



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2017년05월26일  
 (11) 등록번호 10-1740552  
 (24) 등록일자 2017년05월22일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*C30B 11/00* (2006.01) *C01B 33/037* (2006.01)  
*C30B 35/00* (2006.01) *C30B 9/06* (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
*C30B 11/002* (2013.01)  
*C01B 33/037* (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7000546
- (22) 출원일자(국제) 2013년06월24일  
 심사청구일자 2015년01월09일
- (85) 번역문제출일자 2015년01월09일
- (65) 공개번호 10-2015-0022998
- (43) 공개일자 2015년03월04일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2013/047312
- (87) 국제공개번호 WO 2014/004373  
 국제공개일자 2014년01월03일
- (30) 우선권주장  
 61/663,934 2012년06월25일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌  
 US20110044877 A1\*  
 US20120119407 A1\*  
 WO2000063630 A1  
 WO2002096830 A1  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자  
**실리코르 머티리얼즈 인코포레이티드**  
 미국 캘리포니아주 95161 산호세 # 610220 런디  
 애비뉴 1750
- (72) 발명자  
**튀렌 알랭**  
 캐나다 온타리오 엔2에이치 3쥬9 키치너 스틸링  
 애비뉴 노스 141  
**알프레드 크리스찬**  
 캐나다 온타리오 엘4엘 8제트7 본 로얄 게이트 블  
 러바드 1 유니트 비
- (74) 대리인  
**특허법인태평양**

전체 청구항 수 : 총 16 항

심사관 : 김광철

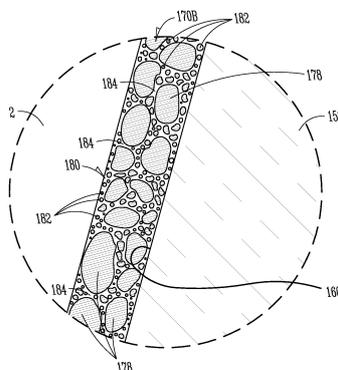
(54) 발명의 명칭 **실리콘 용융물의 정제용 내화 도가니의 표면용 라이닝 및 상기 도가니를 이용한 실리콘 용융물의 정제 방법**

**(57) 요약**

용융 실리콘 혼합물을 함유하기 위한 도가니는 용융 실리콘 혼합물을 수용하기 위한 내부를 정의하는 적어도 하나의 내표면을 갖는 적어도 하나의 내화 물질, 및 상기 내표면에 증착된 라이닝을 포함하며, 상기 라이닝은 콜로이드성 알루미늄을 포함한다. 실리콘의 정제 방법은 제1 실리콘을 제1 혼합물을 제공하기에 충분하도록 알루미

(뒷면에 계속)

**대표도** - 도6



늄을 포함하는 용매 금속과 접촉시키는 단계; 용융 도가니의 내부에서 상기 제1 혼합물을 용융시켜 용융 실리콘 혼합물을 제공하는 단계로서, 상기 용융 도가니는 상기 용융 도가니의 내부를 정의하는 내표면을 갖는 적어도 하나의 내화 물질을 포함하고, 제1 혼합물을 용융시키기 전에 상기 용융 도가니의 내표면의 적어도 일부를 콜로이드성 알루미늄을 포함하는 라이닝으로 코팅하는 단계, 상기 용융 실리콘 혼합물을 재결정화 실리콘 결정 및 모액을 형성하기에 충분하도록 냉각시키는 단계, 및 최종 재결정화 실리콘 결정 및 모액을 분리하는 단계를 포함한다.

(52) CPC특허분류

*C30B 35/00* (2013.01)

*C30B 9/06* (2013.01)

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

용융 실리콘 혼합물을 함유하기 위한 도가니로서, 상기 도가니는

용융 실리콘 혼합물을 수용하기 위한 내부를 정의하는 적어도 하나의 내표면을 갖는 적어도 하나의 내화 물질;  
및

상기 내표면에 증착된 라이닝;을 포함하며,

상기 라이닝은 콜로이드성 알루미나와, 상기 콜로이드성 알루미나에 의해 결합된 실리콘 카바이드 입자를 포함  
하고,

상기 라이닝은 2 mm 및 10 mm 사이의 두께를 가지며,

상기 라이닝은 적어도 하나의 내화 물질로부터 붕소 및 인 중 적어도 하나가 상기 내부에 함유되는 용융 실리콘  
혼합물로 전달되는 것을 방지 또는 감소시키는 도가니.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 콜로이드성 알루미나는 물에 현탁된 알루미나 입자를 포함하고, 상기 알루미나 입자는 포괄적으로 20 nm  
및 50 nm 사이의 크기를 갖는 도가니.

#### 청구항 5

삭제

#### 청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 적어도 하나의 내화 물질은 알루미나를 포함하는 도가니.

#### 청구항 7

삭제

#### 청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 실리콘 카바이드 입자는 3.5 mm 이하의 크기를 갖는 도가니.

#### 청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 도가니는 실리콘 및 알루미늄의 혼합물을 용융시켜 용융 실리콘 혼합물을 형성하도록 형성화된 도가니.

**청구항 10**

실리콘의 정제 방법으로서, 상기 방법은

제1 실리콘을 제1 혼합물을 제공하기에 충분하도록 알루미늄을 포함하는 용매 금속과 접촉시키는 단계;

용융 도가니의 내부에서 상기 제1 혼합물을 용융시켜 용융 실리콘 혼합물을 제공하는 단계로서, 상기 용융 도가니는 상기 용융 도가니의 내부를 정의하는 내표면을 갖는 적어도 하나의 내화 물질을 포함하고;

제1 혼합물을 용융시키기 전에 상기 용융 도가니의 내표면의 적어도 일부를 라이닝으로 코팅하는 단계로서, 상기 라이닝은 콜로이드성 알루미늄과, 상기 콜로이드성 알루미늄에 의해 결합된 실리콘 카바이드 입자를 포함하고, 상기 라이닝은 2 mm 및 10 mm 사이의 두께를 가지며, 상기 라이닝은 적어도 하나의 내화 물질로부터 붕소 및 인 중 적어도 하나가 상기 내부에 함유되는 용융 실리콘 혼합물로 전달되는 것을 방지 또는 감소시키는 것이고;

상기 용융 실리콘 혼합물을 재결정화 실리콘 결정 및 모액을 형성하기에 충분하도록 냉각시키는 단계; 및

최종 재결정화 실리콘 결정 및 모액을 분리하는 단계를 포함하는 방법.

**청구항 11**

삭제

**청구항 12**

삭제

**청구항 13**

청구항 10에 있어서,

상기 콜로이드성 알루미늄은 물에 현탁된 알루미늄 입자를 포함하고, 상기 알루미늄 입자는 포괄적으로 20 nm 및 50 nm 사이의 크기를 갖는 방법.

**청구항 14**

삭제

**청구항 15**

삭제

**청구항 16**

청구항 10에 있어서,

상기 실리콘 카바이드 입자는 3.5 mm 이하의 크기를 갖는 방법.

**청구항 17**

청구항 10에 있어서,

상기 적어도 하나의 내화 물질은 알루미늄을 포함하는 방법.

**청구항 18**

실리콘의 정제 방법으로서, 상기 방법은

제1 실리콘을 제1 혼합물을 제공하기에 충분하도록 제1 용매 금속과 접촉시키는 단계;

제1 용융 도가니의 제1 내화물의 제1 내표면의 적어도 일부를 콜로이드성 알루미늄과, 상기 콜로이드성 알루미늄에 의해 결합된 실리콘 카바이드 입자를 포함하는 제1 라이닝으로 코팅하는 단계로서, 상기 라이닝은 2 mm 및 10 mm 사이의 두께를 가지며, 상기 라이닝은 적어도 하나의 내화 물질로부터 붕소 및 인 중 적어도 하나가 상기

내부에 함유되는 용융 실리콘 혼합물로 전달되는 것을 방지 또는 감소시키는 것이고;

상기 제1 용융 도가니의 내부에서 상기 제1 혼합물을 용융시켜 제1 용융 실리콘 혼합물을 제공하는 단계;

상기 제1 용융 실리콘 혼합물을 제1 실리콘 결정 및 제1 모액을 형성하기에 충분하도록 냉각시키는 단계;

상기 제1 실리콘 결정 및 상기 제1 모액을 분리하는 단계;

상기 제1 실리콘 결정을 제2 혼합물을 제공하기에 충분하도록 제2 용매 금속과 접촉시키는 단계;

제2 용융 도가니의 제2 내화물의 제2 내표면의 적어도 일부를 콜로이드성 알루미늄을 포함하는 제2 라이닝으로 코팅하는 단계;

상기 제2 용융 도가니의 내부에서 상기 제2 혼합물을 용융시켜 제2 용융 실리콘 혼합물을 제공하는 단계;

상기 제2 용융 실리콘 혼합물을 제2 실리콘 결정 및 제2 모액을 형성하기에 충분하도록 냉각시키는 단계; 및

상기 제2 실리콘 결정 및 상기 제2 모액을 분리하는 단계를 포함하는 방법.

**청구항 19**

청구항 18에 있어서,

상기 제1 용매 금속의 적어도 일부는 상기 제1 모액의 적어도 일부 및 상기 제2 모액의 적어도 일부 중 적어도 하나를 포함하는 방법.

**청구항 20**

청구항 18에 있어서,

상기 제2 용매 금속의 적어도 일부는 상기 제1 모액의 적어도 일부 및 상기 제2 모액의 적어도 일부 중 적어도 하나를 포함하는 방법.

**청구항 21**

청구항 18에 있어서,

상기 제2 실리콘 결정을 제3 혼합물을 형성하기에 충분하도록 제3 용매 금속과 접촉시키는 단계;

제3 용융 도가니의 제3 내화물의 제3 내표면의 적어도 일부를 콜로이드성 알루미늄을 포함하는 제3 라이닝으로 코팅하는 단계;

상기 제3 용융 도가니의 내부에서 상기 제3 혼합물을 용융시켜 제3 용융 실리콘 혼합물을 제공하는 단계;

상기 제3 용융 실리콘 혼합물을 제3 실리콘 결정 및 제3 모액을 형성하기에 충분하도록 냉각시키는 단계; 및

상기 제3 실리콘 결정 및 상기 제3 모액을 분리하는 단계를 추가로 포함하는 방법.

**청구항 22**

청구항 21에 있어서,

상기 제1 용매 금속의 적어도 일부는 상기 제3 모액의 적어도 일부를 포함하는 방법.

**청구항 23**

청구항 21에 있어서,

상기 제2 용매 금속의 적어도 일부는 상기 제3 모액의 적어도 일부를 포함하는 방법.

**청구항 24**

청구항 21에 있어서,

상기 제3 용매 금속의 적어도 일부는 상기 제1 모액의 적어도 일부, 상기 제2 모액의 적어도 일부 및 상기 제3 모액의 적어도 일부 중 적어도 하나를 포함하는 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

- [0001] 본 발명은 그 전체가 인용에 의해 본 발명에 포함되는 2012년 6월 25일자로 출원된 미국 가출원 제61/663,934호에 대한 우선권의 이익을 주장한다.
- [0002] 본 발명은 실리콘 용융물의 정제용 내화 도가니의 표면용 라이닝 및 상기 도가니를 이용한 실리콘 용융물의 정제 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

- [0003] 태양 전지는 태양광을 전기 에너지로 전환시키는 능력을 이용함으로써 실행가능한(viable) 에너지 공급원이 될 수 있다. 실리콘은 태양 전지의 제조에 사용되는 반도체 물질이다; 그러나, 실리콘 이용의 제한은 태양 등급(solar grade, SG)까지 이를 정제하는 비용에 관한 것이다. 특히 대규모로 실리콘으로부터 불순물을 분리하는 효과적인 방법은 종종 도입하기 힘들거나 어렵다.
- [0004] 실리콘의 재결정화는 원하지 않는 불순물을 제거하기 위해 사용될 수 있는 한 방법이다. 재결정화 공정에서, 불순물을 갖는 실리콘은 용매에 용해된 후 상기 용매로부터 다시 재결정화시킴으로써 보다 순수한 실리콘을 형성한다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0005] 현재의 에너지 요구 및 공급 제한을 볼 때, 본 발명자들은 금속 등급(metallurgical grade, MG) 실리콘(또는 태양 등급보다 많은 양의 불순물을 갖는 임의의 다른 실리콘)을 태양 등급 실리콘으로 정제하는 보다 비용 효과적인 방법에 대한 필요성을 인식하였다. 본 발명은 실리콘의 재결정화용 장치 및 방법을 개시한다. 상기 장치는 예컨대 알루미늄과 같은 내화 물질로부터 제조된 도가니와 같은 용기를 포함할 수 있다. 실리콘은 상기 도가니에서 용융될 수 있거나, 또는 실리콘은 상기 도가니 내에서 용액으로부터 재결정화되어 상기 실리콘의 정제를 위해 제공될 수 있다. 라이닝은 도가니의 내화 물질의 내표면에 증착되어 상기 도가니 내에 함유되어 있는 용융 실리콘 또는 실리콘 및 알루미늄 용액이 붕소 또는 인으로 오염되는 것과 같은 상기 내화 물질로부터 오염되는 것을 방지 또는 감소시킬 수 있다. 상기 라이닝은 콜로이드성 알루미늄에 의해 함께 결합된 실리콘 카바이드 입자를 포함할 수 있다. 상기 라이닝은 특히 붕소 및 인 오염물(contaminant)에 관해 보다 순수한 최종 실리콘을 위하여 각각의 결정화 사이클에 대해 제공될 수 있다.
- [0006] 본 발명은 용융 실리콘 혼합물을 함유하기 위한 도가니를 개시하며, 상기 도가니는 용융 실리콘 혼합물을 수용하기 위한 내부를 정의하는 적어도 하나의 내표면을 갖는 적어도 하나의 내화 물질 및 상기 내표면에 증착된 라이닝을 포함하며, 상기 라이닝은 콜로이드성 알루미늄을 포함한다.
- [0007] 본 발명은 또한 실리콘의 정제 방법을 개시하며, 상기 방법은 제1 실리콘을 제1 혼합물을 제공하기에 충분하도록 알루미늄을 포함하는 용매 금속과 접촉시키는 단계, 용융 도가니의 내부에서 상기 제1 혼합물을 용융시켜 용융 실리콘 혼합물을 제공하는 단계로서, 상기 용융 도가니는 상기 용융 도가니의 내부를 정의하는 내표면을 갖는 적어도 하나의 내화 물질을 포함하고, 제1 혼합물을 용융시키기 전에 상기 용융 도가니의 내표면의 적어도 일부를 콜로이드성 알루미늄을 포함하는 라이닝으로 코팅하는 단계, 상기 용융 실리콘 혼합물을 재결정화 실리콘 결정 및 모액(mother liquor)을 형성하기에 충분하도록 냉각시키는 단계, 및 최종 재결정화 실리콘 결정 및 모액을 분리하는 단계를 포함한다.
- [0008] 본 발명은 또한 실리콘의 정제 방법을 개시하며, 상기 방법은 제1 실리콘을 제1 혼합물을 제공하기에 충분하도록 제1 용매 금속과 접촉시키는 단계, 제1 용융 도가니의 제1 내화물의 제1 내표면의 적어도 일부를 콜로이드성 알루미늄을 포함하는 제1 라이닝으로 코팅하는 단계, 상기 제1 용융 도가니의 내부에서 상기 제1 혼합물을 용융시켜 제1 용융 실리콘 혼합물을 제공하는 단계, 상기 제1 용융 실리콘 혼합물을 제1 실리콘 결정 및 제1 모액을

형성하기에 충분하도록 냉각시키는 단계, 상기 제1 실리콘 결정 및 상기 제1 모액을 분리하는 단계, 상기 제1 실리콘 결정을 제2 혼합물을 제공하기에 충분하도록 제2 용매 금속과 접촉시키는 단계, 제2 용융 도가니의 제2 내화물의 제2 내표면의 적어도 일부를 콜로이드성 알루미늄을 포함하는 제2 라이닝으로 코팅하는 단계, 상기 제2 용융 도가니의 내부에서 상기 제2 혼합물을 용융시켜 제2 용융 실리콘 혼합물을 제공하는 단계, 상기 제2 용융 실리콘 혼합물을 제2 실리콘 결정 및 제2 모액을 형성하기에 충분하도록 냉각시키는 단계, 및 상기 제2 실리콘 결정 및 상기 제2 모액을 분리하는 단계를 포함한다.

