(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년12월17일
(11) 등록번호 10-1474145
(24) 등록일자 2014년12월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*H01L 21/60* (2006.01) *H01L 23/49* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0071411
(22) 출원일자 2013년06월21일
심사청구일자 2013년07월30일
(65) 공개번호 10-2014-0086797
(43) 공개일자 2014년07월08일
(30) 우선권주장
JP-P-2012-288636 2012년12월28일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
JP08008288 A
JP2010040763 A
JP2011129942 A
JP2006167857 A
전체 청구항 수 : 총 8 항

(73) 특허권자
**타나카 덴시 코오교오 카부시키가이샤**
일본 도쿄도 지요다쿠 마루노우치 2쵸메 7-3 도쿄 빌딩 22층
(72) 발명자
**아마노 히로유키**
일본국 사가켄 칸자키군 요시노가리초 요시다 2303-15 타나카 덴시 코오교오 카부시키가이샤 내
**이치카와 즈카사**
일본국 사가켄 칸자키군 요시노가리초 요시다 2303-15 타나카 덴시 코오교오 카부시키가이샤 내
(74) 대리인
**채종길**

심사관 : 오순영

(54) 발명의 명칭 **파워 반도체 장치용 알루미늄 합금 세선**

## (57) 요 약

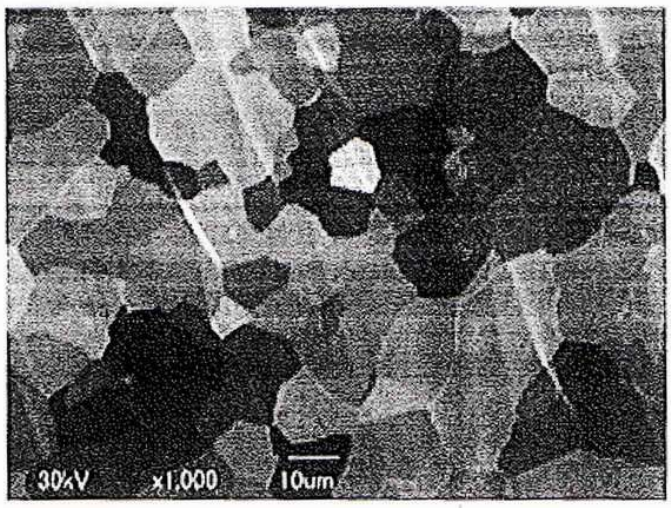
<과제>

파워 반도체용 알루미늄 합금 본딩 와이어에 있어서의 칩깨짐 및 열충격 시험 특성을 향상시킨다

<해결수단>

철(Fe)이 0.01~0.2질량%, 규소(Si)가 1~20질량ppm 및 잔부가 순도 99.997질량% 이상의 알루미늄(Al) 합금이고, Fe의 고용량이 0.01~0.06질량%, Fe의 석출량이 Fe 고용량의 7배 이하이고, 또한 평균 결정립경이 6~12㎛인 미세 조직으로 이루어지는 알루미늄 합금 세선. AlFe 화합물의 석출을 억제하여 열충격 시험 특성을 향상시킨다.

*대 표 도* - 도1



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

반도체 소자의 알루미늄 패드와 초음파 본딩하기 위한 알루미늄 합금 세선에 있어서,

당해 알루미늄 합금 세선은 철(Fe)이 0.01~0.2질량%, 규소(Si)가 1~20질량ppm 및 잔부가 순도 99.997질량% 이상의 알루미늄(Al)으로 이루어지는 합금이고, Fe의 고용량이 0.01~0.06질량%이고, Fe의 석출량이 Fe 고용량의 7배 이하이고, 또한 평균 결정립경이 6~12㎛인 미세 조직인 것을 특징으로 하는 파워 반도체 장치용 알루미늄 합금 세선.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

당해 알루미늄 합금 세선의 잔부 알루미늄(Al)의 순도가 99.999질량% 이상인 것을 특징으로 하는 파워 반도체 장치용 알루미늄 합금 세선.

### 청구항 3

제1항에 있어서,

철(Fe)이 0.015~0.1질량%인 것을 특징으로 하는 파워 반도체 장치용 알루미늄 합금 세선.

### 청구항 4

삭제

### 청구항 5

제1항에 있어서,

당해 알루미늄 패드가 Al-Si 합금 패드인 것을 특징으로 하는 파워 반도체 장치용 알루미늄 합금 세선.

### 청구항 6

제1항에 있어서,

철(Fe)의 함유량이 규소(Si)의 함유량의 2배 이상인 것을 특징으로 하는 파워 반도체 장치용 알루미늄 합금 세선.

### 청구항 7

제1항에 있어서,

당해 알루미늄 합금 세선이 22~28Hv의 비커스 경도인 것을 특징으로 하는 파워 반도체 장치용 알루미늄 합금 세선

### 청구항 8

제1항에 있어서,

당해 알루미늄 합금 세선의 선직경이 50~500㎛인 것을 특징으로 하는 파워 반도체 장치용 알루미늄 합금 세선.

### 청구항 9

제1항에 있어서,

철(Fe)의 석출량이 철(Fe)의 고용량의 3배 이하인 것을 특징으로 하는 파워 반도체 장치용 알루미늄 합금 세선.

## 명 세 서

## 기 술 분 야

[0001] 본 발명은 반도체 소자 상의 전극과 외부 전극을 초음파 접속하기 위해 이용하는 알루미늄 합금 세선에 관한 것으로, 특히 파워 반도체 디바이스용의 알루미늄 합금 세선에 관한 것이다.

## 배 경 기 술

[0002] 실리콘(Si), 혹은 탄화실리콘(SiC)이나 질화갈륨(GaN) 등의 반도체 소자에 형성된 본딩 패드는, 주로 반도체 소자의 전극 상에 순도 99.99질량% 이상의 고순도 알루미늄(Al) 금속 또는 Al-0.3~1.5질량% Si 합금막으로서 증착법 또는 스퍼터법에 의해 형성되어 있다. 이 반도체 소자의 알루미늄 패드와 리드 프레임 등을 초음파 본딩하는데 알루미늄 합금 세선이 사용된다. 알루미늄 합금 세선은 선직경이 50~500㎛인 환세선이 일반적으로 시용(試用)되고, 선직경이 50㎛ 미만인 극세선이나 500㎛를 넘는 것도 이용되는 경우가 있고, 또 이들 세선을 찌부러뜨린 평각상(平角狀) 세선(테이프)도 반도체 장치에 사용되는 경우가 있다.

