



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년07월24일

(11) 등록번호 10-2137455

(24) 등록일자 2020년07월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C30B 29/06 (2006.01) C30B 13/02 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-7023055

(22) 출원일자(국제) 2013년01월25일

심사청구일자 2018년01월19일

(85) 번역문제출일자 2014년08월19일

(65) 공개번호 10-2014-0114440

(43) 공개일자 2014년09월26일

(86) 국제출원번호 PCT/US2013/023215

(87) 국제공개번호 WO 2013/112884

국제공개일자 2013년08월01일

(30) 우선권주장

61/591,073 2012년01월26일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

US20110044877 A1\*

US3069240 A

WO2007/112592 A1

WO02/072312 A1

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

실리코르 머티리얼즈 인코포레이티드

미국 캘리포니아주 95161 산호세 # 610220 런디  
애비뉴 1750

(72) 발명자

튜렌, 알랜

캐나다 엔2에이치 3주9 온타리오주 키즈너 스틸링  
애비뉴 노스 141

스미스, 덴

캐나다 엘6피 1이3 온타리오주 브램턴 휘트웰 드  
라이브 103

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

양영준, 김영

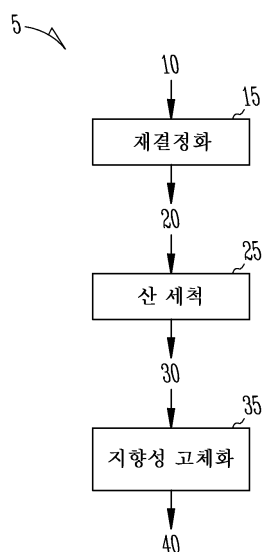
전체 청구항 수 : 총 19 항

심사관 : 김광철

(54) 발명의 명칭 규소 정제 방법

**(57) 요약**

본 발명은 규소의 정제에 관한 것이다. 본 발명은 규소 정제 방법을 제공한다. 방법은 알루미늄을 포함하는 용융 용매로부터 출발 물질-규소를 재결정화하여 최종 재결정화-규소 결정을 제공하는 것을 포함한다. 방법은 또한, 최종 재결정화-규소 결정을 수성 산 용액으로 세척하여 최종 산-세척-규소를 제공하는 것을 포함한다. 방법은 또한, 최종 산-세척-규소를 지향성 고체화시켜 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것을 포함한다.

**대표도** - 도1

(72) 발명자

**다스트기리, 데이먼**

캐나다 엠1퍼 4퍼2 온타리오주 스카보로 엔트럼 크  
레센트 #503 1

**키르스츠, 프리츠 쥐.**

독일 데-12621 베를린 베르니저 스트라쎄 36

**툼밀로, 앤서니**

캐나다 엠4브이 1티5 온타리오주 토론토 히스 스트  
리트 웨스트 7-105

**장, 춘후이**

캐나다 엘5엠 5알8 온타리오주 미시소가 텔브룩 크  
레센트 5854

**오우나드젤라, 카멜**

미국 94002 캘리포니아주 벨몬트 클리퍼 드라이브  
116

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

알루미늄을 포함하는 용융 용매로부터 출발 물질-규소를 재결정화시켜 최종 재결정화-규소 결정을 제공하고;  
 최종 재결정화-규소 결정을 수성 산 용액으로 세척하여 최종 산-세척-규소를 제공하고;  
 최종 산-세척-규소를 지향성 고체화시켜 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것  
 을 포함하는, 규소 정제 방법이며,  
 여기서 최종 재결정화-규소의 세척이,  
 최종 재결정화-규소와 산 용액을, 최종 재결정화-규소가 산 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히  
 조합하여 제1 혼합물을 제공하고;  
 제1 혼합물을 분리하여 산-세척 규소 및 산 용액을 제공하고;  
 산-세척 규소와 행굼액을 조합하여 제4 혼합물을 제공하고;  
 제4 혼합물을 분리하여 습윤 정제 규소 및 행굼액을 제공하고;  
 습윤 정제 규소를 충분히 건조시켜 최종 산-세척-규소를 제공하는 것  
 을 포함하는 것인 방법.

#### 청구항 2

알루미늄을 포함하는 용융 용매로부터 출발 물질-규소를 재결정화시켜 최종 재결정화-규소 결정을 제공하고;  
 최종 재결정화-규소 결정을 수성 산 용액으로 세척하여 최종 산-세척-규소를 제공하고;  
 최종 산-세척-규소를 지향성 고체화시켜 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것  
 을 포함하는, 규소 정제 방법이며,  
 여기서 최종 재결정화-규소의 세척이,  
 최종 재결정화-규소와 약산 용액을, 제1 복합체가 약산 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조  
 합하여 제1 혼합물을 제공하고;  
 제1 혼합물을 분리하여 제3 규소-알루미늄 복합체 및 약산 용액을 제공하고;  
 제3 규소-알루미늄 복합체와 강산 용액을, 제3 복합체가 강산 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분  
 히 조합하여 제3 혼합물을 제공하고;  
 제3 혼합물을 분리하여 제1 규소 및 강산 용액을 제공하고;  
 제1 규소와 제1 행굼액을 조합하여 제4 혼합물을 제공하고;  
 제4 혼합물을 분리하여 습윤 정제 규소 및 제1 행굼액을 제공하고;  
 습윤 정제 규소를 충분히 건조시켜 최종 산-세척-규소를 제공하는 것  
 을 포함하는 것인 방법.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,  
 제1 혼합물을 분리하여 제2 규소-알루미늄 복합체 및 약산 용액을 제공하고;  
 제2 규소-알루미늄 복합체와 중간 산 용액을, 제2 복합체가 중간 산 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도

록 충분히 조합하여 제2 혼합물을 제공하고;

제2 혼합물을 분리하여 제3 규소-알루미늄 복합체 및 중간 산 용액을 제공하는 것을 추가로 포함하는 방법.

#### 청구항 4

제2항에 있어서,

제4 혼합물을 분리하여 제2 규소 및 제1 행금액을 제공하고;

제2 규소와 제2 행금액을 조합하여 제5 혼합물을 제공하고;

제5 혼합물을 분리하여 습윤 규소 및 제2 행금액을 제공하는 것을 추가로 포함하는 방법.

#### 청구항 5

알루미늄을 포함하는 용융 용매로부터 출발 물질-규소를 재결정화시켜 최종 재결정화-규소 결정을 제공하고;

최종 재결정화-규소 결정을 수성 산 용액으로 세척하여 최종 산-세척-규소를 제공하고;

최종 산-세척-규소를 지향성 고체화시켜 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것을

포함하는, 규소 정제 방법이며,

여기서 최종 재결정화-규소의 세척이,

최종 재결정화-규소와 약한 HCl 용액을, 제1 복합체가 약한 HCl 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하여 제1 혼합물을 제공하고;

제1 혼합물을 분리하여 제3 규소-알루미늄 복합체 및 약한 HCl 용액을 제공하고;

제3 규소-알루미늄 복합체와 강한 HCl 용액을, 제3 복합체가 강한 HCl 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하여 제3 혼합물을 제공하고;

제3 혼합물을 분리하여 제1 규소 및 강한 HCl 용액을 제공하고;

제1 규소와 제1 행금액을 조합하여 제4 혼합물을 제공하고;

제4 혼합물을 분리하여 습윤 정제 규소 및 제1 행금액을 제공하고;

습윤 정제 규소를 충분히 건조시켜 최종 산-세척-규소를 제공하고;

약한 HCl 용액으로부터 약한 HCl 용액의 부분을 제거하여 약한 HCl 용액의 pH 및 비중을 유지하고;

강한 HCl 용액의 부분을 약한 HCl 용액에 전달하여 약한 HCl 용액의 pH, 약한 HCl 용액의 부피, 중간 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하고;

벌크 HCl 용액의 부분을 강한 HCl 용액에 첨가하여 강한 HCl 용액의 pH, 강한 HCl 용액의 부피, 강한 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하고;

제1 행금액의 부분을 강한 HCl 용액에 전달하여 강한 HCl 용액의 pH, 강한 HCl 용액의 부피, 강한 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하고;

새로운 물을 제2 행금액에 첨가하여 제2 행금액의 부피를 유지하는 것을

포함하는 것인 방법.

#### 청구항 6

알루미늄을 포함하는 용융 용매로부터 출발 물질-규소를 재결정화시켜 최종 재결정화-규소 결정을 제공하고;

최종 재결정화-규소 결정을 수성 산 용액으로 세척하여 최종 산-세척-규소를 제공하고;

최종 산-세척-규소를 지향성 고체화시켜 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것

을 포함하는, 규소 정제 방법이며,

여기서 최종 재결정화-규소의 세척이,

최종 재결정화-규소와 약한 HCl 용액을, 제1 복합체가 약한 HCl 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하여 제1 혼합물을 제공하고;

제1 혼합물을 분리하여 제2 규소-알루미늄 복합체 및 약한 HCl 용액을 제공하고;

제2 규소-알루미늄 복합체와 중간 HCl 용액을, 제2 복합체가 중간 HCl 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하여 제2 혼합물을 제공하고;

제2 혼합물을 분리하여 제3 규소-알루미늄 복합체 및 중간 HCl 용액을 제공하고;

제3 규소-알루미늄 복합체와 강한 HCl 용액을, 제3 복합체가 강한 HCl 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하여 제3 혼합물을 제공하고;

제3 혼합물을 분리하여 제1 규소 및 강한 HCl 용액을 제공하고;

제1 규소와 제1 행금액을 조합하여 제4 혼합물을 제공하고;

제4 혼합물을 분리하여 제2 규소 및 제1 행금액을 제공하고;

제2 규소와 제2 행금액을 조합하여 제5 혼합물을 제공하고;

제5 혼합물을 분리하여 습윤 정제 규소 및 제2 행금액을 제공하고;

습윤 정제 규소를 충분히 건조시켜 최종 산-세척-규소를 제공하고;

약한 HCl 용액으로부터 약한 HCl 용액의 부분을 제거하여 약한 HCl 용액의 pH 및 비중을 유지하고;

중간 HCl 용액의 부분을 약한 HCl 용액에 전달하여 약한 HCl 용액의 pH, 약한 HCl 용액의 부피, 약한 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하고;

강한 HCl 용액의 부분을 중간 HCl 용액에 전달하여 중간 HCl 용액의 pH, 중간 HCl 용액의 부피, 중간 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하고;

벌크 HCl 용액의 부분을 강한 HCl 용액에 첨가하여 강한 HCl 용액의 pH, 강한 HCl 용액의 부피, 강한 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하고;

제1 행금액의 부분을 강한 HCl 용액에 전달하여 강한 HCl 용액의 pH, 강한 HCl 용액의 부피, 강한 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하고;

제2 행금액의 부분을 제1 행금액에 전달하여 제1 행금액의 부피를 유지하고;

새로운 물을 제2 행금액에 첨가하여 제2 행금액의 부피를 유지하는 것

을 포함하는 것인 방법.

## 청구항 7

알루미늄을 포함하는 용융 용매로부터 출발 물질-규소를 재결정화시켜 최종 재결정화-규소 결정을 제공하고;

최종 재결정화-규소 결정을 수성 산 용액으로 세척하여 최종 산-세척-규소를 제공하고;

최종 산-세척-규소를 지향성 고체화시켜 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것

을 포함하는, 규소 정제 방법이며,

여기서 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화가,

다수의 블록을 포함하는 잉곳(ingot)의 생성을 위한 내부; 및

고체화되어 잉곳을 형성하는 용융 물질이 생성되는 가열로의 내부 형상에 매칭되는 외부 형상

을 포함하는 도가니 내에서 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화를 수행하는 것을 포함하며,

여기서 블록이 격자(grid)를 포함하고, 정사각형 형상의 도가니에서의 격자와 비교할 때, 코너 블록의 백분율에

대한 측면 또는 중앙 블록의 백분율이 증가된 것인 방법.

#### 청구항 8

알루미늄을 포함하는 용융 용매로부터 출발 물질-규소를 재결정화시켜 최종 재결정화-규소 결정을 제공하고;

최종 재결정화-규소 결정을 수성 산 용액으로 세척하여 최종 산-세척-규소를 제공하고;

최종 산-세척-규소를 지향성 고체화시켜 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것

을 포함하는, 규소 정제 방법이며,

여기서 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화가,

다수의 블록을 포함하는 잉곳(ingot)의 생성을 위한 내부; 및

고체화되어 잉곳을 형성하는 용융 물질이 생성되는 가열로의 내부 형상에 매칭되는 외부 형상

을 포함하는 도가니 내에서 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화를 수행하는 것을 포함하며,

여기서 도가니의 둘레가 8개의 주 측면을 포함하고, 여기서 8개의 측면은 동일한 길이의 마주보는 제1 측면의 2 세트, 및 동일한 길이의 마주보는 제2 측면의 2 세트를 포함하고, 여기서 제1 측면은 제2 측면과 번갈아 존재하는 것인 방법.

#### 청구항 9

알루미늄을 포함하는 용융 용매로부터 출발 물질-규소를 재결정화시켜 최종 재결정화-규소 결정을 제공하고;

최종 재결정화-규소 결정을 수성 산 용액으로 세척하여 최종 산-세척-규소를 제공하고;

최종 산-세척-규소를 지향성 고체화시켜 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것

을 포함하는, 규소 정제 방법이며,

여기서 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화가,

잉곳의 생성을 위한 내부;

고체화되어 잉곳을 형성하는 용융 물질이 생성되는 가열로의 내부 형상에 매칭되는 외부 형상

을 포함하는 도가니를 사용하여 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화를 수행하는 것을 포함하며,

여기서 잉곳은 다수의 블록을 포함하고;

다수의 블록은 격자를 포함하고;

가열로의 내부 형상에 매칭되는 외부 형상은, 정사각형 형상을 갖는 도가니를 사용하여 가열로로부터 생성될 수 있는 블록의 수보다 더 많은 수의 블록 생성을 가능하게 하고;

가열로의 내부 형상은 둥근 형상을 포함하고;

도가니의 둘레는 8개의 주 측면을 포함하고, 여기서 8개의 측면은 동일한 길이의 마주보는 보다 긴 측면의 2 세트, 및 동일한 길이의 마주보는 보다 짧은 측면의 2 세트를 포함하고, 여기서 보다 긴 측면은 보다 짧은 측면과 번갈아 존재하는 것인 방법.

#### 청구항 10

알루미늄을 포함하는 용융 용매로부터 출발 물질-규소를 재결정화시켜 최종 재결정화-규소 결정을 제공하고;

최종 재결정화-규소 결정을 수성 산 용액으로 세척하여 최종 산-세척-규소를 제공하고;

최종 산-세척-규소를 지향성 고체화시켜 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것

을 포함하는, 규소 정제 방법이며,

여기서 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화가,

하나 이상의 내화성 물질을 포함하는 지향성 고체화 금형;

외부 재킷; 및

지향성 고체화 금형과 외부 재킷 사이에 적어도 부분적으로 배치된 단열층을 포함하는 장치에서 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화를 수행하는 것을 포함하는 것인 방법.

#### 청구항 11

알루미늄을 포함하는 용융 용매로부터 출발 물질-규소를 재결정화시켜 최종 재결정화-규소 결정을 제공하고; 최종 재결정화-규소 결정을 수성 산 용액으로 세척하여 최종 산-세척-규소를 제공하고; 최종 산-세척-규소를 지향성 고체화시켜 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것을 포함하는, 규소 정제 방법이며, 여기서 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화가,

하나 이상의 내화성 물질을 포함하는 지향성 고체화 금형;

외부 재킷; 및

지향성 고체화 금형과 외부 재킷 사이에 적어도 부분적으로 배치된 단열층을 포함하는 지향성 고체화 장치를 제공하고; 최종 산-세척-규소를 적어도 부분적으로 용융시켜 제1 용융 규소를 제공하고; 제1 용융 규소를 지향성 고체화 금형 내에서 지향성 고체화시켜 제2 규소를 제공하는 것을 포함하는 것인 방법.

#### 청구항 12

제11항에 있어서, 지향성 고체화 금형 위에 가열 요소 및 유도 가열기로부터 선택된 하나 이상의 가열 부재를 배치하는 것을 포함하는, 지향성 고체화 금형 위에 가열기를 배치하는 것을 추가로 포함하는 방법.

#### 청구항 13

알루미늄을 포함하는 용융 용매로부터 출발 물질-규소를 재결정화시켜 최종 재결정화-규소 결정을 제공하고; 최종 재결정화-규소 결정을 수성 산 용액으로 세척하여 최종 산-세척-규소를 제공하고; 최종 산-세척-규소를 지향성 고체화시켜 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것을 포함하는, 규소 정제 방법이며, 여기서 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화가, 지향성 고체화 금형 및 상단 가열기를 포함하는 장치를 사용하여 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화를 수행하는 것을 포함하며, 상기 지향성 고체화 금형은

내화성 물질;

지향성 고체화 규소가 지향성 고체화 금형으로부터 제거될 때 금형의 나머지 부분을 손상으로부터 보호하도록 구성된, 슬립-면 내화재를 포함하는 상단 층;

강철을 포함하는 외부 재킷; 및

지향성 고체화 금형의 하나 이상의 측벽과 외부 재킷의 하나 이상의 측벽 사이에 적어도 부분적으로 배치된, 단열 벽돌, 내화성 물질, 내화성 물질의 혼합물, 단열판, 세라믹 페이퍼, 고온 울 또는 이들의 혼합물을 포함하는 단열층

을 포함하며, 여기서 지향성 고체화 금형의 하나 이상의 측벽은 산화알루미늄을 포함하고, 지향성 고체화 금형

의 저부는 탄화규소, 흑연 또는 이들의 조합을 포함하고,  
상기 상단 가열기는

각각 가열 요소 또는 유도 가열기를 포함하는 하나 이상의 가열 부재;

단열 벽돌, 내화재, 내화재의 혼합물, 단열판, 세라믹 페이퍼, 고온 울 또는 이들의 조합을 포함하는 단열재; 및

스테인레스 강을 포함하는 외부 재킷

을 포함하며, 여기서 가열 요소는 탄화규소, 이규화몰리브데넘, 흑연 또는 이들의 조합을 포함하고, 단열재는 하나 이상의 가열 부재와 상단 가열기 외부 재킷 사이에 적어도 부분적으로 배치되고,

상기 장치는 규소의 지향성 고체화에 2회 초과로 사용되도록 구성되는 것인 방법.

#### 청구항 14

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서,

최종 지향성 고체화-규소 결정을 샌드 블라스팅(sand blasting) 또는 아이스 블라스팅(ice blasting)하여 샌드- 또는 아이스-블라스팅된 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것

을 추가로 포함하며, 여기서 샌드- 또는 아이스-블라스팅된 최종 지향성 고체화-규소 결정의 평균 순도는 최종 지향성 고체화-규소 결정의 평균 순도보다 더 높은 것인 방법.

#### 청구항 15

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서,

최종 지향성 고체화-규소 결정의 일부분을 제거하여 트리밍된(trimmed) 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것

을 추가로 포함하며, 여기서 트리밍된 최종 지향성 고체화-규소 결정의 평균 순도는 최종 지향성 고체화-규소 결정의 평균 순도보다 더 높은 것인 방법.

#### 청구항 16

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 출발 물질-규소의 재결정화가,

출발 물질-규소를 알루미늄을 포함하는 용매 금속과 충분히 접촉시켜 제1 혼합물을 제공하고;

제1 혼합물을 충분히 용융시켜 제1 용융 혼합물을 제공하고;

제1 용융 혼합물을 충분히 냉각시켜 최종 재결정화-규소 결정 및 모액을 형성하고;

최종 재결정화-규소 결정 및 모액을 분리하여 최종 재결정화-규소 결정을 제공하는 것

을 포함하는 것인 방법.

#### 청구항 17

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 출발 물질-규소의 재결정화가,

출발 물질-규소를 제1 모액과 충분히 접촉시켜 제1 혼합물을 제공하고;

제1 혼합물을 충분히 용융시켜 제1 용융 혼합물을 제공하고;

제1 용융 혼합물을 충분히 냉각시켜 제1 규소 결정 및 제2 모액을 형성하고;

제1 규소 결정 및 제2 모액을 분리하여 제1 규소 결정을 제공하고;

제1 규소 결정을 알루미늄을 포함하는 제1 용매 금속과 충분히 접촉시켜 제2 혼합물을 제공하고;

제2 혼합물을 충분히 용융시켜 제2 용융 혼합물을 제공하고;

제2 용융 혼합물을 충분히 냉각시켜 최종 재결정화-규소 결정 및 제1 모액을 형성하고;



최종 재결정화-규소 결정 및 제1 모액을 분리하여 최종 재결정화-규소 결정을 제공하는 것을 포함하는 것인 방법.

#### 청구항 18

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 출발 물질-규소의 재결정화가,  
출발 물질-규소를 제2 모액과 충분히 접촉시켜 제1 혼합물을 제공하고;  
제1 혼합물을 충분히 용융시켜 제1 용융 혼합물을 제공하고;  
제1 용융 혼합물을 냉각시켜 제1 규소 결정 및 제3 모액을 형성하고;  
제1 규소 결정 및 제3 모액을 분리하여 제1 규소 결정을 제공하고;  
제1 규소 결정 및 제1 모액을 충분히 접촉시켜 제2 혼합물을 제공하고;  
제2 혼합물을 충분히 용융시켜 제2 용융 혼합물을 제공하고;  
제2 용융 혼합물을 냉각시켜 제2 규소 결정 및 제2 모액을 제공하고;  
제2 규소 결정 및 제2 모액을 분리하여 제2 규소 결정을 제공하고;  
제2 규소 결정을 알루미늄을 포함하는 제1 용매 금속과 충분히 접촉시켜 제3 혼합물을 제공하고;  
제3 혼합물을 충분히 용융시켜 제3 용융 혼합물을 제공하고;  
제3 용융 혼합물을 냉각시켜 최종 재결정화-규소 결정 및 제1 모액을 형성하고;  
최종 재결정화-규소 결정 및 제1 모액을 분리하여 최종 재결정화-규소 결정을 제공하는 것을 포함하는 것인 방법.

#### 청구항 19

제7항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 최종 재결정화-규소의 세척이,  
최종 재결정화-규소와 산 용액을, 최종 재결정화-규소가 산 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하여 제1 혼합물을 제공하고;  
제1 혼합물을 분리하여 최종 산-세척 규소를 제공하는 것을 포함하는 것인 방법.

#### 청구항 20

삭제

#### 청구항 21

삭제

#### 청구항 22

삭제

### 발명의 설명

### 기술 분야

### 배경 기술

우선권 주장

[0001]

- [0002] 본 출원은, 2012년 1월 26일에 출원된 미국 가특허출원 번호 61/591,073을 우선권 주장하며, 상기 가출원은 그 전문이 본원에 참조로 포함된다.
- [0003] **본 발명의 배경**
- [0004] 규소의 정제는 많은 상업적 및 산업적 공정에서 중요한 단계이다. 규소로부터 불순물을 경제적으로 제거하여 그의 순도를 증가시키는 것의 달성은, 이들 공정의 최적화에 있어 주요 목표이다. 그러나, 규소로부터, 특히 대규모로, 불순물을 분리하는 효율적인 방법은 종종 이용하기 어렵고 곤란하다.
- [0005] 태양 전지는, 태양광을 전기 에너지로 전환시키는 그의 능력을 이용함으로써 에너지원으로서 현재 사용되고 있다. 규소는 이러한 광전지에서 반도체 물질로서 거의 단독적으로 사용된다. 현재 태양 전지의 사용에 대한 상당한 제한은, 규소를 태양 전지의 제조에 사용될 수 있는 충분히 높은 등급 (예를 들어, 태양 등급)으로 정제하는 비용과 관련되어 다루어져야 한다. 현재의 에너지 수요 및 공급 제한의 관점에서, 야금 등급 (MG) 규소 (또는 태양 등급보다 더 많은 불순물을 갖는 임의의 다른 규소)를 태양 전지의 제조에 사용될 수 있는 충분히 높은 등급으로 정제하는 더욱 비용 효율적인 방식에 대한 막대한 필요성이 존재한다.
- [0006] 정제 규소의 여러 제조 기술이 공지되어 있다. 이들 기술의 대부분은, 규소는 용융 액체로부터 고체화되면서 바람직하지 않은 불순물은 용융 액체 중에 남아있는 경향이 있다는 원리에 따라 작업된다. 예를 들어, 부유 대역 기술을 이용하여 단결정질 잉곳(ingot)을 제조할 수 있고, 이는 고체 물질 중에서 액체 대역을 이동시켜, 물질의 연부로 불순물을 이동시키는 것을 이용한다. 또 다른 예에서는, 초크랄스키(Czochralski) 기술을 이용하여 단결정질 잉곳을 제조할 수 있고, 이는 용액으로부터 서서히 인출되는 시드 결정을 사용하여, 용액 중에 불순물을 남기면서 규소의 단결정질 칼럼 형성을 가능하게 한다. 또 다른 예에서는, 브릿지만(Bridgeman) 또는 열 교환 기술을 이용하여 다결정질 잉곳을 제조할 수 있고, 이는 온도 구배를 이용하여 지향성 고체화를 일으킨다.
- [0007] 규소의 결정화는 원치않는 불순물을 제거하기 위해 이용되는 하나의 방법이다. 결정화에서는, 불순물을 갖는 규소를 용매 중에 용해시키고, 이어서 용액으로부터 다시 결정화를 일으켜, 보다 순수한 규소를 형성한다. 결정화는 경제적인 정제 방식일 수 있지만, 특정 결점이 순도 손실 및 비효율성을 초래할 수 있다. 예를 들어, 금속성 용매, 예컨대 알루미늄을 사용하여 규소를 결정화시키는 방법에서는, 가치있는 규소 물질이 불순물과 함께 알루미늄 모액 중에 남겨진다. 규소를 분별 결정화시키기 위한 반복적 시도는 규소 손실의 비례적 증가를 일으킬 수 있다. 또 다른 예에서, 규소는 알루미늄으로부터 완전하게 결정화되지 않을 수 있지만, 먼저 비교적 순수한 목적 물질로서 결정화되고, 이어서 이들 결정 위에 규소와 알루미늄 형태 등의 불순물의 조합이 결정화된다. 때때로 이 효과는, 알루미늄 용액으로부터의 결정질 규소의 수율이 최대화되도록 시도되는 경우에 강조될 수 있다. 다른 경우에, 규소 및 알루미늄의 시스템의 고유 특성은, 원치않는 물질이 순수 결정 상에 침착되기 전에 결정화를 완전히 중단시키는 것이 어렵거나 불가능하다는 것이다. 원치않는 물질이 규소 결정의 표면 상에서 결정화되기 전에 결정화가 완전히 중단되는 경우에도, 모액으로부터 제거될 때 규소 결정 상에 남아있는 용융 모액이 고체화될 수 있고, 이는 유사한 부정적 효과를 일으킨다.
- [0008] 태양 전지를 위한 규소 결정의 다양한 제조 기술에서는, 용융 제조 단계 동안 규소를 보유하기 위해 도가니를 사용한다. 그러나, 표준 도가니의 사용에는 여러 단점이 존재한다. 불행히도, 대부분의 도가니는, 예를 들어 용융 규소가 고체화되면서 그의 크기 또는 형상 변화로 인해, 단일 사용 후에 파괴된다. 단결정질 잉곳의 생성 방법은, 고가이며 취성인 물질인 석영 도가니의 사용을 포함할 수 있다. 다결정질 잉곳의 생성 방법에서는 일반적으로 보다 큰 도가니가 사용되고, 석영의 비용으로 인해, 이들 도가니는 종종 보다 저렴한 물질, 예컨대 용융 실리카 또는 다른 내화성 물질로 제조된다. 보다 저렴한 물질로 제조됨에도 불구하고, 용융 실리카 또는 다른 내화제로 제조된 큰 도가니는 여전히 제조에 고비용이 들고, 일반적으로 1회만 사용될 수 있다. 도가니의 고비용 및 제한된 수명의 조합은 규소 정제 장치 및 방법의 경제적 효율을 제한한다.
- [0009] 또한, 도가니와 접촉되거나 가깝게 있는 물질은 고체화됨에 따라 도가니로부터 또는 도가니의 코팅으로부터 오염될 수 있고; 이러한 불순 물질은 고체화가 완료된 후에 고체 물질로부터 트리밍될 수 있다. 물질을 보다 큰 형상으로 고체화시킴으로써, 공정 동안 공기 또는 도가니 또는 다른 오염물에 노출되는 물질의 표면적이 최소화될 수 있고, 따라서 오염에 의해 불순해진 물질의 트리밍에 의해 낭비되는 물질이 최소화될 수 있다. 또 다른 예에서, 최종 동결(last-to-freeze) 물질은 종종 최고 오염물 농도를 갖고, 이는 고체화된 물질의 표면에 위치할 수 있고, 종종 이들 표면은 또한 사용 전에 고체화된 물질로부터 트리밍된다. 표면적 대 부피의 비율을 작게 함으로써, 보다 큰 형상의 이용에 의해 이러한 낭비 물질이 최소화된다. 보다 큰 규모의 유리함은, 특히 생성된 잉곳의 의도된 용도가 고품질 잉곳을 요구하는 경우, 용융 물질로부터 잉곳의 형성을 위한 보다 큰 도가니

의 사용을 촉진하였다. 그러나, 보다 큰 도가니의 사용은 보다 큰 가열로(furnace)의 구입을 요구할 수 있고, 이는 상당한 비용이 들 수 있다.

## 발명의 내용

### 발명의 개요

본 발명은 규소의 정제에 관한 것이다. 본 발명은 규소 정제 방법을 제공한다. 방법은, 알루미늄을 포함하는 용융 용매로부터 출발 물질-규소를 재결정화시켜 최종 재결정화-규소 결정을 제공하는 것을 포함한다. 방법은 또한, 최종 재결정화-규소 결정을 수성 산 용액으로 세척하여 최종 산-세척-규소를 제공하는 것을 포함한다. 방법은 또한, 최종 산-세척-규소를 지향성 고체화시켜 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것을 포함한다.

본 발명의 실시양태는, 주어진 비용으로, 정제 규소 중의 보다 적은 양의 불순물 및 보다 일관된 불순물 농도와 같은 이득 및 이점을 포함한다. 방법은 주어진 비용으로 보다 일관된 품질의 정제 규소를 제공할 수 있고, 이는 방법의 생성물이 다른 방법의 생성물에 비해 더욱 가치있게 되도록 할 수 있다. 방법은 다른 방법에 비해 보다 효율적일 수 있다. 또 다른 이득은, 보다 고품질의 생성물을 생성하기 위해 사용될 수 있는 정제 규소의 제조를 포함하고, 이는 유사한 비용으로 제조된 다른 정제 규소에 비해 더욱 가치있을 수 있다. 방법 실시양태는 보다 낮은 비용으로 우수한 품질의 잉곳을 제공할 수 있고, 이는 다른 방법에 의해 제공된 것들에 비해 전체적으로 보다 높은 품질의 규소 블록으로 분할될 수 있다. 태양 전지 제조에 사용되는 경우, 잉곳으로부터 유래된 규소 블록은 보다 저비용으로 보다 효율적인 태양 전지를 생성할 수 있다.

결정화 단계에서 모액을 재순환시키는 실시양태에서, 방법은 정제되는 규소를 보다 적게 낭비할 수 있고, 이는 알루미늄 용매의 보다 효율적인 사용을 제공할 수 있다. 산-세척 단계에서, 공정으로부터 배출되는 용해되거나 반응된 불순물은 가치있는 제품으로서 판매될 수 있다. 산-세척에서, 정제 단계를 통해 다시 수성 산 및 물을 재순환시키는 것은 재료를 절약하여 비용을 감소시킬 수 있고, 낭비를 줄일 수 있다. 가장 약한 용해 혼합물로 개시되는 산-세척에서 캐스케이드식 용해 단계를 이용함으로써, 발열 화학 반응 또는 용해가 다른 방법에서보다 더 용이하게 조절될 수 있다. 도가니 및 방법의 일부 실시양태는 또한, 유사한 도가니 및 방법에 비해 주어진 가열로에서 단일 블록 배치에서 보다 많은 블록을 생성할 수 있다. 일례에서, 지향성 고체화 장치의 재사용가능성은 방법이 경제적으로 보다 효율적인 규소 정제 방식을 제공할 수 있도록 도울 수 있다. 지향성 고체화 장치의 재사용가능성은 낭비를 줄이도록 도울 수 있고, 지향성 고체화를 위한 보다 큰 도가니의 사용에 대한 보다 경제적인 방식을 제공할 수 있다. 일부 실시양태에서, 지향성 고체화 및 방법은 전체적으로 규모 조정의 경제성으로부터 이득을 얻을 수 있다. 추가로, 지향성 고체화 장치의 일부 실시양태에서 존재하는 가열기는 규소를 가열하거나, 규소의 온도를 유지하거나, 규소의 냉각을 조절하거나, 또는 이들의 조합을 제공하는 편리하고 효율적인 방식을 제공하고, 이는 온도 구배에 걸쳐 정밀한 조절 및 상응하는 규소의 지향성 고체화를 가능하게 할 수 있다.

본 발명은 규소 정제 방법을 제공한다. 방법은 알루미늄을 포함하는 용융 용매로부터 출발 물질-규소를 재결정화시켜 최종 재결정화-규소 결정을 제공하는 것을 포함한다. 방법은 최종 재결정화-규소 결정을 수성 산 용액으로 세척하여 최종 산-세척-규소를 제공하는 것을 포함한다. 방법은 또한, 최종 산-세척-규소를 지향성 고체화시켜 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것을 포함한다.

일부 실시양태에서, 규소 정제 방법은, 최종 지향성 고체화-규소 결정을 샌드 블라스팅(sand blasting) 또는 아이스 블라스팅(ice blasting)하여 샌드- 또는 아이스-블라스팅된 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것을 추가로 포함할 수 있다. 샌드- 또는 아이스-블라스팅된 최종 지향성 고체화-규소 결정의 평균 순도는 최종 지향성 고체화-규소 결정의 평균 순도보다 더 높다.

일부 실시양태에서, 규소 정제 방법은, 최종 지향성 고체화-규소 결정의 일부분을 제거하여 트리밍된 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것을 추가로 포함할 수 있다. 트리밍된 최종 지향성 고체화-규소 결정의 평균 순도는 최종 지향성 고체화-규소 결정의 평균 순도보다 더 높다.

규소 정제 방법의 일부 실시양태에서, 출발 물질-규소의 재결정화는, 출발 물질-규소와 알루미늄을 포함하는 용매 금속을 접촉시키는 것을 포함할 수 있다. 접촉은 제1 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 출발 물질-규소의 재결정화는 제1 혼합물의 용융을 포함할 수도 있다. 제1 혼합물의 용융은 제1 용융 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 재결정화는 제1 용융 혼합물을 냉각시키는 것을 포함할 수도 있다. 냉각은 최종 재결정화-규소 결정 및 모액을 형성하기에 충분할 수 있다. 출발 물질-규소의 재결정화는 최종 재결정화-규소 결정 및 모

액을 분리하는 것을 포함할 수도 있다. 분리는 최종 재결정화-규소 결정을 제공할 수 있다.

[0018] 규소 정제 방법의 일부 실시양태에서, 출발 물질-규소의 재결정화는 출발 물질-규소와 제1 모액을 접촉시키는 것을 포함할 수 있다. 접촉은 제1 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 재결정화는 제1 혼합물을 용융시키는 것을 포함할 수도 있다. 용융은 제1 용융 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 재결정화는 제1 용융 혼합물을 냉각시키는 것을 포함할 수도 있다. 냉각은 제1 규소 결정 및 제2 모액을 형성하기에 충분할 수 있다. 재결정화는 제1 규소 결정 및 제2 모액을 분리하는 것을 포함할 수도 있다. 분리는 제1 규소 결정을 제공할 수 있다. 재결정화는 제1 규소 결정과 알루미늄을 포함하는 제1 용매 금속을 접촉시키는 것을 포함할 수도 있다. 접촉은 제2 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 재결정화는 제2 혼합물을 용융시키는 것을 포함할 수도 있다. 용융은 제2 용융 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 재결정화는 제2 용융 혼합물을 냉각시키는 것을 포함할 수도 있다. 냉각은 최종 재결정화-규소 결정 및 제1 모액을 형성하기에 충분할 수 있다. 출발 물질-규소의 재결정화는 최종 재결정화-규소 결정 및 제1 모액을 분리하는 것을 포함할 수도 있다. 분리는 최종 재결정화-규소 결정을 제공할 수 있다.

[0019] 규소 정제 방법의 일부 실시양태에서, 출발 물질-규소의 재결정화는 출발 물질-규소와 제2 모액을 접촉시키는 것을 포함할 수 있다. 접촉은 제1 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 재결정화는 제1 혼합물을 용융시키는 것을 포함할 수 있다. 용융은 제1 용융 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 재결정화는 제1 용융 혼합물을 냉각시키는 것을 포함할 수 있다. 냉각은 제1 규소 결정 및 제3 모액을 형성할 수 있다. 재결정화는 제1 규소 결정 및 제3 모액을 분리하는 것을 포함할 수도 있다. 분리는 제1 규소 결정을 제공할 수 있다. 재결정화는 제1 규소 결정 및 제1 모액을 접촉시키는 것을 포함할 수도 있다. 접촉은 제2 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 재결정화는 제2 혼합물을 용융시키는 것을 포함할 수도 있다. 용융은 제2 용융 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 재결정화는 제2 용융 혼합물을 냉각시키는 것을 포함할 수도 있다. 냉각은 제2 규소 결정 및 제2 모액을 형성할 수 있다. 재결정화는 제2 규소 결정 및 제2 모액을 분리하는 것을 포함할 수 있다. 분리는 제2 규소 결정을 제공할 수 있다. 재결정화는 제2 규소 결정과 알루미늄을 포함하는 제1 용매 금속을 접촉시키는 것을 포함할 수 있다. 접촉은 제3 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 재결정화는 제3 혼합물을 용융시키는 것을 포함할 수 있다. 용융은 제3 용융 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 재결정화는 제3 용융 혼합물을 냉각시키는 것을 포함할 수 있다. 냉각은 최종 재결정화-규소 결정 및 제1 모액을 형성할 수 있다. 출발 물질-규소의 재결정화는 최종 재결정화-규소 결정 및 제1 모액을 분리하는 것을 포함할 수도 있다. 분리는 최종 재결정화-규소 결정을 제공할 수 있다.

[0020] 규소 정제 방법의 일부 실시양태에서, 최종 재결정화-규소의 세척은, 최종 재결정화-규소와 산 용액을, 최종 재결정화-규소가 산 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하는 것을 포함할 수 있다. 조합은 제1 혼합물을 제공할 수 있다. 세척은 제1 혼합물을 분리하는 것을 포함할 수도 있다. 분리는 최종 산-세척 규소를 제공할 수 있다.

[0021] 규소 정제 방법의 일부 실시양태에서, 최종 재결정화-규소의 세척은, 최종 재결정화-규소와 산 용액을, 최종 재결정화-규소가 산 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하는 것을 포함할 수 있다. 조합은 제1 혼합물을 제공할 수 있다. 세척은 제1 혼합물을 분리하는 것을 포함할 수 있다. 분리는 산-세척 규소 및 산 용액을 제공할 수 있다. 세척은 산-세척 규소와 행금액을 조합하는 것을 포함할 수 있다. 조합은 제4 혼합물을 제공할 수 있다. 세척은 제4 혼합물을 분리하는 것을 포함할 수 있다. 분리는 습윤 정제 규소 및 행금액을 제공할 수 있다. 세척은 습윤 정제 규소를 건조시키는 것을 포함할 수 있다. 건조는 최종 산-세척-규소를 제공하기에 충분할 수 있다.

[0022] 규소 정제 방법의 일부 실시양태에서, 최종 재결정화-규소의 세척은, 최종 재결정화-규소와 약산 용액을, 제1 복합체가 약산 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하는 것을 포함할 수 있다. 조합은 제1 혼합물을 제공할 수 있다. 세척은 제1 혼합물을 분리하는 것을 포함할 수 있다. 분리는 제3 규소-알루미늄 복합체 및 약산 용액을 제공할 수 있다. 세척은 제3 규소-알루미늄 복합체와 강산 용액을, 제3 복합체가 강산 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하는 것을 포함할 수 있다. 조합은 제3 혼합물을 제공할 수 있다. 세척은 제3 혼합물을 분리하는 것을 포함할 수 있다. 분리는 제1 규소 및 강산 용액을 제공할 수 있다. 세척은 제1 규소와 제1 행금액을 조합하는 것을 포함할 수 있다. 조합은 제4 혼합물을 제공할 수 있다. 세척은 제4 혼합물을 분리하는 것을 포함할 수 있다. 분리는 습윤 정제 규소 및 제1 행금액을 제공할 수 있다. 세척은 습윤 정제 규소를 건조시키는 것을 포함할 수 있다. 건조는 최종 산-세척-규소를 제공하기에 충분할 수 있다. 일부 실시양태에서, 세척 방법은, 제1 혼합물을 분리하여 제2 규소-알루미늄 복합체 및 약산 용액을 제공하고; 제2 규소-알루미늄 복합체와 중간 산 용액을, 제2 복합체가 중간 산 용액과 적어도 부분적으로 반응할



수 있도록 충분히 조합하여 제2 혼합물을 제공하고; 제2 혼합물을 분리하여 제3 규소-알루미늄 복합체 및 중간 산 용액을 제공하는 것을 추가로 포함할 수 있다. 일부 실시양태에서, 세척 방법은, 제4 혼합물을 분리하여 제2 규소 및 제1 행금액을 제공하고; 제2 규소와 제2 행금액을 조합하여 제5 혼합물을 제공하고; 제5 혼합물을 분리하여 습윤 규소 및 제2 행금액을 제공하는 것을 추가로 포함할 수 있다.

[0023]

규소 정제 방법의 일부 실시양태에서, 최종 재결정화-규소의 세척은, 최종 재결정화-규소와 약한 HCl 용액을, 제1 복합체가 약한 HCl 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하는 것을 포함할 수 있다. 조합은 제1 혼합물을 제공할 수 있다. 세척은 제1 혼합물을 분리하는 것을 포함할 수 있다. 분리는 제3 규소-알루미늄 복합체 및 약한 HCl 용액을 제공할 수 있다. 세척은, 제3 규소-알루미늄 복합체와 강한 HCl 용액을, 제3 복합체가 강한 HCl 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하는 것을 포함할 수 있다. 조합은 제3 혼합물을 제공할 수 있다. 세척은 제3 혼합물을 분리하는 것을 포함할 수 있다. 분리는 제1 규소 및 강한 HCl 용액을 제공할 수 있다. 세척은 제1 규소와 제1 행금액을 조합하는 것을 포함할 수 있다. 조합은 제4 혼합물을 제공할 수 있다. 세척은 제4 혼합물을 분리하는 것을 포함할 수 있다. 분리는 습윤 정제 규소 및 제1 행금액을 제공할 수 있다. 세척은 습윤 정제 규소를 건조시키는 것을 포함할 수 있다. 건조는 최종 산-세척-규소를 제공하기에 충분할 수 있다. 세척은 약한 HCl 용액으로부터 약한 HCl 용액의 부분을 제거하여 약한 HCl 용액의 pH 및 비중을 유지하는 것을 포함할 수 있다. 세척은 강한 HCl 용액의 부분을 약한 HCl 용액에 전달하여 약한 HCl 용액의 pH, 약한 HCl 용액의 부피, 중간 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하는 것을 포함할 수 있다. 세척은 벌크 HCl 용액의 부분을 강한 HCl 용액에 첨가하여 강한 HCl 용액의 pH, 강한 HCl 용액의 부피, 강한 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하는 것을 포함할 수 있다. 세척은 제1 행금액의 부분을 강한 HCl 용액에 전달하여 강한 HCl 용액의 pH, 강한 HCl 용액의 부피, 강한 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하는 것을 포함할 수 있다. 세척은 새로운 물을 제2 행금액에 첨가하여 제2 행금액의 부피를 유지하는 것을 포함할 수도 있다.

[0024]

규소 정제 방법의 일부 실시양태에서, 최종 재결정화-규소의 세척은, 최종 재결정화-규소와 약한 HCl 용액을, 제1 복합체가 약한 HCl 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하는 것을 포함할 수 있다. 조합은 제1 혼합물을 제공할 수 있다. 세척은 제1 혼합물을 분리하는 것을 포함할 수 있다. 분리는 제2 규소-알루미늄 복합체 및 약한 HCl 용액을 제공할 수 있다. 세척은, 제2 규소-알루미늄 복합체와 중간 HCl 용액을, 제2 복합체가 중간 HCl 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하는 것을 포함할 수 있다. 조합은 제2 혼합물을 제공할 수 있다. 세척은 제2 혼합물을 분리하는 것을 포함할 수 있다. 분리는 제3 규소-알루미늄 복합체 및 중간 HCl 용액을 제공할 수 있다. 세척은, 제3 규소-알루미늄 복합체와 강한 HCl 용액을, 제3 복합체가 강한 HCl 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하는 것을 포함할 수 있다. 조합은 제3 혼합물을 제공할 수 있다. 세척은 제3 혼합물을 분리하는 것을 포함할 수 있다. 분리는 제1 규소 및 강한 HCl 용액을 제공할 수 있다. 세척은 제1 규소와 제1 행금액을 조합하는 것을 포함할 수 있다. 조합은 제4 혼합물을 제공할 수 있다. 세척은 제4 혼합물을 분리하는 것을 포함할 수 있다. 분리는 제2 규소 및 제1 행금액을 제공할 수 있다. 세척은 제2 규소와 제2 행금액을 조합하는 것을 포함할 수 있다. 조합은 제5 혼합물을 제공할 수 있다. 세척은 제5 혼합물을 분리하는 것을 포함할 수 있다. 분리는 습윤 정제 규소 및 제2 행금액을 제공할 수 있다. 세척은 습윤 정제 규소를 건조시키는 것을 포함할 수 있다. 세척은 최종 산-세척-규소를 제공하기에 충분할 수 있다. 세척은 약한 HCl 용액으로부터 약한 HCl 용액의 부분을 제거하여 약한 HCl 용액의 pH 및 비중을 유지하는 것을 포함할 수 있다. 세척은 중간 HCl 용액의 부분을 약한 HCl 용액에 전달하여 약한 HCl 용액의 pH, 약한 HCl 용액의 부피, 약한 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하는 것을 포함할 수 있다. 세척은 강한 HCl 용액의 부분을 중간 HCl 용액에 전달하여 중간 HCl 용액의 pH, 중간 HCl 용액의 부피, 중간 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하는 것을 포함할 수 있다. 세척은, 벌크 HCl 용액의 부분을 강한 HCl 용액에 첨가하여 강한 HCl 용액의 pH, 강한 HCl 용액의 부피, 강한 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하는 것을 포함할 수 있다. 세척은, 제1 행금액의 부분을 강한 HCl 용액에 전달하여 강한 HCl 용액의 pH, 강한 HCl 용액의 부피, 강한 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하는 것을 포함할 수 있다. 세척은 제2 행금액의 부분을 제1 행금액에 전달하여 제1 행금액의 부피를 유지하는 것을 포함할 수 있다. 세척은 새로운 물을 제2 행금액에 첨가하여 제2 행금액의 부피를 유지하는 것을 포함할 수도 있다.