[0009] 상기 요약은 본 발명의 대상물의 개관(overview)을 제공하기 위한 의도이다. 이는 본 발명의 배타적 또는 철저한 설명을 제공하기 위한 의도는 아니다. 본 발명에 관한 추가적인 정보를 제공하기 위하여 발명의 상세한 설명이 포함된다.

**과제의 해결 수단**

[0010] 본 발명은 결정화를 이용하여 실리콘을 정제하기 위한 장치 및 방법을 개시한다. 상기 장치 및 방법은 용융 실리콘 또는 알루미늄과 같은 용융 용매 및 실리콘의 용액을 담는 도가니 내부의 라이닝을 사용하는 것을 포함할 수 있으며, 상기 라이닝은 상기 용융 실리콘 또는 용융 용매 및 실리콘이 상기 도가니의 내화 물질로부터 오염되는 것을 방지 또는 감소시킬 수 있다. 본 발명의 장치 및 방법은 태양 전지에 사용하기 위한 실리콘 결정을 제조하기 위해 사용될 수 있다.

[0011] 정의

[0012] 단수 형태의 "한", "하나" 및 "상기"는 해당 문맥이 달리 명확하게 나타내지 않는 한 복수의 참조를 포함할 수 있다.

[0013] 본 발명에서 사용된 것과 같이, 일부 예에서, "제1", "제2", "제3" 등과 같은 용어는 "모액", "결정", "용융 혼합물", "혼합물", "세정 용액", "용융 실리콘" 등과 같은 다른 용어들에 적용될 때 단순히 단계들 간의 차이의 일반 용어로서 사용되며, 달리 명확하게 나타내지 않는 한 그 자체로 단계들의 우선순위 또는 단계들의 순서를 나타내는 것은 아니다. 예를 들면, 일부 예에서, "제3 모액"은 인자(element)일 수 있지만, 제1 또는 제2 모액은 어느 것도 상기 예의 인자가 아닐 수 있다. 다른 예에서, 제1, 제2 및 제3 모액은 모두 해당 예의 인자일 수 있다.

[0014] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "접촉하는"은 접촉하거나, 접촉을 하거나, 또는 물질을 매우 근접하게 가져오는 행위를 나타낼 수 있다.

[0015] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "도가니"는 물질이 용융되어 용융물이 될 때 상기 물질을 담을 수 있는 용기, 용융 물질을 수용하고 상기 물질을 그 용융된 상태로 유지할 수 있는 용기 및 용융 물질이 고체화 또는 결정화 될 때 상기 용융 물질을 담을 수 있는 용기, 또는 이들의 조합과 같이 용융 물질을 담을 수 있는 용기를 나타낼 수 있다.

[0016] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "결정"은 매우 규칙적인 구조를 갖는 고체를 나타낼 수 있다. 결정은 원소 또는 분자의 고체화에 의해 형성될 수 있다.

[0017] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "결정체(crystalline)"는 고체 내에서 원자의 규칙적이고 기하학적인 배열을 나타낼 수 있다.

[0018] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "고체화"는 용액으로부터 물질의 결정(결정체 물질)을 형성하는 공정을 나타낼 수 있다. 상기 공정은 공급물을 냉각시키거나, 또는 원하는 생성물의 용해도를 낮추는 침전제를 첨가하여 결정을 형성함으로써, 종종 극히 순수한 형태로 액체 공급물로부터 생성물을 분리한다. 이후, 순수한 고체 결정은 경사분리(decantation), 여과, 원심분리 또는 다른 수단에 의해 남아있는 액체로부터 분리된다.

[0019] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "드로스(dross)"는 용융 금속조(metal bath) 상에 떠있는 고체 불순물의 덩어리를 나타낼 수 있다. 이것은 대체로 주석, 납, 아연 또는 알루미늄과 같은 낮은 녹는점의 금속 또는 합금의 용융물 위에, 또는 상기 금속(들)을 산화시킴으로써 나타난다. 이것은 예컨대 이를 표면으로부터 걷어내 버림으로써 제거될 수 있다. 주석 및 납의 경우, 상기 드로스는 또한 산화물을 용해시켜 슬래그(slag)를 형성하는 수산화나트륨 펠렛을 첨가함으로써 제거될 수 있다. 다른 금속의 경우, 염 플럭스(flux)를 첨가하여 상기 드로스

를 분리할 수 있다. 드로스는 고체화됨으로써 합금 위에 떠있는 (점성의) 액체인 슬래그와 구별된다.

- [0020] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "플럭스"는 용융 금속조에 첨가되어 드로스 내에서와 같이 불순물의 제거에 도움을 주는 화합물을 나타낼 수 있다. 플럭스 물질은 상기 용융 금속조에 첨가되어서, 상기 플럭스 물질이 상기 용융 금속조 내의 하나 이상의 물질 또는 화합물과 반응하여 제거될 수 있는 슬래그를 형성할 수 있다.
- [0021] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "용광로(furnace)"는 물질을 가열하기 위한 구획을 갖는 기계, 장치, 기구 또는 다른 구조를 나타낼 수 있다.
- [0022] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "잉곳"은 주조(cast) 물질의 덩어리를 나타낼 수 있다. 일부 예에서, 상기 물질의 형태는 상기 잉곳이 상대적으로 용이하게 운반되도록 한다. 예를 들면, 그 녹는점을 넘어 가열되고 막대 또는 블록 내에 성형된 금속은 잉곳으로 나타낼 수 있다.
- [0023] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "용융" 또는 "용융되는"은 충분한 열에 노출될 때 고체에서 액체로 변화하는 물질을 나타낼 수 있다. "용융물"이란 용어는 또한 그 상전이가 용융 액체로 되도록 진행된 물질을 나타낼 수 있다.
- [0024] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "혼합물"은 서로 물리적으로 접촉하는 2 이상의 물질의 조합을 나타낼 수 있다. 예를 들면, 혼합물의 성분들은 화학적으로 반응하는 것이 아니라 물리적으로 결합될 수 있다.
- [0025] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "용융물"은 용융된 물질을 나타낼 수 있으며, 용융은 고체 물질을 액체로 변하는 점(녹는점이라고 함)까지 가열하는 공정이다.
- [0026] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "단결정성 실리콘"은 결합이나 불순물이 거의 없이 단일한 및 연속적인 결정 격자 구조를 갖는 실리콘을 나타낼 수 있다.
- [0027] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "모액" 또는 "모액체(mother liquid)"는 액체 내에서 고체의 용액의 혼합물로부터 고체(예컨대, 결정)가 제거된 후 얻어진 액체 또는 용융 액체를 나타낼 수 있다. 제거의 완전함 정도에 따라, 상기 모액은 미미한 양의 상기 고체를 포함할 수 있다.
- [0028] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "다결정성 실리콘" 또는 "폴리-Si" 또는 "다수결정성 실리콘"은 다수의 단결정성 실리콘 결정을 포함하는 물질을 나타낼 수 있다.
- [0029] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "정제하는"은 외부의 또는 오염성 물질로부터 관심있는 화학 물질을 물리적 또는 화학적으로 분리하는 것을 나타낼 수 있다.
- [0030] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "재결정화"는 용매 내의 불순 물질을 용해시키고 상기 용매로부터 상기 물질을 다시 결정화하는 공정을 나타낼 수 있으며, 상기 용매로부터 다시 결정화되는 물질은 상기 용매 내에 용해되었던 불순 물질보다 더 높은 순도를 갖는다.
- [0031] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "내화 물질"은 고온, 특히 실리콘의 용융 및 방향성 고체화와 관련된 고온에서 화학적 및 물리적으로 안정한 물질을 나타낼 수 있다. 내화 물질의 예는 알루미늄 옥사이드, 실리콘 옥사이드, 마그네슘 옥사이드, 칼슘 옥사이드, 지르코늄 옥사이드, 크롬 옥사이드, 실리콘 카바이드, 흑연 또는 이들의 조합을 포함하지만 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0032] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "측면(side)" 또는 "측면들"은 하나 이상의 측면을 나타낼 수 있으며, 달리 나타내지 않는 한, 물체의 하나 이상의 최상부(top) 또는 바닥(bottom)과 대조되는 물체의 측면 또는 측면들을 나타낼 수 있다.
- [0033] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "실리콘"은 원소 Si를 나타낼 수 있으며, 임의의 순도의 Si를 나타낼 수 있지만, 일반적으로 적어도 50 중량%의 순도, 바람직하게는 75 중량%의 순도, 보다 바람직하게는 85 중량%의 순도, 보다 바람직하게는 90 중량%의 순도, 및 보다 바람직하게는 95 중량%의 순도, 및 보다 더 바람직하게는 99 중량%의 순도의 실리콘을 나타낼 수 있다.
- [0034] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "분리하는"은 한 물질을 다른 것들로부터 제거하는(예컨대, 혼합물로부터 고체 또는 액체를 제거하는) 공정을 나타낼 수 있다. 상기 공정은 본 기술분야의 기술자에게 알려진 임의의 적합한 기술, 예컨대 상기 혼합물을 경사분리하거나, 상기 혼합물로부터 하나 이상의 액체를 걷어내거나, 상기 혼합물을 원심분리하거나, 상기 혼합물로부터 고체를 여과하거나, 또는 이들을 조합하는 것을 도입할 수 있다.
- [0035] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "슬래그"는 금속을 정제하기 위한 광석 체련의 부산물을 나타낼 수 있다. 슬래

그는 금속 옥사이드의 혼합물로 간주될 수 있다; 그러나, 슬래그는 금속 설파이드 및 금속 원자를 원소의 형태로 함유할 수 있다. 자연에서, 철, 구리, 납, 알루미늄 및 다른 금속과 같은 금속의 광석은 불순물이 섞인 상태로 발견되며, 종종 산화 및 다른 금속의 실리케이트와 혼합된다. 제련하는 동안, 광석이 고온에 노출될 때, 상기 불순물은 용융된 금속으로부터 분리되어 제거될 수 있다. 제거되는 화합물의 집합이 슬래그이다. 슬래그는 또한 예컨대 상기 금속의 정제를 향상시키기 위한 디자인에 의해 생성된 다양한 옥사이드 및 다른 물질의 블렌드(blend)일 수 있다.

[0036] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "용매"는 고체, 액체 또는 기체를 용해시킬 수 있는 액체를 나타낼 수 있다. 용매의 비제한적인 예는 용융 금속, 실리콘, 유기 화합물, 물, 알코올, 이온성 액체 및 초임계 유체이다.

[0037] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "용매 금속"은 가열시 실리콘을 효과적으로 용해시켜서 용융 액체로 될 수 있는 하나 이상의 금속 또는 그의 합금을 나타낼 수 있다. 적합한 예시적인 용매 금속은 예컨대 구리, 주석, 아연, 안티몬, 은, 비스무스, 알루미늄, 카드뮴, 갈륨, 인듐, 마그네슘, 납, 그의 합금 및 이들의 조합을 포함한다.

[0038] 본 발명에서 사용된 것과 같이, "튜브"는 속이 빈 파이프 형태의 물질을 나타낼 수 있다. 튜브는 대략 그 외부 형태와 일치하는 내부 형태를 가질 수 있다. 튜브의 내부 형태는 원형, 정사각형, 또는 비-대칭 형태를 포함하는 임의의 수의 측면을 갖는 형태를 포함하는 임의의 적합한 형태일 수 있다.

[0039] 재결정화 실리콘

[0040] 실리콘의 정제 방법은 출발 물질인 실리콘을 용융 용매 금속, 예를 들면 알루미늄을 포함하는 용융 용매 금속과 같은 용융 용매 내에 용해시키는 단계, 및 상기 용융 용매로부터 실리콘을 재결정화시켜 재결정화 실리콘 결정을 제공하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 재결정화는 출발 물질인 실리콘보다 더 순수한 재결정화 실리콘 결정을 제공하기 위한 임의의 적합한 재결정화 공정일 수 있으며, 상기 재결정화 용매는 알루미늄을 포함할 수 있다. 한 예에서, 상기 출발 물질인 실리콘을 재결정화 실리콘 결정으로 정제하기 위하여 단일 재결정화가 수행될 수 있다. 다른 예에서, 상기 출발 물질인 실리콘은 최종 재결정화 실리콘 결정을 제공하기 전에 다수 회 재결정화될 수 있다. 상기 알루미늄 용매는 순수할 수 있거나, 또는 불순물을 포함할 수 있다.