[0003] 이 알루미늄 합금 세선에 적용되는 초음파 본딩 방법은, 알루미늄 합금 세선 상에 초경(超硬) 툴(tool)을 밀어붙이고, 그 하중 및 초경 툴로부터의 초음파 진동의 에너지에 의해 알루미늄 합금 세선과 알루미늄 패드를 접합하는 것이다. 초음파 인가의 효과는, 알루미늄 합금 세선의 변형을 조장하기 위한 접합 면적의 확대와, 알루미늄 합금 세선에 형성된 5~10나노미터(nm) 정도의 표면 산화막을 파괴·제거함으로써, 알루미늄(Al) 등의 금속 원자를 하면에 노출시키고, 대향하는 본딩 패드와의 계면에 소성 유동을 발생시키고, 서로 밀착하는 신생면(新生面)을 점증시키면서 양자를 원자간 결합시키는 것에 있다.

[0004] 지금까지 알루미늄(Al) 중에 철(Fe)을 소량 함유한 알루미늄 합금 세선으로서는 이하의 것이 알려져 있지만, 원료로서의 고순도 알루미늄(Al)의 함유량이 많아지면, 선직경이 50~500㎛인 알루미늄 합금 세선의 기계적 강도가 낮아져, 본딩 와이어로서의 루프를 그릴 수 없거나, 초음파 접합 후에 파워 반도체로서 사용한 경우에 열충격에 의해 알루미늄 패드로부터 본딩 와이어가 빠져 단선되거나 한다고 하는 문제가 있었다. 특히 에어콘, 태양광 발전 시스템, 하이브리드 차나 전기 자동차 등의 파워 반도체의 이용이 요망되고 있는 분야에 있어서는, 대전류가 흐르기 때문에 반도체 소자가 발열하고, 와이어 및 전극 패드의 접합부가 현저하게 발열한다. 또, 통전 온(on) 및 소전(消電) 오프(off)시의 가열·냉각시에 발생하는 열응력이 접합부에 작용하여, 점차 접합계면이 열화하는 것이 알려져 있다. 이러한 열화를 가능한 한 억제하기 위해, 여러 가지 AlFe 합금 본딩 와이어가 개발되어 왔다.

[0005] 먼저, 일본 특허공개 1996-8288호 공보(후술하는 특허문헌 1)가 있다. 이것은, 큰 하중과 초음파에 의한 초음파 와이어 본딩법에 따라 알루미늄 패드 혹은 Al-Si 합금막의 전극 패드에 직경 500㎛의 Al-0.02wt% Fe 합금 와이어를 강고하게 접합하는 것으로, 알루미늄에 Fe를 함유시킴으로써, 재결정을 일으키는 온도를 높일 수가 있기 때문에 통전시에 재결정하지 않고, 결정립의 크기가 50㎛ 이상으로 큼으로써, 결정립계에 작용하는 열응력이 낮아져 크랙의 진전이 억제되는 것을 이용한다(동 단락 0010).

[0006] 그렇지만, 결정립경이 커지면, 그에 따라 본딩 와이어 자체의 기계적 강도도 낮아져 버려, 열사이클 시험 중에 와이어가 받는 소성변형량이 증가해 버린다.

[0007] 이 때문에 입계를 줄인 효과와 변형량 증가의 효과가 상쇄되어 버려, 이러한 결정립경이 큰 본딩 와이어의 열충격에 대한 신뢰성은 실제로는 그만큼 향상되지 않는다.

[0008] 또, 일본 특허공개 2008-311383호 공보(후술하는 특허문헌 2)가 있다. 이것에는 99.99wt%(4N) 고순도 Al-0.2wt% Fe 합금 잉곳을 제조하고, 선뽑기 가공 후의 와이어를, 300℃, 30분 소둔 후 서랭하여, 선뽑기의 가공변형을 제거하고, 파워 모듈에 적용하는 초음파 본딩 적응 레벨로 연화시킨, 직경 300㎛의 와이어가 개시되고(동 단락 0017), 이 와이어를 초음파 본딩한 후, 100~200℃에서 1분~1시간 동안 시효(時效)시키면, 최고동작온도 200℃로 되어도 사용시의 대전류 반복 통전에 의해 접속부에 발생한 크랙의 진행을 억제하는 것이 가능하게 되는(동 단락 0015, 0017) 것이 기재되어 있다.

[0009] 이 본딩 와이어도, 용체화 처리를 하지 않고, 상기대로 단순히 「300℃, 30분 소둔 후 서랭」(본 발명의 「조질열처리」에 상당한다)하고 있기 때문에, 일본 특허공개 1996-8288호 공보(후술하는 특허문헌 1)의 와이어와 마찬가지로 결정립경을 크게 하여 본딩 와이어의 열충격의 신뢰성을 향상시키려고 하는 것이고, 와이어의 강도가 약해져 버리기 때문에 신뢰성은 그만큼 향상되지 않는다.

[0010] 한편, Al-Cu 합금에서는, 와이어가 너무 단단해지기 때문에 본딩 하중을 크게 할 필요가 있고, 고온 반도체용의

Si칩에서는 초음파 본딩시에 칩크랙이 발생해 버린다.

[0011] 또, 일본 특허공개 2011-252185호 공보(후술하는 특허문헌 3)에 기재된 발명은, 알루미늄(Al) 중에 철(Fe) 외 실리콘(Si) 및 동(Cu)을 공존시킨 Al 합금 도전선이고, Al-Si-Cu 합금 매트릭스 중에서 Fe로 이루어지는 석출물의 장축 방향의 길이를 제어함으로써, 도전선으로서 필요한 도전율을 확보하면서, 신장 및 인장강도가 뛰어난 Al 합금 도전선을 얻어, 와이어 하니스(wire harness)나 배터리 케이블 등에 적용하고 있다(동 단락 0013 등).

[0012] 특허문헌 3의 실시예에서는, 주조한 Al 합금을 φ5.65㎜까지 신선(伸線) 처리를 행한 후, 550℃에서 3시간 용체화 처리를 행하고, 이 용체화 처리 후 수랭에 의해 선을 냉각하고, 또 φ0.33㎜까지 냉간 신선 처리를 행하였다. 이 Al 합금선을230~240℃에서 열처리를 한 것이 기재되어 있다.

[0013] 그렇지만, 이 Al-Si-Cu 합금 매트릭스는 일본 특허공개 2008-311383호 공보(후술하는 특허문헌 2)의 Al-Cu 합금 매트릭스와 마찬가지로, 와이어 자체가 너무 단단해지기 때문에 고온 반도체용의 본딩 와이어로서 접합하려고 하면, 초음파 본딩시에 칩크랙이 발생해 버린다. 또한, 도전율(IACS)이 62% 이상의 적정한 범위로부터 55~61%로 현저하게 저하해 버리기 때문에, 발열이 크고, 반도체 소자의 수명을 앞당겨 버릴 우려가 있다. 일본 특허 4843745호 공보(후술하는 특허문헌 4)도 일본 특허공개 2011-252185호 공보(후술하는 특허문헌 3)와 마찬가지의 결점이 있다.

