



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2007년10월18일
(11) 등록번호 10-0768147
(24) 등록일자 2007년10월11일

(51) Int. Cl.

C30B 29/06(2006.01) C30B 15/20(2006.01)

(21) 출원번호 10-2006-0042301
(22) 출원일자 2006년05월11일
심사청구일자 2006년05월11일
(56) 선행기술조사문헌
JP01305810 A
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

한국화학연구원

대전 유성구 장동 100번지

(72) 발명자

김희영

대전 유성구 어은동 한빛아파트 101동 203호

윤경구

대전 유성구 어은동 한빛아파트 131동 306호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

백남훈, 이학수

전체 청구항 수 : 총 36 항

심사관 : 김준규

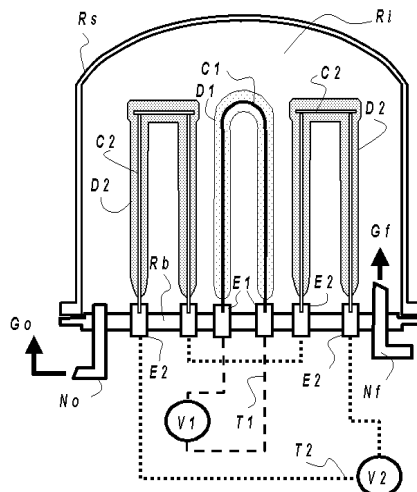
(54) 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조방법과 그 제조장치

(57) 요약

본 발명은 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조방법 및 그 제조장치에 관한 것으로서, 특히 봉 형상의 다결정 실리콘을 제조하는데 사용할 수 있는 석출반응기의 구성과 운전방법에 관한 것이다. 이러한 본 발명은 석출반응기의 내부공간에 저항성 재료로 이루어진 제1코어수단과, 실리콘 재료로 이루어진 제2코어수단을 함께 설치한 뒤, 상기 제1코어수단을 전기가열하고, 이와 같이 전기가열된 상기 제1코어수단에 의하여 상기 제2코어수단이 예열되도록 한 다음, 예열된 상기 제2코어수단을 전기가열하는 것을 특징으로 하며, 이를 통해 상기 두 가지 코어수단의 외부방향으로 실리콘을 석출시켜 다결정 실리콘 봉을 제조할 수 있도록 한 것이다.

본 발명에 사용되는 석출반응기는, 베이스부와 셸부에 의하여 내부공간이 형성되고; 상기 내부공간에 반응가스를 공급하는 가스공급부와, 상기 내부공간으로부터 배출가스를 배출하는 가스배출부와, 상기 실리콘 석출반응에 필요한 전기가열수단을 포함하되; 상기 전기가열수단은 전극부와 코어수단으로 구성되고; 상기 코어수단은 저항성 재료로 이루어진 제1코어수단과, 실리콘 재료로 이루어진 제2코어수단으로 나뉘어 구성되며; 상기 전극부는 상기 제1코어수단 및 상기 제2코어수단에 각각 연결되는 제1전극부와 제2전극부로 나뉘어 전기적으로 독립되어 구성된다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

박용기

대전 유성구 어은동 한빛아파트 119동 302호

소원욱

대전 유성구 어은동 한빛아파트 125동 404호

최원춘

대전 유성구 전민동 엑스포아파트 210동 1202호

(56) 선행기술조사문헌

JP2001294416 A

JP2006036628 A

US20030150378 A1

US6503563 B1

W09106507 A1

특허청구의 범위

청구항 1

석출반응기의 내부공간에 설치된 코어수단을 예열 및 전기가열하고 반응가스를 공급하면서 실리콘 석출반응에 의한 봉 형상의 다결정 실리콘을 제조하는 방법에 있어서,

상기 석출반응기의 내부공간에 저항성 재료로 이루어진 제1코어수단과 실리콘 재료로 이루어진 제2코어수단을 함께 설치하는 단계와;

상기 제1코어수단을 전기가열하고, 전기가열된 상기 제1코어수단에 의해 가열함으로써 상기 제2코어수단을 예열하는 단계와;

예열된 상기 제2코어수단을 전기가열하고, 상기 제1코어수단 및 제2코어수단을 전기가열하는 상태에서 석출반응기의 내부공간에 반응가스를 공급하여 실리콘을 석출하는 단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 예열된 상기 제2코어수단을 전기가열하는 단계에서, 제2코어수단 전체를 동시에 전기가열하기 시작하거나, 상기 제2코어수단을 다수의 제2코어그룹으로 나누어 그룹별로 다른 시점에 전기가열하기 시작하는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서, 상기 제2코어수단을 예열하는 단계에서, 상기 제1코어수단을 400 ~ 3,000 °C의 온도범위 내로 전기가열하여 상기 제2코어수단을 350 ~ 1,000 °C의 온도범위 내로 예열하는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조방법.

청구항 4

청구항 1 또는 청구항 3에 있어서, 상기 제2코어수단을 예열하는 단계에서, 석출반응기의 내부공간을 절대압 기준으로 1 ~ 20 bar 범위의 압력상태로 하여 수소, 질소, 아르곤 및 헬륨 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 가스 분위기에서 예열하는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조방법

청구항 5

청구항 1에 있어서, 상기 반응가스를 공급함과 동시에 반응압력 및 반응온도를 유지하면서 상기 제1코어수단의 외부방향으로 실리콘을 석출시켜 제1석출부를 형성하거나, 또는 상기 제2코어수단의 외부방향으로 실리콘을 석출시켜 제2석출부를 형성하거나, 또는 상기 제1코어수단과 제2코어수단의 외부방향으로 실리콘을 석출시켜 제1석출부와 제2석출부를 각각 형성하는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조방법

청구항 6

청구항 1 또는 청구항 5에 있어서, 상기 반응가스는 모노실란, 이염화실란, 삼염화실란 및 사염화실란 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 실리콘 함유 성분을 포함하는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조방법.

청구항 7

청구항 6에 있어서, 상기 반응가스는 수소, 질소, 아르곤, 헬륨 및 염화수소 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 가스성분을 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조방법.

청구항 8

청구항 5에 있어서, 상기 석출반응기 내부공간에서의 절대압 기준으로 1 ~ 20 bar 범위 내의 반응압력과, 상기 제1석출부 또는 상기 제2석출부 또는 상기 제1석출부와 제2석출부 표면에서의 온도 기준으로 650 ~ 1,300 °C 범위 내의 반응온도에서 실리콘을 석출시키는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의

제조방법.

청구항 9

청구항 5에 있어서, 상기 제1석출부와 상기 제2석출부에서 태양전지급 다결정 실리콘과 반도체급 다결정 실리콘을 각각 제조하는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조방법.

청구항 10

청구항 1에 있어서, 상기 저항성 재료는 텅스텐(W), 레늄(Re), 오스뮴(Os), 탄탈륨(Ta), 몰리브덴(Mo), 노브(Nb), 이리듐(Ir), 루테튬(Ru), 테크네튬(Tc), 하프늄(Hf), 로듐(Rh), 마나듐(V), 크롬(Cr), 지르코늄(Zr), 백금(Pt), 토륨(Th), 란타늄(La), 티타늄(Ti), 루테튬(Lu), 이트륨(Y), 철(Fe), 니켈(Ni) 및 알루미늄(Al) 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 금속원소를 포함하는 금속 또는 합금인 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조방법.

청구항 11

청구항 1에 있어서, 상기 저항성 재료는 몰리브덴규소화물(Mo-Si), 란타늄크롬화물(La-Cr-O) 및 지르코니아 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 성분을 포함하는 세라믹 금속재료인 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조방법.

청구항 12

청구항 1에 있어서, 상기 저항성 재료는 무정형탄소, 흑연 및 실리콘카바이드(SiC) 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 성분을 포함하는 탄소계 재료인 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조방법.

청구항 13

청구항 1에 있어서, 상기 실리콘 재료는 다결정 또는 단결정의 순수 실리콘과 도핑된 실리콘 중에 선택된 것임을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조방법.

청구항 14

실리콘 석출반응이 일어나는 석출반응기를 포함하는 다결정 실리콘 봉의 제조장치에 있어서,
 상기 석출반응기가 베이스부와 셀부에 의해 형성된 밀폐된 내부공간을 가지되, 상기 내부공간에 반응가스를 공급하는 가스공급부와, 상기 내부공간으로부터 배출가스를 배출하는 가스배출부와, 상기 실리콘 석출반응에 필요한 전기가열수단을 포함하고;
 상기 전기가열수단은 전극부와 코어수단으로 구성되며;
 상기 코어수단은 저항성 재료로 이루어진 제1코어수단과, 실리콘 재료로 이루어진 제2코어수단으로 나뉘어 구성되고;
 상기 전극부는 상기 제1코어수단 및 상기 제2코어수단에 각각 연결되면서 전기적으로 독립된 제1전극부와 제2전극부로 나뉘어 구성되는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 15

청구항 14에 있어서, 상기 제1전극부 또는 상기 제2전극부 또는 상기 제1전극부와 제2전극부는 상기 베이스부에 설치되는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 16

청구항 14에 있어서, 상기 제1전극부 및 제2전극부는 각각 하나 또는 다수의 제1전극부 그룹 및 제2전극부 그룹으로 나뉘어 개별 전극부 그룹별로 전기가 독립적으로 공급되게 구성되는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 17

청구항 14에 있어서, 상기 제1전극부는 제1전력전달수단을 통해 제1전력공급원으로부터 상기 제1코어수단의 가열에 필요한 전기가 독립적으로 공급되게 구성되고, 제2전극부는 제2전력전달수단을 통해 제2전력공급원으로부터 상기 제2코어수단의 가열에 필요한 전기가 독립적으로 공급되게 구성되는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 18

청구항 17에 있어서, 상기 제1전력공급원과 제2전력공급원이 별도의 전력변환시스템으로 따로 구성되거나 하나의 종합된 전력변환시스템으로 구성되는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 19

청구항 17에 있어서, 하나 또는 다수의 석출반응기에 포함되는 제1코어수단이 상기 제1전력공급원에 의해 전기적으로 상호 연결되는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 20

청구항 17에 있어서, 하나 또는 다수의 석출반응기에 포함되는 상기 제2코어수단이 상기 제2전력공급원에 의해 전기적으로 상호 연결되는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 21

청구항 14에 있어서, 상기 제1코어수단 및 제2코어수단은 단면이 원, 타원 또는 다각형인 로드(rod), 와이어(wire), 필라멘트(filament), 바(bar), 스트립(strip) 및 리본(ribbon)과, 단면이 동심원, 동심타원 또는 동심다각형인 도관(conduit), 튜브(tube), 실린더(cylinder) 및 덕트(duct) 중에 선택된 형태를 가지는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 22

청구항 14에 있어서, 상기 저항성 재료는 텅스텐(W), 레늄(Re), 오스뮴(Os), 탄탈륨(Ta), 몰리브덴(Mo), 노브륨(Nb), 이리듐(Ir), 루테튬(Ru), 테크네튬(Tc), 하프늄(Hf), 로듐(Rh), 바나듐(V), 크롬(Cr), 지르코늄(Zr), 백금(Pt), 토륨(Th), 란타늄(La), 티타늄(Ti), 루테튬(Lu), 이트륨(Y), 철(Fe), 니켈(Ni) 및 알루미늄(Al) 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 금속원소를 포함하는 금속 또는 합금인 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 23

청구항 14에 있어서, 상기 저항성 재료는 몰리브덴규소화물(Mo-Si), 란타늄크롬화물(La-Cr-O) 및 지르코니아 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 성분을 포함하는 세라믹 금속재료인 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 24

청구항 14에 있어서, 상기 저항성 재료는 무정형탄소, 흑연 및 실리콘카바이드(SiC) 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 성분을 포함하는 탄소계 재료인 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 25

청구항 14에 있어서, 상기 실리콘 재료는 다결정 또는 단결정의 순수 실리콘과 도핑된 실리콘 중에 선택된 것임을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 26

청구항 14에 있어서, 상기 제1코어수단은 저항성 재료로 이루어진 제1코어요소와 표면이 분리가능성분으로 이루어진 단수 또는 복수의 분리층을 형성시켜 구성되는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 27

청구항 26에 있어서, 상기 제1코어수단의 분리층이 1 가지 이상 5 가지 이하 종류의 층으로 이루어진 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 28

청구항 26에 있어서, 상기 분리층에서 각각의 층을 이루는 분리기능성분이 실리콘(Si)의 질화물, 산화물, 탄화물 또는 산화질화물을 포함하는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 29

청구항 26에 있어서, 상기 분리층에서 각각의 층을 이루는 분리기능성분이 텅스텐(W), 레늄(Re), 오스뮴(Os), 탄탈륨(Ta), 몰리브덴(Mo), 노븀(Nb), 이리듐(Ir), 루테튬(Ru), 테크네튬(Tc), 하프늄(Hf), 로듐(Rh), 바나듐(V), 크롬(Cr), 지르코늄(Zr), 백금(Pt), 토륨(Th), 란타늄(La), 티타늄(Ti), 루테튬(Lu) 및 이트륨(Y) 중에 선택된 1종 또는 2종 이상 금속원소의 질화물, 산화물, 규소화물, 탄화물, 산화질화물, 또는 산화규소화물을 포함하는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 30

청구항 26에 있어서, 상기 제1코어수단에서 제1코어요소의 표면에 형성된 분리층 두께의 합이 10 nm ~ 20 mm의 범위 내에 포함되는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 31

청구항 26 내지 청구항 30 중 어느 한 항에 있어서, 상기 분리층에 실리콘을 분리기능성분으로 하는 실리콘층을 1 μm ~ 10 mm의 두께로 추가로 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 32

청구항 14 또는 청구항 26에 있어서, 상기 제1코어수단에 포함되는 제1코어단위는 400 ~ 3,000 °C 범위 내에 포함되는 온도에서 열처리된 것임을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 33

청구항 32에 있어서, 상기 제1코어수단에 포함되는 제1코어단위는 석출반응기 내에서 전기가열되면서 열처리된 것임을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 34

청구항 26에 있어서, 상기 분리기능성분으로 이루어진 다수의 분리층 구성단위로 상기 제1코어요소의 표면을 에워싸도록 하여 상기 제1코어수단을 구성하는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 35

청구항 26 또는 청구항 34에 있어서, 상기 분리층은 분리기능성분을 제1코어요소의 표면에 코팅하여 형성되는 것임을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

청구항 36

청구항 26에 있어서, 상기 분리층은 일부 또는 전체가 석출반응기 내에서 형성되는 것임을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <20> 본 발명은 봉 형상의 다결정 실리콘을 제조하기 위한 방법과 장치에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 석출반응기에 설치되는 코어수단의 전기가열을 위해 필요한 복잡한 공정장치와 운전방법상의 까다로움을 최소화하면서 봉 형상의 다결정 실리콘(polycrystalline silicon 또는 silicon polycrystal 또는 multicrystalline silicon 또는 polysilicon 또는 poly-Si)을 대량으로 생산할 수 있는 방법과 장치에 관한 것이다.
- <21> 일반적으로 고순도 다결정 실리콘은 반도체 소자나 태양전지 등에 사용될 수 있는 반도체 성질을 갖는 소재나 높은 순도가 요구되는 화학원료 또는 산업용 소재로 널리 사용되고 있고, 정밀기능 소자 또는 소형 고집적 정밀 시스템용 부품이나 소재로도 활용되고 있다.
- <22> 이러한 다결정 실리콘을 제조하기 위하여 아주 높은 순도로 정제된 실리콘 함유 성분을 포함하는 반응가스의 열분해 및/또는 수소환원 반응으로 실리콘 표면에 실리콘 원소를 계속적으로 석출시키는 실리콘 석출방법이 이용되고 있다.
- <23> 이와 같이 다양한 용도로 사용되는 다결정 실리콘의 상업적 대량 생산을 위하여 지금까지 종형 또는 벨자형(bell-jar type)과 튜브형 또는 챔버형의 석출반응기가 주로 사용되어오고 있다.
- <24> 상기한 반응기를 이용하여 제조된 다결정 실리콘 제품은 단면이 원 또는 타원에 가까운 형태를 지니면서 직경이 일반적으로 약 50 ~ 300 mm 범위에 포함되는 막대, 즉 봉(棒; rod) 형태를 갖는다.
- <25> 상기 석출반응기에서 실리콘 봉을 제조하기 위해서는 반응기 셀 내부에 적어도 석출반응온도에서 전기가 흐를 수 있는 코어용 재료, 즉 코어요소(core element)로 가공된 다수의 코어단위(core units)들을 포함하는 코어수단(core means)을 전극부에 제각각 연결하여 구성되는 전기가열수단을 설치한 다음, 전기가열되는 코어수단의 표면에 실리콘 함유 성분을 포함하는 반응가스의 석출반응에 의하여 실리콘이 계속 석출되도록 하게 되며, 이와 같이 두께방향, 즉 동심원 외부방향으로 실리콘 석출부를 형성시킴으로써 봉 형상의 다결정 실리콘을 제조할 수 있게 된다.
- <26> 불순물 농도가 아주 낮은 고순도의 다결정 실리콘 봉을 제조하기 위해서는 고순도의 실리콘으로 제조한 로드(rod) 및 와이어(wire), 필라멘트(filament) 형태, 그리고 튜브(tube) 및 덕트(duct) 형태, 그리고 스트립(strip) 및 리본(ribbon), 시트(sheet) 형태들 가운데에서 선택된 형태의 코어요소로 가공 또는 제작된 코어단위를 포함하는 코어수단을 이용하게 된다.
- <27> 상기 코어수단에 실리콘 석출부를 형성시킴으로써 최종적으로 얻어지는 다결정 실리콘 봉은, (i)큰 덩어리(chunk), 작은 덩어리(nugget 또는 lump), 조각 또는 입자(fragment, flake 또는 particle) 등의 형태로 분쇄하고; (ii)적정 크기로 선별한 다음; (iii)분쇄 및/또는 선별과정에서 실리콘 표면에 혼입된 불순물을 제거하기 위한 세정 및 건조과정을 필요에 따라 추가적으로 실시하고; 이후 (iv)실리콘 용융점 이상으로 가열되는 도가니에서 실리콘을 용융시킨 다음; (v)용도에 따라 잉고트(ingot), 블록(block), 판(sheet) 또는 필름(film) 등의 형태로 성형하게 된다.
- <28> 석출반응기 셀 내부에 설치되는 전기가열수단은 전기가열되는 코어수단과 이 코어수단을 셀 외부의 전력공급원 및/또는 다른 코어단위들과 전기적으로 연결시켜 주는 전극부로 구성되고, (i)석출반응온도의 유지에 필요한 전기가열 기능과, (ii)실리콘 석출을 위한 기재(substrate)의 역할과, (iii)실리콘의 석출이 진행됨에 따라 크기와 무게가 증가하는 구조물인 실리콘 봉을 안정적으로 떠받치는 지지체의 기능을 수행하게 된다.
- <29> 이러한 코어수단의 기능과 역할을 만족시킬 수 있도록 코어수단에 포함되는 개별 코어단위를 코어요소로 가공하거나 제작하기 위해서는, (i)고순도 실리콘을 그 자체로 또는 도핑성분과 함께 용융시킨 다음, (ii)결정성장 또는 성형의 과정을 거쳐; 이후 (iii)단면의 모양이 원, 타원, 동심원 또는 동심 다각형 형태이거나 삼각형, 사각형 또는 육각형 등의 다각형 형태이고, 단면의 직경이 약 3 ~ 30 mm 범위 내에 또는 대각선이 약 5 ~ 100 mm 범위 내에 포함되며, 베이스부를 기준으로 하여 코어요소 수직부분 높이가 약 0.5 ~ 6 m 범위 내에 포함되도록 성형 및/또는 가공하는 일련의 과정을 거쳐야 한다.
- <30> 상기 코어단위의 제작과정에 있어서, 코어요소는 한 개씩 순차적으로 제조될 수도 있고, 대형의 실리콘 단결정 잉고트를 제조한 다음 다수의 코어요소를 필요 사양으로 동일하게 가공하여 동시에 많이 제조할 수도 있는데, 짧게 제조된 복수의 코어요소 부분들을 청정한 분위기에서 서로 용융 접합하여 필요한 길이의 실리콘 코어요소

를 제조하는 것도 가능하다.

- <31> 참고문헌 [W.C. O'Hara, R.B. Herring and L.P. Hunt, "Handbook of Semiconductor Silicon Technology", pp. 46-48, Noyes Publications, 1990.]에 설명된 바에 따르면, 상기 석출반응기를 이용하여 다결정 실리콘 붕을 제조함에 있어서 고순도 실리콘 재질의 가는 코어요소, 즉 직경이 작은 코어로드(core rod), 슬림로드(slim rod) 또는 시작용 필라멘트(starter filament)를 준비하는 것에는 경제적으로나 기술적으로 큰 부담이 뒤따른다.
- <32> 순도가 아주 높아 비저항값이 아주 크고 이 값이 온도에 따라 급격하게 감소하는 고순도 실리콘으로 코어요소를 제조하면, 별도의 가열수단에 의하여 코어수단을 구성하는 코어단위들을 일정 온도 이상으로 예열하여 실리콘 비저항값을 충분히 낮춘 다음에야 한 쌍의 전극부에 연결되어 고정된 각각의 코어단위를 통해 전기가 흐르기 시작하고 코어수단이 비로소 전기가 열될 수 있으므로, 미국특허 제4,179,530호(1979) 및 제5,895,594호(1999)에 예시된 바와 같이, 다결정 실리콘 붕 제조과정에 필요한 코어수단의 예열에는 별도의 예열수단과 복잡한 절차가 요구된다.
- <33> 고순도 실리콘 코어요소를 별도의 예열수단으로 예열하는 것을 대신하여, 적절히 구성된 전력공급계통 및 시스템을 활용하여 코어수단을 실온에서부터 곧바로 전기가 열을 실시하는 기술도 미국특허 제3,941,900호(1976) 및 제4,215,154호(1990)에서 보고된 바 있으나, 전력공급회로 및 시스템의 구성이 복잡하고 비용이 많이 들며 조작 및 제어방법도 까다롭다는 문제점이 있다.
- <34> 이와 같이 별도의 가열수단으로 코어수단을 예열하거나 예열과정 없이 전기가 열을 실온에서 곧바로 실시하기 위한 전력공급수단을 활용하는 방법과는 달리, n-형 또는 p-형 도핑불순물을 많이 주입하여 비저항값이 낮아진 실리콘 재료로 코어요소를 제조한 다음, 높은 전압의 전기를 공급하여 코어수단을 실온에서 곧바로 가열하면서 사전에 정해진 온도 이상부터는 낮은 전압과 높은 전류의 전기로 코어수단을 필요한 대로 가열할 수도 있는데, 이 방법도 아주 넓은 범위에 걸친 전압과 전류의 변화를 커버할 수 있는 복잡한 전력공급수단과 까다로운 조작성을 필요로 하는 문제점이 있다.
- <35> 한편, 실리콘에 비하여 비저항값이 아주 낮은 금속 또는 탄소계 재료와 같은 저항성 재료로 코어요소를 제작하면, 이 코어요소로 구성되는 코어단위별로 석출되는 실리콘이 비실리콘계 코어요소의 사용에 따른 불순물 오염 위험성이 뒤따르지만, 비교적 낮은 전압의 전기를 코어수단에 공급함으로써 별도의 예열과정 없이 실온에서 석출반응온도까지의 전기가 열이 수월하게 이루어질 수 있는 장점이 있다.
- <36> 예를 들어, 미국특허 제5,277,934호(1994) 및 제5,284,640호(1994)에서는 텅스텐 또는 탄탈륨을, 미국특허 제5,327,454호(1994)에서는 몰리브덴, 텅스텐 또는 지르코늄이 실리콘을 대신하여 코어요소로 사용될 수 있음을 설명하고 있다.
- <37> 이와 같이 저항성 재료로 비실리콘계 코어수단을 구성하는 것은 아주 편리하고 경제적으로도 유익한 측면이 있지만, 상업적인 생산에는 활용되기 어려운데, 이는 반도체급 다결정 실리콘의 순도와 관련된 요구조건이 점차 까다로워지고 있음에도 불구하고 비실리콘계 코어수단을 구성하는 코어단위들의 코어요소에 포함된 불순물 성분이 실리콘 석출부를 오염시킬 가능성이 있기 때문이다.
- <38> 이러한 문제는 O'Hara 등의 상기 참고문헌(1990)에 설명된 바와 같이 선행기술에 의해서도 밝혀진 바 있는데, 실리콘 코어수단을 대신하여 금속 와이어(wire)형 코어단위들을 코어수단으로 사용하는 경우에는 실리콘 붕을 손쉽게 얻을 수 있는 장점이 있지만, 얻어지는 실리콘 붕에서 실리콘 석출부와 코어수단을 분리해야 하는 문제점과 함께, 코어요소인 금속 와이어의 불순물 성분이 고온에서 형성되는 실리콘 석출부를 오염시킬 수 있는 문제점이 단점으로 지적된 바 있다.
- <39> 그럼에도 불구하고, 실리콘 석출반응기에서 고순도의 다결정 실리콘을 값싸게 제조하기 위하여 저항성 재료의 코어수단을 활용함에 있어서 장애요인이 되는 실리콘 붕과 코어수단의 분리문제나, 특히 코어요소의 금속 불순물 성분으로 인한 다결정 실리콘 붕의 오염문제를 해결해 줄 수 있는 효과적인 방안이 아직 제시되지 못하고 있는 실정이다.
- <40> 이상에서 설명한 바와 같이, 종형 반응기에서 코어수단의 예열과 관련하여, 전력공급 및 제어 시스템, 코어수단 제조 및 가공 장치 등에 소요되는 투자비, 반응기 조작 및 제어, 반응기 생산성, 그리고 제조원가 등을 개선할 수 있는 기술적 해결방안의 확보는 붕 형상의 다결정 실리콘을 상업적으로 대량 생산하는데 필요한 중요한 기술적 과제가 되고 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- <41> 따라서, 본 발명의 목적은 코어수단의 예열과 관련하여 장치비, 장치의 조작 및 제어, 반응기의 생산성, 그리고 제조원가 등에 가해지는 부정적 요인들을 제거하거나 경감하기 위한 방법과 수단을 제공하는 것이다.
- <42> 그리고, 본 발명은 봉 형상의 다결정 실리콘 제조공정을 상업적으로 구성하고 활용함에 있어서, 석출반응기의 내부공간에 저항성 재료로 이루어진 제1코어수단과 실리콘 재료로 이루어진 제2코어수단을 함께 설치한 뒤, 상기 제1코어수단을 전기적으로 먼저 가열하고, 상기 제1코어수단에 의하여 상기 제2코어수단을 예열함으로써, 상기 제2코어수단을 전기적으로 손쉽게 가열할 수 있게 하는 데에 그 목적이 있다.
- <43> 더불어, 본 발명은 상기 제2코어수단의 예열기 기능을 담당하는 상기 제1코어수단 표면의 외부방향으로도 실리콘이 석출되도록 하여 상기 제1코어수단 표면과 상기 제2코어수단 표면의 외부방향으로 실리콘이 동시에 석출될 수 있도록 함으로써, 석출반응기의 생산능력을 저하시키지 않고 코어수단 예열문제를 해결할 수 있도록 하는 데에 또 다른 목적이 있다.
- <44> 이 밖에도, 본 발명은 봉 형상의 다결정 실리콘의 제조에 사용되고 있는 기존의 석출반응기에 대해서도 고순도 실리콘 재질 코어수단의 예열문제를 손쉽게 해소할 수 있는 방법과 수단을 제공하는 목적도 지니고 있다.
- <45> 한편, 본 발명은 실리콘 석출반응기 내부에서 반도체급 다결정 실리콘과 태양전지급 다결정 실리콘을 동시에 제조할 수 있는 석출반응기 구성 및 운전방법과 수단을 제공하는 목적도 지니고 있다.
- <46> 그리고, 본 발명은 봉 형상의 고순도 실리콘이 아닌 재료로 이루어진 상기 제1코어수단의 외부방향으로 석출되어 얻어지는 다결정 실리콘이 상기 제1코어수단의 구성재료, 즉, 개별 코어단위를 구성하는 코어요소의 불순물 성분으로 오염되는 것을 최소화할 수 있는 방법과 수단을 제공하는 목적도 함께 지니고 있다.

