



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년10월25일

(11) 등록번호 10-2593242

(24) 등록일자 2023년10월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 23/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01L 24/745 (2013.01)

H01L 24/42 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2016-0143605

(22) 출원일자 2016년10월31일

심사청구일자 2021년10월05일

(65) 공개번호 10-2017-0052484

(43) 공개일자 2017년05월12일

(30) 우선권주장

62/250,745 2015년11월04일 미국(US)

15/234,563 2016년08월11일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

JP2012074699 A\*

JP2015153907 A\*

JP2001267352 A\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

쿨리케 앤드 소파 인더스트리즈, 인코포레이티드

미국 펜실베이니아 19034 포트 워싱턴 1005 버지니아

드라이브

(72) 발명자

샤 아쉬시

미국 펜실베이니아주 19044 홀스햄 처칠 서클 2

엘렌버그 로버트 더블유.

미국 펜실베이니아주 19123 필라델피아 웨스트 윌디

스트리트 209

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인태평양

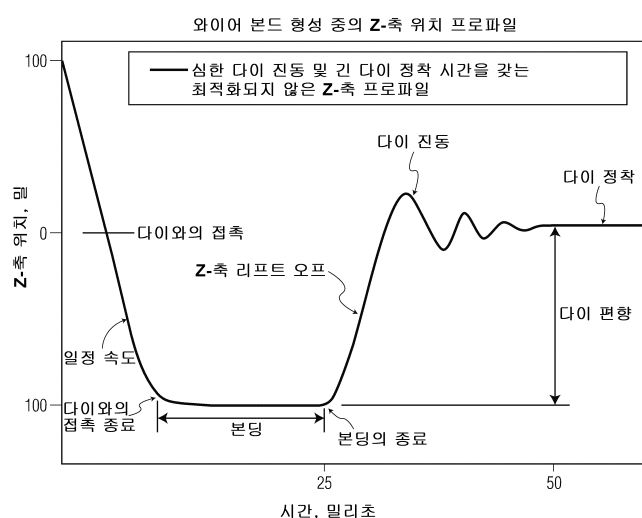
전체 청구항 수 : 총 10 항

심사관 : 정구원

(54) 발명의 명칭 와이어 본딩을 위한 본더 상의 돌출 다이 자동 최적화 톨 및 관련 방법

**(57) 요약**

와이어 본딩 작업 중에 복수의 본딩 위치에 적용되는 z-축 힘 프로파일을 제공하는 방법이 제공된다. 상기 방법은 (a) 적어도 하나의 기준 반도체 장치의 미지시 부분 상의 복수의 본딩 위치 각각에 대한 z-축 힘 프로파일을 결정하는 단계, 및 (b) 해당 반도체 장치의 후속 본딩 중에 z-축 힘 프로파일을 적용하는 단계를 포함한다. 와이어 본드의 형성 중에 본딩 위치에 적용될 최대 접합력을 결정하는 방법, 및 와이어 본드의 형성을 위해 z-축 일정 속도 프로파일을 결정하는 방법이 또한, 제공된다.

**대표도 - 도2**

(52) CPC특허분류

*H01L 24/78* (2013.01)

*H01L 24/85* (2013.01)

(72) 발명자

**바비네츠 스티븐 이.**

미국 펜실베이니아주 19446 렌스데일 애디슨 애비뉴  
159

**아마드 지아우딘**

미국 펜실베이니아주 19085 빌라노바 우드필드 로드  
700

---

**친 웨이**

미국 펜실베이니아주 19446 렌스데일 앤드류 레인 4

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

와이어 본딩 작업 중에 복수의 본딩 위치에 적용되는 z-축 힘 프로파일을 제공하는 z-축 힘 프로파일 제공 방법으로서,

(a) 적어도 하나의 기준 반도체 장치의 미지시 부분 상의 복수의 본딩 위치 각각에 대한 z-축 힘 프로파일을 결정하는 단계로서, 상기 복수의 본딩 위치 각각에서 z-축 진동을 측정함으로써 상기 복수의 본딩 위치 각각에 대한 상기 z-축 힘 프로파일을 결정하는 단계, 및

(b) 해당 반도체 장치의 후속 본딩 중에 상기 복수의 본딩 위치 각각에 상기 z-축 힘 프로파일을 적용하는 단계를 포함하는 z-축 힘 프로파일 제공 방법.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 단계 (a)는 복수의 본딩 위치 각각에 대한 z-축 힘 프로파일을 결정하기 위해서 복수의 z-축 힘 값에서 복수의 본딩 위치 각각에서의 z-축 진동을 측정하는 단계를 더 포함하는 z-축 힘 프로파일 제공 방법.

#### 청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 z-축 진동은 와이어 본딩 기계의 본드 헤드 조립체의 z-축 인코더를 사용하여 측정되는 z-축 힘 프로파일 제공 방법.

#### 청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 z-축 진동은, 상기 단계 (a)에서 각각의 본딩 위치에 대해 결정된 z-축 힘 프로파일이 각각의 본딩 위치에 대한 허용 가능한 z-축 편향 프로파일을 야기하도록 반복 공정과 관련하여 측정되는 z-축 힘 프로파일 제공 방법.

#### 청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 z-축 편향 프로파일에 포함된 최대 편향 값은 미리 결정된 임계값 아래에 있는 z-축 힘 프로파일 제공 방법.

#### 청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 단계 (a)에서 결정된 z-축 힘 프로파일은 와이어 본드가 형성된 이후에 본딩 틀의 리프트 오프(lift off)를 포함하는 와이어 본딩 사이클의 일부에 대응하는 프로파일을 포함하는 z-축 힘 프로파일 제공 방법.

#### 청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 단계 (a)에서 결정된 z-축 힘 프로파일은 반도체 장치의 본딩 위치에 대한 프리 에어 볼의 최초 충돌을 포

함한 와이어 본딩 사이클의 일부에 대응하는 프로파일을 포함하는  $z$ -축 힘 프로파일 제공 방법.

#### 청구항 9

삭제

#### 청구항 10

삭제

#### 청구항 11

삭제

#### 청구항 12

삭제

#### 청구항 13

삭제

#### 청구항 14

삭제

#### 청구항 15

삭제

#### 청구항 16

삭제

#### 청구항 17

삭제

#### 청구항 18

삭제

#### 청구항 19

삭제

#### 청구항 20

최대 접합된 볼 직경을 결정하는 최대 접합된 볼 직경 결정 방법으로서,

(a) 와이어 본드의 형성을 위해서 접합 위치에 대한 최대 접합력을 결정하는 단계,

(b) 본딩 위치에서 와이어 본드의 형성을 위한  $z$ -축 일정 속도 프로파일을 결정하는 단계, 및

(c) 상기 단계 (a)에서 결정된 최대 접합력 및 상기 단계 (b)에서의  $z$ -축 일정 속도 프로파일을 사용하여 본딩 위치에 대한 최대 접합된 볼 크기를 컴퓨터에서 결정하는 단계를 포함하는 최대 접합된 볼 직경 결정 방법.

#### 청구항 21

청구항 20에 있어서,

상기 컴퓨터는 와이어 본딩 기계 상의 컴퓨터인 최대 접합된 볼 직경 결정 방법.

#### 청구항 22

청구항 20에 있어서,

상기 단계 (c)는 최대 집합된 볼 크기를 결정하기 위해서 최대 집합력 및 z-축 일정 속도 프로파일과 함께, 최대 집합된 볼 크기와 관련된 값을 포함하는 적어도 하나의 데이터 구조를 사용하는 단계를 포함하는 최대 집합된 볼 직경 결정 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 출원은 2016년 8월 11일자로 출원된 미국 출원 번호 15/234,563호, 및 2015년 11월 4일자로 출원된 미국 출원 번호 62/250,745호의 이득을 주장하며, 이들의 내용은 원용에 의해 본 출원에 포함된다.