[0014] 이와 같이, 지금까지의 고온 반도체용의 본딩 와이어는, 알루미늄(Al) 매트릭스 중의 결정립계를 조대화(粗大化)함으로써, 초음파 본딩 중의 칩깨짐을 방지하고, 열충격에 의한 접합계면으로부터의 단선을 방지하려고 하는 것이었다.

[0015] 반도체 소자 상의 전극 패드와 알루미늄 합금 와이어의 접합부는, 열팽창률이 극히 작은($3.5\times10^{-6}$/℃) 실리콘과 열팽창률이 큰($24.3\times10^{-6}$/℃) 알루미늄의 조합 상에, 반도체가 동작시에는 대전류가 흘러 발열하여 가장 고온에 노출되기 때문에, 전극 패드와 알루미늄 합금 와이어의 접합계면에 큰 열응력이 작용한다.

[0016] 그 결과, 접합된 와이어의 주변부로부터 크랙이 진전하여, 단시간에 와이어가 박리한다고 하는 문제가 있다.

[0017] 즉, 지금까지의 알루미늄 합금 세선에서는 결정립이 큰 알루미늄 매트릭스를 이용한 경우에서도, 알루미늄 합금 세선과 실리콘 칩의 열팽창률의 차에 의해 알루미늄 매트릭스 내에 열충격 변형에 기인한 서브그레인이 형성되고, 이것을 따라 알루미늄 합금 세선 내에 크랙이 전파하여, 알루미늄 합금 세선이 실리콘 칩으로부터 벗겨져 버린다고 하는 결점은 해소되어 있지 않았다.

[0018] 그래서, 본 발명자들은 먼저 강제 고용한 AlFe 합금의 본딩 와이어를 개발하였다(일본 특허출원 2012-134004호). 이것은, 알루미늄(Al) 중에 철(Fe)을 강제 고용시킨 알루미늄 합금 세선에서도, $Al_3Fe$ 금속간 화합물을 잘 형성함으로써, 통상100~150℃, 최대로 150~200℃의 접합부 온도에 견디는 알루미늄 합금 세선을 제공하는 것이다.

[0019] 그러나, 알루미늄(Al) 매트릭스 중에 $Al_3Fe$ 금속간 화합물을 안정하게 균일 미세하게 분산시키는 것은 곤란하고, 강제 고용의 약간의 조건에 의해 본딩 와이어의 품질이 불균일한 결과로 되어 있었다. 이 때문에, 100~200℃의 반복 내열성을 필요로 하는 파워 반도체의 응용 분야에서는, 회로에 대전류가 흐르기 때문에 반도체 소자가 발열하고, 본딩 와이어도 현저하게 발열하므로, 약간의 와이어 품질의 불균일이 본딩 특성에 큰 영향을 주는 결과로 되어 있었다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0020] (특허문헌 0001) 일본 특허공개 1996-8288호 공보

(특허문헌 0002) 일본 특허공개 2008-811383호 공보

(특허문헌 0003) 일본 특허공개 2011-252185호 공보

(특허문헌 0004) 일본 특허 4843745호 공보(일본 특허공개 2011-256464호 공보)

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0021] 본 발명은, 알루미늄 합금 세선을 알루미늄 패드에 초음파 접합할 때에 칩깨짐을 일으키지 않는 것에 더하여, 접합 후의 알루미늄 합금 세선과 알루미늄 패드의 접합계면의 강도가 고온의 열충격 시험을 반복한 경우에서도 불안정하게 되지 않고, 알루미늄 합금 세선이 알루미늄 패드로부터 박리하지 않는 강고한 결정 조직을 가지는 알루미늄 합금 세선을 제공하는 것을 해결 과제로 한다.

### 과제의 해결 수단

[0022] 본 발명자들은 알루미늄 패드의 알루미늄(Al)과 본딩 와이어의 알루미늄(Al)의 접합계면으로부터의 열충격 시험에 의한 박리를 상세하게 조사한 바, 접합계면의 파괴 원인은 피로파괴인 것을 알 수 있었다. 이 피로파괴의 원인을 더 탐구해 간 바, 알루미늄(Al) 매트릭스 중에 650℃에서도 0.052질량%(520ppm)밖에 고용하지 않는 철(Fe)의 고용 상태에 문제가 있는 것을 알 수 있었다. 즉, 알루미늄(Al)과 철(Fe) 합금 잉곳을 용해·주조하는 공정에 있어서, 고용한(固溶限)이 극단적으로 적은 철(Fe)의 경우, 서랭하면 철(Fe)이 알루미늄(Al) 측에 석출해 버리고, 그 결과, 철(Fe)이 고용한까지 고용하지 않고, 이것이 원인으로 되어 알루미늄 합금 세선의 강도가 약해져 버리는 것을 알 수 있었다.

[0023] 본 발명은 상기 과제를 해결하기 위해, 중간 선직경에서의 용체화 열처리와 그 후의 급랭 처리에 의해 알루미늄 중에 철(Fe)을 강제 고용시키고 있다. 이 강제 고용된 철에 의해, 본딩 중 및 열충격 시험 중에 있어서의 와이어 결정 조직의 조대화를 막아 피로파괴를 막을 수가 있다.

[0024] 또, 본 발명자는 열충격 시험에 있어서의 불안정성의 원인을 상세하게 조사한 바, 불안정성의 원인은 AlFe 화합물의 석출 형태에 있는 것을 알 수 있었다. 즉, 균일하게 분포한 미세한 AlFe 화합물은 결정립을 미세화시키고, 와이어의 강도를 올려 피로파괴를 막는 것에 기여하는 한편으로, 미세한 AlFe 화합물을 핵으로 하여 재결정립이 생성됨으로써 재결정 온도를 저하시켜 버리고, 이것이 원인으로 열충격 시험 결과가 불안정하게 되어 있던 것을 확인하였다.

[0025] 앞의 출원(일본 특허출원 2012-134004호)에 있어서는, Fe 함유량을 0.2~2.0질량%의 범위로 하여 상기의 강제 고용에 의해 매트릭스 중에 고용한(固溶限) 근처까지 Fe를 고용시켜, 균일하게 분포한 미세한 AlFe 화합물의 효과와 함께 피로파괴를 억제하는 와이어 강도를 확보하고 있지만, Fe 함유량이 이러한 하한 이하의 값이라도, 매트릭스 중에 일정한 Fe가 고용한 조건하이면, Si를 공첨가함으로써 열충격에 대한 충분한 내성을 확보할 수 있는 것을 알 수 있었다.

[0026] 그래서 본 발명자는, 철(Fe)의 함유량을 상기의 범위 이하로 억제하여, Fe의 석출량과 Fe 고용량의 비율을 일정한 범위에 유지함으로써 재결정 온도를 안정화시키고, 또한 Si를 미량 첨가함으로써 강도를 향상시켜, 결과적으로 열충격 시험 결과를 안정화시키는 것에 성공하였다.