발명의 구성 및 작용

- <47> 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명을 상세히 설명하면 다음과 같다.
- <48> 상기한 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은, 석출반응기의 내부공간에 설치된 코어수단을 예열 및 전기가열하고 반응가스를 공급하면서 실리콘 석출반응에 의한 봉 형상의 다결정 실리콘을 제조하는 방법에 있어서,
- <49> 상기 석출반응기의 내부공간에 저항성 재료로 이루어진 제1코어수단과 실리콘 재료로 이루어진 제2코어수단을 함께 설치하는 단계와; 상기 제1코어수단을 전기가열하고, 전기가열된 상기 제1코어수단에 의해 가열함으로써 상기 제2코어수단을 예열하는 단계와; 예열된 상기 제2코어수단을 전기가열하고, 상기 제1코어수단 및 제2코어수단을 전기가열하는 상태에서 석출반응기의 내부공간에 반응가스를 공급하여 실리콘을 석출하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조방법을 제공한다.
- <50> 선택적으로, 상기 예열된 제2코어수단을 전기가열하는 단계에서, 상기 제2코어수단 전체를 동시에 전기가열하기 시작하거나, 또는 상기 제2코어수단을 다수의 제2코어그룹으로 나눈 뒤 상기 제2코어그룹별로 다른 시점에 전기가열하기 시작할 수 있다.
- <51> 바람직한 실시예로서, 상기 제1코어수단을 400 ~ 3,000 ℃의 온도범위 내에 포함되게 전기가열하여 상기 제2코어수단을 350 ~ 1,000 ℃의 온도범위 내에 포함되게 예열하면서 상기 제1코어수단과 제2코어수단의 온도차가 50 ~ 2,650 ℃의 온도범위 내에 포함되게 하는 것을 특징으로 한다.
- <52> 선택적으로, 상기 제2코어수단을 예열하는 단계에 있어서, 상기 석출반응기의 내부를 절대압 기준으로 1 ~ 20 bar의 범위 내에 포함되는 압력상태로 하여 수소, 질소, 아르곤 및 헬륨 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 가스 분위기로 예열하는 것을 특징으로 한다.
- <53> 바람직한 실시예로서, 상기 제1코어수단 및 상기 제2코어수단을 전기가열하면서 상기 석출반응기 내부에 반응가스를 공급하고, 이를 통해 상기 제1코어수단 및/또는 상기 제2코어수단의 외부방향으로 실리콘을 석출시켜 제1석출부 및/또는 제2석출부를 각각 형성하는 것을 특징으로 한다.
- <54> 바람직한 실시예로서, 상기 반응가스는 모노실란, 이염화실란, 삼염화실란, 사염화실란 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 실리콘 함유 성분을 포함하는 것을 특징으로 한다.
- <55> 선택적으로, 상기 반응가스는 수소, 질소, 아르곤, 헬륨 및 염화수소 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 가스성분을 추가로 포함할 수 있다.
- <56> 바람직한 실시예로서, 상기 석출반응기의 내부공간에서 절대압 기준으로 1 ~ 20 bar 범위 내의 반응압력과 상기 제1석출부 및/또는 제2석출부의 표면에서의 온도를 기준으로 650 ~ 1,300 ℃ 범위 내의 반응온도에서 상기 제1

석출부와 상기 제2석출부 표면에 실리콘을 석출시키는 것을 특징으로 한다.

- <57> 선택적으로, 상기 제1석출부와 상기 제2석출부에서 태양전지급 다결정 실리콘과 반도체급 다결정 실리콘을 각각 제조할 수 있다.
- <58> 그리고, 본 발명은, 실리콘 석출반응이 일어나는 석출반응기를 포함하는 다결정 실리콘 봉의 제조장치에 있어서, 상기 석출반응기는 베이스부와 셸부에 의하여 내부공간이 형성되고; 상기 내부공간에 반응가스를 공급하는 가스공급부와, 상기 내부공간으로부터 배출가스를 배출하는 가스배출부와, 상기 실리콘 석출반응에 필요한 전기가열수단을 포함하되; 상기 전기가열수단은 전극부와 코어수단으로 구성되고; 상기 코어수단은 저항성 재료로 이루어진 제1코어수단과 실리콘 재료로 이루어진 제2코어수단으로 나뉘어 구성되며; 상기 전극부는 상기 제1코어수단 및 상기 제2코어수단과 각각 연결된 제1전극부와 제2전극부로 나뉘어 전기적으로 독립되어 구성되는 것을 특징으로 하는 혼합된 코어수단을 이용한 다결정 실리콘 봉의 제조장치를 제공한다.
- <59> 바람직한 실시예로서, 상기 제1전극부 및/또는 제2전극부가 상기 베이스부에 설치되는 것을 특징으로 하는 석출반응기가 구성될 수 있다.
- <60> 선택적으로, 상기 제1전극부 및 제2전극부가 각각 하나 또는 다수의 제1전극부 그룹 및 제2전극부 그룹으로 나뉘어 각 전극부 그룹별로 전기가 독립적으로 공급되게 구성될 수도 있다.
- <61> 바람직한 실시예로서, 상기 제1전극부는 제1전력전달수단을 통해 제1전력공급원으로부터 상기 제1코어수단의 가열에 필요한 전기가 독립적으로 공급되게 구성되고, 상기 제2전극부는 제2전력전달수단을 통해 제2전력공급원으로부터 상기 제2코어수단의 가열에 필요한 전기가 독립적으로 공급되게 구성될 수 있다.
- <62> 선택적으로, 상기 제1전력공급원과 제2전력공급원은 별도의 전력변환시스템으로 따로 구성되거나 하나의 종합된 전력변환시스템으로 구성될 수 있다.
- <63> 선택적으로, 하나 또는 다수의 석출반응기에 포함되는 제1코어수단이 상기 제1전력공급원에 의하여 전기적으로 상호 연결되거나 그리고/또는 하나 또는 다수의 석출반응기에 포함되는 상기 제2코어수단이 제2전력공급원에 의하여 전기적으로 상호 연결되는 것을 특징으로 다결정 실리콘 봉의 제조장치를 구성할 수 있다.
- <64> 바람직한 실시예로서, 상기 제1코어수단 또는 제2코어수단은 단면이 원, 타원 또는 다각형(삼각형, 사각형, 육각형, 팔각형 등)인 로드(rod), 와이어(wire), 필라멘트(filament), 바(bar), 스트립(strip) 및 리본(ribbon)과, 단면이 동심원, 동심타원 또는 동심다각형인 도관(conduit), 튜브(tube), 실린더(cylinder) 및 덕트(duct) 중에 선택된 형태를 가지는 것을 특징으로 한다.
- <65> 바람직한 실시예로서, 상기 저항성 재료는 텅스텐(W), 레늄(Re), 오스뮴(Os), 탄탈륨(Ta), 몰리브덴(Mo), 노브(Nb), 이리듐(Ir), 루테튬(Ru), 테크네튬(Tc), 하프늄(Hf), 로듐(Rh), 바나듐(V), 크롬(Cr), 지르코늄(Zr), 백금(Pt), 토륨(Th), 란타늄(La), 티타늄(Ti), 루테튬(Lu), 이트륨(Y), 철(Fe), 니켈(Ni) 및 알루미늄(Al) 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 금속원소를 포함하는 금속 또는 합금일 수 있다.
- <66> 또는 상기 저항성 재료는 몰리브덴규소화물(Mo-Si), 란타늄크롬화물(La-Cr-O) 및 지르코니아 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 성분을 포함하는 세라믹 금속재료일 수 있다.
- <67> 또는 상기 저항성 재료는 무정형탄소, 흑연 및 실리콘카바이드(SiC) 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 성분을 포함하는 탄소계 재료일 수 있다.
- <68> 바람직한 실시예로서, 상기 실리콘 재료는 다결정 또는 단결정의 순수 실리콘 및/또는 도핑된 실리콘인 것을 특징으로 한다,
- <69> 선택적으로, 상기 제1코어수단은 상기 저항성 재료로 만들어진 제1코어요소의 표면에 단수 또는 복수의 분리층을 형성시킨 것으로 구성할 수 있다.
- <70> 이때, 상기 분리층이 1 가지 이상 5 가지 이하 종류의 층으로 이루어지고, 상기 각 층을 이루는 분리기능성분이 실리콘(Si)의 질화물, 산화물, 탄화물 또는 산화질화물을 포함할 수 있다.
- <71> 또는 상기 각 층을 이루는 분리기능성분이 텅스텐(W), 레늄(Re), 오스뮴(Os), 탄탈륨(Ta), 몰리브덴(Mo), 노브(Nb), 이리듐(Ir), 루테튬(Ru), 테크네튬(Tc), 하프늄(Hf), 로듐(Rh), 바나듐(V), 크롬(Cr), 지르코늄(Zr), 백금(Pt), 토륨(Th), 란타늄(La), 티타늄(Ti), 루테튬(Lu) 및 이트륨(Y) 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 금속원소의 질화물, 산화물, 규소화물, 탄화물, 산화질화물 또는 산화규소화물을 포함할 수 있다.

- <72> 선택적으로, 상기 제1코어수단에서 상기 제1코어요소의 표면에 형성된 분리층(C1b)의 두께의 합이 10 nm ~ 20 nm인 것을 특징으로 한다.
- <73> 선택적으로, 상기 제1코어수단에 포함되는 제1코어단위는 분리층 형성 여부에 관계없이 400 ~ 3,000 °C의 온도 범위 내에 포함되는 온도에서 열처리되며, 이러한 열처리를 상기 석출반응기 또는 재래식 석출반응기 내에서 실시할 수 있다.
- <74> 한편, 상기 분리층에 실리콘을 분리기능성분으로 하는 실리콘층을 1 μm ~ 10 mm의 범위에 포함되는 두께로 추가하여 상기 제1코어수단을 구성할 수 있다.
- <75> 이때, 상기 분리기능성분으로 이루어진 다수의 분리층 구성단위로 상기 제1코어요소의 표면을 에워싸도록 하여 상기 분리층을 형성시켜 상기 제1코어수단을 구성할 수 있다.
- <76> 반면에, 상기 분리기능성분을 상기 제1코어요소의 표면에 코팅하여 상기 분리층을 형성할 수 있다.
- <77> 선택적으로, 상기 분리층의 일부 또는 전체를 상기 석출반응기 또는 재래식 석출반응기 내에서 형성할 수 있다.
- <78> 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명에 대해 더욱 상세히 설명하면 다음과 같다.
- <79> 본 발명은 중형 또는 벨자형(bell-jar type)과 튜브형 또는 챔버형 등의 형태와 구조에 관계없이 봉 형상의 다결정 실리콘 제조를 목적으로 하는 모든 석출반응기에 적용될 수 있으며, 상업적으로는 벨자(Bell-jar)형 석출반응기 또는 지멘스(Siemens) 반응기라고도 불리는 중형 석출반응기(이하, '중형 반응기'라 함)가 가장 많이 활용되어 오고 있으므로, 본 명세서에서는 이러한 중형 반응기를 기준으로 본 발명을 설명하기로 한다.
- <80> 도 1에 예시된 바와 같이, 석출반응기는 셸(Rs)과 베이스부(Rb)에 의하여 형성된 밀폐된 내부공간(Ri)을 가지며, 상기 내부공간(Ri)에는 단수 또는 복수의 코어단위로 구성되는 코어수단(C1,C2)이 설치된다.
- <81> 상기 코어단위는 셸(Rs) 및 베이스부(Rb)의 외부에 설치되는 전력공급원(V1,V2)으로부터 전력전달수단(T1,T2)을 통해 전기가 공급되는 전극부(E1,E2)에 의하여 기계적으로 고정되고 전기적으로 상호 연결된다.
- <82> 하나 또는 소수의 코어단위만이 코어수단에 포함되어 코어단위별로 한 쌍의 전극부에 연결되어 이루어지는 소형 실험실 규모의 석출반응기와 달리, 다결정 실리콘 봉의 상업적 대량 생산의 목적으로 이용되는 재래식 석출반응기에서 코어수단(C1,C2)에는 수십 ~ 수백 개의 코어단위들이 포함되고, 이들 코어단위들은 코어요소의 재료성분이나 형태 면에서 서로 동일하다.
- <83> 본 발명에서 코어수단(core means)이라 함은 석출반응에 의한 실리콘 석출부 형성의 출발점이 되는 기면(基面; substrate)을 이루는 단수 또는 복수의 코어단위(core units)의 집합을 나타내며, 각각의 코어단위는 코어요소(core element)를 재료로 하여 가공 또는 제작된다.
- <84> 그리고, 다수의 코어단위들은 직렬 및/또는 병렬형식으로 전기적으로 상호 연결될 수 있고, 각각의 코어단위에서는 실리콘 석출이 거의 동일하게 진행되므로, 본 발명에서는 개별 코어단위별 조작방법이나 현상 및 특성을 코어수단이라는 집합체로 대변하여 설명하기로 한다.
- <85> 상기 코어수단(C1,C2)을 실리콘 석출에 필요한 온도 이상으로 가열하면서 석출반응기 내부공간(Ri)에 반응가스(Gf)를 공급하면, 코어수단(C1,C2) 표면에 실리콘이 석출되기 시작하여 코어수단(C1,C2) 외부방향으로 실리콘 석출부(D1,D2)가 형성되어 봉 형상의 다결정 실리콘이 제조되는데, 각각의 코어단위는 반응기 운전으로 얻어질 개별 단위의 다결정 실리콘 봉의 기본골격이 된다.
- <86> 본 발명의 특징은, 석출반응기의 내부공간에 설치되는 다수의 코어수단(C1,C2)이 실리콘 재료 또는 비실리콘계 재료 가운데서 선택된 한 가지 종류만으로 구성되는 종래의 방식과 달리, 석출반응기의 내부공간(Ri)에 설치되는 코어수단(C1,C2)이 비실리콘계 저항성 재료의 코어요소로 구성되는 제1코어단위의 집합체를 대변하는 제1코어수단(C1)과, 실리콘계 재료의 코어요소로 구성되는 제2코어단위의 집합체를 대변하는 제2코어수단(C2) 등과 같이 두 가지 또는 그 이상의 종류로 하여 전극부와 함께 석출반응기 내부에서 전기가열수단을 구성하는 코어수단이 구성된다는 점이다.
- <87> 특히, 본 발명에 있어서, 코어단위를 이루는 코어요소의 차이를 기준으로 하여 코어수단(C1,C2)을 두 가지 종류로 분류하는 이유는, 제1코어단위를 이루는 저항성 재료를 먼저 전기가열하여 가열된 개별 제1코어단위 주변에 설치된 다수의 제2코어단위를 이루는 실리콘 재료가 복사 위주의 열전달로 자연스럽게 예열되도록 하기 위함이며, 이를 통해 실리콘 자체의 비저항값도 충분히 낮아지게 하여 제2코어단위의 전기가열이 손쉽게 빨리 이루어

지도록 하기 위함이다.

- <88> 여기서, 본 발명의 주안점을 보다 확장하여, 다수의 제1코어수단을 구성하는 저항성 재료를 전기적 특성이 다른 두 가지의 재료를 사용하여 제1a코어수단과 제1b코어수단으로 구분하여 구성할 수 있다.
- <89> 이 경우, 상기 제1a코어수단과 제1b코어수단을 동시에 또는 순차적으로 전기를 공급하여 가열함으로써, 가열된 제1a코어수단과 제1b코어수단의 주변에 설치된 다수의 제2코어수단의 실리콘 재료가 복사 위주의 열전달로 자연스럽게 예열되도록 하고, 이를 통해 실리콘 자체의 비저항값이 충분히 낮아지게 하여 제2코어수단의 전기가열이 손쉽게 빨리 이루어지도록 할 수도 있다.
- <90> 이하, 저항성 재료의 코어요소로 구성되는 제1코어단위 집합체를 대변하는 제1코어수단(C1)과 고순도 실리콘 재료의 코어요소로 구성되는 제2코어단위 집합체를 대변하는 제2코어수단(C2)을 실리콘 석출반응기 내부공간(Ri)에 함께 설치하는 것을 기준으로 하여 더욱 상세히 설명하기로 한다.
- <91> 여기서, 고순도 실리콘 재료라 함은 순수 실리콘(intrinsic silicon) 또는 필요한 도핑제(dopant)를 함유한 도핑된 실리콘(doped silicon)을 말하며, 불필요한 불순물 성분의 농도가 허용범위 내에 포함될 정도로 낮은 재료를 포함한다.
- <92> 상기 제1코어수단(C1)과 제2코어수단(C2)에 포함되는 코어단위들은 제1전극부(E1)와 제2전극부(E2)에 각각 전기적으로 연결되고 동시에 기계적으로 고정되는데, 각 코어수단을 이루는 코어단위는 개별적으로 한 쌍의 전극부에 전기적으로 연결된다.
- <93> 본 발명에서 저항성 재료의 제1코어수단(C1)은 제1전극부(E1)와 함께 석출반응기 내부에서의 제1전기가열수단을 구성하며, 석출반응기 외부의 제1전력공급원(V1)으로부터 제1전력전달수단(T1)을 통해 제1전극부(E1)에 공급되는 비교적 낮은 전위차의 전류에 의하여 실온에서부터 필요한 예열온도로 손쉽게 빨리 전기가열될 수 있다.
- <94> 반면, 제2코어수단(C2)은 제2전극부(E2)와 함께 석출반응기 내부에서의 제2전기가열수단을 구성하며, 석출반응기 외부의 제2전력공급원(V2)으로부터 제2전력전달수단(T2)을 통해 제2전극부(E2)에 공급되는 전기를 공급받을 수 있게 구성되어 있다.
- <95> 그러나, 고순도 실리콘 재료는 비저항이 너무 높아 전위차가 아주 높지 않으면 실온에서 전기가열되지 못하기 때문에, 많은 수의 제2코어단위로 구성되는 제2코어수단(C2)은 필요한 온도 이상으로 예열되지 않고서는 평범한 전력공급원을 사용하여 전기가열하기가 매우 어렵다.
- <96> 따라서, 본 발명에 따라 실온에서 석출반응기의 가열을 시작하기 위하여, 제2코어수단(C2)에는 전기를 공급하지 않으면서 제1코어수단(C1)을 먼저 전기가열하는 것이 필요하다.
- <97> 이와 같이 제1코어수단(C1)을 먼저 전기가열하는 경우에 전기가열되지 못한 제2코어수단(C2)은 제1코어수단(C1) 인근에 설치된 상태에서 먼저 전기가열된 제1코어수단(C1)에 의하여 자연스럽게 예열되어 온도가 점차 올라간다.
- <98> 한편, 반응가스 또는 실리콘 함유 성분이 없는 불활성 가스를 높은 온도로 예열한 뒤 가스공급부(Nf) 또는 별도의 가스공급수단을 통하여 석출반응기 내부공간(Ri)으로 공급하여 제1코어수단(C1)이나 제2코어수단(C2)을 가열할 수도 있다.
- <99> 하지만, 이러한 고온 가스로는 부피가 아주 큰 상업생산용 반응기 내부에 설치된 코어수단들(C1, C2), 특히 제2코어수단(C2)을, 실리콘 비저항값이 약 2 ~ 5 ohm-cm 이하로 낮아지게 되는 약 350 ~ 400 °C 이상에서 실리콘이 도체의 성질을 드러내는 1,000 °C 이하의 범위 내에서 가급적 높은 온도로 허용 가능한 시간범위 이내에 가열하는 것은 현실적으로 불가능하다.
- <100> 따라서, 본 발명에서 제시하는 바와 같이, 전기가열된 제1코어수단(C1)에 의하여 제2코어수단(C2)을 350 ~ 1,000 °C의 온도범위 내에 포함되는 온도로 예열하면, 제2코어수단(C2)에 큰 어려움 없이 전류가 흐를 수 있게 되어 제2코어수단(C2)의 전기가열이 가능해지며, 이때 예열온도가 높을수록 보다 낮은 전위차의 전기로도 손쉽게 전기가열이 가능해진다.
- <101> 상기와 같이 전기적으로 먼저 가열된 제1코어수단(C1)으로 제2코어수단(C2)을 예열하는 과정에 있어서, 내부공간(Ri)의 압력은 특별한 제약은 없지만 설비 부담이 뒤따르는 고진공을 대신하여 상압 근처로 유지하여도 좋고, 실리콘 석출운전을 대비하여 절대압 기준으로 1 ~ 20 bar의 범위 내에 포함되는 압력으로 미리 유지되어도 좋다.

- <102> 그리고, 상기의 예열 과정에 있어서, 내부공간(Ri)은 수소, 질소, 아르곤, 헬륨 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 가스의 분위기로 이루어지는 것이 바람직하다.
- <103> 이를 위하여 가스공급부(Nf) 또는 별도의 가스공급수단을 통해 상기의 선택된 가스를 흘리는 것도 좋은데, 이 경우 가스공급 유량은 코어수단(C1,C2)이 냉각되지 않는 범위에서 설정하면 좋다.
- <104> 열전달 특성상 온도가 올라갈수록 온도가 서로 다른 고체표면 상호 간의 복사에 의한 열전달이 고체표면 가열을 더욱더 지배하는 요인이 됨을 고려한다면, 제2코어수단(C2)의 예열은 전기적으로 미리 가열된 제1코어수단(C1)로부터의 복사가열에 의하여 주도적으로 시작되고, 예열과정이 진행됨에 따라 다른 인근 제2코어수단(C2)들과의 복사 열전달에 의해서도 영향을 받는다.
- <105> 예열된 제2코어수단(C2)의 온도, 즉 T(C2)가 350 ~ 1,000 °C의 온도범위 이내로 포함되도록 제1코어수단(C1)의 보다 높은 온도, 즉 T(C1)을 이용함에 있어서, 예열온도 T(C2)가 높아질수록 제2코어수단(C2)의 전기가열이 쉽게 시작될 수 있음을 고려하여, 제1코어수단(C1)의 전기가열을 조절하여 두 가지 코어수단의 온도차, 즉 $\Delta T = T(C1) - T(C2)$ 와 T(C1) 값을 적절히 선택하는 것이 바람직하다.
- <106> 본 발명에 있어서, 상기 제2코어수단(C2)의 예열과정 동안 상기 제1코어수단(C1)을 400 ~ 3,000 °C의 온도범위 내에 포함되게 미리 전기가열하는 것이 좋으며, 이때 제1코어수단(C1)과 제2코어수단(C2)의 온도차, 즉 ΔT 값이 50 ~ 2,650°C의 범위 내에 포함되게 하는 것이 바람직하다.
- <107> 만일, $\Delta T < 50$ °C이고 T(C1) < 400 °C이면, T(C2) = 350 °C 가 되게 제2코어수단(C2)을 예열하기는 현실적으로 매우 어렵다.
- <108> 반면에 $\Delta T > 2,700$ °C의 정도로 예열과정 초기에 복사가열을 증가시키고자 T(C1) > 3,000 °C로 유지하면, 제1코어수단(C1) 자체의 용융 가능성이 있을 뿐만 아니라, 그 주변에 인접한 실리콘 재료의 제2코어수단(C2)이 용융될 위험성이 너무 높아진다.
- <109> 보다 바람직하게는 제2코어수단(C2)의 예열온도가 400 ~ 900 °C의 온도범위 내에 포함되게 하여 실리콘 비저항 값을 약 0.03 ~ 2 ohm-cm의 범위 내로 낮추면 좋다.
- <110> 보다 더 바람직하게는 비저항값이 약 0.1 ohm-cm 보다 낮아 실리콘이 도체의 특성을 나타내는 750 ~ 850 °C의 온도범위 내에 포함되게 예열하는 것도 좋은데, 이에 따르면 실리콘 코어요소 용융 위험성도 낮추면서 예열시간도 단축시킬 수 있고, 제2코어수단(C2)의 전기가열이 낮은 전압에서 수월하게 시작될 수 있게 된다.
- <111> 이러한 제한된 온도범위의 예열을 위해서는 제1코어수단(C1)이 바람직하게는 500 ~ 2,500 °C의 온도범위, 더욱 바람직하게는 800 ~ 2,000 °C의 온도범위 내에 포함되게 전기가열되어도 무방하다.
- <112> 본 발명에 따른 예열과정에 있어서, 상기 제1코어수단(C1) 및/또는 제2코어수단(C2)을 실리콘 석출에 필요한 반응온도보다 높게 각각 전기가열하거나 예열하여도 문제가 없다.
- <113> 예를 들어, 실리콘 원소가 함유된 성분으로서 모노실란(SiH₄)을 포함하는 반응가스(Gf)를 반응원료로 사용하여, 반응온도를 약 650 ~ 800 °C의 온도범위로 하는 경우, 제2코어수단(C2)이 이보다 높은 온도로 예열된 다음 전기가열이 시작되면 반응가스의 공급과 더불어 두 코어수단(C1,C2)에 공급되는 전력을 반응온도 유지에 준하여 제어하는 것은 어렵지 않다.
- <114> 본 발명에 따라 T(C2)가 350 ~ 1,000 °C의 온도범위 내에 포함되도록 제2코어수단(C2)을 예열하여 실리콘 재료의 비저항을 충분히 낮춘 다음, 제2전력공급원(V2)으로부터 제2전극부(E2)를 통해 비교적 낮은 전위차의 전기를 공급하기 시작하면, 실리콘 석출반응에 필요한 반응온도(Tr)로 대변되는 사전에 정해진 허용 온도범위 내에서 제2코어수단(C2)의 온도가 유지할 수 있게 전기가열할 수 있다.
- <115> 이때, 제2코어단위들이 직렬 및/또는 병렬형식으로 상호 연결되어 이루어진 제2코어수단(C2)의 온도가 상기 반응온도(Tr) 수준으로 유지 또는 제어되게 전기적으로 수월하게 가열할 수 있는지의 여부는, 실리콘 재료의 비저항과 같은 전기적 성질 이외에도 제2코어수단(C2)에 포함된 제2코어단위의 수, 제2전극부(E2)와의 접촉특성 등과 같이 석출반응기의 전기회로상의 구성방식과 조립상태로부터도 직접 영향을 받는다.
- <116> 이 때문에, 허용되는 전위차 및 전류 범위 내에서 제2코어수단(C2)을 손쉽게 전기가열할 수 있도록 350 ~ 1,000 °C의 온도범위 내에서 예열온도를 실험적으로 최적화하고, 앞서 전기가열되고 있는 제1코어수단(C1)의 온도를 400 ~ 3,000 °C의 온도범위 내에서 선택한 뒤 ΔT 값을 최소 약 50 °C 이상의 범위에서 일정하게 또는 시간에

따라 변화시키는 것이 바람직하다.