[0041] 다수의 재결정화를 갖는 예에서, 상기 재결정화는 캐스케이드(cascade) 공정일 수 있으며, 상기 알루미늄 용매는 상기 공정을 통해 다시 재순환될 수 있어서, 처음의 재결정화는 상기 재결정화 용매로서 최소로 순수한 알루미늄을 사용하고, 마지막 재결정화는 상기 재결정화 용매로서 가장 순수한 알루미늄을 사용한다. 실리콘 결정이 상기 캐스케이드 공정을 통해 앞으로 진행할 때, 상기 실리콘 결정은 더 순수한 용매 금속으로부터 재결정화될 수 있다. 상기 알루미늄 용매를 재순환함으로써, 폐기물이 최소화될 수 있다. 상기 용매 및 재결정화되는 물질 내의 불순물의 양은 생성물의 순도에 부정적인 영향을 미칠 수 있으므로, 마지막 재결정화를 위하여 가장 순수한 알루미늄 용매를 사용하는 것은 최종 재결정화 실리콘 결정의 순도를 최대화하는데 도움을 줄 수 있다. 적합한 재결정화 공정의 예는 그 전체가 인용에 의해 본 발명에 포함되는 2010년 3월 23일자로 출원된 미국 특허 출원 제12/729,561호 및 2012년 1월 26일자로 출원된 미국 가특허 출원 제61/591,073호에서 발견될 수 있다.

[0042] 도 1은 재결정화를 통해 실리콘을 정제하는 예시적인 방법(10)의 블록 순서도이다. 상기 재결정화 방법(10)은 출발 물질인 실리콘(14)을 용매 금속(16)과 접촉시키는 단계(12)를 포함할 수 있으며, 상기 용매 금속(16)은 알루미늄을 포함할 수 있다. 상기 접촉시키는 단계(12)는 혼합물(18)을 제공하기에 충분할 수 있다. 상기 혼합물(18)은 용융 혼합물(22)을 제공하기에 충분하도록 예컨대 도가니 또는 다른 용기(하기에 개시됨) 내에서 용융될 수 있다(20). 상기 재결정화 방법(10)은 재결정화 실리콘 결정(26) 및 모액(28)을 형성하기에 충분하도록 상기 용융 혼합물(22)을 냉각시키는 단계(24)를 포함할 수 있다. 상기 재결정화 방법(10)은 재결정화 실리콘 결정(26)을 제공하기에 충분하도록 상기 재결정화 실리콘 결정(26) 및 모액(28)을 분리하는 단계(30)를 포함할 수 있다. 도 1에 관해 개시된 상기 재결정화 방법(10)은 "원-패스(one-pass)" 또는 "단일(single)-패스" 재결정화로 나타낼 수 있다.

[0043] 도 2는 재결정화를 통해 실리콘을 정제하는 다른 예시적인 방법(40)의 블록 순서도이다. 상기 재결정화 방법(40)은 제1 혼합물(48)을 제공하기에 충분하도록 출발 물질인 실리콘(44)을 제1 모액(46)과 접촉시키는 단계를 포함할 수 있는 캐스케이드 공정을 포함할 수 있다. 상기 재결정화 방법(40)은 제1 용융 혼합물(52)을 제공하기에 충분하도록 상기 제1 혼합물(48)을 용융시키는 단계(50)를 포함할 수 있다. 상기 방법은 제1 실리콘 결정(56) 및 제2 모액(58)을 형성하기에 충분하도록 상기 제1 용융 혼합물(52)을 냉각시키는 단계(54)를 포함할 수 있다. 상기 재결정화 방법(40)은 상기 제1 실리콘 결정(56)을 제공하기 위하여 상기 제1 실리콘 결정(56) 및

제2 모액(58)을 분리하는 단계(60)를 포함할 수 있다.

- [0044] 상기 재결정화 방법(40)은 제2 혼합물(66)을 제공하기에 충분하도록 상기 실리콘 결정(56)을 용매 금속(64)과 접촉시키는 단계(62)를 포함할 수 있으며, 상기 용매 금속(64)은 알루미늄을 포함할 수 있다. 상기 재결정화 방법(40)은 제2 용융 혼합물(70)을 제공하기에 충분하도록 상기 제2 혼합물(66)을 용융시키는 단계(68)를 포함할 수 있다. 상기 재결정화 방법(40)은 제2 재결정화 실리콘 결정(74) 및 제1 모액(46)을 형성하기에 충분하도록 상기 제2 용융 혼합물(70)을 냉각시키는 단계(72)를 포함할 수 있다. 상기 방법은 또한 상기 제2 재결정화 실리콘 결정(74)을 제공하기 위하여 상기 제2 재결정화 실리콘 결정(74) 및 제1 모액(46)을 분리하는 단계(76)를 포함할 수 있다. 도 2에 관해 개시된 상기 재결정화 방법(40)은 "투(two)-패스" 또는 "이중(double)-패스" 재결정화 캐스케이드로 나타낼 수 있다.
- [0045] 쓰리(three)-패스 또는 그 이상의 재결정화 캐스케이드 및 그의 변형(variation)에 관해 후술하는 모든 내용들은 또한 도 2에 예시한 것과 같은 투-패스 재결정화 캐스케이드 예에 적용한다는 점이 이해되어야 한다. 적용 가능한 경우, 쓰리-패스 또는 그 이상의 재결정화 캐스케이드 및 그의 변형에 관해 후술하는 모든 내용들은 또한 도 1에 예시한 것과 같은 원-패스 재결정화에 적용한다.
- [0046] 한 예에서, 출발 물질인 실리콘의 재결정화는 상기 출발 물질인 실리콘을 제2 모액과 접촉시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 접촉은 제1 혼합물을 제공하기에 충분할 수 있다. 상기 방법은 제1 용융 혼합물을 제공하기에 충분하도록 상기 제1 혼합물을 용융시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 방법은 제1 실리콘 결정 및 제3 모액을 형성하기에 충분하도록 상기 제1 용융 혼합물을 냉각시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 방법은 제1 실리콘 결정을 제공하기에 충분하도록 상기 제1 실리콘 결정 및 제3 모액을 분리하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 방법은 제2 혼합물을 제공하기에 충분하도록 상기 제2 혼합물을 용융시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 방법은 제2 실리콘 결정 및 상기 제2 모액을 형성하기에 충분하도록 상기 제2 용융 혼합물을 냉각시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 방법은 제2 실리콘 결정을 제공하기에 충분하도록 상기 제2 실리콘 결정 및 제2 모액을 분리하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 방법은 제3 혼합물을 제공하기에 충분하도록 상기 제2 실리콘 결정을 알루미늄을 포함하는 제1 용매 금속과 접촉시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 방법은 제3 용융 혼합물을 제공하기에 충분하도록 상기 제3 혼합물을 용융시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 방법은 최종 재결정화 실리콘 결정 및 제1 모액을 형성하기 위하여 상기 제3 용융 혼합물을 냉각시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 방법은 상기 최종 재결정화 실리콘 결정을 제공하기 위하여 상기 최종 재결정화 실리콘 결정 및 제1 모액을 분리하는 방법을 포함할 수 있다.
- [0047] 도 3은 재결정화 캐스케이드 공정을 통해 실리콘을 정제하는 다른 예시적인 방법(80)의 블록 순서도를 보여준다. 상기 재결정화 방법(80)은 제1 혼합물(88)을 형성하기에 충분하도록 출발 물질인 실리콘(84)(예컨대, 제1 실리콘)을 제2 모액(86)과 같은 알루미늄을 포함하는 용매 금속과 접촉시키는 단계(82)를 포함할 수 있다. 상기 제1 혼합물(88)은 제1 용융 혼합물(92)을 형성하기 위해 용융될 수 있으며(90), 이후 제1 실리콘 결정(96) 및 제3 모액(98)과 같은 모액으로 냉각 및 분리될 수 있다(94). 상기 제3 모액(98)은 상기 공정(100)으로부터 제거되어 다른 산업에서 사용하기 위해 시판될 수 있으며, 또는 상기 제3 모액(98)의 전부 또는 일부는 상기 제2 모액(86)과 함께 다시 재순환될 수 있다. 상기 제3 모액(98)이 가치를 가질 수 있는 산업의 예는 구조용 알루미늄 실리콘 합금에서 사용하기 위한 알루미늄 구조 산업을 포함할 수 있지만 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0048] 공급원료, 예컨대 상기 출발 물질인 실리콘은 금속 등급 실리콘을 포함할 수 있다. 상기 금속 등급 실리콘은, 예를 들면 약 15 ppmw 이하의 붕소, 약 10 ppmw 이하의 붕소, 또는 약 6 ppmw 이하의 붕소를 포함할 수 있다. 상기 용매 금속은 알루미늄일 수 있다. 상기 알루미늄은 P1020 알루미늄일 수 있으며, 약 1.0 ppmw 이하, 약 0.6 ppmw 이하, 또는 약 0.4 ppmw 이하의 붕소 레벨을 포함할 수 있다.
- [0049] 실리콘 또는 실리콘 결정과 모액 또는 용매 금속의 접촉은 임의의 적합한 방식으로 일어날 수 있다. 상기 접촉 방식은 실리콘 또는 실리콘 결정을 모액에 첨가하는 단계를 포함할 수 있고, 또한 상기 모액을 상기 실리콘 또는 실리콘 결정에 첨가하는 단계를 포함할 수 있다. 스플래싱(splashing)을 피하거나 물질의 손실을 피하는 첨가 방법은 예상되는 접촉 방식에 의해 포괄된다. 상기 접촉은 뒤섞음 또는 교반이 있거나 없이 수행될 수 있다. 상기 접촉은 교반을 생성할 수 있다. 상기 접촉은 교반을 생성하도록 디자인될 수 있다. 상기 접촉은 가열이 있거나 없이 일어날 수 있다. 상기 접촉은 열을 생성할 수 있고, 흡열성(endothermic)일 수 있으며, 또는 열을 생성하지 않거나 열이 손실될 수 있다.

- [0050] 선택적인 뒤섞임 또는 교반은 임의의 적합한 방식으로 수행될 수 있다. 뒤섞임은 패들 또는 다른 뒤섞임 장치를 이용한 기계적 뒤섞임을 포함할 수 있다. 교반은 가스의 주입 및 버블링에 의한 교반을 포함할 수 있으며, 또한 스월링(swirling) 또는 흔들기를 포함하는 용기의 물리적인 교반을 포함할 수 있다. 한 물질을 다른 물질에 첨가하면 교반을 야기할 수 있으며, 첨가 방식은 교반을 생성하기 위한 것과 같이 디자인될 수 있다. 액체를 다른 액체로 주입하면 또한 교반을 생성할 수 있다.
- [0051] 모액 또는 용매 금속 내에서의 실리콘 또는 실리콘 결정의 용융은 임의의 적합한 방식으로 일어날 수 있다. 상기 용융 방식은 실리콘 또는 실리콘 결정의 원하는 용융을 야기하기 위한 임의의 적합한 방법에 의해 상기 혼합물에 열을 가하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 가열은 용융 혼합물이 달성된 후에도 계속될 수 있다. 상기 용융 방식은 교반이 있거나 없이 수행될 수 있다. 상기 용융 방식은 또한 충분히 높은 온도, 예컨대 상기 실리콘 또는 실리콘 결정의 녹는점 또는 그 이상의 온도에서 모액 또는 용매 금속에 노출된 결과로서 상기 실리콘 또는 실리콘 금속이 용융되는 것을 포함할 수 있다: 따라서, 혼합물을 제조하기 위하여 상기 실리콘 또는 실리콘 결정을 모액 또는 용매 금속에 접촉시키는 단계는 용융 혼합물을 제공하기 위하여 실리콘 또는 실리콘 결정의 혼합물을 용융시키는 단계와 조합될 수 있다. 혼합물의 용융 온도는 일정하거나 변할 수 있으며, 상기 용융 물질의 조성이 변할 때 변할 수 있다.
- [0052] 혼합물에 열을 가하는 방법은 임의의 적합한 방법을 포함할 수 있다. 상기 방법은 용광로로 가열하거나, 혼합물 내로 뜨거운 가스를 주입함으로써 가열하거나, 타는 가스로부터 생성된 화염으로 가열하는 단계를 포함할 수 있지만 이에 한정되는 것은 아니다. 유도성(inductive) 가열이 사용될 수 있다. 상기 가열 방법은 복사성(radiant) 가열일 수 있다. 상기 가열 방법은 가열되는 물질을 통한 전기의 전도에 의한 것일 수 있다. 또한, 가열하기 위한 플라즈마의 사용, 가열하기 위한 발열성 화학 반응의 사용, 또는 가열하기 위한 지열 에너지의 사용이 포함된다. 상기 실리콘 또는 실리콘 결정을 상기 모액 또는 용매 금속과 혼합하면 상기 실리콘의 불순물 및 상기 모액의 함량에 따라 열을 생성하거나 열을 흡수할 수 있으며, 일부 예에서는 열 공급원의 상응하는 조정이 유익하게 될 수 있다.
- [0053] 선택적으로, 염소 가스, 다른 할로젠 가스 또는 할라이드-함유 가스, 또는 임의의 적합한 가스를 포함하는 가스는 냉각 전에 상기 용융 혼합물 내로 주입될 수 있다. 상기 용융 혼합물의 냉각은 본 기술분야의 숙련자에게 알려진 임의의 적합한 방식으로 수행될 수 있다. 열 공급원으로부터 제거함으로써 냉각하는 것이 포함되고, 실온 또는 상기 용융 혼합물의 온도 이하의 온도에 노출함으로써 냉각하는 것을 포함한다. 비-용광로 용기로 부음으로써 냉각하는 것 및 용광로 이하의 온도로 냉각되도록 하는 것이 포함된다. 일부 예에서, 상기 냉각은 신속할 수 있다; 그러나, 다른 예에서, 상기 냉각은 점진적일 수 있고, 따라서 상기 냉각되는 용융 혼합물을 상기 용융 혼합물의 현재 온도보다 단지 조금만 낮은 냉각원에 노출하는 것이 이점이 있을 수 있다. 상기 용융 혼합물이 냉각될 때 상기 냉각원은 점진적으로 온도가 낮을 수 있고, 일부 경우에는 이것은 상기 용융 혼합물이 냉각될 때 그 온도를 민감하게 또는 일반적으로 모니터링함으로써 달성될 수 있다. 결과물인 결정화 실리콘의 순도는 상기 혼합물이 가능한 천천히 냉각될 때 향상될 수 있으며, 따라서 점진적으로 냉각시키는 모든 적합한 방식은 본 발명에 의해 포괄되는 것으로 예상된다. 또한, 냉동 메커니즘을 포함하는 보다 신속한 냉각 방법이 포함된다. 용융 물질을 담고 있는 용기를 물과 같은, 또는 다른 용융 금속과 같은, 또는 가스와 같은 상기 용융 혼합물보다 더 차가운 액체와 같은 더 차가운 물질에 노출하는 것이 포함된다. 이후 상기 혼합물로부터 제거될 수 있거나, 또는 대안적으로 상기 혼합물에 남아 있을 수 있는 다른 더 차가운 모액의 첨가, 또는 더 차가운 용매 금속의 첨가, 또는 다른 더 차가운 물질의 첨가와 같은 더 차가운 물질을 상기 용융 혼합물에 첨가하는 것이 포함된다.
- [0054] 용융 혼합물의 냉각 및 후속하는(subsequent) 실리콘 결정과 모액의 분리의 결과인 모액은 선택적으로 상기 공정 내의 임의의 앞선 단계로 재순환되는 것이 예상된다. 모액으로부터 실리콘의 재결정화가 일어나면, 일반적으로 상기 모액 내에 용해되어 있기 원하는 불순물과 함께 실리콘의 적어도 일부 양은 상기 모액 내에 용해되어 남아 있다. 모든 또는 대부분의 실리콘이 결정화되는 지점까지 상기 용융 혼합물을 냉각시키는 것은 어떤 경우에는 가능하지 않을 수 있거나, 또는 결과물인 실리콘 결정의 순도에 부정적인 영향을 미칠 수 있거나, 또는 효율적이지 않을 수 있다. 일부 예에서, 용융 혼합물로부터 결정화되는 실리콘이 전체보다 작거나, 또는 대부분보다 작도록 제조되는 실리콘 결정의 순도는 현저하게 또는 적어도 부분적으로는 향상될 수 있다. 용매 금속을 가열 및 용융시키기 위해 필요한 에너지는 뜨거운 모액을 이전 단계에서의 모액과 조합하는 것과 비교하여, 또는 뜨거운 모액을 재사용하는 것과 비교하여 경제적으로 비효율적일 수 있다. 특정 수율의 실리콘 결정에 도달하기 위하여 용융 혼합물을 어떤 온도까지 냉각시키기 위해 필요한 에너지는 상기 모액을 이러한 낮은 온도로 냉각시켜 낮은 수율의 실리콘 결정을 받아들이지만 이후 상기 모액을 재순환하지 않는 것과 비교하여 효율적이