[0027] 본 발명의 파워 반도체 장치용 알루미늄 합금 세선은, 철(Fe), 규소(Si) 및 잔부가 고순도의 알루미늄(Al) 합금으로 이루어지는, 반도체 소자의 알루미늄 패드와 초음파 본딩하기 위한 알루미늄 합금 세선에 있어서, 당해 알루미늄 합금 세선은 철(Fe)이 0.01~0.2질량%, 규소(Si)가 1~20질량ppm 및 잔부가 순도 99.997질량% 이상의 알루미늄(Al)으로 이루어지는 합금이고, 또한 평균 결정립경이 5~12㎛인 미세 조직인 것을 특징으로 하는 것이다.

[0028] 본 발명에 있어서의 순도 99.997질량% 이상의 알루미늄(Al) 중의 불순 원소로서는, 동(Cu), 망간(Mn), 마그네슘(Mg), 아연(Zn), 티탄(Ti) 등의 전이 금속 원소나 알칼리 금속 원소·알칼리토류 금속 원소 등을 들 수 있다. 알루미늄(Al)의 순도는, 알루미늄 합금 세선의 가공연화를 촉진하기 위해, 99.997질량% 이상인 것이 바람직하고, 99.999질량% 이상인 것이 보다 바람직하다.

[0029] 삭제

[0030] 본 발명에 있어서는, 철(Fe)이 0.01~0.2질량%의 범위를 조건으로 한다. 철(Fe)은 알루미늄(Al) 매트릭스에 수백 ppm 정도밖에 고용하지 않고, 용해 주조 후는 알루미늄(Al) 매트릭스 중에 미립자로서 균일 미세하게 석출된다. 그러나, 철(Fe)이 0.24질량%의 범위를 넘으면, 강도가 너무 강해져 칩이 깨져 버리는 것과, 재결정 온도가 저하하여 열충격 시험 결과가 불안정하게 되어 버리는 것이 문제로 된다.

[0031] 한편, 철(Fe)이 0.01질량% 미만이면 본딩 와이어의 기계적 강도가 불충분하게 되고, 또 재결정 온도도 저하하므로 열충격 시험에 견딜 수가 없다. 따라서, 철(Fe)의 범위는 0.01~0.24질량%로 된다. 다만, 알루미늄 패드와의 접합성이 좋고, 또한 반복의 열충격에 견디기 위해서는, 철(Fe)의 함유량도 적고 0.015~0.1질량%인 것이 바람직하다.

[0032] 본 발명에 있어서는, 알루미늄 합금 세선의 선직경이 50~500㎛인 것이 바람직하다. 50㎛ 미만에서는 전기 자동차용의 대전류 파워 반도체에 이용할 수 없고, 500㎛를 넘으면, 알루미늄 패드에의 초음파 본딩이 곤란하게 되기 때문이다. 알루미늄 합금 세선의 직경은 사용하는 파워 반도체 장치에 의해 적당히 선택된다.

[0033] 또, 본 발명에 있어서는, 알루미늄 패드가 Al-Si 합금 패드인 것이 바람직하다. 본딩 와이어와 성분이 동일하게 되기 때문이다. 규소(Si)의 함유량으로서는 0.5~1.5질량%인 것이 바람직하고, 0.8~1.2질량%인 것이 보다 바람직하다.

[0034] 또, 본 발명에 있어서는, 연속 신선 가공은 다이스 신선하는 것이 바람직하고, 다이아몬드 다이스가 특히 바람직하다. 이에 의해, 동심원상으로 철(Fe) 미립자가 균일하게 분산하여 배치되기 쉽기 때문이다.

[0035] 또한, 연속 신선된 알루미늄 합금 세선은 일정한 장력이 걸린 채 최종의 조질 열처리가 된다.

[0036] 또, 조질 열처리는 온도 및 시간에 의해 미세 재결정 조직의 입계의 크기가 변화함과 아울러, 신선 가공의 단면 감소율에 의해서도 조질 열처리의 온도 및 시간이 변화하고, 일의적으로 정해지지 않는다. 본 발명에 있어서는, 조질 열처리는 연속 신선 후에 그대로 세선을 비산화성 분위기, 바람직하게는 환원성 분위기에서 가열 처리하는 것이 바람직하다. 본 발명의 알루미늄 합금 세선을 재결정시키는데는 350℃~500℃의 온도 범위가 바람직하고, 380℃~430℃의 온도 범위가 보다 바람직하다. 열처리의 가열 방법으로서는 전기로에 의한 가열, 통전 가열, 광조사에 의한 가열, 수증기 가열 등이 있다.

[0037] 또, 신선 가공 후의 알루미늄 합금 세선을 조질 열처리(최종 열처리)하여 수랭하면, 알루미늄 합금 세선의 표면에 빈 구멍 등이 형성되고, 빈 구멍 등의 주연(周緣)에서 초음파의 열이 발생하므로, 알루미늄 합금 세선이 알루미늄 패드에 초음파 접합되기 쉬워진다. 에탄올, 이소부틸 알코올 등의 수용성 알코올을 혼입시키면, 더 초음파 접합되기 쉬워진다.

[0038] 한편, 용해·주조에 의해 석출된 철(Fe)·알루미늄(Al)의 금속간 화합물 입자는, 신선 가공에 의해 알루미늄(Al) 매트릭스 중에 균일 미세하게 분산하고, 알루미늄(Al) 매트릭스의 기계적 강도를 높임과 아울러, 열에 의한 미세 재결정 조직의 조대화를 핀고정 효과에 의해 저지한다. 철(Fe)·알루미늄(Al)의 금속간 화합물 입자는 $FeAl_3$ 또는 $FeAl_6$라고 생각된다.

[0039] 또, 본 발명에 있어서의 본딩 와이어의 경도는 22~28Hv의 비커스 경도인 것이 바람직하고, 23~27Hv인 것이 보다 바람직하다. 초음파 본딩시의 칩깨짐의 관점에서는, 일반적으로 가능한 한 낮은 경도의 와이어인 것이 바람직하다. 그러나, 본 발명의 본딩 와이어는 파워 반도체에 사용되고, 고온의 열충격을 반복하여 받기 때문에, 22~28Hv의 비커스 경도가 필요하다. 또, 알루미늄(Al)의 순도는 99.997질량% 이상이 필요하고, 99.999질량% 이상이 바람직하다.