- <117> 상기와 같이 예열과정을 거친 뒤 제2코어수단(C2)에 전기를 공급하기 시작하여 T(C2)가 본격적으로 상승하기 시작하면, 반응가스의 조성 및 사전에 정해진 운전조건에 따라 650 ~ 1,300 °C의 온도범위 내에 포함되는 반응온도(Tr)가 일정하게 유지되거나 시간에 따라 변화할 수 있게 제1전력공급원(V1)과 제2전력공급원(V2)을 제어하면서 해당 코어수단(C1,C2)에 전기를 각각 공급한다.
- <118> 본 발명에 있어서, 상기 제1코어수단(C1)과 제2코어수단(C2)은 단수 또는 복수의 제1코어단위와 제2코어단위로 각각 구성되고, 개별 코어단위는 한 쌍의 전극부에 연결되며, 각 코어수단에 포함된 코어단위들이 독립적으로 또는 직렬 및/또는 병렬형식으로 상호 연결되게 전력공급계통이 구성될 수 있다.
- <119> 예를 들어, 도 1에는 제1코어수단(C1)이 1개의 제1코어단위로 이루어지는 동시에 한 쌍의 제1전극부(E1)를 통해 제1전력공급원(V1)이 전기적으로 연결되고, 제2코어수단(C2)이 2개의 제2코어단위가 직렬형식으로 상호 연결되어 이루어지는 동시에 두 쌍의 제2전극부(E2)를 통해 제2전력공급원(V2)이 전기적으로 연결된 전력공급계통이 예시되어 있다.
- <120> 도 1에 예시된 석출반응기에 대해 본 발명을 실시한다면, 석출반응기의 내부공간(Ri)에 저항성 재료로 이루어진 제1코어수단(C1)과 실리콘 재료로 이루어진 제2코어수단(C2)을 함께 설치한 뒤, 상기 제1코어수단(C1)을 전기가 열하고, 이와 같이 전기가 열된 제1코어수단(C1)에 의해 제2코어수단(C2)을 예열하며, 이후 예열된 제2코어수단(C2)을 전기가 열함으로써, 반응가스(Gf) 공급을 통한 다결정 실리콘 붕의 제조가 시작될 수 있다.
- <121> 적은 수의 코어단위로 이루어진 도 1의 예와는 달리, 실제 붕 형상의 다결정 실리콘을 상업적으로 대량 생산하기 위해 본 발명을 적용함에 있어서는, 코어수단을 구성하는 코어단위의 수가 보통 수십 ~ 수백 개에 이르고 있음을 고려할 필요가 있다.
- <122> 앞에서 설명한 바대로 석출반응기 셸(Rs)의 직경이 아주 큰 석출반응기에 있어서는 코어단위의 수가 아주 많아 전극부 위치나 전기회로 구성 및 조작방법에 따라 코어단위별로 온도차가 크게 발생할 가능성이 있다.
- <123> 이 코어단위 사이의 온도차 문제는, 실리콘 석출 과정에서뿐만 아니라, 제2코어수단(C2)의 예열을 위해 제1코어수단(C1)을 전기가 열되기 시작하는 시점부터 예열된 제2코어수단(C2)을 전기가 열하기 시작하는 시점에 이르기까지 발생할 수 있는 바, 이를 석출반응기의 설계 및 운전에 고려할 필요가 있다.
- <124> 적은 수의 제1코어단위로 구성되는 제1코어수단(C1)을 전기가 열함에 있어서는 제1코어수단(C1) 전체를 동시에 전기가 열하기 시작할 수도 있고, 많은 수의 제1코어단위가 사용되는 경우에는 제1코어수단(C1)을 다수의 코어그룹으로 나눈 뒤 코어그룹별로 다른 시점에 전기가 열하기 시작함으로써 예열과정에서의 코어단위 간 온도차 문제를 경감시키거나 방지할 수도 있다.
- <125> 한편, 예열된 제2코어수단(C2)을 전기가 열함에 있어서도, 제2코어단위의 수가 아주 많고 코어단위별 온도차가 크게 발생하는 경우, 예열이 아주 부족한 제2코어단위에서는 해당 전극부에 가해지는 전위차로 전류가 형성되기 어려우므로, 전기가 열이 시작되기 어렵고, 예열과정이 연장되어야 할 필요성이 있다.
- <126> 또한 적은 수의 제2코어단위로 구성되는 제2코어수단(C2)을 전기가 열함에 있어서는 제2코어수단(C2) 전체를 동시에 전기가 열하기 시작하여도 좋고, 많은 수의 제2코어단위가 사용되는 경우에는 제2코어수단(C2)을 다수의 코어그룹으로 나눈 뒤 코어그룹별로 서로 다른 시점에 전기가 열을 시작하는 것도 좋다.
- <127> 많은 수의 제2코어단위에 대한 전기공급을 코어그룹별로 나누어 시작하면, 제1코어단위만으로 제대로 예열되기 어려운 위치의 제2코어단위의 그룹은 전기적으로 먼저 가열되기 시작한 인근 제2코어단위의 코어그룹에 의해 보다 빨리, 효과적으로 예열될 수 있기 때문에 전기가 열을 보다 빨리 시작할 수 있게 된다.
- <128> 실리콘 코어단위들은 단면적이 작기 때문에, 예열과정으로 비저항이 충분히 낮아져 전기가 열되기 시작하면, 빠른 시간 내에 석출반응 온도범위에 도달할 수 있게 되어, 결국 본 발명에서 제2코어수단의 코어그룹별로 전기가 열을 시작하는 시점의 차이는 크지 않다.
- <129> 반면, 제1코어수단(C1) 및/또는 제2코어수단(C2)의 전기가 열의 시작시점을 각 코어수단의 코어그룹별로 나누고자 한다면, 코어수단별 전기공급시스템을 추가적으로 세분화하여 코어그룹별로 스위칭할 수 있게 하거나 전력을 달리 제어하면서 공급할 수 있게 하는 부담이 뒤따라므로, 코어그룹의 수를 불필요하게 많이 구분하지 않는 것이 바람직하다.
- <130> 한편, 도 2a ~ 도 2f에 예시된 바와 같이, 본 발명에 따른 코어단위 및 해당 전극부의 설치위치가 상하 및/또는

좌우 대칭이 되게 규칙적으로 설정될 수 있으며, 이는 제2코어수단(C2)의 예열에도 크게 영향을 미칠 수 있으므로 코어그룹의 수와 배치방법의 결정에 함께 고려되는 것이 필요하다.

- <131> 만약, 실리콘 재질의 코어수단을 예열할 수 있게 별도의 예열수단을 포함하는 기존 석출반응기에 본 발명을 적용하고자 할 때에는 제2코어수단(C2)의 예열과정에 별도의 예열수단을 함께 활용하는 것을 고려하여 제1코어수단(C1)의 구성 단위의 수와 배치방법을 결정하여도 좋다.
- <132> 상기와 같이 제1코어수단(C1)과 제2코어수단(C2)을 석출반응기의 내부공간(Ri)에 함께 설치한 뒤 제1코어수단(C1)의 전기가열을 통해 제2코어수단(C2)을 예열하는 과정은, 수소, 질소, 아르곤 및 헬륨 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 가스성분 분위기 하에서 실시하는 것이 바람직하지만, 예열과정 도중에 상기 내부공간(Ri)에 반응가스(Gf)를 공급하여 제1코어수단(C1) 및/또는 제2코어수단(C2)의 표면에 실리콘 석출을 실시하여도 무방하다.
- <133> 예를 들어, $T(C2) > 500 \sim 600 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 정도로 제2코어수단(C2)의 예열이 상당히 이루어지면 제2코어수단(C2)의 전기가열을 시작하기 전에 석출반응기 내부공간(Ri)에 반응가스(Gf)를 공급하여 온도가 높은 제1코어수단(C1)의 표면을 중심으로 본격적인 실리콘 석출을 실시할 수 있다.
- <134> 다만, $T(C2)$ 가 아직 낮거나 반응가스가 제대로 예열되어 공급되지 못하면, 제2코어수단(C2)이 반응가스(Gf)의 공급에 의하여 냉각될 수 있고, 제2코어수단(C2)의 전기가열 시작시점이 크게 지연될 가능성이 있으므로, 조심하여야 한다.
- <135> 보다 안전하게 실리콘을 석출하고자 한다면, 제2코어수단(C2)의 예열이 제대로 완성되고 전기가열이 시작된 다음에, 제1전력공급원(V1)와 제2전력공급원(V2)의 조정으로 제1코어수단(C1)과 제2코어수단(C2) 모두 반응온도 허용범위 이내에서 안정적으로 유지될 수 있을 때, 석출반응기의 내부공간(Ri)에 반응가스(Gf)를 공급하기 시작하는 것이 바람직하다.
- <136> 본 발명에 따른 석출반응기는 실리콘 석출반응에 필요한 전기가열수단을 포함하는데, 이 전기가열수단은 전극부(E1,E2)와 코어수단(C1,C2)로 구성된다.
- <137> 여기서, 코어수단(C1,C2)은 저항성 재료로 이루어진 제1코어수단(C1)과, 실리콘 재료로 이루어진 제2코어수단(C2)로 나뉘어 구성되고, 전극부(E1,E2)는 제1코어수단(C1)과 제2코어수단(C2)에 각각 연결된 제1전극부(E1)와 제2전극부(E2)로 나뉘어 전기적으로 독립되어 구성된다.
- <138> 이와 같이 구성된 석출반응기를 이용하여, 제1전극부(E1)과 제2전극부(E2)로 나뉘어 전기적으로 독립되어 연결된 제1코어수단(C1) 및/또는 제2코어수단(C2)을 전기가열하면서, 석출반응기 내부에 단수 또는 복수의 가스공급부(Nf)를 통해 반응가스(Gf)를 공급하여, 실리콘 석출을 통해 다결정 실리콘 붕을 제조할 수 있다.
- <139> 본 발명에 의한 코어수단(C1,C2) 별 코어단위는 전기적 성질 및 물리적 사양과 설치위치에 따른 열전달 및 열손실 특성이 서로 다를 수 있으므로, 제1코어수단(C1)과 제2코어수단(C2) 사이에 온도차이가 발생할 수 있다.
- <140> 실리콘 석출을 위한 중형반응기에서 반응온도(Tr)를 특정 수치로 한정하는 것보다 허용범위로 표시하는 것이 보다 타당한데, 본 발명에 있어서는 제1코어수단(C1)과 제2코어수단(C2)을 전기가열하면서 상호 간의 온도차 값이 $0 \sim 200 \text{ }^\circ\text{C}$ 이내에서 유지되도록, 제1코어수단(C1)과 제2코어수단(C2)에 공급되는 전력을 각각 조절하면서 반응가스(Gf)를 공급하는 것이 바람직하다.
- <141> 실리콘 석출속도 및 반응특성과 각각의 코어수단 외부방향으로 형성되는 실리콘 석출부 단면의 크기, 즉 최대 직경($d1(t), d2(t)$); 여기서, $d1(t)$ 는 도 3 내지 도 7 참조, $d2(t)$ 는 제2코어수단에서 실리콘 석출부 단면의 직경임) 또는 두께의 증가속도가 온도에 크게 좌우되기 때문에, 개별 코어수단을 이루는 코어단위들뿐만 아니라 코어수단 상호 간의 온도차가 최소화되는 것이 바람직하다.
- <142> 만일, 실리콘 석출 도중에 제1코어수단(C1)과 제2코어수단(C2) 상호 간의 온도차이 및 분포의 범위가 $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 보다 크면, $d1(t)$ 과 $d2(t)$ 의 차이가 심해져서, 어느 하나의 코어단위의 $d1(t)$ 또는 $d2(t)$ 값이 최대 허용치에 도달할 때, 나머지 코어단위에서 실리콘 석출부가 충분히 형성되지 못한 상태임에도 석출반응 조업을 중단해야 하는 문제가 생기고, 결국 반응기의 생산성이 나빠진다.
- <143> 따라서, 본 발명을 효과적으로 실시할 수 있도록 석출반응기를 새롭게 설계함에 있어서, 전기가열되는 제1코어수단(C1)을 이용하여 제2코어수단(C2)을 효과적으로 예열할 수 있게 하고, 이와 함께 실리콘 석출 과정에서 코어수단 및 코어단위 상호 간에 발생할 수 있는 온도차 및 온도분포까지도 줄일 수 있게 하는 것이 기본적으로

요구된다.

- <144> 이를 위하여, 석출반응기 셀(Rs) 및 베이스부(Rb)와 이에 포함되는 가스공급부(Gf), 가스배출부(No), 온도측정 수단 및 온도제어시스템 등의 사양 및 특성을 고려하고, 석출반응기 셀(Rs) 내부공간에서의 석출시간에 따른 실리콘 석출부의 공간상의 변화, 가스흐름 및 셀(Rs)의 냉각과 같은 인자들의 영향도 고려하여 각 코어수단에 포함되는 코어단위들을 배치하는 것이 바람직하다.
- <145> 그리고, 코어수단, 코어그룹 또는 코어단위별로 필요한 전력을 제대로 제어하면서 공급하기 위해서는 제어대상 전기회로의 전위차-전류 특성변화를 활용하는 것도 중요하지만, 전력공급체계의 제어에 있어서 측정되는 온도를 활용하는 것도 중요하기 때문에, 파이로미터(pyrometer), 온도분포측정기 등과 같이 상업적으로 활용될 수 있는 비접촉식 온도측정수단을 셀(Rs) 및/또는 베이스부(Rb)의 적정 위치에 다수 설치하고 활용할 수 있게 석출반응기를 설계하는 것이 필요하다.
- <146> 그리고, 석출반응기의 운전과정에서도 코어수단(C1,C2) 상호 간의 온도차 값이 허용반응온도 범위 내에서 최소로 유지될 수 있게 전력공급원(V1,V2) 별로 전력공급 제어변수 및 제어방법을 각각 설정하고, 이에 준하여 제어된 전력을 상기 두 가지 코어수단(C1,C2)에 독립적으로 공급하는 것이 바람직하다.
- <147> 본 발명에서 제1전력전달수단(T1)과 제2전력전달수단(T2)을 통해 제1코어수단(C1)과 제2코어수단(C2)에 소요되는 전력을 각각 공급하는 전력공급원(V1,V2)을 도 1에 예시한 바와 같이 별도의 시스템으로 구성할 수도 있지만, 두 가지 전력공급원(V1,V2)의 기능을 모두 포함하는 단일 전력공급시스템을 구성하여, 상기 두 가지 코어수단(C1,C2)에 필요한 전기를 제1전력전달수단(T1)과 제2전력전달수단(T2)에 독립적으로 분배하여 각각 공급할 수도 있다.
- <148> 본 발명에 있어서, 독립적인 전기공급이라 함은 두 가지 전력공급원(V1,V2)이 별개의 설비로 또는 결합된 단일 설비로 구성되느냐 여부에 관계없이 코어수단, 코어그룹 또는 코어단위별로 전위차 또는 전류를 다르게 제어하면서 공급할 수 있음을 의미한다.
- <149> 그리고, 각 코어수단을 해당 코어단위의 개수, 규격, 전기특성을 고려하여 해당 전극부와 함께 전기회로상으로 직렬 또는 병렬이 되게 상호 연결할 수 있으며, 코어수단별로 따로 설계될 수 있는 이러한 전기회로에 준하여 개별 코어단위에 해당되는 전위차 및 전류 값과 이에 따른 단위 전기가열량이 정해진다.
- <150> 본 석출반응기의 기본 속성상 운전시간에 따라 실리콘 석출부 단면의 크기, 즉 $d_1(t)$ 및 $d_2(t)$ 값이 증가하고, 코어단위의 설치위치에 따라 실리콘 석출부의 온도 및 물리적 형상에 차이가 생길 수 있으므로, 코어단위별, 코어그룹별 또는 코어수단별로 전기적 성질에 차이가 있으며, 이 성질이 시간에 따라서도 달라질 수 있음을 전력공급계통을 구축하고 운전함에 있어서 고려하는 것이 필요하다.
- <151> 한편, 본 발명에 따른 코어수단(C1,C2)에 공급되는 전기는 직류 또는 교류 가운데에서 어떠한 종류를 선택하여도 무방하다.
- <152> 이상에서 설명한 바와 같이, 다결정 실리콘을 붕 형상으로 제조하기 위한 실리콘 석출반응이 일어나는 석출반응기를 본 발명에 따라 구성한다면, 석출반응기는, 베이스부(Rb)와 셸부(Rs)에 의하여 내부공간(Ri)이 형성되고; 상기 내부공간(Ri)에 반응가스(Gf)를 공급하는 가스공급부(Nf)와, 상기 내부공간(Ri)으로부터 배출가스(Go)를 배출하는 가스배출부(No)와, 실리콘 석출반응에 필요한 전기가열수단을 포함하여 구성된다.
- <153> 여기서, 상기 전기가열수단은 전극부(E1,E2)와 코어수단(C1,C2)으로 구성되는데, 상기 코어수단은 저항성 재료로 이루어진 제1코어수단(C1)과, 실리콘 재료로 이루어진 제2코어수단(C2)으로 나뉘어 구성된다.
- <154> 그리고, 상기 전극부는 제1코어수단(C1) 및 제2코어수단(C2)과 각각 연결되는 제1전극부(E1)와 제2전극부(E2)로 나뉘어 구성되되, 상기 제1전극부(E1)와 제2전극부(E2)가 전기적으로 서로 독립되어 구성된다.
- <155> 상기 제1전극부(E1) 및/또는 상기 제2전극부(E2)는 석출반응기 셀(Rs)이나 베이스부(Rb) 어느 곳에 설치되어도 무방한데, 석출반응 시간이 지남에 따라 코어수단(C1,C2) 및 전극부(E1,E2)에 가해지는 실리콘 붕 하중이 계속 증가하므로, 도 1에 예시된 바와 같은 단순한 형태의 코어단위에 대해서는 베이스부(Rb)에 설치되는 것이 구조적 측면에서는 유리하다.
- <156> 만일, 실리콘 붕 하중을 견딜 수 있게 코어단위의 형태와 구조가 설계된다면 전극부(E1,E2)를 냉각수단이 갖춰진 셀(Rs) 및/또는 베이스부(Rb)에 함께 또는 나누어 설치하여도 좋다.
- <157> 본 발명에 있어서, 전극부(E1,E2)는 석출반응기 외부에 위치하는 전력공급원(V1,V2)으로부터 전력공급수단

(T1,T2)을 통해 전달되는 전기나 사전에 정해진 직렬 또는 병렬의 전기적 연결방식에 의하여 인가되는 전기가 코어수단(C1,C2)을 구성하는 코어단위를 통해 흐를 수 있도록 하는 전기적 연결수단이다.

- <158> 코어단위별 한 쌍의 전극부는 코어단위의 입력단자와 출력단자의 기능을 담당하며, 전극부의 상호연결 또는 전기회로적 구성은 코어수단(C1,C2)의 공간적 배치와 사전에 정해진 전력공급시스템의 설정기준에 의해 정해진다.
- <159> 종래의 종형 반응기에 활용되어 온 다양한 형태의 전극부가 본 발명에서도 그대로 사용될 수 있는데, 이 전극부는 다음 요소들 중에서 전부 또는 일부를 선택하여 구성할 수 있다: (i)전기저항값이 낮아 발열이 적은 금속도체로 구성되는 전극; (ii)전력공급용 케이블(cable), 바(bar), 튜브(tube), 샤프트(shaft), 도관(conduit), 형상물(shapes) 등과 같은 전력전달수단(T1,T2)과 전극을 상호 결합시키는 연결부 또는 결합부; (iii)개별 코어단위를 물리적으로 지지하면서 상기 전극 또는 전력전달수단(T1,T2)에 전기적으로 연결해주거나 상기 전극을 지지해 줄 수 있는 탄소계 재료의 연결지지체 또는 척(chuck); (iv)상기 전극 또는 상기 연결지지체를 가스, 물 또는 오일 등의 냉매로 냉각시키기 위한 냉각수단; (v)석출반응기 셸(Rs)이나 베이스부(Rb)를 이루는 금속재료와의 전기적 차단을 위한 절연수단; (vi)상기와 같은 구성요소들의 연결, 실링, 절연 및 조립을 위한 부품 및 피팅류 등.
- <160> 이러한 전극부(E1,E2)의 형태 및 규격의 설정에 있어서는 제조하고자 하는 실리콘 붕의 직경, 해당 코어단위들의 개수와 공간적 배치, 전극부(E1,E2)나 전력전달수단(T1,T2)에 허용될 수 있는 공간, 자체적인 저항 가열을 줄일 수 있는 단면적 등을 고려하는 것이 필요하다.
- <161> 전극부(E1,E2)는 서로 떨어져 설치되고 별도의 전력전달수단(T1,T2)으로 따로 연결될 수도 있지만, 전기적으로 연결되어야 할 다수의 전극부(E1,E2)와 이 전극부(E1,E2) 사이를 연결하는 전력전달수단(T1,T2) 또는 전기적 연결부를 단일 몸체로 필요한 형태로 제작하여 설치하여도 좋다.
- <162> 전극부(E1,E2)의 연결지지체 또는 전기적 연결부는 일반적으로 가공이 용이한 고순도의 흑연재료로 제작되는데, 실리콘 석출부의 탄소불순물 오염 방지를 위하여 표면에 실리콘카바이드(SiC) 등의 기능성 세라믹층을 형성시키는 경우가 많으며, 반응기에 설치할 때에 셸(Rs) 및/또는 베이스부(Rb)의 금속재료와 절연되게 하는 것이 필요하다.
- <163> 전극부의 일부는 반응온도가 높은 내부공간(Ri)에 노출되어 전기절연 또는 실링용 재료의 보호가 필요하므로, 베이스부(Rb), 금속재료의 전극, 절연부품 등의 전체 또는 일부를 순환되는 냉각유체로 냉각하면 좋다.
- <164> 본 발명에서 제1코어수단(C1)과 제2코어수단(C2)별로 해당되는 제1전극부(E1) 및 제2전극부(E2) 각각은 하나 또는 다수의 제1전극부 그룹 및 제2전극부 그룹으로 나뉘고, 전극부 그룹별로 전기가 독립적으로 공급되게 구성할 수 있으며, 그 결과 개별 코어수단을 구성하는 다수의 코어단위들도 전극부 그룹의 분류에 준하여 다수의 코어 그룹으로 구분될 수 있다.
- <165> 본 발명에 있어서, 개별 코어수단을 구성하는 다수의 코어그룹은, 개별 코어단위의 경우와 마찬가지로, 전기회로상으로 직렬 또는 병렬형식으로 서로 연결될 수 있는데, 이러한 연결형식에 따라 전력공급원과 전극부 사이 또는 전극부와 전극부 사이를 전기적으로 연결시켜주는 전력전달수단이 석출반응기 장치와 전력공급시스템에 설치되거나 조립된다.
- <166> 여기서, 전력공급원과 전극부 사이를 전기적으로 연결해주는 전력전달수단은 석출반응기 셸(Rs)과 베이스부(Rb) 외부에 설치되고, 전극부(E1,E2) 상호간을 연결해주는 전력전달수단이나 전기적 연결부는 반응기의 금속재료와 절연만 될 수 있으면 석출반응기 내부나 외부 어디에 설치되어도 무방하다.
- <167> 상기 전력전달수단은 석출반응기 외부에 설치되는 경우 케이블, 바 또는 성형품과 같이 전력손실이 적은 금속도체와 상업적으로 활용 가능한 연결수단을 포함한다.
- <168> 그리고, 상기 전력전달수단이 다수의 전극부(E1,E2) 사이의 전기적 연결을 목적으로 석출반응기 내부, 특히 베이스(Rb) 상부에 절연되어 설치되는 경우에는 금속재료 대신에 흑연재료로 필요한 형태로 제작한 성형품이 사용될 수도 있는데, 이 흑연재료 성형품의 표면에는 물리적 또는 화학적으로 처리된 층이나 실리콘카바이드(SiC) 같은 기능성 세라믹층을 형성시켜 불순물 또는 미세분말 발생을 방지하는 것이 바람직하다.
- <169> 전극부 사이를 연결하는데 사용되는 전력전달수단 또는 전기적 연결부는 그 자체로서 확장된 전극부라 할 수 있는데, 모두 다 단면적이 커서 두드러진 저항 가열 없이 전기가 통한다는 공통점을 지니고 있으므로, 복수의 전극부(E1,E2) 뿐만 아니라 전극부 간 전력전달수단 또는 전기적 연결부를 모두 합쳐 단일 몸체의 성형품 또는 단

일 몸체로 조립될 수 있는 성형품 단위로 제작하여 설치할 수도 있다.

