인 위치를 경계로 하여, Au 농도가 10원자% 이상인 영역을 Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층, 10원자% 미만인 영역을 Pd 피복층이라고 판정하였다. 또한, Pd 농도가 50원자% 이상인 영역이라도, Au가 10원자% 이상 존재하면 Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층이라고 판정하였다. 이들의 근거는, Au 농도가 상기한 농도 범위이면, Au 표피층의 구조로부터 특성의 개선 효과를 기대할 수 있기 때문이다. Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층은, Au-Pd 합금이며, Au와 Pd가 와이어의 깊이 방향으로 농도 구배를 갖는 영역을 포함하는 영역으로 한다. Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층에 있어서, 당해 농도 구배를 갖는 영역이 형성되는 이유는, 제조 공정에서의 열처리 등에 의해 Au와 Pd의 원자가 확산되기 때문이다. 또한, Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층은 불가피 불순물과 Cu를 포함하고 있어도 된다.
- [0043] 본 발명의 본딩 와이어에 있어서, Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층은, Pd 피복층과 반응하여, Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층, Pd 피복층, Cu 합금 코어재간의 밀착 강도를 높여, 웨지 접합 시의 Pd 피복층이나 Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층의 박리를 억제할 수 있다. 이에 의해 본 발명의 본딩 와이어는, 웨지 접합성을 더욱 개선할 수 있다. 양호한 웨지 접합성을 얻는 관점에서, Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층의 두께는, 바람직하게는 $0.0005\mu\text{m}$ 이상, 더욱 바람직하게는 $0.001\mu\text{m}$ 이상, $0.002\mu\text{m}$ 이상, 또는 $0.003\mu\text{m}$ 이상이다. 편심을 억제하여 양호한 FAB 형상을 얻는 관점에서, Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층의 두께는, 바람직하게는 $0.050\mu\text{m}$ 이하, 더욱 바람직하게는 $0.045\mu\text{m}$ 이하, $0.040\mu\text{m}$ 이하, $0.035\mu\text{m}$ 이하, 또는 $0.030\mu\text{m}$ 이하이다. 또한 Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층은, Pd 피복층과 마찬가지의 방법에 의해 형성할 수 있다.
- [0044] 본 발명의 본딩 와이어는, Ga, Ge, As, Te, Sn, Sb, Bi, Se로부터 선택되는 적어도 1종 이상의 원소를 더 포함하고, 와이어 전체에 대한 상기 원소의 농도가 합계로 $0.1\sim100\text{질량ppm}$ 이고, $\text{Sn} \leq 10\text{질량ppm}$, $\text{Sb} \leq 10\text{질량ppm}$, $\text{Bi} \leq 1\text{질량ppm}$ 이면 바람직하다. 이에 의해, 차량 탑재용 디바이스에서 요구되는 고온 고습 환경에서의 볼 접합부의 접합 신뢰성을 더욱 개선할 수 있다. 특히 온도가 130°C , 상대 습도가 85%인 고온 고습 환경 하에서의 볼 접합부의 접합 수명을 향상시켜, 접합 신뢰성을 개선하므로 바람직하다. 와이어 전체에 대한 상기 원소의 농도는 합계로 바람직하게는 0.1질량ppm 이상, 보다 바람직하게는 0.5질량ppm 이상, 더욱 바람직하게는 1질량ppm 이

상, 보다 더 바람직하게는 1.5질량ppm 이상, 2질량ppm 이상, 2.5질량ppm 이상, 또는 3질량ppm 이상이다. 한편, 양호한 FAB 형상을 얻는 관점에서, 와이어 전체에 대한 상기 원소의 농도는 합계로 바람직하게는 100질량ppm 이하, 보다 바람직하게는 95질량ppm 이하, 90질량ppm 이하, 85질량ppm 이하, 또는 80질량ppm 이하이다. 또한, Sn 농도, Sb 농도가 10질량ppm을 초과한 경우, 또는 Bi 농도가 1질량ppm을 초과한 경우에는, FAB 형상이 불량으로 되기 때문에, Sn≤10질량ppm, Sb≤10질량ppm, Bi≤1질량ppm으로 함으로써, FAB 형상을 더욱 개선할 수 있으므로 바람직하다.

[0045] 본 발명의 본딩 와이어는, B, P, Mg, Ca, La로부터 선택되는 적어도 1종 이상의 원소를 더 포함하고, 와이어 전체에 대한 상기 원소의 농도가 각각 1~100질량ppm이면 바람직하다. 이에 의해, 고밀도 실장에 요구되는 볼 접합부의 찌그러짐 형상을 개선, 즉, 볼 접합부 형상의 진원성을 개선할 수 있다. 와이어 전체에 대한 상기 원소의 농도는 각각, 바람직하게는 1질량ppm 이상, 더욱 바람직하게는 2질량ppm 이상, 3질량ppm 이상, 4질량ppm 이상, 또는 5질량ppm 이상이다. 볼의 경질화를 억제하여 볼 접합 시의 침 손상을 억제하는 관점에서, 와이어 전체에 대한 상기 원소의 농도는 각각, 바람직하게는 100질량ppm 이하, 더욱 바람직하게는 95질량ppm 이하, 90질량ppm 이하, 85질량ppm 이하, 또는 80질량ppm 이하이다.

[0046] 본 발명과 같이 Pd 피복 Cu 본딩 와이어가 Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt를 소정량 함유하고 있는 경우, 또한 본딩 와이어의 최표면에 Cu가 존재하면, 접합부에 있어서의 Cu_9Al_4 금속간 화합물의 생성이 더욱 억제되는 경향이 있다. Pd 피복 Cu 본딩 와이어가 Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt를 소정량 함유하고 있는 경우, 또한 본딩 와이어의 최표면에 Cu가 존재하면, 본딩 와이어에 포함되는 Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt와 Cu의 상호 작용에 의해, FAB 형성 시에 FAB 표면의 Pd 농화가 촉진되어, 볼 접합 계면의 Pd 농화가 더욱 현저하게 나타난다. 이에 의해, Pd 농화층에 의한 Cu와 Al의 상호 확산 억제 효과가 더욱 강해지고, Cl의 작용에 의해 부식되기 쉬운 Cu_9Al_4 의 생성량이 적어져, 볼 접합부의 고온 고습 환경에서의 접합 신뢰성이 한층 더 향상되는 것이라고 추정된다.