[0040] 또, 본 발명에 있어서는, 규소(Si)가 1~20질량ppm의 범위를 조건으로 한다. 규소(Si)가 20질량ppm의 범위를 넘으면, 본딩 와이어의 강도가 너무 강해져 칩깨짐을 일으키기 쉬워진다. 한편, 규소(Si)가 1질량ppm 미만이면 본딩 와이어의 기계적 강도가 불충분하게 되어 버린다. 따라서, 규소(Si)의 범위는 1~20질량ppm으로 된다. 다만, 알루미늄 패드와의 접합성이 좋고, 또한 반복의 열충격에 견디기 위해서는, 규소(Si)의 함유량은 2~10질량ppm인 것이 바람직하다.

[0041] 또, 본 발명에 있어서는, Fe 석출량은 Fe 고용량의 7배 이내인 것이 바람직하고, 3배 이내인 것이 보다 바람직하다. Fe는 Al 중에 고용하고 있는 경우에는 재결정 온도를 상승시키는 효과가 있지만, 석출하고 있는 경우에는 FeAl 화합물은 재결정의 핵으로 되고, 오히려 재결정 온도를 저하시켜 버린다. 열충격 시험에서는 반복하여 고온에 노출되기 때문에, 재결정 온도가 낮은 재료는 열충격 시험 중에 연화해 버리고, 열피로파괴가 발생하기 쉬워져 버린다.

[0042] 또, 본 발명에 있어서 Fe 고용량은 0.01~0.06질량%인 것이 바람직하다. Fe는 Al 중에 고용함으로써, Al의 재결정 온도를 상승시키는 효과가 있지만, Fe 고용량이 0.01질량% 이하에서는 재결정 상승 효과는 거의 확인할 수 없다. 또, Fe 고용량이 너무 많으면 전기 저항이 높아지기 때문에 본딩 와이어로서 단자간의 접속에 이용한 경

우에 목적으로 하는 성능이 얻어지지 않기 때문에, Fe 고용량의 상한은 0.06질량%인 것이 바람직하다.

## 발명의 효과

[0043] 본 발명의 반도체 장치를 접속하기 위한 알루미늄 합금 세선에 의하면, 굵은 선직경의 것을 초음파 본딩해도 가공연화에 의해, 본딩 와이어 자체가 부드러우므로 알루미늄 패드와의 밀착성이 좋고, 제1본드의 웨지(wedge) 접합시에 칩깨짐을 일으키는 경우가 없다. 또, 고온-저온의 열충격 시험을 반복하여 피로시켜도, 고순도 알루미늄(Al) 매트릭스 자체의 가공연화 조직과 철(Fe)·알루미늄(Al)의 금속간 화합물 입자의 핀고정 효과에 의해, 알루미늄 합금 매트릭스와 마찬가지의 내열 충격성을 가진다.

[0044] 구체적으로는, 실시예에 기재하고 있듯이, 고온(200℃)과 저온(-50℃) 각 3분의 열충격 시험을 반복하여, 초기의 전단강도와 반복 후의 전단강도 비가 초기로부터 20% 내지 30%(0.8 내지 0.7)까지 저하하는 횟수가 종래의 2배 정도로 큰 폭으로 향상된다. 또한, 이 효과는 고순도 알루미늄(Al) 매트릭스 자체의 가공연화 조직에 기초하는 것이므로, 대규모로 제조해도 알루미늄 합금 세선의 로트(lot)간의 불균일이 없이 안정하고, 본 발명의 알루미늄 합금 세선은, 고온에서 사용되는 전기 자동차 등의 파워 사이클 반도체 등에 매우 적합한 초음파 본딩용의 알루미늄 합금 세선으로 된다.

## 도면의 간단한 설명

[0045] 도 1은 본 발명의 알루미늄 합금 세선의 단면 조직 사진을 나타낸다.

도 2는 본 발명의 알루미늄 합금 세선의 전단강도의 변화 비율을 나타낸다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0046] 표 1 에 나타내는 실시예 1~29, 비교예 1~14의 조성의 철(Fe) 및 잔부가 알루미늄(Al)으로 이루어지는 알루미늄 합금을 용융하고, 연속 주조하여 직경 300mm의 알루미늄 합금 잉곳을 용해·주조하였다. 이 용해·주조한 주괴를 홈롤 압연 후에 신선 가공하여 5mm 직경의 알루미늄 합금 소선(素線)을 제작하였다. 이 소선을 소정의 온도에서 2일간 용체화 처리를 행한 후, 수중에서 급랭하였다. 다음에, 이 소선을 소정의 선직경까지 수중에서 연속 신선하여, 소정의 선직경의 본딩 와이어로 하였다(단면 감소율은 어느 실시예도 99% 이상이다).

[0047] 이 와이어를 초음파공업사제 형식(型式) EB07의 초음파 장치를 이용하여, 120kHz의 주파수로 하중 8000mN, 초음파 출력 15W, 접합 시간 180ms의 조건으로 Al-1.0% Si 합금의 알루미늄 패드에 100개 초음파 접합하였다. 또, 참고를 위해 종래예로서 Al-100ppm Ni 합금 와이어를 채용하였다.

[0048] (초음파 접합 조건)

[0049] 알루미늄 합금 세선의 선직경은 0.1, 0.3, 0.5mm, 루프 길이는 8mm로, 루프 높이는 1.3mm로 하였다. 초음파공업사제 REB07형 전자동 본더를 이용하여, 알루미늄 합금 세선을 Si칩(두께 0.2mm) 상의 Al-1.0% Si막(두께 3㎛) 상에 초음파 본딩을 실시하였다.

[0050] 본딩 조건은 130kHz의 주파수로, 하중 및 초음 조건에 대해서는, 퍼스트 접합부의 찌부러짐 폭이 와이어 선직경의 1.3배로 되도록 임의로 조정을 행하고, 전샘플 100개에 대해서 동일 조건으로, 퍼스트 본드 및 세컨드 본드의 초음파 본딩을 실시하였다. 초경 툴 및 본딩 가이드는 와이어 크기에 합치한 초음파공업사제의 것을 사용하였다.

[0051] 다음에, 이 접합된 알루미늄 합금 세선에 대해서, 칩깨짐 관찰 시험, 및 열충격 시험을 행하였다.

[0052] (칩깨짐 관찰 시험)

[0053] 본딩 후의 시료를, 20% NaOH 용액으로 Al-1.0% Si 패드를 용해하여, 광학 현미경(올림퍼스제 측정 현미경, STM6)을 사용하여, 100배의 배율로 칩깨짐의 유무를 확인하였다. 100개소 관찰을 행하고, 칩깨짐이 1개도 발생하고 있지 않으면 ○, 1~3개소 발생한 경우는 △, 4개소 이상으로 칩깨짐이 관찰된 경우를 ×로 하였다.

[0054] (열충격 시험)

[0055] 열충격 시험 장치는 에스펙사제 소형 냉열 충격 장치 TSE-11을 이용하여, 고온측: +200℃, 저온측: -50℃에서 각각 3분간씩 1만회 반복하였다.