- <170> 이와 같이 다수의 전극부 역할을 갖는 성형품 또는 성형품 단위는 베이스부(Rb)의 상부 또는 하부에 설치되는 수많은 전극부에 필요한 전력전달수단(T1,T2)의 설치에 필요한 공간을 대폭 축소시켜 주고, 전극부와 전력전달수단 사이의 접합부에서 발생하는 전기저항 요인을 배제시켜 주며, 반응기의 설치와 해체를 용이하게 해주는 것은 물론, 안전성 측면에서도 유리해지는 장점을 제공한다.
- <171> 제1코어수단(C1) 및 제2코어수단(C2) 각각에 해당되는 전극부 그룹의 전기적 연결방식은 앞에서 설명한 해당 코어그룹의 전기회로상의 구성형식을 결정하는 수단이 된다.
- <172> 본 발명에 있어서, 전극부 그룹별로 전기가 독립적으로 공급될 수 있으면, 코어그룹별 전기가열 시작시점을 해당 코어그룹별로 달리 설정할 수 있으며, 필요한 경우 코어그룹별로 전위차 또는 전류를 다르게 제어하면서 전기를 공급할 수도 있다.
- <173> 각 전극부 그룹별로 전기가 독립적으로 공급되게 하는 전력공급계통은 코어단위별 소요 전력 및 공간적 배치, 전극부 사이의 연결방법, 전력공급원의 사양 등을 고려하여 전기회로상으로 직렬 및/또는 병렬형식으로 서로 연결되게 전력공급계통을 구성할 수 있다.
- <174> 제1전극부(E1)에는 제1전력전달수단(T1)을 통해 제1전력공급원(V1)으로부터 제1코어수단(C1)의 가열에 필요한 전기가 독립적으로 공급되게 구성되고, 제2전극부(E2)에는 제2전력전달수단(T2)을 통해 제2전력공급원(V2)으로부터 상기 제2코어수단의 가열에 필요한 전기가 독립적으로 공급되게 구성하는 방법이 있다.
- <175> 제1전력공급원(V1)과 제2전력공급원(V2)은 고전압-저전류 특성의 입력전기를 저전압-고전류의 출력전기로 변환시키는 기능과 필요한 경우 교류의 공급전원을 직류로 변환시키는 기능을 지니는 전력변환시스템을 포함하는데, 이 두 가지 전력공급원(V1,V2)은 별도의 전력변환시스템으로 따로 구성될 수 있고, 또는 하나의 종합된 전력변환시스템으로 구성될 수도 있다.
- <176> 실리콘 석출이 진행되는 동안 코어단위별 전기가열에 있어서 코어단위 및 실리콘 석출부에 흐르는 전류와 전기저항 그리고 해당 두 전극부 사이에 부가되는 전위차는 상호 연관되어 정해지므로, 본 발명에 사용될 수 있는 제1전력공급원(V1)과 제2전력공급원(V2)으로 코어수단별, 코어그룹별 또는 코어단위별로 전압과 전류 가운데에 한 가지를 선택하여 시간에 따라 전기가열 속도를 제어하는 것이 실시 가능하다.
- <177> 두 종류의 전력공급원(V1,V2)을 하나의 석출반응기에만 할당되게 할 수도 있고 또는 다수의 석출반응기에 함께 사용할 수 있기 때문에, 하나 또는 다수의 석출반응기에 포함되는 제1코어수단(C1)이 제1전력공급원(V1)에 의하여 전기적으로 상호 연결되거나 및/또는 하나 또는 다수의 석출반응기에 포함되는 제2코어수단(C2)이 제2전력공급원(V2)과 제2전력전달수단(T2)에 의하여 전기적으로 상호 연결되게 하여, 다수의 석출반응기에 설치되는 제1코어수단(C1) 또는 제2코어수단(C2) 각각에 대하여 코어수단별, 코어그룹별 또는 전극단위별로 직렬 및/또는 병렬형식으로 상호 연결되게 전력공급계통을 구성하여도 좋다.
- <178> 본 발명에 있어서, 제1코어수단(C1)을 이루는 제1코어단위 구성용 제1코어요소는 고순도의 순수 실리콘 또는 도핑된 실리콘이 아닌 금속재료 또는 탄소계 소재 등과 같은 저항성 재료로 이루어진다.
- <179> 그 형태는 단면이 원, 타원 또는 다각형(삼각형, 사각형, 육각형, 팔각형 등)인 로드(rod), 와이어(wire), 필라멘트(filament), 바(bar), 스트립(strip) 및 리본(ribbon)과, 단면이 동심원, 동심타원 또는 동심다각형인 도관(conduit), 튜브(tube), 실린더(cylinder) 및 덕트(duct) 중에 선택된 하나가 될 수 있다.
- <180> 제1코어수단(C1)의 구성에 사용되는 상기 저항성 재료로는 비저항(resistivity) 값이 약 1 μ ohm-cm 이상에서 수 ohm-cm 이하의 범위에 포함되는 것을 사용하는 것이 바람직하다.
- <181> 바람직한 실시예에서, 상기 저항성 재료는, (i)텅스텐(W), 레늄(Re), 오스뮴(Os), 탄탈륨(Ta), 몰리브덴(Mo), 노븀(Nb), 이리듐(Ir), 루테튬(Ru), 테크네튬(Tc), 하프늄(Hf), 로듐(Rh), 바나듐(V), 크롬(Cr), 지르코늄(Zr), 백금(Pt), 토륨(Th), 란타늄(La), 티타늄(Ti), 루테튬(Lu), 이트륨(Y), 철(Fe), 니켈(Ni) 및 알루미늄(Al) 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 금속원소를 포함하는 금속 또는 합금이거나; (ii)몰리브덴규소화물(Mo-Si), 란타늄크롬화물(La-Cr-O) 및 지르코니아 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 성분을 포함하는 세라믹 금속재료이거나; 또는 (iii)무정형탄소, 흑연 및 실리콘카바이드(SiC) 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 성분을 포함하는 탄소계 재료일 수 있다.
- <182> 이와 같이 제1코어수단(C1)의 구성에 사용되는 저항성 재료는 상기와 같이 광범위한 재료 가운데에서 선택하여

사용할 수 있다.

- <183> 본 발명에 사용되는 제1코어요소의 선택에는 전기적 성질뿐만 아니라 코어요소의 외부방향으로 형성되는 제1석출부(D1)의 불순물 오염을 최소화할 수 있도록 불필요한 유, 무기 불순물 성분이 가급적 적은 고순도 재료를 사용하는 것이 좋다.
- <184> 그리고, 본 발명에서 사용되는 제1코어단위는 제작 도중이나 실리콘 석출운전에 사용하기 전에 고순도의 수소, 질소, 아르곤 또는 헬륨 분위기에서 400 ~ 3,000 °C 범위 내에 포함되는 온도에서 열처리하여 잔유 불순물 성분을 제거하거나 화학적으로 변환시키는 것이 좋은데, 이러한 열처리를 본 발명에 사용되는 석출반응기에서 또는 선행기술로 제작, 설치되어 이용 가능한 제래식 석출반응기에서 전기가열하면서 실시하여도 좋다.
- <185> 반면, 제2코어수단(C2)에 포함되는 제2코어단위는 순도가 높은 다결정 또는 단결정의 순수 실리콘(intrinsic silicon 또는 undoped silicon) 및/또는 n-형이나 p-형 도핑제(dopant)를 포함하는 도핑된 실리콘으로 제조될 수 있다.
- <186> 그 형태는 제1코어수단(C1)과 마찬가지로 단면이 원, 타원 또는 다각형(삼각형, 사각형, 육각형, 팔각형 등)인 로드(rod), 와이어(wire), 필라멘트(filament), 바(bar), 스트립(strip) 및 리본(ribbon)과, 단면이 동심원, 동심타원 또는 동심다각형인 도관(conduit), 튜브(tube), 실린더(cylinder) 및 덕트(duct) 중에 선택된 하나가 될 수 있다.
- <187> 본 발명에 있어서, 실리콘 봉의 단면은 코어요소의 단면에 다양한 형태를 지닐 수 있지만, 석출시간이 지남에 따라 대부분 원 또는 타원에 가까운 형태를 지니게 된다.
- <188> 코어요소의 단면을 기준으로 하는 각 코어수단(C1,C2)의 형태는 상업적으로 이용 또는 제조 가능한 재료의 형태, 제조 또는 가공 비용, 전극부와 코어수단의 공간적 배치특성 등을 고려해서 선택할 수 있는데, 두 가지 코어수단(C1,C2) 및/또는 각 코어수단에 포함되는 코어단위를 모두 같은 형태로 구성할 수도 있고, 도 2c와 도 2e에 예시된 바와 같이 서로 다른 형태를 선택하여 사용할 수도 있다.
- <189> 개별 코어수단(C1,C2)에 포함되는 코어단위로 단면이 원(圓)인 로드형을 일반적으로 많이 사용해오고 있지만, 로드형과 스트립(또는 리본)형을, 또는 로드형과 튜브형을 혼합하여 사용할 수도 있는데, 단면의 형태에 준해서 코어단위를 안정적으로 고정할 수 있고 전기적 접촉도 좋게 할 수 있도록 해당되는 전극부(E1, E2)를 적절히 가공하는 것이 요구된다.
- <190> 본 발명에 사용될 수 있는 코어수단(C1,C2)의 규격은 종래의 중형 반응기의 코어수단과 마찬가지로, 단면의 직경이 약 3 ~ 30 mm 범위 내에 또는 대각선이 약 5 ~ 100 mm 범위 내에 포함되도록 하고 수직부분의 높이는 약 0.5 ~ 6 m 범위 내에 포함되도록 선택할 수 있으며, 두 가지 코어수단 모두 거의 같은 높이를 갖는 것이 좋다.
- <191> 단면의 굵기와 높이 외에 코어수단(C1,C2)의 규격을 결정하는 것은 도 2a에 예시된 1A-1과 1A-1' 또는 2A-1과 2A-1' 사이의 거리에 해당하는 코어단위별 한 쌍의 수직코어요소 중심 간 거리, 즉 한 쌍의 해당 전극부 중심 간 거리의 값인데, 코어요소 단면이 원(圓)인 경우를 기준할 때 이 값은 보통 최종적으로 생산하고자 하는 실리콘 봉 평균 직경의 약 1.2배 ~ 1.8배 범위 내에 포함되게 하는 것이 좋다.
- <192> 한편, 석출반응기 내부공간(Ri)에 가급적 많은 수의 코어단위들을 설치하여 사전에 정해진 크기의 실리콘 봉을 최대한 많이 생산할 수 있게 하고 이로써 석출반응 표면적과 관련된 반응수율 및 반응기 생산성을 높이하고자 할 때에는, 인접한 코어단위 사이의 거리에 있어서도 수직코어요소 중심 간 최단거리가 약 1.2배 ~ 2.4배 범위 내에 포함되게 하는 것이 좋다.
- <193> 이와 같이 반응기 생산성과 본 발명에 따른 효과를 높이기 위해서는 베이스부(Rb)에 코어수단과 해당되는 전극부를 가급적 많이 설치할 수 있도록 코어단위 및 해당 전극부의 평면적 배치를 최적화하는 것이 필요하며, 이 배치에 준하여 코어수단(C1,C2), 코어그룹 및 코어단위들을 구분하여 배치하는 것이 좋다.
- <194> 본 발명에서 코어수단(C1,C2), 코어그룹 및 코어단위별로 전기를 독립적으로 공급할 수 있게 하는 전력공급계통을 구성함에 있어서, 상기의 코어단위별 또는 전극부별 배치에 따른 전기흐름의 순서와 직렬 및/또는 병렬방식의 전기회로상의 연결방법이 결정될 수 있다.
- <195> 전력공급계통의 구성에 있어서, 전기회로상의 배치방식은 코어단위별 또는 해당 전극부별로 필요한 전위차 및 전류가 제공되지만 하면 코어단위들의 전기적 상호연결이 직렬 및 병렬 중에 어떠한 방식이 적용되어도 무방하다.

- <196> 그러나, 모든 코어단위들이 모두 병렬방식으로만 연결되면 코어단위별 전위차가 너무 낮아 아주 높은 전류의 공급이 요구되고, 너무 많은 코어단위들이 직렬 방식으로 연결되면 전류가 낮은 대신 회로의 입, 출력단 사이의 전위차 높아져 바람직하지 못하다.
- <197> 직렬연결에 포함되는 코어단위의 수는 코어단위의 규격 및 전기적 특성에 좌우되는데 회로의 입, 출력단 사이의 전위차가 약 100 ~ 200 V를 초과하지 않도록 코어수단(C1,C2), 코어그룹 및 코어단위별 전기적 연결을 직렬과 병렬을 적절히 조합하여 전력공급계통을 구성하는 것이 바람직하다.
- <198> 한편, 코어단위의 길이방향을 기준으로 할 때, 한 개의 코어요소를 직선-형, U-형, W-형 등으로 성형하여 양쪽 끝부분을 한 쌍의 전극부(E1,E2)에 고정하여 설치할 수 있다.
- <199> 예컨대, 도 1에서 제1코어수단(C1)에 대해 예시한 바와 같이, 코어단위가 U-형(이하, '일체형'이라 함)의 형태로 한 쌍의 해당 전극부(E1)에 잘 고정되도록 설치될 수 있다.
- <200> 또는 도 1의 제2코어수단(C2)에 대하여 예시된 바와 같이, 코어단위가 수직하게 설치되는 한 쌍의 수직 코어요소부분과 이들 양쪽의 상부 끝부분을 연결하는 다리(bridge) 역할을 담당하는 수평 코어요소부분을 조립하여 개별 코어단위 전체가 전기적으로 연결되게 한 형태(이하, '조립형'이라 함)로 한 쌍의 해당 전극부에 설치될 수도 있다.
- <201> 개별 코어수단에 포함되는 코어단위는 상기의 일체형과 같이 하나의 코어요소로 직접 성형하거나 또는 다수의 요소부분들을 접합하여 코어단위가 U-형이 되게 할 수 있는데, 도 1에 예시된 바와 같이 제1코어수단(C1)에 포함되는 제1코어단위에 주로 활용되는 형태라 할 수 있다.
- <202> 이러한 형태의 설치방법을 제2코어수단(C2)에 포함되는 제2코어단위에 활용하기 위해서는, 실리콘 재료로 코어요소 부분들을 먼저 제조한 다음, 고순도 분위기 하에서 플라즈마/아크 등을 이용하여 이 부분들을 서로 접합시켜 U-형의 단일 몸체가 되도록 하는 부담이 뒤따른다.
- <203> 두 가지 코어수단(C1,C2)에 포함되는 코어단위가 상기의 조립형과 같이 다수의 코어요소부분으로 구성되는 경우에는, 한 쌍의 해당 전극부(E1,E2)에 수직하게 설치되는 2개의 수직 코어요소부분과 다리(bridge) 역할의 수평 코어요소부분이 전기적으로 모두 연결되게 하는 것이 필요하다.
- <204> 여기서, 코어요소부분들의 연결에는 (i)코어요소부분의 연결부위를 기계적으로 가공하거나, (ii)용접수단 또는 플라즈마/아크 등을 이용하여 녹여 붙이거나, (iii)연결용 피팅 또는 와이어 형태의 부품으로 연결하거나, (iv)이러한 방법을 복합적으로 응용하는 방법 등이 활용될 수 있다.
- <205> 이러한 조립형 구성방법은 제1코어단위 및 제2코어단위 모두에 활용될 수 있는 형태인데, 개별 코어단위에서 수직 및 수평 코어요소부분에 같은 규격과 재료를 사용하여도 좋지만, 서로 다른 규격과 재료를 사용하여도 본 발명을 실시하는 데에는 아무런 문제가 없다.
- <206> 예를 들어, 실리콘으로 만들어진 한 쌍의 수직 코어요소부분으로 제2코어단위를 조립형으로 구성하는 경우에, 다리역할의 수평 코어요소부분의 제작에는 단면적이 거의 동일한 실리콘 재료를 사용하여도 좋고, 실리콘을 대신하여 단면의 형태와 크기가 다른 본 발명에 따른 저항성 재료를 사용하여도 무방하다.
- <207> 이와 같이 실리콘 재료의 제2코어수단(C2)을 조립형으로 구성함에 있어서, 다리역할의 수평 코어요소부분에 제1코어수단(C1)에 사용될 수 있는 저항성 재료 중에 선택하여 사용하는 경우에는, 해당 재료의 온도에 따른 전기적 성질을 고려하여 단면적, 길이 등과 같은 물리적 사양을 선정하는 것이 좋으며, 수직 코어요소부분 양쪽 끝부분과 수월하게 체결될 수 있게 가공하면 더욱 좋다.
- <208> 본 발명에 따라 석출반응기 내부공간(Ri)에 반응가스(Gf)를 공급하면, 제1코어수단(C1) 및/또는 제2코어수단(C2)의 외부방향으로 실리콘을 석출시켜 제1석출부(D1) 및/또는 제2석출부(D2)를 각각 형성할 수 있다.
- <209> 여기서, 외부방향이라 함은 개별 코어단 표면에서부터 표면의 수직방향, 즉 단면의 두께 방향 또는 반지름 방향을 의미하는데, 실리콘 석출운전이 진행되면 각 석출부(D1,D2)의 직경 또는 단면의 대각선 거리가 점차 증가하면서 최종적으로는 원하는 크기의 다결정 실리콘 붕이 형성된다.
- <210> 본 발명에 사용될 수 있는 반응가스(Gf)는 모노실란(SiH4), 이염화실란(SiH2Cl2), 삼염화실란(SiHCl3) 및 사염화실란(SiCl4) 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 실리콘 함유 성분을 포함하며, 이 실리콘 함유 성분의 열분해 및/또는 수소환원반응에 의하여 석출되는 실리콘 원소가 상기 실리콘 석출부(3)를 형성시킨다.

- <211> 봉 형상의 다결정 실리콘을 제조함에 있어서, 상기 반응가스(Gf)가 실리콘 함유 성분만 포함할 수도 있지만, 수소(H₂), 질소(N₂), 아르곤(Ar), 헬륨(He) 및 염화수소(HCl) 중에 선택된 1종 또는 2종 이상의 가스성분을 추가로 포함하여 석출반응의 특성과 배출가스(Go)의 조성을 제어할 수 있다.
- <212> 실리콘 석출을 위한 반응조건과 관련하여, 석출반응기 내부공간(Ri)에서의 절대압 기준으로 1 ~ 20 bar 범위 내의 반응압력과 제1석출부(D1) 및/또는 제2석출부(D2) 표면에서의 온도 기준으로 650 ~ 1,300 °C 범위 내의 반응온도에서 제1석출부(D1)와 제2석출부(D2)의 표면에 실리콘을 석출시키는 것이 바람직하다.
- <213> 반응압력이 1 bar보다 낮으면 실리콘 석출부(D)에서 실리콘이 석출되는 속도가 너무 낮아 석출반응기의 생산성이 크게 떨어져 바람직하지 못하다.
- <214> 또한 반응압력이 증가할수록 석출반응기의 생산성 면에서 더욱 유리해지는데, 이러한 특성은 실리콘 함유 성분이 모노실란보다 삼염화실란인 경우에 더욱 그러하다.
- <215> 다만, 석출반응기의 생산성을 크게 향상시키기 위하여 반응압력을 20 bar의 초과 수준으로 너무 높게 유지하면, 석출반응기 및 주변장치의 제작비용 문제 이외에 공정의 안전성 확보를 위한 부담이 너무 크고, 반응원료 공급 속도(moles/hr)도 지나치게 높아져 단위시간당 상기 코어수단(C1,C2)의 전기가열만으로 석출부(D1,D2)의 표면을 반응온도 허용범위 내에서 유지하기 어려운 부정적인 측면이 심각해진다.
- <216> 석출반응기 내부공간(Ri)에서 상기 코어수단(C1,C2) 외부방향으로 형성되는 석출부 표면에서 실리콘 석출이 계속되어야 하는 점과, 상기 내부공간(Ri)에서는 실리콘 석출부(D1,D2) 위치에 따라 온도가 다른 점과, 온도 측정의 편의성과 신뢰성을 고려하여 반응온도를 실리콘 석출부(D1,D2) 표면의 온도를 기준으로 하는 것이 바람직하다.
- <217> 반응온도는 사용되는 반응가스(Gf) 성분 및 조성에 따라 다르지만, 반응온도가 650 °C보다 낮으면 석출속도가 너무 낮아 석출반응기의 생산성이 크게 떨어져 바람직하지 못하다.
- <218> 또한 반응온도가 증가할수록 석출속도가 증가하지만 1,300 °C보다 높은 온도에서는 배출가스(Go) 성분들 가운데 재활용이 불가능한 성분의 함량이 지나치게 높아지고, 또한 각 코어수단(C1,C2)의 중심부, 즉 코어요소에서의 온도가 1,400 °C를 초과할 수 있어 운전 도중에 실리콘 봉이 붕괴될 위험성도 크며, 석출반응기 셀(Rs) 측으로의 열손실도도 지나치게 증가하므로 바람직하지 못하다.
- <219> 따라서, 본 발명에서 실리콘 석출 허용온도 범위를 대변하는 반응온도는 반응가스(Gf) 및 배출가스(Go)의 조성, 압력, 실리콘 석출속도, 에너지 효율 등과 같은 조건들을 고려하여 650 ~ 1,300 °C 범위 내에서 설정하는 것이 바람직하다.
- <220> 본 발명에 따라 회분식(batch) 방식으로 봉 형상의 다결정 실리콘을 제조함에 있어서, 반응기 운전시간이 경과함에 따라 실리콘 석출부(D1,D2)의 직경 및 표면적, 코어수단(C1,C2)의 전기가열 부담, 석출반응기 셀(Rs) 측으로의 열손실 등이 증가하므로 반응가스(Gf) 조성 및 공급속도, 반응온도, 반응압력, 전력공급 등과 같은 반응기 운전조건들을 일정하게 설정하여도 좋고, 시간에 따라 변화시켜 최적화하여도 좋다.
- <221> 본 발명에 따라 제1코어수단(C1)의 전기가열을 이용하여 제2코어수단(C2)을 예열함에 있어서, 제1코어수단(C1)을 이루는 저항성 재료에 의하여 공간적으로 떨어져 있는 제2코어수단(C2)을 이루는 실리콘 재료가 오염될 가능성을 완전히 배제할 수는 없다.
- <222> 그러나, 본 발명에 의한 제2코어수단(C2)의 예열이 고진공이 아닌 상압 또는 고압 분위기에서 실시되며, 이때 제1코어수단(C1)의 온도도 용융점보다 낮은 약 3,000 °C 이하로 낮으며, 또한 높은 에너지를 갖는 이온이 존재하지 않으므로, 본 발명에 따라 사전에 제대로 열처리된 제1코어요소의 표면에서 불순물 성분이 증발하거나 스퍼터링 현상이 발생하여 제2코어요소를 오염시켜 제2석출부의 순도를 떨어뜨릴 위험성은 사실상 없다.
- <223> 한편, 저항성 재료의 제1코어요소 외부방향으로 형성되는 제1석출부(D1)는 제2석출부(D2)에 비하여 저항성 재료에 포함되는 성분에 의한 불순물오염 위험성이 상대적으로 높으므로, 본 발명에 따르면 제1석출부(D1)와 제2석출부(D2)에서 태양전지급 다결정 실리콘과 반도체급 다결정 실리콘을 각각 제조할 수 있다.
- <224> 이와 같이 서로 다른 용도의 다결정 실리콘을 동일 석출반응기 내부에서 동시에 제조하는 것도 가능하지만, 제1석출부(D1)와 제2석출부(D2)에서 태양전지급 또는 반도체급 다결정 실리콘만을 생산하는 것도 가능하다.
- <225> 본 발명에 따라 실리콘 석출운전이 충분히 이루어지면 실리콘 봉의 직경 또는 대각선 거리가 최대 허용값에 이르게 되어 인근 코어단위의 석출부가 접촉할 정도로 가까워지기 전에 석출운전을 중단하고 반응기 해체 및 제품

회수작업에 돌입하게 된다.