[0025]

규소 정제 방법의 일부 실시양태에서, 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화는 두가지 순차적 지향성 고체화를 포함하여 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공한다.

[0026]

규소 정제 방법의 일부 실시양태에서, 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화는, 도가니 내에서 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화를 수행하는 것을 포함한다. 도가니는 잉곳의 생성을 위한 내부를 포함할 수 있다. 잉곳 도

가니는 다수의 블록을 포함할 수 있다. 도가니는 또한, 고체화되어 잉곳을 형성하는 용융 물질이 생성되는 가열로의 내부 형상에 대략 매칭되는 외부 형상을 포함할 수 있다. 일부 실시양태에서, 잉곳의 블록은 격자(grid)를 형성할 수 있고, 여기서는 정사각형 도가니에서의 격자와 비교할 때, 코너 블록의 백분율에 대한 측면 또는 중앙 블록의 백분율이 증가되어 있다. 일부 실시양태에서, 도가니의 둘레는 대략 8개의 주 측면을 포함할 수 있고, 여기서 8개의 측면은 대략 동일한 길이의 대략 마주보는 제1 측면의 2 세트, 및 대략 동일한 길이의 대략 마주보는 제2 측면의 2 세트를 포함하고, 여기서 제1 측면은 제2 측면과 번갈아 존재한다.

[0027] 규소 정제 방법의 일부 실시양태에서, 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화는, 잉곳의 생성을 위한 내부를 포함하는 도가니 내에서 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화를 수행하는 것을 포함한다. 도가니는, 고체화되어 잉곳을 형성하는 용융 물질이 생성되는 가열로의 내부 형상에 대략 매칭되는 외부 형상을 포함할 수 있다. 잉곳은 다수의 블록을 포함할 수 있다. 잉곳에 포함되는 다수의 블록은 격자를 형성할 수 있다. 가열로의 내부 형상에 매칭되는 도가니의 외부 형상은, 정사각형 형상을 갖는 도가니를 사용하여 가열로부터 생성될 수 있는 블록의 수보다 더 많은 수의 블록 생성을 가능하게 할 수 있다. 가열로의 내부 형상은 대략 둥근 형상을 포함할 수 있다. 도가니의 둘레는 대략 8개의 주 측면을 포함하고, 여기서 8개의 측면은 대략 동일한 길이의 대략 마주보는 보다 긴 측면의 2 세트, 및 대략 동일한 길이의 대략 마주보는 보다 짧은 측면의 2 세트를 포함한다. 보다 긴 측면은 보다 짧은 측면과 번갈아 존재한다.

[0028] 규소 정제 방법의 일부 실시양태에서, 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화는, 지향성 고체화 금형을 포함하는 장치에서 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화를 수행하는 것을 포함한다. 지향성 고체화 금형은 하나 이상의 내화성 물질을 포함할 수 있다. 장치는 외부 재킷을 포함할 수 있다. 장치는 단열층을 포함할 수 있다. 단열층은 적어도 부분적으로 지향성 고체화 금형과 외부 재킷 사이에 배치될 수 있다.

[0029] 규소 정제 방법의 일부 실시양태에서, 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화는 지향성 고체화 장치를 제공하는 것을 포함할 수 있다. 장치는 하나 이상의 내화성 물질을 포함하는 지향성 고체화 금형을 포함할 수 있다. 장치는 외부 재킷을 포함할 수 있다. 장치는 또한, 지향성 고체화 금형과 외부 재킷 사이에 적어도 부분적으로 배치된 단열층을 포함할 수 있다. 지향성 고체화는 최종 산-세척-규소를 적어도 부분적으로 용융시키는 것을 포함할 수 있다. 용융은 제1 용융 규소를 제공할 수 있다. 지향성 고체화는 지향성 고체화 금형 내에서 제1 용융 규소를 지향성 고체화시키는 것을 포함할 수도 있다. 지향성 고체화는 제2 규소를 제공할 수 있다. 일부 실시양태에서, 지향성 고체화는 지향성 고체화 금형 위에 가열기를 배치하는 것을 포함할 수도 있다. 배치는 지향성 고체화 금형 위에 가열 요소 및 유도 가열기로부터 선택된 하나 이상의 가열 부재를 배치하는 것을 포함할 수 있다.

[0030] 규소 정제 방법의 일부 실시양태에서, 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화는 지향성 고체화 장치를 제공하는 것을 포함할 수 있다. 장치는 지향성 고체화 금형을 포함할 수 있다. 지향성 고체화 금형은 내화성 물질을 포함할 수 있다. 지향성 고체화 금형은 상단 층을 포함할 수 있다. 상단 층은 슬립-면 내화재를 포함할 수 있다. 상단 층은, 지향성 고체화 규소가 지향성 고체화 금형으로부터 제거될 때 금형의 나머지 부분을 손상으로부터 보호하도록 구성될 수 있다. 지향성 고체화 금형은 외부 재킷을 포함할 수 있다. 외부 재킷은 스틸을 포함할 수 있다. 지향성 고체화 금형은 단열층을 포함할 수 있다. 단열층은 단열 벽돌, 내화성 물질, 내화성 물질들의 혼합물, 단열판, 세라믹 페이퍼, 고온 울(wool) 또는 이들의 혼합물을 포함할 수 있다. 단열층은 지향성 고체화 금형의 하나 이상의 측면과 외부 재킷의 하나 이상의 측면 사이에 적어도 부분적으로 배치될 수 있다. 지향성 고체화 금형의 하나 이상의 측면은 산화알루미늄을 포함할 수 있다. 지향성 고체화 금형의 저부는 탄화규소, 흑연 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 장치는 또한 상단 가열기를 포함할 수 있다. 상단 가열기는 하나 이상의 가열 부재를 포함할 수 있다. 각각의 가열 부재는 가열 요소 또는 유도 가열기를 포함할 수 있다. 가열 요소는 탄화규소, 이규화몰리브데넘, 흑연 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 상단 가열기는 단열재를 포함할 수 있다. 단열재는 단열 벽돌, 내화재, 내화재의 혼합물, 단열판, 세라믹 페이퍼, 고온 울 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 상단 가열기는 외부 재킷을 포함할 수 있다. 외부 재킷은 스테인레스 강을 포함할 수 있다. 단열재는 하나 이상의 가열 부재와 상단 가열기 외부 재킷 사이에 적어도 부분적으로 배치될 수 있다. 장치는 규소의 지향성 고체화에 2회 초과로 사용되도록 구성될 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

[0031] 도면 (이들은 반드시 일정 비율로 도시된 것은 아님)에서, 여러 도 전반에 걸쳐 동일한 숫자는 실질적으로 유사한 구성요소를 나타낸다. 상이한 문자 접미사를 갖는 동일한 숫자는 실질적으로 유사한 구성요소의 상이한 예를 나타낸다. 도면은 일반적으로, 예로서 (그러나 제한적인 것은 아님), 본원에서 논의된 다양한 실시양태를

나타내는 것이다.

도 1은 일부 실시양태에 따른 규소 정제 방법의 블록 흐름도를 나타낸다.

도 2a는 일부 실시양태에 따른 단일 경로 재결정화의 블록 흐름도를 나타낸

도 2b는 일부 실시양태에 따른 이중 경로 재결정화의 블록 흐름도를 나타낸다.

도 3은 일부 실시양태에 따른 삼중 경로 재결정화 캐스케이드 공정의 블록 흐름도를 나타낸다.

도 4는 일부 실시양태에 따른 삼중 경로 재결정화 캐스케이드 공정의 도를 나타낸다.

도 5는 일부 실시양태에 따른 삼중 경로 재결정화 캐스케이드 공정의 도를 나타낸다.

도 6은 일부 실시양태에 따른 재결정화 캐스케이드 공정의 제1 경로 세부도를 나타낸다.

도 7은 일부 실시양태에 따른 삼중 경로 재결정화 캐스케이드 공정의 블록 흐름도를 나타낸다.

도 8은 일부 실시양태에 따른 사중 경로 재결정화 캐스케이드 공정의 도를 나타낸다.

도 9는 일부 실시양태에 따른 산 세척 단계의 일반적 흐름도를 나타낸다.

도 10은 일부 실시양태에 따른 산 세척 단계의 흐름도를 나타낸다.

도 11은 일부 실시양태에 따른 산 세척 단계에서 약산 용액의 부분을 제거하는 경우에 대한 의사결정 분지도를 나타낸다.

도 12는 일부 실시양태에 따른 산 세척 단계의 흐름도를 나타낸다.

도 13은 일부 실시양태에 따른 32 블록 156 mm x 156 mm 도가니의 상면도를 나타낸다.

도 14는 일부 실시양태에 따른 도가니 내의 32 블록 156 mm x 156 mm 잉곳의 상면도를 나타낸다.

도 15는 일부 실시양태에 따른 도가니 (100)의 측면도를 나타낸다.

도 16은 일부 실시양태에 따른 규소의 지향성 고체화를 위한 장치의 금형, 외부 재킷 및 단열층의 횡단면도를 나타낸다.

도 17은 일부 실시양태에 따른 규소의 지향성 고체화를 위한 장치의 금형, 외부 재킷 및 단열층의 횡단면도를 나타낸다.

도 18은 일부 실시양태에 따른 규소의 지향성 고체화를 위한 장치의 가열기의 횡단면도를 나타낸다.

도 19는 일부 실시양태에 따른, 금형의 상단에 배치된 가열기를 포함하는, 규소의 지향성 고체화를 위한 장치의 3D 투영도를 나타낸다.

도 20은 일부 실시양태에 따른 규소의 지향성 고체화를 위한 장치의 가열기의 등측도를 나타낸다.

도 21은 일부 실시양태에 따른 규소의 지향성 고체화를 위한 장치의 금형의 등측도를 나타낸다.

도 22는 일부 실시양태에 따른 본 발명의 장치 및 방법에 의해 생성된 규소 잉곳을 나타낸다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

### [0032] 발명의 상세한 설명

[0033] 이제, 개시된 청구 사항에 대한 특정 청구항을 상세히 참조하며, 그의 예는 첨부된 도면에 나타나 있다. 개시된 청구 사항을 열거된 청구항과 관련하여 기재할 것이지만, 이들은 개시된 청구 사항이 이들 청구항에 제한되도록 의도되지는 않음을 이해할 것이다. 반면, 개시된 청구 사항은 모든 대안, 변형, 및 등가물을 포괄하도록 의도되며, 이들은 청구항에 의해 정의되는 바와 같은 본원에 개시된 청구 사항의 범위 내에 포함될 수 있다.

[0034] 명세서에서 "하나의 실시양태", "한 실시양태", "예시적 실시양태" 등의 언급은, 기재된 실시양태가 특정 특징부, 구조 또는 특징을 포함할 수 있으나, 모든 실시양태가 반드시 그 특정 특징부, 구조 또는 특징을 포함하지는 않을 수 있음을 나타낸다. 또한, 이러한 어구가 반드시 동일한 실시양태를 언급하는 것은 아니다. 또한, 특정 특징부, 구조 또는 특징이 하나의 실시양태와 관련하여 기재된 경우, 명시적으로 기재되든 아니든 다른 실시양태와 관련하여 이러한 특징부, 구조 또는 특징에 영향을 주는 것은 당업자의 지식 범위 내에 있음이 제기된

다.

- [0035] 본원에서, 용어 "a" 또는 "an"은 하나 또는 하나 초과를 포함하기 위해 사용되며, 용어 "또는"은 달리 지시되지 않는 한 비-배타적 "또는"을 나타내기 위해 사용된다. 또한, 본원에서 사용되는, 또한 달리 정의되지 않는 어구 또는 용어는, 단지 설명을 위한 것이며 제한적인 것은 아님을 이해하여야 한다. 또한, 본원에서 언급된 모든 공개문헌, 특허, 및 특허 문헌은, 개별적으로 참조로 포함되는 것과 같이 그 전문이 본원에 참조로 포함된다. 본원과 이와 같이 참조로 포함된 문헌들 사이의 모순되는 사용의 경우, 포함된 문헌에서의 사용이 본원의 경우에 대해 보충적인 것으로 고려되어야 하고; 양립불가능한 모순의 경우에는, 본원에서의 사용이 우선적이다.
- [0036] 본원에 기재된 제조 방법에서, 단계들은, 시간적 또는 작업적 순서가 명시적으로 언급되는 경우를 제외하고는, 본 발명의 원리에서 벗어나지 않으면서 임의의 순서로 수행될 수 있다. 청구항에서 먼저 하나의 단계를 수행하고, 이어서 후속적으로 여러 다른 단계를 수행한다는 취지로 언급한 것은, 제1 단계를 수행한 후에 임의의 다른 단계를 수행하지만, 다른 단계는, 다른 단계 내에서 순서가 추가로 언급되지 않는 한, 임의의 적합한 순서로 수행될 수 있음을 의미하는 것으로 이해된다. 예를 들어, "단계 A, 단계 B, 단계 C, 단계 D, 및 단계 E"를 언급하는 청구 요소는, 단계 A를 먼저 수행하고, 단계 E를 마지막으로 수행하고, 단계 B, C, 및 D는 단계 A와 E 사이에서 임의의 순서로 수행될 수 있음을 의미하며, 순서는 여전히 청구된 방법의 문자 그대로의 범위 내에 포함됨을 의미하는 것으로 해석된다. 주어진 단계 또는 단계들의 서브세트는 또한 반복되거나, 또는 다른 단계와 동시에 수행될 수 있다. 또 다른 예에서, "단계 A, 단계 B, 단계 C, 단계 D, 및 단계 E"를 언급하는 청구 요소는, 단계 A를 먼저 수행하고, 다음으로 단계 B를 수행하고, 다음으로 단계 C를 수행하고, 다음으로 단계 D를 수행하고, 단계 E를 마지막으로 수행함을 의미하는 것으로 해석될 수 있다.
- [0037] 또한, 특정된 단계는, 명시적 청구범위 용어가 이들이 별도로 수행된다고 언급하지 않는 한, 함께 수행될 수 있다. 예를 들어, X를 수행하는 청구 단계 및 Y를 수행하는 청구 단계는 단일 작업 내에서 동시에 수행될 수 있고, 그 결과로서의 방법은 청구된 방법의 문자 그대로의 범위 내에 포함된다.
- [0038] 정의
- [0039] 단수형 "a", "an" 및 "the"는 달리 명확히 지시되지 않는 한 복수형을 포함할 수 있다.
- [0040] 본원에서 사용되는 바와 같이, 일부 예에서, "제1", "제2", "제3" 등과 같은 용어는, "모액", "결정", "용융 혼합물", "혼합물", "행균액", "용융 규소" 등과 같은 다른 용어에 적용될 때, 단순히 단계들 사이의 구별에 대한 일반적 용어로서 사용되며, 달리 명백히 지시되지 않는 한, 이들 자체가 단계의 우선성 또는 단계의 순서를 나타내지는 않는다. 예를 들어, 일부 예에서 "제3 모액"이 요소일 수 있지만, 제1 또는 제2 모액은 그 예의 요소가 아닐 수 있다. 다른 예에서는, 제1, 제2, 및 제3 모액 모두가 일례의 요소일 수 있다.
- [0041] 용어 "약"은, 값 또는 범위에서의 어느 정도의 변동성, 예를 들어, 언급된 값 또는 언급된 범위 한계의 10% 이내, 5% 이내, 또는 1% 이내의 변동성을 허용할 수 있다. 순차적 값들의 범위 또는 목록이 주어지는 경우, 달리 특정되지 않는 한, 그 범위 내의 임의의 값 또는 주어진 순차적 값들 사이의 임의의 값이 또한 개시되는 것이다.
- [0042] 본원에서 사용되는 바와 같이, 용어 "용매"는 고체, 액체, 또는 기체를 용해시킬 수 있는 액체를 지칭한다. 용매의 비제한적 예는, 용융 금속, 실리콘, 유기 화합물, 물, 알콜, 이온성 액체, 및 초임계 유체이다.
- [0043] 본원에서 사용되는 바와 같이, 용어 "~로부터 독립적으로 선택된"은 언급된 그룹이, 문맥에서 달리 명백히 지시되지 않는 한, 동일한, 상이한, 또는 이들의 조합임을 나타낸다. 따라서, 이러한 정의 하에, 어구 " $X^1$ ,  $X^2$ , 및  $X^3$ 은 영족 기체로부터 독립적으로 선택된다"는, 예를 들어,  $X^1$ ,  $X^2$ , 및  $X^3$ 이 모두 동일한,  $X^1$ ,  $X^2$ , 및  $X^3$ 이 모두 상이한,  $X^1$  및  $X^2$ 은 동일하지만  $X^3$ 은 상이한, 또한 다른 유사 순열의 시나리오를 포함한다.
- [0044] 본원에서 사용되는 바와 같이, 용어 "공기"는, 일반적으로 지반면에서, 대기로부터 얻어진 천연 기체 조성물과 대략 동일한 조성을 갖는 기체의 혼합물을 지칭한다. 일부 예에서, 공기는 주변 환경으로부터 얻어진다. 공기는 대략 78% 질소, 21% 산소, 1% 아르곤, 0.04% 이산화탄소, 뿐만 아니라 소량의 다른 기체를 포함하는 조성을 갖는다.
- [0045] 본원에서 사용되는 바와 같이, 용어 "실온"은, 예를 들어, 약 15℃ 내지 약 28℃일 수 있는 주위 온도를 지칭한다.



- [0046] 본원에서 사용되는 바와 같이, "혼합물"은 서로 물리적 접촉된 2종 이상의 물질의 조합을 지칭한다. 예를 들어, 혼합물의 성분은 화학 반응과 다르게 물리적으로 조합될 수 있다.
- [0047] 본원에서 사용되는 바와 같이, "용융(melting)"은 충분한 열에 노출시 고체로부터 액체로의 물질 변화를 지칭한다.
- [0048] 본원에서 사용되는 바와 같이, "정제"는 외부 또는 오염 물질로부터의 관심있는 화학 물질의 물리적 또는 화학적 분리를 지칭한다.
- [0049] 본원에서 사용되는 바와 같이, "접촉하는"은 닿는, 접촉을 이루는, 또는 물질이 바로 근접하게 되는 행위를 지칭한다.
- [0050] 본원에서 사용되는 바와 같이, "결정화"는 용액으로부터 물질의 결정 (결정질 물질)을 형성하는 공정을 포함한다. 공정은, 공급 스트림을 냉각시키거나, 또는 목적 생성물의 용해도를 감소시키는 침전제를 첨가하여 이것이 결정을 형성하도록 함으로써, 종종 극히 순수한 형태로, 액체 공급 스트림으로부터 생성물을 분리한다. 이어서, 경사분리, 여과, 원심분리 또는 다른 수단에 의해 잔류액으로부터 순수 고체 결정이 분리된다.
- [0051] 본원에서 사용되는 바와 같이, "결정질"은 고체 상태의 원자의 규칙적인 기하학적 배열을 포함한다.
- [0052] 본원에서 사용되는 바와 같이, "분리"는 물질을 또 다른 물질로부터 제거하는 (예를 들어, 고체 또는 액체를 혼합물로부터 제거하는) 공정을 지칭한다. 공정에서는 당업자에게 공지된 임의의 적합한 기술, 예를 들어, 혼합물의 경사분리, 혼합물로부터의 하나 이상의 액체의 스키밍, 혼합물의 원심분리, 혼합물로부터의 고체의 여과, 또는 이들의 조합이 이용될 수 있다.
- [0053] 본원에서 사용되는 바와 같이, "모액(mother liquor/mother liquid)"은, 액체 중 고체의 용액의 혼합물로부터 고체 (예를 들어, 결정)를 제거한 후에 얻어지는 고체 또는 액체를 지칭한다. 제거의 완전성에 따라, 모액은 인지가능하지 않은 양의 이들 고체를 포함할 수 있다.
- [0054] 본원에서 사용되는 바와 같이, "규소"는 기호 Si 및 원자 번호 14를 갖는 화학 원소를 지칭한다. 본원에서 사용되는 바와 같이, "야금 등급 규소" 또는 "MG 규소" 또는 "MG Si"는 비교적 순수한 (예를 들어, 약 96.0 중량% 이상의) 규소를 지칭한다.
- [0055] 본원에서 사용되는 바와 같이, "용융(molten)"은 물질이 용융된 것을 지칭하며, 여기서 용융은 고체 물질을 이것이 액체로 변하는 지점 (융점이라 불림)으로 가열하는 공정이다.
- [0056] 본원에서 사용되는 바와 같이, "용매 금속"은, 가열에 따라, 규소를 효과적으로 용해시켜 용융 액체를 생성할 수 있는 하나 이상의 금속, 또는 이들의 합금을 지칭한다. 용매 금속의 적합한 예는, 예를 들어, 구리, 주석, 아연, 안티모니, 은, 비스무트, 알루미늄, 카드뮴, 갈륨, 인듐, 마그네슘, 납, 이들의 합금, 및 이들의 조합을 포함한다.
- [0057] 본원에서 사용되는 바와 같이, "합금"은, 적어도 하나는 금속이고, 생성된 물질이 금속 특성을 갖는, 2종 이상의 원소의 균질 혼합물을 지칭한다. 생성된 금속성 물질은 통상적으로 그의 성분들의 특성과 상이한 특성 (때로는 현저히 상이한 특성)을 갖는다.
- [0058] 본원에서 사용되는 바와 같이, "액상선"은, 그 위에서 주어진 물질이 액체 상으로 안정한 상 평형도 상의 선을 지칭한다. 가장 통상적으로는, 이 선은 전이 온도를 나타낸다. 액상선은 직선일 수 있거나, 또는 이는 물질에 따라 굽어질 수 있다. 액상선은 가장 흔하게는, 금속 합금을 포함하는, 고용체와 같은 2성분계에 적용된다. 액상선은 고상선과 대조적일 수 있다. 액상선 및 고상선은 반드시 나란하거나 중첩되지는 않으며; 액상선과 고상선 사이에 갭이 존재하는 경우, 그 갭 내에서, 물질이 액체 또는 고체로서 안정하지 않다.
- [0059] 본원에서 사용되는 바와 같이, "고상선"은, 그 아래에서 주어진 물질이 고체 상으로 안정한 상 평형도 상의 선을 지칭한다. 가장 통상적으로는, 이 선은 전이 온도를 나타낸다. 고상선은 직선일 수 있거나, 또는 이는 물질에 따라 굽어질 수 있다. 고상선은 가장 흔하게는, 금속 합금을 포함하는, 고용체와 같은 2성분계에 적용된다. 고상선은 액상선과 대조적일 수 있다. 고상선 및 액상선은 반드시 나란하거나 중첩되지는 않는다. 고상선과 액상선 사이에 갭이 존재하는 경우, 그 갭 내에서, 물질이 단순히 고체 또는 액체로서 안정하지 않고; 예를 들어, 감람석 (마그네슘 감람석-철 감람석) 시스템의 경우에 그러하다.
- [0060] 본원에서 사용되는 바와 같이, "드로스(dross)"는 용융 금속 배스 상에 부유하는 고체 불순물의 덩어리를 지칭한다. 이는 통상적으로, 주석, 납, 아연 또는 알루미늄 등의 저융점 금속 또는 합금의 용융시에, 또는

금속(들)의 산화에 의해 나타난다. 이는, 예를 들어, 이를 표면으로부터 스키밍함으로써 제거될 수 있다. 주석 및 납을 사용하는 경우, 드로스는, 산화물을 용해시켜 슬래그를 형성하는 수산화나트륨 펠렛을 첨가함으로써 제거될 수도 있다. 다른 금속을 사용하는 경우에는, 염 플럭스를 첨가하여 드로스를 분리할 수 있다. 드로스는, 고체가 됨으로써, 합금 상에 부유하는 (점성) 액체인 슬래그와 구별된다.

[0061] 본원에서 사용되는 바와 같이, "슬래그"는 금속 정제를 위한 광석 제련의 부산물을 지칭한다. 이들은 금속 산화물의 혼합물인 것을 고려될 수 있지만; 이들은 금속 황화물 및 금속 원자를 원소 형태로 함유할 수 있다. 슬래그는 일반적으로 금속 제련에서 폐기물 제거 메커니즘으로서 사용된다. 사실상, 철, 구리, 납, 알루미늄, 및 다른 금속과 같은 금속의 광석은 불순한 상태로 발견되고, 이는 종종 산화되어 다른 금속의 실리케이트와 혼합된다. 제련 동안, 광석이 고온에 노출되는 경우, 이들 불순물은 용융 금속으로부터 분리되어 제거될 수 있다. 제거된 화합물의 수집물이 슬래그이다. 슬래그는 계획적으로, 예컨대 금속 정제를 향상시키기 위해 생성된 다양한 산화물 및 다른 물질의 블렌드일 수도 있다.

[0062] 본원에서 사용되는 바와 같이, "불활성 기체"는, 정상적 환경 하에 반응성이 아닌, 임의의 기체 또는 기체의 조합을 지칭한다. 불활성 기체가 반드시 원소인 것은 아니고, 종종 분자 기체이다. 영족 기체와 같이, 비-반응성에 대한 경향성은 원자가에 기인하는 것이고, 여기서 최외각 전자 쉘은 모든 불활성 기체에서 완전하다. 불활성 기체는 영족 기체일 수 있지만, 반드시 그러한 것은 아니다. 불활성 기체의 예는, 예를 들어, 헬륨 (He), 네온 (Ne), 아르곤 (Ar) 및 질소 (N<sub>2</sub>)를 포함한다.

[0063] 본원에서 사용되는 바와 같이, "지향성 고체화"는, 공급 금속이 고체화가 일어나는 부분에 대해 계속적으로 이용가능하게 되는 용융 금속의 고체화를 지칭한다.

[0064] 본원에서 사용되는 바와 같이, "단결정질 규소" 또는 "폴리-Si"는 다수의 단결정질 규소 결정을 포함하는 물질을 지칭한다.

[0065] 본원에서 사용되는 바와 같이, "단결정질 규소"는 결정 또는 불순물이 거의 없는 단일의 연속적 결정 격자 구조를 갖는 규소를 지칭한다.

[0066] 본원에서 사용되는 바와 같이, "잉곳"은 캐스트 물질의 덩어리를 지칭한다. 일부 예에서, 물질의 형상은 잉곳이 비교적 용이하게 수송될 수 있게 한다. 예를 들어, 용점을 지나서 가열되어 바(bar) 또는 블록으로 성형된 금속이 잉곳으로서 지칭된다.

[0067] 본원에서 사용되는 바와 같이, "보울(boule)"은, 합성적으로 제조된 단결정 잉곳을 지칭한다. 예를 들어, 초크랄스키 또는 "CZ" 공정에서는, 시드 결정을 사용하여 보다 큰 결정, 또는 잉곳을 생성시킨다. 이 시드 결정을 순수 용융 규소에 침지시키고 서서히 추출한다. 용융 규소는 결정 방식으로 시드 결정 상에서 성장한다. 시드가 추출됨에 따라, 결정이 성장하고, 결국 큰 원형 보울이 생성된다.

[0068] 본원에서 사용되는 바와 같이, "임의의"는 수행되거나 존재하는, 또는 수행되지 않거나 존재하지 않는 어떠한 것을 지칭한다. 예를 들어, 임의의 단계는 수행되거나 수행되지 않는 단계이다. 또 다른 예에서, 임의의 성분은 존재하거나 존재하지 않는 성분이다.

[0069] 본원에서 사용되는 바와 같이, "산 용액"은 임의의 농도의 산을 함유하는 용액을 지칭한다.

[0070] 본원에서 사용되는 바와 같이, "삼염화알루미늄"은 AlCl<sub>3</sub>을 지칭한다.

[0071] 본원에서 사용되는 바와 같이, "배치"는 비-연속적 제조 또는 사용; 단일 작업으로 제조되거나 사용되는 어떠한 것을 지칭한다.

[0072] 본원에서 사용되는 바와 같이, "빈(bin)"은 물질의 보유, 수송, 저장, 또는 사용을 위한 용기를 지칭한다. 빈은 연속적 고형체일 필요는 없고, 빈은 천공부 또는 홀을 가질 수 있다.

[0073] 본원에서 사용되는 바와 같이, "연속적"은 비-배치식 제조 또는 사용, 중단되지 않는 제조 또는 사용을 지칭한다. 연속적 공정은 무한히 연속적일 필요는 없으나, 공정을 포함하는 방법이 작업 중인 동안에는 실질적으로 연속적이어야 한다.

[0074] 본원에서 사용되는 바와 같이, "결정"은 매우 규칙적인 구조를 갖는 고체를 지칭한다. 결정은 원소 또는 분자의 고체화에 의해 형성될 수 있다.

[0075] 본원에서 사용되는 바와 같이, "제1 복합체", "제2 복합체", 및 "제3 복합체"는 하나 초과와 사물, 특히 물질,

화합물, 또는 화학 원소의 조합을 지칭한다. 복합체는 거시적일 수 있고, 예를 들어 상기 용어는 분자 또는 원자 규모의 화학 원소의 조합을 필요로 하거나 배제하지 않는다. 복합체는 일관적이지 않은 분포를 가질 수 있다. 복합체는 합금일 수 있거나, 또는 합금을 함유할 수 있다.

- [0076] 본원에서 사용되는 바와 같이, "용해 화학물질"은 하나 이상의 용해 화학물질을 지칭하고, 하나 초과 용해 화학물질을 지칭할 수 있다. 용해 화학물질은 하나 이상의 불순물과 반응하거나, 하나 이상의 불순물을 용해시키거나, 또는 이들의 조합인 화학물질을 지칭할 수 있다.
- [0077] 본원에서 사용되는 바와 같이, "건조"는, 적어도 부분적인 물의 제거를 지칭하고, 이는 물의 실질적 대부분이 제거된 어떠한 것을 지칭할 수 있다.
- [0078] 본원에서 사용되는 바와 같이, "압출된"은, 중력의 힘에 의한 것을 포함하거나, 중력에 의해 발생된 액체 압력의 힘에 의한 것을 포함하거나, 중력의 힘에 의해 또는 다른 수단에 의해 생성된 액체 압력에 의해 고체가 홀로부터 인출되는 것을 포함하는, 홀로부터 스퀴징되거나 인출되는 것을 지칭한다.
- [0079] 본원에서 사용되는 바와 같이, "새로운 물"은 정제되는 물질로부터의 불순물 또는 화학물질 세척에 아직 사용되지 않은 물을 지칭한다.
- [0080] 본원에서 사용되는 바와 같이, "헤드 스페이스"는, 일반적으로 둘러싸인 환경 내의 (그러나 반드시 그러하지는 않음), 어떠한 것 위의 공기의 부피를 지칭한다.
- [0081] 본원에서 사용되는 바와 같이, "가열기"는 다른 어떠한 것에 열을 부여할 수 있는 디바이스를 지칭한다.
- [0082] 본원에서 사용되는 바와 같이, "정제되는 물질"은 하나 이상의 물질일 수 있고, 여러 물질일 수 있으며, 여러 물질이 합금, 화학적 화합물, 결정, 또는 이들의 조합으로 조합될 수 있다.
- [0083] 본원에서 사용되는 바와 같이, "혼합물"은 2종 이상의 물질이 조합되는 것을 지칭한다. 조합은, 두 물질의 긴밀한 접촉이 존재하도록 하는 것일 수 있다.
- [0084] 본원에서 사용되는 바와 같이, "용융(molten)"은 액체, 특히 실온에서 고체인 물질의 액체 상을 지칭한다.
- [0085] 본원에서 사용되는 바와 같이, "과산화물"은 산소-산소 단일 결합을 갖는 화합물을 지칭하며, 과산화수소를 포함한다.
- [0086] 본원에서 사용되는 바와 같이, "pH"는 용액의 산성 또는 염기성의 척도를 지칭한다. 이는 용해된 수소 이온, 예를 들어  $H^+$ 의 몰 농도의 밀(base)이 10인 대수의 음수에 근접한다.
- [0087] 본원에서 사용되는 바와 같이, "폴리알루미늄 클로라이드" (또한, PAC로서 약칭됨)는, 화학식  $Al_nCl_{(3n-m)}(OH)_m$ 의 화합물을 지칭한다. 이는 또한 알루미늄 클로로하이드레이트로서 지칭될 수 있다.
- [0088] 본원에서 사용되는 바와 같이, "반응"은, 화학 반응, 또는 산 용액 또는 용해 용액 및 불순한 규소와 관련하여 용해되는 것을 지칭한다.
- [0089] 본원에서 사용되는 바와 같이, "센서"는 다른 것의 특징 또는 특성을 검출할 수 있는 장치를 지칭한다.
- [0090] 본원에서 사용되는 바와 같이, "분리" 또는 "분리하다"는 하나를 다른 하나로부터 적어도 부분적으로 제거하는 것을 지칭한다.
- [0091] 본원에서 사용되는 바와 같이, "침강 탱크"는, 고체 물질이 저부로 침강될 수 있게 하여, 액체가 탱크로 도입될 때 함유한 것보다 더 적은 고체를 갖고 탱크로부터 제거될 수 있도록 디자인된 탱크를 지칭한다. 일부 예에서, 침강 탱크는 원뿔형일 수 있고, 고체 배출을 가능하게 하도록 저부에 밸브를 가질 수 있다.
- [0092] 본원에서 사용되는 바와 같이, "비중"은 물의 밀도에 대한 물질의 밀도를 지칭한다. 비중은 대략 3.98°C에서, 또한 1기압에서 측정된 물질의 밀도를 물의 밀도로 나눈 것을 지칭할 수 있다.
- [0093] 본원에서 사용되는 바와 같이, "증기"는 기체상 물 또는 수증기를 지칭한다.
- [0094] 본원에서 사용되는 바와 같이, "탱크"는 상단에서 개방될 수 있는 (그러나 반드시 그러한 것은 아님) 용기를 지칭한다.
- [0095] 본원에서 사용되는 바와 같이, "밸브"는 어떠한 것의 다른 것을 통한 유동을 허용하거나 중단시키는 디바이스를

지칭한다.

- [0096] 본원에서 사용되는 바와 같이, "블록"은 임의의 형상을 가질 수 있는 잉곳의 단편을 지칭한다. 일반적으로, 블록은 정사각형 형상이다.
- [0097] 본원에서 사용되는 바와 같이, "측면 블록"은 잉곳의 둘레와 한쪽 측면을 공유하는 블록을 지칭한다.
- [0098] 본원에서 사용되는 바와 같이, "중앙 블록"은 잉곳의 둘레와 측면을 공유하지 않는 블록을 지칭한다.
- [0099] 본원에서 사용되는 바와 같이, "코너 블록"은 잉곳의 둘레와 2개의 측면을 공유하는 블록을 지칭한다.
- [0100] 본원에서 사용되는 바와 같이, "코팅"은 또 다른 물질의 적어도 일부를 덮는 하나의 물질의 층을 지칭하며, 여기서 층은 그것이 덮은 물질만큼 두껍거나, 그보다 더 두껍거나, 또는 더 얇을 수 있다.
- [0101] 본원에서 사용되는 바와 같이, "카운터-싱크형(counter-sunk)"는, 보다 넓은 둘레의 2차 원뿔형 또는 반-원뿔형 홈이 해당 물질 내의 특정 둘레의 1차 원통형 홈의 대략 상부의 물질 표면에 보다 근접하여, 하드웨어가 그것이 설치된 표면 위로 돌출되지 않도록, 또는 2차 홈이 존재하지 않는 경우에 비해 하드웨어가 그것이 설치된 표면 위로 보다 덜 돌출되도록 형성된, 나사, 볼트, 또는 유사한 하드웨어의 설치 방식을 지칭한다.
- [0102] 본원에서 사용되는 바와 같이, "카운터-보어형"은, 보다 넓은 둘레의 2차 원통형 홈이 해당 물질 내의 특정 둘레의 1차 원통형 홈의 대략 상부의 물질 표면에 보다 근접하여, 하드웨어가 그것이 설치된 표면 위로 돌출되지 않도록, 또는 2차 홈이 존재하지 않는 경우에 비해 하드웨어가 그것이 설치된 표면 위로 보다 덜 돌출되도록 형성된, 나사, 볼트, 또는 유사한 하드웨어의 설치 방식을 지칭한다.
- [0103] 본원에서 사용되는 바와 같이, "도가니"는, 용융 물질을 보유할 수 있고, 물질이 용융되어 용융물이 됨에 따라 물질을 보유할 수 있고, 용융 물질이 고체화되거나 결정화되거나 또는 이들의 조합이 됨에 따라 이를 보유할 수 있는 용기를 지칭한다.
- [0104] 본원에서 사용되는 바와 같이, "곡선"은 대략 굽어진, 또는 대략적 원호 형상에 따르는 표면을 지칭하며, 완전히 굽어질 필요는 없다. 표면이 굽어졌는지의 여부에 접근하는 데 있어, 전체적으로 표면이 대략적 원호를 따르는 경우, 일부 부분 (하나의 부분 포함), 여러 부분, 또는 모든 부분에서 직선(들)을 따르는 표면이 굽어진 것이 될 수 있도록, 평균이 고려된다.
- [0105] 본원에서 사용되는 바와 같이, "격자"는, 규칙적으로 이격된 수평선 및 수직선의 패턴을 형성하는 2개 이상의 블록, 블록의 연부 패턴을 지칭한다.
- [0106] 본원에서 사용되는 바와 같이, "내각"은 두 각도 중 작은 각인 두 표면 사이에 형성된 각을 지칭한다.
- [0107] 본원에서 사용되는 바와 같이, "편평 측면"은, 대략 곧은, 전체적으로 최소로 굽어진, 또한 완전히 편평할 필요는 없는 측면을 지칭한다. 곧음에 접근하는 데 있어, 전체적으로 측면이 대략적 직선을 따르는 경우, 약간 앞뒤로 수회 굽어진 측면이 편평 측면이 될 수 있도록, 평균이 고려된다.
- [0108] 본원에서 사용되는 바와 같이, "가열로"는, 물질을 가열하기 위한 구획을 갖는 기계, 디바이스, 장치, 또는 다른 구조물을 지칭한다.
- [0109] 본원에서 사용되는 바와 같이, "가열로 용량"은 가열로의 구획의 부피를 지칭한다.
- [0110] 본원에서 사용되는 바와 같이, "둘레"는 물체 또는 형상의 외부 연부를 지칭한다.
- [0111] 본원에서 사용되는 바와 같이, "둥근"은 날카로운 코너를 갖지 않는 형상, 예를 들어 90도 코너를 갖지 않는 형상을 지칭한다. 둥근 형상은 원형 또는 타원형일 수 있다. 둥근 형상은 둥글려진 연부를 갖는 정사각형 형상을 포함할 수 있다.
- [0112] 본원에서 사용되는 바와 같이, "도관"은, 물질을 통과하는 튜브 형상의 홈 (여기서 물질이 반드시 튜브 형상은 아님)을 지칭한다. 예를 들어, 물질의 블록을 통해 진행되는 홈이 도관이다. 홈은 직경보다 더 큰 길이를 가질 수 있다. 도관은 물질 내에서 튜브 (파이프 포함)를 케이싱함으로써 형성될 수 있다.
- [0113] 본원에서 사용되는 바와 같이, "지향성 고체화"는, 대략 하나의 위치에서 출발하여, 대략 선형 방향으로 (예를 들어, 수직으로, 수평으로, 또는 표면에 대해 수직으로) 진행되고, 대략 또 다른 위치에서 종료되는 물질의 결정화를 지칭한다. 이러한 정의에서 사용되는 바와 같이, 위치는 점, 면, 또는 굽은 면 (링 또는 볼(bowl) 형상 포함)일 수 있다.



- [0114] 본원에서 사용되는 바와 같이, "팬"은 공기를 이동시킬 수 있는 임의의 디바이스 또는 장치를 지칭한다.
- [0115] 본원에서 사용되는 바와 같이, "가열 요소"는 열을 발생시키는 물질의 단편을 지칭한다. 일부 실시양태에서, 가열 요소는, 전기가 그 물질을 통해 유동될 수 있을 때 열을 발생시킬 수 있다.
- [0116] 본원에서 사용되는 바와 같이, "유도 가열기"는, 해당 물질 내의 전류 유도를 통해 물질에 열을 가하는 가열기를 지칭한다. 일반적으로, 이러한 전류는, 가열되는 물질에 근접한 금속의 코일을 통해 교류를 이동시킴으로써 생성된다.
- [0117] 본원에서 사용되는 바와 같이, "용융(melt)"은, 고체로부터 액체로의, 또는 용융 물질로의 상 전이가 일어나는 것을 지칭한다.
- [0118] 본원에서 사용되는 바와 같이, "오일"은, 주위 온도에서 액체이고, 소수성이며, 300℃ 초과인 비점을 갖는 물질을 지칭한다. 오일의 예는, 식물성 오일 및 석유계 오일을 포함하나 이에 제한되지는 않는다.
- [0119] 본원에서 사용되는 바와 같이, "내화성 물질"은 고온에서 화학적으로 및 물리적으로 안정한 물질을 지칭한다. 내화성 물질의 예는, 산화알루미늄, 산화규소, 산화마그네슘, 산화칼슘, 산화지르코늄, 산화크로뮴, 탄화규소, 흑연 또는 이들의 조합을 포함하나 이에 제한되지는 않는다.
- [0120] 본원에서 사용되는 바와 같이, "고온면 내화재"는 내화성 물질을 지칭한다.
- [0121] 본원에서 사용되는 바와 같이, "전도성 내화재"는 열을 전도할 수 있는 내화성 물질을 지칭한다.
- [0122] 본원에서 사용되는 바와 같이, "측면" 또는 "측면들"은 하나 이상의 측면을 지칭할 수 있고, 달리 지시되지 않는 한, 물체의 하나 이상의 상단 또는 저부와 대조되는 물체의 측면(들)을 지칭한다.
- [0123] 본원에서 사용되는 바와 같이, "규소"는 원소 Si를 지칭하고, 임의의 순도의 Si를 지칭할 수 있으나, 일반적으로는 적어도 50 중량% 순수한, 바람직하게는 75 중량% 순수한, 더욱 바람직하게는 85 중량% 순수한, 더욱 바람직하게는 90 중량% 순수한, 또한 더욱 바람직하게는 95 중량% 순수한, 또한 훨씬 더 바람직하게는 99 중량% 순수한 규소를 지칭한다.
- [0124] 본원에서 사용되는 바와 같이, "슬립-면 내화재"는, 고체 규소와 지향성 고체화 금형 사이의 마찰을 감소시키고 점착을 감소시키는 내화성 물질을 지칭한다.
- [0125] 본원에서 사용되는 바와 같이, "튜브"는 중공 파이프 형상의 물질을 지칭한다. 튜브는 일반적으로 그의 외부 형상에 대략 매칭되는 내부 형상을 갖는다. 튜브의 내부 형상은 둥근 형상, 정사각형 형상, 또는 임의의 수의 측면을 갖는 형상 (비-대칭 형상 포함)을 비롯한 임의의 적합한 형상일 수 있다.
- [0126] 본원에서 사용되는 바와 같이, "재결정화"는, 불순 물질을 용매 중에 용해시키고 그 물질을 용매로부터 다시 결정화시켜, 용매로부터 다시 결정화된 물질이 용매 중에 용해된 불순 물질보다 더 높은 순도를 갖도록 하는 공정을 지칭한다.
- [0127] 규소 정제 방법
- [0128] 본 발명은 규소 정제에 관한 것이다. 본 발명은 규소 정제 방법을 제공한다. 도 1을 참조로 하면, 본 발명의 규소 정제 방법의 일반적 개요를 제공하는 블록 흐름도 (5)가 나타나 있다. 방법은, 알루미늄을 포함하는 용융 용매로부터 출발 물질-규소 (10)를 재결정화 (15)시켜 최종 재결정화-규소 결정 (20)을 제공하는 것을 포함한다. 방법은 또한, 최종 재결정화-규소 결정 (20)을 수성 산 용액으로 세척 (25)하여 최종 산-세척-규소 (30)를 제공하는 것을 포함한다. 방법은 또한, 최종 산-세척-규소 (30)를 지향성 고체화 (35)시켜 최종 지향성 고체화-규소 결정 (40)을 제공하는 것을 포함한다.
- [0129] 재결정화
- [0130] 규소 정제 방법은 알루미늄을 포함하는 용융 용매로부터 출발 물질-규소를 재결정화시켜 최종 재결정화-규소 결정을 제공하는 것을 포함한다. 재결정화는, 출발 물질-규소에 비해 더 순수한 최종 재결정화-규소 결정을 제공하는 임의의 적합한 재결정화 공정일 수 있고, 여기서 재결정화 용매는 알루미늄을 포함한다. 일부 실시양태에서는, 단일 재결정화를 수행하여 출발 물질-규소를 최종 재결정화-규소 결정으로 변형시킬 수 있다. 다른 실시양태에서는, 출발 물질-규소를 다수회 재결정화시킨 후 최종 재결정화-규소 결정을 제공할 수 있다. 일부 실시양태에서, 알루미늄은 순수할 수 있거나, 또는 불순물을 포함할 수 있다. 알루미늄 중의 불순물은 규소 또는 다른 불순물일 수 있다. 다중 재결정화를 이용하는 실시양태에서, 재결정화는 캐스케이드식 공정일 수 있고,

여기서는 알루미늄 용매를, 제1 재결정화에서는 재결정화 용매로서 가장 덜 순수한 알루미늄이 사용되고, 최종 재결정화에서는 재결정화 용매로서 가장 순수한 알루미늄이 사용되도록, 공정을 통해 후방 재순환시킨다. 규소 결정이 캐스케이드식 공정을 통해 전진 이동함에 따라, 이들은 보다 순수한 용매 금속으로부터 재결정화된다. 알루미늄 용매를 재순환시킴으로써, 낭비가 최소화된다. 용매 및 재결정화되는 물질 중의 불순물의 양은 생성물의 순도에 부정적 영향을 줄 수 있기 때문에, 최종 재결정화에서 가장 순수한 알루미늄 용매를 사용하는 것은 최종 재결정화-규소 결정의 순도를 최대화하도록 돕는다. 적합한 재결정화의 일부 예는, 전문이 본원에 참조로 포함되는 미국 특허 출원 일련 번호 12/729,561에서 찾아볼 수 있다.