[0056] (전단강도 시험)

[0057] DAGE사제 2400 형식을 이용하여 퍼스트 접합부의 전단강도를, 1천회, 2천회, 5천회, 및 1만회 종료 후에 측정하고, 0회의 초기 강도와의 비교를 구하였다. 초기의 전단강도와 반복 후의 전단강도 비가 초기로부터 20%(0.8)까지 저하하는 횟수가 종래의 2배 이상인 것을 ○, 1.5~2배의 것을 △, 1.5배에 못 미치는 것을 ×로 하였다. 종래품으로서는 시판품의 Al-100ppm Ni를 채용하였다. 또한, 시험 높이는 3㎛, 시험 속도는 300㎛/초였다.

[0058] (비저항 측정)

[0059] 이 와이어의 77K에서의 비저항을 직류 전원(케이슬레이사제 형식 2400) 및 나노볼트미터(케이슬레이사제 형식 2182)를 사용하여 직류 4단자법으로 측정하였다. 시료 길이는 300㎜, 측정 전류는 1A였다.

[0060] (결정립경 관찰)

[0061] 단면 밀링 장치(히타치하이테크놀로지즈사제 형식 IM-4000)를 사용하여 와이어 단면을 제작하고, 조직 관찰에는 집속 이온빔 가공 관찰 장치(일본전자사제 형식 JIB-4000)를 사용하였다. 결정립경의 측정에는 단면법을 사용하였다. 결정립의 평균 크기는 단면의 수평 방향과 수직 방향의 와이어 길이의 평균치로 하였다.

[0062] (비커스 경도 측정)

[0063] 비커스 경도 측정에는 비커스 경도계(아카시사제 형식 MVK-G3)를 사용하였다.

[0064] (인장 시험)

[0065] 인장 시험기(시마츠제 오토그래프 AG-X)를 사용하여, 평점(評點)간 거리 100㎜, 스트로크 변위 속도 20㎜/분의 조건으로 인장 시험을 행하였다.

[0066] (재결정 온도)

[0067] 조질 열처리 전의 와이어를 각종 온도에서 30분간 염욕 중에서 열처리를 행하고, 열처리 전의 와이어의 인장 강도와 재결정이 완료한 와이어의 인장 강도의 정확히 중간의 강도로 되는 것 같은 열처리 온도를 재결정 온도로 하였다.

[0068] 이상의 조건에 의해 얻어진 결과를 표 1(종래예 및 비교예) 및 표 2(실시예)에 나타낸다.

표 1

종래예 및 비교예

| | 성분 농도 (잔부 AL) | | Al 원재료 순도 (%) | 용체화 처리 온도 (℃) | 액체질소 중 비저항 (nΩm) | Fe 고용량 a (%) | Fe 석출량 b (%) | b/a | 재결정 온도 (℃) | BW 직경 (mm) | 평균 결정립경 (μm) | 비커스 경도 (Hv) | 휨깨짐 | 열충격 시험 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fe (%) | Si (ppm) | | | | | | | | | | | | |
| 종래예 | Al-100ppm Ni | | 99.999 | — | — | — | — | — | 170 | 0.5 | 25.4 | 20.0 | ○ | × |
| 비교예 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0.007 | 5 | 99.999 | 600 | 2.426 | 0.007 | 0 | 0 | 240 | 0.5 | 13.2 | 21.2 | ○ | × |
| 2 | 0.4 | 5 | 99.999 | 600 | 2.961 | 0.025 | 0.375 | 15 | 270 | 0.5 | 5.8 | 27.8 | △ | × |
| 3 | 0.8 | 5 | 99.999 | 600 | 2.956 | 0.025 | 0.775 | 31 | 260 | 0.5 | 5.4 | 28.1 | × | — |
| 4 | 0.05 | 5 | 99.99 | 600 | 3.053 | 0.025 | 0.025 | 1 | 290 | 0.5 | 5.1 | 29.0 | × | — |
| 5 | 0.05 | 0.5 | 99.999 | 600 | 2.960 | 0.025 | 0.025 | 1 | 290 | 0.5 | 7.7 | 21.0 | ○ | × |
| 6 | 0.05 | 30 | 99.999 | 600 | 2.966 | 0.025 | 0.025 | 1 | 290 | 0.5 | 6.3 | 29.3 | × | — |
| 7 | 0.05 | 5 | 99.999 | 500 | 2.390 | 0.006 | 0.044 | 7.3 | 260 | 0.5 | 11.3 | 20.6 | ○ | × |
| 8 | 0.1 | 5 | 99.999 | 500 | 2.390 | 0.006 | 0.094 | 15.7 | 255 | 0.5 | 11.8 | 19.9 | ○ | × |
| 9 | 0.1 | 5 | 99.999 | 530 | 2.498 | 0.010 | 0.090 | 9 | 260 | 0.5 | 9.7 | 22.8 | ○ | × |
| 10 | 0.15 | 5 | 99.999 | 500 | 2.390 | 0.006 | 0.144 | 24.0 | 253 | 0.5 | 12.3 | 19.2 | ○ | × |
| 11 | 0.15 | 5 | 99.999 | 530 | 2.498 | 0.010 | 0.140 | 14 | 258 | 0.5 | 10.2 | 22.1 | ○ | × |
| 12 | 0.2 | 5 | 99.999 | 500 | 2.390 | 0.006 | 0.194 | 32.3 | 251 | 0.5 | 12.8 | 18.6 | ○ | × |
| 13 | 0.2 | 5 | 99.999 | 530 | 2.498 | 0.010 | 0.190 | 19 | 256 | 0.5 | 10.7 | 21.4 | ○ | × |
| 14 | 0.2 | 5 | 99.999 | 580 | 2.804 | 0.020 | 0.180 | 9 | 257 | 0.5 | 9.8 | 22.6 | ○ | × |

[0069]