- <226> 만일 저항성 재료의 제1코어요소(C1a) 외부방향으로 형성되는 제1석출부(D1)의 품질을 보다 더 향상시키고자 한다면, 제1코어요소(C1a)에 포함되는 성분으로 제1석출부(D1)가 오염되는 가능성을 최소화하거나 방지할 수 있도록, 본 발명에 의한 제1코어수단(C1)은 저항성 재료로 만들어지는 제1코어요소(C1a)의 표면에 단수 또는 복수의 분리층(C1b, C1b', C1b"); 도 3 ~ 도 7 참조)을 형성시켜 구성하는 것이 좋다.
- <227> 실리콘 석출 과정에 제1석출부(D1)의 불순물 오염을 방지할 수 있게 제1코어요소(C1a)의 표면에 분리층(C1b)을 형성시켜 제1코어단위를 제조할 수 있다면, 본 발명에 따른 제1코어수단(C1)과 제2코어수단(C2) 모두에서 순도가 아주 높은 태양전지급 및/또는 반도체급 다결정 실리콘을 동시에 생산하는 것이 가능한 것이다.
- <228> 종래의 실리콘 석출반응기에서 실리콘 재료의 제2코어수단(C2) 또는 저항성 재료의 제1코어수단(C1) 가운데서 한 가지만 선택하여 사용하는 것과는 달리, 본 발명에 따르면, 도 3부터 도 7에 걸쳐 예시된 바와 같이, 제1코어요소(C1a)의 표면에 분리층(C1b)을 형성시킨 제1코어수단(C1)과 실리콘 재료의 제2코어수단(C2)을 석출반응기에 함께 설치하고, 먼저 전기가열되는 제1코어수단(C1)으로 제2코어수단(C2)을 예열한 다음 제2코어수단(C2)을 전기가열하기 시작하여 두 가지 코어수단(C1, C2)의 외부방향으로 실리콘 석출부(D1, D2)를 각각 형성시켜 봉형상의 고순도 다결정 실리콘을 제조할 수도 있다.
- <229> 따라서, 제1코어요소(C1a)의 표면에 형성시킨 분리층(C1b)은, 제1석출부(D1)의 형성이 시작되는 기면(基面; substrate)의 역할을 담당하고, 실리콘 석출 과정에 있어서 제1코어요소(C1a)로부터 제1석출부(D1)로 불순물 성분이 이동하는 것을 막아주는 역할을 담당하며, 제1석출부(D1)에서 형성되는 다결정 실리콘과는 물질의 종류, 구조 또는 물성 면에서 차이를 지니고 있어서 실리콘 봉 제조 후에는 제1석출부(D1)와 쉽게 분리될 수 있다.
- <230> 분리층(C1b)은 한 가지 또는 다수의 층으로 이루어질 수도 있는데, 분리층(C1b)을 다섯 가지보다 많은 종류의 층을 이루게 하면, 분리층(C1b)의 형성에 시간, 인력 및 비용이 많이 소모되어 본 발명에 따른 경제적인 장점이 훼손될 위험성이 있으므로, 분리층(C1b)이 다섯 가지 이하 종류의 층으로 이루어지게 하는 것이 바람직하다.
- <231> 본 발명에 따른 분리층(C1b)은 높은 온도에서 두 금속 영역 사이에 특정 성분이나 원소의 확산을 방지하는 확산방지막(diffusion barrier)의 기능을 포함하는데, 분리층(C1b)을 이루는 각각의 층을 구성하는 분리기능성분은, (i)실리콘(Si)의 질화물, 산화물, 탄화물 또는 산화질화물을 포함하거나, (ii)텅스텐(W), 레늄(Re), 오스뮴(Os), 탄탈륨(Ta), 몰리브덴(Mo), 노브(Nb), 이리듐(Ir), 루테튬(Ru), 테크네튬(Tc), 하프늄(Hf), 로듐(Rh), 바나듐(V), 크롬(Cr), 지르코늄(Zr), 백금(Pt), 토륨(Th), 란타늄(La), 티타늄(Ti), 루테튬(Lu) 및 이트륨(Y) 중에 선택된 1종 또는 2종 이상 금속원소의 질화물, 산화물, 규소화물, 탄화물, 산화질화물 또는 산화규소화물을 포함할 수 있다.
- <232> 본 발명에 따라 분리층(C1b)을 이루는 분리기능성분으로 실리콘 또는 제1코어요소(C1a)를 구성하는 금속 가운데 선택된 원소의 질화물(nitride)로 이루어진 물질이 포함될 수 있는데, 이러한 질화물에는 Si-N, W-N, Os-N, Ta-N, Mo-N, Nb-N, Ir-N, Ru-N, Tc-N, Hf-N, Rh-N, V-N, Cr-N, Zr-N, Pt-N, Th-N, Ti-N, Lu-N, Y-N 등과 같은 단일성분 질화물과 W-V-N, Ti-Si-N, Ti-C-N, Hf-Ta-Mo-N 등과 같은 혼합금속 질화물이 포함될 수 있다.
- <233> 이러한 질화물계 성분들은 녹는점이 대부분 2,000 °C 이상이고 기타 물리적 성질이 제1코어요소(C1a)나 제1석출부(D1)와 차이가 있으며 제1코어요소(C1a)로부터의 금속 불순물 성분과 결합할 수 있으므로 분리층(C1b)에 사용될 수 있는데, 고온의 반응온도에서 질화물계 분리층(C1b)의 질소성분이 제1석출부(D1)를 오염시킬 위험성도 크지 않으므로 단일 또는 복수의 분리층(C1b)에 사용될 수 있고, 산화물계, 산화질화물계, 탄화물계, 규소화물계 또는 산화규소화물계 분리층(C1b)과 함께 제1코어수단(C1)을 형성할 수도 있다.
- <234> 본 발명에 따라 분리층(C1b)을 이루는 분리기능성분으로 실리콘 또는 제1코어요소(C1a)를 구성하는 금속 가운데 선택된 원소의 산화질화물(oxynitride)로 이루어진 물질이 포함될 수 있는데, 이러한 산화질화물에는 Si-O-N, W-O-N, Os-O-N, Ta-O-N, Mo-O-N, Nb-O-N, Ir-O-N, Ru-O-N, Tc-O-N, Hf-O-N, Rh-O-N, V-O-N, Cr-O-N, Zr-O-N, Pt-O-N, Th-O-N, Ti-O-N, Lu-O-N, Y-O-N 등과 같은 단일성분 산화질화물과 Si-Al-O-N, Hf-Zr-O-N, Mo-W-O-N, V-Mo-W-O-N 등과 같은 혼합금속 산화질화물이 포함될 수 있다.
- <235> 이러한 산화질화물계 성분들은 녹는점이 대부분 2,000 °C 이상이고 기타 물리적 성질이 제1코어요소(C1a)나 제1석출부(D1)와 차이가 있으며 제1코어요소(C1a)로부터의 금속 불순물 성분과 결합할 수 있으므로 분리층(C1b)에 사용될 수 있는데, 고온의 반응온도에서 산화질화물계 분리층(C1b)의 질소성분이 제1석출부(D1)를 오염시킬 위험성도 크지 않으므로 단일 또는 복수의 분리층(C1b)에 사용될 수 있고, 질화물계, 산화물계, 탄화물계, 규소화

물계 또는 산화규소화물계 분리층(C1b)과 함께 제1코어수단(C1)을 형성할 수도 있다.

- <236> 본 발명에 따라 분리층(C1b)을 이루는 분리기능성분으로 실리콘 또는 제1코어요소(C1a)를 구성하는 금속 가운데 선택된 원소의 산화물(oxide)로 이루어진 물질이 포함될 수 있는데, 이러한 산화물에는 Si-O, W-O, Ta-O, Nb-O, Hf-O, Zr-O, Ti-O 등과 같은 단일성분 산화물과 W-V-O, Ti-Si-O, Sr-Ti-O, Sr-Ti-Nb-O, Sr-La-Al-O, La-Mn-O, Sr-Hf-O, Nb-Ta-O, Ba-Zr-O, Ba-Mo-O, Ba-Ce-O, Ba-Ti-O, Ca-Ti-O, Sr-Zr-O, Sr-Mn-O, Hf-Ta-Mo-O, Y-Zr-O 등과 같은 혼합금속 산화물이 포함될 수 있다.
- <237> 이러한 산화물계 성분들은 녹는점이 대부분 1420 °C 이상이고 기타 물리적 성질이 제1코어요소(C1a)나 제1석출부(D1)와 차이가 있으며 제1코어요소(C1a)로부터의 금속 불순물 성분과 결합할 수 있으므로 분리층(C1b)에 사용될 수 있는데, 고온의 반응온도에서 산화물계 분리층(C1b)의 산소성분이 제1석출부(D1)를 오염시킬 위험성도 크지 않으므로 단일 또는 복수의 분리층(C1b)에 사용될 수 있고, 질화물계, 산화질화물계, 탄화물계, 규소화물계 또는 산화규소화물계 분리층(C1b)과 함께 제1코어수단(C1)을 형성할 수도 있다.
- <238> 본 발명에 따라 분리층(C1b)을 이루는 분리기능성분으로 실리콘 또는 제1코어요소(C1a)를 구성하는 금속 가운데 선택된 원소의 탄화물(카바이드; carbide)로 이루어진 물질이 포함될 수 있는데 이러한 탄화물에는 Si-C, W-C, Os-C, Ta-C, Mo-C, Nb-C, Ir-C, Ru-C, Tc-C, Hf-C, Rh-C, V-C, Cr-C, Zr-C, Pt-C, Th-C, Ti-C, Lu-C, Y-C 등과 같은 단일성분 탄화물과 Si-W-C, Ta-Hf-C, Si-Ti-C 등과 같은 혼합금속 탄화물과 W-C-N, Ta-C-N, Zr-C-N, Ti-C-N 같은 전이금속 탄화질화물(carbon nitride) 등이 포함될 수 있다.
- <239> 이러한 탄화물계 성분들은 녹는점이 대부분 2,000 °C 이상이고 기타 물리적 성질이 제1코어요소(C1a)나 제1석출부(D1)와 차이가 있으며 제1코어요소(C1a)로부터의 금속 불순물 성분과 결합할 수 있으므로 분리층(C1b)에 사용될 수 있는데, 고온의 반응온도에서 탄화물계 분리층(C1b)의 탄소성분이 제1석출부(D1)를 오히려 오염시킬 위험성도 있으므로 단일 분리층(C1b)으로 보다는 질화물계, 산화질화물계, 규소화물계 또는 산화규소화물계 분리층(C1b)에 의하여 제1석출부(D1)와는 차단되게 하여도 좋다.
- <240> 본 발명에 따라 분리층(C1b)을 이루는 분리기능성분으로 실리콘 또는 제1코어요소(C1a)를 구성하는 금속 가운데 선택된 원소의 규소화물(silicide)로 이루어진 물질이 포함될 수 있는데, 이러한 규소화물에는 W-Si, Os-Si, Ta-Si, Mo-Si, Nb-Si, Ir-Si, Ru-Si, Tc-Si, Hf-Si, Rh-Si, V-Si, Cr-Si, Zr-Si, Pt-Si, Th-Si, Ti-Si, Lu-Si, Y-Si 등과 같은 단일성분 규소화물과 W-V-Si, W-Ti-Si-N, Ti-Zr-Si-C, Hf-Ta-Si-N 등과 같은 혼합금속 규소화물이 포함될 수 있으며, 이와 같은 규소화물에 산소원소가 추가된 산화규소화물도 규소화물계 성분 포함될 수 있다.
- <241> 이러한 규소화물계 또는 산화규소화물계 성분들도 녹는점이 1,420 °C 이상이 되게 구성원소의 함량을 조절할 수 있고 물리적 성질이 제1코어요소(C1a)나 제1석출부(D1)와 차이가 있으며 제1코어요소(C1a)로부터의 금속 불순물 성분과 결합할 수 있으므로 단일 또는 복수의 분리층(C1b)에 사용될 수 있는데, 질화물계, 산화물계, 산화질화물계 또는 탄화물계 분리층(C1b)과 함께 제1코어수단(C1)을 형성할 수도 있다.
- <242> 이상에서 설명한 바와 같이, 분리층(C1b)을 이루는 분리기능성분에는 붕소(boron)의 질화물, 산화물, 탄화물 또는 산화질화물 등과 같이 뛰어난 물성을 갖는 붕소 함유 성분도 포함될 수도 있는데, 고온의 반응온도에서 붕소계 분리층(C1b)의 붕소성분이 제1석출부(D1)를 오히려 오염시킬 위험성도 있으므로 단일 분리층(C1b) 보다는 질화물계, 산화질화물계, 규소화물계 또는 산화규소화물계 분리층(C1b)에 의하여 제1석출부(D1)와는 철저히 차단되게 해야 하는 부담이 뒤따른다.
- <243> 본 발명에 따라 제1코어요소(C1a)의 표면에 분리층(C1b)을 형성시켜 제1코어수단(C1)을 구성하는 것은 다양한 방법으로 실시될 수 있다.
- <244> 예를 들어, 앞에서 설명한 바와 같은 분리기능성분으로 이루어진 분리층 구성단위로 본 발명에서 사용될 수 있는 제1코어요소(C1a)의 표면을 에워싸도록 하여 분리층(C1b)을 형성시켜 제1코어수단(C1)을 구성할 수 있다.
- <245> 이와 같은 분리층 구성단위의 조립방식을 사용하여 분리층(C1b)을 형성시키는 경우에는, 선택된 분리기능성분 각각에 대하여 사전에 정해진 크기, 형태 및 개수로 상기 분리층 구성단위를 먼저 코팅하거나 제조한 다음, 상기 제1코어요소(C1a)를 층별로 에워싸도록 조립하거나 성형하여 분리층(C1b)을 완성함으로써, 상기 제1코어수단(C1)을 구성할 수 있는 것이다.
- <246> 이 방법은 다수의 제1코어요소부분을 조립하여 제1코어단위를 조립형 방식으로 구성하는 경우에 적합한데, 상기 분리층 구성단위는 두께 방향으로 상기 분리기능성분을 지니는 하나 또는 다수의 분리층으로 이루어지고 단면이

원, 다각형, 동심원 또는 동심다각형 형상을 지니도록 따로 제작되어 별도 준비된 제1코어요소부분의 표면을 에워싸도록 조립할 수 있는 단위를 포함한다.

- <247> 이 방법에 따르면 제1코어요소(C1a) 표면과 분리층 사이, 분리층과 분리층 사이 또는 분리층 구성단위 사이에 미세한 공간이 존재할 수 있지만, 본 발명에 따라 코어요소 외부방향으로 실리콘 석출부가 형성되는 데에 장애요인이 되지 않는다.
- <248> 이와는 달리, 선택된 분리기능성분 각각에 대하여 사전에 정해진 두께로 상기 제1코어요소(C1a)의 표면에 직접 코팅하면서 상기 분리층(C1b)을 형성하여도 좋은데, 이와 같은 분리층의 직접 코팅방식을 응용하면 다수의 층으로 이루어진 분리층(C1b)을 동일한 코팅장치에서 순차적으로 형성시킬 수도 있고, 또는 별도의 코팅장치를 이용하여 형성시킬 수도 있다.
- <249> 이 방법에 따르면 제1코어요소(C1a) 표면과 분리층 사이 또는 분리층과 분리층 사이에 미세한 공간 없이 필요한 분리층을 치밀하게 형성시킬 수 있어서 본 발명에 따라 코어요소 외부방향으로 실리콘 석출부가 형성되는 데에 장애요인이 되지 않는다.
- <250> 한편, 앞에서 설명한 바와 같은 분리층 구성단위의 조립방식과 분리층의 직접 코팅방식을 함께 이용하여 표면에 분리층이 형성된 제1코어수단(C1)을 구성하는 것도 가능하다.
- <251> 그리고, 본 발명에 따라 제1코어요소(C1a)의 표면에 분리층(C1b) 전체 또는 일부를 형성하는 것을 별도의 반응기나 코팅장치에서 실시하여도 좋지만, 본 발명에서 사용되는 석출반응기 또는 이용 가능한 재래식 석출반응기의 내부공간(Ri)에서 실시할 수도 있다.
- <252> 이때, 상기 제1코어요소(C1a)를 석출반응기의 전극부에 설치하고, 이 전극부에 전기를 공급하여 상기 제1코어요소(C1a)를 가열하며, 상기 석출반응기 내부에 분리층 형성용 원료가스를 공급하여 제1코어요소(C1a)의 표면에 분리층(C1b)을 형성시켜, 제1코어수단(C1)을 제조할 수도 있다.
- <253> 그리고, 제1코어요소(C1a)의 표면에 분리층(C1b)의 일부를 별도의 장치에서 형성시켜 미완성 제1코어요소를 준비한 다음, 본 발명에서 사용되는 석출반응기 또는 재래식 석출반응기의 내부에서 나머지 분리층(C1b)을 추가로 형성시키는 것도 가능하다.
- <254> 이때, 하나 또는 다수의 미완성 제1코어요소를 전극부(E1,E2)와 연결하여 석출반응기 내부에 위치시키고, 전극부(E1,E2)를 통해 전기를 공급하여 미완성 제1코어요소를 가열하며, 석출반응기 내부에 분리층 형성용 원료가스를 공급하여 미완성 제1코어요소 표면에 분리층(C1b)을 추가로 형성시켜, 본 발명에서 사용될 수 있는 제1코어요소를 제조할 수도 있다.
- <255> 본 발명에 따라 단수 또는 복수의 층으로 이루어진 분리층(C1b)을 형성함에 있어서, 사용될 수 있는 분리층의 형성방법으로는, (i)물리적 기상증착법 (Physical Vapor Deposition; PVD)(스퍼터링 증착법(sputtering deposition), 펄스 레이저 증착법(Pulsed Laser Deposition), 이온주입법, 이온 플레이팅 등 포함); (ii)화학적 기상증착법(Cheical Vapor Deposition; CVD)(상압 CVD, 유기 금속 CVD(Metallic Organic CVD), Plasma-Enhanced CVD(PECVD) 등 포함); (iii)각종 스프레이(spray)법과 에어로졸 증착법(aerosol deposition)을 포함하는 용융체 분무법(Melt Spray Coating); (iv)열반응석출확산법(Thermo-Reactive Deposition and Diffusion; 용융염법 및 분말법); 그리고 (v)졸-겔법 및 용액법 등과 같은 다양한 코팅기술들 가운데에서 선택되어 활용될 수 있다.
- <256> 본 발명에 따라 제1코어수단(C1)을 형성하기 위하여 제1코어요소(C1a) 표면에 형성되는 개별 분리층(C1b)의 두께는 제1코어요소(C1a)의 종류 및 불순물의 특성, 분리층을 이루는 분리기능성분, 분리층 형성방법 등의 요인에 의해 좌우되는데, 일반적으로 수 nm부터 수 mm 범위 내에 포함될 수 있다.
- <257> 본 발명에 있어서, 분리층(C1b)의 두께의 합이 20 mm보다 두꺼우면 제1코어요소(C1a)로부터 제1석출부(D1)로 불순물 성분이 확산되는 것을 충분히 방지해줄 수 있는 장점이 있지만, 분리층(C1b)의 두께가 불필요하게 과다해져 분리층(C1b)을 형성시키는 데에 있어서 경제적 부담이 너무 커지는 것은 물론이고 분리층(C1b)에 의한 온도 구배(gradient)도 불필요하게 커져서 제1석출부(D1) 표면에서의 온도를 유지함에 있어서 불리해진다.
- <258> 반면, 최근에 발달된 원자층 또는 nm 두께의 박막 형성기술을 이용하면 10 nm 보다 얇은 분리층(C1b)만으로도 제1코어요소(C1a)로부터 제1석출부(D1)로 불순물 성분이 확산되는 것을 방지해 줄 수도 있지만, 제1코어요소(C1a) 및 분리층(C1b) 표면에서 생성될 수 있는 구조상의 흠집(defect) 및 계면의 불균일성을 고려할 때 분리층

(C1b)두께가 10 nm 이상 되는 것이 바람직하다.

- <259> 따라서, 본 발명에 따라 제1코어수단(C1)을 형성함에 있어서 제1코어요소(C1a) 표면에 형성되는 분리층(C1b)의 두께의 합이 10 nm ~ 20 nm 범위에 포함되게 하는 것이 바람직하다.
- <260> 앞에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 따라 형성되는 분리층(C1b)은 전기전도성을 지니거나 전기절연성을 지닐 수 있으므로 전기전도성이 우수한 전극부(E1,E2)와 전기적으로 연결되어야 하는 제1코어수단(C1)의 양쪽 끝부분에 대해서는 제1코어수단(C1) 최외각 분리층(C1b)의 전기적 특성을 잘 고려해야 한다.
- <261> 만일, 제1코어수단(C1)을 이루는 분리층(C1b)의 전기전도성이 우수하면 제1코어요소(C1a)가 분리층(C1b)을 통해 전극부(E1,E2)와 접촉되게 하여도 좋지만, 반면 분리층(C1b)에 전기절연성을 지니는 분리기능성분이 포함되는 경우에는 제1코어요소(C1a)가 분리층(C1b)을 통하지 않고 전극부(E1,E2)와 직접 접촉되도록 하여 제1코어수단(C1)의 전기가열을 저해할 수 있는 요인을 미리 배제하는 것이 좋다.
- <262> 한편, 제1코어요소(C1a)로부터 제1석출부(D1)로 확산되는 불순물 성분들은 실리콘 원소와 잘 반응하거나 결합할 수 있다는 성질을 추가로 이용하여 제1석출부(D1)의 불순물 오염을 보다 안전하게 방지하기 위하여 제1코어요소(C1a)와 분리층(C1b)의 사이, 복수의 분리층(C1b)의 층 사이, 또는 분리층(C1b)의 맨 외부에 위치할 수 있도록, 본 발명에 따른 분리층(C1b)에 실리콘을 분리기능성분으로 하는 실리콘 분리층을 추가로 포함시켜 제1코어수단(C1)을 구성하여도 좋다.
- <263> 이 경우에 추가되는 실리콘층의 두께는 1 μm ~ 10 mm 범위에 포함되도록 하는 것이 바람직한데, 상기 두께가 1 μm보다 작으면 불순물 오염을 차단할 수 있는 공간이 부족하게 되고, 반면에 상기 두께가 10 mm 보다 커지게 되면 불순물 오염을 차단할 수 있는 공간이 불필요하게 커져서 경제적으로나 반응기 생산성 면에서 불리해질 수 있다.
- <264> 이와 같이 실리콘을 분리기능성분으로 하는 실리콘 분리층(C1b)에 관해서, 원료가스로서 본 발명에 따른 반응가스(Gf)를 사용하여 실리콘 분리층(C1b)을 상기 제1코어수단(C1) 표면에 형성될 수 있는 분리층(C1b)에 포함시켜도 좋은 것이다.
- <265> 그러나, 본 발명에 따른 실리콘 분리층(C1b)의 형성조건은 석출부(D1,D2) 형성을 위한 반응조건과 달리 선택하여, 실리콘 분리층과 제1석출부(D1)는 결정구조와 열팽창 특성 면에서 서로 차이가 많이 생기도록 하는 것이 바람직하다.
- <266> 따라서, 제1코어요소(C1a)의 표면에 분리기능성분 및/또는 실리콘 성분의 분리층(C1b)의 일부 또는 전체를 본 발명에 의한 석출반응기 또는 선행기술에 의하여 제작, 설치되어 이용 가능한 재래식 석출반응기 내에서 형성하여도 좋고, 또는 별도의 코팅 또는 박막 형성 또는 반응 설비를 이용하여 형성하여도 좋다.
- <267> 코어요소(C1a) 표면에서의 분리층 형성 여부에 관계없이 본 발명에서 사용되는 제1코어단위를 준비하는 과정에서나, 코어요소(Ca)의 가공 전후, 또는 분리층(C1b) 형성 전후나 도중, 또는 실리콘 석출운전에 사용하기 전에 400 ~ 3,000 °C 범위 내에 포함되는 온도에서 열처리하여 잔유 불순물 성분을 제거하거나 화학적으로 변환시키는 것이 좋다.
- <268> 그리고, 제1코어단위 또는 제1코어요소의 열처리를 진공 하에서, 또는 수소, 질소, 아르곤이나 헬륨 등과 같은 가스 분위기 하에서 실시하면 좋다.
- <269> 이러한 열처리를 본 발명에 사용되는 석출반응기에서 또는 선행기술로 제작, 설치되어 이용 가능한 재래식 석출반응기에서 실시하여도 좋고, 또는 별도의 열처리장치 또는 코팅장치에서 실시하여도 좋다.
- <270> 본 발명에 따라 제1코어요소(C1a) 표면에 형성되는 분리층(C1b)은 제1코어수단이 제2코어수단의 예열기 기능을 발휘함에 있어서 부정적 영향을 미치지 않는다.
- <271> 오히려 분리층(C1b)은 고온의 실리콘 석출과정에서 불순물 성분이 제1코어요소로부터 실리콘 석출부(D1)로 확산되는 것을 억제하거나 차단시킬 수 있어, 제1코어수단으로도 순도가 아주 높은 다결정 실리콘을 제조하는 것이 가능해진다.
- <272> 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 따라 제1코어수단 및 제2코어수단 모두 전기가열되기 시작하면 반응가스 공급을 통한 코어수단 외부방향으로의 실리콘 석출부 형성과정은 재래식 석출반응기에서의 석출부 형성과정과 사실상 동일하다.