[0047] Pd 피복층의 최표면에 Cu가 존재하는 경우, Cu의 농도가 30원자% 이상이 되면, 와이어 표면의 내 황화성이 저하되어, 본딩 와이어의 사용 수명이 저하되므로 실용에 적합하지 않은 경우가 있다. 따라서, Pd 피복층의 최표면에 Cu가 존재하는 경우, Cu의 농도는 30원자% 미만인 것이 바람직하다.

[0048] 또한, Au 표피층의 최표면에 Cu가 존재하는 경우, Cu의 농도가 35원자% 이상이 되면, 와이어 표면의 내 황화성이 저하되어, 본딩 와이어의 사용 수명이 저하되므로 실용에 적합하지 않은 경우가 있다. 따라서, Au 표피층의 최표면에 Cu가 존재하는 경우, Cu의 농도는 35원자% 미만인 것이 바람직하다.

[0049] 여기서, 최표면이라 함은, 스퍼터 등을 실시하지 않는 상태에서, 본딩 와이어의 표면을 오제 전자 분광 장치에 의해 측정한 영역을 말한다.

[0050] Pd 피복층, Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층의 농도 분석에는, 본딩 와이어의 표면으로부터 깊이 방향을 향해 스퍼터 등에 의해 깎으면서 분석을 행하는 방법, 혹은 와이어 단면을 노출시켜 선 분석, 점 분석 등을 행하는 방법이 유효하다. 이를 농도 분석에 사용하는 해석 장치는, 주사형 전자 현미경 또는 투과형 전자 현미경에 비치한 오제 전자 분광 분석 장치, 에너지 분산형 X선 분석 장치, 전자선 마이크로 앤널라이저 등을 이용할 수 있다. 와이어 단면을 노출시키는 방법으로서는, 기계 연마, 이온 에칭법 등을 이용할 수 있다. 본딩 와이어 중의 Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt 등의 미량 분석에 대해서는, 본딩 와이어를 강산으로 용해한 액을 ICP 발광 분광 분석 장치나 ICP 질량 분석 장치를 이용하여 분석하고, 본딩 와이어 전체에 포함되는 원소의 농도로서 검출할 수 있다.

[0051] (제조 방법)

[0052] 다음으로 본 발명의 실시 형태에 관한 본딩 와이어의 제조 방법을 설명한다. 본딩 와이어는, 코어재에 사용하는 Cu 합금을 제조한 후, 와이어 형상으로 가늘게 가공하고, Pd 피복층, Au층을 형성하여, 열처리함으로써 얻어진다. Pd 피복층, Au층을 형성 후, 다시 신선과 열처리를 행하는 경우도 있다. Cu 합금 코어재의 제조 방법, Pd 피복층, Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층의 형성 방법, 열처리 방법에 대해 상세하게 설명한다.

[0053] 코어재에 사용하는 Cu 합금은, 원료가 되는 Cu와 첨가하는 원소를 모두 용해하고, 응고시킴으로써 얻어진다. 용해에는, 아크 가열로, 고주파 가열로, 저항 가열로 등을 이용할 수 있다. 대기 중으로부터의 O₂, H₂ 등의 가스의 혼입을 방지하기 위해, 진공 분위기 혹은 Ar이나 N₂ 등의 불활성 분위기 중에서 용해를 행하는 것이 바람직하다.

[0054] Pd 피복층, Au층을 Cu 합금 코어재의 표면에 형성하는 방법은, 도금법, 증착법, 용융법 등이 있다. 도금법은,

전해 도금법, 무전해 도금법 모두 적용 가능하다. 스트라이크 도금, 플래시 도금이라고 불리는 전해 도금에서는, 도금 속도가 빠르고, 하지와의 밀착성도 양호하다. 무전해 도금에 사용하는 용액은, 치환형과 환원형으로 분류되며, 두께가 얇은 경우에는 치환형 도금만으로도 충분하지만, 두께가 두꺼운 경우에는 치환형 도금 후에 환원형 도금을 단계적으로 실시하는 것이 유효하다.

[0055] 증착법에서는, 스퍼터법, 이온 플레이팅법, 진공 증착 등의 물리 흡착과, 플라즈마 CVD 등의 화학 흡착을 이용할 수 있다. 모두 건식이며, Pd 피복층, Au층 형성 후의 세정이 불필요하여, 세정 시의 표면 오염 등의 우려가 없다.

[0056] Pd 피복층, Au층 형성 후에 열처리를 행함으로써, Pd 피복층의 Pd가 Au층 중에 확산되어, Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층이 형성된다. Au층을 형성한 후에 열처리에 의해 Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층을 형성하는 것이 아니라, 처음부터 Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층을 피착하는 것으로 해도 된다.

[0057] Pd 피복층, Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층의 형성에 대해서는, 최종 선 직경까지 신선 후에 형성하는 방법과, 굵은 직경의 Cu 합금 코어재에 형성하고 나서 원하는 선 직경까지 복수 회 신선하는 방법 모두 유효하다. 전자의 최종 직경에서 Pd 피복층, Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층을 형성하는 경우에는, 제조, 품질 관리 등이 간편하다. 후자의 Pd 피복층, Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층과 신선을 조합하는 경우에는, Cu 합금 코어재와의 밀착성이 향상되는 점에서 유리하다. 각각의 형성법의 구체예로서, 최종 선 직경의 Cu 합금 코어재에, 전해 도금 용액 중에 와이어를 연속적으로 소인하면서 Pd 피복층, Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층을 형성하는 방법, 혹은 전해 또는 무전해의 도금욕 중에 굽은 Cu 합금 코어재를 침지하여 Pd 피복층, Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층을 형성한 후에, 와이어를 신선하여 최종 선 직경에 도달하는 방법 등을 들 수 있다.