지 않을 수 있다.

- [0055] 상기 모액 내에 원하는 및 원하지 않는 물질을 남겨두는 이점은 일부 예에 의해 포괄되는 것으로 예상된다. 따라서, 일부 예에서, 동일한 결정화 단계 또는 더 이른 결정화 단계에서 모액을 다시 사용하도록 재순환하는 것은 때때로 유용한 측면이다. 모액을 재순환시킴으로써, 상기 모액의 혼합물 내에 여전히 존재하는 실리콘은 보존되고 상기 모액이 단순히 버려지거나 부산물로서 판매되는 것보다 더 적게 낭비된다. 일부 예에서, 상기 모액이 재순환된 모액을 갖지 않거나, 또는 심지어 재결정화가 일어나는 용매가 순수한 용매 금속인 경우보다도, 재순환된 모액을 이용함으로써, 또는 그 내부에 일부 재순환된 모액을 갖는 모액을 이용함으로써 동일한 또는 거의 동일한 정도의 실리콘 결정의 순도가 달성될 수 있다. 따라서, 모액의 재순환의 모든 정도 및 변형은 본 발명의 범위 내에 포괄된다.
- [0056] 실리콘 고체로부터의 모액의 분리는 본 기술분야의 기술자에게 알려진 임의의 적합한 방법에 의해 일어날 수 있다. 원하는 고체 밖으로 액체 용매를 드레이닝(drainage) 또는 사이포닝(siphoning)하는 임의의 변형이 본 명세서에 개시된 방법의 예에 포괄된다. 상기 방법은 경사분리, 또는 원하는 고체 밖으로 모액을 붓는 것을 포함한다. 경사분리의 경우, 원하는 고체는 중력에 의해, 그 자체에 또는 용기의 측면에 부착됨으로써, 고체를 선별적으로 다시 보유하는 그레이트(grate) 또는 체(mesh) 형상의 분할기(divider)를 이용함으로써, 또는 고체를 제자리에 잡도록 상기 고체에 물리적인 압력을 가함으로써 제자리에 유지될 수 있다. 분리 방법은 원심분리성 분리를 포함한다. 또한, 진공의 사용이 있거나 없이, 및 압력의 사용이 있거나 없이 임의의 필터 매체를 이용하는 여과가 포함된다. 또한, 산 또는 염기를 사용하는 것을 포함하는 상기 용매의 용해 또는 화학적 변환(transformation)과 같은 화학적 수단이 포함된다.
- [0057] 도 3으로 되돌아가서, 제1 실리콘 결정(96)은 제1 모액(106)과 같은 용매 금속과 접촉하여(104) 제2 혼합물(108)을 형성할 수 있다. 상기 제2 혼합물(108)은 제2 용융 혼합물(112)을 형성하도록 용융될 수 있다(110). 상기 제2 용융 혼합물(112)은 제2 실리콘 결정(116) 및 제2 모액(86)으로 냉각 및 분리될 수 있다(114). 이후, 상기 제2 모액(86)의 전부 또는 일부는 상기 출발 물질인 실리콘(84)과 접촉하도록 공정 내로 다시 재순환될 수 있거나(118), 또는 상기 제2 모액(104)의 전부 또는 일부는 상기 제1 모액(106)으로 다시 재순환될 수 있다(120). 상기 제1 실리콘 결정(96)과 제1 모액(106)을 접촉시켜 제2 실리콘 결정(116)을 얻는 단계들은 선택적일 수 있어서, 상기 단계들은 거를 수 있거나, 상기 단계들은 다수 회(예컨대, 1, 2, 3, 4, 등) 수행될 수 있다. 상기 단계들이 수행되지 않는다면, 상기 재결정화 방법(80)은 도 2에 관해 전술한 방법(40)과 유사한 투-패스 공정일 수 있으며, 따라서 상기 제1 실리콘 결정(96)은 이후에 제1 용매 금속(120)과 접촉될 수 있다.
- [0058] 상기 제2 실리콘 결정(116)은 알루미늄을 포함하는 용매 금속(126)과 같은 제1 용매 금속(120)과 접촉하여(118) 제3 혼합물(122)을 형성할 수 있다. 상기 제3 혼합물(122)은 제3 용융 혼합물(126)을 형성하도록 용융될 수 있다(124). 이후, 상기 제3 용융 혼합물(126)은 최종 재결정화 실리콘 결정(130)(예컨대, 제3 실리콘 결정(130)) 및 제1 모액(106)으로 냉각 및 분리될 수 있다(128). 이후, 상기 제1 모액(106)의 전부 또는 일부는 상기 제1 실리콘 결정(96)과 접촉하도록 상기 공정으로 되돌아갈 수 있다(132). 상기 제1 모액(106)의 전부 또는 일부는 상기 제1 용매 금속(120)으로 다시 재순환될 수 있다(134). 상기 제1 모액(106)의 전부 또는 일부를 상기 제1 용매 금속(120)으로 되돌리는 배치(batch) 또는 연속적 재순환(134)은 모액과의 회석으로 인해 상기 제1 용매 금속(120)이 완전히 순수한 것보다는 덜한 용매 금속을 포함하도록 야기할 수 있다. 상기 제1 모액(106)의 전부 또는 일부는 대안적으로 또는 추가적으로 상기 제2 모액(86)으로 다시 재순환될 수 있다(136). 모액을 재순환시키는 단계들의 모든 변형은 본 발명의 범위 내에 포함된다.
- [0059] 상기 제1 실리콘 결정(96)을 형성하는 단계는 "제1 패스"로 불릴 수 있다. 상기 제2 실리콘 결정(116)을 형성하는 단계는 "제2 패스"로 불릴 수 있다. 상기 제3 실리콘 결정(130), 예컨대 최종 재결정화 실리콘 결정(130)을 형성하는 단계는 "제3 패스"로 불릴 수 있다. 본 발명의 방법 내에 예상되는 패스의 수에는 제한이 없다.
- [0060] 모액으로부터 달성된 재결정화의 수를 증가시킴으로써, 모액으로부터 회수된 실리콘의 양을 증가시킴으로써, 또는 공정에서 다음 패스로 들어가기 전에 실리콘 결정의 수율을 증가시킴으로써 상기 모액을 보다 효율적으로 사용하기 위하여 패스는 반복될 수 있으며, 본 발명의 방법 내에 예상되는 패스의 반복 수에는 제한이 없다. 패스가 반복 수행되면, 해당 모액은 상기 패스의 반복시 전부 또는 일부가 재사용될 수 있다. 반복된 패스가 연속적으로 수행된다면, 하나의 단일 용기 내에서 수행될 수 있거나, 또는 몇 개의 용기에서 차례차례로 수행될 수 있다. 반복된 패스가 동시에 수행된다면, 몇 개의 용기가 사용되어 몇 번의 재결정화가 동시에 일어나도록 할 수 있다. "차례차례로" 및 "동시에"라는 용어는 상기 단계가 수행되는 순서를 엄격하게 한정하기 위한 의도는 아니며, 단계를 차례로 또는 동일한 수 근처로 행하는 것을 대략적으로 기술하기 위한 것이다.

- [0061] 반복된 패스, 예컨대 제1, 제2, 제3 또는 임의의 패스의 반복은 패스 내의 모액의 전부 또는 일부를 재사용하는 것을 포함함으로써 감소하는 순도의 몇 가지 모액을 보다 효율적으로 사용할 수 있게 한다. 존재하는 모액을 보다 순수하게 하기 위하여, 한 방법은 상기 모액에 (상기 모액보다 더 순수한) 추가적인 용매 금속을 첨가하는 것일 수 있다. 상기 모액에 예컨대 상기 공정에서 나중의 결정화 단계로부터 유래되는 것과 같은 다른 보다 순수한 모액을 첨가하는 것은 그 순도를 증가시키기 위한 다른 방법일 수 있다. 특정 패스에서 사용된 모액의 일부 또는 전부는 또한 버려지거나, 더 빠른 패스에서 사용되거나, 동일한 패스의 더 빠른 반복에서 사용될 수 있다.
- [0062] 패스의 반복 및 상응하는 모액을 재사용하는 한 가지 가능한 이유는 전체 공정의 일부 또는 전부에 대해 캐스케이드 단계에 대한 질량 균형(mass balance)을 균등하게 하는 것일 수 있다. 적합한 순도의 실리콘이 상기 캐스케이드의 임의의 단계에 첨가될 수 있고, 이전 패스 유래의 실리콘이 있거나 없이 첨가될 수 있으며, 단계들을 반복할 수 있고, 이를 행하는 한 가지 가능한 이유는 부분적으로 또는 전체적으로 상기 캐스케이드 단계의 질량 균형을 맞추게 하는 것일 수 있다.
- [0063] 상기 모액은 반복된 패스에서 모액의 순도의 임의의 향상없이 완전히 재사용될 수 있다. 다른 한편으로, 상기 모액은 모액의 순도를 향상시키기 위한 보다 순수한 용매 금속 또는 후속하는 단계 유래의 모액을 이용함으로써 반복된 패스에서 순도의 향상과 함께 부분적으로 재사용될 수 있다. 예를 들면, 제1 패스는 2 개의 상이한 용기를 이용하여 동시에 반복될 수 있으며, 모액은 상기 패스의 제1 사례(instance)로부터 상기 패스의 제1 반복으로 공정의 시작을 향해 흐르고, 실리콘은 상기 패스의 제1 사례 및 상기 패스의 반복된 사례 모두에 첨가되며, 실리콘은 후속하는 패스에 수행되기 위하여 상기 패스의 제1 사례 및 상기 패스의 반복 모두로부터 제거된다. 다른 예에서, 제1 패스는 2 개의 상이한 용기를 이용하여 동시에 반복될 수 있으며, 모액의 일부는 상기 패스의 제1 사례로부터 상기 패스의 제1 반복으로 공정의 시작을 향해 흐르고, 상기 모액의 다른 일부는 상기 패스의 반복에서 재사용되지 않고 이전의 단계로 상기 공정의 시작을 향해 흐르며, 실리콘은 상기 패스의 제1 사례 및 상기 패스의 반복된 사례 모두에 첨가되고, 실리콘은 후속하는 패스에 수행되기 위하여 상기 패스의 제1 사례 및 상기 패스의 반복 모두로부터 제거된다.
- [0064] 또한, 제1 패스는 하나의 용기를 이용하여 차례차례로 반복될 수 있으며, 제1 결정화 및 분리 후, 상기 패스 유래의 사용된 모액의 일부는 재사용을 위해 유지되고, 나중의 패스 유래의 일부 모액이 첨가되며, 반복된 패스에서 추가적인 실리콘과 함께 다른 결정화가 수행된다. 반복 후, 상기 모액은 다른 앞선 단계로 완전히 옮겨질 수 있다. 다른 한편으로, 반복 후, 상기 모액 중 일부만이 다른 앞선 단계로 이동되고, 상기 모액의 나머지는 상기 패스에서 재사용하기 위해 유지된다. 상기 모액의 적어도 일부는 결국 이전 단계로 이동할 수 있고, 그렇지 않다면 상기 모액의 불순물이 허용할 수 없는 레벨까지 쌓일 수 있으며, 또한 상기 캐스케이드의 질량 균형이 유지되기 어려울 수 있다. 다른 예에서, 제1 패스는 하나의 용기를 이용하여 차례차례로 반복될 수 있으며, 첫 번째 결정화 및 분리 후, 상기 패스로부터 사용된 모액 모두는 반복된 패스에서 재사용하기 위해 유지되고, 상기 반복된 패스에서 다른 결정화가 추가적인 실리콘을 이용하여 수행된다.
- [0065] 후속하는 패스는 이전 패스와 동일한 또는 상이한 용기에서 수행될 수 있다. 예를 들면, 상기 제1 패스는 제2 패스와 동일한 용기에서 일어날 수 있다. 또는, 상기 제1 패스는 제2 패스와 상이한 용기에서 일어날 수 있다. 패스는 동일한 용기에서 반복될 수 있다. 예를 들면, 상기 제1 패스의 제1 사례가 특정 용기에서 일어난 후, 상기 제1 패스의 제1 반복이 동일한 용기에서 일어날 수 있다. 대규모 공정의 경제는 일부 예에서 다수의 후속하는 또는 동시 패스에 대해 동일한 용기를 재사용하는 것이 이점이 있을 수 있다. 일부 예에서, 용기에서 용기로 액체를 이동하는 것이 고체를 이동하는 것보다 경제적으로 유익할 수 있으며, 따라서 본 발명의 예는 용기를 재사용하는 모든 변형뿐만 아니라 상이한 용기를 사용하는 모든 변형도 포괄한다. 따라서, 후속하는 패스는 이전의 패스와 상이한 용기에서 수행될 수 있다. 반복된 패스는 상기 패스의 앞선 수행과 동일한 용기에서 수행될 수 있다.
- [0066] 모액이 공정의 처음을 향해 이동할 때 붕소 및 다른 불순물을 포함하는 상기 모액의 불순물은 더 높은 농도로 커진다. 상기 모액은 공정 전체에 걸쳐 질량의 균형을 맞추기 위하여 필요시 결정화(결정의 형성)의 각 단계에서 재사용될 수 있다. 재사용의 수는 용매 금속(예컨대, 알루미늄)과 이용되는 실리콘 비 및 시스템의 원하는 처리량(throughput)의 함수일 수 있다.
- [0067] 최종 재결정화 실리콘 결정(130)을 형성 및 분리한 후, 남아있는 용매 금속은 용해되거나 또는 산, 염기 또는 다른 화학물질을 이용하여 상기 결정으로부터 제거될 수 있다. 임의의 분말, 남아있는 용매 금속 또는 외래 오염물은 기계적 수단에 의해서도 제거될 수 있다. 염산(HCl)을 사용하여 최종 재결정화 실리콘 결정(130)의 플