[0002] 본 발명은 와이어 본딩 작업(wire bonding operation)에 관한 것이며, 특히 돌출 다이(overhang die) 용례와 관련하여 사용하기 위한 와이어 본드 프로그램 매개변수를 결정하는 개선된 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0003] 반도체 패키징 산업(semiconductor packaging industry)에서, 와이어 본딩은 아직도, 패키지 내의 두 개의(또는 그 초과)의 위치들 사이에 전기 상호연결을 제공하는 주요 방법이다. 통상적인 와이어 본딩 용례에서, 와이어 본딩 툴(tool)(예를 들어, 볼(ball) 본딩 용례의 모세관 본딩 툴, 웨지(wedge) 본딩 용례의 웨지 본딩 툴 등)은 제1 본드를 형성하기 위해서 와이어의 제1 단부를 제1 본딩 위치에 접합하는데 사용된다. 그 후, 제1 본드에 계속해서 와이어의 길이는 제2 본딩 위치 쪽으로 연장된다. 그 후, (제1 본드 및 와이어 길이에 계속해서) 제2 본드가 제2 본딩 위치에 형성된다. 따라서, 제1 본딩 위치와 제2 본딩 위치 사이에 와이어 루프(wire loop)가 형성된다. 와이어 본드의 형성 중에 다양한 유형의 에너지(예를 들어, 초음파, 열초음파, 열압축 등)가 접합력 및/또는 열과 관련하여 사용될 수 있다.

[0004] 특정 유형의 반도체 패키지에서, 다양한 반도체 다이가 "적층 다이(stacked die)" 구성으로 배열된다. 이러한 패키지에서, 하나 이상의 다이는 다른 다이(또는 스페이서, 기판 등) 위로 돌출할 수 있다. 도 1은 이러한 패키지를 예시한다. 도 1에서, 하부 반도체 다이(102)가 기판(100)에 의해 지지된다(여기서 와이어 루프(108)는 다이(102) 상의 본딩 위치와 기판(100) 상의 다른 본딩 위치 사이에 상호연결을 제공함). 스페이서(104)가 하부 반도체 다이(102)와 상부 반도체 다이(106) 사이에 위치된다. 상부 반도체 다이(106)는 스페이서(104)와 하부 반도체 다이(102) 위에 걸쳐 있는 미지지 부분(unsupported portion)을 포함한다. 이 때문에, 상부 반도체 다이(106)는 "돌출 다이(overhang die)"라 명명될 수 있다.

[0005] 도 1에서, 상부 반도체 다이(106)와 다른 위치(예를 들어, 기판(100)) 사이에 다른 와이어 루프를 형성하는 것이 바람직하다. 도 1은 본딩 공정의 시작을 예시하며, 이때 볼 본드(112)가 와이어 본딩 툴(110)(여기서 와이어 본딩 툴(110)은 본드 헤드 조립체(114)에 의해 운반됨)를 사용하여 상부 반도체 다이(106) 상의 본딩 위치에 (제1 본드로서) 접합된다. 상부 반도체 다이(106)가 돌출 다이이기 때문에, 다이는 구부러진다(즉, 도 1에 도시된 바와 같은, 다이 편향). 이러한 다이의 편향은 돌출 다이 자체에 대한 손상(예를 들어, 크래킹(cracking) 등) 또는 돌출 다이 아래의 (예를 들어, 와이어 루프(108)와 같은) 다른 구조물과의 접촉을 통한 손상을 초래할 수 있다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0006] 따라서, 돌출 다이 용례에서 와이어 본딩과 관련된 잠재적 손상을 제어하는 개선된 방법을 제공하는 것이 바람직할 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 예시적인 실시예에 따라서, 와이어 본딩 작업 중에 복수의 본딩 위치에 적용되는 z-축 힘 프로파일을 제공하는 z-축 힘 프로파일 제공 방법이 제공된다. 상기 방법은 (a) 적어도 하나의 기준 반도체 장치의 미지지 부분 상의 복수의 본딩 위치 각각에 대한 z-축 힘 프로파일을 결정하는 단계, 및 (b) 해당 반도체 장치의 후속 본딩 중에 z-축 힘 프로파일을 적용하는 단계를 포함한다.

[0008] 본 발명의 다른 예시적인 실시예에 따라서, 와이어 본드의 형성 중에 본딩 위치에 적용될 최대 접합력을 결정하는 최대 접합력 결정 방법이 제공된다. 상기 방법은 (a) 적어도 하나의 기준 반도체 장치에 최대  $z$ -축 편향 값을 제공하는 단계, (b) 복수의 접합력 값에서 적어도 하나의 기준 반도체 장치 상의 복수의 본딩 위치에서의  $z$ -축 편향 값을 측정하는 단계, 및 (c) 각각의 본딩 위치에 대한 최대 접합력을 결정하는 단계를 포함한다.

[0009] 본 발명의 또 다른 예시적인 실시예에 따라서, 와이어 본드의 형성을 위해  $z$ -축 일정 속도 프로파일을 결정하는  $z$ -축 일정 속도 프로파일 결정 방법이 제공된다. 상기 방법은 (a) 반도체 장치에 최대  $z$ -축 편향 값을 제공하는 단계, (b) 복수의  $z$ -축 일정 속도 프로파일에서 적어도 하나의 기준 반도체 장치 상의 복수의 본딩 위치에서의  $z$ -축 편향 값을 측정하는 단계, 및 (c) 각각의 본딩 위치에 대한  $z$ -축 일정 속도 프로파일을 결정하는 단계를 포함한다.

[0010] 본 발명의 또 다른 예시적인 실시예에 따라서, 최대 접합된 볼 직경을 결정하는 최대 접합된 볼 직경 결정 방법이 제공된다. 상기 방법은 (a) 와이어 본드의 형성을 위해서 접합 위치에 대한 최대 접합력을 결정하는 단계, (b) 본딩 위치에서 와이어 본드의 형성을 위한  $z$ -축 일정 속도 프로파일을 결정하는 단계, 및 (c) 상기 단계 (a)에서 결정된 최대 접합력 및 상기 단계 (b)에서의  $z$ -축 일정 속도 프로파일을 사용하여 본딩 위치에 대한 최대 접합된 볼 크기를 컴퓨터에서 결정하는 단계를 포함한다.

### 도면의 간단한 설명

[0011] 본 발명은 첨부 도면과 관련하여 읽을 때 다음의 상세한 설명으로부터 가장 잘 이해된다. 통례에 따라서, 도면의 다양한 특징부는 척도대로 도시되지 않았음이 강조된다. 반대로, 다양한 특징부의 치수는 명확성을 위해서 임의로 확대 또는 축소되었다. 도면에 포함된 것은 다음의 도면이다:

도 1은 돌출 다이를 포함하는 종래의 적층형 다이 장치의 일부에 대한 측면 블록 선도이다.

도 2는 본 발명의 다양한 예시적인 실시예를 예시하는데 유용한 와이어 루프의 제1 본드의 형성 중에 와이어 본딩 기계의 본드 헤드 조립체의 일부에 대한  $z$ -축 위치 프로파일을 예시하는 타이밍 다이어그램이다.

도 3은 본 발명의 예시적인 실시예에 따른 와이어 루프의 제1 본드의 형성 중에 와이어 본드 기계의 본드 헤드 조립체의 일부에 대한  $z$ -축 위치 프로파일을 예시하는 타이밍 다이어그램이다.

도 4는 본 발명의 다양한 예시적인 실시예를 예시하는데 유용한 와이어 본드의 형성 중에 와이어 본딩 기계의 본딩 툴에 의해 적용되는 힘을 예시하는 힘 프로파일이다.