[0058] Pd 피복층, Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층을 형성한 후에는 열처리를 행하는 경우가 있다. 열처리를 행함으로써 Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층, Pd 피복층, Cu 합금 코어재의 사이에서 원자가 확산되어 밀착 강도가 향상되므로, 가공 중의 Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층이나 Pd 피복층의 박리를 억제할 수 있어, 생산성이 향상되는 점에서 유효하다. 대기 중으로부터의 O₂의 혼입을 방지하기 위해, 진공 분위기 혹은 Ar이나 N₂ 등의 불활성 분위기 중에서 열처리를 행하는 것이 바람직하다.

[0059] 전술한 바와 같이, 본딩 와이어에 실시하는 확산 열처리나 어닐링 열처리의 조건을 조정함으로써, 코어재의 Cu가 Pd 피복층이나 Au와 Pd를 포함하는 표피 합금층 중을 입계 확산, 입내 확산 등에 의해 확산하고, 본딩 와이어의 최표면에 Cu를 도달시켜, 최표면에 Cu를 존재하게 할 수 있다. 최표면에 Cu를 존재하게 하기 위한 열처리로서, 상기한 바와 같이 Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층을 형성하기 위한 열처리를 사용할 수 있다. 합금 표피층을 형성하기 위한 열처리를 행할 때, 열처리 온도와 시간을 선택함으로써, 최표면에 Cu를 존재하게 하거나, 또는 Cu를 존재하지 않게 할 수 있다. 또한, 최표면의 Cu 농도를 소정의 범위(예를 들어, 1~50원자%의 범위)로 조정할 수도 있다. 합금 표피층 형성 시 이외에 행하는 열처리에 의해 Cu를 최표면에 확산시키는 것으로 해도 된다.

[0060] 전술한 바와 같이, 본딩 와이어 중에 Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt를 함유시킬 때, 이들 원소를 Cu 코어재 중에 함유시키는 방법, Cu 코어재 혹은 와이어 표면에 피착시켜 함유시키는 방법 중 어느 쪽을 채용해도, 상기 본 발명의 효과를 발휘할 수 있다. Ga, Ge, As, Te, Sn, Sb, Bi, Se, B, P, Mg, Ca, La에 대해서도 마찬가지이다.

[0061] 상기 성분의 첨가 방법으로서, 가장 간편한 것은 Cu 합금 코어재의 출발 재료에 첨가해 두는 방법이다. 예를 들어, 고순도의 구리와 상기 성분 원소 원료를 출발 원료로서 청량한 후, 이것을 고진공 하 혹은 질소나 아르곤 등의 불활성 분위기 하에서 가열하여 용해함으로써 목적의 농도 범위의 상기 성분이 첨가된 잉곳을 제작하고, 목적 농도의 상기 성분 원소를 포함하는 출발 재료로 한다. 따라서 적합한 일 실시 형태에 있어서, 본 발명의 본딩 와이어의 Cu 합금 코어재는, Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt로부터 선택되는 적어도 1종 이상의 원소를, 와이어 전체에 대한 상기 원소의 농도가 총계로 0.03~2질량%로 되도록 포함한다. 당해 농도의 합계의 적합한 수치 범위는, 상술한 바와 같다. 다른 적합한 일 실시 형태에 있어서, 본 발명의 본딩 와이어의 Cu 합금 코어재는, Ga, Ge, As, Te, Sn, Sb, Bi, Se로부터 선택되는 적어도 1종 이상의 원소를, 와이어 전체에 대한 상기 원소의 농도가 합계로 0.1~100질량ppm, Sn≤10질량ppm, Sb≤10질량ppm, Bi≤1질량ppm으로 되도록 포함한다. 당해 농도의 적합한 수치 범위는, 상술한 바와 같다. 적합한 일 실시 형태에 있어서, Cu 합금 코어재의 Cu의 순도는 3N 이하(바람직하게는, 2N 이하)이다. 종래의 Pd 피복 Cu 본딩 와이어에서는, 본더빌리티의 관점에서, 고순도(4N 이상)의 Cu 코어재가 사용되고, 저순도의 Cu 코어재의 사용은 피하는 경향에 있었다. 특정 원소를 함유하는 본 발명의 본딩 와이어에서는, 상기한 바와 같이 Cu의 순도가 낮은 Cu 합금 코어재를 사용한 경우에 특히 적합하게, 차량 탑재용 디바이스에서 요구되는 고온 고습 환경에서의 볼 접합부의 접합 신뢰성을 실현하는 것에

이른 것이다. 다른 적합한 일 실시 형태에 있어서, 본 발명의 본딩 와이어의 Cu 합금 코어재는, B, P, Mg, Ca, La로부터 선택되는 적어도 1종 이상의 원소를, 와이어 전체에 대한 상기 원소의 농도가 각각 1~100질량ppm으로 되도록 포함한다. 당해 농도의 적합한 수치 범위는, 상술한 바와 같다.

[0062] 와이어 제조 공정의 도중에서, 와이어 표면에 상기 성분을 피착시킴으로써 함유시킬 수도 있다. 이 경우, 와이어 제조 공정의 어디에 넣어도 되고, 복수 회 반복해도 된다. 복수의 공정에 넣어도 된다. Pd 피복 전의 Cu 표면에 첨가해도 되고, Pd 피복 후의 Pd 표면에 첨가해도 되고, Au 피복 후의 Au 표면에 첨가해도 되고, 각 피복 공정에 넣어도 된다. 피착 방법으로서는, (1) 수용액의 도포→건조→열처리, (2) 도금법(습식), (3) 증착법(건식)으로부터 선택할 수 있다.