레이크(flake) 또는 결정의 용매 금속을 용해시킬 수 있다. 사용된 HCl은, 다른 것들 중에서도, 오수 또는 염수를 처리하기 위한 폴리알루미늄 클로라이드(PAC) 또는 알루미늄 클로라이드로 시판될 수 있다. 최종 재결정화 실리콘 결정(130)의 알루미늄을 용해시켜 내기 위하여, 플레이크를 깨끗한 곳에서 더러운 곳으로, 산을 깨끗한 곳에서 사용된 곳으로 반대 방향으로 이동시키는 다수의 탱크를 이용한 향류(counter-current) 시스템이 사용될 수 있다. 백 하우스(bag house)를 사용하여 느슨한 분말을 플레이크 밖으로 당길 수 있으며, V-자형(V-grooved) 슬롯 및 진동을 사용하여 분말의 볼, 외래 오염물 또는 산 침출(leaching) 후 상기 플레이크로부터 용해되지 않은 알루미늄을 분리할 수 있다. 상기 실리콘은 방향성 고체화 공정을 통해 추가로 정제될 수 있다. 방향성 고체화 공정의 예는 본 발명의 양수인에게 양도되고 그 전체가 인용에 의해 본 발명에 포함되는 2010년 11월 17일자로 출원된 니콜(Nichol) 등의 미국 특허 출원 번호 제12/947,936호(발명의 명칭: APPARATUS AND METHOD FOR DIRECTIONAL SOLIDIFICATION OF SILICON)에 개시되어 있다.

[0068] 본 명세서에 개시된 방법 과정의 임의의 시간에, 제1 실리콘 결정(96), 제2 실리콘 결정(116) 또는 최종 재결정화 실리콘 결정(130)과 같은 실리콘 결정 또는 플레이크는 용융될 수 있고, 추가적인 정제를 제공하기 위하여 예컨대 제거될 수 있는 슬래그 또는 드로스의 형성을 통해 가스 또는 플럭스가 상기 용융 실리콘과 접촉될 수 있다. 약 0.5-50 중량%의 플럭스가 상기 실리콘에 첨가될 수 있다. 예를 들면, 일부 양의 SiO<sub>2</sub>를 함유하는 플럭스가 이용될 수 있다. 나트륨 카보네이트(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), 칼슘 옥사이드(CaO) 및 칼슘 플루오라이드(CaF<sub>2</sub>)를 포함하지만 이에 한정되는 것은 아닌 다른 플럭스 물질이 첨가될 수 있다. 플럭스 조성물의 추가적인 개시는 그 전체가 인용에 의해 본 발명에 포함되는 본 발명과 동일자로 출원된 투렌느(Turenne) 등의 미국 가출원(발명의 명칭: FLUX COMPOSITION USEFUL IN DIRECTIONAL SOLIDIFICATION FOR PURIFYING SILICON, 대리인 참조번호: 2552.036PRV)에서 발견될 수 있다.

[0069] 상기 실리콘 결정 또는 플레이크는 플럭스 첨가를 포함할 수 있는 용광로 내에서 용융될 수 있으며, 플럭스 첨가는 상기 결정 또는 플레이크를 용융하기 전 또는 후에 일어날 수 있다. 상기 결정 또는 플레이크는 플럭스 첨가를 이용하여 용융될 수 있다. 플레이크는 진공, 불활성 대기 또는 표준 대기 하에 용융될 수 있다. 아르곤이 상기 용광로를 통해 펌프되어 아르곤 블랭킷(blanket)을 생성할 수 있으며, 또는 진공 용광로가 사용될 수 있다. 상기 플레이크는 약 1,410°C 이상에서 용융될 수 있다. 상기 용융 실리콘은 약 1,450°C 내지 약 1,700°C 사이에 유지될 수 있다. 슬래그 또는 드로스는 용광로 내에서 용융된 실리콘을 유지하면서 슬래깅 동안에, 또는 가스 주입 동안에 조(bath)의 표면으로부터 제거될 수 있다. 일부 예에서, 상기 용융 실리콘은 이후 방향성 고체화용 주형 내로 부어질 수 있다. 상기 용융 실리콘은 먼저 세라믹 필터를 통해 여과될 수 있다.

[0070] 상기 모액은 상기 공정의 임의의 단계에서 세라믹 거품 필터를 이용해 여과될 수 있거나, 또는 가스 주입될 수 있다. 붕소 또는 인과 같은 불순물이 낮은 세라믹 물질은 상기 용융 실리콘을 유지 및 용융시키기 위해 사용될 수 있는 물질의 예이다. 예를 들면, 상기 가스는 산소, 아르곤, 물, 수소, 질소, 염소 또는 이들 화합물들을 함유하여 사용될 수 있는 다른 가스 또는 이들의 조합일 수 있다. 상기 가스는 랜스(lance), 회전형 탈기기(rotary degasser) 또는 다공형 플러그를 통해 상기 용융 실리콘 내로 주입될 수 있다. 100% 산소 가스가 상기 용융 실리콘 내로 주입될 수 있다. 가스는 약 30분 내지 약 12시간 동안 주입될 수 있다. 가스는 슬래깅 전, 후 또는 동안에 주입될 수 있다. 상기 가스는 랜스를 통해 상기 용융 실리콘 내로 4시간 동안 30-40 L/분으로 주입된 100% 산소일 수 있다.

[0071] 재결정화용 도가니

[0072] 도 4는 본 발명에 따른 도가니(150)의 예를 보여준다. 상기 도가니(150)는 용융 물질이 존재하게 되는 상기 개시된 재결정화 방법에 관해 개시된 하나 이상의 공정 단계용으로 사용될 수 있다. 예를 들면, 상기 도가니(150)는 용매 금속 또는 모액과 같은 실리콘 및 용매의 혼합물을 용융시키기 위한, 예를 들면, 출발 물질인 실리콘(14) 및 용매 금속(16)의 혼합물(18)을 용융시켜 도 1에 관해 전술한 용융 혼합물(22)을 형성하는 단계를 위한 도가니로 사용될 수 있다. 유사하게, 상기 도가니(150)는 제1 실리콘 결정(96) 및 제1 모액(106)의 제2 혼합물(108)을 용융시켜(110) 제2 용융 혼합물(112)을 형성하는 동안에 도 3에 관해 전술한 쓰리-패스 캐스케이드 방법(80)에서와 같은 멀티-패스 캐스케이드 공정의 패스들 중 하나로 사용될 수 있다.

[0073] 상기 도가니(150)는 또한 도 1에 관해 전술한 것과 같이 용융 혼합물(22)을 냉각시켜(24) 재결정화 실리콘 결정(26) 및 모액(28)을 형성하는 동안, 또는 도 3에 관해 전술한 것과 같이 제2 실리콘 결정(116) 및 제2 모액(86)을 제공하기 위하여 제2 용융 혼합물(112)을 제2 패스 냉각하는 동안과 같이, 실리콘을 재결정화하기 위해 냉

각되는 동안에 용융 혼합물을 함유하는 용기로 사용될 수 있다. 용융 혼합물 또는 용융 실리콘을 형성 또는 가공하는 것을 포함할 수 있는 임의의 공정 단계가 본 발명의 도가니(150)를 사용할 수 있다.

- [0074] 상기 도가니(150)는 용융 혼합물(22, 52, 70, 92, 112, 126)을 형성하기 위해 혼합물(18, 48, 66, 88, 108, 122)과 같은 물질을 용융시키기 위하여, 또는 실리콘 결정(26, 56, 74, 96, 116, 130) 및 모액(28, 58, 46, 86, 98, 106)을 형성하기 위해 용융 혼합물(22, 52, 70, 92, 112, 126)을 냉각시키는 것과 같은 물질의 냉각 및 재결정화를 위하여 제공하도록 형상화될 수 있는 적어도 하나의 내화 물질(152)로부터 형성될 수 있다.
- [0075] 상기 도가니(150)는 바닥(154) 및 상기 바닥(154)으로부터 위쪽으로 연장되는 하나 이상의 측면(156)을 가질 수 있다. 상기 도가니(150)는 두꺼운 벽의 큰 대접과 유사한 형태일 수 있으며, 원형 또는 일반적으로 원형의 횡단면을 가질 수 있다. 상기 도가니(150)는 정사각형, 육각형, 팔각형, 오각형 또는 임의의 적합한 수의 가장자리를 갖는 임의의 적합한 형태를 포함하지만 이에 한정되는 것은 아닌 다른 횡단면 형상을 가질 수 있다.
- [0076] 상기 바닥(154) 및 측면(156)은 용융 혼합물 또는 모액과 같은 용융 물질(2)을 수용, 형성 또는 담을 수 있는 도가니(150)의 내부(158)를 정의할 수 있다. 상기 내화 물질(152)은 상기 도가니(150)의 내부(158)와 마주하는 내표면(160)을 포함할 수 있다. 한 예에서, 상기 내표면(160)은 상기 바닥(154)의 상부(upper) 표면(162) 및 상기 하나 이상 측면(156)의 내표면(164)을 포함한다.
- [0077] 상기 내화 물질(152)은 임의의 적합한 내화 물질, 특히 실리콘의 도가니 재결정화용으로 적합한 내화 물질일 수 있다. 상기 내화 물질(152)로 사용될 수 있는 물질의 예는 알루미늄 옥사이드( $Al_2O_3$ , 알루미늄아로도 나타냄), 실리콘 옥사이드( $SiO_2$ , 실리카로도 나타냄), 마그네슘 옥사이드( $MgO$ , 마그네시아로도 나타냄), 칼슘 옥사이드( $CaO$ ), 지르코늄 옥사이드( $ZrO_2$ , 지르코니아로도 나타냄), 크롬(III) 옥사이드( $Cr_2O_3$ , 크로미아로도 나타냄), 실리콘 카바이드( $SiC$ ), 흑연 또는 이들의 조합을 포함하지만 이에 한정되는 것은 아니다. 상기 도가니(150)는 하나의 내화 물질 또는 하나 이상의 내화 물질을 포함할 수 있다. 상기 도가니(150) 내에 포함되는 내화 물질 또는 물질들은 혼합될 수 있거나, 또는 이들은 상기 도가니(150)의 분리된 부분에 위치할 수 있거나, 또는 이들의 조합일 수 있다. 하나 이상의 내화 물질(152)은 층으로 배열될 수 있다. 상기 도가니(150)는 하나 이상의 내화 물질(152)의 하나 이상의 층을 포함할 수 있다. 상기 도가니(150)의 측면(156)은 상기 바닥(154)과 상이한 내화 물질 또는 물질들로부터 형성될 수 있다. 상기 바닥(154)과 비교하여 상기 도가니(150)의 측면(156)은 두께가 상이하거나, 상이한 조성의 물질을 포함하거나, 상이한 양의 물질을 포함하거나, 이들의 조합일 수 있다.
- [0078] 불순물은 내화 물질(152)로부터 용융 물질(2)로 통과하여서, 일부 불순물의 불순물 레벨이 광발전 장치에서 실리콘을 사용하기 위해 허용될 수 있는 것보다 높을 수 있다. 예를 들면, 붕소 또는 인 불순물이 상기 내화 물질(152) 내에 존재할 수 있다. 매우 적은 붕소 또는 인 레벨에서조차도, 상기 용융 물질(2)의 존재로 인해 상기 내화 물질(152)이 경험하는 고온에서는, 상기 붕소 또는 인은 상기 내화 물질(12) 밖으로 확산되어서 상기 용융 물질(2) 내로 들어갈 수 있다.
- [0079] 라이닝(170)은 상부 표면(162) 및 내표면 또는 표면들(164)과 같은 상기 도가니(150)의 내표면(160)에 증착될 수 있다. 상기 라이닝(170)은 상기 도가니(150)의 내화 물질(152)로부터 예컨대 붕소(B) 및 인(P)과 같은 불순물이 상기 용융 물질(2) 내로 전달됨으로써 상기 용융 물질(2)이 오염되는 것을 방지 또는 감소시키도록 형상화될 수 있다. 상기 라이닝(170)은 상기 내화 물질(152) 내에 존재할 수 있는 오염물 또는 불순물에 대한 장벽을 제공할 수 있다.
- [0080] 도 5는 내화 물질(152)의 내표면(160)에 증착될 수 있는 라이닝(170A)의 예의 확대 횡단면도를 보여준다. 상기 라이닝(170A)은 본 명세서에서 콜로이드성 알루미늄아로 나타내는 알루미늄( $Al_2O_3$ )의 콜로이드성 서스펜션(suspension)으로부터 형성될 수 있다. 상기 콜로이드성 알루미늄은 액체상(liquid phase)(174)에 현탁되어 있는 작은 비결정형 알루미늄 입자(172)의 서스펜션을 포함할 수 있다. 상기 콜로이드성 알루미늄 서스펜션은 예컨대 페인팅, 펼침(spreading) 또는 다른 보통의 액체 증착 기술에 의해 상기 내화 물질(152)의 내표면(160)에 증착될 수 있다. 상기 라이닝(170A)의 콜로이드성 알루미늄은 상기 용융 물질(2)의 존재와 연관된 고온에서조차도 상기 내표면(160)에 결합하고 상기 라이닝(170A)을 안정화시킬 수 있다.
- [0081] 상기 라이닝(170A)의 콜로이드성 알루미늄은 알루미늄 핵(nuclei)을 형성한 후 상기 액체상(174) 내에서 알루미늄 입자(172)를 성장시킴으로써 형성될 수 있다. 한 예에서, 나트륨 알루미늄에이트 용액과 같은 알칼리 알루미늄에이트 용액은 예컨대 상기 나트륨 알루미늄에이트로부터 나트륨의 적어도 일부를 선택적으로 제거함으로써 부분적으로 중화된다. 상기 알칼리 알루미늄에이트의 중화는 알루미늄 핵을 형성하고 상기 알루미늄을 중화하여 비결