도 5a는 본 발명의 다양한 예시적인 실시예를 예시하는데 유용한 3개의 본딩 위치를 포함하는 돌출 다이의 간단한 화한 돌출 다이 블록 선도이다.

도 5b는 본 발명의 예시적인 실시예에 따른 도 5a의 돌출 다이의 다양한 위치에서의 와이어 본드의 형성 중에 와이어 본딩 기계의 본드 헤드 조립체의 일부에 대한  $z$ -축 위치를 예시하는 타이밍 다이어그램이다.

도 5c는 본 발명의 예시적인 실시예에 따른 도 5a의 돌출 다이의 다양한 위치에서의 와이어 본드의 형성 중에 와이어 본딩 기계의 와이어 본딩 툴에 의해 적용되는 접합력을 예시하는 접합력 프로파일이다.

도 6은 본 발명의 예시적인 실시예에 따른 와이어 본딩 작업 중에 복수의 본딩 위치에 적용되는  $z$ -축 힘 프로파일을 제공하는 방법을 예시하는 흐름도이다.

도 7은 본 발명의 예시적인 실시예에 따른 와이어 본드의 형성 중에 본딩 위치에 적용될 최대 접합력을 결정하는 방법을 예시하는 흐름도이다.

도 8은 본 발명의 예시적인 실시예에 따른 와이어 본드의 형성 중에  $z$ -축 일정 속도 프로파일을 결정하는 방법을 예시하는 흐름도이다.

도 9는 본 발명의 예시적인 실시예에 따른 최대 접합된 볼 직경을 결정하는 방법을 예시하는 흐름도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 본 발명에 사용된 바와 같은, 용어 " $z$ -축 힘 프로파일( $z$ -axis force profile)"은 기간 동안  $z$ -축을 따라서 와이어 본딩 작업(또는 와이어 본딩 작업의 일부)과 관련하여 적용될 힘을 지칭한다. 이러한 프로파일은 이에 한정되지 않지만, 예를 들어 그래픽 포맷(graphical format)(예를 들어, 도 4 참조), 타블로 포맷(tabular format)(예를 들어, 시간 증가에 따른 일련의 힘 값) 등을 포함하는 다수의 포맷으로 제공될 수 있다. 이러한

힘 프로파일은 (도 4의 그래프에서와 같이)전체 본딩 사이클 동안에 제공될 수 있거나, 본딩 사이클의 일부 동안(예를 들어, 도 3의 점선 부분에 대응하는, 리프트 오프(lift off)를 유도하는 힘 램프 다운(ramp down) 동안) 제공될 수 있다.

[0013] 본 발명의 특정한 예시적인 실시예에 따라서, 최적 감쇠 이득(예를 들어, 예측 가능한 방식으로 다이를 떼어내는 와이어 본딩 툴과 관련된 본딩 이후에 힘 램프 다운 동안의 힘 프로파일), 최대 다이 정착 시간(settle time), 최대 안전 접촉 속도(예를 들어, 일정 속도 모드), 및 최대 안전 접합력과 같은 와이어 본딩 매개변수를 자동으로 결정(예를 들어, 계산)하는 시스템 및 방법이 와이어 본더(wire bonder)(즉, 와이어 본딩 기계) 상의 돌출(돌출하는) 반도체 장치를 위해 제공된다. 이러한 매개변수는 돌출 반도체 장치(예를 들어, 돌출 반도체 다이) 상의 각각의 본딩 위치에 특정적으로 제공될 수 있다.

[0014] (와이어 본딩 기계의 본드 헤드 조립체에 의해 운반되는) 와이어 본딩 툴이 돌출 다이(또는 다른 돌출 반도체 장치)의 미지 지 부분 상의 본드 패드(또는 다른 본딩 위치)와 접촉하게 될 때, 다이 표면은 하방으로 편향된다. 이러한 편향은 예를 들어, 와이어 본딩 툴이 본딩 이후에 다이 표면을 들어올릴 때의 다이 진동으로 인해 와이어 본딩 및 루프 성형과 관련된 다수의 문제를 유발할 수 있다. 그러므로, 돌출 다이를 위한 와이어 본드 공정의 특성화 및 최적화는 극히 어렵고 지루하다. 본 발명의 특정 양태는 와이어 본더 상의 돌출 다이의 인-시튜(in-situ) 특성화 및 최적화를 자동으로 수행하는 것에 관한 것이다. 예를 들어, z-축 인코더 피드백 및 반복 방법을 사용하여, 핵심 돌출 장치 특성화, 예컨대 돌출 다이 상의 모든 프로그램된 위치에 대한 최적 감쇠 이득, 최대 다이 정착 시간, 최대 안전 접촉 속도 및 최대 안전 접합력이 계량화될 수 있다.

[0015] 본 발명의 특정한 예시적인 실시예에 따라서, 본드 프로그램은 돌출 다이 상의 프로그램된 본딩 위치를 알려준다. 본딩 툴(예를 들어, 모세관(capillary))은 감쇠 이득, 접촉 속도(예를 들어, 일정 속도 모드) 및 접합력과 같은 특정 매개변수에 대한 미리-결정된 시작 값에 따라서 각각의 프로그램된 본딩 위치에서 (예를 들어, 본딩 툴과 결합된 와이어를 갖거나 갖지 않은 채로)반복적으로 터치다운(touches down)된다. z-축 인코더 데이터는 그 후에 수집되고 분석된 데이터를 제공하는데 사용된다. 데이터는 최대 다이 편향 및 최대 안전 접합력을 결정하기 위해서 사용자 정의 값(예를 들어, 허용 다이 편향, 바람직한 접합력 등)과 비교될 수 있다. 후속 반복공정에서, 최대 안전 접촉 속도(즉, 일정 속도 모드), 최적 감쇠 이득, 및 최대 다이 정착 시간이 결정될 수 있다. 이러한 공정은 바람직한 다이 편향에 대한 수렴이 (예를 들어, 기준 반도체 장치 상의)모든 프로그램된 위치에 대해서 달성될 때까지 자동으로 반복, 통상 프로그램된 위치 당 6 내지 10 번 반복될 수 있다. 그 결과가 표시되고 (예를 들어, 다이의 각각의 프로그램된 본딩 위치에 대한)본드 프로그램으로 저장되며, 그 프로그램으로부터 결과들은 (예를 들어, 해당 반도체 장치 상의)실제 와이어 본딩 동안에 자동으로 사용될 수 있다.

[0016] 이러한 본 발명의 기술을 사용하여, 돌출 장치 특성화에 대해 와이어 본더 및 사용자에게 피드백(순간 또는 실시간 피드백)이 제공될 수 있다. 따라서, 감쇠 이득, 최대 다이 정착 시간, 일정 속도 및 접합력과 같은 최적 핵심 본딩 매개변수가 돌출 다이 상의 각각의 접합 위치에 대해 자동으로 결정될 수 있다.

[0017] 각각의 본딩 위치에 대한 최적 감쇠 이득의 결정시, 그 공정은 잠재적 진동을 감소시키거나, 또한 와이어 본딩 공정 중에 처리되는 UPH(즉, 시간당 생산량)가 악영향을 받지 않도록 최소 다이 정착 시간을 유지하는 힘 프로파일(예를 들어, 접합력 대 본딩 이후의 힘 램프 다운 동안의 시간에 대한 프로파일, 접합력 대 본딩 이전의 최초 접촉 동안의 시간에 대한 프로파일 등)을 발생시켜야 한다.