[0063] 수용액의 도포→건조→열처리의 방법을 채용하는 경우, 먼저 상기 성분 원소를 포함하는 수용성의 화합물로 적당한 농도의 수용액을 조제한다. 이에 의해, 상기 성분을 와이어 재료에 흡수시킬 수 있다. 와이어 제조 공정의 어디에 넣어도 되고, 복수 회 반복해도 된다. 복수의 공정에 넣어도 된다. Pd 피복 전의 Cu 표면에 첨가해도 되고, Pd 피복 후의 Pd 표면에 첨가해도 되고, Au 피복 후의 Au 표면에 첨가해도 되고, 각 피복 공정에 넣어도 된다.

[0064] 도금법(습식)을 사용하는 경우, 도금법은, 전해 도금법, 무전해 도금법 중 어느 쪽이든 적용 가능하다. 전해 도금법에서는, 통상의 전해 도금 외에 플래시 도금이라고 불리는 도금 속도가 빠르고 하지와의 밀착성도 양호한 도금법도 적용 가능하다. 무전해 도금에 사용하는 용액은, 치환형과 환원형이 있다. 일반적으로 도금 두께가 얇은 경우는 치환형 도금, 두꺼운 경우는 환원형 도금이 적용되지만, 어느 쪽이든 적용 가능하며, 첨가하고자 하는 농도에 따라서 선택하여, 도금액 농도, 시간을 조정하면 된다. 전해 도금법, 무전해 도금법 모두, 와이어 제조 공정의 어디에 넣어도 되고, 복수 회 반복해도 된다. 복수의 공정에 넣어도 된다. Pd 피복 전의 Cu 표면에 첨가해도 되고, Pd 피복 후의 Pd 표면에 첨가해도 되고, Au 피복 후의 Au 표면에 첨가해도 되고, 각 피복 공정에 넣어도 된다.

[0065] 증착법(건식)에는, 스퍼터링법, 이온 플레이팅법, 진공 증착법, 플라즈마 CVD 등이 있다. 건식이므로 전처리 후처리가 불필요하고, 오염의 우려도 없는 것이 특징이다. 일반적으로 증착법은, 목적으로 하는 원소의 첨가 속도가 느린 것이 문제이지만, 상기 성분 원소는 첨가 농도가 비교적 낮으므로, 본 발명의 목적으로서는 적합한 방법 중 하나이다.

[0066] 각 증착법은, 와이어 제조 공정의 어디에 넣어도 되고, 복수 회 반복해도 된다. 복수의 공정에 넣어도 된다. Pd 피복 전의 Cu 표면에 첨가해도 되고, Pd 피복 후의 Pd 표면에 첨가해도 되고, Au 피복 후의 Au 표면에 첨가해도 되고, 각 피복 공정에 넣어도 된다.

[0067] 본딩 와이어의 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면에 대해 결정 방위를 측정한 결과에 있어서, 와이어 길이 방향의 결정 방위 중, 와이어 길이 방향에 대해 각도 차가 15도 이하인 결정 방위 <100>의 방위 비율을 50% 이상으로 하고, 본딩 와이어의 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면에 있어서의 평균 결정입경을 0.9~1.3 μm 로 하기 위한 제조 방법에 대해 설명한다.

[0068] 본 발명의 본딩 와이어는, Cu 합금 코어재 중에 Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt 중 1종 이상을 총계로 0.03질량% 이상 함유하므로, 와이어의 재료 강도(경도)가 높아진다. 그로 인해, Cu 코어선의 본딩 와이어를 신선 가공할 때에는, 신선 시의 감면율을 5~8%로 낮은 감면율로 하고 있었다. 또한, 신선 후의 열처리에 있어서, 역시 경도가 높기 때문에, 본딩 와이어로서 사용할 수 있는 레벨까지 연질화하기 위해 600°C 이상의 온도에서 열처리를 행하고 있었다. 높은 열처리 온도로 인해, 와이어 길이 방향의 <100> 방위 비율이 50% 미만으로 되고, 동시에 코어재 단면에 있어서의 평균 결정입경이 1.3 μm 초과로 되어, 내력비가 1.6을 초과하게 되었다. 한편, 내력비를 저감시키려고 하여 열처리 온도를 저하시키면, 코어재 단면에 있어서의 평균 결정입경이 0.9 μm 미만으로 되고, 내력비가 1.1 미만으로 되어 웨지 접합성이 떨어지게 되었다.

[0069] 이에 반해 본 발명에 있어서는, 다이스를 사용한 신선 시에 있어서, 전체 다이스 수 중 절반 이상의 다이스에 있어서 감면율을 10% 이상으로 하고, 또한 신선 후의 열처리에 있어서의 열처리 온도를 500°C 이하로 낮은 온도로 하였다. 그 결과, 본딩 와이어의 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면에 대해 결정 방위를 측정한 결과에 있어서, 와이어 길이 방향의 결정 방위 중, 와이어 길이 방향에 대해 각도 차가 15도 이하인 결정 방위 <100>의 방위 비율을 50% 이상으로 하고, 본딩 와이어의 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면에 있어서의 평균 결정입경을 0.9~1.3 μm 로 할 수 있었다. 최신의 신선 가공 기술을 적용하여, 윤활액으로서, 윤활액에 포함되는 비이온계 계면 활성제의 농도를 종래보다 높게 설계하고, 다이스 형상으로서, 다이스의 어프로치 각도를

종래의 것보다도 완만하게 설계하고, 다이스의 냉각수 온도를 종래보다 약간 낮게 설정하는 것 등의 상승 효과에 의해, Cu 합금 코어재 중에 Ni 등의 성분을 총계로 0.03질량% 이상 함유하여 경질화하고 있음에도 불구하고, 감면율 10% 이상의 신선 가공이 가능해졌다.