[0131] 도 2a를 참조로 하면, 일부 실시양태에 따른, 규소 재결정화 방법의 블록 흐름도 (60)가 나타나 있다. 출발 물질-규소의 재결정화는 출발 물질-규소 (102)와 알루미늄을 포함하는 용매 금속 (126)을 접촉 (106)시키는 것을 포함할 수 있다. 접촉은 제1 혼합물 (108)을 제공하기에 충분할 수 있다. 방법은 제1 혼합물을 용융 (110)시키는 것을 포함할 수 있다. 용융 (110)은 제1 용융 혼합물 (112)을 제공하기에 충분할 수 있다. 방법은 제1 용융 혼합물을 냉각시키는 것을 포함할 수 있다. 냉각은 최종 재결정화-규소 결정 (132) 및 모액 (126)을 형성하기에 충분할 수 있다. 방법은 최종 재결정화-규소 결정 (132) 및 모액 (126)을 분리 (114)하는 것을 포함할 수 있다. 분리는 최종 재결정화-규소 결정 (132)을 제공할 수 있다.

[0132] 도 2b를 참조로 하면, 일부 실시양태에 따른, 규소의 재결정화 방법의 블록 흐름도 (70)가 나타나 있다. 출발 물질-규소의 재결정화는 출발 물질-규소 (102)와 제1 모액 (122)을 접촉 (106)시키는 것을 포함할 수 있다. 접촉 (106)은 제1 혼합물 (108)을 제공하기에 충분할 수 있다. 방법은 제1 혼합물을 용융 (110)시키는 것을 포함할 수 있다. 용융은 제1 용융 혼합물 (112)을 제공하기에 충분할 수 있다. 방법은 제1 용융 혼합물을 냉각시키는 것을 포함할 수 있다. 냉각은 제1 규소 결정 (120) 및 제2 모액 (104)을 형성하기에 충분할 수 있다. 방법은 제1 규소 결정 (120) 및 제2 모액 (104)을 분리 (114)하는 것을 포함할 수 있다. 분리는 제1 규소 결정 (120)을 제공할 수 있다. 방법은 제1 규소 결정 (120)과 알루미늄을 포함하는 제1 용매 금속 (126)을 접촉 (106)시키는 것을 포함할 수 있다. 접촉 (106)은 제2 혼합물 (138)을 제공하기에 충분할 수 있다. 방법은 제2 혼합물 (138)을 용융 (110)시키는 것을 포함할 수 있다. 용융 (110)은 제2 용융 혼합물 (140)을 제공하기에 충분할 수 있다. 방법은 제2 용융 혼합물을 냉각시키는 것을 포함할 수 있다. 냉각은 최종 재결정화-규소 결정 (132) 및 제1 모액 (122)을 형성하기에 충분할 수 있다. 방법은 또한, 최종 재결정화-규소 결정 (132) 및 제1 모액 (122)을 분리 (114)하여, 최종 재결정화-규소 결정을 제공하는 것을 포함할 수 있다. 3 경로 이상의 재결정화 캐스케이드 및 그의 변형에 대한 본원에서의 모든 논의는 도 2b에 도시된 것과 같은 2 경로 재결정화 캐스케이드 실시양태에도 적용되며; 여기서 3 경로 이상의 재결정화 캐스케이드 및 그의 변형에 대한 적용가능한 본원에서의 모든 논의는 도 2a에 도시된 것과 같은 1 경로 재결정화 실시양태에도 적용된다는 것이 이해되어야 한다.

[0133] 하나의 실시양태에서, 출발 물질-규소의 재결정화는 출발 물질-규소와 제2 모액을 접촉시키는 것을 포함할 수 있다. 접촉은 제1 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 방법은 제1 혼합물을 용융시키는 것을 포함할 수 있다. 용융은 제1 용융 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 방법은 제1 용융 혼합물을 냉각시켜 제1 규소 결정 및 제3 모액을 형성하는 것을 포함할 수 있다. 방법은 제1 규소 결정 및 제3 모액을 분리하는 것을 포함할 수 있다. 분리는 제1 규소 결정을 제공할 수 있다. 방법은 제1 규소 결정 및 제1 모액을 접촉시키는 것을 포함할 수 있다. 접촉은 제2 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 방법은 제2 혼합물을 용융시키는 것을 포함할 수 있다. 방법은 제2 용융 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 방법은 제2 용융 혼합물을 냉각시켜 제2 규소 결정 및 제2 모액을 형성하는 것을 포함할 수 있다. 방법은 제2 규소 결정 및 제2 모액을 분리하는 것을 포함할 수 있다. 분리는 제2 규소 결정을 제공할 수 있다. 방법은 제2 규소 결정과 알루미늄을 포함하는 제1 용매 금속을 접촉시키는 것을 포함할 수 있다. 접촉은 제3 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 방법은 제3 혼합물을 용융시키는 것을 포함할 수 있다. 용융은 제3 용융 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 방법은 제3 용융 혼합물을 냉각시켜 최종 재결정화-규소 결정 및 제1 모액을 형성하는 것을 포함할 수 있다. 방법은 최종 재결정화-규소 결정 및 제1 모액을 분리하여 최종 재결정화-규소 결정을 제공하는 것을 포함할 수 있다.

[0134] 도 3, 6, 및 7을 참조로 하면, 일부 실시양태에 따른, 캐스케이드 공정을 이용하는 규소의 재결정화 방법의 블록 흐름도 (100)가 나타나 있다. 출발 물질-규소 (102) (예를 들어 제1 규소)를 알루미늄을 포함하는 용매 금속, 예컨대 제2 모액 (104)과 접촉 (106)시켜 제1 혼합물 (108)을 형성할 수 있다. 제1 혼합물 (108)은 용융 (110)되어 제1 용융 혼합물 (112)을 형성할 수 있다. 이어서, 제1 용융 혼합물 (112)을 냉각시키고, 제1 규소 결정 (120) 및 모액, 예컨대 제3 모액 (116)으로 분리 (114)시킬 수 있다. 이어서, 제3 모액 (116)을 공정으로부터 제거하고, 다른 산업에서의 사용을 위해 판매 (118)할 수 있거나, 또는 그의 전부 또는 일부분을 제2 모액

(104)과 함께 다시 재순환 (144)시킬 수 있다. 제3 모액 (116)이 가치가 있는 산업의 일례는, 캐스팅을 위한 알루미늄 규소 합금에서의 사용을 위한 알루미늄 주조 산업이다.

[0135] 일부 실시양태에서, 공급원료 또는 야금 등급 규소 (예를 들어 출발 물질-규소)는 예를 들어 약 15 ppmw 미만의 붕소, 약 10 ppmw 미만의 붕소, 또는 약 6 ppmw 미만의 붕소를 포함할 수 있다. 용매 금속은 알루미늄일 수 있다. 알루미늄은 P1020 알루미늄일 수 있고, 약 1.0 ppmw 미만, 약 0.6 ppmw 미만, 또는 약 0.4 ppmw 미만의 붕소 농도를 포함할 수 있다.

[0136] 모액 또는 용매 금속에 대한 규소 또는 규소 결정의 접촉은 당업자에게 공지된 임의의 적합한 방식으로 수행될 수 있다. 접촉 방식은, 규소 또는 규소 결정을 모액에 첨가하는 것을 포함할 수 있고, 또한 모액을 규소 또는 규소 결정에 첨가하는 것을 포함할 수 있다. 스플래싱을 피하는 또는 물질 손실을 피하는 첨가 방법은 고려되는 접촉 방식에 포함된다. 접촉은 교반 또는 뒤섞임 하에 또는 이들 없이 수행될 수 있다. 접촉은 뒤섞임을 발생시킬 수 있다. 접촉은 뒤섞임을 발생시키도록 디자인될 수 있다. 접촉은 가열 하에 또는 가열 없이 수행될 수 있다. 접촉은 열을 발생시킬 수 있거나, 흡열성이거나, 또는 열 또는 열 손실을 발생시키지 않을 수 있다.

[0137] 임의의 교반 또는 뒤섞임은 당업자에게 공지된 임의의 적합한 방식으로 수행될 수 있다. 교반은 패들 또는 다른 교반 디바이스를 사용한 기계적 교반을 포함할 수 있다. 뒤섞임은 기체의 주입 및 버블링에 의한 뒤섞임을 포함할 수 있고, 또한 스월링 또는 진탕을 포함한 용기의 물리적 뒤섞임을 포함할 수 있다. 하나의 물질을 또 다른 물질에 첨가하는 것은 뒤섞임을 일으키고, 첨가 방식은 뒤섞임을 발생시키도록 디자인될 수 있다. 액체를 또 다른 액체에 주입하는 것 또한 뒤섞임을 발생시킬 수 있다.

[0138] 모액 또는 용매 금속 중의 규소 또는 규소 결정의 혼합물의 용융은 당업자에게 공지된 임의의 적합한 방식으로 수행될 수 있다. 용융 방식은 임의의 적합한 방법으로 혼합물에 열을 가하여 요망되는 규소 또는 규소 결정의 용융을 일으키는 것을 포함할 수 있다. 가열은 용융 혼합물이 달성된 후에 계속될 수 있다. 용융 방식은 뒤섞임 하에 또는 뒤섞임 없이 수행될 수 있다. 용융 방식은 또한, 충분한 고온에, 예를 들어 규소 또는 규소 결정의 용점 또는 그 초과 온도에서 있는 모액 또는 용매 금속에 노출시킨 결과로서의 규소 또는 규소 결정 용융을 포함할 수 있고; 이 경우, 규소 또는 규소 결정과 모액 또는 용매 금속을 접촉시켜 혼합물을 생성하는 것은 규소 또는 규소 결정의 혼합물을 용융시켜 용융 혼합물을 제공하는 단계와 조합될 수 있다. 혼합물의 용융 온도는 용융 물질의 조성 변화에 따라 변하여 가변적이거나 일관적이지 않을 수 있다.

[0139] 혼합물에 열을 가하는 방법은 당업자에게 공지된 임의의 적합한 방법을 포함한다. 이들 방법은, 예를 들어, 가열로를 이용한 가열 또는 혼합물 중에 고온 기체를 주입하는 것에 의한 가열, 또는 연소 기체로부터 생성된 화염을 이용한 가열을 포함한다. 유도 가열이 이용될 수 있다. 가열 방법은 복사 가열일 수 있다. 가열 방법은 가열되는 물질을 통한 전기 전도에 의해 수행될 수 있다. 플라즈마를 이용한 가열, 발열 화학 반응을 이용한 가열, 또는 지열 에너지를 이용한 가열 또한 포함된다. 규소 또는 규소 결정과 모액 또는 용매 금속의 혼합은, 규소의 불순물 및 모액의 내용물에 따라, 열을 발생시키거나 열을 흡수할 수 있고, 이는 일부 실시양태에서 상응하는 가열원의 조정을 제공하여 유리하다.

[0140] 임의로, 염소 기체, 다른 할로젠 기체 또는 할라이드-함유 기체, 또는 임의의 적합한 기체를 포함하는 기체를 용융 혼합물 중에 주입한 후에 냉각시킬 수 있다. 용융 혼합물의 냉각은 당업자에게 공지된 임의의 적합한 방식으로 수행될 수 있다. 가열원으로부터의 제거에 의한 냉각이 포함되며, 이는 실온으로의 또는 용융 혼합물의 온도 미만의 온도로의 노출에 의한 냉각을 포함한다. 비-가열로 용기로의 붓기 및 가열로 온도 미만에서 냉각시키는 것에 의한 냉각이 포함된다. 일부 실시양태에서, 냉각은 급속 냉각일 수 있고; 그러나, 다른 실시양태에서, 냉각은 점진적 냉각일 수 있고, 따라서, 냉각 용융 혼합물을 용융 혼합물의 현재 온도보다 단지 점진적으로 더 낮은 냉각원에 노출시키는 것이 유리할 수 있다. 냉각원은 용융 혼합물이 냉각됨에 따라 점진적으로 온도 하강될 수 있고, 일부 경우에 이는 용융 혼합물이 냉각됨에 따라 그의 온도를 고감도 또는 일반적 모니터링함으로써 달성될 수 있다. 생성된 결정화된 규소의 순도는, 혼합물을 가능한 한 서서히 냉각시킴으로써 향상될 수 있고, 따라서 모든 적합한 점진적 가열 방식이 본 발명에 포함되는 것으로 고려된다. 또한, 냉동 메커니즘을 포함한 보다 급속한 냉각 방법이 포함된다. 용융 물질을 보유하는 용기를, 보다 저온의 물질, 예컨대 용융 혼합물보다 더 저온의 액체, 예컨대 물, 또는 예컨대 또 다른 용융 금속, 또는 예컨대 주변 또는 냉장 처리 공기를 포함한 기체로 노출시키는 것이 포함된다. 보다 저온의 물질을 용융 혼합물에 첨가하는 것, 예컨대 또 다른 보다 저온의 모액의 첨가, 또는 보다 저온의 용매 금속의 첨가, 또는 이후에 혼합물로부터 제거될 수 있거나, 또는 다르게는 혼합물 중에 남겨질 수 있는 또 다른 보다 저온의 물질의 첨가가 포함된다.

- [0141] 용융 혼합물의 냉각 및 후속되는 규소 결정 및 모액의 분리로부터 생성되는 모액을 임의로 공정 중 임의의 이전 단계로 재순환시키는 것이 고려된다. 모액으로부터 규소의 결정화가 일어나면, 일반적으로 적어도 일부 양의 규소는, 모액 중에 용해되어 유지되도록 요망되는 불순물과 함께, 모액 중에 용해되어 남아있다. 용융 혼합물을, 모든 또는 대부분의 규소가 결정질인 시점까지 냉각시키는 것은 일부 경우에 불가능할 수 있거나, 또는 생성된 규소 결정의 순도에 부정적 영향을 줄 수 있거나, 또는 비효율적일 수 있다. 일부 실시양태에서, 단지 전부 미만의 또는 대부분 미만의 규소를 용융 혼합물로부터 결정화시킴으로써 생성되는 규소 결정의 순도는 상당히 또는 적어도 부분적으로 향상될 수 있다. 용매 금속을 가열 및 용융시키는 데 필요한 에너지는, 이전 단계에서의 모액과 고온 모액을 조합하는 경우에 비해, 또는 고온 모액을 재사용하는 경우에 비해 경제적으로 비효율적일 수 있다. 특정 수율의 규소 결정을 얻기 위해 용융 혼합물을 특정 온도로 냉각시키는 데 필요한 에너지는, 모액을 이러한 저온으로 냉각시키지 않고 보다 낮은 수율의 규소 결정을 허용하면서 이후에 모액을 재순환시키는 경우에 비해 비효율적일 수 있다.
- [0142] 유리하게 모액 중에 요망되는 및 원치않는 물질을 남기는 것이 본 발명의 일부 실시양태에 포함되는 것으로 고려되며; 이 경우, 일부 실시양태에서, 동일한 결정화 단계에서 또는 보다 이전의 결정화 단계에서 모액을 재순환시켜 다시 사용하는 것이 때로는 유용한 측면이 된다. 모액을 재순환시킴으로써, 모액의 혼합물 중에 여전히 존재하는 규소가 보존되고, 모액을 단순히 부산물로서 폐기하거나 판매하는 경우에 비해 덜 낭비된다. 일부 실시양태에서는, 재순환된 모액을 사용하여, 또는 일부 재순환된 모액을 갖는 모액을 사용함으로써, 모액이 재순환된 모액을 갖지 않는 경우에 비해, 또는 심지어 결정화를 일으키는 용매가 순수한 용매 금속인 경우에 비해, 동일하거나 거의 동일한 순도의 규소 결정이 달성될 수 있다. 따라서, 모든 정도 및 변형의 모액 재순환이 본 발명의 범위 내에 포함된다.
- [0143] 규소 고체로부터의 모액의 분리는 당업자에게 공지된 임의의 적합한 방법에 의해 수행될 수 있다. 액체 용매를 목적 고체로부터 배출시키거나 사이펀 이동시키는 임의의 변형도 본원에 기재된 방법의 실시양태 내에 포함된다. 이들 방법은 경사분리, 또는 목적 고체로부터의 모액의 붓기를 포함한다. 경사분리에서는, 목적 고체를 중력에 의해, 자체에 대한 또는 용기 측면에 대한 부착에 의해, 고체를 선택적으로 보유하는 그레이트 또는 메쉬형 분할기의 사용에 의해, 또는 고체가 체자리에서 보유되도록 물리적 압력을 인가함으로써 체자리에 보유할 수 있다. 분리 방법은 원심분리를 포함한다. 임의의 필터 매질을 사용한, 또한 진공을 이용한 또는 이용하지 않는 여과, 또한 압력을 이용한 또는 이용하지 않는 여과가 또한 포함된다. 화학적 수단, 예컨대 산 또는 염기 사용을 포함한 용매의 용해 또는 화학적 변형이 또한 포함된다.
- [0144] 도 3 및 7을 참조로 하면, 이어서 제1 규소 결정 (120)을 임의로 제1 모액 (122)과 접촉 (106)시켜 제2 혼합물 (138)을 형성할 수 있다. 제2 혼합물 (138)을 임의로 용융시켜 제2 용융 혼합물 (140)을 형성할 수 있다. 제2 용융 혼합물을 임의로 냉각시키고, 제2 규소 결정 (124) 및 제2 모액 (104)으로 분리 (114)할 수 있다. 이어서, 제2 모액 (104)을 공정에서 되돌려 (136) 출발 물질-규소 (102)와 접촉시킬 수 있거나, 또는 제2 모액 (104)의 전부 또는 일부분을 제1 모액 (122)으로 재순환 (142)시킬 수 있다. 제1 규소 결정의 접촉으로부터 제2 규소 결정의 수득까지의 단계는, 이들이 생략될 수 있거나, 또는 이들 단계가 다수회 (예를 들어 1, 2, 3, 4 회 등) 수행될 수 있다는 점에서 임의적이다. 이들 단계가 수행되지 않는 경우 (121), 재결정화는 2 경로 공정일 수 있고, 이어서 후속적으로 제1 규소 결정 (120)을 제1 용매 금속 (126)과 접촉시킨다.
- [0145] 또 다른 실시양태에서는, 제1 규소 결정의 접촉으로부터 제2 규소 결정의 수득까지의 단계가 수행된다. 이들 실시양태에서, 단계 (121)는 수행되지 않는다. 따라서, 제1 용융 혼합물 (112)을 냉각시키고 제1 규소 결정 (120) 및 제3 모액 (116)으로 분리 (114)한 후, 이어서 제1 규소 결정 (120)을 제1 모액 (122)과 접촉 (106)시켜 제2 혼합물 (138)을 형성한다. 제2 혼합물 (138)을 용융시켜 제2 용융 혼합물 (140)을 형성할 수 있다. 제2 용융 혼합물을 냉각시키고, 제2 규소 결정 (124) 및 제2 모액 (104)으로 분리 (114)할 수 있다. 이어서, 제2 모액 (104)을 공정에서 되돌려 (136) 출발 물질-규소 (102)와 접촉시킬 수 있거나, 또는 제2 모액 (104)의 전부 또는 일부분을 제1 모액 (122)으로 재순환 (142)시킬 수 있다.
- [0146] 또 다른 실시양태에서는, 제1 규소 결정의 접촉으로부터 제2 규소 결정의 수득까지의 단계가 독립적으로 수행되거나 수행되지 않는다. 이 경우, 제1 용융 혼합물 (112)을 냉각시키고 제1 규소 결정 (120) 및 제3 모액 (116)으로 분리 (114)하고, 이어서 제1 규소 결정 (120)을 임의로 제1 모액 (122)과 접촉 (106)시켜 제2 혼합물 (138)을 형성할 수 있거나, 또는 다르게는, 이어서 제1 규소 결정 (120)을 제1 모액 (122)과 접촉 (106)시켜 제2 혼합물 (138)을 형성할 수 있다. 제2 혼합물 (138)을 임의로 용융시켜 제2 용융 혼합물 (140)을 형성할 수 있거나, 또는 다르게는, 제2 혼합물 (138)을 용융시켜 제2 용융 혼합물 (140)을 형성할 수 있다. 제2 용융 혼합물을 임의로 냉각시키고 제2 규소 결정 (124) 및 제2 모액 (104)으로 분리 (114)할 수 있거나, 또는



다르게는, 제2 용융 혼합물을 냉각시키고 제2 규소 결정 (124) 및 제2 모액 (104)으로 분리 (114)할 수 있다. 이어서, 제2 모액 (104)을 공정에서 되돌려 (136) 출발 물질-규소 (102)와 접촉시킬 수 있거나, 또는 제2 모액 (104)의 전부 또는 일부분을 제1 모액 (122)으로 재순환 (142)시킬 수 있다.

[0147] 제2 규소 결정 (124)을 제1 용매 금속 (126)과 접촉 (106)시켜 제3 혼합물 (128)을 형성할 수 있다. 제3 혼합물 (128)을 용융 (110)시켜 제3 용융 혼합물 (130)을 형성할 수 있다. 이어서, 제3 용융 혼합물 (130)을 냉각시키고 최종 재결정화-규소 결정 (예를 들어 제3 규소 결정) (132) 및 제1 모액 (122)으로 분리 (114)할 수 있다. 이어서, 제1 모액 (122)의 전부 또는 일부분을 공정에서 되돌려 (134) 제1 규소 결정 (120)과 접촉시킬 수 있다. 제1 모액 (122)의 전부 또는 일부분을 제1 용매 금속 (126)으로 재순환 (123)시킬 수 있다. 본 발명의 일부 실시양태에서, 모액 (122)의 전부 또는 일부분을 제1 용매 금속 (126)으로 배치식 또는 연속적 재순환 (123)시킴으로써, 요소 (126)가 모액으로의 회석으로 인해 완전히 순수한 것 미만의 용매 금속을 포함하도록 할 수 있고; 모액의 재순환 단계의 모든 변형이 본 발명의 범위 내에 포함된다. 다르게는 또는 추가로 제1 모액의 전부 또는 일부분을 제2 모액으로 재순환 (135)시킬 수 있다.

[0148] 일부 실시양태에서는, 제1 규소 결정의 접촉으로부터 제2 규소 결정의 수득까지의 단계가 수행되지 않는다. 따라서, 제1 용융 혼합물 (112)을 냉각시키고 제1 규소 결정 (120) 및 제3 모액 (116)으로 분리 (114)한 후, 제1 규소 결정 (120)을 제1 용매 금속 (126)과 접촉 (106)시켜 제3 혼합물 (128)을 형성할 수 있다 (121). 제3 혼합물 (128)을 용융 (110)시켜 제3 용융 혼합물 (130)을 형성할 수 있다. 이어서, 제3 용융 혼합물 (130)을 냉각시키고 최종 재결정화-규소 결정 (132) 및 제1 모액 (122)으로 분리 (114)할 수 있다. 이어서, 제1 모액 (122)을 공정에서 되돌려 (134) 제1 규소 결정 (120)과 접촉시킬 수 있다. 제1 모액 (122)의 전부 또는 일부분을 제1 모액으로 재순환 (123)시킬 수 있다.

[0149] 제1 규소 결정 (120)의 생성은 제1 경로라 불릴 수 있다. 제2 규소 결정 (124)의 생성은 제2 경로라 불릴 수 있다. 유사하게, 최종 재결정화-규소 결정 (132)을 형성하는 방법 부분은 제3 경로라 불릴 수 있다. 본 발명의 방법 내에서 고려되는 경로 수의 제한은 없다.

[0150] 모액으로부터 달성되는 결정화의 수를 증가시킴으로써, 모액으로부터 회수되는 규소의 양을 증가시킴으로써, 또는 공정에서 다음 경로로 도입되기 전의 규소 결정의 수율을 증가시킴으로써, 반복 경로를 수행하여 보다 효율적으로 모액을 사용할 수 있고, 본 발명의 방법 내에서 고려되는 경로의 반복 수의 제한은 없다. 반복 경로가 수행되는 경우, 각각의 모액을 그 경로의 반복에서 전부 또는 부분적으로 재사용할 수 있다. 반복 경로는 순차적으로, 또는 동시에 수행될 수 있다. 반복 경로가 순차적으로 수행되는 경우, 이는 하나의 단일 용기에서 수행될 수 있거나, 또는 이는 순서대로 여러 용기에서 수행될 수 있다. 반복 경로가 동시에 수행되는 경우, 여러 용기가 사용될 수 있고, 이는 여러 결정화가 동시에 일어날 수 있게 한다. 용어 "순서대로" 및 "동시에"는, 단계가 수행되는 순서를 엄격히 제한하도록 의도되지 않으며, 단계들을 한꺼번에 또는 거의 동시에 수행함을 대략적으로 나타낸다.

[0151] 반복 경로, 예를 들어 제1, 제2, 제3, 또는 임의의 경로의 반복은, 경로 내에서 모액의 전부 또는 일부를 재사용하는 것을 포함하여 감소 순도를 갖는 여러 모액을 더욱 효율적으로 사용할 수 있다. 기존의 모액을 더욱 순수하게 하기 위해, 하나의 방식은 추가의 용매 금속 (모액보다 더 순수함)을 모액에 첨가하는 것일 수 있다. 모액에 또 다른 더욱 순수한 모액을 첨가하는 것은, 예를 들어, 공정에서 이후의 결정화 단계로부터 유래된 것과 같은 그의 순도를 증가시키는 또 다른 방식이다. 특정 경로에서 사용된 모액의 일부 또는 전부를 폐기하거나 보다 이전 경로에서 사용하거나 또는 동일 경로의 보다 이전 반복에서 사용할 수도 있다.

[0152] 경로 반복 및 상응하는 모액의 재사용에 대한 하나의 가능한 이유는, 전체 공정의 일부 또는 전부에서의 캐스케이드 단계에 대한 질량 밸런스를 이루는 것일 수 있다. 적합한 순도의 규소를 캐스케이드의 임의의 단계에 첨가할 수 있고, 이는 이전 경로로부터의 규소와 함께 또는 이것 없이, 또한 단계 반복 하에 첨가될 수 있고, 이와 같이 하는 한가지 이유는 부분적으로 또는 전체적으로 캐스케이드 단계의 질량 밸런스를 이루는 것일 수 있다.

[0153] 모액은, 반복 경로에서 임의의 모액 순도 향상 없이 전체적으로 재사용될 수 있다. 다르게는, 모액은 더욱 순수한 용매 금속 또는 모액 순도를 향상시키는 후속 단계로부터의 모액을 사용하여 반복 경로에서 순도 향상에 부분적으로 재사용될 수 있다. 예를 들어, 제1 경로는, 모액이 경로의 제1 경우로부터 경로의 제1 반복으로의 공정 개시를 향해 유동하고, 규소가 경로의 제1 경우 및 경로의 반복 경우 둘 다에 첨가되고, 규소가 경로의 제1 경우 및 경로의 반복 둘 다로부터 제거되고 이것이 후속 경로로 진행되면서, 2개의 상이한 용기를 사용하여, 동시에 반복될 수 있다. 또 다른 예에서, 제1 경로는, 모액의 부분이 경로의 제1 경우로부터 경로의

제1 반복으로의 공정 개시를 향해 유동하고, 모액의 또 다른 부분이 경로의 반복에서 재사용되지 않으면서 이전 단계로의 공정 개시를 향해 유동하고, 규소가 경로의 제1 경우 및 경로의 반복 경우 둘 다에 첨가되고, 규소가 경로의 제1 경우 및 경로의 반복 둘 다로부터 제거되고 이것이 후속 경로로 진행되면서, 2개의 상이한 용기를 사용하여, 동시에 반복될 수 있다.

[0154] 또한, 제1 경로는, 하나의 용기를 사용하여 순서대로 반복될 수 있고, 여기서는 제1 결정화 및 분리 후, 그 경로로부터 사용된 모액의 부분이 재사용을 위해 유지되고, 이후 경로로부터의 일부 모액이 첨가되고, 반복 경로에서 또 다른 결정화가 추가의 규소를 사용하여 수행된다. 반복 후, 모액은 전체적으로 또 다른 이전 단계로 전체적으로 이동할 수 있다. 다르게는, 반복 후, 모액의 단지 일부만이 또 다른 이전 단계로 이동하고, 나머지 모액은 경로에서 재사용을 위해 유지된다. 모액의 적어도 일부는 결국 이전 단계로 이동될 수 있고, 그렇지 않으면 그 모액의 불순물이 허용 불가능한 수준으로 축적될 수 있고, 또한 캐스케이드의 질량 밸런스를 유지하기 어려울 수 있다. 또 다른 예에서, 제1 경로는 하나의 용기를 사용하여 순서대로 반복될 수 있고, 여기서는 제1 결정화 및 분리 후에, 그 경로로부터 사용된 모든 모액이 반복 경로에서 재사용을 위해 유지되며, 추가의 규소를 사용하여 반복 경로에서 또 다른 결정화가 수행된다.

[0155] 후속 경로가 동일한 또는 상이한 용기에서 또는 이전 경로와 같이 수행될 수 있다. 예를 들어, 제1 경로는 제2 경로와 동일한 용기에서 수행될 수 있다. 또는, 제1 경로는 제2 경로와 상이한 용기에서 수행될 수 있다. 경로는 동일한 용기에서 반복될 수 있다. 예를 들어, 제1 경로의 제1 경우가 특정 용기에서 수행될 수 있고, 이어서 제1 경로의 제1 반복이 동일한 용기에서 수행될 수 있다. 대규모 처리의 경제성은 일부 실시양태에서 유리한 다수의 후속 또는 동시 경로에 대해 동일한 용기의 재사용을 이룰 수 있다. 일부 실시양태에서, 용기에서 용기로 액체를 이동시키는 것이, 고체를 이동시키는 것보다 경제적으로 유리할 수 있고, 따라서 본 발명의 실시양태는 용기 재사용의 모든 변형 및 또한 상이한 용기 사용의 모든 변형을 포함한다. 따라서, 후속 경로는 이전 경로와 상이한 용기에서 수행될 수 있다. 반복 경로는 그 경로의 이전 수행에서와 동일하나 용기에서 수행될 수 있다.

[0156] 봉소에서, 또한 다른 불순물에서의 경우를 포함하여, 모액의 불순물은 이것이 공정 개시를 향해 이동함에 따라 보다 높은 농도로 성장한다. 공정 전반에 걸쳐 질량 밸런스를 위해 각각의 결정화 (결정 형성) 단계에서 필요에 따라 모액을 재사용할 수 있다. 재사용 수는 사용되는 용매 금속 (예를 들어, 알루미늄) 대 규소 비율, 목적한 화학, 및 시스템의 목적 처리량의 함수일 수 있다.

[0157] 하기에서 더욱 상세히 기재되는 바와 같이, 최종 재결정화-규소 결정을 제공한 후, 잔류 용매 금속을 용해시키거나 또는 그렇지 않으면 산, 염기 또는 다른 화학물질을 사용하여 결정으로부터 제거할 수 있다. 임의의 분말, 잔류 용매 금속 또는 외부 오염물을 기계적 수단에 의해 제거할 수도 있다. 염산 (HCl)을 사용하여 캐스케이드 박편 또는 결정으로부터 용매 금속을 용해시킬 수 있다. 소비 HCl은, 특히, 폐수 또는 식수 처리를 위해 폴리알루미늄 클로라이드 (PAC) 또는 염화알루미늄으로서 판매될 수 있다. 박편으로부터 알루미늄을 용해시키기 위해, 역류 시스템을 박편을 청정에서 오염으로, 또한 산을 청정에서 소비로 반대 방향으로 이동시키며 다중 탱크와 함께 이용할 수 있다. 백 하우스를 사용하여 박편으로부터 성긴 분말을 인출할 수 있고, V형 홈이 있는 슬롯 및 진동을 이용하여 산 침출 후에 분말의 덩이(ball), 외부 오염물 또는 비-용해된 알루미늄을 박편으로부터 분리할 수 있다.

[0158] 본원에 개시된 방법 동안 임의의 시점에, 규소 결정 또는 박편을 용융시킬 수 있다. 기체 또는 슬래그를 용융 규소와 접촉시킬 수 있다. 약 0.5 내지 50 중량% 슬래그를 규소에 첨가할 수 있다. 예를 들어, 일부 양의 SiO<sub>2</sub>를 함유하는 슬래그를 사용할 수 있다. 박편을 가열로에서 용융시킬 수 있고, 이는 슬래그 첨가를 포함할 수 있으며, 슬래그 첨가는 박편 용융 전 또는 후에 수행될 수 있다. 박편은 슬래그 첨가를 이용하여 용융시킬 수 있다. 박편은 진공, 불활성 대기 또는 표준 대기 하에 용융시킬 수 있다. 아르곤을 가열로를 통해 펌핑하여 아르곤 블랭킷을 생성할 수 있거나, 또는 진공 가열로를 사용할 수 있다. 박편을 약 1410°C 초과로 용융시킬 수 있다. 용융 규소는 약 1450°C 내지 약 1700°C에서 보유될 수 있다. 슬래그 또는 드로스를 슬래깅 동안, 규소 용융물을 가열로에서 보유하면서, 또는 기체 주입 동안 배스 표면으로부터 제거할 수 있다. 일부 예에서는, 이어서, 지향성 고체화를 위해 용융 규소를 금형 내에 부을 수 있다. 용융 규소를 먼저 세라믹 필터로 여과할 수 있다.

[0159] 모액을 세라믹 발포체 필터로 여과할 수 있거나, 또는 공정의 임의의 단계에서 기체 주입시킬 수 있다. 봉소 또는 인과 같은, 오염물이 낮은 세라믹 물질이 용융 규소의 보유 및 용융에 사용될 수 있는 물질의 예이다. 예를 들어, 기체는 산소, 아르곤, 물, 수소, 질소, 염소일 수 있거나, 또는 이들 화학물질을 함유하는 다른 기체,

또는 이들의 조합을 사용할 수 있다. 기체를 랜스(lance), 회전 탈기 장치, 또는 다공성 플러그를 통해 용융 규소 내에 주입할 수 있다. 100% 산소 기체를 용융 규소 내에 주입할 수 있다. 기체를 약 30분 내지 약 12시간 동안 주입할 수 있다. 기체를 슬래깅 전에, 슬래깅 후에, 또는 슬래깅 동안 주입할 수 있다. 기체는 랜스를 통해 30 내지 40 L/min으로 4시간 동안 용융 규소 내에 주입된 100% 산소일 수 있다.

[0160] 도 4 및 5를 참조로 하면, 일부 실시양태에 따른, 삼중 경로 캐스케이드를 이용한 제1 물질의 재결정화 방법의 도 (200)가 나타나 있다. 특정 실시양태에서, 제1 물질은 규소이고, 용매 금속은 알루미늄이다. 출발 물질-규소 (216)를 제1 경로 (204) 재결정화 공정의 개시에 공급할 수 있다. 이어서 또는 동시에 규소 (216)를 제1 경로 (202) 공정의 제1 반복에 공급할 수 있다. 제1 경로 (202) 및 (204)를 순차적으로 동일한 가열로에서 수행할 수 있고, 여기서 모액 (224)의 일부 비율은 동일한 가열로에 남겨지거나 여기로 되돌아가고, 모액 (214)의 일부 비율은 제거된다. 다르게는, 제1 경로 (202) 및 (204)는 상이한 가열로에서 수행될 수 있다. 단일 경로로부터의 생성 박편을 (202) 및 (204) 각각으로부터 제거하여 (218)로 조합할 수 있거나, 또는 공정 (202)으로부터 생성된 박편을 공정 (204)에 공급하고, 공정 (204)으로부터 생성된 박편이 박편 (218)이 될 수 있다. 생성된 단일 경로 박편 (218)을 제2 경로 (208) 및 (206) 공정에 공급할 수 있고, 이는 제2 경로 박편 (220)을 생성한다. 제2 경로 (206) 및 (208)를 동일한 가열로에서 수행할 수 있다. 순차적으로, 모액 (224)의 일부 비율은 가열로에서 재용융시킬 수 있고, 모액 (224)의 일부 비율은 단일 경로 (204)로 전송될 수 있다. 제2 경로 (206) 및 (208)를 상이한 가열로에서 수행할 수 있다. 도 4 및 5는, 제2 경로의 제1 경우 (208) 및 제2 경로의 제1 반복 (206)으로 동시에 도입되는 박편 (218), 뿐만 아니라 공정 단계 (202) 및 (204) 둘 다에서 나와 제3 경로 (210)으로 도입되는 제2 경로 박편 (220)을 나타내지만; 단계들은 연속적으로 수행될 수 있다. 이어서, 제2 경로 박편 (220)을 제3 경로 (210) 재결정화 공정에 공급하여 제3 경로 박편 (222) (예를 들어 최종 재결정화-규소)을 생성할 수 있다. 새로운 용매 금속 (212)을 제3 경로 (210)에서 개시하고, 규소와 반대 방향으로 모액 (224) 중에서 공정을 통해 공급하여, 유용한 부산물로서 판매될 수 있는 공용액 또는 모액 (214)을 형성한다. 이러한 방식으로, 모액 (224) 중의 용매 금속의 순도가 감소하고, 순도가 증가하는 규소 (218), (220), (222)와 반대 방향으로 시스템을 통해 진행된다.

[0161] 산 세척

[0162] 규소 정제 방법은 최종 재결정화-규소 결정을 수성 산 용액으로 세척하여 최종 산-세척-규소를 제공하는 것을 포함한다. 세척 단계에서, 수성 산 용액을 사용한 임의의 적합한 세척을 이용하여 최종 산-세척-규소를 제공할 수 있다. 일부 실시양태에서는, 캐스케이드식 용해 및 세척 공정이 이용된다. 용해 및 세척 공정을 포함하는 세척 단계는 단일 단계 또는 다단계를 함유할 수 있다. 물 및 용해 화학물질을 공정을 통해 공정 개시를 향해 재순환시킬 수 있다. 재결정화 단계의 최종 재결정화-규소 결정으로부터 최종 산-세척-규소를 생성하기 위한, 산 세척, 수 세척, 및 건조를 포함한 일련의 단계를 하기 예시적 실시양태에 기재하였으나, 최종 재결정화 규소로부터 알루미늄 또는 다른 원치않는 불순물을 용해시켜 최종 산-세척 규소를 얻는 임의의 적합한 방법이 본 발명의 방법의 산-세척 단계의 실시양태의 일례로서 포함된다. 적합한 산-세척 단계의 일부 예는, 전문이 본원에 참조로 포함되는 미국 특허 출원 일련 번호 12/760,222에서 찾아볼 수 있다.

[0163] 도 9를 참조로 하면, 출발 물질로서 최종 결정화 규소를 취하여 생성물로서 최종 산-세척 규소를 생성하는 본 발명의 세척 단계의 특정 실시양태 (2100)의 일반적 흐름도가 나타나 있다. 불순 물질 (2102) (최종 재결정화-규소 결정으로서 출발)은 순방향으로 공정을 통해 이동할 수 있으며, 물 (2128) 및 용해 화학물질 (2134)은 반대 방향 또는 역방향으로 공정을 통해 이동할 수 있다. 불순 물질 (2102)은 용해 페이즈 (2106)를 개시함으로써 산 세척 공정 (2104)으로 도입될 수 있다. 용해 페이즈 (2106)는 용해 단계 1 (2108) 및 용해 단계 2 (2110)를 포함하는 다중 캐스케이드식 용해 단계를 포함할 수 있다. 용해 페이즈 (2106)는 선택적으로 정제되는 물질 중의 불순물(들)을 용해시키거나 이들과 반응한다. 다음으로, 정제되는 물질은 용해 페이즈 (2106)로부터 배출 (2112)되어 세척 페이즈 (2114)로 도입될 수 있다. 세척 페이즈 (2114)는 제1 세척 단계 (2116) 및 제2 세척 단계 (2118)를 포함하는 다중 캐스케이드 단계를 포함할 수 있다. 이어서, 세척된 물질은 세척 페이즈로부터 배출 (2120)되어 건조 페이즈 (2122)로 도입 (2120)될 수 있다. 건조 후, 물질은 건조 페이즈 (2122)로부터 배출 (2124)되어, 건조된 정제 물질 (2126) (예를 들어 최종 산 세척-규소)을 제공할 수 있다.

[0164] 상기에서 기재된 바와 같이 용해 페이즈는 다중 캐스케이드 단계를 포함할 수 있지만, 용해 페이즈는 다르게는 하나의 용해 단계를 포함할 수 있다. 세척 페이즈로부터의 물을 행구고, 수성 산을 단일 용해 단계로 도입하여, 요망되는 수성 산 농도가 형성되도록 할 수 있다. 단일 용해 단계의 pH, 부피, 농도, 또는 비중을 유지하기 위해, 산 용액을 단일 용해 단계로부터, 또한 용해 페이즈로부터 완전히 또는 부분적으로 전달할 수 있다. 공정 개시시 불순 물질을 단일 용해 단계로 직접 도입할 수 있다. 추가로, 다르게는 2개 초과 용해



단계가 용해 페이즈에 포함될 수 있다. 용해 페이즈의 최종 단계는 일반적으로, 세척 페이즈로부터의 물을 행구고, 벌크 용해 화학물질을 첨가하여 강산 용액을 형성하는 페이즈일 수 있다.