표 2

| | 성분 농도 (잔부 AL) | | Al 원재료 순도 (%) | 용체화 처리 온도 (℃) | 액체질소 중 비저항 (nΩm) | Fe 고용량 a (%) | Fe 석출량 b (%) | b/a | 재결정 온도 (℃) | BW 직경 (mm) | 평균 결정립경 (μm) | 비커스 경도 (Hv) | 칩깨짐 | 열충격 시험 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fe (%) | Si (ppm) | | | | | | | | | | | | |
| 실시예 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0.01 | 5 | 99.999 | 600 | 2.515 | 0.010 | 0 | 0 | 275 | 0.5 | 11.8 | 22.0 | ○ | △ |
| 2 | 0.015 | 5 | 99.999 | 600 | 2.657 | 0.015 | 0 | 0 | 275 | 0.5 | 9.7 | 22.1 | ○ | ○ |
| 3 | 0.025 | 5 | 99.999 | 600 | 2.959 | 0.025 | 0 | 0 | 290 | 0.5 | 9.0 | 24.8 | ○ | ○ |
| 4 | 0.05 | 5 | 99.999 | 600 | 2.957 | 0.025 | 0.025 | 1 | 290 | 0.5 | 8.1 | 24.3 | ○ | ○ |
| 5 | 0.1 | 5 | 99.999 | 600 | 2.961 | 0.025 | 0.075 | 3 | 285 | 0.5 | 7.6 | 24.1 | ○ | ○ |
| 6 | 0.2 | 5 | 99.999 | 600 | 2.958 | 0.025 | 0.175 | 7 | 278 | 0.5 | 6.1 | 26.2 | ○ | △ |
| 7 | 0.05 | 5 | 99.997 | 600 | 2.980 | 0.025 | 0.025 | 1 | 290 | 0.5 | 6.3 | 26.0 | ○ | ○ |
| 8 | 0.05 | 1 | 99.999 | 600 | 2.960 | 0.025 | 0.025 | 1 | 290 | 0.5 | 8.2 | 21.9 | ○ | △ |
| 9 | 0.05 | 2 | 99.999 | 600 | 2.960 | 0.025 | 0.025 | 1 | 290 | 0.5 | 7.8 | 23.7 | ○ | ○ |
| 10 | 0.05 | 10 | 99.999 | 600 | 2.959 | 0.025 | 0.025 | 1 | 290 | 0.5 | 7.3 | 26.1 | ○ | ○ |
| 11 | 0.05 | 20 | 99.999 | 600 | 2.957 | 0.025 | 0.025 | 1 | 290 | 0.5 | 6.9 | 27.7 | △ | ○ |
| 12 | 0.05 | 5 | 99.999 | 530 | 2.498 | 0.010 | 0.040 | 4.2 | 275 | 0.5 | 9.2 | 23.4 | ○ | △ |
| 13 | 0.05 | 5 | 99.999 | 580 | 2.804 | 0.020 | 0.030 | 1.5 | 285 | 0.5 | 8.3 | 24.6 | ○ | ○ |
| 14 | 0.05 | 5 | 99.999 | 610 | 3.092 | 0.029 | 0.021 | 0.7 | 290 | 0.5 | 8.1 | 24.3 | ○ | ○ |
| 15 | 0.05 | 5 | 99.999 | 635 | 3.413 | 0.040 | 0.010 | 0.2 | 295 | 0.5 | 7.2 | 26.1 | ○ | ○ |
| 16 | 0.05 | 5 | 99.999 | 655 | 3.710 | 0.050 | 0 | 0.0 | 305 | 0.5 | 6.5 | 27.1 | ○ | ○ |
| 17 | 0.1 | 5 | 99.999 | 580 | 2.804 | 0.020 | 0.080 | 4.1 | 272 | 0.5 | 8.8 | 24.0 | ○ | △ |
| 18 | 0.1 | 5 | 99.999 | 610 | 3.092 | 0.029 | 0.071 | 2.4 | 285 | 0.5 | 8.6 | 24.2 | ○ | ○ |
| 19 | 0.1 | 5 | 99.999 | 635 | 3.413 | 0.040 | 0.060 | 1.5 | 290 | 0.5 | 7.7 | 25.5 | ○ | ○ |
| 20 | 0.1 | 5 | 99.999 | 655 | 3.770 | 0.052 | 0.048 | 0.9 | 300 | 0.5 | 7.0 | 26.4 | ○ | ○ |
| 21 | 0.15 | 5 | 99.999 | 580 | 2.804 | 0.020 | 0.130 | 6.6 | 270 | 0.5 | 9.3 | 23.3 | ○ | △ |
| 22 | 0.15 | 5 | 99.999 | 610 | 3.092 | 0.029 | 0.121 | 4.1 | 272 | 0.5 | 9.1 | 23.6 | ○ | △ |
| 23 | 0.15 | 5 | 99.999 | 635 | 3.413 | 0.040 | 0.110 | 2.7 | 288 | 0.5 | 8.2 | 24.8 | ○ | ○ |
| 24 | 0.15 | 5 | 99.999 | 655 | 3.770 | 0.052 | 0.098 | 1.9 | 298 | 0.5 | 7.5 | 25.7 | ○ | ○ |
| 25 | 0.2 | 5 | 99.999 | 610 | 3.092 | 0.029 | 0.171 | 5.8 | 270 | 0.5 | 9.6 | 22.9 | ○ | △ |
| 26 | 0.2 | 5 | 99.999 | 635 | 3.413 | 0.040 | 0.160 | 4.0 | 274 | 0.5 | 8.7 | 24.1 | ○ | △ |
| 27 | 0.2 | 5 | 99.999 | 655 | 3.770 | 0.052 | 0.148 | 2.8 | 285 | 0.5 | 8.0 | 25.1 | ○ | ○ |
| 28 | 0.05 | 5 | 99.999 | 600 | 2.957 | 0.025 | 0.025 | 1 | 290 | 0.3 | 7.8 | 25.3 | ○ | ○ |
| 29 | 0.05 | 5 | 99.999 | 600 | 2.957 | 0.025 | 0.025 | 1 | 290 | 0.1 | 8.2 | 24.8 | ○ | ○ |

[0070]

[0071] 표 1 및 2 에 있어서, 비교예 1~3과 실시예 1~6은 첨가 Fe량의 영향을 나타낸다.

[0072] 비교예 1은 Fe 함유량이 너무 적기 때문에, 너무 부드러워 열충격 시험 결과가 불량이다. 또, 비교예 2, 3은 Fe 함유량이 너무 많기 때문에, Fe 석출량/Fe 고용량이 7을 넘고, 비커스 경도가 크고, 칩이 깨짐을 일으키고 있다.

[0073] 이에 반해, 실시예 1 및 6은 각각 Fe 함유량이 하한 및 상한치이고, 비커스 경도를 칩깨짐 및 열충격 시험 결과와 대비하면, 실시예 1은 부드럽기 때문에 칩깨짐은 생기지 않지만, 열충격 시험 결과는 약간 저하하고, 또 실시예 6은 비커스 경도는 칩깨짐을 일으킬 정도는 아니지만, Fe 함유량이 많기 때문에 Fe 석출량이 많고, Fe 고용량과의 비가 한계치로 되어, 석출된 AlFe 화합물의 영향에 의해 재결정 온도가 저하하여 고온하의 피로파괴 특성이 열화하는 경향이 있는 것을 나타내고 있다.

[0074] Fe의 함유량이 이러한 상한치 미만이라도, Fe 석출량이 많고, Fe 석출량/Fe 고용량이 7을 넘으면 비교예 7~14와 같이 열충격 시험 결과는 불량으로 된다.