- <273> 본 발명에 따라 제조된 다결정 실리콘을 단결정 또는 다결정의 잉고트(ingot), 블록(block), 판(sheet) 또는 필름(film) 제조용 원료로 사용하기 위하여, 제2코어수단(C2)에 형성된 실리콘 붕에 대해서는 제2코어요소와 제2 석출부를 별도로 분리할 필요가 없지만, 제1코어수단(C1)으로 형성된 실리콘 붕에 대해서는 제1코어요소(C1a) 및/또는 분리층(C1b)과 제1석출부(D1)를 분리하는 것이 필요하다.
- <274> 일반적으로 제1코어요소(C1a), 분리층(C1b) 및 제1석출부(D1)는 성분 또는 결정구조 또는 물리적 특성 면에서 서로 차이를 지니고 있으므로 붕 형상의 다결정 실리콘에서 제1석출부(D1)를 분리하는 것은 그리 까다롭지 않다.
- <275> 이러한 분리과정에서 제1코어요소(C1a) 또는 분리층(C1b)이 파손되거나 훼손될 가능성도 있지만 제1코어요소(C1a) 및/또는 분리층(C1b)을 원래대로 회수하여 재사용하는 것도 가능하다.
- <276> 본 발명에서 제조되는 다결정 실리콘 제품은 요구되는 규격에 준하여 원통형 또는 육면체형으로 가공하여 포장할 수도 있고, 큰 덩어리(chunk), 작은 덩어리(nugget 또는 lump), 조각 및 입자(fragment, flake, 또는 particle) 등의 형태로 분쇄한 뒤 필요하면 분쇄과정에서 표면에 혼입된 불순물을 제거하기 위한 세정 및 건조 과정을 거쳐 포장할 수도 있다.
- <277> 원통형으로 가공된 제품은 플로우팅 존(floating zone) 방식의 단결정 성장에 사용될 수 있고, 불규칙적인 형태 및 다양한 크기로 분쇄된 제품은 도가니에서 용융시킨 다음 용도에 따라 단결정 또는 다결정의 잉고트(ingot), 블록(block), 판(sheet) 또는 필름(film) 형태로 성형하는 데에 사용될 수 있다.
- <278> 이하, 본 발명의 기본적 특성과 활용방법을, 제1코어수단과 제2코어수단의 배치를 평면도 형식으로 개략적으로 나타낸 도 2a ~ 도 2f를 참조하여, 상세하게 설명하겠는 바, 본 발명이 이들에 의해 한정되는 것은 아니다.
- <279> **실시예 1**
- <280> 도 2a는 석출반응기에 단면이 원(圓)인 로드 또는 와이어 형태의 코어단위가 총 8 세트로 설치된 경우를 개략적으로 예시한 평면도이다,
- <281> 이 예시에서는, 제1코어수단(C1)은 4 세트의 제1코어단위로 이루어지는데, 제1코어단위들(1A-1, 1A-2, 1B-1, 1B-2)은 코어단위 1A-1과 1A-2를 제1코어그룹-A로, 코어단위 1B-1과 1B-2를 제1코어그룹-B로 하여, 두 가지의 제1코어그룹으로 나뉘어 배치되어 있다.
- <282> 한편, 제2코어수단(C2)도 4 세트의 제2코어단위로 이루어지는데, 제2코어단위들(2A-1, 2A-2, 2B-1, 2B-2)은 코어단위 2A-1과 2A-2를 제2코어그룹-A로, 코어단위 2B-1과 2B-2를 제2코어그룹-B로 하여, 두 가지의 제2코어그룹으로 나뉘어 배치되어 있다.
- <283> 개별 코어그룹에 포함되는 코어단위에 해당되는 전극부는 서로가 직렬로 연결되고, 개별 코어수단에 포함되는 코어그룹들은 서로가 병렬로 연결되게 구성하여, 해당 코어수단(C1, C2)별로 전력공급원(V1, V2)에 각각 전기적으로 연결되도록 전력공급계통이 이루어진다.
- <284> 이와 같이 구성되는 석출반응기의 운전을 위해서 제1코어수단(C1)과 각 제1코어단위에 해당하는 전극부(E1)로 이루어진 제1전기가열수단에 전력을 공급하면, 전극부를 기준으로 제1코어그룹-A에서는 1A-1 → 1A-1' → 1A-2 → 1A-2'의 순서로, 동시에 제1코어그룹-B에서는 1B-1 → 1B-1' → 1B-2 → 1B-2'의 순서로 전류가 흐르면서, 제1코어수단(C1)은 전기가열되고, 주변의 제2코어단위들은 자연스럽게 예열된다.
- <285> 도 2a에 예시된 바와 같이, 가스 공급 및 배출을 위한 노즐의 설치에 필요한 공간을 제외하고 전기가열되는 제1 코어수단(C1)에 의하여 제2가열수단(C2)의 예열이 가장 효과적으로 진행될 수 있도록 코어그룹 및 코어단위가 배치되는데, 제2코어단위 2A-1은 제1코어단위 1B-1 및 1B-2에 의해, 제2코어단위 2B-1은 제1코어단위 1A-1 및 1A-2에 의해, 제2코어단위 2A-2는 제1코어단위 1A-1 및 1B-1에 의해, 제2코어단위 2B-2는 제1코어단위 1A-2 및 1B-2에 의해 동시에 쉽게 예열될 수 있게 배치된다.
- <286> 제2코어수단(C2)이 350~1,000 °C의 온도범위 내에서 가급적 높게 예열되면 낮은 전위차의 전기로도 전기가열될 수 있는데, 제2코어그룹-A와 제2코어그룹-B에 전기가열이 시작되면 각각 2A-1 → 2A-1' → 2A-2 → 2A-2'의 순서, 2B-1 → 2B-1' → 2B-2 → 2B-2'의 순서로 전류가 흐르게 되고, 각 코어수단별, 코어그룹별 전력공급 제어를 통해 두 코어수단(C1, C2)의 온도를 필요한 반응온도 범위 내에서 유지되게 할 수 있다.
- <287> 뒤 이은 실리콘 석출운전에 따라 두 코어수단(C1, C2)에 실리콘 붕이 형성되는데, 도 2a에서 단일 코어수단별로 예시된 제1석출부(D1)와 제2석출부(D2)는 제조하고자 하는 실리콘 붕의 크기가 목표값에 도달하여 석출반응이

종료되는 시점에서의 해당 석출부의 단면 모양을 보여주고 있다.

<288> 여기서, 예시된 바와 같이, 반응기 내부공간상의 어느 위치에서도 제2코어수단(C2)의 예열이 효과적으로 이루어지고, 최종적으로 제조하고자 하는 크기로 실리콘 석출부(D1,D2)의 형성이 위치에 관계없이 가급적 균일하게 진행되도록 하며, 반응기 생산성도 극대화할 수 있도록, 코어수단, 코어그룹, 코어단위 및 해당 전극부별로 최적의 배치가 이루어지는 것이 요구된다.

<289> **실시예 2**

<290> 도 2b는 석출반응기에 단면이 원(圓)인 로드 또는 와이어 형태의 코어단위가 총 8 세트로 설치되면서 제1코어단위와 제2코어단위의 개수가 서로 다른 경우를 개략적으로 예시한 평면도이다,

<291> 이 예시에서는, 제1코어수단(C1)은 3 세트의 제1코어단위로 이루어지는데, 제1코어단위들(1A-1 ~ 1A-3)은 단일 코어그룹으로 배치되어 있다.

<292> 한편, 제2코어수단(C2)은 5 세트의 제2코어단위로 이루어지는데, 제2코어단위들(2A-1 ~ 2A-5)도 단일 코어그룹으로 배치되어 있다.

<293> 코어수단(C1,C2)별로 코어단위에 해당되는 전극부는 서로가 직렬로 연결되고 해당 전력공급원(V1,V2)에 각각 독립되어 전기적으로 연결되도록 전력공급시스템이 이루어진다.

<294> 이와 같이 구성되는 석출반응기의 운전을 위해서 제1코어수단(C1)과 각 제1코어단위에 해당하는 전극부(E1)로 이루어진 제1전기가열수단에 전력을 공급하면, 전극부를 기준으로 1A-1 → 1A-1' → 1A-2 → 1A-2' → 1A-3 → 1A-3'의 순서로 전류가 흐르면서 제1코어수단(C1)이 전기가열되면서, 제1코어단위들 주변의 제2코어단위들이 자연스럽게 예열된다.

<295> 도 2b에 예시된 바와 같이, 가스 공급 및 배출을 위한 노즐의 설치에 필요한 공간을 제외하고 전기가열되는 제1코어수단(C1)에 의하여 제2가열수단(C2)의 예열이 가장 효과적으로 진행될 수 있도록 코어그룹 및 코어단위가 배치되는데, 제2코어단위 2A-1는 제1코어단위 1A-2 및 1A-3에 의해, 제2코어단위 2A-2는 제1코어단위 1A-3에 의해, 제2코어단위 2A-3은 제1코어단위 1A-1 및 1A-3에 의해, 제2코어단위 2A-4는 제1코어단위 1A-1에 의해, 제2코어단위 2A-5는 제1코어단위 1A-1 및 1A-2에 의해 주로 예열될 수 있게 배치되어 있다.

<296> 제2코어수단(C2)이 350~1,000 ℃의 온도범위 내에서 가급적 높게 예열되면 낮은 전위차의 전기로도 전기가열될 수 있는데, 제2코어수단(C2)의 전기가열이 시작되면 제2코어수단에 2A-1 → 2A-1' → 2A-2 → 2A-2' → 2A-3 → 2A-3' → 2A-4 → 2A-4' → 2A-5 → 2A-5'의 순서로 전류가 흐르게 되고, 코어수단별 전력공급 제어를 통해 두 코어수단(C1,C2)의 온도를 필요한 반응온도 범위 내에서 유지되도록 할 수 있다.

<297> 이와 같이 제1코어단위와 제2코어단위의 수가 서로 달라도 반응기 내부공간상의 어느 위치에서도 제2코어수단(C2)의 예열이 효과적으로 이루어져 제2코어수단(C2)의 전기가열도 수월하게 시작할 수 있다.

<298> 또한 두 코어수단(C1,C2)이 필요한 반응온도 범위 내에서 각각 유지되도록 전력공급을 제어하면서 반응가스(Gf)를 공급하여 원하는 크기의 실리콘 석출부(D1,D2)의 형성이 위치에 관계없이 가급적 균일하게 진행되도록 할 수 있고, 반응기 생산성도 극대화할 수 있다.

<299> **실시예 3**

<300> 도 2c는 석출반응기에 총 12 세트의 코어단위가 설치되면서 제1코어수단(C1)과 제2코어수단(C2)이 서로 다른 개수의 코어그룹과 코어단위로 구성되는 경우를 개략적으로 예시한 평면도이다,

<301> 이 예시에서는, 제1코어수단(C1)은 단면이 원(圓)인 로드 형태의 4 세트의 제1코어단위로 이루어지는데, 제1코어단위들(1A-1 ~ 1A-4)는 단일 코어그룹으로 배치되어 있다.

<302> 한편, 제2코어수단(C2)은 8 세트의 제2코어단위로 이루어지는데, 단면이 원(圓)인 로드 형태인 코어단위 2A-1, 2A-2, 2A-3 및 2A-4를 제2코어그룹-A로, 단면이 사각형인 로드 또는 리본 형태인 코어단위 2B-1, 2B-2, 2B-3 및 2B-4를 제2코어그룹-B로 하여, 두 가지의 제2코어그룹으로 나뉘어 배치되어 있다.

<303> 개별 코어그룹에 포함되는 코어단위에 해당되는 전극부는 서로가 직렬로 연결되고, 제2코어그룹-A와 제2코어그룹-B는 서로가 병렬로 연결되게 구성하여, 해당 코어수단(C1,C2)별로 전력공급원(V1,V2)에 각각 전기적으로 연결되도록 전력공급시스템이 이루어진다.

<304> 이와 같이 구성되는 석출반응기의 운전을 위해서 제1코어수단(C1)과 각 제1코어단위에 해당하는 전극부(E1)로

이루어진 제1전기가열수단에 전력을 공급하면, 전극부를 기준으로 1A-1 → 1A-1' → 1A-2 → 1A-2' → 1A-3 → 1A-3' → 1A-4 → 1A-4'의 순서로 전류가 흐르면서, 제1코어수단(C1)이 전기가열되고, 제1코어단위들 주변의 제2코어단위들이 자연스럽게 예열된다.

- <305> 도 2c에 예시된 바와 같이, 가스 공급 및 배출을 위한 노즐의 설치에 필요한 공간을 제외하고 전기가열되는 제1코어수단(C1)에 의하여 제2가열수단(C2)의 예열이 가장 효과적으로 진행될 수 있도록, 코어그룹 및 코어단위가 상하, 좌우 대칭으로 배치되어 있다.
- <306> 예를 들어, 제2코어단위 2A-1은 제1코어단위 1A-2에 의해, 제2코어단위 2A-2는 제1코어단위 1A-1, 1A-2 및 1A-3에 의해, 제2코어단위 2B-2는 제1코어단위 1A-2 및 1A-3에 의해, 제2코어단위 2B-1은 제1코어단위 1A-3 및 1A-4에 의해 주로 예열될 수 있게 배치된다.
- <307> 제2코어수단(C2)이 350~1,000 °C의 온도범위 내에서 가급적 높게 예열되면 낮은 전위차의 전기로도 전기가열될 수 있는데, 제2코어그룹 A와 B에 전기가열이 시작되면 각각 2A-1 → 2A-1' → 2A-2 → 2A-2' → 2A-3 → 2A-3' → 2A-4 → 2A-4'의 순서로, 2B-1 → 2B-1' → 2B-2 → 2B-2' → 2B-3 → 2B-3' → 2B-4 → 2B-4'의 순서로 전류가 각각 흐르게 되고, 각 코어수단별, 코어그룹별 전력공급 제어를 통해 두 코어수단(C1,C2)의 온도를 필요한 반응온도 범위 내에서 유지되게 할 수 있다.
- <308> 이때, 제2코어그룹-A와 제2코어그룹-B의 전기가열을 동시에 하여도 좋지만, 제2코어그룹-A의 예열이 보다 빨리 이루어지면 제2코어그룹-A의 전기가열을 먼저시작하고, 제2코어그룹-B의 예열을 전기가열되는 제1코어수단과 제2코어그룹-A로 가속화시킨 다음, 제2코어그룹-B의 전기가열을 시작하여도 좋다.
- <309> 뒤 이은 실리콘 석출온전에 따라 두 코어수단(C1,C2)에 실리콘 붕이 형성되는데, 도 2c에 코어수단별로 예시된 제1석출부(D1)와 제2석출부(D2, D2')는 제조하고자 하는 실리콘 붕의 크기가 목표값에 도달하여 석출반응이 종료되는 시점에서의 해당 석출부의 단면 모양을 개략적으로 보여주고 있다.
- <310> 이와 같이 석출반응기에 두 코어수단(C1,C2)이 서로 다른 개수의 코어그룹과 코어단위로 구성되고 코어요소의 단면이 서로 달라도 반응기 내부공간상의 어느 위치에서도 제2코어수단(C2)의 예열이 동시에 또는 순차적으로 이루어지게 하여, 본 발명에 따라 최종적으로 제조하고자 하는 크기로 실리콘 석출부(D1,D2)의 형성이 위치에 관계없이 가급적 균일하게 진행되도록 할 수 있고, 반응기의 생산성도 극대화할 수 있다.
- <311> **실시예 4**
- <312> 도 2d는 석출반응기에 단면이 원으로 동일한 총 16 세트의 코어단위가 설치되면서 제1코어수단(C1)과 제2코어수단(C2)이 서로 다른 개수의 코어그룹과 코어단위로 구성되는 경우를 개략적으로 예시한 평면도이다,
- <313> 이 예시에서는 제1코어수단(C1)이 4 세트의 로드형 제1코어단위로 이루어지는데, 제1코어단위들(1A-1 ~ 1A-4)은 단일 코어그룹으로 배치되어 있다.
- <314> 한편, 제2코어수단(C2)은 12 세트의 로드형 제2코어단위로 이루어지는데, 코어단위 2A-1, 2A-2, 2A-3, 2A-4, 2A-5 및 2A-6을 제2코어그룹-A로, 코어단위 2B-1, 2B-2, 2B-3, 2B-4, 2B-5 및 2B-6을 제2코어그룹-B로 하여, 두 가지의 제2코어그룹으로 나뉘어 배치되어 있다.
- <315> 개별 코어그룹에 포함되는 코어단위에 해당되는 전극부는 서로가 직렬로 연결되고, 제2코어그룹-A와 제2코어그룹-B는 서로가 병렬로 연결되게 구성하여, 해당 코어수단(C1,C2)별로 전력공급원(V1,V2)에 각각 전기적으로 연결되도록 전력공급계통이 이루어진다.
- <316> 이와 같이 구성되는 석출반응기의 운전을 위해서 제1코어수단(C1)과 각 제1코어단위에 해당하는 전극부(E1)로 이루어진 제1전기가열수단에 전력을 공급하면, 전극부를 기준으로 1A-1 → 1A-1' → 1A-2 → 1A-2' → 1A-3 → 1A-3' → 1A-4 → 1A-4'의 순서로 전류가 흐르면서, 제1코어수단(C1)이 전기가열되고, 제1코어단위들 주변의 제2코어단위들이 자연스럽게 예열된다.
- <317> 도 2d에 예시된 바와 같이, 가스 공급 및 배출을 위한 노즐의 설치에 필요한 공간을 제외하고 전기가열되는 제1코어수단(C1)에 의하여 제2가열수단(C2)의 예열이 효과적으로 진행될 수 있도록, 코어그룹 및 코어단위가 상하, 좌우 대칭으로 배치되어 있지만, 배치 특성상 제2코어그룹-A는 제2코어그룹-B보다 제1코어수단(C1)에 의해 예열되기에 불리하다.
- <318> 예를 들어, 제2코어그룹-B에 포함되는 코어단위들은 먼저 전기가열되는 제1코어단위의 양쪽 수직부분에 의하여 수월하게 예열될 수 있게 서로 평행하게 배치되지만, 제2코어그룹-A에 포함되는 코어단위들은 먼저 전기가열되

는 제1코어단위의 한쪽 수직부분에 의하여 다소 어렵게 예열될 수 있게 서로 수직하게 배치됨으로써 제2코어그룹-A는 제2코어그룹-B보다 늦게 예열된다.

<319> 제2코어그룹-B가 350 ~ 1,000 °C의 온도범위 내에서 가급적 높게 예열되면 낮은 전위차의 전기로도 전기가열될 수 있는데, 제2코어그룹-B에 전기가열이 시작되면 각각 2B-1 → 2B-1' → 2B-2 → 2B-2' → 2B-3 → 2B-3' → 2B-4 → 2B-4' → 2B-5 → 2B-5' → 2B-6 → 2B-6'의 순서로 전류가 흐르게 되고, 제2코어그룹-A의 코어단위들은 인근 제1코어단위 뿐만 아니라 제2코어그룹-B에 포함되는 인근 제2코어단위에 의해서도 예열됨에 따라 빠른 속도로 예열이 끝나 제2코어그룹-A도 전기가열이 수월하게 시작될 수 있게 된다.

<320> 이와 같이 제2코어수단(C2)을 그룹별로 순차적 전기가열하기 시작함으로써 석출반응기 내부의 모든 코어단위들이 전기가열되면 각 코어수단별, 코어그룹별 전력공급 제어를 통해 두 코어수단(C1,C2)의 온도를 필요한 반응온도 범위 내에서 유지되게 할 수 있다.

<321> 또한 상기와 같이 제1코어단위와 제2코어단위의 수가 서로 다르고 제2코어그룹별로 예열환경이 다르게 배치되어도, 제2코어수단(C2)의 전기가열을 서로 다른 시점에 시작할 수 있고, 두 코어수단(C1,C2) 및 해당 코어그룹들이 필요한 반응온도 범위 내에서 각각 유지되도록 전력공급을 제어하면서 반응가스(Gf)를 공급하여, 원하는 크기의 실리콘 석출부(D1,D2)의 형성이 위치에 관계없이 가급적 균일하게 진행되도록 할 수 있고, 반응기의 생산성도 극대화할 수 있다.

<322> **실시예 5**

<323> 도 2e는 석출반응기에 총 12 세트의 코어단위가 설치되면서 제1코어수단(C1)과 제2코어수단(C2)이 서로 다른 개수의 코어단위와 단면 형태로 구성되는 경우를 개략적으로 예시한 평면도이다,

<324> 이 예시에서는 동심사각형 단면의 도관 또는 튜브 형태의 제1코어수단(C1)이 4 세트의 제1코어단위로 이루어지고, 제1코어단위들(1A-1 ~ 1A-4)은 단일 코어그룹으로 배치되어 있다.

<325> 한편, 직사각형 단면의 리본 또는 스트립 형태의 제2코어수단(C2)은 8 세트의 제2코어단위로 이루어지는데, 제2코어단위들(2A-1 ~ 2A-8)도 단일 코어그룹으로 배치되어 있다.

<326> 코어수단(C1,C2)별로 코어단위에 해당되는 전극부는 서로가 직렬로 연결되고 해당 전력공급원(V1,V2)에 각각 독립되어 전기적으로 연결되도록 전력공급계통이 이루어진다.

<327> 이와 같이 구성되는 석출반응기의 운전을 위해서 제1코어수단(C1)과 각 제1코어단위에 해당하는 전극부(E1)로 이루어진 제1전기가열수단에 전력을 공급하면, 전극부를 기준으로 1A-1 → 1A-1' → 1A-2 → 1A-2' → 1A-3 → 1A-3' → 1A-4 → 1A-4'의 순서로 전류가 흐르면서, 제1코어수단(C1)이 전기가열되고, 제1코어단위들 주변의 제2코어단위들이 자연스럽게 예열된다.

<328> 도 2e에 예시된 바와 같이, 가스 공급 및 배출을 위한 노즐의 설치에 필요한 공간을 제외하고 전기가열되는 제1코어수단(C1)에 의하여 제2가열수단(C2)의 예열이 가장 효과적으로 진행될 수 있도록, 코어그룹 및 코어단위가 상하, 좌우 대칭으로 배치되는데, 예를 들어 제2코어단위 2A-1은 제1코어단위 1A-1 및 1A-4의 인근부분에 의해, 제2코어단위 2A-2는 제1코어단위 1A-1에 의해 주로 예열될 수 있게 배치되어 있다.

<329> 제2코어수단(C2)이 350 ~ 1,000 °C의 온도범위 내에서 가급적 높게 예열되면 낮은 전위차의 전기로도 전기가열될 수 있는데, 제2코어수단(C2)의 전기가열이 시작되면 코어단위 2A-1부터 2A-8까지 순서대로 전류가 흐르게 되고, 코어수단별 전력공급 제어를 통해 두 코어수단(C1,C2)의 온도를 필요한 반응온도 범위 내에서 유지되게 할 수 있다.

<330> 뒤 이은 실리콘 석출운전에 따라 두 코어수단(C1,C2)에 석출부(D1,D2)의 두께가 거의 동일한 실리콘 붕이 다른 크기로 각각 형성되는데, 도 2e는 실리콘 붕 크기가 목표값에 도달하여 석출반응이 종료되는 시점에서의 석출부의 단면 모양을 보여주고 있다.

<331> 이와 같이 제1코어단위 및 제2코어단위의 수와 단면의 형태가 서로 달라도 반응기 내부공간상의 어느 위치에서도 제2코어수단(C2)의 예열이 효과적으로 이루어져 제2코어수단(C2)의 전기가열도 수월하게 시작할 수 있고, 두 코어수단(C1,C2)이 필요한 반응온도 범위 내에서 각각 유지되게 전력공급을 제어하면서 반응가스(Gf)를 공급하여, 원하는 크기의 실리콘 석출부(D1,D2)의 형성이 위치에 관계없이 가급적 균일하게 진행되도록 할 수 있고, 반응기 생산성도 극대화할 수 있다.

<332> **실시예 6**

- <333> 도 2f는 도 2d의 예시에 비하여 보다 큰 직경의 석출반응기에 단면이 원으로 동일한 총 36세트의 코어단위가 설치되면서 제1코어수단(C1)과 제2코어수단(C2)이 서로 다른 개수의 코어그룹과 코어단위로 구성된 경우를 개략적으로 도시한 반응기 평면의 1사분면에 해당하는 예시도이다,
- <334> 이 반응기에서, 제1코어수단(C1)은 총 16세트의 로드형 제1코어단위로 이루어지는데, 코어단위 1A-1부터 코어단위 1A-8까지는 제1코어그룹-A로, 코어단위 1B-1부터 코어단위 1B-8까지는 제1코어그룹-B로 하여, 두 가지의 제1코어그룹으로 나뉘어 배치된다.
- <335> 도 2f에는 제1코어그룹-A 가운데에서 1사분면에 해당하는 부분만 도시한 것이다.
- <336> 한편, 제2코어수단(C2)은 20 세트의 로드형 제2코어단위로 이루어지는데, 코어단위 2A-1부터 2A-4까지를 제2코어그룹-A1로, 코어단위 2A-5부터 2A-8까지를 제2코어그룹-A2로, 코어단위 2B-1부터 2B-6까지를 제2코어그룹-B1로, 그리고 코어단위 2B-7부터 2B-12까지를 제2코어그룹-B2로 하여, 네 가지의 제2코어그룹으로 나뉘어 배치된다.
- <337> 도 2f에는 제2코어그룹-A1과 제2코어그룹-B1가운데에서 1사분면에 해당하는 부분만 도시한 것이다.
- <338> 개별 코어그룹에 포함된 코어단위에 해당되는 전극부는 서로가 직렬로 연결되고, 제1코어그룹-A 및 -B 그리고 제2코어그룹-A1, -A2, -B1 및 -B2는 각 그룹들이 서로가 병렬로 연결되게 구성하여, 해당 코어수단(C1,C2)별로 전력공급원(V1,V2)에 각각 전기적으로 연결되도록 전력공급계통이 이루어진다.
- <339> 이와 같이 구성되는 석출반응기의 운전을 위해서 제1코어수단(C1)과 각 제1코어단위에 해당하는 전극부(E1)로 이루어진 제1전기가열수단에 전력을 공급하면, 전극부를 기준으로 제1코어그룹-A에서는 1A-1부터 1A-8의 순서로, 제1코어그룹-B에서는 1B-1부터 1B-8의 순서로 전류가 흐르면서, 제1코어수단(C1)이 전기가열되고, 제1코어단위들 주변의 제2코어단위들이 자연스럽게 예열된다.
- <340> 여기서, 제1코어수단(C1)은 그룹별로 나눈 뒤 전기가열을 순차적으로 시작하여도 되지만 동시에 시작하여도 좋다.
- <341> 도 2f에 예시된 바와 같이, 가스 공급 및 배출을 위한 노즐의 설치에 필요한 공간을 제외하고 전기가열되는 제1코어수단(C1)에 의하여 제2가열수단(C2)의 예열이 효과적으로 진행될 수 있도록, 코어그룹 및 코어단위가 상하, 좌우 대칭으로 배치되지만, 배치 특성상 제2코어그룹-A1 및 -A2는 제2코어그룹-B1 및 -B2보다 제1코어수단(C1)에 의해 예열되기에 불리하다.
- <342> 예를 들어, 제2코어그룹-B1 및 -B2에 포함되는 2B-2 또는 2B-3과 같은 제2코어단위들은 먼저 전기가열되는 제1코어단위와 서로 최대한 가깝게 평행하게 배치되어 있지만, 제2코어그룹-A1 및 -A2에 포함되는 코어단위들은 먼저 전기가열되는 제1코어단위와 가깝게 배치되어 있어도 제2코어그룹-B1 및 -B2보다는 다소 어렵게 예열되도록 배치됨으로써, 제2코어그룹-A1 및 -A2는 제2코어그룹-B1 및 -B2보다 조금 늦게 예열될 수 있는 가능성이 있다.
- <343> 제2코어그룹-B1 및 -B2가 350 ~ 1,000 ℃의 온도범위 내에서 가급적 높게 예열되면 낮은 전위차의 전기로도 전기가열될 수 있는데, 제2코어단위 2B-1부터 2B-6의 순서로, 그리고 제2코어단위 2B-7부터 2B-12의 순서로 해당 그룹별로 전류가 흐르기 시작하고, 제2코어그룹-A1 및 -A2 코어단위들은 인근 제1코어단위 뿐만 아니라 제2코어그룹-B1 및 -B2에 포함되는 인근 제2코어단위에 의해서도 예열됨에 따라 빠른 속도로 예열이 끝나 제2코어그룹-A1 및 -A2도 전기가열이 수월하게 시작될 수 있게 되어, 제2코어단위 2A-1부터 2A-4의 순서로, 그리고 제2코어단위 2A-5부터 2A-8의 순서로 해당 그룹별로 전류가 흐르기 시작한다.
- <344> 이와 같이 제2코어수단(C2)을 그룹별로 순차적으로 전기가열하기 시작함으로써, 석출반응기 내부의 모든 코어단위들이 전기가열되면 각 코어수단별, 코어그룹별 전력공급 제어를 통해 두 코어수단(C1,C2)의 온도를 필요한 반응온도 범위 내에서 유지되게 할 수 있다.
- <345> 만일, 제1코어수단(C1)의 전기가열에 의한 제2코어수단(C2)의 예열에 있어서, 제2코어그룹별로 차이가 무시될 정도로 적다면 제2코어수단(C2) 전체, 즉 제2코어그룹 전체를 동시에 전기가열하기 시작하여도 무방하다.
- <346> 이와 같이 제1코어단위와 제2코어단위의 수가 서로 다르고 제2코어그룹별로 예열환경이 다르게 배치되어도, 제2코어수단(C2)의 전기가열을 서로 다른 시점에 시작할 수 있고, 두 코어수단(C1,C2) 및 해당 코어그룹들이 필요한 반응온도 범위 내에서 각각 유지되게 전력공급을 제어하면서 반응가스(Gf)를 공급하여, 원하는 크기의 실리콘 석출부(D1,D2)의 형성이 위치에 관계없이 가급적 균일하게 진행되도록 할 수 있고, 반응기의 생산성도 극대화할 수 있다.