정형 알루미늄 입자를 형성하는 것을 유발할 수 있다. 상기 알루미늄 핵은 포괄적으로 1 나노미터(nm) 내지 5 nm 사이의 크기를 가질 수 있다. 결과물인 알루미늄 입자(172)는 예컨대 포괄적으로 1 나노미터(nm) 및 100 nm 사이의 직경의 크기를 가질 수 있다. 한 예에서, 상기 알루미늄 입자(172)는 약 40 nm와 같은 포괄적으로 20 nm 및 50 nm 사이의 크기를 갖는다. 한 예에서, 상기 라이닝(170A)을 형성하는 콜로이드성 알루미늄은 포괄적으로 30 중량% 및 50 중량% 사이의 알루미늄과 같은 포괄적으로 25 중량% 및 60 중량% 사이의 알루미늄, 예를 들면 40 중량%의 알루미늄인 알루미늄 입자(172)의 중량 백분율을 갖는다.

[0082] 한 예에서, 상기 라이닝(170)의 제조에 사용되는 콜로이드성 알루미늄은 웨스본드사(WesBond Corp., Wilmington, DE, USA)에 의해 WESOL의 상표명으로 시판되는 콜로이드성 알루미늄과 같은 상업적으로 이용가능한 콜로이드성 알루미늄이다.

[0083] 한 예에서, 상기 라이닝(170A)을 형성하는 콜로이드성 알루미늄은 공지의 액체 코팅 방법에 의해 상기 내표면(160)에 코팅될 수 있는 액체 또는 액체 서스펜션일 수 있다. 한 예에서, 상기 콜로이드성 알루미늄은 페인팅, 펼침, 블레이드(blade) 코팅, 드롭(drop) 코팅 또는 딥(dip) 코팅 중 적어도 하나를 통해 상기 내표면(160)에 코팅될 수 있다. 상기 콜로이드성 알루미늄은 균일한 또는 실질적으로 균일한 두께를 갖도록 상기 내표면(160)에 도포될 수 있다. 이후, 상기 코팅된 콜로이드성 알루미늄은 건조되도록 둘 수 있으며, 이는 액체상(174)이 건조될 때 상기 알루미늄 입자(176)가 성장하여, 상기 알루미늄 입자(172)가 상기 내표면(160)에 결합된 알루미늄의 실질적으로 고체인 층을 형성해 상기 라이닝(170A)을 형성하도록 할 수 있다.

[0084] 한 예에서, 상기 라이닝(170A)을 형성하는 콜로이드성 알루미늄은 상기 내화 물질(152)의 내표면(160)에 복수의 코팅물로서 도포될 수 있다. 상기 콜로이드성 알루미늄의 각각의 코팅물은 예컨대 페인팅, 분무 또는 임의의 다른 코팅 방법을 통해 도포될 수 있으며, 후속하는 코팅물을 도포하기 전에 특정된 기간의 시간 동안 건조되게 한다. 한 예에서, 2개의 코팅물, 3개의 코팅물, 4개의 코팅물, 5개의 코팅물, 6개의 코팅물, 7개의 코팅물, 8개의 코팅물, 9개의 코팅물 또는 10개의 코팅물과 같은 2 내지 10개 이상의 코팅물이 상기 내표면(160)에 도포될 수 있다. 한 예에서, 코팅물 사이에서 상기 라이닝은 포괄적으로 약 30분 내지 약 2시간과 같은 포괄적으로 약 15분 내지 약 6시간 동안 건조되도록 할 수 있다. 모든 코팅물이 도포된 후, 상기 라이닝(170A)은 포괄적으로 약 1시간 내지 약 10시간, 예컨대 포괄적으로 약 2 시간 내지 약 8시간, 예컨대 포괄적으로 약 4시간 내지 약 6시간, 예컨대 약 4시간, 약 4.5시간, 약 5시간, 약 5.5시간 및 약 6시간 동안 건조되도록 할 수 있다.

[0085] 도 6은 내화 물질(152)의 내표면(160)에 증착될 수 있는 라이닝(170B)의 다른 예의 확대 횡단면도를 보여준다. 상기 라이닝(170B)은 도 5에 관해 전술한 라이닝(170A)과 유사할 수 있다. 상기 라이닝(170A)과 마찬가지로, 라이닝(170B)은 콜로이드성 알루미늄으로부터 형성된 알루미늄을 포함한다. 그러나, 상기 라이닝(170B)은 또한 결합제(180)에 의해 함께 결합된 복수의 입자(178)의 포함한다. 상기 입자(178)는 실리콘 카바이드(SiC)를 포함할 수 있고, 상기 결합제 물질(180)은 콜로이드성 알루미늄( $Al_2O_3$ )를 포함할 수 있다. 상기 SiC 입자(178)는 각각 하나 이상의 실리콘 카바이드의 결정체를 포함할 수 있다. 상기 입자(178)의 실리콘 카바이드는 붕소, 인 및 알루미늄과 같은 오염물 또는 불순물에 대한 장벽으로 작용할 수 있다. 상기 입자(178)는 나노입자일 수 있으며, 예컨대 상기 입자(178)는 포괄적으로 5 nm 및 50 nm 사이의 크기 또는 입자 직경을 갖는다. 한 예에서, 상기 입자(178)는 포괄적으로 10 nm 및 30 nm 사이, 예컨대 약 20 nm의 크기를 갖는다.

[0086] 상기 SiC 입자(178)는 상업적 공급자로부터 제공될 수 있다. 한 예에서, 상기 SiC 입자(178)는 광발전 장치에서 불량한 성능을 유발할 수 있는 붕소 및 인과 같은 오염물 또는 불순물의 레벨이 낮은 고품질의 실리콘 카바이드를 포함한다. 한 예에서, 상기 SiC 입자(178)는 2.5 ppmw 이하, 예를 들면, 2.11 ppmw 이하와 같은 3 ppmw 이하의 붕소 레벨을 갖는 상업적인 실리콘 카바이드로부터 형성될 수 있다. 상기 상업적인 실리콘 카바이드는 51.5 ppmw 이하, 예를 들면, 50 ppmw 이하와 같은 55 ppmw 이하의 인 레벨을 가질 수 있다. 상기 실리콘 카바이드는 1,675 ppmw 이하, 예를 들면, 약 1,665 ppmw 이하와 같은 약 1,700 ppmw 이하의 알루미늄 레벨을 가질 수 있다. 상기 실리콘 카바이드는 약 4,100 ppmw 이하의 철 레벨을 가질 수 있다. 상기 실리콘 카바이드는 약 1,145 ppmw 이하인 티타늄 함량을 가질 수 있다. 한 예에서, 상기 SiC 입자(178)는 붕소 및 인이 없거나 실질적으로 없다. 한 예에서, 상기 SiC 입자(178)는, 해당 물질들이 허용할 수 없는 레벨의 원하지 않는 불순물(예컨대, 붕소, 인 또는 알루미늄)이 상기 용융 물질(2) 내로 침출되도록 초래하지 않는 한, 다른 물질들을 포함할 수 있다. 한 예에서, 상기 SiC 입자(178)는 실리카( $SiO_2$ ), 원소인 탄소(C), 철(III) 옥사이드( $Fe_2O_3$ ), 및 마그네슘 옥사이드( $MgO$ )를 포함할 수 있다. 한 예에서, 상기 SiC 입자(178)는 다음의 조성을 갖는다(건조물 기준): 87.4 중량%의 SiC, 10.9 중량%의  $SiO_2$ , 0.9 중량%의 탄소, 0.5 중량%의  $Fe_2O_3$  및 0.1 중량%의  $MgO$ . 한 예에서, 상기 SiC 입자(178)는 얼라이드 미네랄 프로덕츠사(Allied Mineral Products, Inc., Columbus, OH, US

A)에 의해 NANOTEK SiC의 상표명으로 시판되는 실리콘 카바이드를 포함할 수 있다. 상기 NANOTEK SiC는 붕소, 인 및 알루미늄에 대해 높은 순도, 예컨대 약 2.11 ppmw 이하의 붕소 및 약 51.4 ppmw 이하의 인을 갖는다.

[0087] 상기 결합제(180)는 본 명세서에서 콜로이드성 알루미늄으로 나타내는 알루미늄( $Al_2O_3$ )의 콜로이드성 서스펜션으로부터 형성될 수 있다. 상기 콜로이드성 알루미늄은 액체상(184)에 현탁되어 있는 작은 비결정형의 알루미늄 입자(182)의 서스펜션을 포함할 수 있다. 상기 SiC 입자(178)는 콜로이드성 알루미늄 결합제(180) 내에 혼합될 수 있고, 이후 상기 혼합물은 예컨대 페인팅, 필름 또는 다른 보통의 액체 증착 기술에 의해 상기 내화 물질(152)의 내표면(160)에 증착될 수 있다. 상기 콜로이드성 알루미늄 결합제(180)는 상기 용융 물질(2)의 존재와 연관된 고온에서 조차도 상기 SiC 입자(178)를 결합 및 안정화시키는 작용을 할 수 있다.

[0088] 상기 결합제(180)의 콜로이드성 알루미늄은 실리카 핵을 형성한 후 상기 액체상(184) 내에서 알루미늄 입자(182)를 성장시킴으로써 형성될 수 있다. 한 예에서, 나트륨 실리케이트 용액과 같은 알칼리 실리케이트 용액은 예컨대 상기 나트륨 실리케이트로부터 나트륨의 적어도 일부를 선택적으로 제거함으로써 부분적으로 중화된다. 상기 알칼리 실리케이트의 중화는 실리카 핵을 형성하고 상기 실리카를 중합하여 비결정형 실리카 입자를 형성하는 것을 유발할 수 있다. 상기 실리카 핵은 포괄적으로 1 나노미터(nm) 내지 5 nm 사이의 크기를 가질 수 있다. 상기 알루미늄 입자(182)는 예컨대 포괄적으로 1 나노미터(nm) 및 100 nm 사이의 직경의 크기를 가질 수 있다. 한 예에서, 상기 알루미늄 입자(182)는 약 20 nm와 같은 포괄적으로 10 nm 및 30 nm 사이의 크기를 갖는다. 한 예에서, 상기 결합제(180)를 형성하는 콜로이드성 실리카는 포괄적으로 30 중량% 및 50 중량% 사이의 실리카와 같은 포괄적으로 25 중량% 및 60 중량% 사이의 실리카, 예를 들면 40 중량%의 실리카인 알루미늄 입자(182)의 중량 백분율을 갖는다.

[0089] 한 예에서, 상기 라이닝(170B)의 제조에 사용되는 콜로이드성 알루미늄은 웨스본드사(WesBond Corp., Wilmington, DE, USA)에 의해 WESOL의 상표명으로 시판되는 콜로이드성 알루미늄과 같은 상업적으로 이용가능한 콜로이드성 알루미늄이다.

[0090] 상기 SiC 입자(178) 및 결합제(180)는 함께 혼합되어서 상기 내표면(160)에 증착되어 상기 라이닝(170B)을 형성할 수 있는 전구체 혼합물을 형성할 수 있다. 상기 SiC 입자(178) 및 결합제(180)는 상기 전구체 혼합물의 코팅성(coatability) 또는 펼침성(spreadability), 양호한 슬럼프링(slumping) 특성(예컨대, 펼친 후 슬럼프링이 없거나 최소의 슬럼프만 있음), 허용가능한 건조 시간(예컨대, 건조 전에 상기 혼합물이 상기 내표면(160)에 완전히 도포될 수 있을 만큼 충분히 길지만 제조 공정 내에서 합리적인 건조 시간을 제공하기에 충분히 짧은), 상기 내화 물질(152)에 대한 허용가능한 결합 강도, 및 상기 내화 물질(152)로부터 상기 용융 물질(2)로 불순물 또는 오염물이 전달되는 것에 대한 허용가능한 저항성을 제공할 수 있는 중량 비로 함께 혼합될 수 있다. 한 예에서, 상기 라이닝(170B)은 포괄적으로 50 중량%의 SiC 입자(178) 및 70 중량%의 SiC 입자(178) 사이(예컨대, 포괄적으로 30 중량%의 콜로이드성 알루미늄 결합제(180) 및 50 중량%의 콜로이드성 알루미늄 결합제(180) 사이)와 같은 포괄적으로 30 중량%의 SiC 입자(178) 및 80 중량%의 SiC 입자(178) 사이(예컨대, 포괄적으로 20 중량%의 콜로이드성 알루미늄 결합제(180) 및 70 중량%의 콜로이드성 알루미늄 결합제(180) 사이), 예를 들면, 약 40 중량%의 SiC 입자(178) 및 약 60 중량%의 콜로이드성 알루미늄 결합제(180)의 중량 조성을 포함한다. 건조 후(예컨대, 상기 콜로이드성 알루미늄 결합제(180)로부터 물 및 다른 액체를 제거한 후), 결과물인 라이닝(170B)은 포괄적으로 60 중량%의 SiC 내지 90 중량%의 SiC(예컨대, 포괄적으로 10 중량%의 실리카 내지 40 중량%의 실리카)와 같은 포괄적으로 35 중량%의 SiC 내지 95 중량%의 SiC(예컨대, 포괄적으로 5 중량%의 실리카 내지 65 중량%의 실리카), 예를 들면, 약 80 중량%의 SiC 및 약 20 중량%와 같은 포괄적으로 70 중량%의 SiC 내지 85 중량%의 SiC(예컨대, 포괄적으로 15 중량%의 실리카 내지 30 중량%의 실리카)일 수 있다.