- [0165] 상기에 기재된 바와 같이 세척 페이즈는 다중 캐스케이드 단계를 포함할 수 있지만, 세척 페이즈는 다르게는 하나의 세척 단계를 포함한다. 새로운 물을 단일 용해 단계로 도입할 수 있고, 용해 페이즈로부터 세척되는 물질을 단일 세척 단계로 직접 도입할 수 있다. 단일 용해 단계에서 물질 및 행굼수를 분리한 후, 행굼수를 용해 페이즈로 직접 도입할 수 있다. 추가로, 다르게는 2개 초과 세척 단계가 세척 페이즈에 포함될 수 있다. 용해 페이즈의 최종 단계는 일반적으로, 새로운 물을 첨가할 수 있는 페이즈일 수 있다.
- [0166] 용해 페이즈는, 정제되는 물질이 용해 페이즈를 통과함에 따라 선택적 용해 또는 다수의 불순물과의 반응을 가능하게 할 수 있다. 다르게는, 용해 페이즈는, 정제되는 물질이 용해 페이즈를 통과함에 따라 선택적 용해 또는 하나의 불순물과의 반응을 가능하게 할 수 있다.
- [0167] 건조는 당업자에게 공지된 임의의 적합한 방식으로 수행될 수 있다. 건조는, 물질을 통해 공기를 불어넣음으로써, 물질을 통해 공기를 인출함으로써 (예컨대 진공에 의해), 가열, 원심력, 물과 혼화성인 유기 용매 중에서의 디핑 또는 침지, 진탕에 의해, 드립-건조(drip-dry)시킴으로써, 또는 이들의 조합에 의해 건조시키는 것을 포함할 수 있다. 임의의 적합한 수의 건조 페이즈가 본 발명의 실시양태 내에 포함된다.
- [0168] 또한 도 9를 참조로 하면, 정제되는 물질은 순방향으로 공정을 통해 이동하며, 물 (2128)은 세척 페이즈 (2114)의 종료로 도입 (2130)될 수 있다. 물을 세척 페이즈 (2114)로 통과시켜, 산 및 용해되거나 반응된 불순물을 정제된 물질로부터 제거하고; 이 경우, 물은 산 및 용해되거나 반응된 불순물을 함유하는 세척 페이즈 (2114)로부터 배출 (2132)될 수 있다. 물은 용해 페이즈 (2106)의 종료로 도입 (2132)될 수 있다. 용해 페이즈 (2106)에서, 물은 요망되는 농도의 용해 용액을 생성하기에 충분한 양으로 벌크 산 (2134)과 조합될 수 있다. 용해 용액은 용해 페이즈 (2106)를 통과하여, 이것이 정제되는 물질 중의 불순물을 용해시키고 이들과 반응함에 따라 점진적으로 덜 강한 산 용액이 될 수 있다. 산 용액은 용해 페이즈 (2106)로부터 배출 (2136)되어, 용해된 및/또는 반응된 불순물을 함유하는 산 용액 (2138)을 제공할 수 있다.
- [0169] 산은 당업자에게 공지된 임의의 적합한 산일 수 있다. 산은 임의의 적합한 용매 중의 임의의 적합한 농도의 산을 포함할 수 있다. 산은  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_2$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_5$ ,  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_6$ ,  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ,  $\text{H}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 산 용액 중 적어도 하나는  $\text{H}_2\text{O}_2$  등의 과산화물 화합물을 포함할 수 있다.
- [0170] 불순물은 단지 산 용액 중에 용해되고 반응하지는 않을 수 있다. 다르게는, 불순물은 단지 산 용액에 의해 반응하고 용해되지는 않을 수 있다. 다르게는, 불순물은 산 용액 중에 용해되고 그와 반응할 수 있다. 또한, 불순물은, 불순물이 용해 전에는 산과 인지가능하게 반응하지 않도록, 먼저 용해되고, 이어서 산 용액과 반응할 수 있다. 또한, 불순물은, 불순물이 산과 반응하기 전에 인지가능하게 용해되지 않도록, 먼저 산 용액과 반응하고, 이어서 용해될 수 있다. 산 용액과의 반응은 상이한 화합물로의 변형 또는 상이한 원소 또는 화합물과의 조합을 포함할 수 있다. 따라서, 불순물이 용해 전에 먼저 반응하는 경우, 가능하게는 용해는, 용해 전에 불순물의 화학적 변형으로 인해, 불순물이 아닌 화합물을 용해시키는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0171] 불순 물질 (2102)이 용해 페이즈 (2106)로 도입 (2104)된 후, 물질은 제1 용해 단계 (2108)로 도입 (2140)될 수 있고, 보다 약한 산 용액과 조합되어 혼합물을 제공할 수 있다. 불순 물질 및 산 용액을, 적어도 부분적인 불순물과 산 용액의 반응 또는 용해를 가능하게 하기에 충분한 시간 동안, 또한 충분한 온도에서 혼합시킬 수 있다. 이어서, 용해되거나 반응된 불순물을 함유하는 산 용액이 제1 용해 단계 (2108)에서 남아있을 수 있거나 또는 부분적으로 또는 완전히 단계로부터 배출 (2144)될 수 있도록, 조합물을 분리할 수 있고, 반응되거나 용해된 불순물의 적어도 일부를 갖는 물질을 제1 용해 단계 (2108)로부터 배출 (2146)시킬 수 있다. 세척 페이즈로부터의 물을 부분적으로 또는 완전히 제2 용해 단계 (2110)에 첨가 (2148)하고, 산 (2134)의 부분을 용해 페이즈에 첨가 (2149)하고, 이를, 제2 용해 단계 (2110)에서 요망되는 농도의 용해 용액이 생성되도록 충분히, 제2 용해 페이즈 (2110)로 도입 (2150)할 수 있다. 정제되는 물질을 제2 용해 단계 (2110)에 도입 (2146)하고, 보다 강한 용해 용액과 조합하여 혼합물을 제공할 수 있다. 불순 물질 및 산 용액을, 적어도 부분적인 불순물과 산 용액의 반응 또는 용해를 가능하게 하기에 충분한 시간 동안, 또한 충분한 온도에서 혼합시킬 수 있다. 이어서, 용해되거나 반응된 불순물을 함유하는 산 용액이 제2 용해 단계 (2110)에서 남아있을 수 있거나 또는 부분적으로 또는 완전히 단계로부터 배출 (2142)될 수 있도록, 조합물을 분리할 수 있고, 반응되거나 용해된 불순물의 적어도 일부를 갖는 물질을 제2 용해 단계 (2110)로부터 배출 (2152)시킬 수 있고, 이어서 이를 용해 페이즈 (2106)로부터 배출 (2112)시킬 수 있다.

- [0172] 상기에 기재된 바와 같은 충분한 시간 또는 충분한 온도는 당업자에게 공지된 바와 같은 임의의 적합한 시간 또는 온도를 포함할 수 있다. 시간의 충분성은 반응 또는 용해 시간 뿐만 아니라 물리적 조합 방법의 한계에 의해 결정될 수 있다. 용해 용액과 불순물의 반응 또는 용해는 발열 반응 또는 용해와 같이 열을 발생시킬 수 있다. 다르게는, 용해 용액과 불순물의 반응 또는 용해는 흡열 반응 또는 용해와 같이 열을 감소시킬 수 있다. 특정 실시양태에서는 용해 또는 반응에 의해 생성되거나 흡수된 열을 이용하여 반응의 충분한 온도 조절을 도울 수 있다. 다른 실시양태에서는, 용해 또는 반응에 의해 생성되거나 흡수된 열이 가열 또는 냉각 또는 다른 열-조절 수단에 의해 중화되어 충분한 온도를 달성할 수 있다. 충분한 시간은 때로는 방법에 부정적으로 영향을 주지 않으면서 초과될 수 있다. 마찬가지로, 완전히, 대부분 또는 최소한 적어도 부분적으로 용해되거나 불순물과 반응하기에 적절한 시간보다 더 짧은 시간도 때로는 여전히 본 발명 하에 충분한 시간일 수 있다. 용해 또는 반응 온도는 충분한 시간의 양에 영향을 줄 수 있다. 마찬가지로, 이용되는 시간의 양이, 충분한 것으로 여겨지는 온도에 영향을 줄 수 있다.
- [0173] 물질이 세척 페이지 (2114)로 도입 (2112)된 후, 물질이 제1 세척 단계 (2116)로 도입 (2154)될 수 있고, 일부 산 및 용해되거나 반응된 불순물을 함유하는 행굼액과 조합될 수 있다. 물질 및 행굼액을, 용해되거나 반응된 불순물 또는 용해 화학물질의 적어도 일부가 행굼액으로 도입될 수 있기에 충분한 시간 동안, 또한 충분한 온도에서 혼합시킬 수 있다. 이어서, 용해되거나 반응된 불순물 또는 산을 함유하는 행굼액이 제1 세척 단계 (2116)에 남아있을 수 있거나, 또는 제1 세척 단계 (2116)로부터 부분적으로 또는 완전히 배출 (2158)될 수 있고, 이어서 부분적으로 또는 완전히 세척 페이지 (2114)로부터 배출될 수 있도록, 조합물을 분리할 수 있다. 반응되거나 용해된 불순물의 일부를 갖고, 산 세척된 물질은 제1 세척 단계 (2116)로부터 배출 (2160)될 수 있고, 제2 세척 단계 (2118)로 도입 (2160)될 수 있고, 여기서 이는 물이 세척 페이지 (2114)로 도입 (2130)되고 이어서 제2 세척 단계 (2118)로 도입 (2162)됨으로써 공급 (2162)될 수 있는 제2 행굼액과 조합될 수 있다. 물질 및 행굼액을, 용해되거나 반응된 불순물 또는 산의 적어도 일부가 행굼액으로 도입될 수 있기에 충분한 시간 동안, 또한 충분한 온도에서 혼합시킬 수 있다. 이어서, 용해되거나 반응된 불순물 또는 산을 함유하는 행굼액이 제2 세척 단계 (2118)에서 남아있을 수 있거나 또는 부분적으로 또는 완전히 제2 세척 단계 (2118)로부터 배출 (2156)될 수 있도록, 조합물을 분리할 수 있고, 반응되거나 용해된 불순물 또는 산의 적어도 일부를 갖고, 산 세척된 물질은 제2 세척 단계 (2118)로부터 배출 (2164)될 수 있고, 이어서 이는 용해 페이지 (2114)로부터 배출 (2120)될 수 있다.
- [0174] 본 발명의 실시양태에서, 혼합물을 형성하는 조합은 당업자에게 공지된 임의의 적합한 수단에 의해 수행될 수 있다. 조합은 붓기, 디핑, 침지, 두 스트림을 함께 붓기, 블렌딩, 또는 임의의 다른 적합한 수단을 포함한다. 본 발명의 실시양태에서 혼합은, 뒤섞음, 교반, 액체 내에 기체를 주입하여 교반을 발생시키는 것, 디핑, 티-배깅(tea-bagging), 반복적 티-배깅에 의한, 또는 단순히 조합된 물질을 임의의 뒤섞음 없이, 또는 매우 약한 뒤섞음 하에, 또는 이들의 조합에 의해 함께 배치시키는 것에 의한 것을 포함한, 임의의 적합한 수단에 의한 혼합을 포함할 수 있다. 뒤섞음은 조합 수단과 일치될 수 있다.
- [0175] 본 발명의 실시양태에서, 조합물은, 경사분리, 여과, 또는 액체-함유 탱크로부터 고체를 함유하는 천공 바스킷 또는 빈의 제거 및 액체의 적어도 일부를 탱크로 다시 배출시키는 것, 또는 이들의 조합을 포함한, 당업자에게 공지된 임의의 적합한 수단에 의해 분리될 수 있다.
- [0176] 본 발명의 실시양태에서, 임의의 공정 단계의 온도는 가열기 또는 냉각기에 의해 영향받을 수 있다.
- [0177] 도 10을 참조로 하면, 본 발명의 특정 실시양태에서의 산 세척 규소에 대한 방법 (2200)의 흐름도가 나타나 있다. 제1 규소-알루미늄 복합체 (2202) (예를 들어 최종 재결정화 규소) 및 약산 용액 (2206)을 조합 (2204) 및 (2208)하여 제1 혼합물 (2210)을 제공할 수 있다. 제1 혼합물 (2210)을, 제1 복합체 (2202)가 약산 용액 (2206)과 적어도 부분적으로 반응하도록 충분한 시간 동안, 또한 충분한 온도에서 존재시킬 수 있고, 여기서 반응은 용해를 포함할 수 있다. 이어서, 제1 혼합물 (2210)을 분리 (2212) 및 (2214)하여, 제2 규소-알루미늄 복합체 (2216) 및 약산 용액 (2206)을 제공할 수 있다. 다음으로, 제2 규소-알루미늄 복합체 (2216) 및 중간 산 용액 (2218)을 조합 (2220) 및 (2222)하여 제2 혼합물 (2224)을 제공할 수 있다. 제2 혼합물 (2224)을, 제2 복합체 (2216)가 중간 산 용액 (2218)과 적어도 부분적으로 반응하도록 충분한 시간 동안, 또한 충분한 온도에서 존재시킬 수 있고, 여기서 반응은 용해를 포함할 수 있다. 이어서, 제2 혼합물 (2224)을 분리 (2226) 및 (2228)하여, 제3 규소-알루미늄 복합체 (2230) 및 중간 산 용액 (2218)을 제공할 수 있다. 다음으로, 제3 규소-알루미늄 복합체 (2230) 및 강산 용액 (2232)을 조합 (2234) 및 (2236)하여 제3 혼합물 (2238)을 제공할 수 있다. 제3 혼합물 (2238)을, 제3 복합체 (2230)가 강산 용액 (2232)과 적어도 부분적으로 반응하도록 충분한 시간 동안, 또한 충분한 온도에서 존재시킬 수 있고, 여기서 반응은 용해를 포함할 수 있다. 이어서, 제3 혼합

물 (2238)을 분리 (2240) 및 (2242)하여, 제1 규소 (2244) 및 강산 용액 (2232)을 제공할 수 있다. 이어서, 제1 규소 (2244) 및 제1 행굼액 (2246)을 조합 (2248) 및 (2250)하여, 제4 혼합물 (2252)을 제공할 수 있다. 제4 혼합물 (2252)을, 제1 규소 (2244)의 일부일 수 있는 용해되거나 반응된 불순물 또는 산 용액의 적어도 일부가 제1 행굼액 (2246)으로 도입되도록 충분한 시간 동안, 또한 충분한 온도에서 존재시킬 수 있다. 이어서, 제4 혼합물 (2252)을 분리 (2254) 및 (2256)하여, 제2 규소 (2258) 및 제1 행굼액 (2246)을 제공할 수 있다. 이어서, 제2 규소 (2258) 및 제2 행굼액 (2260)을 조합 (2262) 및 (2264)하여, 제5 혼합물 (2266)을 제공할 수 있다. 제5 혼합물 (2266)을, 제2 규소 (2258)의 일부일 수 있는 용해되거나 반응된 불순물 또는 산 용액의 적어도 일부가 제2 행굼액 (2260)으로 도입되도록 충분한 시간 동안, 또한 충분한 온도에서 존재시킬 수 있다. 이어서, 제5 혼합물 (2266)을 분리 (2268) 및 (2270)하여, 습윤 정제 규소 (2272) 및 제2 행굼액 (2260)을 제공할 수 있다. 이어서, 습윤 정제 규소를 정제 규소 (2278)를 제공 (2276)하기에 충분히 건조 (2274)시킬 수 있다.

[0178] 당업자는, 단일 또는 다단계, 다중 또는 단일 불순물, 건조 방법, 임의 순서의 용해 또는 반응, 충분한 시간 및 온도, 및 분리에 관한 것을 비롯하여 이전 도 9의 논의가 도 10에 도시된 실시양태에도 동등하게 적용된다는 것을 인식할 것이다.

[0179] 상기에 기재된 실시양태는 용해 페이지에 3개의 용해 단계를 갖지만, 본 발명의 실시양태는 또한 단지 하나의 또는 임의의 적합한 수의 용해 단계를 갖는 용해 페이지를 포함한다. 또한, 상기에 기재된 실시양태는 세척 페이지에 2개의 세척 단계를 갖지만, 본 발명의 실시양태는 또한 단지 하나의 또는 임의의 적합한 수의 세척 단계를 갖는 세척 페이지를 포함한다. 마찬가지로, 상기에 기재된 실시양태는 하나의 건조 페이지를 갖지만, 본 발명의 실시양태는 또한 임의의 적합한 수의 건조 페이지를 포함한다.

[0180] 규소-알루미늄 복합체 (예를 들어 본 발명의 실시양태에서의 최종 재결정화-규소, 또는 임의의 규소-알루미늄 복합체)는 규소 결정, 및 규소 및 알루미늄의 합금을 포함할 수 있다. 조합하여 혼합물을 제공한 후 분리하는 일련의 단계 중 적어도 하나는, 이들 단계로 도입된 규소 또는 규소-알루미늄 복합체에 비해 더 순수한 규소 또는 규소-알루미늄 복합체를 제공할 수 있다. 산 용액과 조합하여 혼합물을 제공한 후 분리하는 일련의 단계 중 적어도 하나는, 이들 단계로 도입된 규소-알루미늄 복합체에 비해 더 낮은 알루미늄을 갖는 규소를 제공할 수 있다.

[0181] 또한 도 10에 도시된 특정 실시양태를 참조로 하면, 새로운 물 (2280)을 제2 행굼액 (2260)에 첨가 (2282)하여 제2 행굼액 (2260)의 부피를 유지할 수 있다. 제2 행굼액 (2260)의 부분을 제1 행굼액 (2246)에 전달 (2284)하여 제1 행굼액 (2246)의 부피를 유지할 수 있다. 제1 행굼액 (2246)의 부분을 강산 용액 (2232)에 전달 (2286)하여 강산 용액 (2232)의 pH를 유지하거나, 강산 용액 (2232)의 부피를 유지하거나, 강산 용액 (2232)의 비중을 유지하거나, 또는 이들의 조합일 수 있다. 벌크 산 용액 (2288)의 부분을 강산 용액 (2232)에 첨가 (2290)하여 강산 용액 (2232)의 pH를 유지하거나, 강산 용액 (2232)의 부피를 유지하거나, 강산 용액 (2232)의 비중을 유지하거나, 또는 이들의 조합일 수 있다. 벌크 산 용액은, 예를 들어, HCl일 수 있다. 벌크 산 용액은 32% HCl일 수 있다. 벌크 산 용액은 임의의 적합한 농도의 산일 수 있다. 강산 용액 (2232)은, 예를 들어, 대략 -0.5 내지 0.0의 pH, 및 대략 1.01 내지 1.15의 비중을 가질 수 있다. 강산 용액 (2232)의 부분을 중간 산 용액 (2218)에 전달 (2292)하여 중간 산 용액 (2218)의 pH를 유지하거나, 중간 산 용액 (2218)의 부피를 유지하거나, 중간 산 용액 (2218)의 비중을 유지하거나, 또는 이들의 조합일 수 있다. 중간 산 용액은, 예를 들어, 대략 0.0 내지 3.0의 pH, 및 대략 1.05 내지 1.3의 비중을 가질 수 있다. 중간 산 용액 (2218)의 부분을 약산 용액 (2206)에 전달 (2294)하여 약산 용액 (2206)의 pH를 유지하거나, 약산 용액 (2206)의 부피를 유지하거나, 약산 용액 (2206)의 비중을 유지하거나, 또는 이들의 조합일 수 있다. 약산 용액 (2206)의 부분을 제거 (2296)하여 약산 용액 (2206)의 pH 및 비중을 유지할 수 있다. 약산 용액 (2206)은, 예를 들어, 대략 1.0 내지 3.0의 pH, 및 대략 1.2 내지 1.4의 비중을 가질 수 있다. 약산 용액 (2206)의 제거된 부분을 폴리알루미늄 클로라이드 탱크 (2297)에 전달 (2296)할 수 있다. 폴리알루미늄 클로라이드 탱크 (2297)은, 예를 들어, 대략 1.5 내지 2.5의 pH, 및 대략 1.3의 비중을 가질 수 있다. PAC 탱크 (2297)는 또한, 예를 들어, 대략 1.2 내지 1.4의 비중을 가질 수 있다. 수소 ( $H_2$ ), 증기, 및 산 기체, 예컨대 HCl 기체를 포함할 수 있는, 약산 용액 위로부터의 기체를 스크러버 (2299)에 전달 (2298)하여 불순물을 제거한 후에 환경으로 방출시킬 수 있다. 중간 산 용액, 강산 용액, 또는 행굼액 중 적어도 하나 위의 헤드 스페이스는 약산 용액 위의 헤드 스페이스에 연결될 수 있어, 약산 용액의 헤드 스페이스로부터 제거된 기체는 약산 용액 및 중간 산 용액, 강산 용액, 또는 제1 또는 제2 행굼액 중 적어도 하나로부터 유래된 증기 또는 기체를 포함한다.



- [0182] 본 발명의 실시양태는 임의의, 임의의 행굼 단계로부터의 새로운 물 또는 행굼수의 부분을 임의의 용액에 전달하여 그 용액의 pH, 부피, 또는 비중을 유지하거나 조정할 수 있다. 3 단계 산 세척에서 3개의 산 탱크의 pH 및 비중에 대해, 또한 PAC 탱크에 대해 본원에 구체적 예가 제공되어 있지만, pH 및 비중의 범위 및 값은 이들 예와 상당히 다를 수 있고, 이들 또한 본 발명의 하나의 실시양태로서 포함될 수 있음을 이해하여야 한다. 마찬가지로, 용어 "강한", "중간", 및 "약한"은 산 용액의 강도 사이의 관계를 나타내도록 의도된 것이지, 임의의 특정 산 용액을 특정 값 또는 범위의 pH 또는 비중으로 제한하도록 의도된 것은 아니다. 따라서, 산 용액이 "약한" 및 "강한"으로 수식된, 2개의 산 세척 단계를 이용한 실시양태에서는, 산 용액들 사이의 관계가 하나의 산 용액 ("강한")이 다른 것 ("약한")보다 더 강한 것이라 해도, 두가지 산 용액 모두 강산 용액으로서 특성화될 수 있다. 마찬가지로, 산 용액이 "약한" 및 "강한"으로 수식된, 2개의 산 세척 단계를 이용한 실시양태에서는, 산 용액들 사이의 관계가 하나의 산 용액 ("약한")이 다른 것 ("강한")보다 더 약한 것이라 해도, 두가지 산 용액 모두 약한 또는 중간 강도의 산 용액으로서 특성화될 수 있다.
- [0183] 일부 실시양태에서는, 규소 및 행굼액을 분리 단계 전에 대략 24시간 동안 혼합시킬 수 있다. 일부 실시양태에서는, 규소 및 행굼액을 분리 단계 전에 대략 1시간 동안 혼합시킬 수 있다. 일부 실시양태에서는, 건조 단계를 3시간 이상 동안 수행할 수 있다. 본 발명의 단계의 시간은 임의의 적합한 시간을 포함할 수 있다.
- [0184] 산 용액, 혼합물, 및 행굼액 중 적어도 하나는 탱크 내에 존재할 수 있다. 규소-알루미늄 복합체, 제1 및 제2 규소, 및 습윤 및 건조 정제 규소를, 유체를 빈의 내부 및 외부로 유동시키는 홀을 갖는 내온도성 및 내약품성 빈을 사용하여 탱크로부터 전달할 수 있다. 분리 동안 빈을 배출시킬 수 있다. 1개 이상의 산 용액 탱크는 2개의 빈을 보유할 수 있다. 내용물이 특정 높이에 도달하였을 때 이전 일련의 조합 및 분리 단계가 수행된 탱크 내로 이들이 오버플로우되도록, 일련의 조합 및 분리 단계가 수행되는 1개 이상의 탱크가 배치될 수 있다. 오버플로우 출구 및 입구 둘 다를 포함하는 탱크는 탱크의 반대 측면에 배치된 오버플로우 출구 및 입구를 가질 수 있다. 산 용액, 혼합물, 및 행굼액 중 적어도 하나가 침강 탱크 내에 존재할 수 있다. 침강 탱크로부터 고체를 제거할 수 있다. 고체의 제거는, 탱크 저부에서 밸브를 개방하여 탱크의 저부로부터 고체를 압출시키는 것을 포함할 수 있다. 고체의 제거는, 탱크로부터 액체를 배출시키고, 탱크의 저부로부터 고체를 수동으로 또는 기계적으로 제거하는 것을 포함할 수 있다.
- [0185] 본 발명의 실시양태는, 캐스케이드 단계 당 1개의 탱크의 사용을 포함할 뿐만 아니라, 전체 공정에 대한 단일 탱크의 사용, 및 캐스케이드에 존재하는 단계보다 더 적은 탱크의 사용을 포함한다. 예를 들어, 1개의 탱크가 다수의 산 용해 단계에 사용될 수 있고, 또한 이어서 1개의 탱크가 행굼 단계에 사용될 수 있다. 예를 들어, 2개의 탱크가 다수의 산 용해 단계에 사용될 수 있고, 2개의 탱크가 행굼 단계에 사용될 수 있다. 또 다른 예는, 하나 이상의 산 용해 단계에 대한 1개의 탱크 사용, 및 하나 이상의 행굼 단계에 대한 동일한 탱크의 사용을 포함한다. 산 용액 및 행굼액을 행굼을 위한 규소-알루미늄 복합체 또는 규소를 보유하는 탱크에 첨가할 수 있다. 산 용해 또는 행굼 단계가 완료되면, 용액을 탱크로부터 제거하여 저장 위치로 이동시키거나 폐기할 수 있고, 후속 용액을 탱크에 첨가하여 후속 캐스케이드 단계를 수행할 수 있다. 박편을 보유하는 1개 이상의 탱크는 침강 탱크일 수 있다. 용액의 pH, 비중, 및 부피의 유지가 박편을 보유하는 1개 이상의 탱크에서, 각각의 특정 용액에 대한 저장 위치에서, 또는 이들 둘 다에서 수행될 수 있다. 규소-알루미늄 복합체, 제1 및 제2 규소, 및 습윤 및 건조 정제 규소를, 유체를 빈의 내부 및 외부로 유동시키는 홀을 갖는 내온도성 및 내약품성 빈을 사용하는 것을 포함한 임의의 적합한 방식으로 1개 이상의 특정 탱크에서 보유할 수 있다. 용액이 전달될 때 탱크 내부에서, 또는 탱크로부터 빈을 상승시켜 빈 내부의 용액을 탱크로 다시 유동시킴으로써, 분리 동안 빈을 배출시킬 수 있다. 탱크는 2개의 빈, 또는 임의의 적합한 수의 빈 (1개의 빈 포함)을 보유할 수 있다. 산 용액, 혼합물, 또는 행굼액 중 적어도 하나의 저장 위치는 침강 탱크일 수 있다. 고체를 침강 탱크로부터 제거할 수 있다. 고체의 제거는, 탱크 저부에서 밸브를 개방하여 탱크의 저부로부터 고체를 압출시키는 것을 포함할 수 있다. 고체의 제거는, 탱크로부터 액체를 배출시키고, 탱크의 저부로부터 고체를 수동으로 또는 기계적으로 제거하는 것을 포함할 수 있다.
- [0186] 행굼액과 조합하여 혼합물을 제공한 후 분리하는 일련의 단계 중 적어도 하나는, 이들 단계로 도입된 규소에 비해 산 용액 및 알루미늄의 반응 생성물을 더 적게 갖는 규소를 제공할 수 있다.
- [0187] 건조 정제 규소는 대략 1000 내지 3000 ppmw (중량 백만분율)의 알루미늄을 가질 수 있다. 제1, 제2, 또는 제3 규소-알루미늄 복합체, 제1 또는 제2 규소, 습윤 규소, 또는 건조 정제 규소 중 적어도 하나는 독립적으로 대략 400 내지 1000 kg일 수 있다. 제1, 제2, 또는 제3 규소-알루미늄 복합체, 제1 또는 제2 규소, 습윤 규소, 또는 건조 정제 규소 중 적어도 하나는 독립적으로 대략 600 내지 800 kg일 수 있다. 제1, 제2, 또는 제3 규소-알루미늄 복합체, 제1 또는 제2 규소, 습윤 규소, 또는 건조 정제 규소 중 적어도 하나는 독립적으로 대략 650 내지

750 kg일 수 있다.

[0188] 상기에 기재된 pH 및 비중의 특정 범위는 본 발명의 하나 이상의 특정 실시양태이다. 본 발명의 실시양태는 다양한 방법 단계에 대한 임의의 적합한 범위의 pH 또는 비중을 포함한다. 예를 들어, 3 단계 산 용해에서, 강산 용액은 대략 -0.5 내지 4의 pH를, 중간 산 용액은 대략 0.0 내지 4의 pH를, 또한 약산 용액은 대략 0.0 내지 5의 pH를 가질 수 있다. 또 다른 예에서, 강산 용액은 대략 -0.5 내지 1의 pH를 가질 수 있고, 중간 산 용액은 대략 0.0 내지 3의 pH를 가질 수 있고, 약산 용액은 대략 1.0 내지 4.0의 pH를 가질 수 있다. 또 다른 예에서, 강산 용액은 대략 -0.5 내지 0.0의 pH를 가질 수 있고, 중간 산 용액은 대략 0.0 내지 2.5의 pH를 가질 수 있고, 약산 용액은 대략 1.5 내지 3.0의 pH를 가질 수 있다. 또 다른 예에서, 2 단계 산 용해에서, 강산 용액은 대략 -0.5 내지 4의 pH를 가질 수 있고, 약산은 대략 0.0 내지 5의 pH를 가질 수 있다. 2 단계 산 용해를 이용하는 또 다른 예에서, 강산 용액은 대략 -0.5 내지 3의 pH를 가질 수 있고, 약산 용액은 대략 0.0 내지 4의 pH를 가질 수 있다. 2 단계 산 용해를 이용하는 또 다른 예에서, 강산 용액은 대략 -0.5 내지 1.0의 pH를 가질 수 있고, 약산 용액은 대략 1.0 내지 3.0의 pH를 가질 수 있다. 보다 강한 용액과 보다 약한 용액 사이의 관계를 유지하는 모든 적합한 pH 변형이 본 발명의 실시양태에 포함되는 것으로 고려된다.

[0189] 마찬가지로, 예를 들어, 3 단계 산 세척에서, 강산 용액은 대략 1.01 내지 1.4의 비중을 가질 수 있고, 중간 산 용액은 대략 1.01 내지 1.4의 비중을 가질 수 있고, 약산 용액은 대략 1.01 내지 1.4의 비중을 가질 수 있다. 또 다른 예에서, 강산 용액은 대략 1.01 내지 1.3의 비중을 가질 수 있고, 중간 산 용액은 대략 1.01 내지 1.2의 비중을 가질 수 있고, 약산 용액은 대략 1.1 내지 1.4의 비중을 가질 수 있다. 또 다른 예에서, 강산 용액은 대략 1.01 내지 1.10의 비중을 가질 수 있고, 중간 산 용액은 대략 1.05 내지 1.15의 비중을 가질 수 있고, 약산 용액은 대략 1.2 내지 1.4의 비중을 가질 수 있다. 또 다른 예에서, 강산 용액은 대략 1.05의 비중을 가질 수 있고, 중간 산 용액은 대략 1.09의 비중을 가질 수 있고, 약산 용액은 대략 1.3의 비중을 가질 수 있다. 2 단계 산 용해를 이용하는 또 다른 예에서, 강산 용액은 대략 1.01 내지 1.4의 비중을 가질 수 있고, 약산 용액은 대략 1.01 내지 1.4의 비중을 가질 수 있다. 2 단계 산 용해를 이용하는 또 다른 예에서, 강산 용액은 대략 1.01 내지 1.3의 비중을 가질 수 있고, 약산 용액은 대략 1.01 내지 1.4의 비중을 가질 수 있다. 2 단계 산 용해를 이용하는 또 다른 예에서, 강산 용액은 대략 1.01 내지 1.2의 비중을 가질 수 있고, 약산 용액은 대략 1.1 내지 1.4의 비중을 가질 수 있다. 모든 적합한 비중 변형이 본 발명의 실시양태에 포함되는 것으로 고려된다.

[0190] 개별적으로 임의의 단계의 pH, 부피, 비중 또는 이들의 조합을 유지하기 위한 부분의 제거는 배치식 방법으로 또는 연속적 방법으로 수행될 수 있다. 센서를 사용하여 액체 높이, pH, 비중, 유량, 온도, 또는 이들의 조합 중 적어도 하나를 검출할 수 있다. 본 발명의 방법에 의한 용액 특성 조정을 가능하게 하는 데 적합한 임의의 용액 특성을 검출하기 위해 유용한 임의의 적합한 센서 디바이스가 본 발명의 실시양태 내에 포함된다. 연속적 방법에 사용하기에 적합한 센서는 배치식 방법에 사용하기에 적합한 것들과 상이할 수 있다.

[0191] 용어 "부분"의 사용은, 어떠한 방식으로든 본 발명의 실시양태의 범위를 배치식 방법으로 제한하도록 의도되지는 않는다. 또한, 무한히 작은 부분은 연속적 방법으로 연속적으로 제거될 수 있고; 따라서, 용어 "부분"은 본 발명을 배치식 방법으로 제한하지 않는다.

[0192] 약산의 제거 부분은 폴리알루미늄 클로라이드를 포함할 수 있다. 약산의 제거 부분은 삼염화알루미늄을 포함할 수 있다. 약산 용액의 제거 부분은 알루미늄과 HCl, 물, 또는 이들의 조합의 반응 생성물을 포함할 수 있다. 제1 폴리알루미늄 클로라이드 탱크는 침강 탱크를 포함할 수 있다. 폴리알루미늄 클로라이드 탱크의 내용물의 부분을 탱크 상단으로부터 또 다른 폴리알루미늄 클로라이드 탱크의 중앙으로 전달할 수 있고, 여기서 후속 폴리알루미늄 클로라이드 탱크는 침강 탱크를 포함한다. 액체를 침강 탱크의 상단으로부터 또 다른 침강 탱크의 중앙으로 전달하는 단계를, 일련의 침강 탱크 중 최종 침강 탱크로부터의 액체에서 고체 물질이 충분히 제거될 때까지 일련의 침강 탱크를 사용하여 반복할 수 있다. 액체를 침강 탱크의 상단으로부터 또 다른 침강 탱크의 중앙으로 전달하는 단계를, 일련의 침강 탱크 중 최종 침강 탱크로부터의 액체에서 물 정제 공정에서 사용되는 고체 물질이 충분히 제거될 때까지 일련의 침강 탱크를 사용하여 반복할 수 있다.

[0193] 도 11을 참조로 하면, 의사결정 분지도 (2300)는, 본 발명의 특정 실시양태에서 약산 용액의 부분을 제거하는 경우를 나타낸다. 약산의 부분을 폴리알루미늄 클로라이드 탱크에 전달하는 경우에 대해 질문할 수 있다. 먼저, 약산 탱크가 1.5 초과인 pH를 갖는지의 질문 (2304)에 대한 답변이 부정 (2306)이면, 알루미늄 용해 또는 반응을 약산 탱크에서 계속 (2308)할 수 있고; 답변이 긍정 (2310)이면, 약산 탱크의 비중 값을 질문 (2312)한다. 약산 탱크가 1.3 초과인 pH를 갖는지의 질문 (2312)에 대한 답변이 긍정 (2314)이면, PAC 탱크의 나머지



공간을 질문 (2316)한다. PAC 저장 탱크 내에 적절한 공간이 있는지의 질문 (2316)에 대한 답변이 부정 (2318)이면, 1000 L를 PAC 저장 탱크로부터 대안적 PAC 저장 탱크로 전달 (2320)하고, 이어서 PAC 탱크 내의 나머지 공간을 다시 질문 (2316)할 수 있다. PAC 저장 탱크 내에 적절한 공간이 있는지의 질문 (2316)에 대한 답변이 긍정 (2322)이면, 약산 500 L를 PAC 저장 탱크로 전달 (2324)할 수 있다. 약산 탱크가 1.3 초과인 pH를 갖는지의 질문 (2312)에 대한 답변이 부정 (2326)이면, 약산 탱크의 pH를 질문 (2328)할 수 있다. 약산 탱크의 pH가 1.8 미만인지의 질문 (2328)에 대한 답변이 긍정 (2330)이면, 알루미늄 용해 또는 반응을 약산 탱크에서 계속 (2308)할 수 있고; 답변이 부정 (2332)이면, 약산 탱크 내의 나머지 공간을 질문 (2334)할 수 있다. 액체 첨가를 위해 약산 탱크 내에 충분한 공간이 있는지의 질문 (2334)에 대한 답변이 긍정 (2336)이면, 중간 산의 부분을 약산에 첨가하여 pH를 1.8로 감소시키고, 약산 탱크의 pH를 다시 질문 (2328)한다. 액체 첨가를 위해 약산 탱크 내에 충분한 공간이 있는지의 질문 (2334)에 대한 답변이 부정 (2340)이면, 약산 500 L를 약산 탱크로부터 PAC 저장 탱크로 전달 (342)하고, 약산 탱크의 pH를 다시 질문 (2328)할 수 있다. 알루미늄 분해(digestion)를 계속하는 의사결정 (2308)에 도달하거나, 또는 약산 500 L를 PAC 저장 탱크로 전달하는 의사결정 (2324)에 도달한 후, 의사결정 분지도를 질문 (2302)으로 재개한다. 일반적으로, 의사결정 분지도에서 약산 500 L를 약산 탱크로부터 PAC 저장 탱크로 전달하는 행위 (2342)에 도달하는 경우, PAC 용액의 품질이 저하될 수 있다. 일반적으로, 의사결정 분지도에서 약산 500 L를 PAC 저장 탱크로 전달하는 행위 (2324)에 도달하는 경우, PAC 용액의 품질이 향상될 수 있다. 그러나, 본 발명의 실시양태는, 고품질 PAC 용액 뿐만 아니라 보다 낮은 품질의 PAC 용액을 생성하는 방법을 포함한다. 2개의 산 세척 단계를 이용하는 본 발명의 실시양태에서, 의사결정 박스 (2338)은 강산 용액을 약산 탱크에 첨가하여 pH를 1.8로 감소시키도록 지시함을 이해하여야 한다.

[0194] 당업자는 도 11에 예시된 의사결정 분지도에 나타난 일련의 단계가 도에 예로서 제공된 특정 pH 수준 또는 전달 부피로 제한되지 않음을 인지할 것이다. 의사결정을 수행하는 데 이용된 pH 수준, 또는 각각의 전달 부피는 주어진 구체적 예에서 상당히 다를 수 있고, 이들 또한 본 발명의 실시양태에 포함될 수 있다. 예를 들어, 의사결정 박스 (2304)는 약산 탱크의 pH가 대략 1.0 초과인지를 질문할 수 있다. 또 다른 예에서, 의사결정 박스 (2304)는 약산 탱크의 pH가 대략 1.3 초과인지를 질문할 수 있다. 또 다른 예에서, 의사결정 박스 (2304)는 약산 탱크의 pH가 대략 1.8 초과인지를 질문할 수 있다. 또 다른 예에서, 의사결정 박스 (2312)는 약산 탱크의 비중이 대략 1.1 초과인지를 질문할 수 있다. 또 다른 예에서, 의사결정 박스 (2312)는 약산 탱크의 비중이 대략 1.2 초과인지를 질문할 수 있다. 또 다른 예에서, 의사결정 박스 (2312)는 약산 탱크의 비중이 대략 1.4 초과인지를 질문할 수 있다. 또 다른 예에서, 의사결정 박스 (2328)는 약산 탱크의 pH가 대략 1.6 미만인지를 질문할 수 있다. 또 다른 예에서, 의사결정 박스 (2328)는 약산 탱크의 pH가 대략 1.7 미만의 pH인지를 질문할 수 있다. 또 다른 예에서, 의사결정 박스 (2328)는 약산 탱크의 pH가 대략 2.0 미만의 pH를 갖는지를 질문할 수 있다. 또 다른 예에서, 의사결정 박스 (2338)는 약산 용액의 pH가 대략 1.6에 도달할 때까지 용액을 첨가할 수 있다. 또 다른 예에서, 의사결정 박스 (2338)는 약산 용액의 pH가 대략 1.7에 도달할 때까지 용액을 첨가할 수 있다. 또 다른 예에서, 의사결정 박스 (2338)는 약산 용액의 pH가 대략 2.0에 도달할 때까지 용액을 첨가할 수 있다. 또 다른 예에서, 의사결정 박스 (2342) 또는 (2324)에서 전달 부피는 대략 250 L일 수 있다. 또 다른 예에서, 의사결정 박스 (2342) 또는 (2324)에서 전달 부피는 대략 750 L일 수 있다. 또 다른 예에서, 의사결정 박스 (2342) 또는 (2324)에서 전달 부피는 대략 1000 L일 수 있다. 또 다른 예에서, 의사결정 박스 (2342) 또는 (2324)에서 전달 부피는 대략 750 L일 수 있다. 또 다른 예에서, 의사결정 박스 (2320)에서 전달 부피는 대략 1250 L일 수 있다. 모든 적합한 pH 및 전달 부피 변형이 본 발명의 실시양태에 포함되는 것으로 고려된다.

[0195] 상기에 기재된 폴리알루미늄 클로라이드 탱크는 임의의 적합한 물질을 함유할 수 있고, 이는 단지 폴리알루미늄 클로라이드 용액으로 제한되지는 않는다.

[0196] 도 12를 참조로 하면, 본 발명의 특정 실시양태에서의 규소의 산 세척 방법 (2400)의 흐름도가 나타나 있다. 제1 규소-알루미늄 복합체 (2402) (예를 들어 최종 재결정화-규소) 및 약산 용액 (2406)을 조합 (2404) 및 (2408)하여 제1 혼합물 (2410)을 제공할 수 있다. 제1 혼합물 (2410)을, 제1 복합체 (2402)가 약산 용액 (2406)과 적어도 부분적으로 반응하도록 충분한 시간 동안, 또한 충분한 온도에서 존재시킬 수 있고, 여기서 반응은 용해를 포함할 수 있다. 이어서, 제1 혼합물 (2410)을 분리 (2412) 및 (2414)하여 (가능한 조합 및 분리 사이의 삽입 단계와 함께), 제3 규소-알루미늄 복합체 (2430) 및 약산 용액 (2406)을 제공할 수 있다. 다음으로, 제3 규소-알루미늄 복합체 (2430) 및 강산 용액 (2432)을 조합 (2434) 및 (2436)하여 제3 혼합물 (2438)을 제공할 수 있다. 제3 혼합물 (2438)을, 제3 복합체 (2430)가 강산 용액 (2432)과 적어도 부분적으로 반응하도록 충분한 시간 동안, 또한 충분한 온도에서 존재시킬 수 있고, 여기서 반응은 용해를 포함할 수 있다. 이어서, 제3 혼합물 (2438)을 분리 (2440) 및 (2442)하여, 제1 규소 (2444) 및 강산 용액 (2432)을 제공할 수

있다. 이어서, 제1 규소 (2444) 및 제1 행굼액 (2446)을 조합 (2448) 및 (2450)하여 제4 혼합물 (2452)을 제공할 수 있다. 제4 혼합물 (2452)을, 제1 규소 (2444)의 일부일 수 있는 용해되거나 반응된 불순물 또는 산 용액의 적어도 일부가 제1 행굼액 (2446)으로 도입되도록 충분한 시간 동안, 또한 충분한 온도에서 존재시킬 수 있다. 이어서, 제4 혼합물 (2452)을 분리 (2454) 및 (2456)하여 (가능한 조합 및 분리 사이의 삽입 단계와 함께), 습윤 정제 규소 (2472) 및 제1 행굼액 (2460)을 제공할 수 있다. 이어서, 습윤 정제 규소를, 정제 규소 (2478) (예를 들어 최종 산-세척 규소)를 제공 (2476)하도록 충분히 건조 (2474)시킬 수 있다.

[0197] 당업자는, 단일 또는 다단계, 다중 또는 단일 불순물, 건조 방법, 임의 순서의 용해 또는 반응, 충분한 시간 및 온도, 및 분리에 관한 것을 비롯하여 이전 도 9의 논의가 도 12에 도시된 실시양태에도 동등하게 적용된다는 것을 인식할 것이다.

[0198] 상기에 기재된 실시양태는 용해 페이지에 2개의 용해 단계를 갖지만, 본 발명의 실시양태는 또한 단지 하나의 또는 임의의 적합한 수의 용해 단계, 예를 들어, 1, 2, 3, 4, 또는 5개의 용해 단계를 갖는 용해 페이지를 포함한다. 또한, 상기에 기재된 실시양태는 세척 페이지에 1개의 세척 단계를 갖지만, 본 발명의 실시양태는 또한 임의의 적합한 수의 세척 단계, 예를 들어, 1, 2, 3, 4, 또는 5개의 행굼 단계를 갖는 세척 페이지를 포함한다. 마찬가지로, 상기에 기재된 실시양태는 하나의 건조 페이지를 갖지만, 본 발명의 실시양태는 또한 임의의 적합한 수의 건조 페이지를 포함한다.

[0199] 또한 도 12에 도시된 특정 실시양태를 참조로 하면, 새로운 물 (2480)을 제1 행굼액 (2460)에 첨가 (2482)하여 제1 행굼액 (2460)의 부피를 유지할 수 있다. 제1 행굼액 (2446)의 부분을 강산 용액 (2432)으로 전달 (2486)하여 강산 용액 (2432)의 pH를 유지하거나, 강산 용액 (2432)의 부피를 유지하거나, 강산 용액 (2432)의 비중을 유지하거나, 또는 이들의 조합일 수 있다. 벌크 산 용액 (2488)의 부분을 강산 용액 (2432)에 첨가 (2490)하여 강산 용액 (2432)의 pH를 유지하거나, 강산 용액 (2432)의 부피를 유지하거나, 강산 용액 (2432)의 비중을 유지하거나, 또는 이들의 조합일 수 있다. 벌크 산 용액은, 예를 들어, HCl일 수 있다. 벌크 산 용액은 32% HCl일 수 있다. 벌크 산 용액은 임의의 적합한 농도의 산일 수 있다. 강산 용액 (2432)의 부분을 약산 용액 (2406)에 전달 (2492)하여 약산 용액 (2406)의 pH를 유지하거나, 약산 용액 (2406)의 부피를 유지하거나, 약산 용액 (2406)의 비중을 유지하거나, 또는 이들의 조합일 수 있다. 약산 용액 (2406)의 부분을 제거 (2496)하여 약산 용액 (2406)의 pH 및 비중을 유지할 수 있다. 약산 용액 (2406)의 제거 부분을 폴리알루미늄 클로라이드 탱크 (2497)에 전달 (2496)할 수 있다. 폴리알루미늄 클로라이드 탱크 (2497)는, 예를 들어, 대략 1.5 내지 2.5의 pH, 및 대략 1.3의 비중을 가질 수 있다. PAC 탱크 (2497)는 또한, 예를 들어, 대략 1.2 내지 1.4의 비중을 가질 수 있다. 수소 ( $H_2$ ), 증기, 및 산 기체, 예컨대 HCl 기체를 포함할 수 있는, 약산 용액 위로부터의 기체를 스크러버 (2499)에 전달 (2498)하여 불순물을 제거한 후에 환경으로 방출시킬 수 있다. 중간 산 용액, 강산 용액, 또는 행굼액 중 적어도 하나 상의 헤드 스페이스는 약산 용액 위로부터의 헤드 스페이스에 연결될 수 있어, 약산 용액의 헤드 스페이스로부터 제거된 기체는 약산 용액으로부터 유래된 증기 또는 기체 및 중간 산 용액, 강산 용액, 또는 제1 또는 제2 행굼액 중 적어도 하나를 포함한다.

[0200] 3 단계 용해 공정에 대한 상기 변수들의 전체적 논의는 2 단계 용해 공정, 또는 임의 수의 용해 또는 행굼 단계를 갖는 공정에도 동등하게 적용된다. 따라서, 1개 또는 2개 이상의 용해 단계와, 또한 1개 또는 2개 이상의 세척 단계를 이용한 본 발명의 실시양태는, 임의로 임의의 행굼 단계로부터의 새로운 물 또는 행굼수의 부분을 임의의 용액에 전달하여 그 용액의 pH, 부피, 또는 비중을 유지하거나 조정하는 것을 포함한다. "강한" 및 "약한" 지시어는 상대적 지시어이며, 특정 범위의 pH에 대한 제한은 아니다. 공정은 임의 수의 탱크 (1개 포함)를 사용하여 수행될 수 있다. 액체의 전달은 배치식 또는 연속식으로 수행될 수 있다. 단계에 대한 임의의 적합한 pH 또는 비중 값이 본 발명의 실시양태에 포함된다.