[0018] (1) 본딩 중 최대 접합력, 및/또는 (2) 와이어 본드의 형성을 위한 z-축 일정 속도 프로파일의 결정시, 와이어 본딩 기계의 사용자는 돌출 다이의 최대 편향을 등록할 수 있다(예를 들어, 여기서 등록된 최대 편향은 돌출 다이 아래의 와이어 루프와 충돌하는 돌출 다이와 같은 문제를 초래하지 않으며, 최대 편향은 크래킹(cracking) 등과 같은 다이에 대한 손상을 초래하지 않는다. 다른 예에서, 와이어 본딩 기계는 돌출 다이의 최대 편향(예를 들어, 와이어 본딩 기계에 의해 결정된 대로의, 다이 크랙과 같은 다이에 대한 손상을 초래하지 않는 최대 편향 값)을 자동으로 결정할 수 있다. 반복 공정 중에, 와이어 본더는 (예를 들어, 와이어 본딩 기계의 본드 헤드의 z-축 인코더를 사용하여)z-축 위치를 측정하고 가해진 접합력 및 일정 속도(CV) 프로파일과 관련된 z-축 위치 데이터를 제공한다. 이러한 데이터를 사용하여, 최대 접합력 및 최대 CV 프로파일이 결정될 수 있다.

[0019] 도 2는 와이어 본드(예를 들어, 프리 에어 볼(free air ball)과 함께 형성되는 볼 본드와 같은 와이어 루프의 제1 본드)의 형성 중에 와이어 본딩 기계의 본드 헤드 조립체(여기서 본드 헤드 조립체는 와이어 본딩 툴을 운반함)의 z-축 위치를 예시한다. 통상의 기술자에 의해 이해될 수 있듯이, 와이어 본딩 기계의 z-축은 와이어 본딩 툴이 그를 따라 이동하는 수직 축(또는 실질적인 수직 축)이다. z-축 위치는 와이어 본딩 기계의 z-축 인코더 또는 다른 기술을 사용하여 검출될 수 있다. 도 2에 도시된 바와 같이, 와이어 본딩 툴은 일정 속도 모드(도



2의 "일정 속도(CONSTANT VELOCITY)"에서 z-축을 따라 하강한다. 이러한 하강 중에, 다이와 접촉(도 2의 "다이와 접촉(CONTACT WITH DIE)")한다. 하강은 다이의 돌출 특성 때문에, 다이와 접촉한 이후에도 계속된다. 그 후에 다이와의 접촉이 종료되고(도 2의 "다이와의 접촉 종료(CONTACT WITH DIE DECLARED)") "본딩(BONDING)" 공정이 시작된다. 본딩 공정이 완료된 이후에, 와이어 본딩 공구는 "본딩의 종료(END OF BONDING)" 이후에 접합력으로부터 감소된 힘의 레벨까지의 힘 램프 다운(예를 들어, 도 2의 "z-축 리프트 오프(Z-AXIS LIFT OFF)"와 함께 상승된다. 예를 들어, 20 그램의 접합력이 본딩 중에 적용될 수 있으나, 감소된 힘은 2 그램일 수 있다. 시간의 측면에서, 가능한 한 빨리 힘 램프 다운을 달성하는 것이 바람직할 수 있으나, 다이의 돌출 특성 때문에 도 2에 도시된 것처럼 다이 진동이 초래된다. 일정 기간 이후에, 다이가 정착(진동 정지, 도 2의 "다이 정착(DIE SETTLED)" 참조)되고 다이가 평형 위치에 있게 된다. 문제는 다이 진동으로 돌출 다이에 대한 손상(예를 들어, 크래킹), 돌출 다이에 접합된 와이어 루프에 대한 손상, 돌출 다이 아래의 와이어 로프에 대한 손상 등을 유발할 수 있다는 점이다.

[0020] 도 3은 도 3에서 다이 진동이 실질적으로 감소되도록 힘 램프 다운이 조절되는(예를 들어, 바람직한 z-축 힘 프로파일이 적용되는) 곳에 제2 곡선(점선 곡선)이 도시된 것을 제외하면, 도 2와 실질적으로 유사하다. 즉, 접합력의 신속한 제거(예를 들어, 전술한 예에서와 같이 20 그램으로부터 2 그램으로) 대신에, z-축 힘 프로파일이 특정 본딩 위치에 적용된다. 예를 들어, 실선의 곡선에 비해서 도 3의 곡선의 점선 부분으로 도시된 바와 같이 힘 램프 다운 단계("본딩의 종료(END OF BONDING)" 이후) 중에 접합력의 더욱 점진적인 감소가 사용될 수 있다. 이러한 힘 프로파일은 UPH(시간당 생산량)를 감소시키는, 과도한 시간이 사용되지 않도록 균형이 맞춰져야 한다.

[0021] 도 4는 돌출 다이의 본딩(와이어 루프의 제1 본드로서 또는 범프(bump)로서 프리 에어 볼의 본딩) 중의 예시적인 접합력 프로파일을 예시한다. 이러한 접합력 프로파일 또는 이러한 접합력 프로파일의 임의의 부분은 z-축 힘 프로파일로 명명될 수 있다. 이러한 접합력 프로파일은 (도 2 및 도 3에 도시된 예에서와 같은) z-축 위치 프로파일을 유발한다. 도 4의 접합력 프로파일은 제로 값 접합력(도 4에 "제로 접합력(ZERO BOND FORCE)"으로 도시된, 무 접촉)에서 시작하여 접촉시 증가하며 CV(일정 속도) 모드에서 피크 충돌력에 도달한다. 프리 에어 볼의 변형 이후에, 그 힘은 도 4의 "본딩 시간(BOND TIME)" 동안에 실질적으로 균일한 접합력으로 적용되는 "접합력(BOND FORCE)"으로 다소 감소된다. 그 후 힘이 "접합력(BOND FORCE)"으로부터 "리프트 오프 힘(LIFT OFF FORCE)"으로 램프 다운되는 동안에 "리프트 오프에 대한 시간(TIME TO LIFT OFF)"이 발생한다. 그 힘은 돌출 다이가 정착될 수 있도록 이러한 낮은 레벨의 힘에서 유지된다. 그 후 힘은 제로 접합력 레벨로 감소된다. 본 발명의 특정한 예시적인 실시예에 따라서, z-축 힘 프로파일은 예를 들어 도 3에 점선으로 도시된 바와 같이 진동을 감소시키기 위해서, 도 4에 도시된 "리프트 오프에 대한 시간(TIME TO LIFT OFF)" 기간 동안 및/또는 도 4에 도시된 "CV 모드 중 피크 충돌력(PEAK IMPACT FORCE DURING CV MODE)" 단계 중의 최초 접촉 동안, 및/또는 와이어 본딩 작업의 다른 부분 동안) 각각의 본딩 위치에 대해 발생된다.