[0070] 와이어 단면의 결정 방위를 측정할 때에는, 후방 산란 전자선 회절법(EBSD, Electron Backscattered Diffraction)을 사용하면 바람직하다. EBSD법은 관찰면의 결정 방위를 관찰하여, 인접하는 측정점 사이에서의 결정 방위의 각도 차를 도시 할 수 있다고 하는 특징을 갖고, 본딩 와이어와 같은 세선이라도, 비교적 간편하면서 고정밀도로 결정 방위를 관찰할 수 있다. 입경 측정에 대해서는, EBSD법에 의한 측정 결과에 대해 장치에 장비되어 있는 해석 소프트웨어를 이용함으로써 구할 수 있다. 본 발명에서 규정하는 결정입경은, 측정 영역 내에 포함되는 결정립의 상당 직경(결정립의 면적에 상당하는 원의 직경; 원 상당 직경)을 산술 평균한 것이다.

[0071] 본 발명은 상기 실시 형태에 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 취지의 범위 내에서 적절하게 변경하는 것이 가능하다.

[0072] 실시예

[0073] 이하에서는, 실시예를 나타내면서, 본 발명의 실시 형태에 관한 본딩 와이어에 대해, 구체적으로 설명한다.

[0074] (샘플)

[0075] 먼저, 샘플의 제작 방법에 대해 설명한다. 코어재의 원재료로 되는 Cu는 순도가 99.99질량% 이상이고 잔부가 불가피 불순물로 구성되는 것을 사용하였다. Au, Pd, Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt는 순도가 99질량% 이상이고 잔부가 불가피 불순물로 구성되는 것을 사용하였다. 와이어 또는 코어재의 조성이 목적의 것으로 되도록, 코어재에의 첨가 원소인 Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt를 조합한다. Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt의 첨가에 관해서는, 단체에 의한 조합도 가능하지만, 단체이고 고용첨인 원소나 첨가량이 극미량인 경우에는, 첨가 원소를 포함하는 Cu 모 합금을 미리 제작해 두고 목적의 첨가량으로 되도록 조합해도 된다. 또한, 하기 표 3에 나타내는 본 발명예에서는, Ga, Ge, As, Te, Sn, Sb, Bi, Se, B, P, Mg, Ca, La 중 1종 이상을 더 함유시키고 있다.

[0076] 코어재의 Cu 합금은, 연속 주조에 의해 수 μm 의 선 직경으로 되도록 제조하였다. 얻어진 수 μm 의 합금에 대해, 인발 가공을 행하여 $\phi 0.3\sim 1.4\mu\text{m}$ 의 와이어를 제작하였다. 신선에는 시판되고 있는 윤활액을 사용하고, 신선 속도는 $20\sim 150\text{m}/\text{분}$ 으로 하였다. 와이어 표면의 산화막을 제거하기 위해, 염산 등에 의한 산세 처리를 행한 후, 코어재의 Cu 합금의 표면 전체를 덮도록 Pd 피복층을 $1\sim 15\mu\text{m}$ 형성하였다. 또한, 일부의 와이어는 Pd 피복층 상에 Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층을 $0.05\sim 1.5\mu\text{m}$ 형성하였다. Pd 피복층, Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층의 형성에는 전해 도금법을 사용하였다. 도금액은 시판되고 있는 반도체용 도금액을 사용하였다. 그 후, 감면율 $10\sim 21\%$ 의 다이스를 주로 사용하여 신선 가공을 행하고, 나아가 도중에 1 내지 3회의 열처리를 $200\sim 500^\circ\text{C}$ 에서 행함으로써 직경 $20\mu\text{m}$ 까지 가공하였다. 가공 후에는 최종적으로 과단 연신율이 약 $5\sim 15\%$ 로 되도록 열처리를 하였다. 열처리 방법은 와이어를 연속적으로 소인하면서 행하고, N_2 혹은 Ar 가스를 흐르게 하면서 행하였다. 와이어의 이송 속도는 $10\sim 90\text{m}/\text{분}$, 열처리 온도는 $350\sim 500^\circ\text{C}$ 이고 열처리 시간은 1~10초로 하였다.

[0077] (평가 방법)

[0078] 와이어 중의 Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt, Ga, Ge, As, Te, Sn, Sb, Bi, Se, B, P, Mg, Ca, La 함유량에 대해서는, ICP 발광 분광 분석 장치를 이용하여, 본딩 와이어 전체에 포함되는 원소의 농도로서 분석하였다.

[0079] Pd 피복층, Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층의 농도 분석에는, 본딩 와이어의 표면으로부터 깊이 방향을 항해 스퍼터 등에 의해 깎으면서 오제 전자 분광 분석을 실시하였다. 얻어진 깊이 방향의 농도 프로파일로부터, Pd 피복층 두께, Au와 Pd를 포함하는 합금 표피층 두께를 구하였다.

[0080] 본딩 와이어의 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면에 있어서의 와이어 길이 방향의 결정 방위 중, 와이어 길이 방향에 대해 각도 차가 15도 이하인 결정 방위 <100>의 방위 비율에 대해서는, EBSD법으로 관찰면(즉, 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면)의 결정 방위를 관찰한 후 산출하였다. EBSD 측정 데이터의 해석에는 전용 소프트웨어(TSL 솔루션즈제 OIM analysis 등)를 이용하였다. 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면에 있어서의 평균 결정입경에 대해서는, EBSD법으로 관찰면의 결정 방위를 관찰한 후 산출하였다. EBSD 측정 데이터의 해석에는 전용 소프트웨어(TSL 솔루션즈제 OIM analysis 등)를 이용하였다. 결정입경은, 측정 영역 내에 포함되는 결정립의 상당 직경(결정립의 면적에 상당하는 원의 직경; 원 상당 직경)을 산술 평균한 것이다.