[0201] 지향성 교체

[0202] 규소 정제 방법은 또한, 최종 산-세척-규소를 지향성 교체화시켜 최종 지향성 교체화-규소 결정을 제공하는 것을 포함한다. 지향성 교체화는 규소를 정제하여 최종 지향성 교체화-규소 결정을 제공하는 것을 가능하게 하는 임의의 적합한 지향성 교체화일 수 있다. 지향성 교체화는, 본원에 기재된 것들을 포함하고, 공지된 표준 지향성 교체화 장치를 포함하는 임의의 지향성 교체화 장치를 포함할 수 있는 지향성 교체화 장치에서 수행할 수 있다. 지향성 교체화에 적합한 도가니, 장치, 및 방법의 일부 예는, 전문이 본원에 참조로 포함되는 미국 특허 출원 번호 12/716,889 및 12/947,936에서 찾아볼 수 있다.

[0203] 지향성 교체화 동안 규소가 교체되기에 따라, 불순물은, 교체화 상과 함께 결정화되는 것과 반대로 용융 상 중에 남아있는 것을 선호하는 경향이 있다. 잉곳은, 규소가 교체화 (예를 들어 동결)됨에 따라 규소에 온도 구배

를 적용하거나 규소 중에 온도 구배를 유도함으로써 지향성 고체화될 수 있다. 규소는 잉곳의 저부로부터 상단으로 지향성 고체화될 수 있다. 예를 들어, 열을 잉곳의 상단에 제공하여 온도 구배를 형성하거나 그 형성을 도울 수 있거나, 또는 냉각을 잉곳의 저부 상에 제공하여 온도 구배를 형성하거나 그 형성을 도울 수 있다. 일부 예에서, 규소는 수 톤의 잉곳, 예를 들어 약 1 내지 3 톤의 잉곳으로 지향성 고체화될 수 있다.

[0204] 지향성 고체화 동안, 불순물은 용융 상 중에 남아있는 경향이 있기 때문에, 고체화되는 용융 상의 최종 부분은 일반적으로, 지향성 고체화 규소의 나머지와 비교할 때 최고 농도의 불순물을 포함한다. 따라서, 지향성 고체화 후, "최종 동결" 규소의 일부분을 제거할 수 있다. "최종 동결" 규소는 샘플 잉곳 또는 보울에서 최종 고체화되고 가장 많은 불순물을 함유하는 규소를 지칭할 수 있고; 따라서, 규소의 이 부분의 제거는 전체적으로 더욱 순수한 규소를 생성하는 것을 도울 수 있다 (예를 들어, 여기서 트리밍된 규소의 평균 순도는 트리밍 전 규소의 평균 순도보다 더 높음). 일부 예에서는, 최종 동결 규소의 약 5 내지 약 30%가 제거될 수 있다.

[0205] 지향성 고체화 공정은, 저부로부터 상단으로 지향성 고체화시킴으로써, 또한 예를 들어 형성된 규소 잉곳 각각의 상단의 약 5% 내지 약 30%를 제거함으로써 1회 이상 반복될 수 있다. 잉곳의 상단을, 이것이 동결되기 전에, 예를 들어 붓기 또는 사이펀 이동에 의해 제거할 수 있다. 최종 동결 구역을 절단할 수 있거나 파단시킬 수 있다. 최종 동결 규소를 임의의 경로에서 공정으로 다시 재순환시킬 수 있다. 지향성 고체화된 잉곳의 측면 및 저부를 절단하여 공정으로 다시 재순환시킬 수 있다. 임의의 단계들 사이에, 고체 규소의 표면을 매질로 블라스팅, 예컨대 샌드 블라스팅 또는 아이스 블라스팅하거나, 또는 에칭할 수 있다. 예를 들어, 각각의 원소의 분리 계수 차이를 고려하여, 추가의 지향성 고체화 단계가 규소를 추가로 정제할 수 있다. 임의의 상기 단계들을 1회 이상 반복할 수 있다.

[0206] 가열로 용량의 효율적 이용을 제공하는 도가니

[0207] 일부 실시양태에서, 규소의 용융 또는 규소의 지향성 고체화, 또는 이들 둘 다를, 가열로 용량의 효율적 이용을 제공하도록 디자인된 도가니에서 수행할 수 있다. 일부 실시양태에서, 도가니는 용융 규소가 제조되는 가열로의 내부 형상에 대략 매칭될 수 있다.

[0208] 도 13을 참조로 하면, 본 발명의 도가니인 도가니 (3100)의 하나의 실시양태의 상면도가 나타나 있다. 도가니 (3100)은 잉곳의 제조를 위한 내부 (3102)를 포함한다. 도 14를 참조로 하면, 도가니 (3100) 내의 잉곳 (3200)의 상면도가 나타나 있다. 잉곳 (3200)은, 용융 물질이 고체화, 결정화, 또는 이들의 조합을 통과한 후 트리밍된 돌레 (3201)의 부분을 포함할 수 있다. 잉곳 (3200)은 다수의 블록 (3202)을 포함한다. 블록 (3202)은 디바이스 절단을 이용하여 잉곳 (3200)으로부터 형성될 수 있다. 잉곳은 규소를 포함할 수 있다. 용융 물질은 용융 규소를 포함할 수 있다. 블록 (3202)은 격자로 잉곳 (3200) 내에 배열될 수 있다. 도가니 (3100)의 외부 형상은, 대략 둥근 형상을 갖는 내부 구획을 갖는 가열로일 수 있는, 잉곳이 형성되는 가열로의 내부 형상에 대략 매칭된다. 가열로의 내부 형상에 대략 매칭시킴으로써, 도가니 (3100)는 보다 많은 양의 용융 물질을 가열로 내에 피팅시킬 수 있고, 따라서 가열로의 용량을 보다 효율적으로 이용할 수 있다. 도가니 (3100)는, 대략 둥근 가열로의 내부 형상에 대략 매칭시킴으로써, 정사각형 형상을 갖는 도가니를 사용하여 가열로부터 생성될 수 있는 블록의 수보다 더 많은 수의 블록 (3202)을 제공하는 잉곳 (3200)을 생성시킬 수 있다. 정사각형 형상의 도가니로부터의 잉곳에서의 격자와 비교할 때, 잉곳 (3200)에서 코너 블록의 백분율에 대한 측면 또는 중앙 블록의 백분율이 더 클 수 있고, 중앙 블록의 백분율에 대한 측면 블록의 백분율이 증가될 수 있다. 표 2를 참조한다. 정사각형 형상의 도가니와 비교할 때, 도가니 (3100)로부터의 잉곳 (3200) 내의 코너 블록의 백분율은 감소되었다.

표 1

	잉곳 당 블록			
	16개 블록, 정사각형 도가니	25개 블록, 정사각형 도가니	32개 블록, 도가니 100	36개 블록, 정사각형 도가니
측면	50%	48%	50%	44%
코너	25%	16%	0%	11%
중앙	25%	36%	50%	44%

[0209]

- [0210] 본 발명의 도가니의 일부 실시양태는 블록을 포함하는 잉곳을 포함한다. 블록은 도가니로부터 형성된 잉곳 내에서 함께 접합된다. 이들은 캐스팅 공정이 완료된 후 서로 절단됨으로써 분리된 블록이 된다. 블록은 격자 패턴으로 절단될 수 있다. 절단은 당업자에게 공지된 임의의 적합한 절단 디바이스에 의해 수행될 수 있다. 적합한 절단 디바이스의 예는 연마재, 예컨대 다이아몬드, 절단 이(cutting teeth) (연속적 루프로 회전하는 때에 부착됨)를 사용하는 톱이다. 절단은 물로 냉각시켜 블레이드의 과열을 막는 것을 포함할 수 있다. 적합한 절단 디바이스의 또 다른 예는, 냉각 유체 및 SiC 그릿을 갖는 강선 또는 다이아몬드 그릿 및 냉각 유체로 코팅된 강선을 사용하는 와이어 톱이다.
- [0211] 잉곳의 내부 품질의 요인은 일부 예에서 고체화되거나 결정화된 물질의 도가니 벽에 대한 근접성을 포함할 수 있다. 도가니는, 고체의 용이한 제거를 가능하게 하는, 물질이 도가니에 점착되는 것을 막는 물질로 코팅되거나 이를 포함한다. 도가니의 코팅 또는 구성요소는 점착 방지에 도움이 되면서 용융 물질로 확산되어 도가니 벽에 가장 가까운 고체 물질의 순도에 영향을 줄 수 있다. 따라서, 보다 적은 잉곳이 도가니 벽에 접촉될 때, 도가니의 구성요소 또는 코팅으로부터의 확산에 의해 오염되는 물질이 보다 적다. 추가로, 코너에서 도가니 내의 규소의 상면이 최종 고체화될 수 있고, 결정화에서 최종 동결 물질은 최고 수준의 불순물을 함유할 수 있다. 잉곳의 최종 동결 부분은, 예를 들어, 절단 디바이스에 의해, 잉곳 사용 전에, 제거된 후 사용될 수 있다. 보다 적은 잉곳이 도가니 벽에 접촉될 때, 사용 전 잉곳으로부터 트리밍될 필요성에 의해 낭비되는 물질이 보다 적다. 본 발명은, 잉곳이 도가니의 둘레와 2개의 연부를 공유하는 블록을 보다 적게 포함하도록, 보다 적은 코너를 갖는 잉곳을 포함한다. 따라서, 본 발명은, 보다 낮은 품질의 생성물을 보다 작은 비율로 생성할 수 있고, 낭비를 줄이거나 재순환 규소를 감소시킬 수 있다.
- [0212] 또한 도 13을 참조로 하면, 도가니 (3100)은 8개의 측면 (3104) 및 (3106)을 포함하는 둘레를 포함한다. 8개의 측면은 대략 동일한 길이를 갖는 대략 마주보는 제1 측면 (3104)의 2 세트를 포함한다. 8개의 측면은 대략 동일한 길이를 갖는 대략 마주보는 제2 측면 (3106)의 2 세트를 포함한다. 도가니 (3100)의 8개의 측면은, 제1 측면 (3204) 및 제2 측면 (3206)을 포함한, 도가니 (3100)로부터 형성된 잉곳 (3200)의 8개 측면에 상응한다. 제1 측면 (3104) 및 제2 측면 (3106)은 대략 편평하다. 제1 측면 (3104)은 제2 측면 (3106)보다 더 길다. 제1 측면 (3104)은 제2 측면 (3106)과 번갈아 존재한다. 특정 실시양태에서, 도가니 (100)의 높이는 다른 도가니보다 2 내지 20 cm 더 높고, 이는, 예를 들어, 36-블록 750 kg 정사각형 도가니와 동일한 양의 규소를 보유하는 것을 가능하게 할 수 있다. 일반적으로, 본 발명에서, 도가니의 높이는, 예를 들어, 보다 많은 물질이 도가니로 로딩될 수 있도록, 저밀도 규소와 같은 저밀도 물질이 경제적으로 사용될 수 있도록, 보다 높게 제조될 수 있다.
- [0213] 특정 실시양태에서, 제1 측면 (3204)은 예를 들어 약 5 내지 40 인치, 또는 약 10 내지 30 인치, 또는 약 24 인치일 수 있다. 제2 측면 (3206)은 대략 5 내지 15 인치, 예를 들어 11.14 인치일 수 있다. 블록 (3202)의 치수는 약 6 인치 x 약 6 인치일 수 있다. 도가니의 측면 두께는 예를 들어 약 0.25 내지 약 2 인치, 또는 약 0.5 내지 약 1 인치, 또는 약 0.67 인치일 수 있다. 잉곳 (200)의 측면으로부터 제거된 물질의 두께는 예를 들어 약 0.5 내지 4 인치, 또는 약 1 내지 2 인치, 또는 약 1.88 인치일 수 있다.
- [0214] 도 15를 참조로 하면, 특정 실시양태에서 도가니 (3100)의 측면도가 나타나 있다. 도가니의 폭 (3308)은 예를 들어 약 20 내지 60 인치, 또는 약 35 내지 45 인치, 또는 약 41 인치일 수 있다. 도가니의 높이 (3306)는 예를 들어 약 5 내지 40 인치, 또는 약 15 내지 25 인치, 또는 약 18.00 인치일 수 있다. 측면 (3302)은 예를 들어 약 0.25 내지 약 4 인치 두께, 또는 약 0.5 내지 1 인치 두께, 또는 약 0.67 인치 두께를 가질 수 있다. 도가니는 저부 (3304)를 가질 수 있다.
- [0215] 일부 실시양태에서, 도가니는 대략 동일한 길이의 제1 측면 및 제2 측면을 포함할 수 있다. 도가니는 굽어진 또는 곡선을 포함하는 제1 측면을 포함할 수 있고, 도가니는 독립적으로 굽어진 또는 곡선을 포함하는 제2 측면을 포함할 수 있다. 따라서, 도가니는 굽어진 제1 측면 및 대략 곧은 제2 측면을 포함할 수 있고; 도가니는 또한 굽어진 제2 측면 및 대략 곧은 제1 측면을 포함할 수 있다. 측면의 곡선은, 함께 원호 형상을 형성하는, 또는 1개 초과와 원호를 형성하는 다수의 대략 편평한 표면을 포함할 수 있다. 측면의 곡선은, 1개의 단일 곡선을 포함할 수 있다. 측면의 곡선은, 함께 원호 형상을 형성하는, 또는 1개 초과와 원호를 형성하는 다수의 굽어진 표면을 포함할 수 있다.
- [0216] 일부 실시양태에서, 전체 디자인은 그 안에 4개의 도가니를 갖는 가열로를 포함할 수 있고, 각각의 도가니에서



단지 1개의 코너만이 면적이 감소된다.

- [0217] 일부 실시양태에서, 도가니는, 예를 들어, 실리카, SiC, 석영, 흑연,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , 또는 이들의 조합으로 제조되거나, 이를 포함할 수 있다. 구성요소 또는 코팅의 선택은, 예를 들어, 비-점착 특성 뿐만 아니라 내열성을 포함할 수 있다. 도가니는, 도가니를 부분적으로, 완전히, 또는 임의의 중간 정도로 코팅할 수 있는  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , 흑연, 또는  $\text{SiO}_2$ 를 함유하는 코팅을 포함할 수 있다. 도가니는 대략 110 내지 160도의 둘레 내에 포함된 측면들 사이의 내각을 포함할 수 있다. 도가니는 대략 대략 125 내지 145도의 둘레 내에 포함된 측면들 사이의 내각을 포함할 수 있다. 도가니는 또한 굽어진 외부 또는 내부 코너 및 연부를 포함할 수 있다.
- [0218] 본 발명은, 도가니의 외부 형상이 잉곳을 생성하는 용융 물질이 제조되는 가열로의 내부 형상에 대략 매칭되는, 상기에 기재된 바와 같은 도가니를 포함한, 잉곳 제조를 위한 내부 형상을 갖는 도가니의 사용 방법을 제공한다. 가열로의 내부 형상은 대략 둥근형일 수 있다. 가열로의 내부 형상은 도가니에 핏팅되도록 변형될 수 있다.
- [0219] 하나의 특정 실시양태에서, 도가니의 치수는, 방법으로부터, 표준 정사각형 도가니를 사용하여 약 156 mm x 약 156 mm의 치수를 갖는 약 25개의 블록이 생성되도록 디자인되고 대략 450 kg 용량을 갖는 가열로로부터 약 156 mm x 약 156 mm의 치수를 갖는 약 32개가 생성될 수 있도록 하는 치수이다. 또 다른 실시양태에서, 치수는, 방법으로부터, 표준 정사각형 도가니를 사용하여 약 25개의 블록이 생성되도록 디자인되고 대략 450 kg 용량을 갖는 가열로로부터 약 180 mm x 약 180 mm의 치수를 갖는 약 21개의 블록이 생성될 수 있도록 하는 치수이다.
- [0220] 본 발명은 고품질 물질의 처리량 향상 방법을 제공할 수 있다. 본 발명은 생성된 잉곳의 효율적인 및 비용-효율적인 품질 관리 방법을 제공할 수 있다. 도 14에 도시된 특정 실시양태를 참조로 하면, 가의 4개의 반-블록 (3203)을 파괴 및 비-파괴 시험에 사용하여 웨이퍼 제조의 속도 향상 처리량 시간 및 품질 향상을 시험할 수 있다. 모든 블록 (3202)이 아니라 단지 4개의 코너 블록 (3203)을 측정함으로써 시간 및 관련 비용을 절약 (측정 시간 절약, 전도성 측정 후 블록 세정에 필요한 시간 절약, 측정 후 전도성 블록 절단 전에 블록 세정에 필요한 시간 절약 포함)할 수 있다. 이는 필수적인 물질 품질을 유지하면서 보다 높은 처리량을 달성하도록 도울 수 있다.
- [0221] 생성된 물질의 품질 관리를 돕기 위해 수행될 수 있는 측정에는 하기 측정이 포함된다: a) 블록 상의 측방향 (저부로부터 상단까지) 비저항 프로파일의 측정, 이에 추가되는 b) 재조합 수명의 맵핑 (저부로부터 상단까지), 및 고탄소 공급원료의 경우 또는 캐스팅 도구의 불량한 탄소 조절시, 추가의 단계 c) 탄화규소 입자에 대한 적외선 (IR) 스캐닝 (저부로부터 상단까지). 이들 측정을 수행하기 위해서는 4개의 코너 블록을 갖는 것이 유익한 결과를 제공할 수 있다. 측정 a)는, 개개의 캐스팅 도구의 특정 성장 특성이 알려진 경우 (이는 모든 캐스팅 도구에 대해 측정될 수 있음) 전체 잉곳의 성장 전면에 대한 신뢰성 있는 정보를 제공할 수 있다. 후속 웨이퍼링은 성장 전면에 대한 정보에 기초할 수 있다. 측정 b)는 도가니 벽으로부터의 거리에 대한 함수로서의 수명 측정을 가능하게 할 수 있고, 이는 또한, 웨이퍼 수준의 물질 품질 향상을 위해 개시되는 가능한 수단에 대한 일부 안내를 제공할 수 있다. 측정 c)는 잉곳에 대한 배향 정보를 제공할 수 있다.
- [0222] 도가니의 핏팅을 위한 가열로의 변형은 당업자에게 공지된 임의의 적합한 변형일 수 있다. 변형은 세라믹 도가니를 보유하거나 둘러싸는 박스의 볼트, 워셔, 또는 플레이트를 보다 얇게 하는 것을 포함할 수 있다. 도가니를 보유하는 박스는 흑연 플레이트로 제조될 수 있다. 변형은 또한, 흑연 플레이트 내에 박스의 부분인 너트를 카운터-싱킹 또는 카운터-보어링하거나, 또는 함께 박스를 보유하는 하드웨어의 프로파일을 낮추는 것을 포함할 수 있다. 흑연 플레이트 사이의 접합부는 홈접합(dadoing), 장부접합(mortising) 또는 도브테일링(dovetailing)될 수 있다. 도가니를 보유하는 저부 흑연 플레이트는 확대될 수 있다. 이동성 부재를 보유하는 스테인레스 강 케이지는 코너에 부가된 사선을 갖는 팔각형으로 제조될 수 있거나, 또는 대각선의 크기는 확대될 수 있다. 케이지의 단열재는 보다 얇게 제조될 수 있다. 가열 부재는 가열로 또는 가열기 케이지의 벽에 보다 가깝게 이동할 수 있다. 함께 가열 부재를 보유하는 흑연 너트는 카운터-싱크형 또는 카운터-보어링형일 수 있다. 각이 있는 흑연 워셔를 사선형 지지 플레이트 상에 사용하여 편평 표면을 유지할 수 있거나, 또는 맞춤 형상을 사용하여 흑연 플레이트를 함께 체결시킬 수 있다. 가열 요소의 코너 단편에 코너 연장을 부가하여 모든 측면에서 가열 부재를 이동 (모든 측면에서 가열 요소를 3" 밖으로 이동)시킬 수 있다. 케이지의 저부를 실링하기 위한 립은 보다 작게 제조될 수 있다. 변형은 또한, 보다 높은 도가니를 허용하도록 도가니를 보유하는 스탠드를 하강시키는 것을 포함할 수 있다. 도가니 스탠드를 지지하는 다리는, 또 다른 다리를 부가하고, 다리를 더욱 멀리 이동시키거나 보다 두꺼운 냉각 플레이트로 스레딩(threading)함으로써 가외의 중량을 지지하도록

개선될 수 있다. 강직화된 흑연 펠트 이외에 다른 단열 물질을 단열강 케이지에 사용하여 구역을 보다 얇게 할 수 있다. 2종의 단열 물질을 2층 디자인으로 고온면으로부터 사용된 하나의 물질과 함께 사용할 수 있다. 제2 단열 물질은 케이지에 보다 얇은 단면이 이용될 수 있도록 보다 우수한 단열성을 갖는다.

[0223] 지향성 고체화 어셈블리

[0224] 일부 실시양태에서, 규소의 용융 또는 규소의 지향성 고체화, 또는 이들 둘 다는 지향성 고체화 어셈블리에서 수행될 수 있다. 어셈블리는 임의의 적합한 지향성 고체화 어셈블리를 포함할 수 있다. 일부 실시양태에서, 지향성 고체화 어셈블리는 상기에 기재된 도가니를 포함할 수 있고, 여기서 도가니의 형상은 가열로 용량의 효율적 이용을 가능하게 한다. 다른 실시양태에서는, 지향성 고체화 어셈블리는 가열로로 도입되도록 디자인된 도가니를 포함하지 않고, 대신에 규소의 용융이 상이한 도가니, 예컨대 가열로의 내부 형상에 대략 매칭되도록 디자인된 도가니 또는 다른 도가니 내에서 수행되고, 이어서 이는 지향성 고체화 장치로 전달된다. 이 부분에서 기재된 지향성 고체화 어셈블리의 저부 금형 부분의 임의의 특징은, 상기에 기재된 효율적인 가열로 용량 이용을 위해 디자인된 도가니의 실시양태에 포함될 수 있다.

[0225] 지향성 고체화 장치 - 저부 금형

[0226] 도 16은 지향성 고체화 장치의 하나의 실시양태를 나타낸다. 장치 (4100)의 측면 절단도가 나타나 있다. 장치 (4100)는 하나 이상의 내화성 물질을 포함하는 지향성 고체화 금형 (4110)을 포함한다. 하나 이상의 내화성 물질은 금형 내의 규소의 지향성 고체화를 가능하게 하도록 구성된다. 장치 (4100)는 또한 외부 재킷 (4130)을 포함한다. 추가로, 장치 (4100)는, 적어도 부분적으로 지향성 고체화 금형 (4110)과 외부 재킷 (4130) 사이에 배치된 단열층 (4120)을 포함한다. 장치 (4100)는 규소의 지향성 고체화에 1회 초과로 사용될 수 있다.

[0227] 지향성 고체화 장치의 하나의 실시양태의 전체적 3차원 형상은 원형 형상을 갖는 후벽 대형 볼과 유사할 수 있다. 다르게는, 전체적 형상은 정사각형 형상, 또는 육각형, 팔각형, 오각형, 또는 임의의 적합한 수의 연부를 갖는 임의의 적합한 형상을 갖는 대형 볼과 유사할 수 있다. 다른 실시양태에서, 장치의 전체적 형상은 규소의 지향성 고체화를 위한 임의의 적합한 형상일 수 있다. 하나의 실시양태에서, 저부 금형은 약 1 미터톤 이상의 규소를 보유할 수 있다. 하나의 실시양태에서, 저부 금형은 약 1.4 미터톤 이상의 규소를 보유할 수 있다. 또 다른 실시양태에서, 저부 금형은 약 2.1 미터톤 이상의 규소를 보유할 수 있다. 또 다른 실시양태에서, 저부 금형은 대략 1.2, 1.6, 1.8, 2.0, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 또는 5 미터톤 이상의 규소를 보유할 수 있다.

[0228] 지향성 고체화 장치의 바람직한 실시양태에서, 장치는 중앙 수직축에 대해 대략 대칭이다. 장치 중에 포함되는 물질 또는 장치의 형상이 중앙 축에 대한 밀접 대칭에서 벗어나는 실시양태 또한 바람직한 실시양태로서 포함되고; 대칭의 바람직한 경우는 당업자가 용이하게 이해하는 바와 같이 대략적인 것이다. 일부 실시양태에서는, 장치가 중앙 수직축에 대하여 대칭이 아니다. 다른 실시양태에서는, 장치가 중앙 수직축에 대하여 부분적으로 대략 대칭이고 중앙 수직축에 대하여 부분적으로 비-대칭이다. 비-대칭 특징을 포함하는 실시양태에서는, 본원에 기재된 임의의 적합한 특징이 포함될 수 있고, 이는 전체적으로 또는 부분적으로 중앙 축에 대해 대략 대칭인 실시양태의 부분으로서 기재된 특징을 포함한다.

[0229] 도 16에 나타난 바와 같이, 지향성 고체화 금형 (4110)은 지향성 고체화 금형의 저부와 지향성 고체화 금형의 측면 사이에 90도 초과인 내각을 갖고, 이는 본원에서 드래프트로서 언급된다. 드래프트는 금형 내에서 고체화된 규소의 단편이 규소 또는 지향성 고체화 금형의 파괴 없이 제거될 수 있게 한다. 바람직한 실시양태에서, 지향성 고체화 금형은, 기재된 바와 같은 금형으로부터 규소의 제거를 가능하게 하기에 충분한, 도 16에 나타난 바와 같은 드래프트를 갖는다. 그러나, 대안적 실시양태에서, 지향성 고체화는 드래프트를 갖지 않거나, 또는 역 드래프트를 갖는다. 드래프트를 갖지 않는 대안적 실시양태에서, 장치는 바람직하게는 고체 규소의 제거를 위해 용이하게 2개의 절반부로 분할될 수 있도록 중앙을 통과하여 절단부를 갖는다. 이어서, 2개의 절반부는 다시 재접합되어 전체를 형성하고, 장치가 재사용될 수 있다. 그러나, 2개의 절반부로 절단될 수 있는 실시양태가 드래프트를 갖지 않는 실시양태로 제한되지는 않는다. 본원에서 논의된 모든 실시양태는 각각의 고체 규소 제거를 위해 절반부로 분리되는 능력을 포함하거나 포함하지 않을 수 있다.

[0230] 도 16에 나타난 지향성 고체화 금형 (4110)의 실시양태는 내화성 물질을 포함한다. 내화성 물질은 임의의 적합한 내화성 물질일 수 있다. 내화성 물질은, 산화알루미늄, 산화규소, 산화마그네슘, 산화칼슘, 산화지르코늄, 산화크로뮴, 탄화규소, 흑연 또는 이들의 조합일 수 있다. 지향성 고체화 금형은 하나의 내화성 물질을 포함할 수 있다. 지향성 고체화 금형은 하나 초과인 내화성 물질을 포함할 수 있다. 지향성 고체화 금형 중에 포함되는 내화성 물질(들)은 혼합될 수 있거나, 또는 이들은 지향성 고체화 금형의 별도의 부분에 위치할 수 있거나,

또는 이들의 조합일 수 있다. 하나 이상의 내화성 물질은 층으로 배열될 수 있다. 지향성 고체화 금형은 하나 이상의 내화성 물질을 갖는 하나 초과와 층을 포함할 수 있다. 지향성 고체화 금형은 하나 이상의 내화성 물질의 하나의 층을 포함할 수 있다. 내화재의 측면은 내화재의 저부와 상이한 물질일 수 있다. 지향성 고체화 금형의 측면은 지향성 고체화 금형의 저부와 비교하여 상이한 두께를 가질 수 있거나, 상이한 물질 조성을 포함할 수 있거나, 상이한 양의 물질을 포함할 수 있거나, 또는 이들의 조합일 수 있다. 하나의 실시양태에서, 지향성 고체화 금형의 측면은 고온면 내화재를 포함하고, 지향성 고체화 금형의 저부는 전도성 내화재를 포함한다. 지향성 고체화 금형의 측면은 산화알루미늄을 포함할 수 있다. 지향성 고체화 금형의 저부는 열-전도성 물질, 예컨대 탄화규소, 흑연, 강철, 스테인레스 강, 주철, 구리, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.

[0231] 일부 실시양태에서, 지향성 고체화 금형의 측면에 포함된 물질(들)은 지향성 고체화 금형의 외부-저부의 높이로부터 상향 연장될 수 있고, 지향성 고체화 금형의 저부에 포함된 물질(들)은 지향성 고체화 금형의 하나의 측면의 내부에 상응하는 수직 위치로부터 저부를 가로질러 반대 측면의 내부에 상응하는 수직 위치로 수직 연장될 수 있다. 또 다른 실시양태에서, 지향성 고체화 금형의 측면에 포함된 물질(들)은 지향성 고체화 금형의 내부-저부의 높이로부터 상향 연장될 수 있으면서, 지향성 고체화 금형의 저부에 포함된 물질(들)은 지향성 고체화 금형의 하나의 측면의 외부에 상응하는 수직 위치로부터 지향성 고체화 금형의 저부를 가로질러 지향성 고체화 금형의 반대 측면의 외부에 상응하는 수직 위치로 수직 연장될 수 있다. 또 다른 예에서, 지향성 고체화 금형의 측면에 포함된 물질(들)은 지향성 고체화 금형의 저부의 높이 위의 높이로부터 상향 연장될 수 있으면서, 지향성 고체화 금형의 저부에 포함된 물질(들)은 지향성 고체화 금형의 하나의 외부 측면에 상응하는 수직 위치로부터 지향성 고체화 금형의 저부를 가로질러 지향성 고체화 금형의 다른 외부 측면에 상응하는 수직 위치로 수직 연장되고, 또한 지향성 고체화 금형의 저부 높이 위의 측면으로 연장될 수 있다. 또 다른 예에서, 지향성 고체화 금형의 측면에 포함된 물질(들)은 지향성 고체화 금형의 내부-저부의 높이로부터 상향 연장될 수 있으면서, 지향성 고체화 금형의 저부에 포함된 물질(들)은 외부 재킷의 측면의 내부 측면으로부터 외부 재킷의 내부-저부를 가로질러 외부 재킷의 반대 측면의 내부 측면으로 연장될 수 있거나, 또는 지향성 고체화 금형의 저부에 포함된 물질(들)은 외부 재킷의 측면의 내부 측면과 지향성 고체화 금형의 외부 측면에 상응하는 수직 위치 사이로부터, 지향성 고체화 금형의 저부를 가로질러, 외부 재킷의 반대쪽 내부 측면과 지향성 고체화 금형의 반대쪽 측면의 외부 측면에 상응하는 수직 위치 사이로 수직 연장될 수 있다.

[0232] 도 16에 나타난 장치 (4100)의 단열층 (4120)은 단열 물질을 포함할 수 있다. 단열 물질은 임의의 적합한 물질일 수 있다. 예를 들어, 단열 물질은 단열 벽돌, 내화성 물질, 내화성 물질의 혼합물, 단열판, 세라믹 페이퍼, 고온 울 또는 이들의 조합일 수 있다. 단열판은 고온 세라믹 보드를 포함할 수 있다. 단열층은 하나 초과와 단열 물질을 포함할 수 있다. 단열층 (4120)에 포함된 단열 물질(들)은 블렌딩되거나, 혼합되거나, 또는 이들은 단열층의 별도 부분에 위치할 수 있거나, 또는 이들의 조합일 수 있다. 하나 이상의 단열 물질은 층으로 배열될 수 있다. 일례에서, 단열층은 하나 이상의 단열 물질의 하나 초과와 층을 포함할 수 있다. 또 다른 예에서, 단열층은 하나 이상의 단열 물질의 하나의 층을 포함할 수 있다. 단열층의 측면은 단열층의 저부와 상이한 물질일 수 있다. 예를 들어, 단열층의 측면은 단열층의 저부와 비교하여 상이한 두께이거나, 상이한 물질 조성을 포함하거나, 또는 이들의 조합일 수 있다. 하나의 실시양태에서, 단열층은 지향성 고체화 금형의 저부와 외부 재킷 사이에 배치된다. 바람직한 실시양태에서, 단열층은 적어도 부분적으로 지향성 고체화 금형의 측면과 외부 재킷의 측면 사이에 배치되고, 단열층은 지향성 고체화 금형의 저부와 외부 재킷의 저부 사이에는 배치되지 않는다 (도 16에 도시된 바와 같음).

[0233] 장치의 외부 재킷의 측면과 장치의 지향성 고체화 금형의 측면 사이에 배치된 장치 (4100)의 단열층 (4120)이 도 16에 나타나 있다. 나타난 바와 같이, 단열층의 측면은 외부 재킷의 저부의 내부 측면에 상응하는 높이로부터 상향 연장된다. 지향성 고체화 장치의 실시양태는 또한, 단열층이 지향성 고체화 금형의 내부의 저부에 상응하는 높이로부터 상향 연장되는, 단열층 (4120) 구성을 포함할 수 있다. 또 다른 예에서, 단열층은 외부 재킷의 저부의 내부 측면과 외부 재킷의 저부의 내부 측면의 높이 사이로부터 상향 연장된다. 또 다른 실시양태에서, 단열층은 지향성 고체화 금형의 내부의 저부에 상응하는 높이 위로부터 상향 연장된다.

[0234] 도 16에 나타난 장치 (4100)의 외부 재킷 (4130)은, 단열층 및 지향성 고체화 금형을 둘러싸는 임의의 적합한 물질을 포함할 수 있다. 외부 재킷은 하나 이상의 물질을 포함할 수 있다. 하나의 실시양태에서, 외부 재킷은 강철을 포함한다. 또 다른 실시양태에서, 외부 재킷은 강철, 스테인레스 강, 구리, 주철, 내화성 물질, 내화성 물질의 혼합물, 또는 이들의 조합을 포함한다. 외부 재킷의 상이한 부분은 상이한 물질, 상이한 물질 두께, 상이한 물질 조성, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.

[0235] 일부 실시양태에서, 외부 재킷은 구조 부재를 포함할 수 있다. 구조 부재는 장치에 강도 및 강직성을 추가할



수 있고, 이는 임의의 적합한 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 구조 부재는 강철, 스테인레스 강, 구리, 주철, 내화성 물질, 내화성 물질의 혼합물, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 일례에서, 외부 재킷은, 외부 재킷의 외부로부터 장치의 중앙에서 벗어난 방향으로 연장되고, 장치의 둘레 또는 주변을 둘러싸 수평 연장되는 하나 이상의 구조 부재를 포함할 수 있다. 하나 이상의 수평 구조 부재가, 예를 들어, 외부 재킷의 외부의 상부 연부에, 외부 재킷의 외부의 저부 연부에, 외부 재킷의 외부의 상단과 저부 연부 사이의 임의의 위치에 위치할 수 있다. 일례에서, 장치는, 1개는 외부 재킷의 상부 연부에 위치하고, 1개는 외부 재킷의 저부 연부에 위치하고, 1개는 외부 재킷의 외부의 상단과 저부 연부 사이에 위치하는, 3개의 수평 구조 부재를 포함한다. 외부 재킷은, 외부 재킷의 외부로부터 장치의 중앙에서 벗어난 방향으로 연장되고, 외부 재킷의 외부의 저부로부터 외부 재킷의 외부의 상단으로 수직 연장되는 하나 이상의 구조 부재를 외부 재킷의 외부 상에 포함할 수 있다. 일례에서, 외부 재킷은 8개의 수직 구조 부재를 포함할 수 있다. 수직 구조 부재는 외부 재킷의 둘레 또는 주변을 둘러싸 균일하게 이격될 수 있다. 또 다른 예에서, 외부 재킷은 수직 및 수평 구조 부재 둘 다를 포함한다. 외부 재킷은 외부 재킷의 저부를 가로질러 연장되는 구조 부재를 포함할 수 있다. 저부 상의 구조 부재는 외부 재킷의 저부의 하나의 외부 연부로부터 외부 재킷의 저부의 또 다른 연부로 연장될 수 있다. 저부 상의 구조 부재는 또한 부분적으로 외부 재킷의 저부로 연장될 수 있다. 구조 부재는 스트립, 바, 튜브, 또는 장치에 구조적 지지를 부가하기에 적합한 임의의 구조일 수 있다. 구조 부재는 용접, 경납땜, 또는 임의의 적합한 방법에 의해 외부 재킷에 부착될 수 있다. 구조 부재는 장치의 수송 및 물리적 조작을 용이하게 하도록 적합화될 수 있다. 예를 들어, 외부 재킷의 외부의 저부 상의 구조 부재는, 특정 포크-리프트 또는 다른 리프트 기계가 장치를 상승 또는 이동시키거나 달리 물리적으로 조작할 수 있도록, 충분한 크기, 강도, 배향, 간격, 또는 이들의 조합을 갖는 튜브일 수 있다. 또 다른 실시양태에서, 외부 재킷의 외부에 위치하는 상기에 기재된 구조 부재는 다르게는 또는 추가로 외부 재킷의 내부에 위치할 수 있다.

[0236] 외부 재킷 (4130)은 도 16에서 단열층 (4120)의 상단 위로 연장되고 부분적으로 지향성 고체화 금형 (4110)의 상단을 덮는 것으로 나타나 있다. 그러나, 지향성 고체화 장치의 실시양태는 또한, 단열층 (4120) 및 지향성 고체화 금형 (4110)에 대한 폭넓은 범위의 다양한 구조적 구성의 외부 재킷 (4130)을 포함한다. 실시양태는 지향성 고체화 금형 (4110)의 상단의 내부 가장자리로 완전히 연장되는 외부 재킷 (4130), 단열층 (4120)의 상단을 가로질러 단지 부분적으로 연장되는 외부 재킷 (4130), 또는 단열층 (4120)의 임의의 부분을 가로질러 연장되지 않는 외부 재킷 (4130)을 포함할 수 있다. 외부 재킷 (4130)이 단열층의 외부의 측면 위로 완전히 연장되지 않는 구성 또한 포함된다. 외부 재킷이 지향성 고체화 금형 또는 단열층의 상단의 임의의 부분 위로 연장되는 실시양태에서, 상단 위로 연장되는 외부 재킷의 부분은 외부 재킷의 측면 및 저부보다 더 큰 단열성을 갖는 물질을 포함할 수 있다. 일부 실시양태에서, 이러한 물질 선택은 장치 내에서의 요망되는 온도 구배 형성을 촉진할 수 있다.

[0237] 도 16에 나타난 장치 (4100)의 상단 연부는 대략 균일한 높이의 지향성 고체화 금형 (4110) 및 단열층 (4120)을 가지며, 단열층의 상단 위로, 또한 지향성 고체화 층의 상단 위로 부분적으로 연장되는 외부 재킷의 상단을 갖는 것으로 도시되었다. 상기에서 논의된 바와 같이, 모든 적합한 배열을 포함하는, 외부 재킷의 상단, 단열층의 상단, 및 지향성 고체화 금형의 상단의 다른 구성이, 지향성 고체화 장치의 실시양태로 포함된다. 예를 들어, 단열층이 지향성 고체화 금형의 상단 연부 위의 높이로 수직 연장될 수 있다. 다르게는, 지향성 고체화 금형이 지향성 고체화 금형의 상단 연부 위의 높이로 수직 연장될 수 있다. 단열층은 지향성 고체화 금형의 상단 연부 위로 부분적으로 또는 완전히 연장될 수 있다. 또는, 지향성 고체화 금형은 단열층의 상단 연부 위로 부분적으로 또는 완전히 연장될 수 있다.

[0238] 도 16에 나타난 장치 (4100)은 지향성 고체화 금형 (4110), 단열층 (4120), 및 외부 재킷 (4130)의 특정 상대적 두께로 도시되었다. 그러나, 지향성 고체화 장치의 실시양태는 금형 (4110), 단열 (4120), 및 외부 재킷 (4130)에 대한 임의의 적합한 상대적 두께를 포함한다.

[0239] 도 16에서 장치 (4100)는 규소를 1회 초과로 지향성 고체화시키기 위해 사용될 수 있다. 1회 초과로 사용할 수 있음에 있어, 장치는 사용 사이에 보수 없이, 또는 사용 사이에 최소 보수 하에, 지향성 고체화에 재사용될 수 있다. 최소 보수는 지향성 고체화 금형의 내부 측면의 부분인 코팅을 고치거나 완전히 재적용하는 것, 예를 들어 상단 층을 보수하는 것 (슬립-면 내화재 코팅 포함)을 포함할 수 있다. 지향성 고체화 장치의 실시양태는 또한, 규소의 지향성 고체화에 2회 초과로 사용될 수 있는 장치를 포함한다. 규소의 지향성 고체화에 3, 4, 5, 6, 12회 초과로, 또는 그 초과 횟수로 사용될 수 있는 장치 또한 포함된다.

[0240] 일부 실시양태에서, 장치는 단지 저부 금형을 포함한다. 다른 실시양태에서, 지향성 고체화 장치는 저부 금형



및 상단 가열기 둘 다 포함한다.

- [0241] 도 17은 지향성 고체화 장치의 하나의 실시양태를 나타낸다. 장치 (4200)의 측면 단면도가 나타나 있다. 장치 (4200)는 하나 이상의 내화성 물질을 포함하는 지향성 고체화 금형 (4201)을 포함한다. 하나 이상의 내화성 물질은 금형 내에서의 규소의 지향성 고체화를 가능하게 하도록 구성된다. 장치 (4200)는 또한 외부 재킷 (4203)을 포함한다. 추가로, 장치는 적어도 부분적으로 지향성 고체화 금형 (4201)과 외부 재킷 (4203) 사이에 배치된 단열층 (4202)을 포함한다. 장치 (4100)은 규소의 지향성 고체화에 1회 초과로 사용될 수 있다.
- [0242] 도 17에 나타난 지향성 고체화 금형 (4201)은 하나 이상의 내화성 물질을 포함한다. 지향성 고체화 금형의 측면은 고온면 내화재 (4220)를 포함한다. 도 17에서, 지향성 고체화 금형의 고온면 내화재 (4220)는 외부 재킷의 저부의 내부로부터 상향 연장되고; 상기에서 논의된 바와 같이, 다양한 구성의 지향성 고체화 금형의 측면이 지향성 고체화 장치의 실시양태로 포함된다. 고온면 내화재 (4220)는 임의의 적합한 내화성 물질일 수 있다. 예를 들어, 고온면 내화재 (4220)는 산화알루미늄일 수 있다.
- [0243] 지향성 고체화 장치의 저부 금형 장치의 실시양태를 구성하는 데 있어, 내화성 물질은 습윤 시멘트를 적용하는 것과 유사한 방식으로 적용할 수 있다. 트롤 또는 다른 적합한 시행 (형태 포함)을 이용하여 습윤 내화재를 요망되는 형상으로 조작한 후, 내화성 물질을 건조 및 경화시킬 수 있다.
- [0244] 도 17에 나타난 지향성 고체화 금형 (4201)의 저부는 전도성 내화재 (4230)를 포함한다. 도 17에서, 지향성 고체화 금형의 전도성 내화재 (4230)는 지향성 고체화 금형의 측면의 외부에 상응하는 수직 위치와 지향성 고체화 금형의 측면의 내부에 상응하는 수직 위치 사이에서, 지향성 고체화 금형의 저부를 가로질러, 지향성 고체화 금형의 반대 측면의 외부에 상응하는 수직 위치와 지향성 고체화 금형의 반대 측면의 외부에 상응하는 수직 위치 사이로 수직 연장되고; 상기에서 논의된 바와 같이, 다양한 구성의 지향성 고체화 금형의 측면이 지향성 고체화 장치의 실시양태로 포함된다. 전도성 내화재 (4230)는 임의의 적합한 물질일 수 있다. 예를 들어, 전도성 내화재는 탄화규소를 함유할 수 있다. 전도성 물질을 장치의 저부 상에 배치함으로써, 지향성 고체화 금형 내에 있는 용융 규소의 저부의 냉각이 촉진된다. 금형의 저부의 용이한 냉각은 지향성 고체화 금형의 저부와 상단 사이의 온도 구배 형성 및 조절을 보조하고, 이는 요망되는 지향성 고체화가 저부에서 개시되어 상단에서 종료되며 금형 내에서 수행될 수 있게 한다.
- [0245] 대안적 실시양태에서, 지향성 고체화 금형의 저부는, 탄화규소, 흑연, 구리, 강철, 스테인레스 강, 흑연, 주철, 또는 이들의 조합을 비롯한, 부재 (4230)에 대한 임의의 적합한 열-전도성 물질을 포함할 수 있다. 도 17에 나타난 실시양태에서와 같이, 이러한 실시양태는 상단 층 (4210)을 포함할 수 있다. 다르게는, 이러한 실시양태는 상단 층 (4210)을 포함하지 않는다.
- [0246] 전도성 내화재 (4230)는 그의 외부 연부에 부속 부재 (4231)를 갖는 것으로 도 17에 나타나 있다. 전도성 내화재 (4230)의 부속 부재 (4231)는 고온면 내화재 (4220)에 위치할 수용 슬롯 (4232)으로 전도성 내화재를 고정시킨다. 전도성 내화재에 대한 고온면 내화재의 고정은, 이것이 장치로부터 헐거워지는 것을 막는다. 하나의 실시양태에서는, 부속물 (4231) 및 수용 슬롯 (4232)이 포함된다. 또 다른 실시양태에서는, 이들이 포함되지 않는다. 다른 실시양태에서는, 전도성 내화재를 고정하는 대안적 수단이 포함된다.
- [0247] 도 17에 나타난 지향성 고체화 금형 (4201)은 또한 상단 층 (4210)을 포함한다. 상단 층은 하나 이상의 슬립-면 내화성 물질을 포함한다. 슬립-면 내화성 물질은 임의의 적합한 내화성 물질을 포함할 수 있다. 슬립-면 내화성 물질은 용융 이산화규소, 이산화규소, 산화알루미늄, 질화규소, 흑연 또는 이들의 조합을 포함한다. 상단 층 (4210)은, 지향성 고체화 규소가 지향성 고체화 금형으로부터 제거될 때 금형의 나머지 부분이 손상되는 것을 보호하도록 한다. 예를 들어, 도 17에서 지향성 고체화 금형 (4201)의 나머지 부분은 고온면 내화재 (4220) 및 전도성 내화재 (4230)이다. 상단 층 (4210)은 도 17에 나타난 바와 같이 전반적으로 대략 일관된 두께 및 조성을 가질 수 있다. 다른 실시양태에서, 상단 층은 가변적인 두께 또는 조성을 가질 수 있다. 다르게는, 상단 층의 일부 부분은 대략 일관된 두께 및 조성을 가질 수 있고, 상단 층의 다른 부분은 가변적인 두께 또는 조성을 가질 수 있다. 고체 규소가 제거될 때 지향성 고체화 금형의 나머지 부분이 손상되는 것을 보호하는 데 있어, 또한 고체 규소의 제거를 촉진하는 데 있어, 상단 층은 규소가 제거될 때 부분적으로 또는 완전히 손상될 수 있다. 상단 층은 장치의 1회 이상의 사용 사이에 대체되거나 보수될 수 있다. 상단 층은 임의의 적합한 방식으로 적용될 수 있다. 상단 층은 분무 또는 브러싱에 의해 적용될 수 있다. 또 다른 예에서, 상단 층은 트롤을 사용하여 적용되고, 습윤 시멘트와 같이 분무될 수 있다. 적용 후, 상단 층을 건조 및 경화시킬 수 있다. 일부 실시양태에서는, 슬립면 내화재 분무용을 포함한 콜로이드 실리카를 상단 층에 대한 결합제로서 사용할 수 있다. 상단 층을 사용 전에 가열하여 건조시키고 사용을 위해 준비할 수 있다.