[0022] 본 발명의 특정한 예시적인 실시예에 따라서, 각각의 본딩 위치는 독립적으로 고려될 수 있으며, z-축 힘 프로파일이 이러한 유일한 본딩 위치(예를 들어, 본딩 이후의 힘 램프 다운 프로파일, 또는 최초 충돌 중의 힘 프로파일 등을 포함한)에 대해 발생된다. 도 5a는 돌출 다이에 비해서 더 작은 공간을 갖는 바닥 다이/스페이스 위에 위치되는 간단한 돌출 다이를 예시한다. 돌출 다이는 3개의 본딩 위치(즉, "a", "b" 및 "c")를 포함한다. 도 5a에 도시된 바와 같이, 위치("a" 및 "c")는 바닥 다이로부터 1.4x의 거리인 반면에, 위치("b")는 바닥 다이로부터 더 작은 "x"의 거리이다. 따라서, 돌출 다이는 위치("b")에서 더 강한 경향이 있고, 균일한 힘 적용 하에서 위치("a" 및 "c")에서 더 많이 편향될 것이다. 실제 본딩 중 모든 본딩 위치에 대해 일정한 레벨의 양의 접합력과 CV를 적용하는 것이 종종 바람직하다. 따라서, (도 3의 z-축 위치 프로파일과 유사한) 도 5b의 z-축 위치 프로파일에 도시된 바와 같이, "본딩(BONDING)" 중 z-축 위치는 위치("b")에 비해서 동일한 접합력이 접합 위치("a" 및 "c")에 적용되기 때문에 위치("a" 및 "c")에 대해 더 낮다. 본딩 위치("a" 및 "c")에 대한 z-축 위치 프로파일이 도 5b에 점선으로 도시된다(임의의 허용 불가능한 레벨의 다이 진동은 간략함을 위해서 도 5b에 도시되지 않았다). 그러나, 본딩 위치("a" 및 "c")에 대한 이러한 더 낮은 z-축 위치는 허용 불가능한 레벨의 다이 편향을 포함할 수 있다. 따라서, 접합력 램프 다운(리프트 오프와 관련된 본딩 이후의 힘)은 본딩 위치("a" 및 "c")에 대해 변경될 수 있다. 도 5c는 위치("b")에 대한 그리고 위치("a" 및 "c")에 대한 (도 4에 도시된 z-축 힘 프로파일과 유사한) 접합력 프로파일을 예시한다. 도 5c에 도시된 바와 같이, 위치("a" 및 "c")에 대한 힘 램프 다운은 위치("b")에 비해서 훨씬 더 점진적이다. 각각의 본딩 위치에 특별한 힘 램프 다운은 잠정적인 진동의 감소를 가능하게 한다.

[0023] 도 5a 내지 도 5c는 또한, 본 발명의 예시적인 실시예에 따라서 (1) 본딩 중 최대 접합력, 및/또는 (2) 와이어



본드의 형성을 위한 z-축 일정 속도 프로파일의 자동 결정을 위한 유익한 정보이다. 즉, 상이한 본딩 위치("a", "b" 및 "c")가 상이하게 편향되므로, 허용 최대 접합력은 각각의 위치에 대해 상이할 수 있다. 사용자 제공된 최대 편향 값을 사용하면, 반복 접근법이 상이한 레벨의 접합력에서 각각의 본딩 위치에서의 편향을 측정하는데 사용된다. 모든 본딩 위치에 대해 사용될 수 있는 허용 최대 접합력이 그 후에 결정될 수 있다. 동일한 접근법이 사용자 제공된 최대 편향 값을 초과함이 없이, 모든 본딩 위치에 대해 사용될 수 있는 허용 가능한 z-축 일정 속도 프로파일을 결정하는데 선택될 수 있다.

[0024] 도 6 내지 도 9는 본 발명의 특정된 예시적인 실시예에 따른 흐름도이다. 통상의 기술자에 의해 이해될 수 있듯이, 흐름도에 포함된 특정 단계는 생략될 수 있으며, 특정 추가 단계가 부가될 수 있으며, 단계의 순서가 예시된 순서로부터 변경될 수 있다.

[0025] 도 6은 와이어 본딩 작업 중 복수의 본딩 위치에 적용되는 (도 4 또는 도 5c에 도시된 힘 프로파일과 같은) z-축 힘 프로파일을 제공하는 방법을 예시하는 흐름도이다. 단계(600)에서, z-축 진동이 적어도 하나의 기준 반도체 장치의 미지시 부분 상의 복수의 본딩 위치 각각에서 측정된다. 예를 들어, z-축 진동은 복수의 본딩 위치 각각에 대한 z-축 힘 프로파일의 결정과 관련하여 복수의 z-축 힘 값에서 복수의 본딩 위치 각각에서 (와이어 본딩 기계의 본드 헤드의 z-축 인코더를 사용하여) 측정된다. 특정 예에서, z-축 진동은 각각의 본딩 위치에 대한 바람직한 z-축 편향 프로파일을 야기할 각각의 본딩 위치에 대해 z-축 힘 프로파일이 결정되도록(예를 들어, z-축 편향 프로파일에 포함된 최대 편향 값이 미리 결정된 임계값 아래에 있도록) 반복 공정과 관련하여 측정될 수 있다. 단계(602)에서, z-축 힘 프로파일은 단계(600)로부터의 z-축 진동 측정값을 사용하여(예를 들어, 허용 가능한 z-축 편향 프로파일을 야기할 z-축 힘 프로파일을 결정하기 위한 반복 공정을 사용하여, 여기서 허용 가능한 z-축 편향 프로파일의 최대 편향 값은 미리 결정된 임계값 아래임) 복수의 본딩 위치 각각에 대해 결정된다. 단계(604)에서, 단계(602)에서 결정된 z-축 힘 프로파일이 해당 반도체 장치의 후속 본딩 중에 적용된다. 즉, 단계(600 및 602)는 기준 반도체 장치(들)와 관련하여 수행될 수 있으며, 와이어 본딩 톨과 결합되는 와이어에 의해(또는 와이어 없이) 수행될 수 있다. 단계(604)에서, 실제 와이어 본딩은 단계(602)에서 결정된 z-축 힘 프로파일을 사용하여 해당 반도체 장치(예를 들어, 제조 중인 장치)와 관련하여 수행된다.

[0026] 도 7은 와이어 본드의 형성 중에 본딩 위치에 적용될 최대 접합력을 결정하는 방법을 예시하는 흐름도이다. 단계(700)에서, 최대 z-축 편향 값이 적어도 하나의 기준 반도체 장치에 제공된다. 이러한 최대 z-축 편향 값이 다수의 방법에 제공될 수 있다. 특정 예에서, 와이어 본딩 기계의 사용자는 예를 들어, 돌출 다이의 최대 편향을 제공할 수 있으며, 사용자는 최대 편향이 (i) 돌출 다이 아래의 와이어 루프와 충돌하는 돌출 다이, 및/또는 (ii) 다이 크래킹과 같은 다이에 대한 손상과 같은 문제를 야기하지 않도록 테스트 및 실험을 통해 최대 편향을 확인할 수 있다. 다른 예에서, 와이어 본딩 기계는 돌출 다이의 최대 편향(예를 들어, 가변 레벨의 다이 편향이 예를 들어, z-축 인코더를 사용하여 테스트되며, 다이가 약간의 편향 이후에는 적절히 복원되지 않기 때문에 다이 크랙이 기계에 의해 확인될 수 있는 공정을 통한 와이어 본딩 기계에 의해 결정된 바와 같은, 다이에 대한 손상, 예컨대 크랙을 야기하지 않는 최대 편향 값)을 자동으로 결정할 수 있다. 단계(702)에서, z-축 편향 값은 복수의 접합력 값에서 적어도 하나의 기준 반도체 장치 상의 복수의 본딩 위치에서 측정된다. 예를 들어, 이러한 편향 값은 와이어 본딩 기계의 z-축 인코더를 사용하여 측정될 수 있다. 단계(702)는 와이어 본딩 톨과 결합된 와이어와 관련하여(또는 와이어와 관련 없이) 수행될 수 있다. 단계(704)에서, 최대 접합력은 각각의 본딩 위치에 대해 결정되며, 즉 단계(700)로부터의 최대 편향 값, 및 다중 접합력 값에서 단계(702)에서 측정된 z-축 편향 값이 허용 최대 접합력 값을 결정하는데 사용된다. 단계(704)는 각각의 본딩 위치에 적용될 수 있는 단일 값으로서 최대 접합력을 결정하는 것을 포함할 수 있거나, 복수의 값으로서 최대 접합력을 결정하는 것을 포함할 수 있으며, 각각의 본딩 위치는 복수의 값에 포함된 대응하는 최대 접합력을 가진다.