- <347> **실시예 7**
- <348> 도 3 ~ 도 7은 본 발명에 따라 실리콘 석출부(D1)가 형성된 상태의 단면도로서, 실리콘 붕의 길이방향을 기준으로 그 수평방향 및 수직방향으로 절단한 횡단면(a) 및 종단면(b)을 개략적으로 도시한 단면도이다.
- <349> 각 도면에 나타난 바와 같이, 제1코어수단이 제1코어요소(C1a)의 표면에 분리층(C1b, C1b', C1b")을 형성하여 이루어지고, 제1코어수단의 표면에 외부방향으로 실리콘 석출부(D1)가 형성됨으로써 실리콘 붕이 제조되고 있다.
- <350> 도 3은 단면이 원(圓)인 로드형 제1코어요소 표면에 한 가지의 분리층을 형성하여 이루어진 제1코어수단의 표면에서 외부방향으로 실리콘 석출부가 형성되는 과정에서의 실리콘 붕의 횡단면(a) 및 종단면(b)을 개략적으로 나타낸 예시도이다.
- <351> 도 4는 단면이 원(圓)인 로드형 제1코어요소 표면에 두 가지의 분리층을 형성하여 이루어진 제1코어수단의 표면에서 외부방향으로 실리콘 석출부가 형성되는 과정에서의 실리콘 붕의 횡단면(a) 및 종단면(b)을 개략적으로 나타낸 예시도이다.
- <352> 도 5는 단면이 동심사각형인 도관(conduit)형 또는 튜브형 제1코어요소 표면에 두 가지의 분리층을 형성하여 이루어진 제1코어수단의 표면에서 외부방향으로 실리콘 석출부가 형성되는 과정에서의 실리콘 붕의 횡단면(a) 및 종단면(b)을 개략적으로 나타낸 예시도이다.
- <353> 도 6은 단면이 원(圓)인 로드형 제1코어요소 표면에 세 가지의 분리층을 형성하여 이루어진 제1코어수단의 표면에서 외부방향으로 실리콘 석출부가 형성되는 과정에서의 실리콘 붕의 횡단면(a) 및 종단면(b)을 개략적으로 나타낸 예시도이다.
- <354> 도 7은 단면이 직사각형인 판형 제1코어요소 표면에 두 가지의 분리층을 형성하여 이루어진 코어수단의 표면에서 외부방향으로 실리콘 석출부가 형성되는 과정에서의 실리콘 붕의 횡단면(a) 및 종단면(b)을 개략적으로 나타낸 예시도이다.
- <355> 도시한 바와 같이 제1코어요소(C1a)의 표면에 단수 또는 복수의 분리층(C1b, C1b', C1b")을 형성시켜 제1코어수단을 구성함은 앞서 상세히 설명한 바와 같다.

발명의 효과

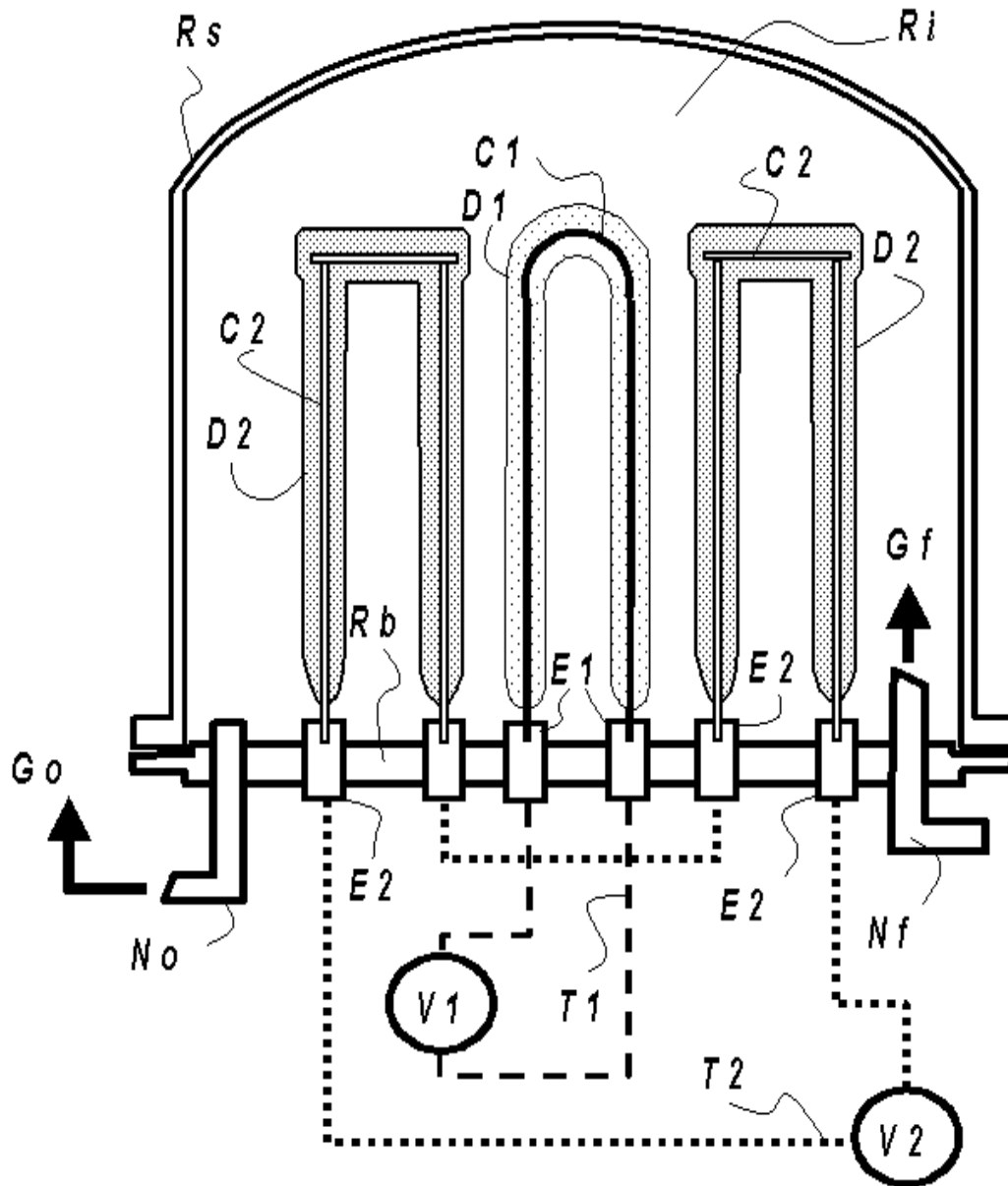
- <356> 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 다결정 실리콘 붕의 제조방법 및 장치에 의하면, 다음과 같은 효과가 있다.
- <357> 1) 전기적으로 먼저 가열된 저항성 재료의 제1코어수단으로 고순도 실리콘 재료의 제2코어수단을 예열하므로, 종래의 제조방법에서와 같이 별도의 예열수단이나 값비싸고 복잡한 전력설비와 까다로운 예열절차를 거치지 않아도 제2코어수단의 전기가열을 손쉽게 빨리 실시할 수 있다는 장점이 있다.
- <358> 2) 종래의 중형 석출반응공법에서 전력공급 및 제어설비가 차지하는 비중이 아주 크고 이러한 경제적 부담의 주원인이 실리콘 코어수단의 예열에 기인한다는 점을 고려할 때, 본 발명은 붕 형상의 다결정 실리콘을 제조함에 있어서 시설투자비 및 제조원가를 절감하는데 크게 기여할 수 있다.
- <359> 3) 본 발명에 따르면, 제2코어수단의 표면뿐만 아니라 제2코어수단의 예열수단이 되는 제1코어수단의 표면 외부방향으로도 실리콘 석출부가 동일하게 형성될 수 있는 바, 석출반응기의 생산능력을 저하시키지 않으면서 코어수단의 예열문제를 해결할 수 있게 된다.
- <360> 4) 본 발명은 새로이 설계되어 설치되는 석출반응기뿐만 아니라 선행기술에 따른 종래의 석출반응기에서도 실리콘 코어수단의 예열문제를 보다 손쉽게 빨리 해결하면서 다결정 실리콘 붕을 제조할 수 있는 바, 광범위하게 활용될 수 있는 장점을 지니고 있다.
- <361> 5) 본 발명에 의한 석출반응기에서는 품질 면에서 차이가 있는 두 가지 코어수단이 함께 사용되므로, 반도체급 다결정 실리콘과 태양전지급 다결정 실리콘을 동시에 제조하는 것도 가능하다.
- <362> 6) 본 발명에 따라 제1코어요소의 표면에 형성되는 분리막은 고온에서의 실리콘 석출과정에서 제1코어요소로부터 불순물 성분이 실리콘 석출부로 확산되는 것을 억제하거나 차단시킬 수 있는 바, 제1코어수단으로든 순도가 아주 높은 다결정 실리콘을 제조하는 것이 가능해진다.

도면의 간단한 설명

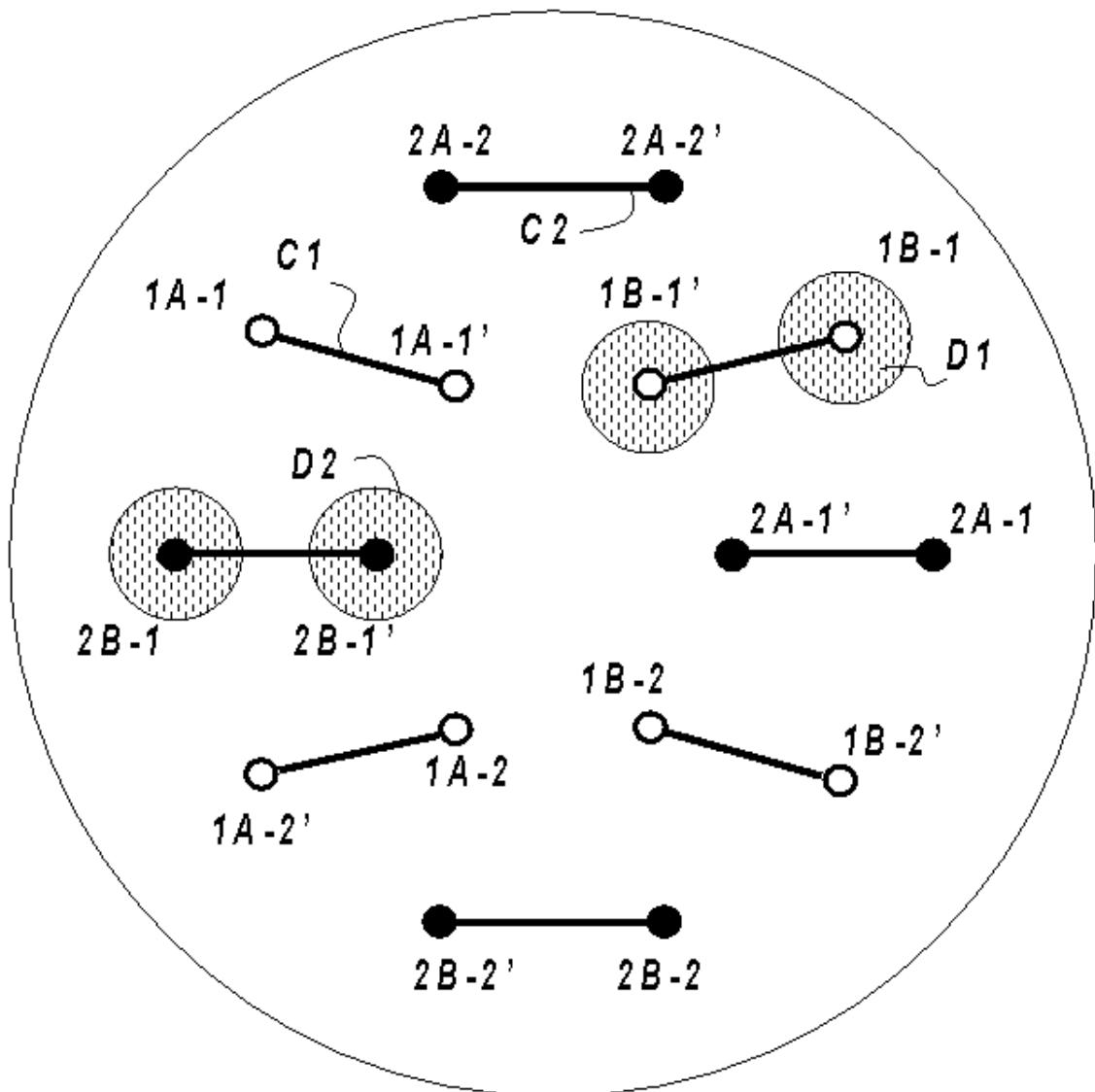
- <1> 도 1은 본 발명에 따른 봉 형상의 다결정 실리콘 제조용 석출반응기를 개략적으로 예시한 구성도이다.
- <2> 도 2a ~ 도 2f는 본 발명에 따른 봉 형상의 다결정 실리콘 제조용 석출반응기에서 제1코어수단과 제2코어수단의 배치상태를 개략적으로 예시한 평면도이다.
- <3> 도 3 ~ 도 7은 본 발명에 따라 제1코어요소의 표면에 분리층을 형성시켜 이루어진 제1코어수단의 표면에 외부방향으로 실리콘 석출부가 형성된 상태의 횡단면도(a) 및 종단면도(b)로서,
- <4> 도 3은 단면이 원(圓)인 로드형 제1코어요소 표면에 한 가지의 분리층을 형성하여 이루어진 제1코어수단의 표면에 외부방향으로 실리콘 석출부가 형성되는 과정에서의 실리콘 봉의 횡단면(a) 및 종단면(b)을 개략적으로 나타낸 예시도이고,
- <5> 도 4는 단면이 원(圓)인 로드형 제1코어요소 표면에 두 가지의 분리층을 형성하여 이루어진 제1코어수단의 표면에 외부방향으로 실리콘 석출부가 형성되는 과정에서의 실리콘 봉의 횡단면(a) 및 종단면(b)을 개략적으로 나타낸 예시도이며,
- <6> 도 5는 단면이 동심사각형인 도관(conduit)형 또는 튜브형 제1코어요소 표면에 두 가지의 분리층을 형성하여 이루어진 제1코어수단의 표면에 외부방향으로 실리콘 석출부가 형성되는 과정에서의 실리콘 봉의 횡단면(a) 및 종단면(b)을 개략적으로 나타낸 예시도이고,
- <7> 도 6은 단면이 원(圓)인 로드형 제1코어요소 표면에 세 가지의 분리층을 형성하여 이루어진 제1코어수단의 표면에 외부방향으로 실리콘 석출부가 형성되는 과정에서의 실리콘 봉의 횡단면(a) 및 종단면(b)을 개략적으로 나타낸 예시도이며,
- <8> 도 7은 단면이 직사각형인 관형 제1코어요소 표면에 두 가지의 분리층을 형성하여 이루어진 코어수단의 표면에 외부방향으로 실리콘 석출부가 형성되는 과정에서의 실리콘 봉의 횡단면(a) 및 종단면(b)을 개략적으로 나타낸 예시도이다.
- <9> <도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>
- <10> C1 : 제1코어수단 C2 : 제2코어수단
- <11> C1a : 제1코어요소 C1b, C1b', C1b" : 분리층
- <12> D1 : 제1석출부 D2 : 제2석출부
- <13> E1 : 제1전극부 E2 : 제2전극부
- <14> Gf : 반응가스 Go : 배출가스
- <15> Nf : 가스공급부 No : 가스배출부
- <16> Rb : 석출반응기 베이스부 Ri : 석출반응기 내부공간
- <17> Rs : 석출반응기 셀 T1 : 제1전력전달수단
- <18> T2 : 제2전력전달수단 V1 : 제1전력공급원
- <19> V2 : 제2전력공급원