- [0248] 도 17에 나타낸 장치 (4200)의 단열층 (4202)은 적어도 부분적으로 지향성 고체화 금형의 측면 (4201)과 외부 재킷 (4203)의 사이에 배치된다. 도 17에 나타낸 바와 같이, 특정 실시양태의 단열층은 외부 재킷의 저부의 내부로부터 상향 연장된다. 상기에서 논의된 바와 같이, 다양한 구성의 단열층이 지향성 고체화 장치의 실시양태로서 포함된다. 도 17에 나타낸 단열층 (4202)은 2개의 층, 즉 내층 (4240) 및 외층 (4250)을 포함한다. 층들 (4240) 및 (4250)은 임의의 적합한 단열 물질을 포함할 수 있다. 하나의 실시양태에서, 외부 단열층 (4250)은 세라믹 페이퍼 및 고온 세라믹 보드를 포함한다. 하나의 실시양태에서, 외부 단열층 (4250)은 세라믹 페이퍼, 고온 울, 고온 세라믹 보드, 또는 이들의 조합을 포함한다. 하나의 실시양태에서, 내부 단열층 (4240)은 단열 벽돌 또는 내화성 물질을 포함하고, 여기서 내화성 물질은 캐스터블 내화성 물질을 포함할 수 있다.
- [0249] 도 17에 나타낸 장치 (4200)의 외부 재킷 (4203)은 임의의 적합한 물질을 포함한다. 예를 들어, 외부 재킷 (4203)은 강철 또는 스테인레스 강을 포함한다. 도 17에서, 외부 재킷은 외층 (4250)의 상단 위로, 또한 부분적으로 내층 (4240)의 상단 위로 연장되는 것으로 나타나 있고; 상기에서 논의된 바와 같이, 다양한 구성의 단열층이 지향성 고체화 장치의 실시양태로서 포함된다.
- [0250] 도 17에 나타낸 장치 (4200)는 앵커 (4260)을 포함한다. 앵커는 내화재 층을 장치 내에 고정시켜, 이들이 헐거워지는 것을 막을 수 있다. 예를 들어, 도 17에서, 앵커 (4260)는 고온내화재 (4220)를 내층 (4240)에 고정시키고, 장치 고정을 도울 수 있다. 다른 실시양태에서, 앵커는 외부 재킷에 고정될 수 있고, 임의의 층을 통해 연장되어 이들을 고정시킬 수 있다. 다른 실시양태에서, 앵커는 임의의 적합한 층에서 개시되고 종료될 수 있다. 앵커는 임의의 적합한 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 앵커는 강철, 스테인레스 강, 또는 주철을 포함할 수 있다. 앵커는 임의의 적합한 형상일 수 있고, 임의의 적합한 배향을 가질 수 있다. 장치를 앵커 (4260)로, 부속물 (4231) 및 슬롯 (4232)으로, 이들의 조합으로, 또는 대안적 고정 수단으로 고정함으로써, 장치가 보다 긴 수명을 가질 수 있고, 최소의 손상으로 더욱 다양한 처리를 견딜 수 있다. 추가로, 장치를 앵커 (4260)로, 부속물 (4231) 및 슬롯 (4232)으로, 이들의 조합으로, 또는 대안적 고정 수단으로 고정하는 것은, 장치가 반전되는 경우, 장치로부터 층들이 하강하는 것을 막도록 도울 수 있다.
- [0251] 지향성 고체화 장치 - 상단 가열기
- [0252] 하나의 실시양태에서, 지향성 고체화 장치는 또한 상단 가열기를 포함한다. 상단 가열기는 저부 금형의 상단에 배치될 수 있다. 상단 가열기의 저부의 형상은 저부 금형의 상단의 형상에 대략 매칭된다. 상단 가열기는 저부 금형의 상단에 열을 인가하여 그 안의 규소를 가열할 수 있다. 저부 금형에 대한 열의 인가는 저부 금형 내의 규소의 용융을 일으킬 수 있다. 추가로, 저부 금형에 대한 열의 인가는 저부 금형 내의 규소의 온도 조절을 가능하게 할 수 있다. 또한, 상단 가열기는 가열 없이 저부 금형의 상단에 배치되어, 저부 금형의 상단으로부터의 열의 방출을 조절하는 단열기로서 작용할 수 있다. 저부 금형의 상단의 온도 또는 열의 배출을 조절함으로써, 요망되는 온도 구배가 더욱 용이하게 달성될 수 있고, 이는 보다 고도로 조절된 지향성 고체화를 가능하게 할 수 있다. 궁극적으로, 온도 구배에 대한 조절은, 생성되는 규소의 순도를 최대화하는 더욱 효과적인 지향성 고체화를 가능하게 할 수 있다. 하나의 실시양태에서는, 유형 B 열전쌍을 사용하여 가열로 챔버 내부의 온도를 모니터링할 수 있다.
- [0253] 도 18은 상단 가열기 (4300)를 나타낸다. 상단 가열기는 하나 이상의 가열 부재 (4310)를 포함할 수 있다. 하나 이상의 가열 부재는 각각 독립적으로 임의의 적합한 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 가열 부재는 각각 독립적으로 가열 요소를 포함할 수 있고, 여기서 가열 요소는 탄화규소, 이규화물리브데늄, 흑연 또는 이들의 조합을 포함할 수 있고; 또한, 다르게는 하나 이상의 가열 부재는 각각 독립적으로 유도 가열기를 포함할 수 있다. 하나의 실시양태에서, 하나 이상의 가열 부재는 대략 동일한 높이에 배치된다. 또 다른 실시양태에서, 하나 이상의 가열 부재는 상이한 높이에 배치된다.
- [0254] 일례에서, 가열 요소는 탄화규소를 포함하고, 이는 특정 이점을 갖는다. 예를 들어, 탄화규소 가열 요소는 산소의 존재 하에 고온에서 부식되지 않는다. 산소 부식은, 진공 챔버를 사용함으로써 부식성 물질을 포함하는 가열 요소에서 감소될 수 있으나, 탄화규소 가열 요소는 진공 챔버 없이는 부식을 피할 수 없다. 추가로, 탄화규소 가열 요소는 수-냉각된 납 없이 사용될 수 있다. 하나의 실시양태에서, 가열 요소는 진공 챔버에서, 수-냉각된 납과 함께, 또는 이들 둘 다와 함께 사용된다. 또 다른 실시양태에서, 가열 부재는 진공 챔버 없이, 수-냉각된 납 없이, 또는 이들 둘 다 없이 사용된다.
- [0255] 하나의 실시양태에서, 하나 이상의 가열 부재는 유도 가열기이다. 유도 가열기는 하나 이상의 내화성 물질로 캐스팅될 수 있다. 이어서, 유도 가열 코일(들)을 함유하는 내화성 물질을 저부 금형 상에 배치할 수 있다. 내화성 물질은 임의의 적합한 물질일 수 있다. 예를 들어, 내화성 물질은 산화알루미늄, 산화규소,

산화마그네슘, 산화칼슘, 산화지르코늄, 산화크로뮴, 탄화규소, 흑연 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 또 다른 실시양태에서, 유도 가열기는 하나 이상의 내화성 물질로 캐스팅되지 않는다.

[0256] 하나의 실시양태에서, 하나 이상의 가열 부재는, 하나 이상의 가열 부재가 고장인 경우, 임의의 나머지 기능적 가열 부재가 전기 수용 및 열 생성을 계속하도록 하는 전기 시스템을 갖는다. 하나의 실시양태에서, 각각의 가열 부재는 그 자체의 회로를 갖는다.

[0257] 상단 가열기는 단열재를 포함할 수 있고, 예를 들어 도 18에 나타난 상단 가열기 (4300)는 단열재 (4320)를 포함한다. 단열재는 임의의 적합한 단열 물질을 포함할 수 있다. 단열재는 하나 이상의 단열 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 단열재는 단열 벽돌, 내화재, 내화재의 혼합물, 단열판, 세라믹 페이퍼, 고온 울 또는 이들의 혼합물을 포함할 수 있다. 단열판은 고온 세라믹 보드를 포함할 수 있다. 도 18에 나타난 바와 같이, 단열 물질의 저부 연부 및 하나 이상의 가열 부재 (4310)는 대략 동일한 높이에 있다. 하나 이상의 가열 부재 및 단열재의 다른 구성이 지향성 교체화 장치의 실시양태로 포함된다. 예를 들어, 하나 이상의 가열 부재는 유도 가열기를 포함할 수 있고, 단열재는 내화성 물질을 포함할 수 있고, 하나 이상의 가열 부재는 내화성 물질 내에 케이싱될 수 있다. 이러한 실시양태에서, 추가의 단열 물질이 임의로 포함될 수도 있고, 여기서 추가의 단열재는 내화성 물질일 수 있거나, 또는 추가의 단열재는 또 다른 적합한 단열 물질일 수 있다. 또 다른 예에서, 하나 이상의 가열 부재는 유도 가열기를 포함할 수 있고, 가열 부재가 도 18에 나타난 바와 같이, 또는 유사하게 내화성 물질 내에 케이싱되지 않은 또 다른 구성으로 가열 부재가 배치될 수 있다. 또 다른 예에서, 하나 이상의 가열 부재는 단열재의 저부 연부의 높이 위에 배치될 수 있다. 또 다른 예에서, 단열재의 저부 연부는 하나 이상의 가열 부재의 높이 위에 배치될 수 있다. 하나 이상의 가열 부재가 상이한 높이로 배치된 실시양태에서, 단열재의 연부는 가열 부재의 높이 사이에, 또는 상기에 기재된 바와 같은 임의의 다른 구성으로 존재할 수 있다.

[0258] 상단 가열기는 외부 재킷을 포함할 수 있고, 예를 들어 도 18에 나타난 상단 가열기 (300)는 외부 재킷 (4330)을 포함한다. 외부 재킷은 임의의 적합한 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 외부 재킷은 강철 또는 스테인레스 강을 포함할 수 있다. 또 다른 실시양태에서, 외부 재킷은 강철, 스테인레스 강, 구리, 주철, 내화성 물질, 내화성 물질의 혼합물, 또는 이들의 조합을 포함한다. 단열재 (4320)는 적어도 부분적으로 하나 이상의 가열 부재와 외부 재킷 사이에 배치된다. 도 18에서, 외부 재킷 (4330)의 저부 연부는 단열재의 저부 연부와, 또한 하나 이상의 가열 부재와 대략 균일한 것으로 나타나 있다. 그러나, 하나 이상의 가열 부재 및 단열재에 대하여 논의된 바와 같이, 다양한 구성의 외부 재킷, 단열재, 및 하나 이상의 가열 부재가 지향성 교체화 장치의 실시양태로 포함된다. 예를 들어, 외부 재킷의 연부는 단열재 및 하나 이상의 가열 부재의 연부 아래로 연장될 수 있다. 또 다른 예에서, 외부 재킷의 연부는 단열재의 연부 아래로, 하나 이상의 가열 부재 아래로, 또는 이들의 조합으로 연장될 수 있다. 일례에서, 외부 재킷은 단열재의 저부 연부 아래로 연장되고, 단열재의 저부 연부를 완전히 또는 부분적으로 덮으며 가로질러 계속될 수 있다. 일부 실시양태에서, 단열재의 연부를 덮는 외부 재킷의 부분은 비교적 낮은 전도도를 갖는 물질, 예컨대 적합한 내화재, 예컨대 산화알루미늄, 산화규소, 산화마그네슘, 산화칼슘, 산화지르코늄, 산화크로뮴, 탄화규소, 흑연 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 또 다른 예에서, 외부 재킷은 단열재의 저부 연부 또는 하나 이상의 가열 부재의 높이 아래로 연장되지 않는다. 또 다른 실시양태에서, 외부 재킷은 하나 이상의 가열 부재의 높이 아래로 연장되지만, 여전히 단열재의 저부 연부 위에 있다. 하나 이상의 가열 부재가 상이한 높이로 배치된 실시양태에서, 외부 재킷은 가열 부재의 높이 사이에 있는 높이로, 또는 상기에 기재된 바와 같은 임의의 다른 구성으로 연장될 수 있다.

[0259] 일부 실시양태에서, 상단 가열기 외부 재킷은 구조 부재를 포함할 수 있다. 구조 부재는 상단 가열기에 강도 및 강직성을 부가할 수 있다. 구조 부재는 강철, 스테인레스 강, 구리, 주철, 내화성 물질, 내화성 물질의 혼합물, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 일례에서, 상단 가열기 외부 재킷은, 상단 가열기 외부 재킷의 외부로부터 상단 가열기의 중앙에서 벗어난 방향으로 연장되고, 상단 가열기의 둘레 또는 주변을 둘러싸 수평 연장되는 하나 이상의 구조 부재를 포함할 수 있다. 하나 이상의 수평 구조 부재는, 예를 들어, 상단 가열기 외부 재킷의 외부의 하부 연부에, 상단 가열기 외부 재킷의 외부의 상단 연부에, 또는 상단 가열기 외부 재킷의 외부의 저부와 상단 연부 사이의 임의의 위치에 위치할 수 있다. 일례에서, 상단 가열기는, 1개는 상단 가열기 외부 재킷의 저부 연부에 위치하고, 1개는 상단 가열기 외부 재킷의 상부 연부에 위치하고, 1개는 상단 가열기 외부 재킷의 저부와 상부 연부 사이 위치하는, 3개의 수평 구조 부재를 포함한다. 상단 가열기 외부 재킷은, 상단 가열기 외부 재킷의 외부 상에, 상단 가열기 외부 재킷의 외부에서, 상단 가열기의 중앙에서 벗어난 방향으로, 상단 가열기 외부 재킷의 외부의 저부로부터 상단 가열기 외부 재킷의 외부의 상단으로 수직 연장되는 하나 이상의 구조 부재를 포함할 수 있다. 일례에서, 상단 가열기 외부 재킷은 8개의 수직 구조 부재를 포함할

수 있다. 수직 구조 부재는 상단 가열기 외부 재킷의 둘레 또는 주변을 둘러싸 균일하게 이격될 수 있다. 또 다른 예에서, 상단 가열기 외부 재킷은 수직 및 수평 구조 부재 둘 다를 포함한다. 상단 가열기 외부 재킷은 상단 가열기 외부 재킷의 상단을 가로질러 연장되는 구조 부재를 포함할 수 있다. 상단 상의 구조 부재는 상단 가열기 외부 재킷의 상단의 하나의 외부 연부로부터 상단 가열기 외부 재킷의 상단의 또 다른 연부로 연장될 수 있다. 상단 상의 구조 부재는 또한 부분적으로 외부 재킷의 상단을 가로질러 연장될 수 있다. 구조 부재는 스트립, 바, 튜브, 또는 상단 가열기에 구조적 지지를 부가하기에 적합한 임의의 구조일 수 있다. 구조 부재는 용접, 경납땜, 또는 다른 적합한 방법에 의해 상단 가열기 외부 재킷에 부착될 수 있다. 구조 부재는 장치의 수송 및 물리적 조작을 용이하게 하도록 적합화될 수 있다. 예를 들어, 상단 가열기 외부 재킷의 외부의 상단 상의 구조 부재는, 특정 포크-리프트 또는 다른 리프트 기계가 상단 가열기를 상승 또는 이동시키거나 달리 물리적으로 조작할 수 있도록, 충분한 크기, 강도, 배향, 간격, 또는 이들의 조합을 갖는 튜브일 수 있다. 또 다른 실시양태에서, 상단 가열기 외부 재킷의 외부에 위치하는 상기에 기재된 구조 부재는 다르게는 또는 추가로 상단 가열기 외부 재킷의 내부에 위치할 수 있다. 또 다른 실시양태에서, 상단 가열기는 크레인 또는 다른 리프트 디바이스를 사용하여, 상단 가열기에 부착된 체인 (상단 가열기의 구조 부재에 또는 상단 가열기의 비-구조 부재에 부착된 체인 포함)을 사용하여 이동시킬 수 있다. 예를 들어, 4개의 체인이 상단 가열기 외부 재킷의 상부 연부에 부착되어 상단 가열기를 상승시키고 달리 이동시키기 위한 크레인에 대한 굴레를 형성할 수 있다.

[0260] 지향성 고체화 장치 - 냉각

[0261] 상기에서 논의된 바와 같이, 장치에서 온도 구배를 조절함으로써, 고도로 조절된 지향성 고체화가 달성될 수 있다. 온도 구배 및 상응하는 지향성 결정화에 대한 고도의 조절은 더욱 효과적인 지향성 고체화를 가능하게 하여, 고순도의 규소를 제공할 수 있다. 지향성 고체화 장치의 다양한 실시양태에서, 지향성 결정화는 대략 저부로부터 상단으로 진행되고, 따라서 요망되는 온도 구배는 저부에서 보다 낮은 온도 및 상단에서 보다 높은 온도를 갖는다. 상단 가열기를 사용하는 실시양태에서, 상단 가열기는 지향성 고체화 금형의 상단으로부터 열의 손실 및 도입을 조절하는 하나의 방식이다. 지향성 고체화 장치의 일부 실시양태는 장치의 저부로부터의 열 손실을 유도하는 지향성 고체화 금형 내의 전도성 내화성 물질을 포함하며, 일부 실시양태는 또한, 열 손실을 막고, 수직 열 구배의 형성을 촉진하면서 수평 열 구배의 형성을 막는 지향성 고체화 금형의 측면 상의 단열 물질을 포함한다. 지향성 고체화 장치의 일부 사용 방법에서는, 장치의 저부를 가로질러, 예를 들어 외부 재킷의 저부를 가로질러 팬을 불어넣어, 장치의 저부로부터의 열 손실을 조절할 수 있다. 지향성 고체화 장치의 일부 사용 방법에서는, 팬의 사용 없이 주변 공기 순환을 이용하여 장치 (장치 저부 포함)를 냉각시킨다.

[0262] 지향성 고체화 장치의 일부 실시양태에서는, 하나 이상의 열 전달 핀(fin)이 외부 재킷의 저부에 부착되어 장치의 공기 냉각을 촉진할 수 있다. 팬은 외부 재킷의 저부를 가로질러 불어넣음으로써 냉각 핀의 냉각 효과를 향상시킬 수 있다. 임의의 적합한 수의 핀이 사용될 수 있다. 하나 이상의 핀이 장치의 저부로부터 열을 흡수하고, 공기 냉각에 의해 열이 제거될 수 있게 한다 (이는 핀의 표면적에 의해 촉진됨). 예를 들어, 핀은 구리, 주철, 강철, 또는 스테인레스 강으로 제조될 수 있다.

[0263] 지향성 고체화 장치의 일부 실시양태에서는, 하나 이상의 액체 도관이 존재한다. 하나 이상의 액체 도관은, 냉각 액체가 도관으로 통과함으로써, 지향성 고체화 금형으로부터 열을 전달하는 것이 가능하도록 구성된다. 냉각 액체는 임의의 적합한 냉각 액체일 수 있다. 냉각 액체는 하나의 액체일 수 있다. 냉각 액체는 하나 초과액체의 혼합물일 수 있다. 냉각 액체는 물, 에틸렌 글리콜, 디에틸렌 글리콜, 프로필렌 글리콜, 오일, 오일의 혼합물, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다.

[0264] 일부 실시양태에서, 하나 이상의 액체 도관은 튜브를 포함한다. 튜브는 임의의 적합한 물질을 포함할 수 있다. 예를 들어, 튜브는 구리, 주철, 강철, 스테인레스 강, 내화성 물질, 내화성 물질의 혼합물, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 하나 이상의 액체 도관은 물질을 통한 도관을 포함할 수 있다. 도관은 임의의 적합한 물질을 통과하는 것일 수 있다. 예를 들어, 도관은 구리, 탄화규소, 흑연, 주철, 강철, 스테인레스 강, 내화성 물질, 내화성 물질의 혼합물, 또는 이들의 조합을 포함하는 물질을 통과하는 것일 수 있다. 하나 이상의 액체 도관은 물질을 통과하는 튜브 및 도관의 조합일 수 있다. 일부 실시양태에서는, 하나 이상의 액체 도관이 장치의 저부에 인접하여 위치할 수 있다. 하나 이상의 액체 도관은 장치의 저부 내에 위치할 수 있다. 하나 이상의 액체 도관의 액체는 장치의 저부에 인접하는 것과 장치의 저부 내에 존재하는 것의 조합을 포함할 수 있다.

[0265] 지향성 고체화 장치의 일부 실시양태에서 포함되는 액체 도관은, 액체를 냉각시켜 지향성 고체화 금형으로부터 열을 전달하는 것을 가능하게 하는 다양한 구성을 포함한다. 펌프를 사용하여 냉각 액체를 이동시킬 수 있다.



냉각 시스템을 이용하여 냉각 액체로부터 열을 제거할 수 있다. 예를 들어, 파이프를 포함한 하나 이상의 튜브가 사용될 수 있다. 하나 이상의 튜브는, 둥근 형상, 정사각형 형상, 또는 편평한 형상을 포함한 임의의 적합한 형상을 가질 수 있다. 튜브는 코일링될 수 있다. 튜브는 외부 재킷의 외부에 인접할 수 있다. 바람직한 실시양태에서, 튜브는 외부 재킷의 외부의 저부에 인접할 수 있다. 튜브는, 장치로부터 냉각 액체로의 효율적인 열 전달을 가능하게 하기에 충분한 표면적 접촉이 일어나도록 외부 재킷과 접촉될 수 있다. 튜브는, 튜브의 연부를 따르는 방식을 포함한 임의의 적합한 방식으로 외부 재킷과 접촉될 수 있다. 튜브는 외부 재킷의 외부에 용접, 경납땜, 납땜, 또는 임의의 적합한 방법에 의해 부착될 수 있다. 튜브는 열 전달 효율을 향상시키기 위해 외부 재킷의 외부에 대해 평탄화될 수 있다. 일부 실시양태에서, 하나 이상의 액체 도관은 저부 금형의 저부를 통해 진행되는 하나 이상의 도관이다. 저부 금형의 저부를 통해 진행되는 도관은 지향성 교체화 금형 내에 포함된 내화재 중에 케이싱된 튜브일 수 있다. 튜브는 외부 재킷의 하나의 부분으로 도입되고, 지향성 교체화 금형의 저부에서 내화성 물질 또는 전도성 물질 또는 이들의 조합을 통해 진행되고, 외부 재킷의 또 다른 부분으로 배출된다. 지향성 교체화 금형의 저부 내화 또는 저부 전도성 물질 중에 케이싱된 튜브는 코일링되거나, 또는 임의의 적합한 형상으로 배열될 수 있으며, 이는 장치의 저부에서 배출되기 전 1회 이상의 전후 이동을 포함한다.

[0266] 또 다른 실시양태에서, 하나 이상의 액체 도관은 내화성 물질, 열-전도성 물질, 또는 이들의 조합 내에 케이싱된 튜브를 포함하며, 여기서 물질은 장치가 배치되기에 충분히 큰 물질의 블록이다. 도관은 임의의 적합한 물질을 통과하는 것일 수 있다. 예를 들어, 도관은 구리, 탄화규소, 흑연, 주철, 강철, 스테인레스 강, 내화성 물질, 내화성 물질의 혼합물, 또는 이들의 조합을 포함하는 물질을 통과하는 것일 수 있다. 냉각 액체는 저부 금형이 위치하는 내화성 물질로부터 열을 제거함으로써, 장치의 저부로부터 열을 제거할 수 있다.

[0267] 지향성 교체화 장치 - 일반

[0268] 도 19는 저부 금형 (4420)의 상단에 배치된 상단 가열기를 포함한, 규소의 지향성 교체화를 위한 장치 (4400)의 특정 실시양태를 나타낸다. 상단 가열기는 수직 구조 부재 (4403) 내의 홀 (4402)을 통해 상단 가열기 (4410)에 연결된 체인 (4401)을 포함한다. 체인 (4401)은 굴레를 형성하고, 이는 크레인의 사용에 의해 상단 가열기가 이동되는 것을 가능하게 할 수 있다. 장치는 또한, 예를 들어, 상단 가열기를 저부 절반 상에 남기면서 가위형 리프트 상에 장치의 저부 절반을 배치함으로써, 이동될 수 있다. 장치는 임의의 적합한 방식으로 이동될 수 있다. 수직 구조 부재 (4403)는, 상단 가열기 (4410)의 외부 재킷의 저부 연부로부터 상단 가열기 (4410)의 스테인레스 강 외부 재킷의 상단 연부로 수직 연장된다. 수직 구조 부재가 상단 가열기 외부 재킷의 외부에 위치하고, 재킷으로부터 상단 가열기의 중앙에서 벗어난 방향에 평행하게 연장된다. 상단 가열기는 또한, 상단 가열기 외부 재킷의 외부에 위치하고, 재킷으로부터 상단 가열기의 중앙에서 벗어난 방향에 평행한 방향으로 연장되는 수평 구조 부재 (4404)를 포함한다. 상단 가열기는 또한, 상단 가열기의 외부 재킷의 부분인 립 (4405)을 포함한다. 립은 상단 가열기의 외부 재킷으로부터 돌출된다. 립은, 이것이 상단 가열기의 단열재를 임의의 적합한 정도로 덮도록, 상단 가열기의 중앙 축을 향해 내부로 연장될 수 있다. 다르게는, 립은 단지 상단 가열기의 외부 재킷의 저부 연부를 덮기에 충분히 내부로 연장될 수 있다. 스크린 박스 (4406)는 상단 가열기의 외부 재킷으로부터 돌출된 가열 부재의 단부를 둘러싸, 사용자를 이들 부재의 단부 내부 및 근처에 존재할 수 있는 열 및 전기로부터 보호한다.

[0269] 도 19에 도시된 특정 실시양태에서, 저부 금형 (4420)으로부터의 단열재 (4411)는 상단 가열기 (4410)와 저부 금형 (4420) 사이에 존재한다. 저부 금형의 하나 이상의 단열층의 적어도 일부는 저부 금형의 외부 재킷의 높이 위로 연장된다. 저부 금형은 수직 구조 부재 (4412)를 포함한다. 수직 구조 부재 (4412)는 저부 금형의 외부 재킷의 외부 표면 상에 존재하여, 저부 금형의 중앙에서 벗어난 방향에 평행하게 외부 재킷으로부터 연장된다. 수직 구조 부재 (4412)는 외부 재킷의 저부 연부로부터 외부 재킷의 상단 연부로 수직 연장된다. 저부 금형은 또한 수평 구조 부재 (4413)를 포함한다. 수평 구조 부재 (4413)가 저부 금형의 외부 재킷의 외부 표면 상에 존재하여, 저부 금형의 중앙에서 벗어난 방향에 평행하게 외부 재킷으로부터 연장된다. 수평 구조 부재 (4413)는 저부 금형의 둘레 주위로 수평 연장된다. 저부 금형은 또한 저부 구조 부재 (4414) 및 (4415)를 포함한다. 저부 구조 부재 (4414) 및 (4415)는 저부 금형의 중앙에서 벗어난 방향에 평행하게 외부 재킷으로부터 연장된다. 저부 구조 부재는 저부 금형의 저부를 가로질러 연장된다. 저부 구조 부재 (4415)의 일부는, 이들이 포크리프트 또는 다른 리프트 기계의 상승을 가능하게 하거나 또는 그렇지 않으면 장치를 물리적으로 조작할 수 있도록 성형된다.

[0270] 도 20은, 규소의 지향성 교체화를 위한 장치의 하나의 실시양태의 부분인 상단 가열기 (4500)의 저부를 향한 도를 나타낸다. 이러한 특정 실시양태에서, 외부 재킷은 상단 가열기의 저부 연부에서 단열층 (4520)의 부분 위

로 연장된다. 가열 부재 (4530)은 동일한 높이에 있고, 단열층 (4520) 및 상단 가열기 (4510)의 외부 재킷의 저부 연부는 가열 부재의 높이 아래에 있다.

[0271] 도 21은 규소의 지향성 고체화를 위한 장치 (4600)의 하나의 실시양태의 지향성 고체화 금형의 내부를 향한 도를 나타낸다. 이러한 특정 실시양태에서, 외부 재킷 (4610)의 연부는 단열층 (4620)의 연부 위로 연장되지 않는다. 그보다는, 단열층 (4620)은 지향성 고체화 금형 (4630)의 상단 연부 위로 연장된다. 지향성 고체화 금형의 상단 연부는 외부 재킷 (4610) 및 단열층 (4620)의 상단 연부의 높이 미만에 있다. 실시양태의 전체적 3차원 형상은 대형 후벽 볼의 형상과 유사하다.

[0272] 도 22는 지향성 고체화 장치를 사용하는 본 발명의 방법의 실시양태에 의해 생성된 규소 잉곳 (4700)을 나타낸다. 잉곳은 위를 향한 잉곳의 저부 (4701), 및 아래를 향한 잉곳의 상단 (4702)을 갖는 것으로 나타나 있다. 잉곳 (4700)은, 지향성 고체화 장치의 하나의 실시양태에서 지향성 결정화에 의해 생성된 후, 잉곳의 상단 (4702)에서, 최종 동결 부분에서 최대량의 불순물을 갖는다. 따라서, 일부 실시양태에서는, 잉곳 (4700)의 전체적 순도를 증가시키기 위해, 잉곳의 상단 (4702)을, 예를 들어, 락을 사용하여 제거한다.

[0273] 지향성 고체화 장치 - 사용 방법

[0274] 본 발명은 본원에 기재된 지향성 고체화 장치를 사용하는 규소의 정제 방법을 포함할 수 있고, 여기서 장치는 장치의 임의의 실시양태일 수 있다. 본 발명의 지향성 고체화 단계는 임의의 방법을 이용하여 임의의 적합한 장치에서 수행될 수 있으며, 특정 방식으로 지향성 고체화 장치의 특정 실시양태를 사용하는 본원에 제공된 예는 단지 지향성 고체화 단계를 수행하는 일례이다. 본원에 기재된 지향성 고체화 장치의 사용 방법은 임의의 적합한 방법일 수 있다. 하나의 실시양태에서, 방법은 제1 규소를 제공하거나 수용하는 것을 포함할 수 있다. 제1 규소는 임의의 적합한 등급의 순도를 갖는 규소를 포함할 수 있다. 방법은 제1 규소를 적어도 부분적으로 용융시키는 것을 포함할 수 있다. 방법은 제1 규소를 완전히 용융시키는 것을 포함할 수 있다. 제1 규소를 적어도 부분적으로 용융시키는 것은 제1 규소를 완전히 용융시키는 것, 제1 규소를 거의 완전히 용융시키는 것 (약 99 중량%, 95 중량%, 90 중량%, 85 중량%, 또는 80 중량% 초과로 용융됨), 또는 제1 규소를 부분적으로 용융시키는 것 (약 80 중량% 미만 또는 그 이하로 용융됨)을 포함할 수 있다. 제1 규소의 용융은 제1 용융 규소를 제공할 수 있다. 방법은 지향성 고체화 장치를 제공하거나 수용하는 것을 포함할 수 있다. 지향성 고체화 장치는 상기에 기재된 것과 실질적으로 유사할 수 있다. 방법은 제1 규소를 지향성 고체화시켜 제1 용융 규소를 제공하는 것을 포함할 수 있다. 일부 실시양태에서, 규소는 대략 지향성 고체화 금형의 저부에서 개시되어 대략 지향성 고체화 금형의 상단에서 종료되며 지향성 고체화된다. 지향성 고체화는 제2 규소를 제공할 수 있다. 제2 규소의 최종 동결 부분은 제1 규소보다 더 높은 농도의 불순물을 포함한다. 최종 동결 부분 이외의 제2 규소의 부분은 제1 규소보다 더 낮은 농도의 불순물을 포함할 수 있다.

[0275] 일부 실시양태에서, 제2 규소는 규소 잉곳일 수 있다. 규소 잉곳은 태양 전지의 제조를 위한 태양 웨이퍼로 절단되기에 적합할 수 있다. 규소 잉곳은, 예를 들어, 락, 와이어 톱, 또는 임의의 적합한 절단 디바이스를 사용하여 태양 웨이퍼로 절단될 수 있다.

[0276] 일부 실시양태에서, 방법은 진공에서, 불활성 분위기에서, 또는 주변 공기에서 수행된다. 진공에서 또는 불활성 분위기에서 방법을 수행하기 위해서는, 장치를 대기압 미만인 될 수 있는 또는 주변 공기보다 더 높은 농도의 불활성 기체를 갖는 분위기로 충전될 수 있는 챔버 내에 배치할 수 있다. 일부 실시양태에서는, 아르곤을 장치 내에 또는 장치를 보유하는 챔버 내에 펌핑시켜 장치로부터 산소를 치환할 수 있다.

[0277] 일부 실시양태에서, 방법은 지향성 고체화 금형 위에 상기에 기재된 상단 가열기를 배치하는 것을 포함한다. 지향성 고체화 금형을 포함하는 저부 금형을 용융 규소 첨가 전에 예열시킬 수 있다. 상단 가열기를 사용하여 저부 금형을 예열시킬 수 있다. 저부 금형의 예열은 금형 벽 상의 과도하게 빠른 규소의 고체화를 막도록 도울 수 있다. 상단 가열기를 사용하여 제1 규소를 용융시킬 수 있다. 규소가 용융된 후, 상단 가열기를 사용하여 규소로 열을 전달할 수 있다. 규소가 지향성 고체화 금형 내에서 용융되면, 이것이 용융된 후, 상단 가열기가 규소에 열을 전달할 수 있다. 상단 가열기를 사용하여 규소의 상단의 열을 조절할 수 있다. 상단 가열기를, 저부 금형의 상단에서 열 손실량을 조절하기 위한 단열기로서 사용할 수 있다. 제1 규소를 장치 외부에서, 예컨대 가열로에서 용융시키고, 이어서 장치에 첨가할 수 있다. 일부 실시양태에서는, 장치 외부에서 용융된 규소를 장치에 첨가한 후, 상단 가열기를 사용하여 요망되는 온도로 추가로 가열할 수 있다.

[0278] 유도 가열기를 포함한 상단 가열기를 포함하는 지향성 고체화 장치에서, 규소를 용융시킨 후에 저부 금형에 첨가할 수 있다. 다르게는, 상단 가열기는 유도 가열기 뿐만 아니라 가열 요소를 포함할 수 있다. 유도 가열은

용융 규소 사용시 더욱 효과적일 수 있다. 유도는 용융 규소의 혼합을 일으킬 수 있다. 일부 실시양태에서는, 과도한 혼합이 불순물의 격리를 향상시킬 수 있지만 또한 최종 규소 잉곳에 바람직하지 않은 다공성을 생성시킬 수 있기 때문에 (예컨대 과도한 양의 작은 기포가 용융 규소 내에 도입되는 경우), 혼합량을 최적화하기에 충분히 전력을 조정할 수 있다.

[0279] 지향성 고체화는 지향성 고체화 장치의 저부로부터 열을 제거하는 것을 포함할 수 있다. 열의 제거는 임의의 적합한 방식으로 수행될 수 있다. 예를 들어, 열의 제거는 지향성 고체화 장치의 저부를 가로질러 팬을 불어넣는 것을 포함할 수 있다. 열의 제거는, 팬의 사용 없이, 주변 공기가 장치의 저부를 냉각시킬 수 있게 하는 것을 포함할 수 있다. 열의 제거는 장치의 저부에 인접한 튜브를 통해, 장치의 저부를 통해 진행되는 튜브를 통해, 장치가 배치된 물질을 통해 진행되는 튜브를 통해, 또는 이들의 조합을 통해 냉각 액체를 진행시키는 것을 포함할 수 있다. 장치의 저부로부터의 열의 제거는, 대략 지향성 고체화 금형의 저부로부터 금형의 상단으로 그 안에서 용융 규소를 지향성 고체화시키는 장치에서 열 구배가 확립될 수 있게 한다.

[0280] 장치의 저부로부터의 열의 제거는 지향성 고체화의 전체 지속기간 동안 수행될 수 있다. 다중 냉각 방법이 이용될 수 있다. 예를 들어, 장치의 저부를 액체 냉각시키고, 팬으로 냉각시킬 수 있다. 팬 냉각을 지향성 고체화의 부분에 대해 수행하고, 또 다른 부분에 대해서는 액체 냉각을 수행하고, 이를 두가지 냉각 방법 사이에 임의의 적합한 양의 중첩 또는 부재 하에 수행할 수 있다. 액체를 사용한 냉각을 지향성 고체화의 부분에 대해 수행하고, 또 다른 부분에 대해서는 주변 공기 냉각만을 수행하고, 이를 두가지 냉각 방법 사이에 임의의 적합한 양의 중첩 또는 부재 하에 수행할 수 있다. 또한, 장치를 냉각된 물질 블록 상에 배치하는 것에 의한 냉각을 지향성 고체화의 임의의 적합한 지속기간 동안 수행할 수 있고, 이는 임의의 적합한 중첩량으로 다른 냉각 방법과의 임의의 적합한 조합을 포함한다. 저부의 냉각은, 상단에 열을 가하면서; 예를 들어, 상단의 온도를 증가시키기 위해, 상단의 온도를 유지하기 위해, 또는 특정 속도의 상단의 냉각을 가능하게 하기 위해 상단에 열을 가하면서 수행할 수 있다. 장치의 상단 가열, 저부 냉각, 및 이들의 조합 (임의의 적합한 양의 이들의 일시적 중첩 또는 부재 하에)에 대한 모든 적합한 구성 및 방법, 지향성 고체화 단계를 수행하기 위한 지향성 고체화 장치의 사용 방법의 실시양태로 포함된다.

[0281] 지향성 고체화는 상단 가열기를 사용하여 규소를 약 1450℃ 이상으로 가열하고, 규소의 상단의 온도를 대략 10 내지 16시간 동안 대략 1450 내지 1410℃로 서서히 냉각시키는 것을 포함할 수 있다. 지향성 고체화는 상단 가열기를 사용하여 규소를 약 1450℃ 이상으로 가열하고, 상단의 온도를 약 10 내지 20시간, 또는 대략 14시간 동안 대략 1425 내지 1460℃에서 대략 일정하게 유지하는 것을 포함할 수 있다. 지향성 고체화는 상단 가열기를 꺼서 규소를 대략 4 내지 12시간 동안 냉각시키고, 이어서 지향성 고체화 금형으로부터 상단 가열기를 제거하는 것을 포함할 수 있다.

[0282] 하나의 실시양태에서, 지향성 고체화는 상단 가열기를 사용하여 규소를 약 1450℃ 이상으로 가열하고, 규소의 상단의 온도를 대략 14시간 동안 대략 1425 내지 1460℃로 대략 일정하게 유지하는 것을 포함한다. 실시양태는 상단 가열기를 꺼서 규소를 대략 4 내지 12시간 동안 냉각시키고, 이어서 지향성 고체화 금형으로부터 상단 가열기를 제거하는 것을 포함할 수 있다.

[0283] 또 다른 실시양태에서, 지향성 고체화는 상단 가열기를 사용하여 규소를 약 1450℃ 이상으로 가열하고, 규소의 상단의 온도를 대략 10 내지 16시간 동안 대략 1450 내지 1410℃로 서서히 냉각시키는 것을 포함한다. 실시양태는 상단 가열기를 꺼서 규소를 대략 4 내지 12시간 동안 냉각시키고, 이어서 지향성 고체화 금형으로부터 상단 가열기를 제거하는 것을 포함할 수 있다.

[0284] 방법은 지향성 고체화 장치로부터 제2 규소를 제거하는 것을 포함할 수 있다. 규소는 임의의 적합한 방법으로 제거할 수 있다. 예를 들어, 장치를 반전시켜 제2 규소가 지향성 고체화 금형으로부터 하강되도록 함으로써 규소를 제거할 수 있다. 또 다른 예에서는, 지향성 고체화 장치를 중앙에서 2개의 절반부를 형성하도록 분리하여, 제2 규소가 금형으로부터 용이하게 제거될 수 있게 한다.

[0285] 방법은 지향성 고체화된 제2 규소로부터 임의의 적합한 구역을 제거하는 것을 포함할 수 있다. 바람직하게는, 적합한 구역의 제거는 규소 잉곳의 전체적 순도를 증가시킨다. 예를 들어, 방법은 지향성 고체화된 제2 규소로부터 최종 동결 구역의 적어도 일부를 제거하는 것을 포함할 수 있다. 바람직하게는, 지향성 고체화 규소의 최종 동결 구역은 잉곳의 상단이다 (이는 저부로부터 상단까지의 지향성 고체화 동안 배향됨). 불순물의 최대 농도는 일반적으로 고체화된 규소의 최종 동결 구역에서 나타난다. 따라서, 최종 동결 구역의 제거는 고체화된 규소로부터 불순물을 제거하여, 제1 규소보다 더 낮은 농도의 불순물을 갖는 트리밍된 제2 규소를 생성할 수 있다. 규소의 구역 제거는 락터를 사용한 고체 규소 절단을 포함할 수 있다. 규소의 구역 제거는 숏 블라스팅



또는 에칭을 포함할 수 있다. 슛 블라스팅 또는 에칭은 또한, 단지 최종 동결 부분만이 아니라, 제2 규소의 임의의 외부 표면을 세정하거나 제거하기 위해 일반적으로 이용될 수 있다. 지향성 고체화된 구역으로부터 적합한 구역의 제거는, 하기에 기재되는 바와 같이, 블라스팅을 이용한 규소의 표면으로부터의 불순물의 제거를 포함할 수도 있다.

[0286] 본 발명의 방법은 임의로, 적합한 매질을 고체 규소의 표면 상에 블라스팅하여 이로부터 불순물을 제거하는 블라스팅 단계를 포함할 수 있다. 블라스팅은 임의의 적합한 매질을 사용하여 수행할 수 있다. 매질을 고속으로 가속화하여 매질 표면에 대해 이를 블라스팅하는 방법은 임의의 적합한 가속화 방법일 수 있다. 일부 실시양태에서, 매질은 규소 표면으로부터 표면 불순물을 제거하기에 충분한 규소 표면의 연마를 일으킨다. 일부 실시양태에서, 연마는 고체 규소로부터 일부 규소를 제거할 수도 있지만, 또한 규소로부터 표면 불순물을 제거함으로써, 또한 이로써 블라스팅되는 규소의 전체 부피의 평균 순도를 증가시킴으로써, 약간의 규소 손실은 허용가능하다. 임의의 적합한 부피의 매질을 블라스팅에 사용할 수 있다. 블라스팅은 임의의 적합한 속도로 수행될 수 있다. 블라스팅은 임의의 적합한 지속기간 동안 수행될 수 있다. 일부 실시양태에서, 블라스팅은, 매질이 블라스팅이 일어나는 환경 주위로 분산되는 것을 막도록 돕기 위해 적합한 챔버 내에서 수행될 수 있다.

[0287] 하나의 실시양태에서, 블라스팅에 적합한 매질은 샌드이다. 샌드는 임의의 적합한 샌드일 수 있다. 또 다른 실시양태에서, 블라스팅에 적합한 매질은 고체 이산화탄소 (또한 드라이 아이스라 불림)이다. 드라이 아이스는 임의의 적합한 크기로 분쇄될 수 있다. 드라이 아이스는 기체 상으로 승화된 후에 잔류 물질을 매우 적게 남기거나 남기지 않기 때문에 이것이 유리할 수 있다. 일부 실시양태에서는, 샌드 블라스팅 후에 남아있을 수 있는 미립자 물질을 제거하기 위해, 샌드 블라스팅 후에 드라이 아이스 블라스팅을 이용할 수 있다.

[0288] 다양한 실시양태에서, 매질을 고속으로 가속화하여 매질 표면에 대해 이를 블라스팅하는 방법은 가압 공기의 사용을 포함할 수 있다. 가압 공기는 오리피스로부터 고속으로 배출되어 규소를 향해 고속으로 적합한 매질을 따라 이동하는 데 사용될 수 있어, 매질이 규소를 블라스팅할 수 있게 한다.