[0027] 도 8은 와이어 본드를 형성하기 위한 (예를 들어, 미리 결정된 기간 동안 z-축 경사일 수 있는) z-축 일정 속도 프로파일을 결정하는 방법을 예시하는 흐름도이다. 단계(800)에서, 반도체 장치용 최대 z-축 편향 값이 제공된다. 이러한 최대 z-축 편향 값은 도 7의 단계(700)와 관련하여 전술한 바와 같이 제공될 수 있다. 단계(802)에서, z-축 편향 값은 복수의 z-축 일정 속도 프로파일에서 적어도 하나의 기준 반도체 장치 상의 복수의 접합 위치에서 측정된다. 도 7의 단계(702)에 대해 위에서 제공된 바와 같이, 이러한 편향 값은 와이어 본딩 기계의 z-축 인코더를 사용하여 측정될 수 있다. 단계(804)에서, z-축 일정 속도 프로파일이 각각의 본딩 위치에 대해 결정되며, 즉 단계(800)로부터의 최대 편향 값 및 다중 z-축 일정 속도 프로파일에서 단계(802)에서 측정된 z-축 편향 값이 단계(804)에서 허용 가능한 z-축 일정 속도 프로파일을 결정하는데 사용된다. 단계(704)는 각각의 본딩 위치에 적용될 수 있는 단일 프로파일로서 z-축 일정 속도 프로파일을 결정하는 것을 포함할 수 있거나, 복수의 프로파일로서 z-축 일정 속도 프로파일을 결정하는 것을 포함할 수 있으며, 각각의 본딩 위치는 복수의 프

로파일에 포함된 대응하는 z-축 일정 속도 프로파일을 가진다.

[0028]

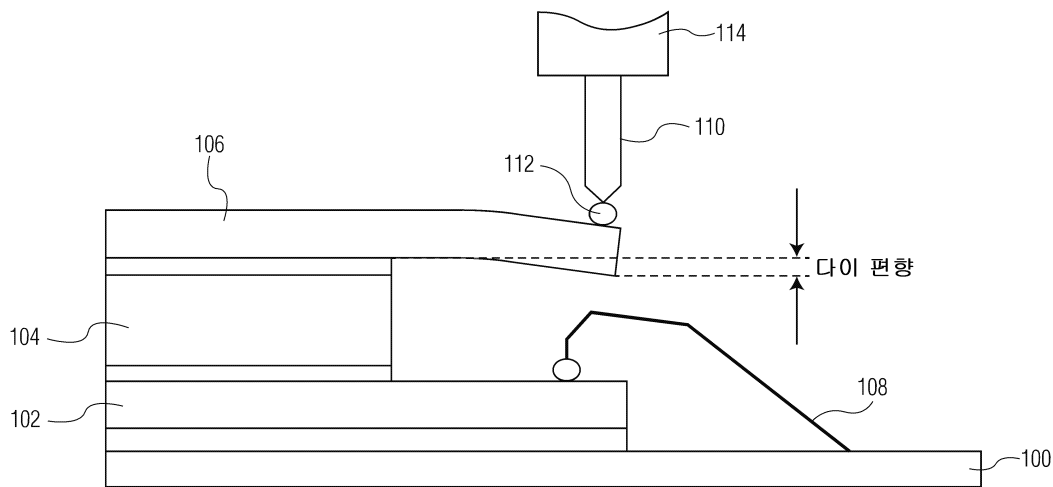
도 9는 최대 접합된 볼 직경을 결정하는 방법을 예시하는 흐름도이다. 특정 와이어 본딩 용례에서, 프리 에어 볼이 접합된 볼을 형성하도록 본딩 위치에 접합된다. 이러한 접합된 볼의 직경은 와이어 본드의 중요한 특징이며, 와이어 본드를 형성하기 위한 본딩 매개변수를 유도하기 위한 입력으로서 사용될 수 있다(예를 들어, 미국 특허 출원 공개 번호 2012/0074206 참조). 따라서, 돌출 다이 용례를 포함한, 주어진 용례에서 가능한 최대 접합된 볼 직경을 아는 것이 중요할 수 있다. 단계(900)에서, 와이어 본드의 형성을 위한 본딩 위치에 적용되는 최대 접합력이 결정된다. 예를 들어, 최대 접합력이 도 7에 개시된 방법을 사용하여 결정될 수 있다. 단계(902)에서, 본딩 위치에서 와이어 본드의 형성을 위한 z-축 일정 속도 프로파일이 결정된다. 예를 들어, z-축 일정 속도 프로파일은 도 8에 개시된 방법을 사용하여 결정될 수 있다. 단계(904)에서, 본딩 위치에 대한 최대 접합된 볼 크기가 단계(900)에서 결정되는 최대 접합력 및 단계(902)에서의 z-축 일정 속도 프로파일을 사용하여 컴퓨터에서 결정된다. 컴퓨터는 예를 들어, 와이어 본딩 기계 상의 컴퓨터 또는 별도의 컴퓨터 시스템일 수 있다. 단계(904)는 컴퓨터에 의해 접근 가능한 적어도 하나의 데이터 구조(예를 들어, 순람표(look up table), 데이터 베이스 등)를 사용하는 것을 포함하며, 여기서 데이터 구조(들)는 최대 접합력 및 z-축 일정 속도 프로파일과 함께, 최대 접합된 볼 크기와 관련된 값을 포함한다. 이러한 데이터 구조(들)는 최대 접합된 볼 크기를 결정하기 위해서 컴퓨터에 의해 사용될 수 있다.

[0029]

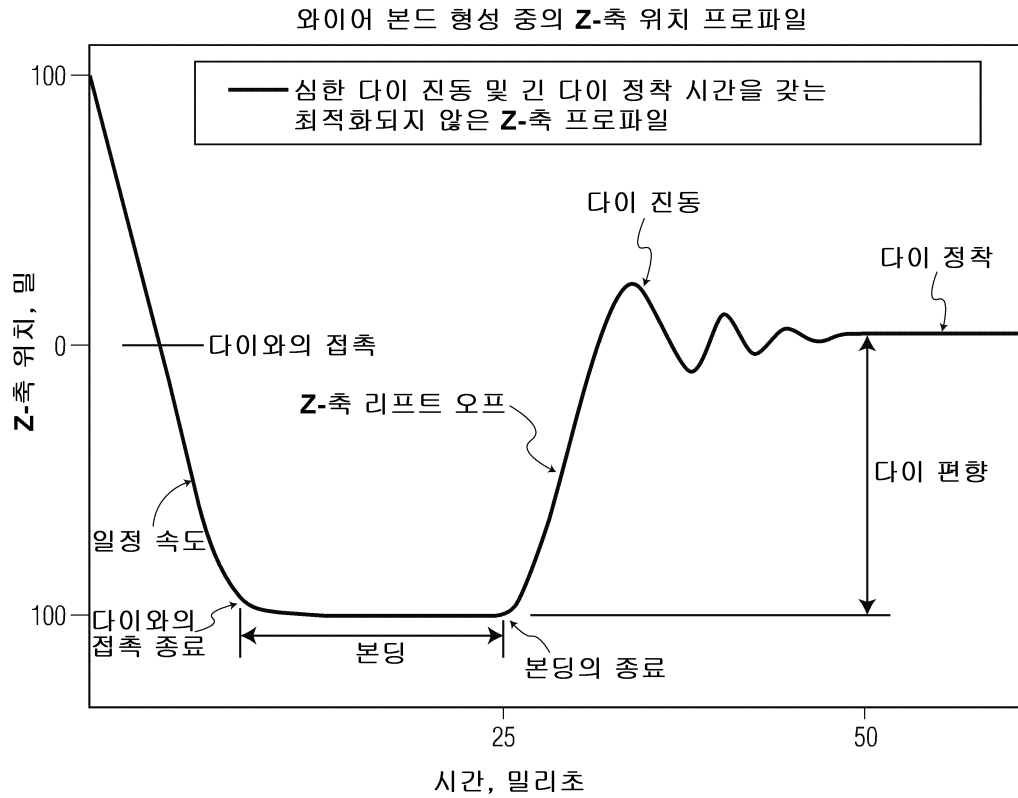
본 발명이 특정 실시예를 참조하여 본 발명에서 예시되고 설명되었지만, 본 발명은 도시된 세부사항에만 한정하려는 것이 아니다. 오히려, 청구범위의 범주와 그의 균등한 범위 내에서 그리고 본 발명을 이탈함이 없이 다양한 수정이 이러한 세부사항에서 만들어질 수 있다.