[0075] 또, 비교예 4와 실시예 7은 Al 원재료 순도의 영향이 나타나고, 비교예 4에서는 비커스 경도가 현저하게 높아져 칩깨짐, 열충격 시험 결과 모두 불량이지만, Fe 함유량이 같아도, 실시예 7은 Al 원재료 순도가 본 발명 범위이기 때문에, 비커스 경도는 적정 범위 내에 있고, 칩깨짐, 열충격 시험 결과 모두 양호하다.

[0076] 비교예 5, 6과 실시예 8~11은 Si 첨가량의 영향을 나타내는 예이다.

[0077] 비교예 5, 6은 각각 Si 첨가량이 본 발명 범위의 상한 및 하한을 일탈한 예이고, 실시예 8~11에 의해 본 발명의 Si 첨가량의 상·하한을 확인할 수가 있다. 즉, Si가 너무 적으면 너무 부드러워 열충격 시험에 견딜 수 없고, Si가 너무 많으면 경화하여 칩깨짐을 일으킨다.

[0078] 비교예 7~14와 실시예 12~27은 「Fe 석출량/Fe 고용량의 효과」를 분명하게 하는 예이다.

[0079] 비교예 7~14에 의하면, Fe 함유량이 본 발명의 범위 이내라도, Fe 석출량/Fe 고용량의 값이 본 발명의 상한으로 하는 7을 넘으면, 열충격 시험 결과가 불량으로 되는 것을 나타내고 있고, 이에 반해 실시예 12~27은 Fe 석출량/Fe 고용량의 값의 변화와 열충격 시험 결과를 대비하여, 그 상·하한 및 적합 범위를 분명하게 한다.

[0080] 즉, Fe 석출량/Fe 고용량이 7 이상이라면 재결정 온도가 내려가 열충격 시험에서 견디지 못한다. 또, Fe 석출량/Fe 고용량이 3~7의 범위는 열충격 시험이 △, Fe 석출량/Fe 고용량이 3 이하는 열충격 시험이 ○로 되어 있다.

[0081] 실시예 28, 29는 와이어 선직경의 효과를 나타내는 예이다. 이상의 예는 모두 와이어 직경이 0.5㎜이지만, 실시예 28, 29는 선직경 0.3, 0.1㎜의 와이어에 대해서 이러한 효과를 확인한 것이다.

[0082] 도 1은 본 발명의 알루미늄 합금 세선의 단면 조직 사진이고, 표시되어 있는 게이지로부터 판별되듯이, 평균 입경 10㎛ 근방에서 거의 일정 범위로 고르게 되어 있고, 안정한 조직이 얻어져 있는 것을 알 수 있다.

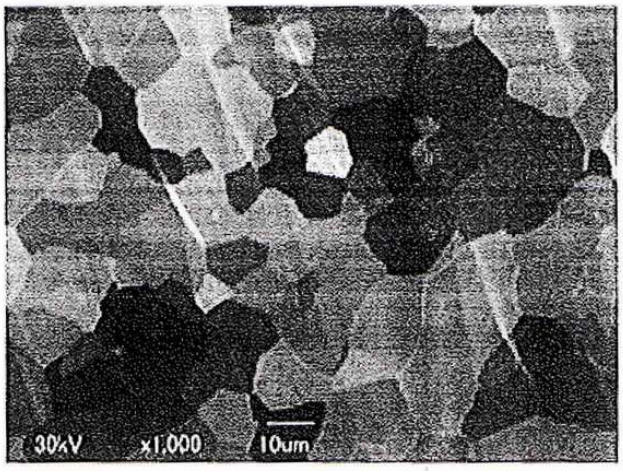
[0083] 또, 도 2는 본 발명의 알루미늄 합금 세선의 전단강도의 변화 비율을 나타내고, 1만회의 시험 사이클에 있어서도, 초기치에 대한 전단강도의 저하가 80% 정도에 머물고, 종래품의 경우 30% 근처까지 저하하는 것에 비교하여 접합부의 신뢰성이 현저하게 향상되어 있다.

## 산업상 이용가능성

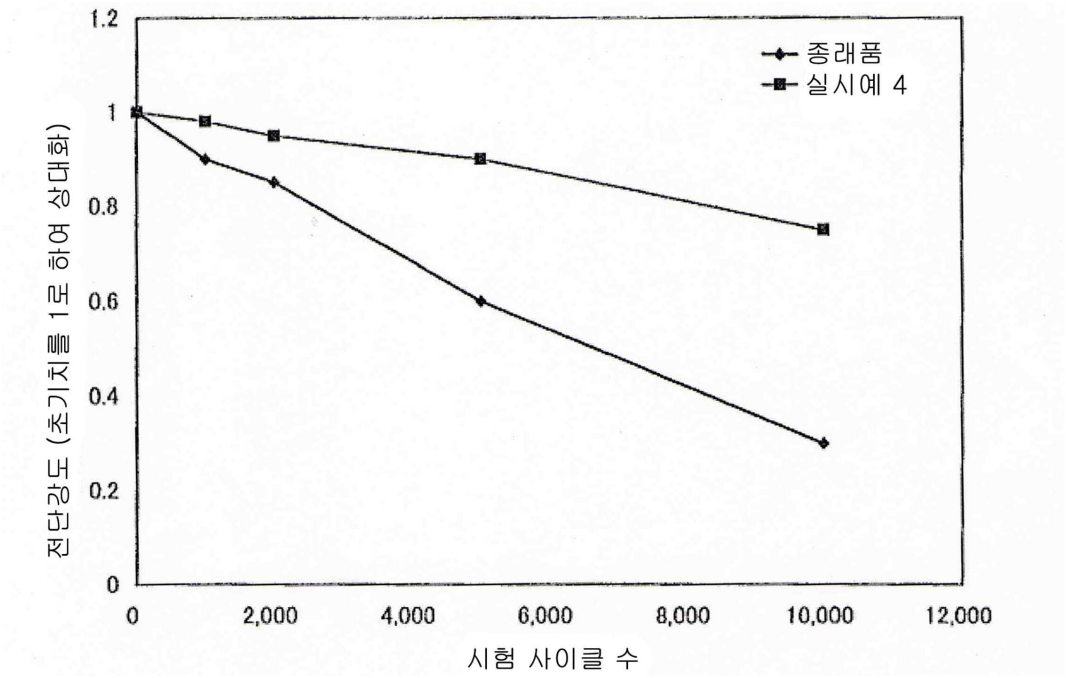
[0084] 본 발명은 열충격 시험을 반복해도 전단강도의 저하가 적기 때문에, 하이브리드 차나 전기 자동차, 혹은 전차, 풍력 발전기, 산업용 로봇에 사용되는 파워 반도체의 본딩 와이어로서 유용하다.

## 도면

### 도면1



도면2


종래품
실시예 4
전단강도 (초기치를 1로 하여 상대화)
시험 사이클 수
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
0
2,000
4,000
6,000
8,000
10,000
12,000