[0289] 정제 규소

[0290] 본원에 기재된 방법에 의해 정제된 규소는, 규소가 태양 전지 형성에 적절하게 되도록 충분히 순수할 수 있다. 본원에 기재된 방법에 의해 정제된 규소는 광전지 디바이스에 사용하기에 적합할 수 있고, 이는 ppmw 단위로 인에 비해 더 낮은 붕소를 함유할 수 있다. 일부 실시양태에서, 붕소 농도가 충분히 낮은 경우에는 UMG에서 인 농도에 비해 더 높은 붕소 농도를 갖는 것이 유리한데, 이는 지멘스(Siemens) 공정으로부터의 폴리규소와 UMG의 블렌딩 및 보다 높은 수율 및 전지 효율의 달성을 가능하게 하기 때문이다. 지멘스 공정으로부터의 폴리규소는 일반적으로 약 0.1 ppmw 미만의 붕소 및 인 농도를 갖는다. UMG보다 더 낮은 붕소 및 인 농도를 갖는 폴리규소와 UMG의 블렌딩은 블렌딩된 UMG/폴리규소 중의 평균 인 및 붕소 농도를 감소시킨다. 따라서, 인 농도보다 더 높은 붕소 농도를 갖는 UMG 규소로부터 제조된 다결정질 잉곳은, 인 농도보다 더 낮은 붕소 농도를 갖는 UMG 규소로부터 제조된 다결정질 잉곳에 비해 다결정질 잉곳에서 표면에 더 가까운 P/N 접합부를 가질 수 있다. 붕소 농도가 충분히 낮고 인 농도가 붕소 농도보다 더 낮은 경우에는, P/N 접합을 전혀 갖지 않을 수 있다. 붕소보다 더 높은 농도의 인을 갖는 UMG 규소는 다결정질 잉곳에서 표면으로부터 더 깊고 더 멀리 P/N 접합을 갖는 경향이 있고, 이는 잉곳으로부터 유용한 물질의 수득을 제한한다. 일부 실시양태에서는 붕소 함량이 약 0.7 ppmw 미만인 것이, 이에 따라 UMG 또는 블렌딩된 UMG로부터 성장된 다결정질 잉곳의 저부 및 그 근처에서 보다 높은 최소 비저항이 얻어질 수 있기 때문에 유리할 수 있다. 0.7 ppmw보다 더 높은 붕소 및/또는 인의 농도를 갖는 UMG 규소는 통상적으로 웨이퍼의 비저항을 증가시켜 전지 효율을 향상시키도록 보상될 수 있다. 0.3 ppmw보다 더 높은 붕소 및/또는 인의 농도를 갖는 UMG 규소는 웨이퍼의 비저항을 증가시켜 전지 효율을 향상시키도록 보상될 수 있다. 보상은 평균 전지 효율을 향상시키지만 UMG가 오제(Auger) 제조법과 같은 메커니즘에 의해 제조함이 증가되고 캐리어 이동성이 감소되는 것으로 인해 지멘스 공정으로부터의 폴리규소와 유사한 전지 효율을 갖지 않도록 막는 경향이 있다. 붕소 농도보다 더 낮은 농도의 인을 갖는 정제 규소는 또한 폴리규소와의 블렌딩 없이 태양 전지로 가공될 수 있다. 일부 실시양태에서는, 방법 실시양태로부터 제조된 태양 규소와 함께, 임의의 도판트 (붕소 또는 인)를 첨가하지 않을 수 있다. ppmw 단위로 인보다 낮은 붕소, 0.7 ppmw 미만의 붕소 및 1 ppmw 미만의 다른 금속 불순물을 갖는 야금 공정으로부터 제조된 정제된 UMG 규소를 사용하여 태양 전지를 제조할 수 있다.

[0291] 일부 예에서, 약 0.2 ppmw의 인 농도 및 약 0.5 ppmw의 붕소 농도를 갖고 1 ppmw 미만의 다른 불순물을 갖는 야금 공정으로부터 제조된 정제된 UMG 규소는 15.0 내지 15.5%의 평균 전지 효율을 제공할 수 있다. 현재의 표준 전지 공정을 이용하여, 약 0.40 ppmw의 인 농도 및 약 0.45 ppmw의 붕소 농도를 갖고 0.2 ppmw 미만의 다른 불



순물을 갖는 야금 공정으로부터 제조된 정제된 UMG 규소는 최적화된 전지 구조와 함께 15.5 내지 16.3%의 평균 전지 효율을 제공할 수 있다. 2.5 ppmw의 인 농도 및 1.0 ppmw의 붕소 농도 및 UMG에 대한 특수 공정이 없는 표준 셀 라인, 글로우 방전 질량 분광계 (GDMS)에 대한 검출 한계 미만의 다른 금속을 갖는 UMG 규소는 14.3 내지 15.0%의 효율을 갖는 전지를 생성할 수 있다. 따라서, 인 농도가 붕소 농도보다 더 낮은 것이, 생성된 허용 가능한 비저항 및 우수한 평균 전지 효율을 얻기에 충분히 높은 캐리어 이동성으로 인해 유리할 수 있다.

[0292] 실시예

[0293] 본 발명은 예로서 제공되는 하기 실시예를 참조로 하여 보다 잘 이해될 것이다. 본 발명은 본원에 제공된 실시예로 제한되지는 않는다.

[0294] 실시예 1

[0295] 단일 경로 모액 A를 MG-Si 또는 다른 규소 공급 원료와 혼합하였다. 용융 혼합물 SP (단일 경로) B를 냉각시켜 규소 결정 "SP 박편 B" 및 SP 모액 B를 성장시켰다. SP 모액 B 및 SP 박편 B를 분리하였다. SP 모액 B를 부산물로서 알루미늄 주조, 다이-캐스트 및 2차 제련 산업에 판매하였다. 혼합물은 약 40% 규소 및 60% 알루미늄이었다. 혼합물을 액상선 온도 주위로 용융시켰다. 혼합물을 약 950℃ 초과로 가열하였다. 혼합물을 약 720℃로 냉각시켰다. 혼합물에서 약 32 중량% 박편을 수득하였다. 냉각을 약 15시간 동안 수행하였다. 약 2,200 kg 이상을 배치 크기로 사용하였다.

[0296] 이중 경로 (DP) 모액 B를 MG-Si 또는 다른 규소 공급원과 혼합하였다. 용융 혼합물 SP A를 냉각시켜 규소 결정 SP 박편 A 및 SP 모액 A를 성장시켰다. SP 모액 A 및 SP 박편 A를 분리하였다.

[0297] SP A 박편 및/또는 SP B 박편 및 DP 모액 A를 혼합하였다. 용융 혼합물 3 "DP B"를 냉각시켜 규소 결정 DP 박편 B 및 DP 모액 B를 성장시켰다. DP 모액 B 및 DP 박편 B를 분리하였다.

[0298] SP A 박편 및/또는 SP B 박편 및 모액 TP를 혼합하였다. 용융 혼합물 4 "DP A"를 냉각시켜 규소 결정 DP 박편 A 및 DP 모액 A를 성장시켰다. DP 모액 A 및 DP 박편 A를 혼합하였다.

[0299] DP A 박편 및/또는 DP B 박편 및 알루미늄을 혼합하였다. 용융 혼합물 5 "TP"를 서서히 온도 하강시켜 규소 결정 TP 박편 A 및 TP 모액을 성장시켰다. TP 모액 및 TP 박편을 분리하였다.

[0300] HCl을 사용하여 알루미늄을 TP 박편으로부터 용해시키고, 박편을 물 및 HCl을 갖는 플라스틱 바스킷에 배치하고, 점진적으로 강한 HCl과 반응시켜 알루미늄을 폴리알루미늄 클로라이드 중에 용해시켰다. 폴리알루미늄 클로라이드를 부산물로서 폐수 또는 식수 처리를 위해 판매하였다. HCl과 알루미늄의 발열 반응으로부터의 열을 이용하여 반응을 50 내지 90℃에서 수행하였다. HCl 반응 후에 박편을 물로 행구었다. 박편을 건조시켜 임의의 미량의 행금수를 제거하였다.

[0301] 임의의 분말 또는 임의의 잔류 알루미늄 및/또는 외부 오염물을 기계적으로 제거하였다. 박편을 스크린 또는 그레이트 상에서 진동시키고, 백 하우스를 사용하여 박편으로부터 규소 분말을 인출시켰다. 일련의 그레이트를 사용하여 분말 덩이, 내화재 오염물, 또는 다른 외부물로부터 박편을 분리하였다. 분말화된 규소를 부산물로서 판매하였다.

[0302] 박편을 슬래그와 함께 용융 규소로 용융시켰다. 슬래그는 7 중량% 규소에서  $\text{NaCO}_3 + \text{CaO} + \text{SiO}_2$ 의 혼합물이었다. 슬래그를 붓기 전에 배스 표면으로부터 스킴핑할 수 있다. 규소를 세라믹 발포체 필터를 통해 부을 수 있다.

[0303] 1.5 톤의 잉곳을 저부로부터 상단으로 지향성 고체화시켰다. 상단 가열기를 사용하였고, 측면 단열재보다 더 열 전도성인 저부를 금형에 사용하였다. 팬을 사용하여 금형의 저부를 냉각시켰다. 상단을 다이아몬드 코팅된 블레이드를 갖는 락톱 또는 회전톱으로 절단할 수 있다. 상단을 이것이 여전히 액체인 동안 부어 제거할 수 있다. 상단 또는 최종 동결 규소를 기계적 블로우로부터 떨어뜨림으로써 또는 열 켄칭에 의해 파괴할 수 있다. 잉곳을  $\text{Al}_2\text{O}_3$  매질로 블라스팅하여 표면을 세정할 수 있다. 최종 동결 규소의 상단을 절단하였다. 지향성 고체화 및 최종 동결 제거 공정을 2회 반복하였다.

[0304] 하나의 실시양태에서, 공정은, 0.75 ppmw 미만의 붕소 농도, 1.0 ppmw 미만의 알루미늄 농도, 0.8 ppmw 미만의 인 농도 및 총 1 ppmw 미만인 다른 금속성 원소 농도를 갖는 정제 규소를 생성할 수 있다. 또 다른 실시양태에서, 공정은, 0.5 ppmw 미만의 붕소 농도, 0.5 ppmw 미만의 알루미늄 농도, 0.5 ppmw 미만의 인 농도, 0.25 ppmw 미만의 금속 농도 및 총 1 ppmw 미만인 다른 원소 농도를 갖는 정제 규소를 생성할 수 있다. 인 또는 다른 N-형 도판트를 첨가하여 규소의 비저항을 0.30 ohm/cm 이상으로 증가시킬 수 있다. 공정을 이용하여 1개월

당 20 톤 초과를 생성할 수 있다. 다른 금속 불순물은 마그네슘, 티타늄, 망가니즈, 철, 코발트, 니켈, 구리, 아연, 몰리브데넘, 카드뮴, 주석, 텅스텐, 납 및 우라늄 중 하나 이상을 포함할 수 있다.

- [0305] 공정으로부터의 규소, 예컨대 최종 동결 규소, 조각, 또는 스크랩을 동일한 단계에서 또는 보다 앞선 단계에서 공정에 다시 배치함으로써 공정에서 재순환시킬 수 있다.
- [0306] 공정으로부터 제조된 규소를 SIMS (2차 이온 질량 분광측정법)로 시험하였고, 이는  $Ca < 0.0001$ ,  $Al < 0.01$ ,  $P 0.172$ ,  $B 0.623$ ,  $C 5.205$  및  $O 3.771$  ppmw를 가졌다. 규소를 GDMS로 시험하였고, 이는  $B 0.77$ ,  $Al 0.22$ ,  $P 0.26$  ppmw 및 검출 한계 미만의 모든 다른 시험 원소를 가졌다. 정제 규소 중 ppmw 단위로 인 농도는 붕소보다 더 낮다.
- [0307] 실시예 2
- [0308] SP 모액 A를 MG-Si 또는 다른 규소 공급원과 혼합하였다. 용융 혼합물 "SP B"를 온도 하강시켜 규소 결정 "SP 박편 B" 및 SP 모액 B를 성장시켰다. SP 모액 B 및 SP 박편 B를 분리하였다.
- [0309] DP 모액을 MG-Si 또는 다른 규소 공급원과 혼합하였다. 용융 혼합물 "SP A"를 냉각시켜 규소 결정 "SP 박편 A" 및 SP 모액 A를 성장시켰다. SP 모액 A 및 SP 박편 A를 분리하였다.
- [0310] SP A 박편 및/또는 SP B 박편을 알루미늄과 혼합하였다. 용융 혼합물 "DP"를 서서히 온도 하강시켜 규소 결정 "DP 박편 A" 및 DP 모액을 성장시켰다. DP 모액 및 DP 박편을 분리하였다.
- [0311] HCl을 사용하여 알루미늄을 DP 박편으로부터 용해시켰다. 분말 및 임의의 잔류 알루미늄 및/또는 외부 오염물을 기계적으로 제거하였다. 박편을 슬래그와 함께 용융시키고, 기체를 용융 규소로 산소와 함께 주입하였다.
- [0312] 규소를 지향성 고체화시켰다. 최종 동결 규소의 상단을 절단하였다. 지향성 고체화 및 최종 동결 규소의 제거를 2회 반복하였다. 하나의 실시양태에서, 이 공정은 SIMS로 측정시  $P 0.29$  ppmw,  $B 1.2$  ppmw 및  $Al 0.01$  ppmw 미만을 갖는 정제 규소를 생성하였다. 또 다른 실시양태에서, 이 공정은 SIMS로 측정시  $P 0.40$  ppmw,  $B 0.88$  ppmw 및  $Al 0.01$  ppmw 미만을 갖는 정제 규소를 생성하였다.
- [0313] 2회의 지향성 고체화를 이용한 이 공정은, SIMS로 측정시  $P 0.40$  ppmw,  $B 0.40$  ppmw 및  $Al 0.86$  ppmw를 갖는 정제 규소를 생성하였다. 공정은 단지 2회의 지향성 고체화를 이용하여 알루미늄 농도를 GDMS의 검출 한계 미만으로 감소시킬 수 있다.
- [0314] 실시예 3
- [0315] 도 8은, 4개의 가열로를 사용하여 수행함으로써 0.52 ppmw 미만의 붕소를 갖는 4 경로 규소 박편 (722)을 생성한, 4 경로 캐스케이드로서의 본 발명의 실시양태를 나타낸다. 단일 경로 가열로는 10,000 kg의 보유 용량을 갖는다. 제1 경로 (704)에서는, 2,200 kg의 용융 60% 알루미늄 및 40% 규소 (제2 경로로부터의 850 kg 모액 (724), 제1 경로의 제1 반복 (702)으로부터의 850 kg 재사용 모액 (703), 및 500 kg 규소 (716))를, 용융 혼합물을 보유할 수 있는 용기에 붓고, 여기서 대략 16시간 동안 냉각시켜, 이로부터 약 704 kg의 규소의 제1 경로 박편 (718)을 생성한다. 염소를 함유하는 임의의 기체를 냉각 전에 용융 혼합물에 첨가할 수 있다. 약 50%의 액체 모액 (741)을 소우(sow) 금형에 부어 부산물로서 알루미늄 주조 산업 합금 제조용으로 판매한다. 다른 50%의 모액 (724) (제1 경로 (704)로부터) 또는 850 kg을, 다시 액체 형태로 붓거나 제1 경로의 제1 반복 (702)을 위해 동일한 단일 경로 가열로에 다시 고체 소우로서 첨가한다. 또한, 액체 또는 고체로서의 850 kg의 제2 경로 모액 (742)을, 500 kg 규소 (716)와 함께, 제1 경로의 제1 반복 (702)을 위해 단일 경로 가열로에 첨가한다. 이는, 용융 배스를 냉각시켜 박편을 성장시킬 때, 대략 704 kg의 단일 경로 규소 박편 (718)을 생성한다. 각각의 2,200 kg 배치에서, 500 kg의 야금 등급 규소 또는 스크랩 규소 (716)를 가열로에 첨가한다. 스크랩 규소, 즉 또 다른 공정으로부터 정제된 규소 또는 야금 규소는 대략 5 ppmw 미만의 붕소 농도를 가질 수 있다. 이 단계는 각각의 완전한 사이클에서 2회 (예를 들어, 제1 경로 (704) 및 제1 경로의 제1 반복 (702)) 수행되어 공정에서 균형잡힌 양의 모액 및 박편을 제공한다.
- [0316] 다음으로, 10,000 kg의 보유 용량을 갖는 이중 경로 가열로에서는, 제2 경로 (708)에서, 704 kg의 단일 경로 박편 (718)을 1,496 kg의 모액, 이중 경로 가열로부터의 50% 모액 (약 748 kg, (724), 제2 경로 (708)로부터) 및 삼중 경로 가열로에서 2회 사용된 삼중 경로 가열로부터의 50% 모액 (약 748 kg, (743))과 용융시킨다. 이는 704 kg의 이중 경로 박편 (720)을 생성한다. 모액을 액체 또는 고체 형태로 가열로에 첨가할 수 있다. 1496 kg 모액의 절반은 제2 경로의 제1 반복 (706)에 사용되고 (제2 경로 (708)로부터), 모액 (742)의 나머지 절반은

제1 경로의 제1 반복 (702)에서의 모액의 순도를 향상시키는 데 사용된다. 제2 경로의 반복 (706) 후, 모액의 절반 (707)은 제2 경로 (708)에 사용되고, 나머지 절반 (724)는 (제2 경로의 반복 (706)으로부터) 제1 경로 (704)에 사용된다. 스크랩 규소를 단일 경로 박편 (718) 대신에 가열로에 첨가할 수 있고, 이는 2.1 ppmw 미만의 붕소 농도를 가질 수 있다. 제1 경로에서와 같이, 이 단계는 각각의 완전한 사이클에서 2회 (예를 들어, 제2 경로 (708) 및 제2 경로의 제1 반복 (706)) 수행되지만, 질량 밸런스 및 모액 사용 횟수를 조정하기 위해 1회 이상 수행될 수 있다.

[0317] 다음으로, 2,200 kg의 보유 용량을 갖는 삼중 경로 가열로가 사용된다. 제3 경로 (712)에서, 704 kg의 이중 경로 박편 (720)을 1,496 kg의 4 경로 모액 (724)와 용융시킨다. 이는 704 kg의 삼중 경로 박편 (730) 및 1,496 kg의 삼중 경로 모액 (724) (1회 사용됨)을 생성한다. 삼중 경로 모액 (724) (제3 경로 (712)로부터)을 704 kg의 이중 경로 박편 (720)과 함께 제3 경로의 제1 반복 (710)을 위해 동일한 가열로에서 완전히 재사용한다. 이는 704 kg의 삼중 경로 박편 (730) 및 1,496 kg의 삼중 경로 모액 ((724) (제3 경로의 제1 반복 (710) 및 (743)으로부터) (2회 사용됨)을 생성한다. 이중 경로 박편 (720)을 사용하는 것 대신에, 1.3 ppmw 미만의 붕소 농도를 갖는 스크랩 규소를 사용할 수 있다.

[0318] 다음으로, 2,200 kg의 보유 용량을 갖는 4 경로 가열로를 사용한다. 1,210 kg의 삼중 경로 박편 (730)을 0.80 ppmw 미만의 붕소를 함유하는 990 kg의 알루미늄 (712)과 용융시킨다. 이는 4 경로 모액 (724) 및 4 경로 박편 (722)을 생성한다. 이 단계에서 삼중 경로 박편 대신에 0.80 ppmw 미만의 붕소를 갖는 스크랩 규소를 사용할 수 있다.

[0319] 각각의 단계는, 모액 및 일부 비율의 모액을 1회 이상 재사용함으로써 수행될 수 있다. 단계의 반복 횟수를 조정함으로써, 재순환되는 모액의 양을 조정함으로써, 각각의 단계에 첨가되는 규소 공급원 및 양을 조정함으로써, 캐스케이드 (700)에 대한 질량 밸런스를 균일하게 균형잡을 수 있음이 당업자에게 명백하다. 모액을 단계에서 사용하지 않고, 하부 단계로 건너뛸 수 있다. 스크랩 규소, 야금 규소 또는 또 다른 방법에 의해 정제된 규소를 규소 유닛에 대해 박편 대신에 임의의 공정 단계에 첨가할 수 있다. 박편 생성 단계는 2회 이상 수행할 수 있고, 이러한 예는 사이클에서 4 경로 및 7 결정화를 나타낸다. 공정은 상이한 배치 크기로 상이한 크기의 가열로에서 수행될 수 있다. 알루미늄에 대한 규소의 비율은 20 내지 70%로 각각의 단계에서 조정될 수 있다.

[0320] 4 경로 박편 (722)을 HCl 및 물 중에서 처리하고, 알루미늄 농도를 약 1000 내지 3500 ppmw로 감소시킨다. 생성된 폴리알루미늄 클로라이드는 부산물로서 물 정제를 위해 판매될 수 있다. 이어서, 4 경로 박편을 가열로에서 용융시키고, 여기서 이들을 슬래그와 반응시킨다. 임의로 용융 규소를 여과하거나 기체 주입한 후 지향성 고체화시킬 수 있다. 임의로 용융 알루미늄-규소 혼합물 또는 모액을 여과할 수 있다.

[0321] 이어서, 용융 규소를 지향성 고체화시키고, 최종 동결 구역을 제거한다. 이어서, 규소를 다시 지향성 고체화시키고, 최종 동결 규소의 일부 부분을 제거한다. 염소를 함유하는 화합물 또는 기체를 결정 성장 전에 임의의 경로에 첨가할 수 있다. 이 공정은, 0.45 ppmw 미만의 B, 0.60 ppmw 미만의 P 및 0.50 ppmw 미만의 Al을 갖는 정제 규소를 생성한다. 이 규소를 사용하여 15.5% 초과와 고효율을 갖는 광전지를 제조하기 위한 잉곳 및 웨이퍼를 제조할 수 있다. 이 규소를 다른 스크랩 규소 또는 다른 방법을 이용하여 정제된 규소와 블렌딩하여 광전지 잉곳, 웨이퍼 및 전지를 제조하는 공급원료를 생성할 수 있다. 이 실시예의 방식으로 정제된 규소의 순도의 예를 하기 표에 나타내었다.

표 2

Si 중 B의 벌크 분석  
검출 한계 < 0.001 ppmw

샘플	B 농도 (at/cm <sup>3</sup> ) 분석 1	B 농도 (at/cm <sup>3</sup> ) 분석 2	평균 (at/cm <sup>3</sup> )	ppmw
1	5.20 x 10 <sup>16</sup>	5.30 x 10 <sup>16</sup>	5.25 x 10 <sup>16</sup>	0.41
2	5.57 x 10 <sup>16</sup>	5.60 x 10 <sup>16</sup>	5.59 x 10 <sup>16</sup>	0.44
3	5.15 x 10 <sup>16</sup>	5.20 x 10 <sup>16</sup>	5.18 x 10 <sup>16</sup>	0.41

[0322]

표 3

Si 중 P의 벌크 분석  
검출 한계 < 0.003 ppmw

샘플	P 농도 (at/cm <sup>3</sup> ) 분석 1	P 농도 (at/cm <sup>3</sup> ) 분석 2	평균 (at/cm <sup>3</sup> )	ppmw
1	1.78 x 10 <sup>16</sup>	1.78 x 10 <sup>16</sup>	1.78 x 10 <sup>16</sup>	0.39
2	2.36 x 10 <sup>16</sup>	2.40 x 10 <sup>16</sup>	2.38 x 10 <sup>16</sup>	0.53
3	2.70 x 10 <sup>16</sup>	2.68 x 10 <sup>16</sup>	2.69 x 10 <sup>16</sup>	0.60

[0323]

표 4

Si 중 Al의 벌크 분석

샘플	Al 농도 (ppbw) 분석 1	Al 농도 (ppbw) 분석 2	평균 (ppbw)	ppmw
1	2.15 x 10 <sup>16</sup>	2.10 x 10 <sup>16</sup>	2.13 x 10 <sup>16</sup>	0.41
2	1.22 x 10 <sup>16</sup>	1.25 x 10 <sup>16</sup>	1.24 x 10 <sup>16</sup>	0.24
3	1.93 x 10 <sup>16</sup>	1.99 x 10 <sup>16</sup>	1.96 x 10 <sup>16</sup>	0.38

[0324]

[0325] 실시예 4

[0326] 탄화규소 내성 부재를, 고온 올 단열재 및 강철 셸로 단열된 상단 가열기에 사용하였다. 용융 규소 (1.4 톤)를 장치의 내화재-라이닝된 예열된 저부 구역에 부었다. 장치는, 규소가 냉각 후 덩핑될 수 있게 하는 드래프트를 포함하는 산화알루미늄 내화 벽을 가졌다. 내화 벽을 산화알루미늄 내화재의 얇은 슬립-면, 또한 이어서 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 분말의 제2 층으로 코팅하였다. 지향성 고체화 금형의 저부를 탄화규소 내화재로부터 제조하고, 강철 셸의 외부를 외부 셸의 저부 상에 팬으로 공기를 불어넣어 냉각시켰다. 가열기를 1450℃에서 14시간 동안 셋팅하고, 이어서 요소를 켜다. 6시간 후, 상단 가열기 구역을 제거하고, 규소를 실온으로 냉각시켰다. 금형을 뒤집었다. 1.4 톤의 잉곳을 반으로 절단하고, 잉곳의 상단 25%를 절단하여 불순물을 제거하였다. 입자는 약 1 내지 2 cm의 폭 및 3 내지 10 cm의 높이를 가졌고, 이는 브릿지만 공정으로부터의 표준 잉곳과 유사한 수직 방향 칼럼을 형성하였다.

[0327] 실시예 5

[0328] 탄화규소 내성 부재를, 고온 올 단열재 및 강철 셸로 단열된 상단 가열기에 사용하였다. 용융 규소 (0.7 톤)를 장치의 내화재-라이닝된 예열된 저부 구역에 부었다. 장치는 규소 잉곳의 제거를 위한 중앙 분리선을 포함하는 산화알루미늄 내화 벽을 가졌다. 내화 벽을 SiO<sub>2</sub> 내화재의 얇은 슬립-면으로 코팅하였다. 지향성 고체화 금형의 저부를 흑연으로부터 제조하고, 강철 셸의 외부를 외부 셸의 저부 상에 팬으로 공기를 불어넣어 냉각시켰다. 가열기를 1450℃에서 12시간 동안 셋팅하고, 이어서 요소를 켜다. 6시간 후, 상단 가열기 구역을 제거하고, 규소를 실온으로 냉각시켰다. 금형을 분리선에서 개방하였다. 0.7 톤의 잉곳을 반으로 절단하고, 잉곳의 상단 15%를 절단하여 불순물을 제거하였다. 입자는 약 1 cm의 폭 및 3 내지 10 cm의 높이를 가졌고, 이는 브릿지만 공정으로부터의 표준 잉곳과 유사한 수직 방향으로 칼럼을 형성하였다.

[0329] 사용된 용어 및 표현은 설명적인 용어로서 사용되었고, 제한적인 것은 아니며, 이러한 용어 및 표현의 사용에서 나타내거나 기재된 특징의 임의의 증가물 또는 그의 부분을 배제하고자 하는 의도는 없으며, 다양한 변형이 청



구된 본 발명의 범위 내에서 가능함을 인식한다. 따라서, 본 발명을 바람직한 실시양태 및 임의의 특징에 의해 구체적으로 개시하였지만, 본원에 개시된 개념의 변화 및 변형이 당업자에 의해 재구성될 수 있고, 이러한 변화 및 변형은 첨부된 특허청구범위에 의해 정의된 본 발명의 범주 내에 있는 것으로 고려됨을 이해하여야 한다.

[0330] 추가 실시양태

[0331] 본 발명은 하기 예시적 실시양태를 제공하며, 이들의 번호부여는 중요도를 나타내는 것으로 해석되지 않는다.

[0332] 실시양태 1은, 알루미늄을 포함하는 용융 용매로부터 출발 물질-규소를 재결정화시켜 최종 재결정화-규소 결정을 제공하고; 최종 재결정화-규소 결정을 수성 산 용액으로 세척하여 최종 산-세척-규소를 제공하고; 최종 산-세척-규소를 지향성 고체화시켜 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것을 포함하는, 규소 정제 방법을 제공한다.

[0333] 실시양태 2는, 최종 지향성 고체화-규소 결정을 샌드 블라스팅 또는 아이스 블라스팅하여 샌드- 또는 아이스-블라스팅된 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것을 추가로 포함하며, 여기서 샌드- 또는 아이스-블라스팅된 최종 지향성 고체화-규소 결정의 평균 순도는 최종 지향성 고체화-규소 결정의 평균 순도보다 더 높은 것인, 실시양태 1의 방법을 제공한다.

[0334] 실시양태 3은, 최종 지향성 고체화-규소 결정의 일부분을 제거하여 트리밍된 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것을 추가로 포함하며, 여기서 트리밍된 최종 지향성 고체화-규소 결정의 평균 순도는 최종 지향성 고체화-규소 결정의 평균 순도보다 더 높은 것인, 실시양태 1 내지 2 중 어느 하나의 방법을 제공한다.

[0335] 실시양태 4는, 출발 물질-규소의 재결정화가, 출발 물질-규소를 알루미늄을 포함하는 용매 금속과 충분히 접촉시켜 제1 혼합물을 제공하고; 제1 혼합물을 충분히 용융시켜 제1 용융 혼합물을 제공하고; 제1 용융 혼합물을 충분히 냉각시켜 최종 재결정화-규소 결정 및 모액을 형성하고; 최종 재결정화-규소 결정 및 모액을 분리하여 최종 재결정화-규소 결정을 제공하는 것을 포함하는 것인, 실시양태 1 내지 3 중 어느 하나의 방법을 제공한다.

[0336] 실시양태 5는, 출발 물질-규소의 재결정화가, 출발 물질-규소를 제1 모액과 충분히 접촉시켜 제1 혼합물을 제공하고; 제1 혼합물을 충분히 용융시켜 제1 용융 혼합물을 제공하고; 제1 용융 혼합물을 충분히 냉각시켜 제1 규소 결정 및 제2 모액을 형성하고; 제1 규소 결정 및 제2 모액을 분리하여 제1 규소 결정을 제공하고; 제1 규소 결정을 알루미늄을 포함하는 제1 용매 금속과 충분히 접촉시켜 제2 혼합물을 제공하고; 제2 혼합물을 충분히 용융시켜 제2 용융 혼합물을 제공하고; 제2 용융 혼합물을 충분히 냉각시켜 최종 재결정화-규소 결정 및 제1 모액을 형성하고; 최종 재결정화-규소 결정 및 제1 모액을 분리하여 최종 재결정화-규소 결정을 제공하는 것을 포함하는 것인, 실시양태 1 내지 4 중 어느 하나의 방법을 제공한다.

[0337] 실시양태 6은, 출발 물질-규소의 재결정화가, 출발 물질-규소를 제2 모액과 충분히 접촉시켜 제1 혼합물을 제공하고; 제1 혼합물을 충분히 용융시켜 제1 용융 혼합물을 제공하고; 제1 용융 혼합물을 냉각시켜 제1 규소 결정 및 제3 모액을 형성하고; 제1 규소 결정 및 제3 모액을 분리하여 제1 규소 결정을 제공하고; 제1 규소 결정 및 제1 모액을 충분히 접촉시켜 제2 혼합물을 제공하고; 제2 혼합물을 충분히 용융시켜 제2 용융 혼합물을 제공하고; 제2 용융 혼합물을 냉각시켜 제2 규소 결정 및 제2 모액을 제공하고; 제2 규소 결정 및 제2 모액을 분리하여 제2 규소 결정을 제공하고; 제2 규소 결정을 알루미늄을 포함하는 제1 용매 금속과 충분히 접촉시켜 제3 혼합물을 제공하고; 제3 혼합물을 충분히 용융시켜 제3 용융 혼합물을 제공하고; 제3 용융 혼합물을 냉각시켜 최종 재결정화-규소 결정 및 제1 모액을 형성하고; 최종 재결정화-규소 결정 및 제1 모액을 분리하여 최종 재결정화-규소 결정을 제공하는 것을 포함하는 것인, 실시양태 1 내지 5 중 어느 하나의 방법을 제공한다.

[0338] 실시양태 7은, 최종 재결정화-규소의 세척이, 최종 재결정화-규소와 산 용액을, 최종 재결정화-규소가 산 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하여 제1 혼합물을 제공하고; 제1 혼합물을 분리하여 최종 산-세척 규소를 제공하는 것을 포함하는 것인, 실시양태 1 내지 6 중 어느 하나의 방법을 제공한다.

[0339] 실시양태 8은, 최종 재결정화-규소의 세척이, 최종 재결정화-규소와 산 용액을, 최종 재결정화-규소가 산 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하여 제1 혼합물을 제공하고; 제1 혼합물을 분리하여 산-세척 규소 및 산 용액을 제공하고; 산-세척 규소와 행금액을 조합하여 제4 혼합물을 제공하고; 제4 혼합물을 분리하여 습윤 정제 규소 및 행금액을 제공하고; 습윤 정제 규소를 충분히 건조시켜 최종 산-세척-규소를 제공하는 것을 포함하는 것인, 실시양태 1 내지 7 중 어느 하나의 방법을 제공한다.

[0340] 실시양태 9는, 최종 재결정화-규소의 세척이, 최종 재결정화-규소와 약산 용액을, 최종 재결정화-규소가 약산 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하여 제1 혼합물을 제공하고; 제1 혼합물을 분리하여

제3 규소-알루미늄 복합체 및 약산 용액을 제공하고; 제3 규소-알루미늄 복합체와 강산 용액을, 제3 복합체가 강산 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하여 제3 혼합물을 제공하고; 제3 혼합물을 분리하여 제1 규소 및 강산 용액을 제공하고; 제1 규소와 제1 행금액을 조합하여 제4 혼합물을 제공하고; 제4 혼합물을 분리하여 습윤 정제 규소 및 제1 행금액을 제공하고; 습윤 정제 규소를 충분히 건조시켜 최종 산-세척-규소를 제공하는 것을 포함하는 것인, 실시양태 1 내지 8 중 어느 하나의 방법을 제공한다.

[0341] 실시양태 10은, 제1 혼합물을 분리하여 제2 규소-알루미늄 복합체 및 약산 용액을 제공하고; 제2 규소-알루미늄 복합체와 중간 산 용액을, 제2 복합체가 중간 산 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하여 제2 혼합물을 제공하고; 제2 혼합물을 분리하여 제3 규소-알루미늄 복합체 및 중간 산 용액을 제공하는 것을 추가로 포함하는, 실시양태 9의 방법을 제공한다.

[0342] 실시양태 11은, 제4 혼합물을 분리하여 제2 규소 및 제1 행금액을 제공하고; 제2 규소와 제2 행금액을 조합하여 제5 혼합물을 제공하고; 제5 혼합물을 분리하여 습윤 규소 및 제2 행금액을 제공하는 것을 추가로 포함하는, 실시양태 9 내지 10 중 어느 하나의 방법을 제공한다.

[0343] 실시양태 12는, 최종 재결정화-규소의 세척이, 최종 재결정화-규소와 약한 HCl 용액을, 제1 복합체가 약한 HCl 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하여 제1 혼합물을 제공하고; 제1 혼합물을 분리하여 제3 규소-알루미늄 복합체 및 약한 HCl 용액을 제공하고; 제3 규소-알루미늄 복합체와 강한 HCl 용액을, 제3 복합체가 강한 HCl 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하여 제3 혼합물을 제공하고; 제3 혼합물을 분리하여 제1 규소 및 강한 HCl 용액을 제공하고; 제1 규소와 제1 행금액을 조합하여 제4 혼합물을 제공하고; 제4 혼합물을 분리하여 습윤 정제 규소 및 제1 행금액을 제공하고; 습윤 정제 규소를 충분히 건조시켜 최종 산-세척-규소를 제공하고; 약한 HCl 용액으로부터 약한 HCl 용액의 부분을 제거하여 약한 HCl 용액의 pH 및 비중을 유지하고; 강한 HCl 용액의 부분을 약한 HCl 용액에 전달하여 약한 HCl 용액의 pH, 약한 HCl 용액의 부피, 중간 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하고; 벌크 HCl 용액의 부분을 강한 HCl 용액에 첨가하여 강한 HCl 용액의 pH, 강한 HCl 용액의 부피, 강한 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하고; 제1 행금액의 부분을 강한 HCl 용액에 전달하여 강한 HCl 용액의 pH, 강한 HCl 용액의 부피, 강한 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하고; 새로운 물을 제2 행금액에 첨가하여 제2 행금액의 부피를 유지하는 것을 포함하는 것인, 실시양태 1 내지 11 중 어느 하나의 방법을 제공한다.

[0344] 실시양태 13은, 최종 재결정화-규소의 세척이, 최종 재결정화-규소와 약한 HCl 용액을, 제1 복합체가 약한 HCl 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하여 제1 혼합물을 제공하고; 제1 혼합물을 분리하여 제2 규소-알루미늄 복합체 및 약한 HCl 용액을 제공하고; 제2 규소-알루미늄 복합체와 중간 HCl 용액을, 제2 복합체가 중간 HCl 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하여 제2 혼합물을 제공하고; 제2 혼합물을 분리하여 제3 규소-알루미늄 복합체 및 중간 HCl 용액을 제공하고; 제3 규소-알루미늄 복합체와 강한 HCl 용액을, 제3 복합체가 강한 HCl 용액과 적어도 부분적으로 반응할 수 있도록 충분히 조합하여 제3 혼합물을 제공하고; 제3 혼합물을 분리하여 제1 규소 및 강한 HCl 용액을 제공하고; 제1 규소와 제1 행금액을 조합하여 제4 혼합물을 제공하고; 제4 혼합물을 분리하여 제2 규소 및 제1 행금액을 제공하고; 제2 규소와 제2 행금액을 조합하여 제5 혼합물을 제공하고; 제5 혼합물을 분리하여 습윤 정제 규소 및 제2 행금액을 제공하고; 습윤 정제 규소를 충분히 건조시켜 최종 산-세척-규소를 제공하고; 약한 HCl 용액으로부터 약한 HCl 용액의 부분을 제거하여 약한 HCl 용액의 pH 및 비중을 유지하고; 중간 HCl 용액의 부분을 약한 HCl 용액에 전달하여 약한 HCl 용액의 pH, 약한 HCl 용액의 부피, 약한 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하고; 강한 HCl 용액의 부분을 중간 HCl 용액에 전달하여 중간 HCl 용액의 pH, 중간 HCl 용액의 부피, 중간 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하고; 벌크 HCl 용액의 부분을 강한 HCl 용액에 첨가하여 강한 HCl 용액의 pH, 강한 HCl 용액의 부피, 강한 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하고; 제1 행금액의 부분을 강한 HCl 용액에 전달하여 강한 HCl 용액의 pH, 강한 HCl 용액의 부피, 강한 HCl 용액의 비중 또는 이들의 조합을 유지하고; 제2 행금액의 부분을 제1 행금액에 전달하여 제1 행금액의 부피를 유지하고; 새로운 물을 제2 행금액에 첨가하여 제2 행금액의 부피를 유지하는 것을 포함하는 것인, 실시양태 1 내지 12 중 어느 하나의 방법을 제공한다.

[0345] 실시양태 14는, 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화가 두가지 순차적 지향성 고체화를 포함하여 최종 지향성 고체화-규소 결정을 제공하는 것인, 실시양태 1 내지 13 중 어느 하나의 방법을 제공한다.

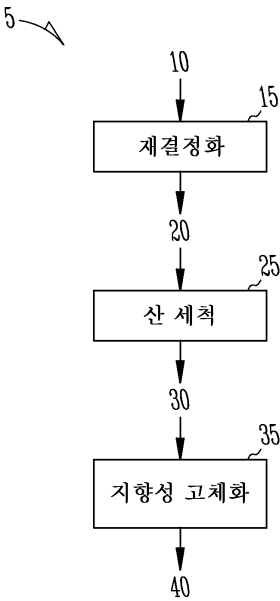
[0346] 실시양태 15는, 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화가, 다수의 블록을 포함하는 잉곳의 생성을 위한 내부; 및 고체화되어 잉곳을 형성하는 용융 물질이 생성되는 가열로의 내부 형상에 대략 매칭되는 외부 형상을 포함하는 도가니 내에서 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화를 수행하는 것을 포함하는 것인, 실시양태 1 내지 14 중 어

는 하나의 방법을 제공한다.

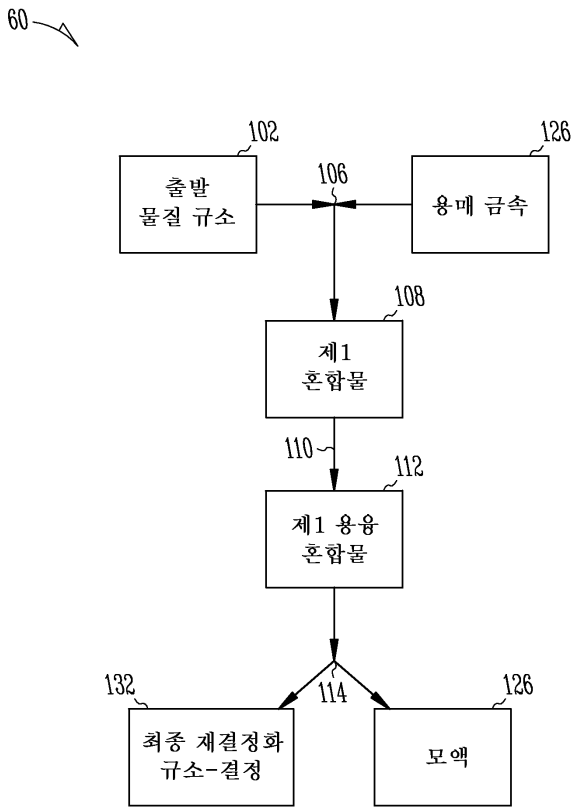
- [0347] 실시양태 16은, 블록이 격자를 포함하고, 정사각형 형상의 도가니에서의 격자와 비교할 때, 코너 블록의 백분율에 대한 측면 또는 중앙 블록의 백분율이 증가된 것인, 실시양태 15의 도가니를 제공한다.
- [0348] 실시양태 17은, 도가니의 둘레가 대략 8개의 주 측면을 포함하고, 여기서 8개의 측면은 대략 동일한 길이의 대략 마주보는 제1 측면의 2 세트, 및 대략 동일한 길이의 대략 마주보는 제2 측면의 2 세트를 포함하고, 여기서 제1 측면은 제2 측면과 번갈아 존재하는 것인, 실시양태 15 내지 16 중 어느 하나의 도가니를 제공한다.
- [0349] 실시양태 18은, 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화가, 잉곳의 생성을 위한 내부; 및 고체화되어 잉곳을 형성하는 용융 물질이 생성되는 가열로의 내부 형상에 대략 매칭되는 외부 형상을 포함하는 도가니를 사용하여 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화를 수행하는 것을 포함하며; 여기서 잉곳은 다수의 블록을 포함하고; 다수의 블록은 격자를 포함하고; 가열로의 내부 형상에 매칭되는 외부 형상은, 정사각형 형상을 갖는 도가니를 사용하여 가열로로부터 생성될 수 있는 블록의 수보다 더 많은 수의 블록 생성을 가능하게 하고; 가열로의 내부 형상은 대략 둥근 형상을 포함하고; 도가니의 둘레는 대략 8개의 주 측면을 포함하고, 여기서 8개의 측면은 대략 동일한 길이의 대략 마주보는 보다 긴 측면의 2 세트, 및 대략 동일한 길이의 대략 마주보는 보다 짧은 측면의 2 세트를 포함하고, 여기서 보다 긴 측면은 보다 짧은 측면과 번갈아 존재하는 것인, 실시양태 1 내지 17 중 어느 하나의 방법을 제공한다.
- [0350] 실시양태 19는, 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화가, 하나 이상의 내화성 물질을 포함하는 지향성 고체화 금형; 외부 재킷; 및 지향성 고체화 금형과 외부 재킷 사이에 적어도 부분적으로 배치된 단열층을 포함하는 장치에서 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화를 수행하는 것을 포함하는 것인, 실시양태 1 내지 18 중 어느 하나의 방법을 제공한다.
- [0351] 실시양태 20은, 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화가, 하나 이상의 내화성 물질을 포함하는 지향성 고체화 금형; 외부 재킷; 및 지향성 고체화 금형과 외부 재킷 사이에 적어도 부분적으로 배치된 단열층을 포함하는 지향성 고체화 장치를 제공하고; 최종 산-세척-규소를 적어도 부분적으로 용융시켜 제1 용융 규소를 제공하고; 제1 용융 규소를 지향성 고체화 금형 내에서 지향성 고체화시켜 제2 규소를 제공하는 것을 포함하는 것인, 실시양태 1 내지 19 중 어느 하나의 방법을 제공한다.
- [0352] 실시양태 21은, 지향성 고체화 금형 위에 가열 요소 및 유도 가열기로부터 선택된 하나 이상의 가열 부재를 배치하는 것을 비롯하여, 지향성 고체화 금형 위에 가열기를 배치하는 것을 추가로 포함하는, 실시양태 20의 방법을 제공한다.
- [0353] 실시양태 22는, 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화가, 지향성 고체화 금형 및 상단 가열기를 포함하는 장치를 사용하여 최종 산-세척-규소의 지향성 고체화를 수행하는 것을 포함하며, 상기 지향성 고체화 금형은 내화성 물질; 지향성 고체화 규소가 지향성 고체화 금형으로부터 제거될 때 금형의 나머지 부분을 손상으로부터 보호하도록 구성된, 슬립-면 내화재를 포함하는 상단 층; 강철을 포함하는 외부 재킷; 및 지향성 고체화 금형의 하나 이상의 측면과 외부 재킷의 하나 이상의 측면 사이에 적어도 부분적으로 배치된, 단열 벽돌, 내화성 물질, 내화성 물질의 혼합물, 단열판, 세라믹 페이퍼, 고온 울 또는 이들의 혼합물을 포함하는 단열층을 포함하며, 여기서 지향성 고체화 금형의 하나 이상의 측면은 산화알루미늄을 포함하고, 지향성 고체화 금형의 저부는 탄화규소, 흑연 또는 이들의 조합을 포함하고; 상기 상단 가열기는 각각 가열 요소 또는 유도 가열기를 포함하는 하나 이상의 가열 부재; 단열 벽돌, 내화재, 내화재의 혼합물, 단열판, 세라믹 페이퍼, 고온 울 또는 이들의 조합을 포함하는 단열재; 및 스테인레스 강을 포함하는 외부 재킷을 포함하며, 여기서 가열 요소는 탄화규소, 이규화몰리브데넘, 흑연 또는 이들의 조합을 포함하고, 단열재는 하나 이상의 가열 부재와 상단 가열기 외부 재킷 사이에 적어도 부분적으로 배치되고; 상기 장치는 규소의 지향성 고체화에 2회 초과로 사용되도록 구성되는 것인, 실시양태 1 내지 21 중 어느 하나의 방법을 제공한다.
- [0354] 실시양태 23은, 임의로, 언급된 모든 요소 또는 선택사항이 사용 또는 선택에 이용가능하도록 구성된 실시양태 1 내지 22 중 어느 하나 또는 이들의 임의의 조합의 장치 또는 방법을 제공한다.