## 도면

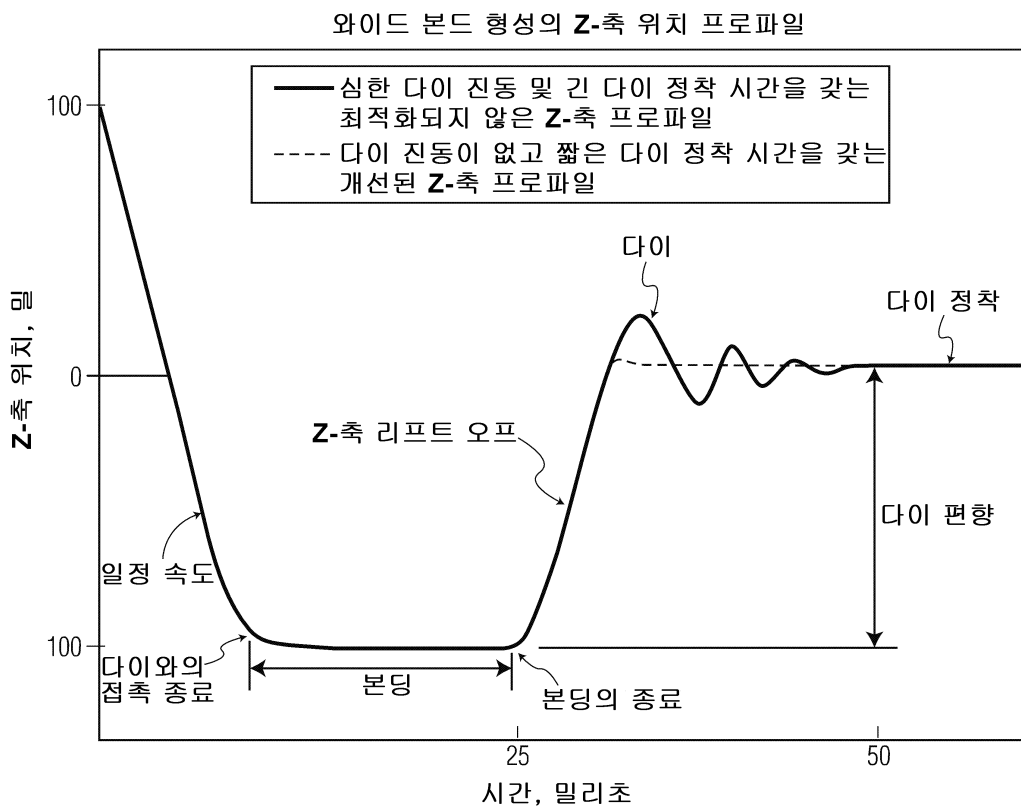
### 도면1



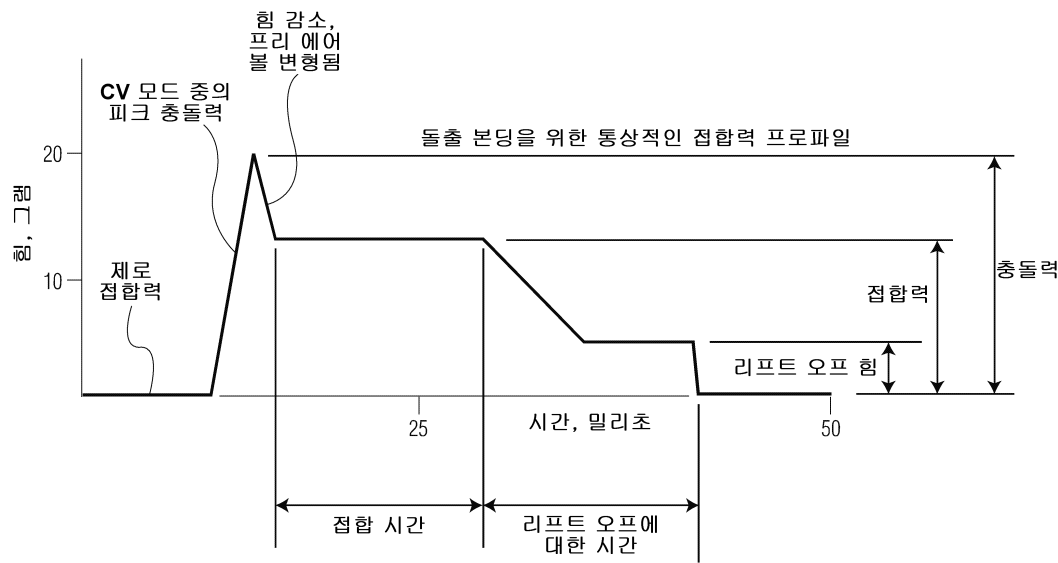
도면2



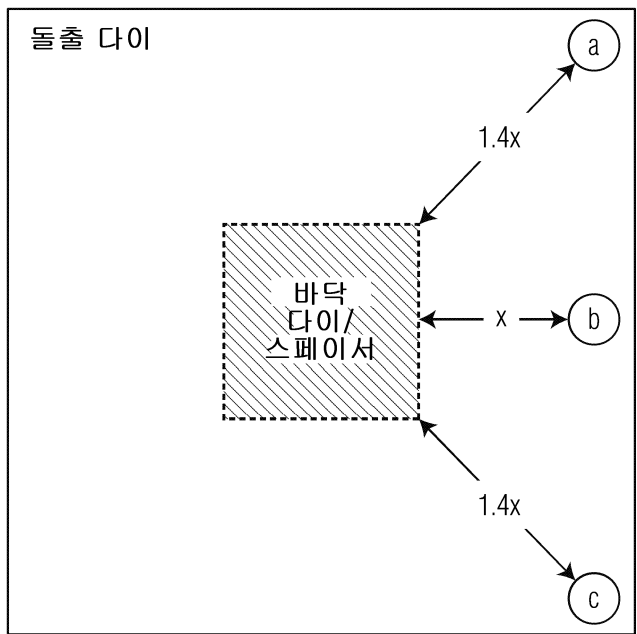
도면3



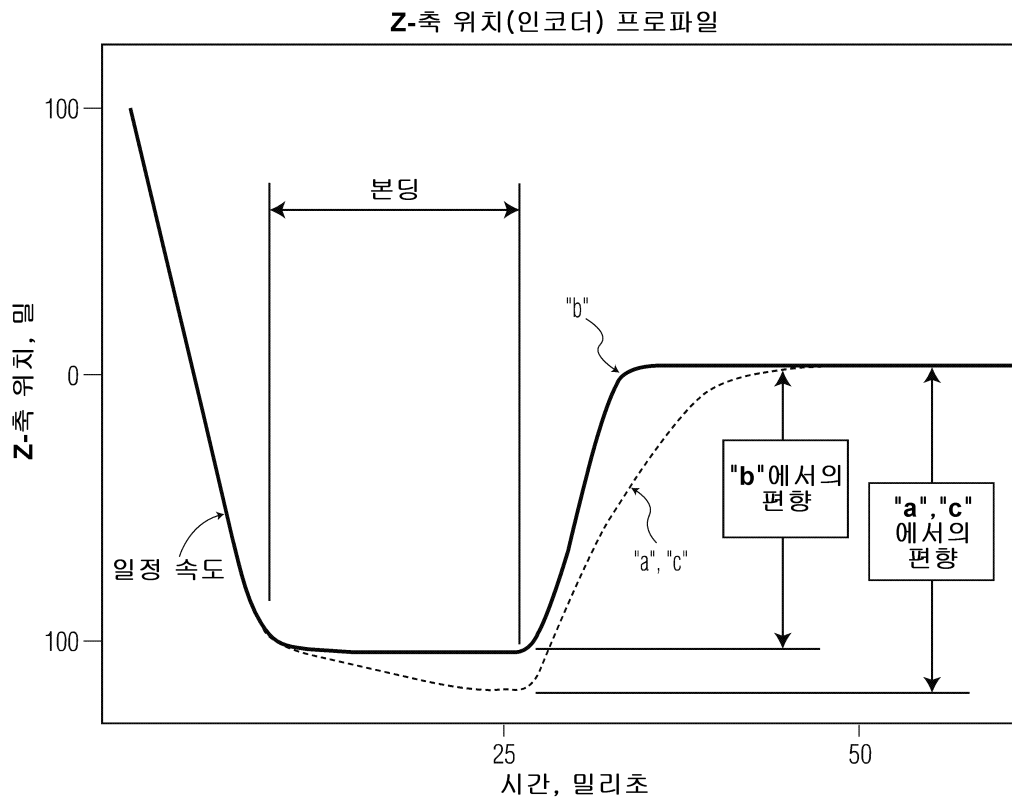
도면4