[0081] 0.2% 내력과 최대 내력에 대해서는, 표점간 거리를 $100\mu\text{m}$ 로 하여 인장 시험을 행함으로써 평가하였다. 인장

시험 장치로서는, 인스트론사제 만능 재료 시험기 5542형을 사용하였다. 0.2% 내력은 장치에 장비된 전용의 소프트웨어를 사용하여 산출하였다. 또한, 파단하였을 때의 하중을 최대 내력으로 하였다. 하기 (1)식으로부터 내력비를 산출하였다.

$$\text{내력비} = \frac{\text{최대 내력}}{0.2\% \text{ 내력}}$$

(1)

[0082] 와이어 접합부에 있어서의 웨지 접합성의 평가는, BGA 기판의 웨지 접합부에 1000개의 본딩을 행하고, 접합부의 박리의 발생 빈도에 의해 판정하였다. 사용한 BGA 기판은 Ni 및 Au의 도금을 실시한 것이다. 본 평가에서는, 통상보다 엄격한 접합 조건을 상정하여, 스테이지 온도를 일반적인 설정 온도 영역보다 낮은 150°C로 설정하였다. 상기한 평가에 있어서, 불량이 11개 이상 발생한 경우에는 문제가 있다고 판단하여 ×표, 불량이 6~10개 이면 실용 가능하지만 약간 문제 있음이라고 하여 △표, 불량이 1~5개인 경우는 문제없음으로 판단하여 ○표, 불량이 발생하지 않은 경우에는 우수하다고 판단하여 ◎표로 하여, 표 1의 「웨지 접합성」의 란에 표기하였다.

[0084] 고온 고습 환경 또는 고온 환경에서의 볼 접합부의 접합 신뢰성은, 접합 신뢰성 평가용 샘플을 제작하고, HTS 평가를 행하여, 볼 접합부의 접합 수명에 의해 판정하였다. 접합 신뢰성 평가용 샘플은, 일반적인 금속 프레임 상의 Si 기판에 두께 0.8μm의 Al-1.0%Si-0.5%Cu의 합금을 성막하여 형성한 전극에, 시판되고 있는 와이어 본더를 사용하여 볼 접합을 행하고, 시판되고 있는 에폭시 수지에 의해 밀봉하여 제작하였다. 볼은 N₂+5%H₂ 가스를 유량 0.4~0.6L/min으로 흐르게 하면서 형성시키고, 그 크기는 Φ33~34μm의 범위로 하였다.

[0085] HTS 평가에 대해서는, 제작한 접합 신뢰성 평가용 샘플을, 고온 항온기를 사용하여, 온도 200°C의 고온 환경에 폭로하였다. 볼 접합부의 접합 수명은 500시간마다 볼 접합부의 전단 시험을 실시하여, 전단 강도의 값이 초기에 얻어진 전단 강도의 1/2로 되는 시간으로 하였다. 고온 고습 시험 후의 전단 시험은, 산 처리에 의해 수지를 제거하여, 볼 접합부를 노출시키고 나서 행하였다.

[0086] HTS 평가의 전단 시험기는 DAGE사제의 시험기를 사용하였다. 전단 강도의 값은 무작위로 선택한 볼 접합부에 10개소의 측정값의 평균값을 사용하였다. 상기한 평가에 있어서, 접합 수명이 500시간 이상 1000시간 미만이면 실용 가능하지만 개선의 요망 있음이라고 판단하여 △표, 1000시간 이상 3000시간 미만이면 실용상 문제없음이라고 판단하여 ○표, 3000시간 이상이면 특히 우수하다고 판단하여 ◎표로 하였다.

[0087] 볼 형성성(FAB 형상)의 평가는, 접합을 행하기 전의 볼을 채취하여 관찰하고, 볼 표면의 기포의 유무, 원래 진구인 볼의 변형의 유무를 판정하였다. 상기 중 어느 하나가 발생한 경우는 불량이라고 판단하였다. 볼의 형성은 용융 공정에서의 산화를 억제하기 위해, N₂ 가스를 유량 0.5L/min으로 분사하면서 행하였다. 볼의 크기는 34μm로 하였다. 1조건에 대해 50개의 볼을 관찰하였다. 관찰에는 SEM을 사용하였다. 볼 형성성의 평가에 있어서, 불량이 5개 이상 발생한 경우에는 문제가 있다고 판단하여 ×표, 불량이 3~4개이면 실용 가능하지만 약간 문제 있음이라고 하여 △표, 불량이 1~2개인 경우는 문제없음이라고 판단하여 ○표, 불량이 발생하지 않은 경우에는 우수하다고 판단하여 ◎표로 하여, 표 1의 「FAB 형상」의 란에 표기하였다.

[0088] 온도가 130°C, 상대 습도가 85%인 고온 고습 환경 하에서의 볼 접합부의 접합 수명에 대해서는, 이하의 HAST 평가로 평가할 수 있다. HAST 평가에 대해서는, 제작한 접합 신뢰성 평가용 샘플을, 불포화형 프레셔 쿠커 시험기를 사용하여, 온도 130°C, 상대 습도 85%의 고온 고습 환경에 폭로하고, 5V의 바이어스를 가하였다. 볼 접합부의 접합 수명은 48시간마다 볼 접합부의 전단 시험을 실시하여, 전단 강도의 값이 초기에 얻어진 전단 강도의 1/2로 되는 시간으로 하였다. 고온 고습 시험 후의 전단 시험은, 산 처리에 의해 수지를 제거하여, 볼 접합부를 노출시키고 나서 행하였다.

[0089] HAST 평가의 전단 시험기는 DAGE사제의 시험기를 사용하였다. 전단 강도의 값은 무작위로 선택한 볼 접합부의 10개소의 측정값의 평균값을 사용하였다. 상기한 평가에 있어서, 접합 수명이 144시간 이상 288시간 미만이면 실용상 문제없음이라고 판단하여 ○표, 288시간 이상 384시간 미만이면 우수하다고 판단하여 ◎표, 384시간 이상이면 특히 우수하다고 판단하여 ◎◎표로 하여, 표 1의 「HAST」의 란에 표기하였다.