[0091] 한 예에서, 상기 SiC 입자(178) 및 콜로이드성 알루미늄 결합제(180)의 혼합물은 공지의 액체 코팅 방법에 의해 상기 내표면(160)에 코팅될 수 있는 액체 또는 액체 서스펜션일 수 있다. 한 예에서, 상기 혼합물은 페인팅, 분무, 필름, 블레이드 코팅, 드롭 코팅 또는 딥 코팅 중 적어도 하나를 통해 상기 내표면(160)에 코팅될 수 있다. 상기 SiC 입자(178) 및 콜로이드성 알루미늄 결합제(180)는 균일한 또는 실질적으로 균일한 두께를 갖도록 상기 내표면(160)에 도포될 수 있다. 이후, 상기 코팅된 혼합물은 건조되도록 둘 수 있으며, 이는 액체상(184)이 건조될 때 상기 알루미늄 입자(182)가 성장하여, 상기 SiC 입자(178)가 실질적으로 고체인 알루미늄 결합제(180)에 의해 결합되어 상기 라이닝(170B)을 형성하도록 할 수 있다.

[0092] 한 예에서, 상기 SiC 입자(178) 및 콜로이드성 알루미늄 결합제(180)의 혼합물은 상기 내화 물질(152)의 내표면(160)에 복수의 코팅물로서 도포될 수 있다. 상기 혼합물의 각각의 코팅물은 예컨대 페인팅, 분무 또는 임의의 다른 코팅 방법을 통해 도포될 수 있으며, 후속하는 코팅물을 도포하기 전에 특정된 기간의 시간 동안 건조되게

한다. 한 예에서, 2개의 코팅물, 3개의 코팅물, 4개의 코팅물, 5개의 코팅물, 6개의 코팅물, 7개의 코팅물, 8개의 코팅물, 9개의 코팅물 또는 10개의 코팅물과 같은 2 내지 10개 이상의 코팅물이 상기 내표면(160)에 도포될 수 있다. 한 예에서, 코팅물 사이에서 상기 라이닝은 포괄적으로 약 30분 내지 약 2시간과 같은 포괄적으로 약 15분 내지 약 6시간 동안 건조되도록 할 수 있다. 모든 코팅물이 도포된 후, 상기 라이닝(170B)은 포괄적으로 약 1시간 내지 약 10시간, 예컨대 포괄적으로 약 2 시간 내지 약 8시간, 예컨대 포괄적으로 약 4시간 내지 약 6시간, 예컨대 약 4시간, 약 4.5시간, 약 5시간, 약 5.5시간 및 약 6시간 동안 건조되도록 할 수 있다.

[0093] 상기 라이닝(170)(도 5의 라이닝(170A) 또는 도 6의 라이닝(170B) 각각)의 두께는 도가니(150) 내부 및 주변의 조건 및 상기 도가니(150) 내에서 수행되고 있는 공정 단계에 의존할 수 있다. 예를 들면, 상기 도가니(150)가 용융 물질(2)을 형성하기 위해 고체 실리콘을 용융하기 위한 용융 도가니로 사용되고 있다면, 상기 도가니(150)가 용광로 내부에 위치하기 때문에 상기 도가니(150)에 걸친 높은 온도로 인해 상대적으로 두꺼운 라이닝(170)이 필요할 수 있다. 유사하게, 상기 도가니(150)가 방향성 고체화를 위한 주형으로 사용되고 있다면, 상기 용융 물질(2) 내부의 덜 휘발성 환경 및 상대적으로 낮은 온도로 인해 상대적으로 얇은 라이닝(170)이 필요할 수 있다. 한 예에서, 상기 라이닝(170)은 포괄적으로 약 2 mm 내지 약 15 mm와 같은 포괄적으로 약 1 밀리미터(mm) 내지 약 25 mm, 예를 들면 약 3 mm 내지 약 10 mm, 예를 들면 약 4 mm, 약 4.1 mm, 약 4.2 mm, 약 4.3 mm, 약 4.4 mm, 약 4.5 mm, 약 4.6 mm, 약 4.7 mm, 약 4.8 mm, 약 4.9 mm, 약 5 mm, 약 5.1 mm, 약 5.2 mm, 약 5.3 mm, 약 5.4 mm, 약 5.5 mm, 약 5.6 mm, 약 5.7 mm, 약 5.8 mm, 약 5.9 mm 및 약 6 mm와 같은 포괄적으로 약 4 mm 내지 약 5 mm의 두께를 가질 수 있다.

[0094] 한 예에서, 상기 도가니(150)는 약 1 메트릭 톤(metric tonne) 이상의 용융 실리콘을 담을 수 있다. 한 예에서, 상기 도가니(150)는 1.4 메트릭 톤 이상의 용융 실리콘을 담을 수 있다. 한 예에서, 상기 도가니(150)는 적어도 약 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.1, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 또는 5 메트릭 톤 이상의 용융 실리콘을 담을 수 있다.

[0095] 본 명세서에 개시된 방법 및 기구를 보다 잘 예시하기 위하여, 구현예들의 비제한적인 목록이 이하에 제공된다:

[0096] 구현예 1은 용융 실리콘 혼합물을 함유하기 위한 도가니를 포함하며, 상기 도가니는 용융 실리콘 혼합물을 수용하기 위한 내부를 정의하는 적어도 하나의 내표면을 갖는 적어도 하나의 내화 물질 및 상기 내표면에 증착된 라이닝을 포함하며, 상기 라이닝은 콜로이드성 알루미늄을 포함한다.

[0097] 구현예 2는 구현예 1의 도가니를 포함하며, 상기 라이닝은 바디(body)의 내부에 함유되는 용융 실리콘 혼합물이 적어도 하나의 내화 물질로부터 오염되는 것을 방지 또는 감소시킨다.

[0098] 구현예 3은 구현예 2의 도가니를 포함하며, 상기 라이닝은 상기 용융 실리콘이 붕소 및 인 중 적어도 하나로 부터 오염되는 것을 방지한다.

[0099] 구현예 4는 구현예 1 내지 구현예 3 중 어느 하나의 도가니를 포함하며, 상기 콜로이드성 알루미늄은 물에 현탁된 알루미늄 입자를 포함하고, 상기 알루미늄 입자는 포괄적으로 20 nm 및 50 nm 사이의 크기를 갖는다.

[0100] 구현예 5는 구현예 1 내지 구현예 4 중 어느 하나의 도가니를 포함하며, 상기 라이닝은 포괄적으로 2 mm 및 10 mm 사이의 두께를 갖는다.

[0101] 구현예 6은 구현예 1 내지 구현예 5 중 어느 하나의 도가니를 포함하며, 상기 적어도 하나의 내화 물질은 알루미늄을 포함한다.

[0102] 구현예 7은 구현예 1 내지 구현예 6 중 어느 하나의 도가니를 포함하며, 상기 라이닝은 콜로이드성 알루미늄에 의해 결합된 실리콘 카바이드 입자를 추가로 포함한다.

[0103] 구현예 8은 구현예 7의 도가니를 포함하며, 상기 실리콘 카바이드 입자는 약 3.5 mm 이하의 크기를 갖는다.

[0104] 구현예 9는 구현예 1 내지 구현예 8 중 어느 하나의 도가니를 포함하며, 상기 도가니는 실리콘 및 알루미늄의 혼합물을 용융시켜 용융 실리콘 혼합물을 형성하도록 형성화된다.

[0105] 구현예 10은 실리콘의 정제 방법을 포함하며, 상기 방법은 제1 실리콘을 제1 혼합물을 제공하기에 충분하도록 알루미늄을 포함하는 용매 금속과 접촉시키는 단계, 용융 도가니의 내부에서 상기 제1 혼합물을 용융시켜 용융 실리콘 혼합물을 제공하는 단계로서, 상기 용융 도가니는 상기 용융 도가니의 내부를 정의하는 내표면을 갖는 적어도 하나의 내화 물질을 포함하고, 제1 혼합물을 용융시키기 전에 상기 용융 도가니의 내표면의 적어도 일부를 콜로이드성 알루미늄을 포함하는 라이닝으로 코팅하는 단계, 상기 용융 실리콘 혼합물을 재결정화 실리콘 결

정 및 모액을 형성하기에 충분하도록 냉각시키는 단계, 및 최종 재결정화 실리콘 결정 및 모액을 분리하는 단계를 포함한다.

- [0106] 구현예 11은 구현예 10의 방법을 포함하며, 상기 라이닝은 상기 용융 실리콘 혼합물이 적어도 하나의 내화 물질로부터 오염되는 것을 방지 또는 감소시킨다.
- [0107] 구현예 12는 구현예 11의 방법을 포함하며, 상기 라이닝은 상기 용융 실리콘 혼합물이 붕소 및 인 중 적어도 하나로부터 오염되는 것을 방지한다.
- [0108] 구현예 13은 구현예 12의 방법을 포함하며, 상기 콜로이드성 알루미늄은 물에 현탁된 알루미늄 입자를 포함하고, 상기 알루미늄 입자는 포괄적으로 20 nm 및 50 nm 사이의 크기를 갖는다.
- [0109] 구현예 14는 구현예 10 내지 구현예 13 중 어느 하나의 방법을 포함하며, 상기 라이닝은 포괄적으로 2 mm 및 10 mm 사이의 두께를 갖는다.
- [0110] 구현예 15는 구현예 10 내지 구현예 14 중 어느 하나의 방법을 포함하며, 상기 라이닝은 콜로이드성 알루미늄에 의해 결합된 실리콘 카바이드 입자를 추가로 포함한다.
- [0111] 구현예 16은 구현예 15의 방법을 포함하며, 상기 실리콘 카바이드 입자는 약 3.5 mm 이하의 크기를 갖는다.
- [0112] 구현예 17은 구현예 10 내지 구현예 16 중 어느 하나의 방법을 포함하며, 상기 적어도 하나의 내화 물질은 알루미늄을 포함한다.
- [0113] 구현예 18은 실리콘의 정제 방법을 포함하며, 상기 방법은 제1 실리콘을 제1 혼합물을 제공하기에 충분하도록 제1 용매 금속과 접촉시키는 단계, 제1 용융 도가니의 제1 내화물의 제1 내표면의 적어도 일부를 콜로이드성 알루미늄을 포함하는 제1 라이닝으로 코팅하는 단계, 상기 제1 용융 도가니의 내부에서 상기 제1 혼합물을 용융시켜 제1 용융 실리콘 혼합물을 제공하는 단계, 상기 제1 용융 실리콘 혼합물을 제1 실리콘 결정 및 제1 모액을 형성하기에 충분하도록 냉각시키는 단계, 상기 제1 실리콘 결정 및 상기 제1 모액을 분리하는 단계, 상기 제1 실리콘 결정을 제2 혼합물을 제공하기에 충분하도록 제2 용매 금속과 접촉시키는 단계, 제2 용융 도가니의 제2 내화물의 제2 내표면의 적어도 일부를 콜로이드성 알루미늄을 포함하는 제2 라이닝으로 코팅하는 단계, 상기 제2 용융 도가니의 내부에서 상기 제2 혼합물을 용융시켜 제2 용융 실리콘 혼합물을 제공하는 단계, 상기 제2 용융 실리콘 혼합물을 제2 실리콘 결정 및 제2 모액을 형성하기에 충분하도록 냉각시키는 단계, 및 상기 제2 실리콘 결정 및 상기 제2 모액을 분리하는 단계를 포함한다.
- [0114] 구현예 19는 구현예 18의 방법을 포함하며, 상기 제1 용매 금속의 적어도 일부는 상기 제1 모액의 적어도 일부 및 상기 제2 모액의 적어도 일부 중 적어도 하나를 포함한다.
- [0115] 구현예 20은 구현예 18 또는 구현예 19 중 어느 하나의 방법을 포함하며, 상기 제2 용매 금속의 적어도 일부는 상기 제1 모액의 적어도 일부 및 상기 제2 모액의 적어도 일부 중 적어도 하나를 포함한다.
- [0116] 구현예 21은 구현예 18 내지 구현예 20 중 어느 하나의 방법을 포함하며, 상기 제2 실리콘 결정을 제3 혼합물을 형성하기에 충분하도록 제3 용매 금속과 접촉시키는 단계, 제3 용융 도가니의 제3 내화물의 제3 내표면의 적어도 일부를 콜로이드성 알루미늄을 포함하는 제3 라이닝으로 코팅하는 단계, 상기 제3 용융 도가니의 내부에서 상기 제3 혼합물을 용융시켜 제3 용융 실리콘 혼합물을 제공하는 단계, 상기 제3 용융 실리콘 혼합물을 제3 실리콘 결정 및 제3 모액을 형성하기에 충분하도록 냉각시키는 단계, 및 상기 제3 실리콘 결정 및 상기 제3 모액을 분리하는 단계를 추가로 포함한다.
- [0117] 구현예 22는 구현예 21의 방법을 포함하며, 상기 제1 용매 금속의 적어도 일부는 상기 제3 모액의 적어도 일부를 포함한다.
- [0118] 구현예 23은 구현예 21 또는 구현예 22 중 어느 하나의 방법을 포함하며, 상기 제2 용매 금속의 적어도 일부는 상기 제3 모액의 적어도 일부를 포함한다.
- [0119] 구현예 24는 구현예 21 내지 구현예 23 중 어느 하나의 방법을 포함하며, 상기 제3 용매 금속의 적어도 일부는 상기 제1 모액의 적어도 일부, 상기 제2 모액의 적어도 일부 및 상기 제3 모액의 적어도 일부 중 적어도 하나를 포함한다.
- [0120] 기술한 상세한 설명은 상기 상세한 설명의 일부를 형성하는 부속하는 도면에 대한 참조물을 포함한다. 상기 도

면은 예시의 형태로 본 발명이 실행될 수 있는 특정한 실시예를 보여준다. 상기 실시예는 본 명세서에서 "실시예"로도 나타낸다. 이러한 실시예는 나타내거나 개시된 것 이외의 인자들을 포함할 수 있다. 그러나, 본 발명자들은 또한 단지 상기 인자들만이 나타나거나 개시된 실시예를 제공하는 것을 고려한다. 아울러, 본 발명자들은 또한 본 명세서에 나타내거나 개시된 특정 실시예(또는 그의 하나 이상의 측면)에 관해, 또는 다른 실시예(또는 그의 하나 이상의 측면)에 관해 나타내거나 개시된 인자들의 임의의 조합 또는 순열(permutation)(또는 그의 하나 이상의 측면)을 이용한 실시예를 제공하는 것을 고려한다.