도면

도면1



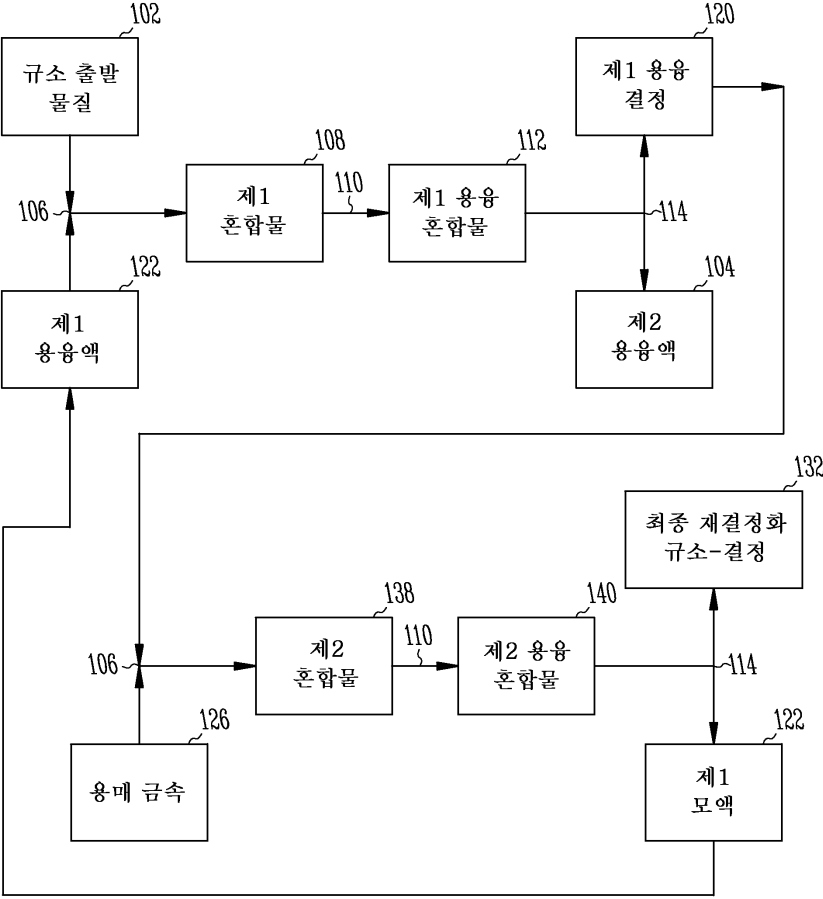
도면2a



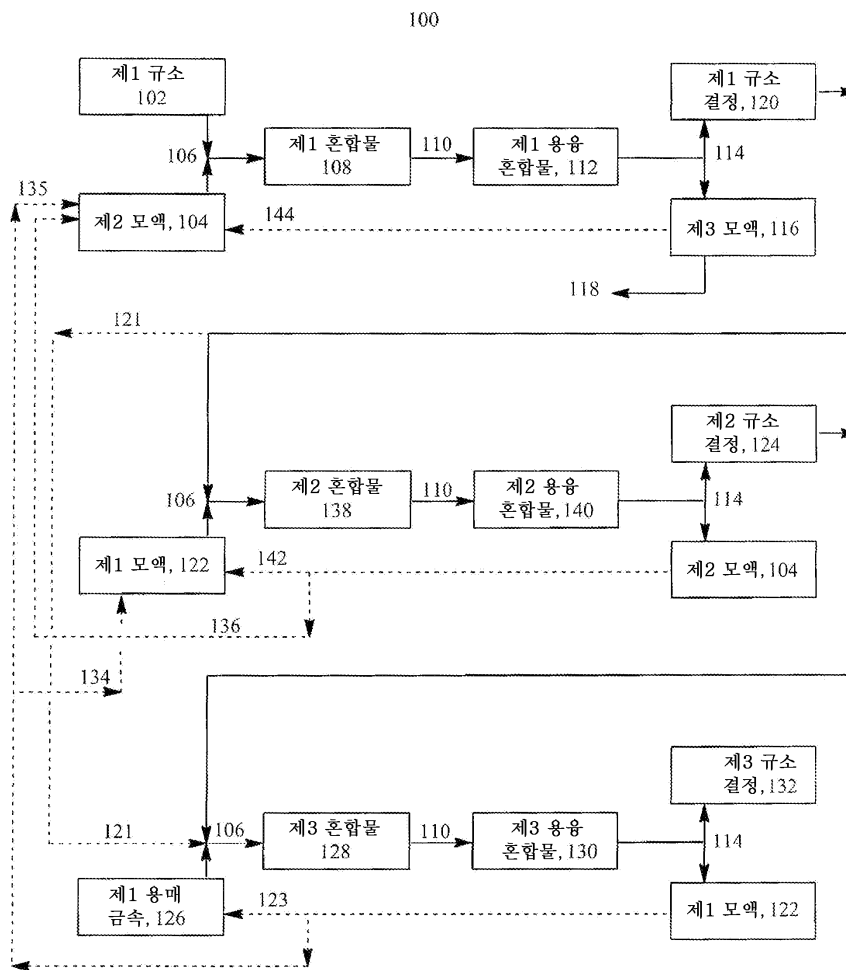


도면2b

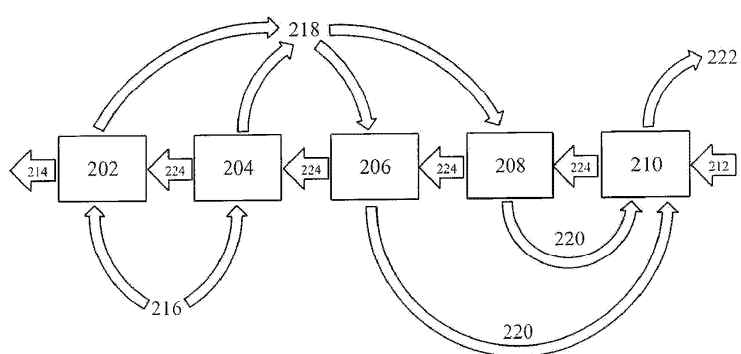
70



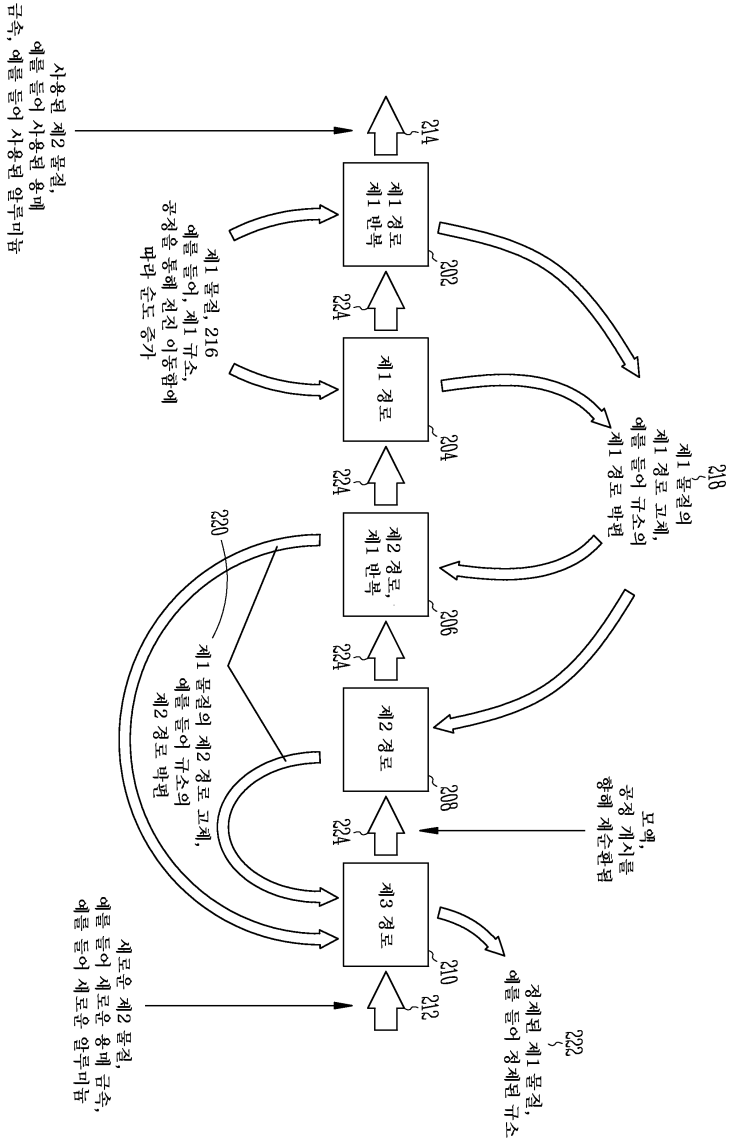
도면3



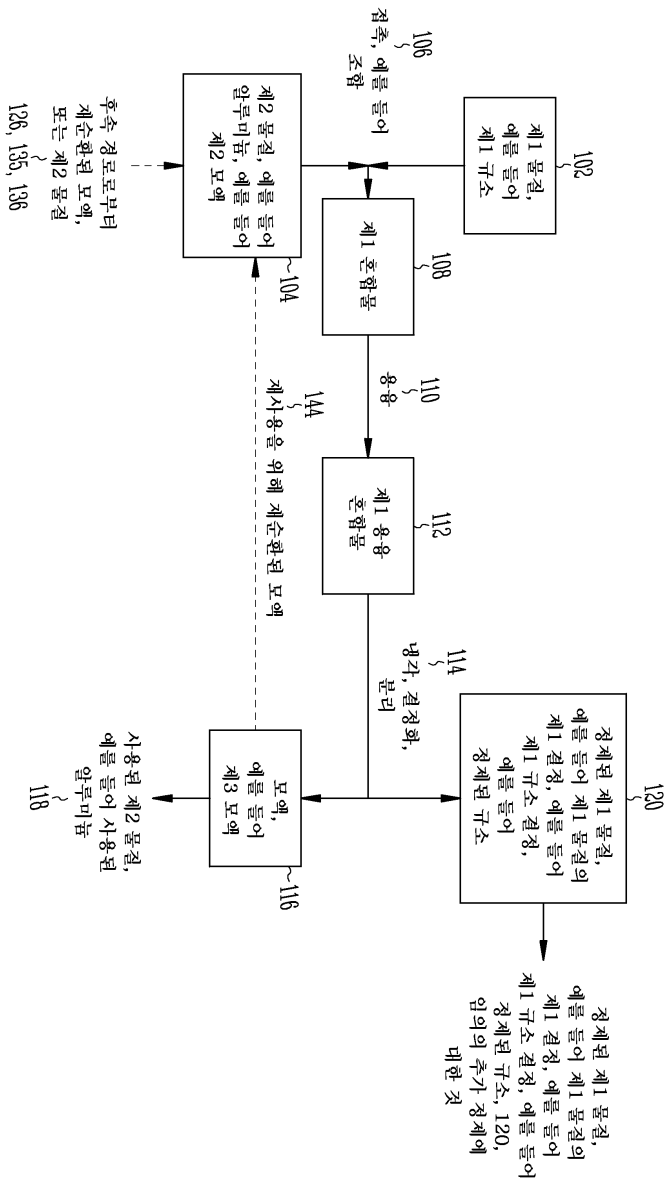
도면4



도면5

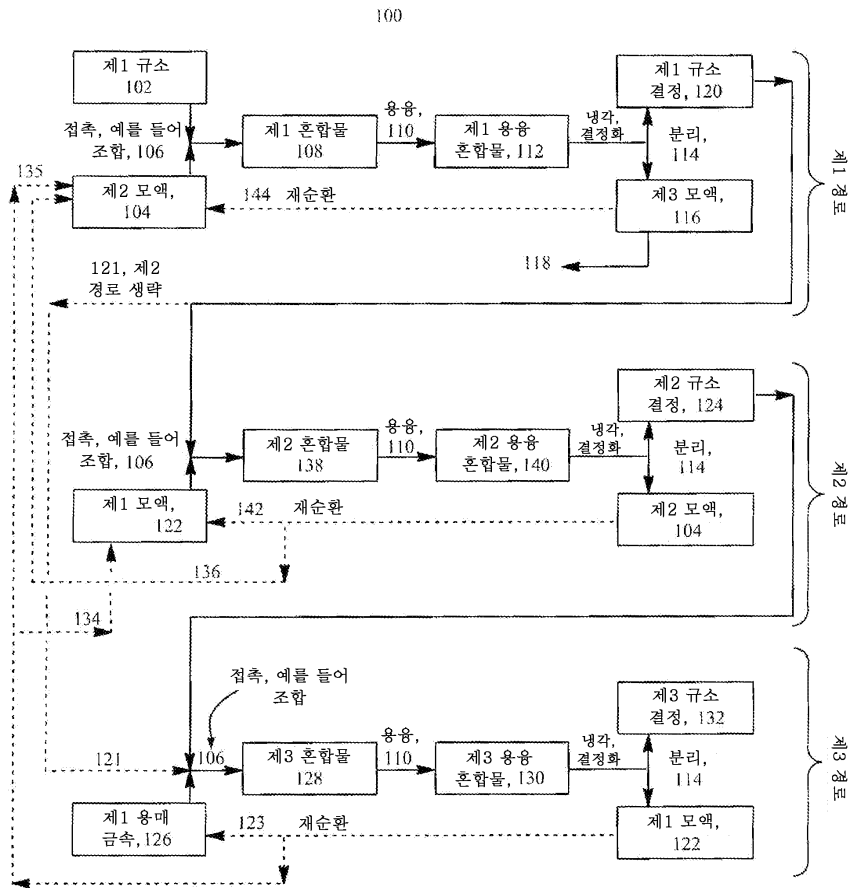


도면6

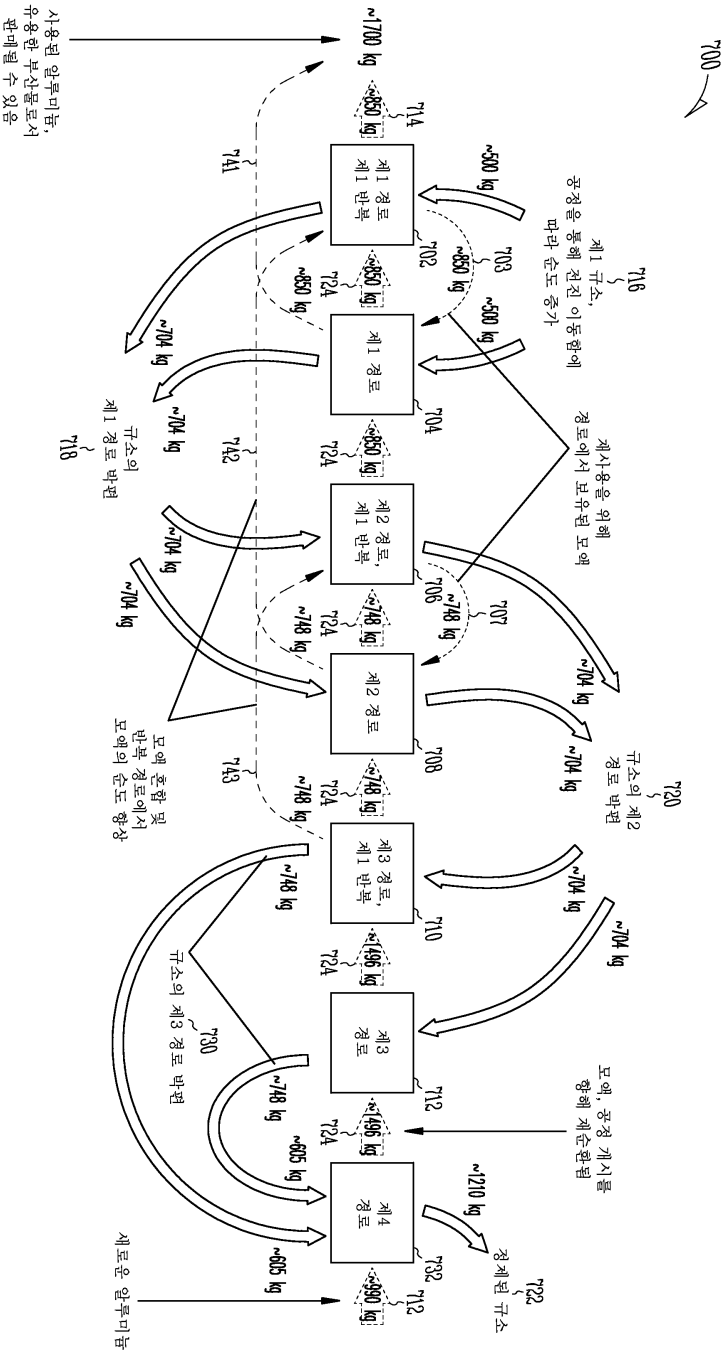




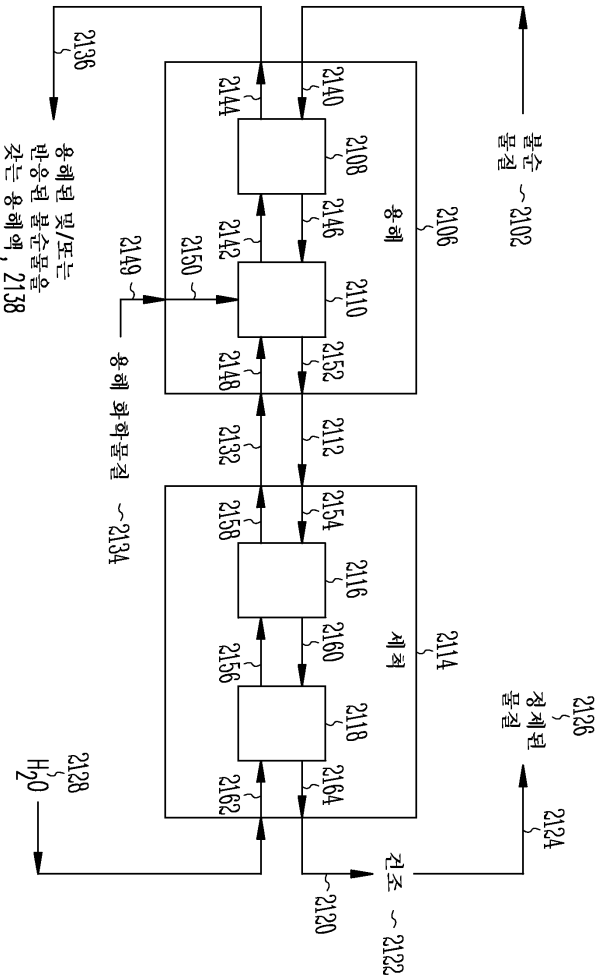
도면7



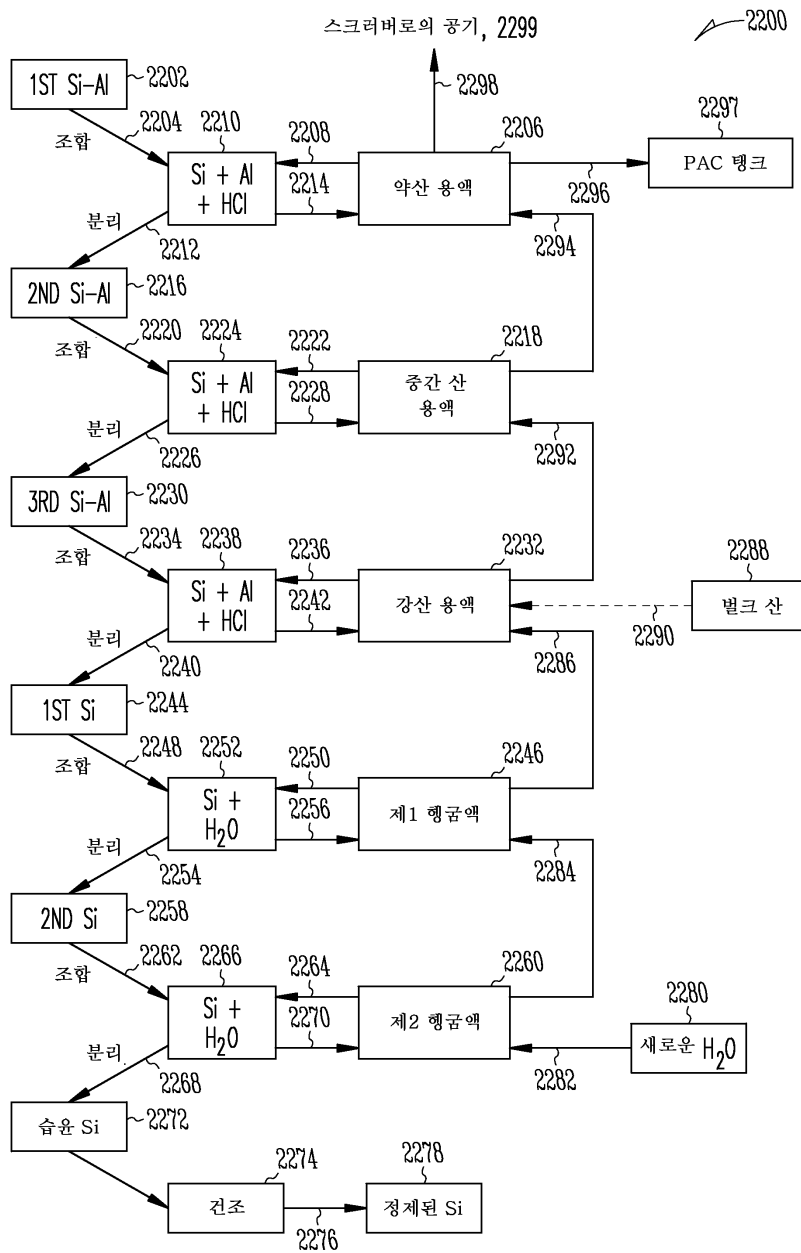
도면8



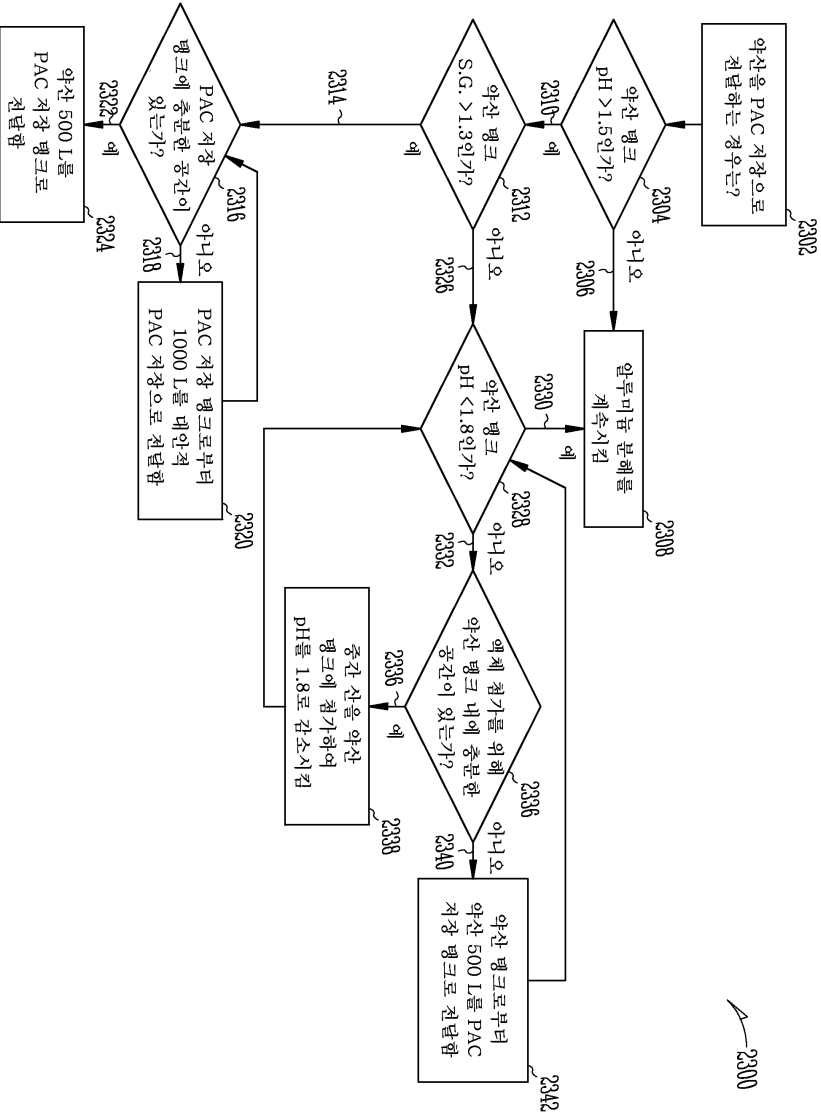
도면9



도면10

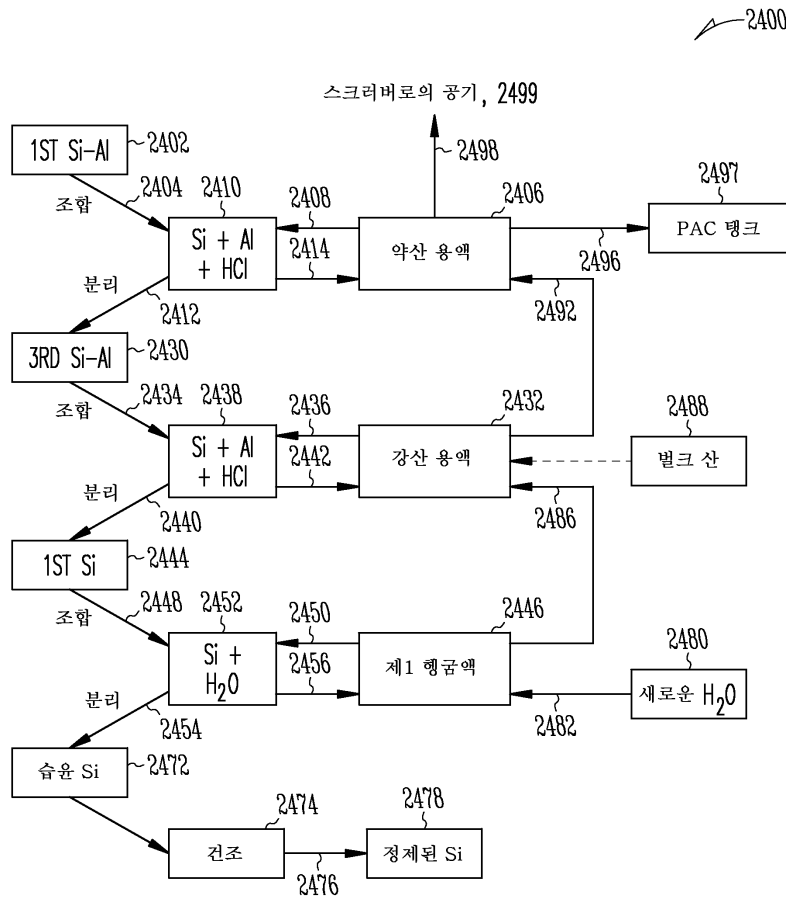


도면 11

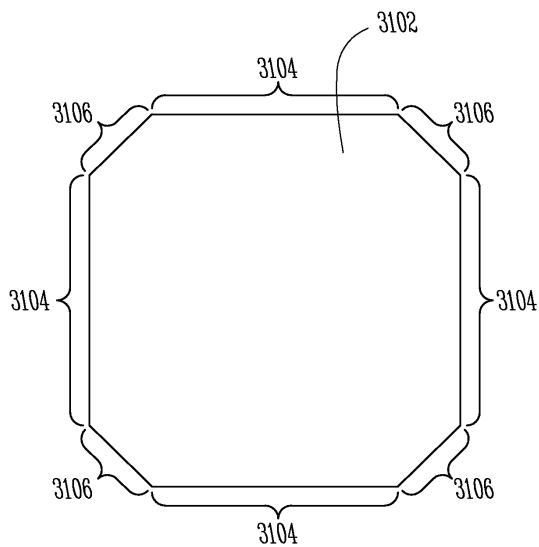




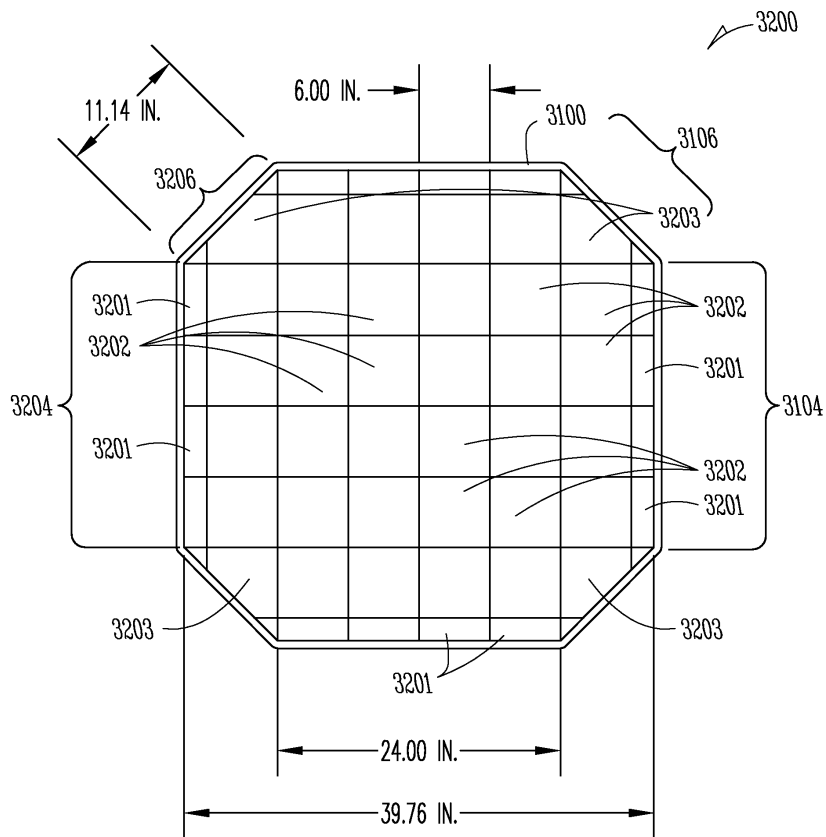
도면12



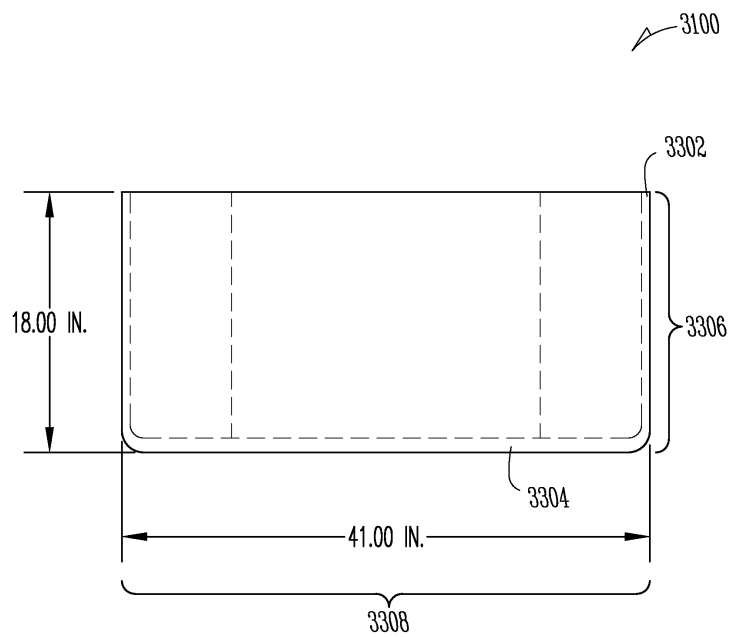
도면13



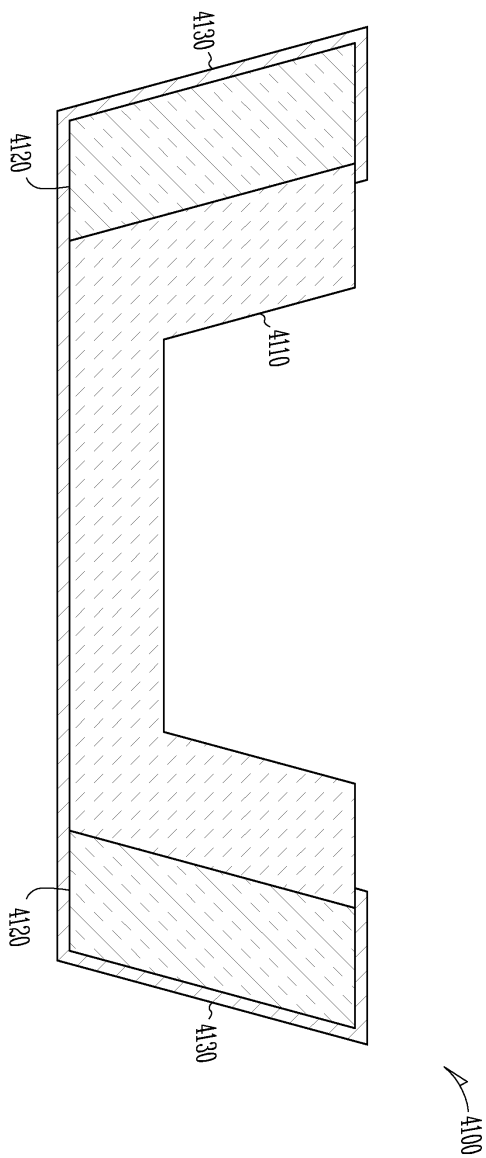
도면14



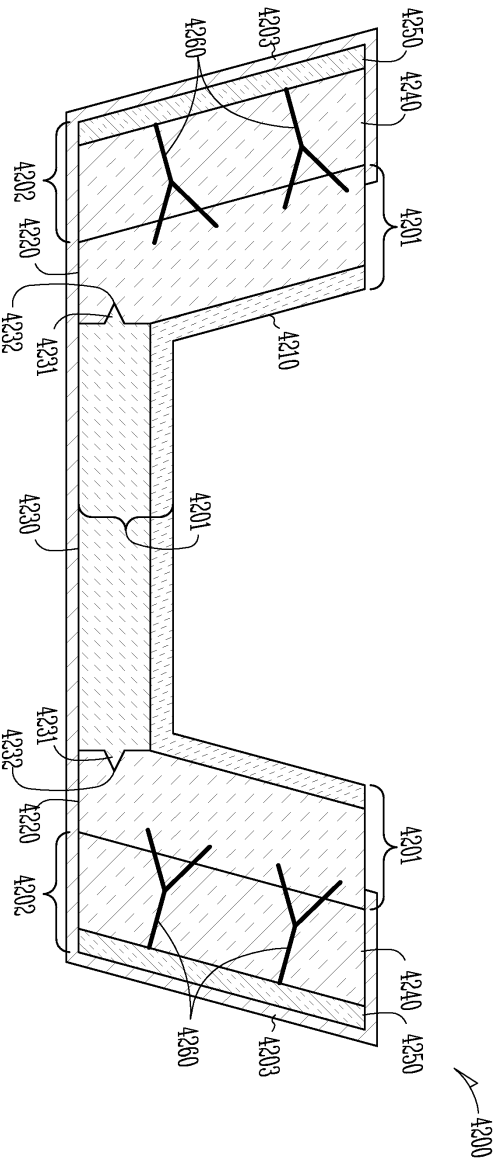
도면 15



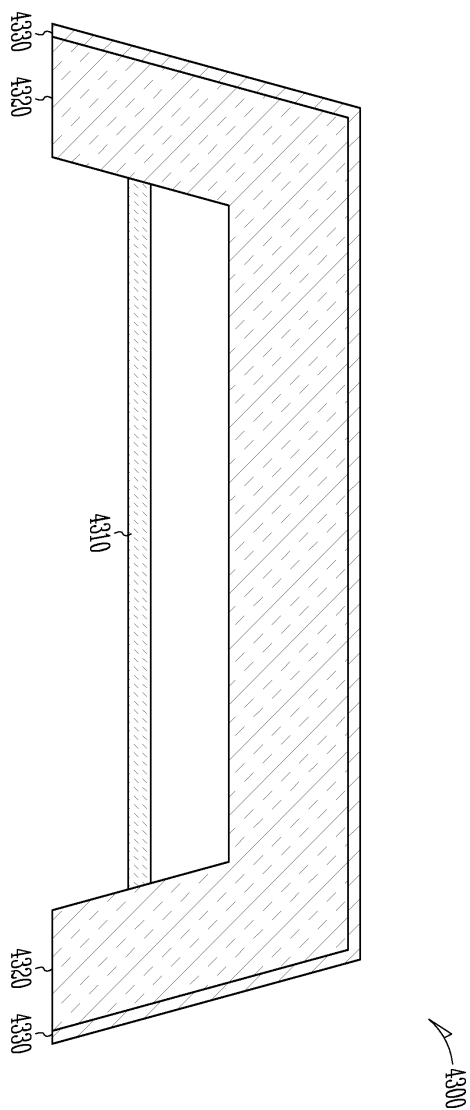
도면16



도면17

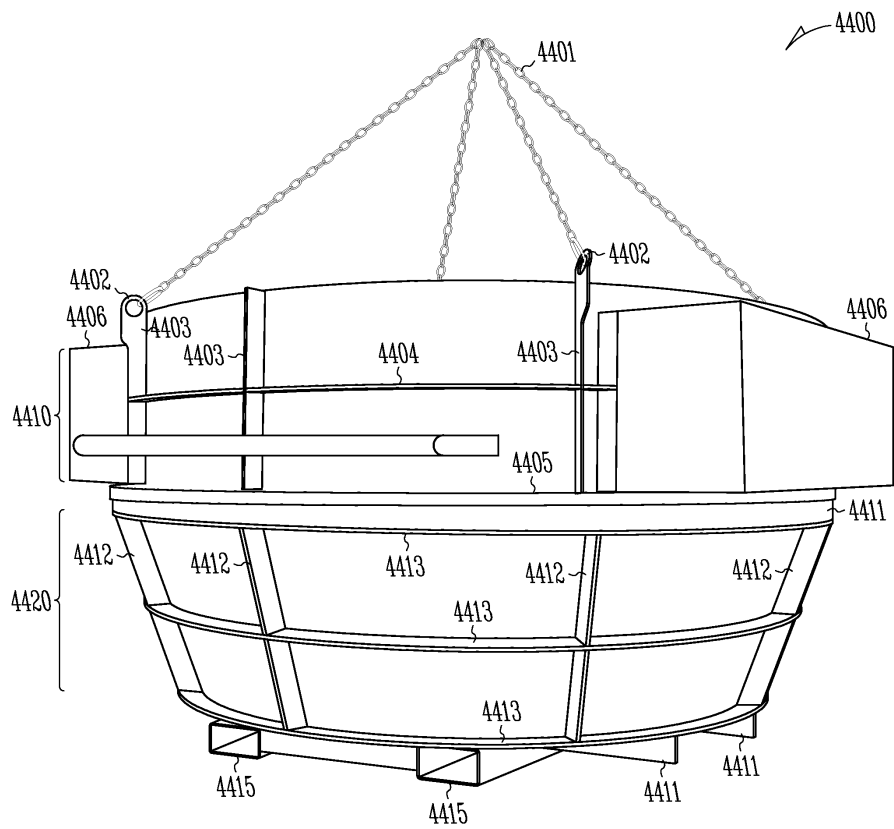


도면18

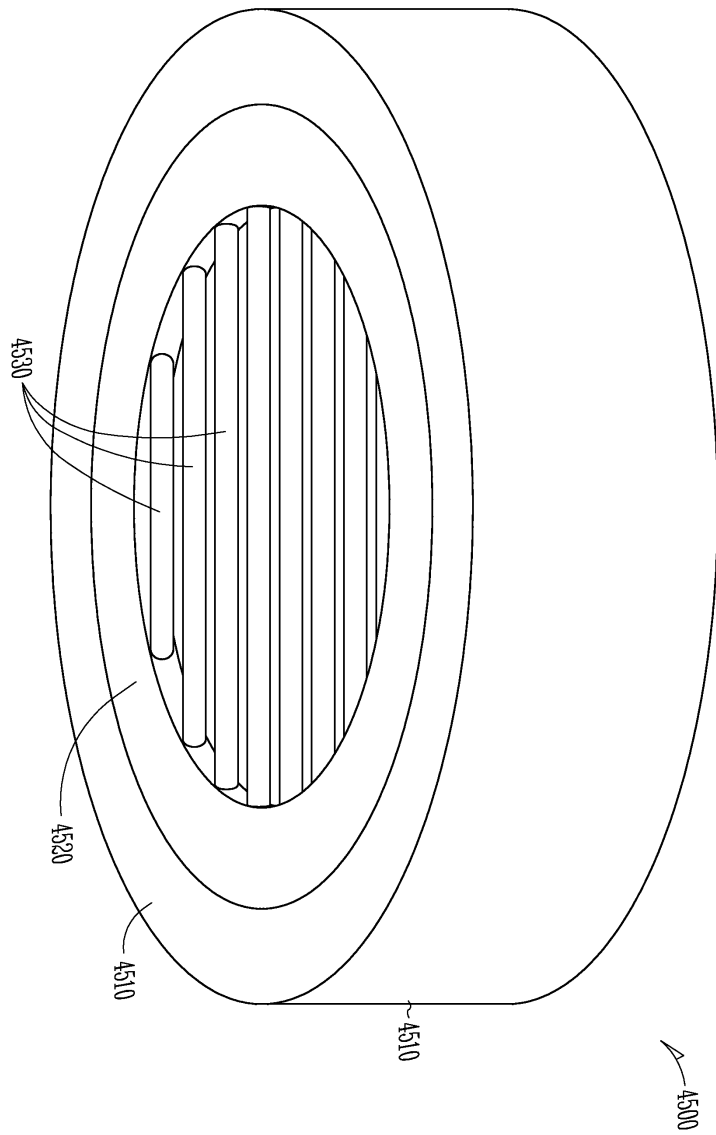




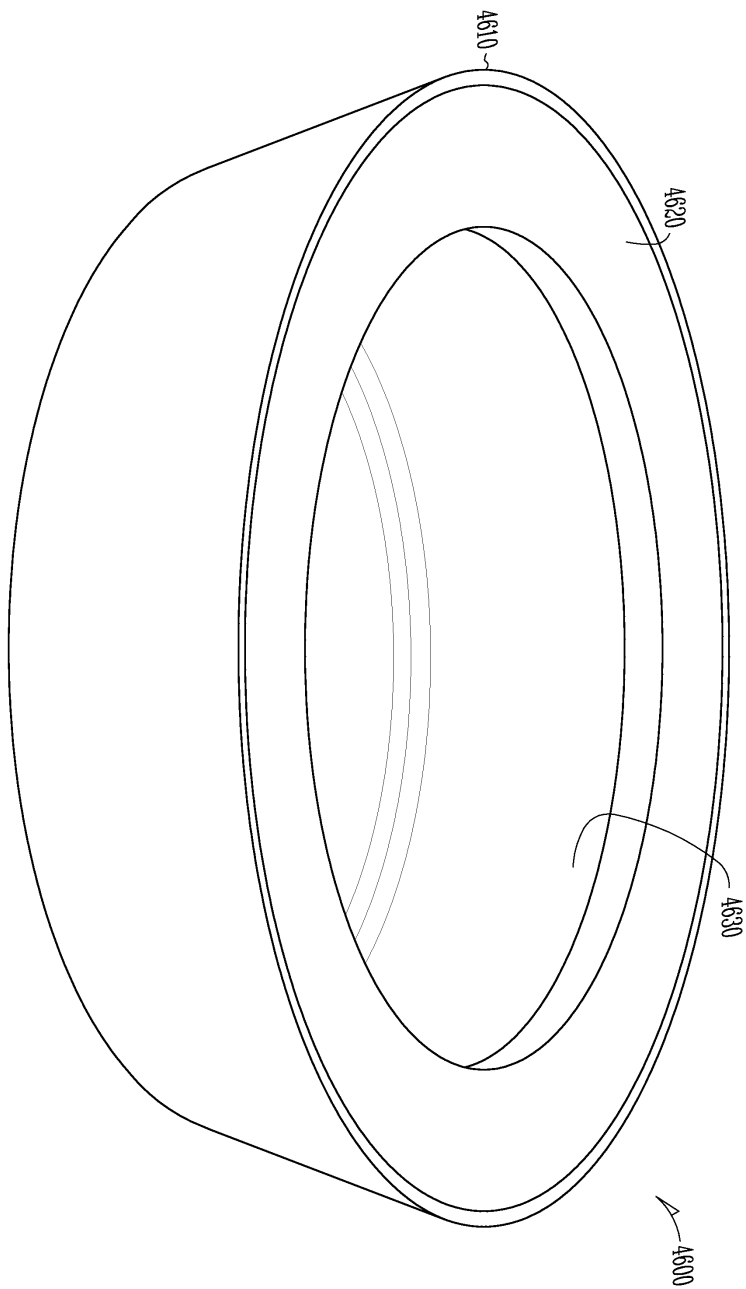
도면19



도면20



도면21



도면22