[0090] 볼 접합부의 찌그러짐 형상의 평가는, 본딩을 행한 볼 접합부를 바로 위로부터 관찰하여, 그 진원성에 의해 판정하였다. 접합 상대는 Si 기판 상에 두께 1.0μm의 Al-0.5%Cu의 합금을 성막한 전극을 사용하였다. 관찰은 광학 현미경을 사용하여, 1조건에 대해 200개소를 관찰하였다. 진원으로부터의 어긋남이 큰 타원 형상인 것, 변형에 이방성을 갖는 것은 볼 접합부의 찌그러짐 형상이 불량하다고 판단하였다. 상기한 평가에 있어서, 불량이 1~3개인 경우는 문제없다고 판단하여 ○표, 모두 양호한 진원성이 얻어진 경우는, 특히 우수하다고 판단하여 ◎표로 하여, 표 1의 「찌그러짐 형상」의 란에 표기하였다.

표 1

No.	와이어 성분(질량%)						Pd 포함하는 외부층의 막 두께 (μm)	Au와 Pd를 포함하는 외부층의 단면의 <100> 입자 (μm)	Au와 Pd를 포함하는 외부층의 단면의 <100> 비율 (%)	결정 조치		기계적 특성		와이어 품질				
	Ni	Zn	Rh	In	Ir	Pt				최대 내력 ①	0.2% 내력 ②	내력비 ①/②	웨지 접합성	HTS	FAB	HAST	에그려짐 현상	
1	0.7				0.7	0.015	—	92	1.1	0.19	0.16	1.19	◎	◎	○	○		
2	1.2				1.2	0.050	—	72	0.9	0.22	0.17	1.29	◎	◎	○	○		
3		1.0			1.0	0.100	—	71	1.0	0.24	0.16	1.50	○	○	○	○		
4			0.5		0.5	0.150	—	72	1.1	0.29	0.24	1.21	◎	◎	○	○		
5			0.1		0.1	0.015	—	75	1.2	0.30	0.22	1.36	◎	◎	○	○		
6				0.03	0.03	0.050	—	63	1.3	0.31	0.20	1.55	○	○	○	○		
7	1.1			0.3	1.4	0.100	—	75	1.0	0.33	0.28	1.18	◎	◎	○	○		
8		1.2		0.8	2.0	0.150	—	65	0.9	0.34	0.27	1.26	◎	◎	○	○		
9			0.7		0.1	0.8	0.015	—	51	1.2	0.35	0.22	1.59	○	○	○	○	
10	0.6			0.1	0.05	0.75	0.100	—	97	1.2	0.33	0.30	1.10	○	○	○	○	
11		0.8		0.8	0.3	1.9	0.150	—	80	1.1	0.34	0.28	1.21	◎	◎	○	○	
12	0.05	0.05			0.05	0.15	0.015	—	70	1.2	0.35	0.22	1.59	○	○	○	○	
13		1.0			0.1	0.3	1.4	0.015	—	54	1.0	0.35	0.23	1.52	○	○	○	○
14	0.5				0.5	0.015	0.0005	91	1.1	0.20	0.18	1.11	○	○	○	○		
15		1.2			1.2	0.050	0.0010	70	0.9	0.21	0.17	1.24	◎	◎	○	○		
16		0.7			0.7	0.100	0.0100	69	1.1	0.22	0.15	1.47	○	○	○	○		
17		0.3			0.3	0.150	0.0500	70	1.2	0.28	0.24	1.17	○	○	○	○		
18			0.1		0.1	0.015	0.0005	76	1.2	0.29	0.22	1.32	○	○	○	○		
19				0.05	0.05	0.050	0.0010	64	1.3	0.30	0.19	1.58	○	○	○	○		
20	0.5		0.3		0.8	0.100	0.0100	74	1.1	0.33	0.28	1.18	◎	◎	○	○		
21		1.2		0.1	1.3	0.150	0.0500	64	1.2	0.34	0.26	1.31	○	○	○	○		
22			0.7		0.01	0.71	0.015	0.0005	50	1.1	0.35	0.23	1.52	○	○	○	○	
23	0.6		0.1	0.05	0.75	0.050	0.0010	98	1.0	0.30	0.20	1.50	○	○	○	○		
24		0.8	0.3		1.9	0.100	0.0100	85	0.9	0.33	0.29	1.14	○	○	○	○		
25	0.05	0.05	0.15	0.150	0.0500	74	1.3	0.34	0.25	1.36	○	○	○	○	○	○		
26	1.0		0.1	0.3	1.4	0.015	0.0100	51	0.9	0.35	0.25	1.40	○	○	○	○		

표 2

No.	와이어 성분(질량%)						Al와 Pd를 포함하는 파복층의 막 두께 (μm)	Al와 Pd를 포함하는 판면의 평균 입경 (μm)	와이어 C 단면의 비율 (%)	결정 조건	기계적 특성			와이어 품질					
	Ni	Zn	Rh	In	Ir	Pt					최대 내력 ① ($\text{mN}/\mu\text{m}^2$)	내력비 ②/①	휨성 ③ ($\text{mN}/\mu\text{m}^2$)	HMS 점착성	FAB 강성	HAST 점착성	체그레 형상		
1	0.7					0.7	0.015	—	50	0.8	0.20	0.12	1.03	X	◎	○	○	○	
2	1.2			0.8		2.0	0.150	—	49	1.5	0.29	0.16	1.81	X	◎	○	○	○	
3	0.6		0.1	0.05		0.75	0.100	—	51	0.7	0.34	0.19	1.03	X	◎	○	○	○	
4						0.03	0.03	0.050	—	45	0.9	0.21	0.12	1.15	X	◎	○	○	○
5				0.7		0.1	0.8	0.015	—	40	1.1	0.30	0.17	1.73	X	◎	○	○	○
6				0.8		0.3		0.150	—	30	1.3	0.35	0.19	1.84	X	◎	○	○	○
7				1.2			0.050	—	41	1.0	0.21	0.12	1.73	X	◎	○	○	○	○
8	1.1			0.3			1.4	0.100	—	45	1.4	0.30	0.18	1.67	△	◎	○	○	○
9	0.05			0.05		0.05	0.15	0.015	—	48	1.6	0.34	0.20	1.70	△	◎	○	○	○