도면

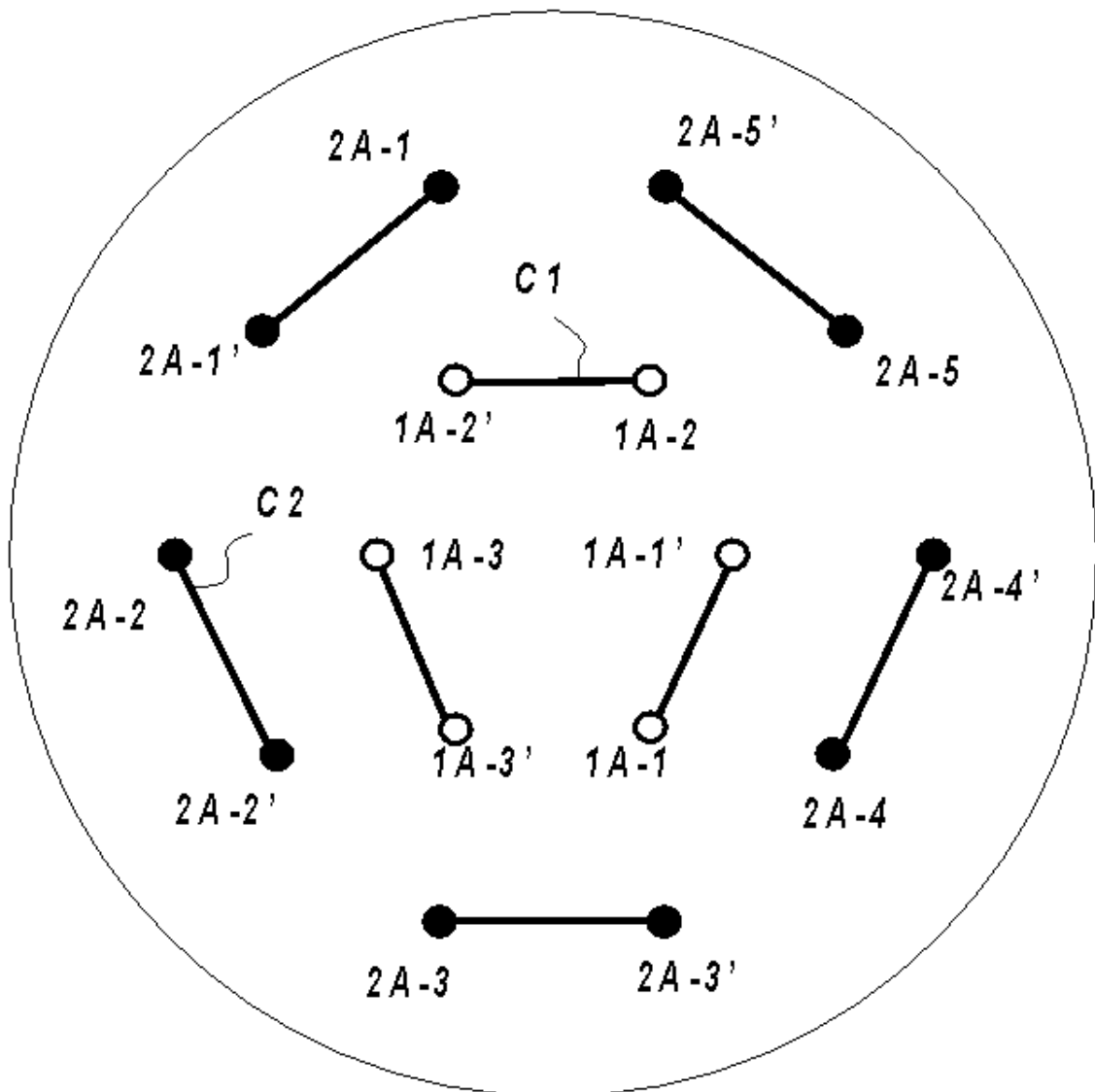
도면1



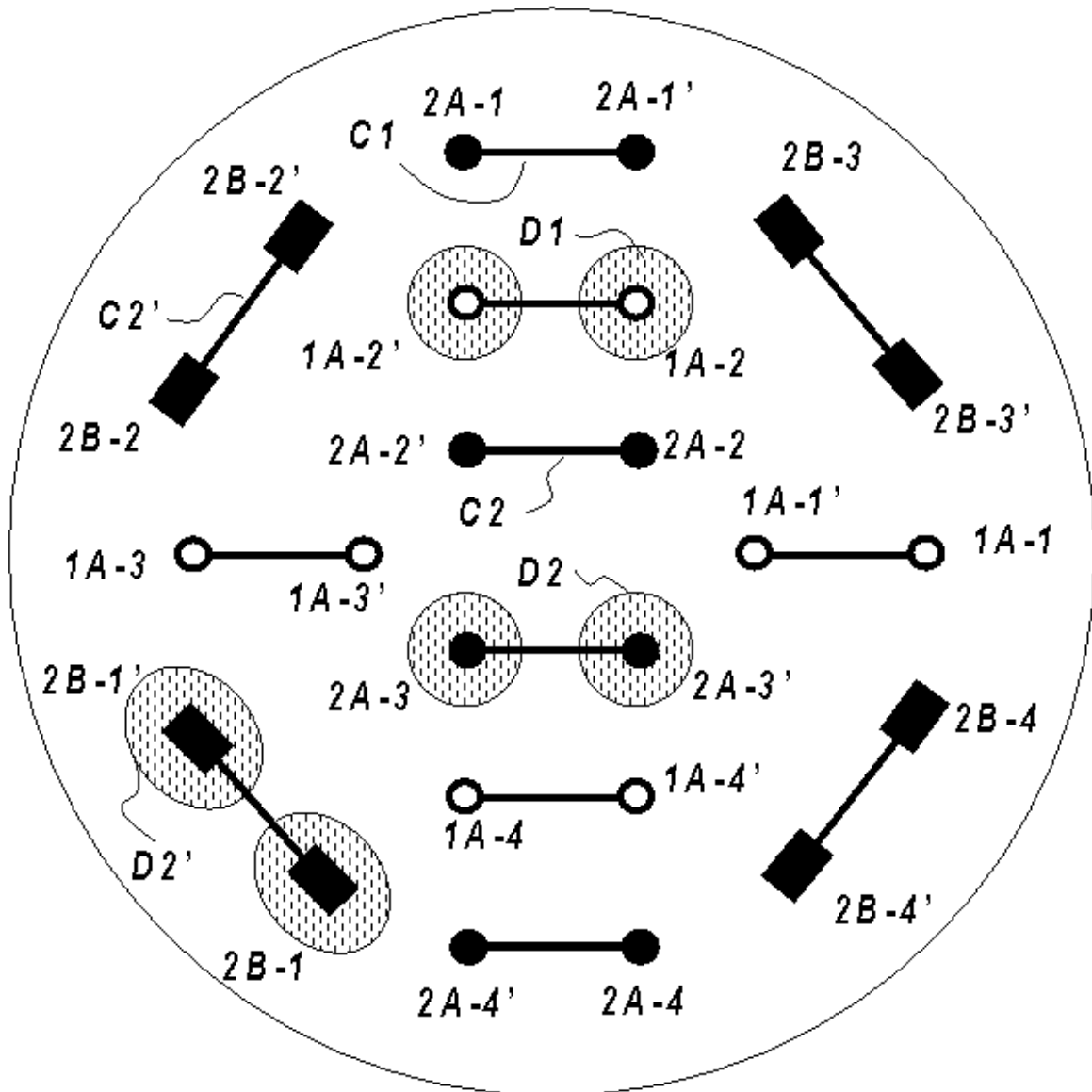
도면2a



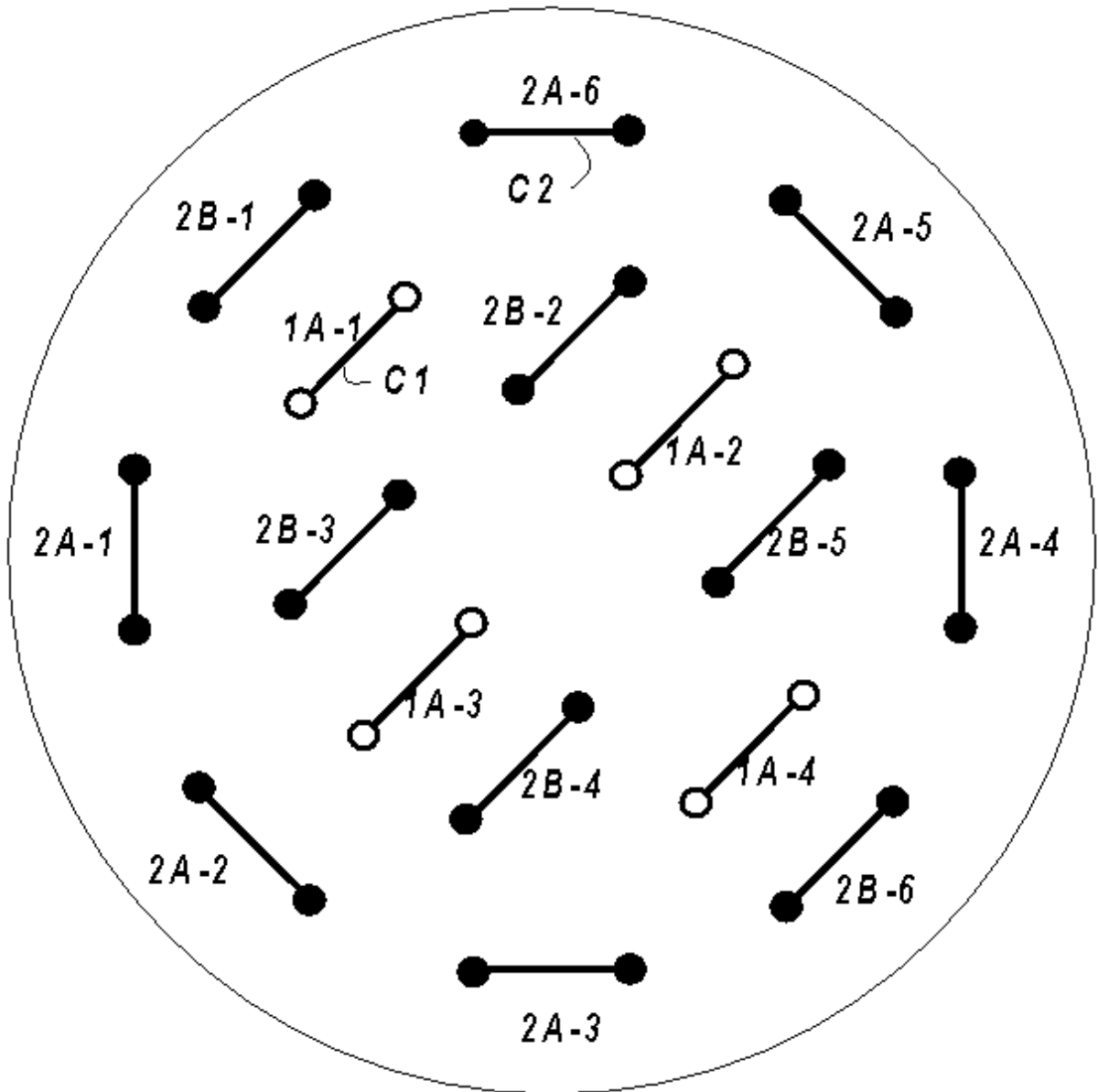
도면2b



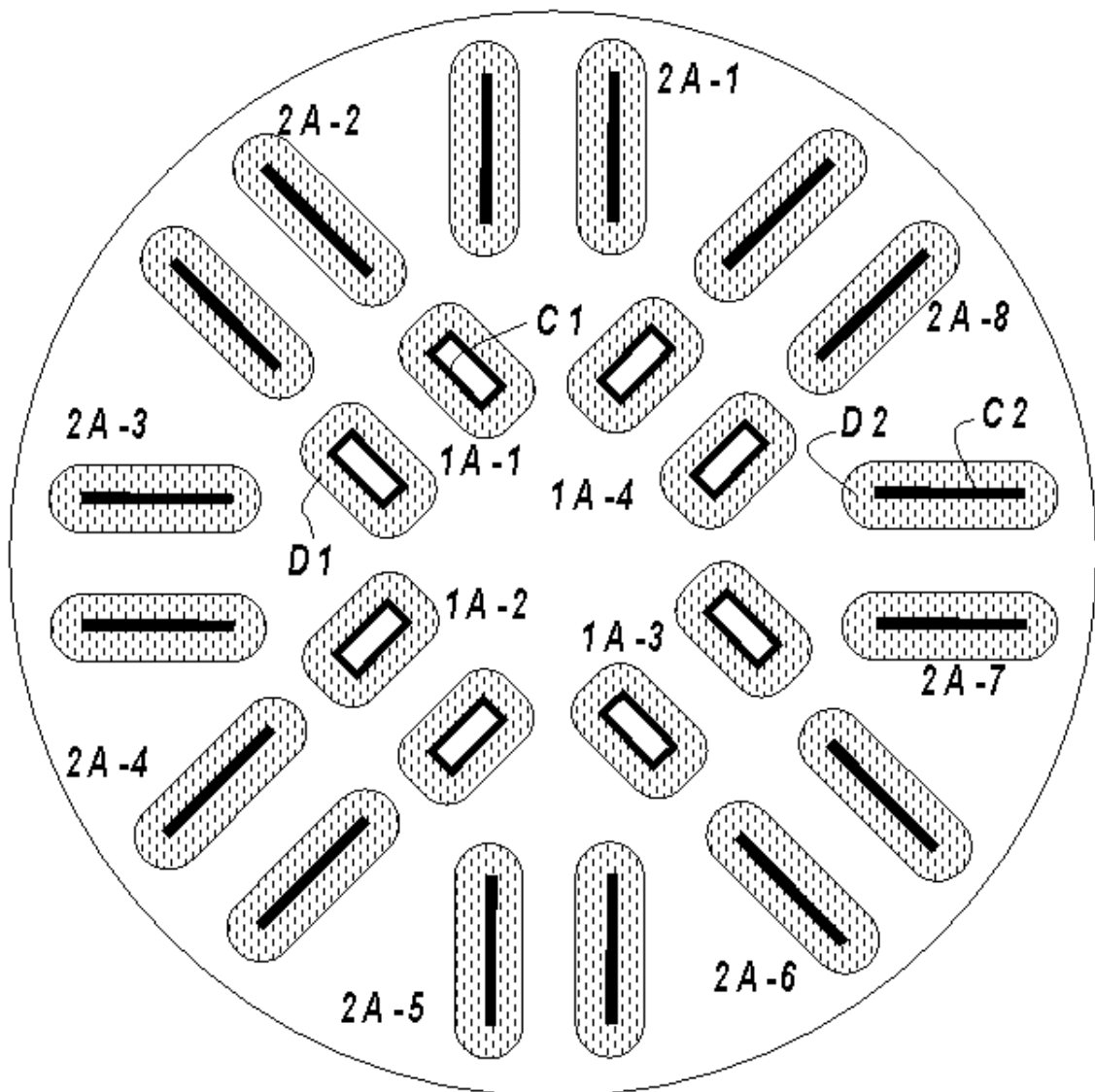
도면2c



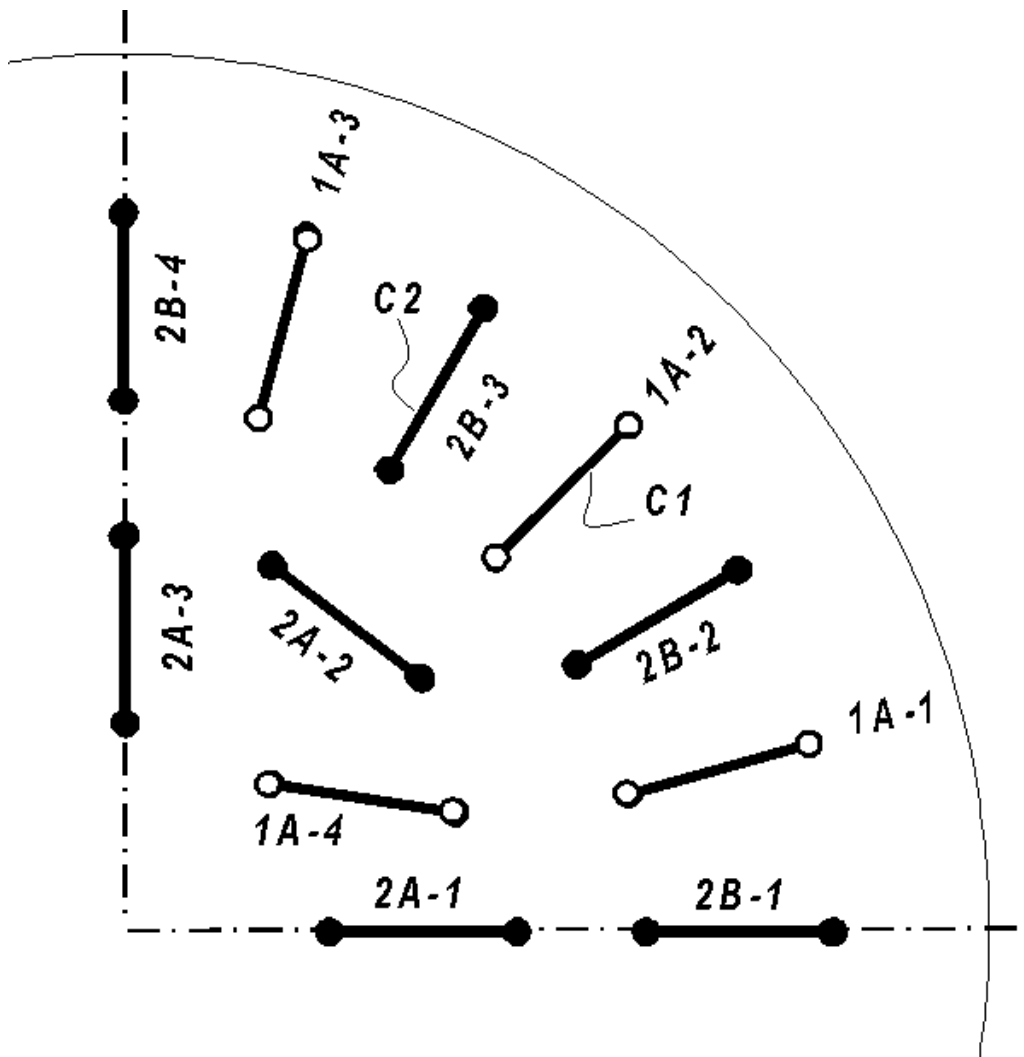
도면2d



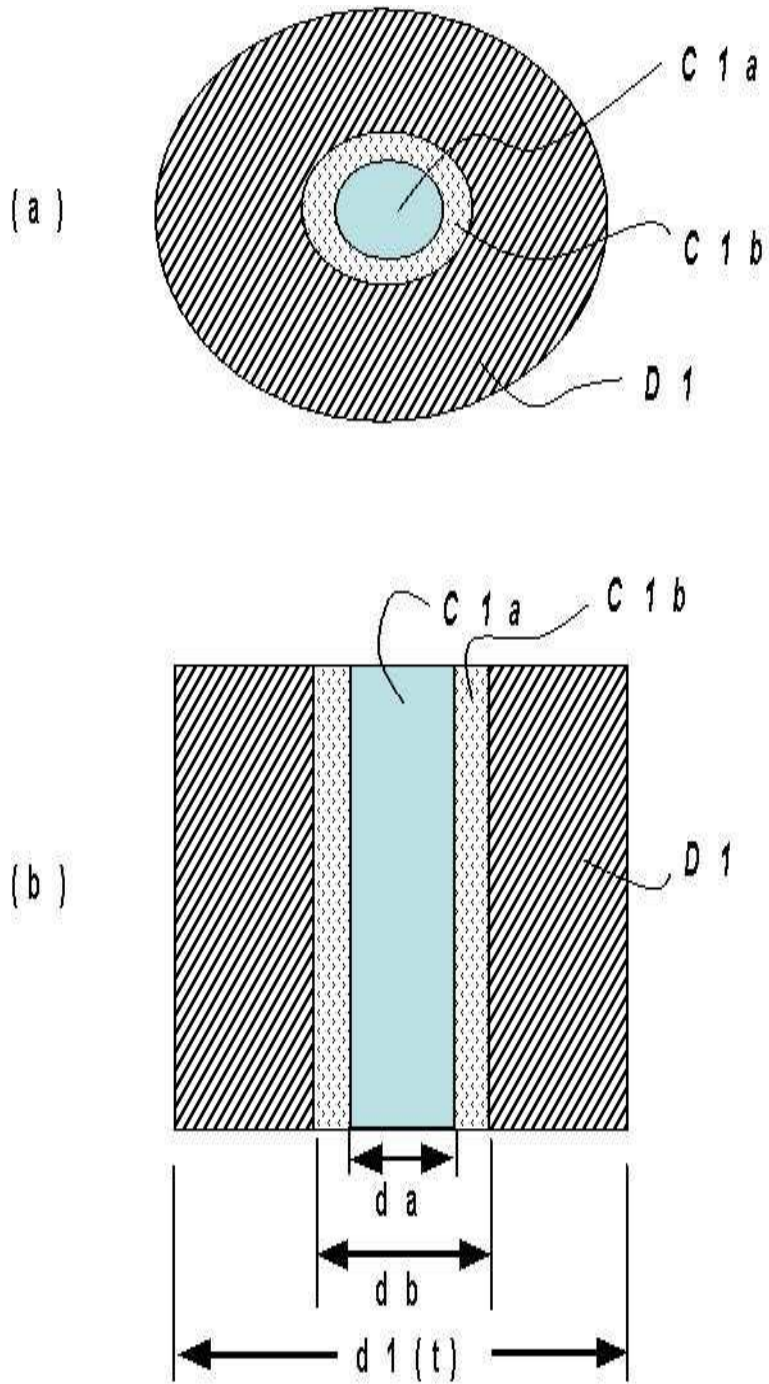
도면2e



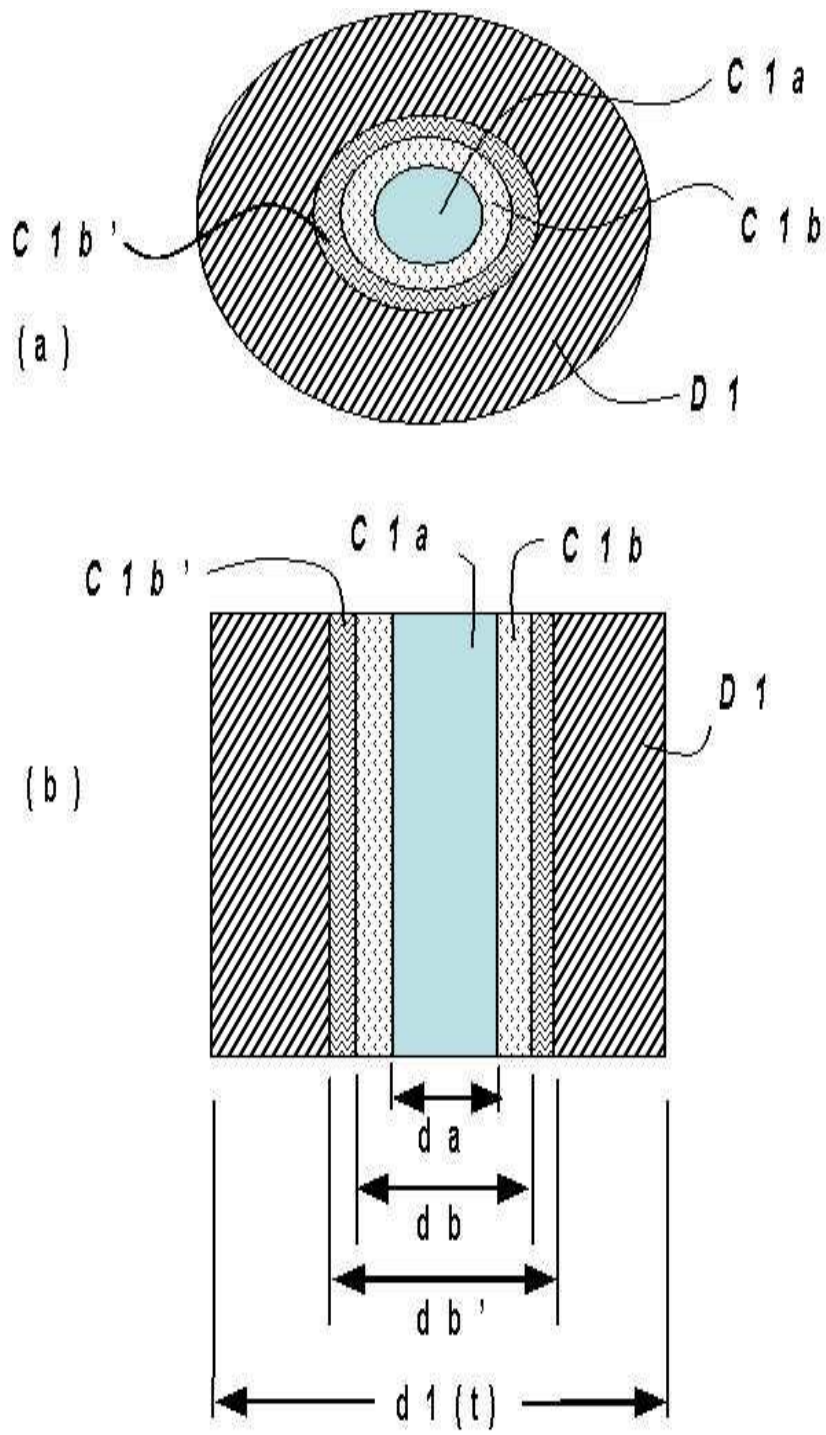
도면2f



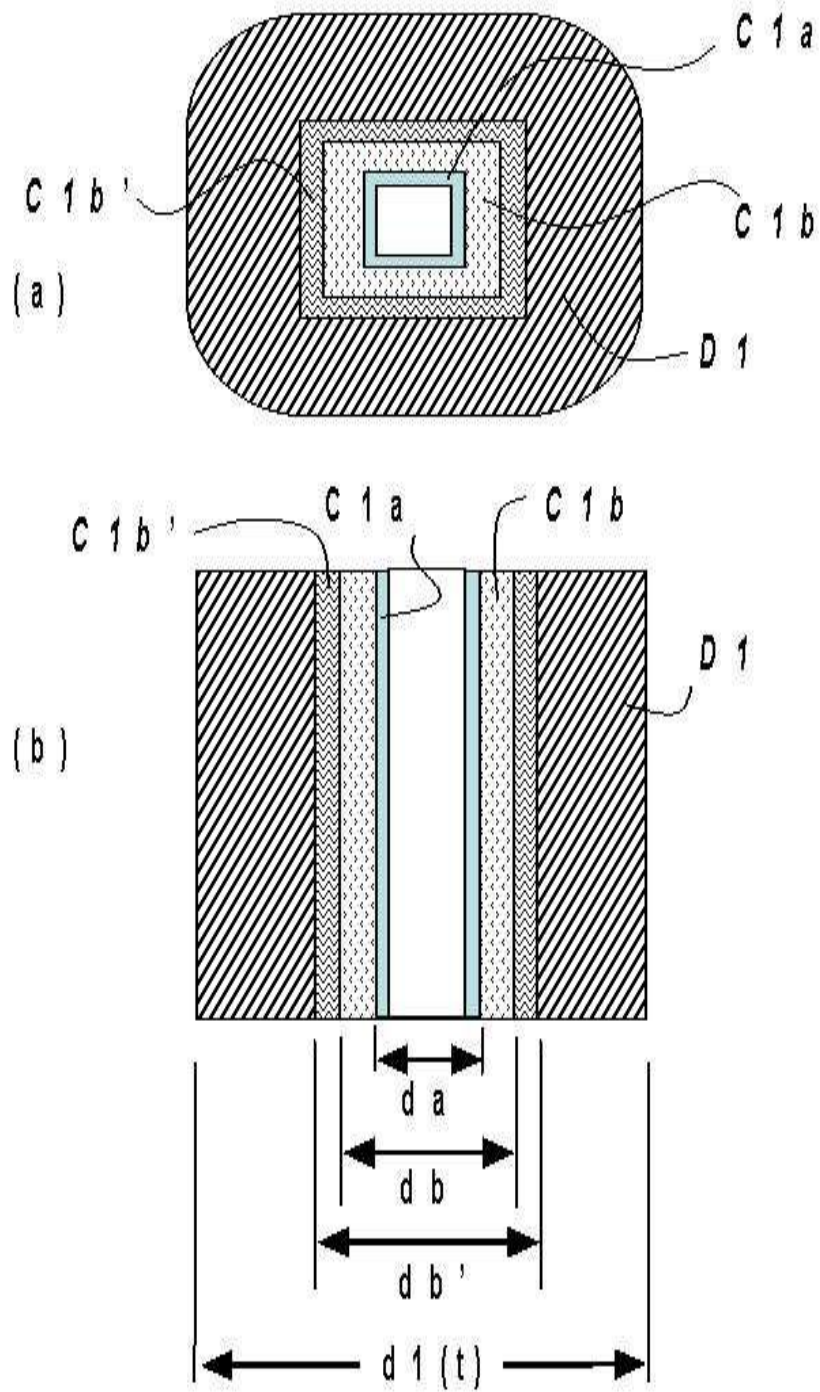
도면3



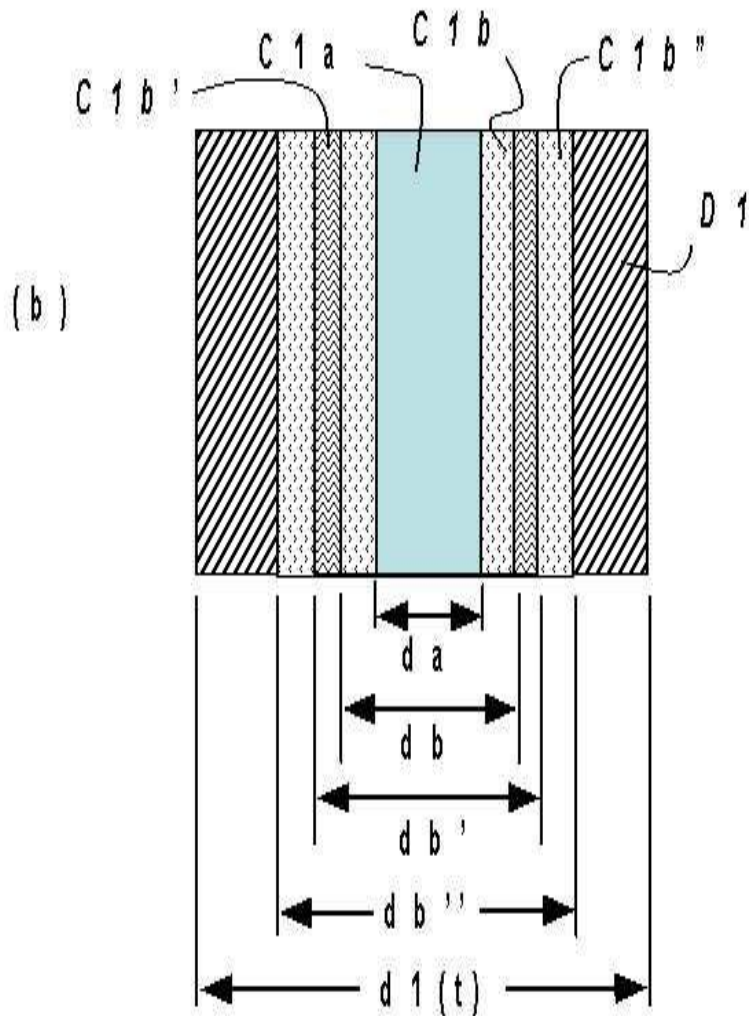
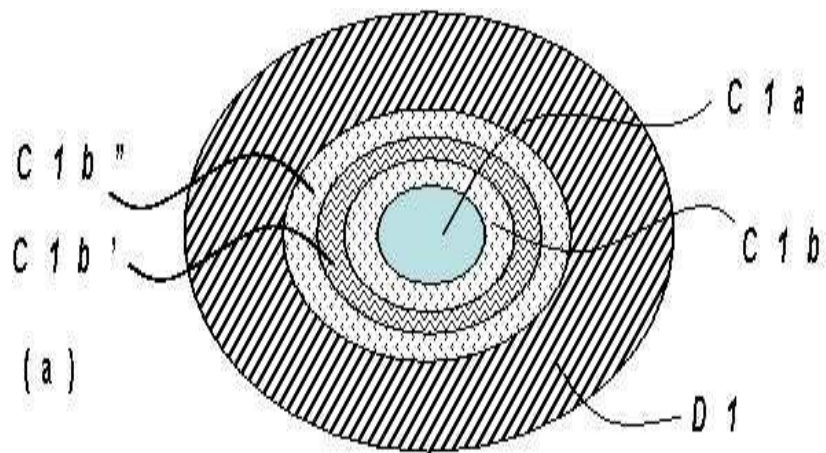
도면4



도면5



도면6



도면7