[0121] 본 명세서 및 인용에 의해 포함된 임의의 문서들 사이에 용법이 일치하지 않는 경우에는, 본 명세서에서의 용법이 제어한다.

[0122] 본 명세서에서, 특허 문서에서 일반적인 것처럼, "적어도 하나" 또는 "하나 이상"의 임의의 다른 사례 또는 용법과 독립적으로 하나 또는 하나 이상을 포함하기 위해 "한" 또는 "하나"란 용어가 사용된다. 본 명세서에서, "또는"이란 용어는 비배타적임을 나타내기 위해 사용되며, 달리 나타내지 않는 한, "A 또는 B"는 "B가 아닌 A", "A가 아닌 B" 및 "A 및 B"를 포함한다. 본 명세서에서, "포함하는(including)" 및 "-하는(in which)"이란 용어는 "포함하는(comprising)", "-하는(wherein)"이란 해당 용어와 일반적인 영어의 등가체로서 사용된다. 또한, 하기 특허청구범위에서, "포함하는" 및 "포함하는"이란 용어는 확장가능하며(open-ended), 즉 청구항 내에서 이러한 용어 뒤에 나열된 것들 이외의 인자들을 포함하는 시스템, 장치, 물건, 조성물, 제형 또는 공정도 여전히 상기 청구항의 범위 내에 속하는 것으로 간주된다. 또한, 하기 특허청구범위에서, "제1", "제2" 및 "제3" 등의 용어는 단지 라벨(label)로서 사용되며, 그 대상체에 대한 수치적 요구사항을 부여하기 위한 의도는 아니다.

[0123] 본 명세서에 개시된 방법 실시예는 적어도 부분적으로는 기계 또는 컴퓨터에 의해 실행될 수 있다. 일부 실시예는 전자 장치가 상기 실시예에서 개시된 것과 같은 방법을 수행하도록 형상화된 작동가능한 지침서로 표현된 컴퓨터 판독성 매체 또는 기계 판독성 매체를 포함할 수 있다. 이러한 방법의 실행은 마이크로코드, 어셈블리 언어(assembly language) 코드, 상위 레벨 언어 코드 등과 같은 코드를 포함할 수 있다. 이러한 코드는 다양한 방법을 수행하기 위한 컴퓨터 판독성 지침서를 포함할 수 있다. 상기 코드는 컴퓨터 프로그램 제품의 일부를 형성할 수 있다. 또한, 한 예에서, 상기 코드는, 예컨대 실행하는 동안 또는 다른 시간에 하나 이상의 휘발성, 비-일시성, 또는 비-휘발성의 실제 컴퓨터 판독성 매체에 실제로 저장될 수 있다. 상기 실제 컴퓨터 판독성 매체의 예로는 하드 디스크, 제거가능한 마그네틱 디스크, 제거가능한 광학 디스크(예컨대, 콤팩트 디스크 및 디지털 비디오 디스크), 마그네틱 카세트, 메모리 카드 또는 스틱, 임의 접근 기억장치(random access memory, RAM), 읽기용 기억장치(read only memory, ROM) 등을 포함하지만 이에 한정되는 것은 아니다.

[0124] 전술한 내용은 예시를 위한 것으로서, 제한을 하려는 의도는 아니다. 예를 들면, 전술한 실시예(또는 그의 하나 이상의 측면)는 서로 조합되어 사용될 수 있다. 다른 실시예는, 예컨대 전술한 내용을 리뷰한 후 본 기술분야의 통상의 기술을 가진 자에 의해 사용될 수 있다. 요약서는 개시된 기술의 본성을 독자가 신속하게 파악하도록 하기 위하여 미국 37 C.F.R. § 1.72(b)에 부합되게 제공된다. 상기 요약서는 특허청구범위의 범위 또는 의미를 해석 또는 제한하기 위해 사용되지는 않을 것이라는 이해와 함께 제출된다. 또한, 전술한 발명의 상세한 설명에서, 다양한 특성들이 상기 개시를 간소화하기 위해 함께 분류될 수 있다. 이것은 청구되지 않은 개시된 특성들이 임의의 청구항에 필수적인 것을 의도하는 것으로 해석되어서는 안된다. 오히려, 진보적인 대상 문제는 특정 개시된 실시예의 모든 특성들 이내에 있을 수 있다. 따라서, 다음의 특허청구범위는 이로써 실시예 또는 실시예로서 발명의 상세한 설명 내로 포함되고, 각각의 청구항은 그 자체로 별개의 실시예로서 기초하며, 이러한 실시예는 서로 다양한 조합 또는 순열로 조합될 수 있음이 고려된다. 본 발명의 범위는 첨부된 특허청구범위를 참조하여, 이러한 특허청구범위가 표제된 동등물의 전체 범위와 함께 결정되어야 한다.

**도면의 간단한 설명**

[0125] 하기 도면에서, 몇 가지 측면에 걸쳐서 유사한 인자를 개시하기 위하여 유사한 숫자가 사용될 수 있다. 유사한 인자의 상이한 측면을 나타내기 위하여 상이한 접미어(suffix)를 갖는 유사한 숫자가 사용될 수 있다. 하기 도면은 일반적으로 예의 형태이지만 한정하지는 않는 방식으로 본 발명에서 논의된 다양한 실시예를 예시한다.

도 1은 원-패스 재결정화 공정을 통해 실리콘을 정제하는 예시적 방법의 블록 순서도이다.

도 2는 투-패스 재결정화 공정을 통해 실리콘을 정제하는 예시적 방법의 블록 순서도이다.

도 3은 쓰리-패스 재결정화 공정을 통해 실리콘을 정제하는 예시적 방법의 블록 순서도이다.

도 4는 실리콘의 정제에 사용될 수 있는 도가니의 예의 횡단면도이다.

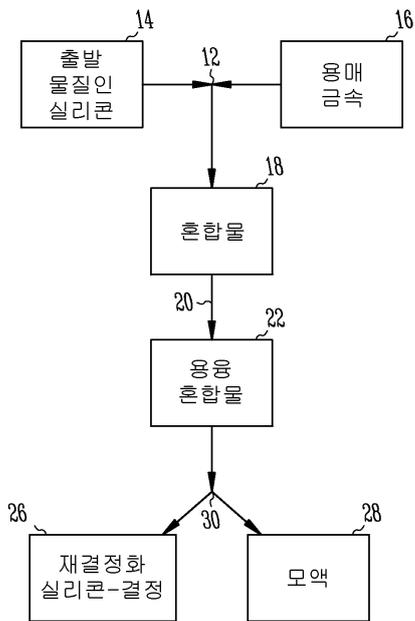
도 5는 도 4의 예시적 도가니의 내표면에 코팅된 라이닝의 제1 예의 확대 횡단면도이다.

도 6은 도 4의 예시적 도가니의 내표면에 코팅된 라이닝의 제2 예의 확대 횡단면도이다.

**도면**

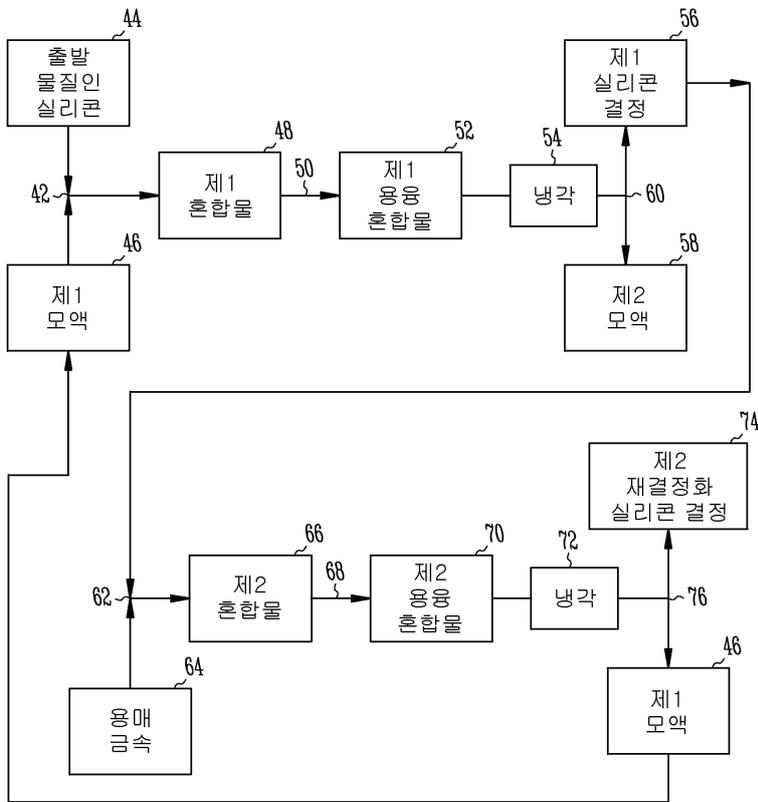
**도면1**

10 ↗

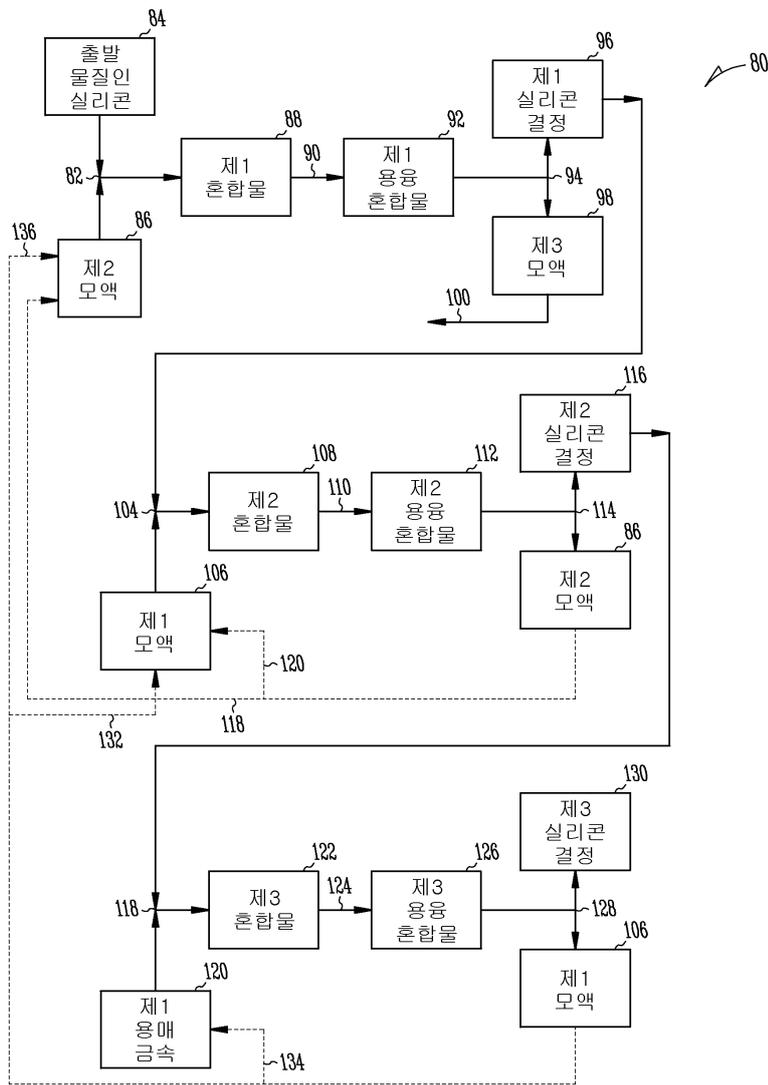


도면2

40 ↗

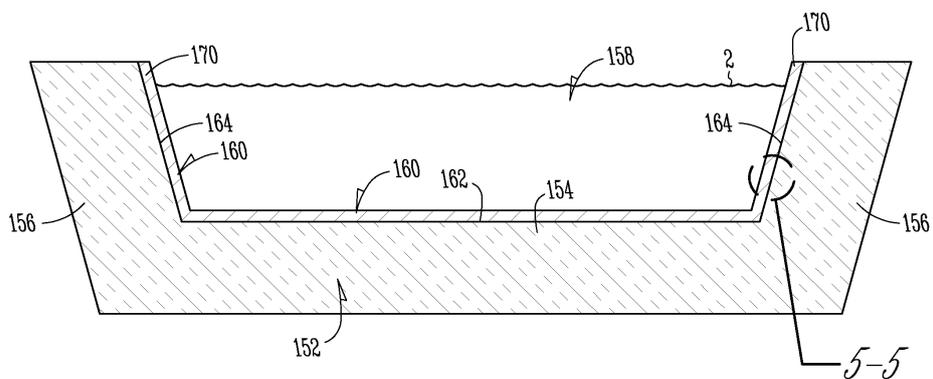


도면3

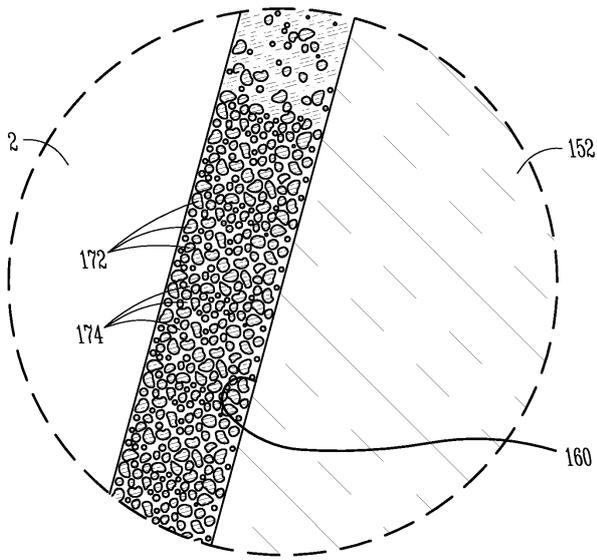


도면4

150



도면5



도면6