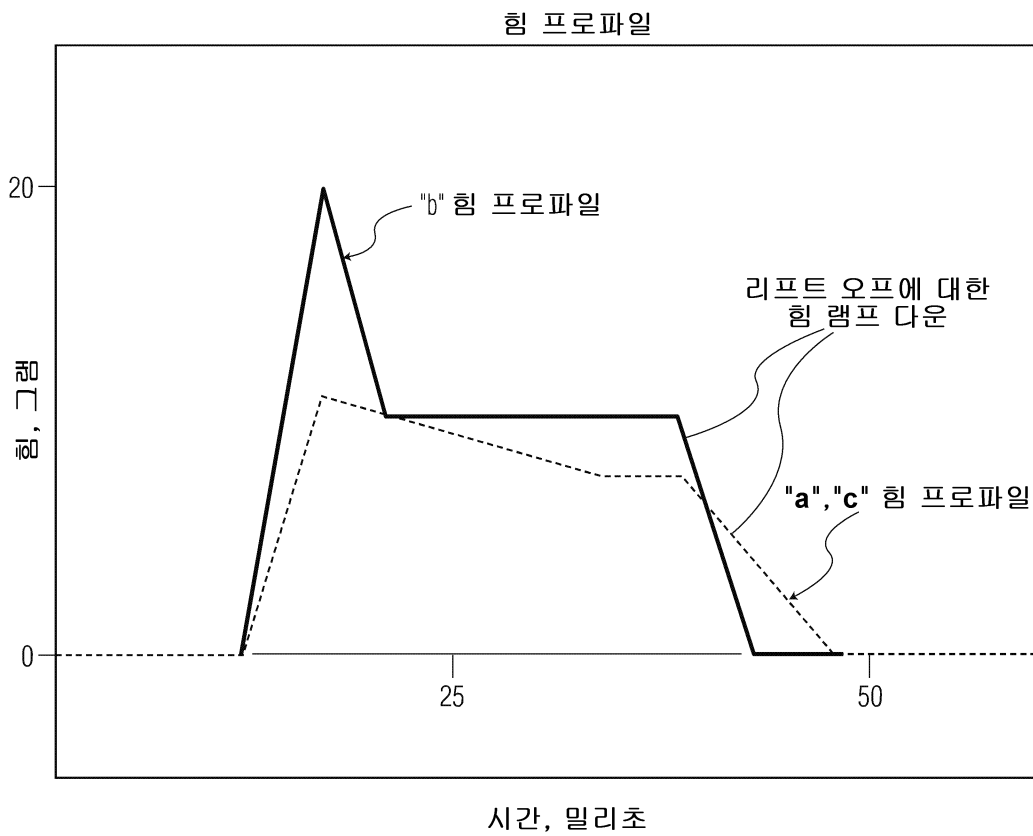
도면5a



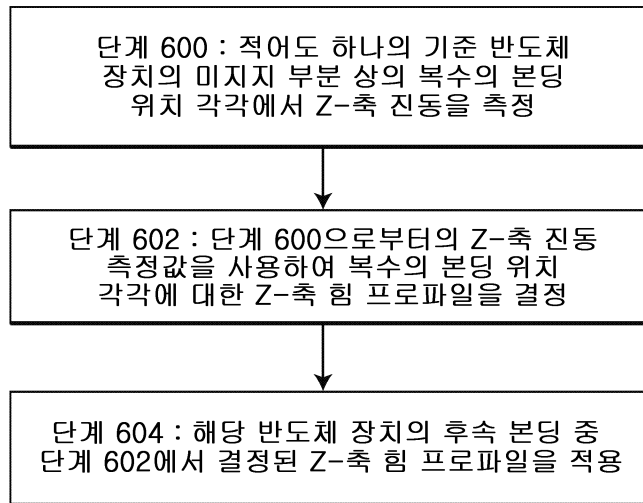
도면5b



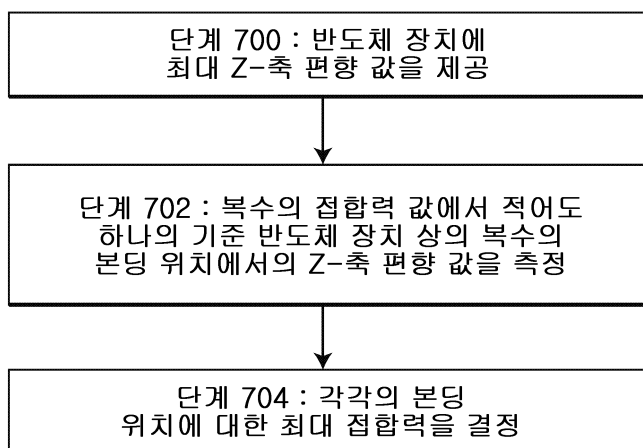
도면5c



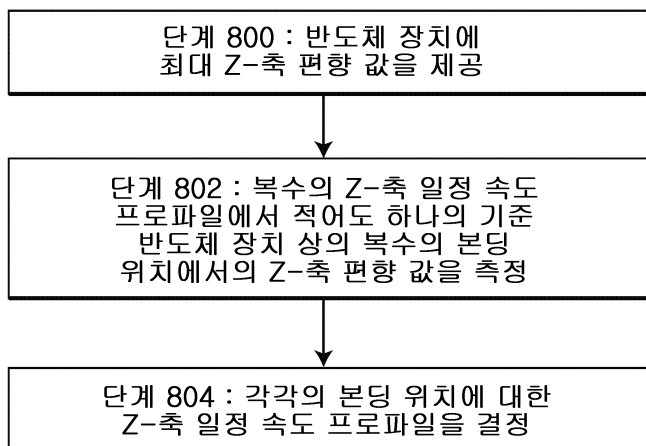
도면6



도면7



도면8





도면9