[0092]

표 3

No.	와이어 성분(질량%)						Pd 피복층의 막 두께 (μm)	Au와 Pd를 포함하는 화금 피복층의 막 두께 (μm)	결정 조직 와이어 C <100> 비율 (%)	평균 결정 길이 (μm)	최대 내력 내력비 ①/ ② ($\text{mN}/\mu\text{m}^2$)	내력비 ①/ ② (%)	웨지 접합성 HTS PAB HAST 점착 점착 강도 (%)	와이어 품질				
	Ni	Zn	Rh	In	Ir	Pt								HTS	PAB	HAST		
27	0.7					0.7	Ga:0.007	0.100	88	0.9	0.22	0.18	1.22	◎	◎	◎	◎	
28		1.1					Ga:0.008	0.050	75	1.0	0.25	0.17	1.47	◎	◎	◎	◎	
29		0.7				0.7	As:0.003	0.050	72	1.0	0.30	0.21	1.43	◎	◎	◎	◎	
30			1.2				Te:0.001	0.150	67	1.2	0.31	0.24	1.29	◎	◎	◎	◎	
31			0.5				Sn:0.007	0.015	66	1.0	0.29	0.22	1.32	◎	◎	◎	◎	
32				0.05	0.05	Sb:0.008	0.050		74	1.1	0.35	0.29	1.21	◎	◎	◎	◎	
33	1.0					1.0	Br:0.0008	0.100	80	1.1	0.31	0.22	1.41	◎	◎	◎	◎	
34	0.8					0.8	Se:0.001	0.100		92	0.9	0.27	0.19	1.42	◎	◎	◎	◎
35		0.05				0.05	Ga:0.003	0.100	72	1.2	0.30	0.19	1.58	○	○	○	○	
36			0.08			0.08	Ga:0.003	0.150	55	1.3	0.33	0.25	1.32	◎	◎	○	○	
37			0.1		0.1	Se:0.001	0.150	0.0100	82	1.1	0.32	0.25	1.28	◎	◎	○	○	
38	0.08					0.08	Bu:0.008	0.050	74	1.1	0.34	0.23	1.48	◎	◎	◎	◎	
39		1.2				1.2	Pt:0.004	0.050	71	1.2	0.29	0.20	1.46	◎	◎	◎	◎	
40		0.05				0.05	Me:0.004	0.100	91	1.0	0.33	0.28	1.18	◎	◎	○	○	
41			0.5			0.5	Cu:0.003	0.015	68	1.0	0.23	0.19	1.21	◎	◎	○	○	
42			0.1			0.1	La:0.003	0.100	91	0.9	0.26	0.21	1.24	◎	◎	○	○	
43			0.05		0.05	Pt:0.005	0.050	68	1.1	0.29	0.19	1.53	○	○	○	○		
45	0.6					0.6	Br:0.008	Pt:0.003	0.0100	57	1.3	0.33	0.24	1.38	◎	◎	○	○
							Ge:0.001											

[0093]

(평가 결과)

[0094]

표 1의 본 발명 예 1~26에 관한 본딩 와이어는, Cu 합금 코어재와, Cu 합금 코어재의 표면에 형성된 Pd 피복층을 갖고, Pd 피복층의 두께가 적합 범위인 $0.015\sim0.150\mu\text{m}$ 의 범위에 있고, FAB 형상이 모두 양호하였다. 또한, 본딩 와이어가 Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt로부터 선택되는 적어도 1종 이상의 원소를 포함하고, 와이어 전체에 대한 상기 원소의 농도가 합계로 0.03~2질량%이므로, HTS 평가에 의한 볼 접합부 고온 신뢰성이 양호한 것을 확인하였다.

[0096]

또한, 본 발명 예 1~26에 대해서는, 신선 시의 감면율을 10% 이상으로 하고, 신선 후의 열처리에 있어서의 열처리 온도를 500°C 이하로 낮은 온도로 하고 있으므로, 본딩 와이어의 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면에 대해 결정 방위를 측정한 결과에 있어서, 와이어 길이 방향의 결정 방위 중, 와이어 길이 방향에 대해 각도 차가 15도 이하인 결정 방위 <100>의 방위 비율을 50% 이상으로 하고, 본딩 와이어의 와이어 축에 수직 방향인 코어재 단면에 있어서의 평균 결정입경을 $0.9\sim1.3\mu\text{m}$ 로 할 수 있었다. 그 결과, 와이어 중에 Ni, Zn, Rh, In, Ir, Pt를 함유하고 있음에도 불구하고, 내력비($=\text{최대 내력}/0.2\% \text{내력}$)는 모두 1.1~1.6의 범위 내에 들어 있다. 그로 인해, 웨지 접합성은 모두 양호한 결과로 되었다.

[0097]

한편, 표 2의 비교 예 4~6은 열처리 온도를 600°C 이상으로 높은 온도로 하였으므로, 와이어 길이 방향의 <100>

방위 비율이 50% 미만으로 되었다. 또한 비교예 2, 7~9는, 열처리 온도를 620°C 이상으로 높은 온도로 하였으므로, 와이어 길이 방향의 <100> 방위 비율이 50% 미만으로 됨과 함께, 코어재 단면에 있어서의 평균 결정입경이 $1.3\mu\text{m}$ 초과로 되었다. 그로 인해, 비교예 2, 4~9 모두, 내력비가 1.6을 초과하여, 웨지 접합성이 모두 불량이었다.

[0098]

또한 비교예 1, 3은, 다이스의 감면율을 10% 미만으로 하였으므로, 코어재 단면에 있어서의 평균 결정입경이 $0.9\mu\text{m}$ 미만으로 되고, 내력비가 1.1 미만으로 되어, 웨지 접합성이 모두 불량이었다.