(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년12월05일
(11) 등록번호 10-1805096
(24) 등록일자 2017년11월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/02 (2006.01) *B29C 33/44* (2006.01)
C30B 11/00 (2006.01) *C30B 15/30* (2006.01)
C30B 19/06 (2006.01) *C30B 28/04* (2006.01)
C30B 29/06 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-7021651
(22) 출원일자(국제) 2010년03월09일
심사청구일자 2015년02월17일
(85) 번역문제출일자 2011년09월16일
(65) 공개번호 10-2011-0139226
(43) 공개일자 2011년12월28일
(86) 국제출원번호 PCT/US2010/026639
(87) 국제공개번호 WO 2010/104838
국제공개일자 2010년09월16일
(30) 우선권주장
61/209,582 2009년03월09일 미국(US)
(뒷면에 계속)
(56) 선행기술조사문헌
JP2003226598 A*
JP2004149375 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
1366 테크놀로지 인코포레이티드
미합중국 매사추세츠 베드퍼드 프레스톤 코트 6-8 (우: 01730)
(72) 발명자
삭스 에마뉴엘 엠.
미국 매사추세츠 02459, 뉴턴, 모어랜드 애비뉴 18
월리스 리처드 엘.
미국 매사추세츠 01720, 액튼, 나쇼바 로드 51
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
황의만

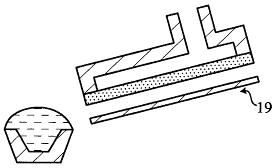
전체 청구항 수 : 총 57 항 심사관 : 홍정혜

(54) 발명의 명칭 **용융금속으로부터 박형 반도체 물체를 제조하는 방법 및 장치**

(57) 요 약

몰드 시트 전역에 걸쳐서 압력차가 적용되며 반도체(예를 들어, 실리콘) 웨이퍼가 그 위에 형성된다. 압력차를 완화시키면 웨이퍼가 해제된다. 몰드 시트는 용융물보다 차가울 수 있다. 열은 거의 전적으로 형성 웨이퍼의 두께를 통해 추출된다. 액체와 고체 계면은 실질적으로 몰드 시트에 평행하다. 응고하는 고체의 온도는 그 폭 전역에 걸쳐서 실질적으로 균일하며, 그 결과 응력 및 전위밀도가 낮아지고 결정 품질이 높아진다. 몰드 시트는 그를 통해 가스가 흘러야 한다. 용융물은 용융물의 상단과 전체 영역이 접촉; 수평상태나 수직상태에 관계없이 또는 중간에서 몰드 시트와 용융물의 부분 접촉을 횡단; 및 몰드 시트를 용융물 속에 침지함에 의해 시트에 도입될 수 있다. 입도는 많은 수단에 의해 제어될 수 있다.

대 표 도 - 도5d



(72) 발명자

한추 에어릭 티.

미국 매사추세츠 02139, 캠브리지, 코퍼럴 맥터넌 스트리트 20, 아파트 108

로렌츠 아담 엠.

미국 매사추세츠 02474, 알링턴, 팔머 스트리트 61

허델슨 지. 디. 스티븐

미국 매사추세츠 02421, 렉싱턴, 그레이프바인 애비뉴 39

존크자크 랄프

미국 델라웨어 19808, 윌밍턴, 글렌배리 드라이브 12

(30) 우선권주장

61/224,730 2009년07월10일 미국(US)

61/237,965 2009년08월28일 미국(US)

명 세 서

청구범위

청구항 1

반도체의 제조방법으로서, 상기 방법은:

a. 표면을 갖는 용융 반도체 재료를 제공하는 단계;

b. 형성면을 포함하는 다공성 몰드를 제공하는 단계;

c. 형성면의 적어도 일부에서의 압력이 용융 재료 표면에서의 압력보다 작도록 된 차압 형태(differential pressure regime)를 제공하는 단계;

d. 형성면을 용융재료에 일정 시간 동안 접촉시켜서 상기 접촉 시간 중의 적어도 일부 동안

i. 상기 차압 형태가 제공되고;

ii. 형성면의 적어도 일부가 반도체 재료의 용융점 미만의 온도에 있게 하여,

반도체 재료 물체가 형성면상에서 응고하도록 하는 단계;

e. 응고된 물체가 형성면상에 있는 상태에서 형성면을 용융 반도체 재료에 대하여 움직이게 하는 단계; 및

f. 차압 형태의 정도를 줄여서 응고된 물체가 형성면으로부터 분리되는데 기여하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 차압 형태를 제공하는 단계는, 용융 재료 표면에 대기압을 제공하고 형성면에는 대기압보다 작은 압력을 제공하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 형성면을 용융재료와 접촉시키는 단계 전에, 형성면을 용융재료의 표면에 대하여 기울여서 형성면의 일부만이 용융재료의 표면과 초기에 접촉하게 하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서, 형성면을 용융재료와 접촉시키는 단계 후에, 형성면을 중력장에 대하여 기울여서 용융재료가 형성면으로부터 흐르게 하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 형성면과 용융재료 사이에 기능성 재료를 제공하는 단계를 더 포함하며, 기능성 재료는:

a. 입자성장의 핵형성을 억제하는 것;

b. 불순물이 몰드로부터 응고된 반도체 물체쪽으로 통과하는 것을 방지하는 것;

c. 응고된 반도체 물체가 형성면으로부터 해제되는 것을 향상시키는 것;

d. 응고된 반도체 물체의 특정 위치에서 입자 성장의 핵형성을 촉진시키는 것; 및

e. 용융 반도체 재료의 열추출 형성을 제어하는 것

으로 구성된 그룹 중 적어도 하나에 기여하도록 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서, 형성면을 용융재료와 접촉시키는 단계 전에, 형성면을 용융재료의 표면에 대하여 배향하여 형성면의 일부만이 용융재료와 초기에 접촉하게 하는 단계를 더 포함하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7

제 5 항에 있어서, 기능성 재료를 제공하는 단계는 기능성 재료를 용융재료의 표면에 제공하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서, 기능성 재료는 산화규소, 이산화규소(실리카), 탄화규소, 질화규소, 규소, 산질화규소, 옥시탄화규소 및 질화붕소로 구성된 그룹에서 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서, 형성면을 용융 재료에 접촉시키는 단계 전에, 형성면과 용융 재료 사이에 우선핵형성제를 제공하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제 1 항에 있어서, 비접촉의 젖지 않는 메니스커스 제어 요소를 적용하여 응고된 물체로부터 부착성 용융 재료를 분리시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

제 1 항에 있어서, 다공성 몰드는 흑연, 규소, 탄화규소, 질화규소, 실리카, 산질화규소, 옥시탄화규소 및 질화붕소로 구성된 그룹에서 선택된 재료를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12

제 1 항에 있어서, 형성면은 결조직 표면을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 13

제 1 항에 있어서, 다공성 몰드는 소결분말로 된 물체를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 14

제 1 항에 있어서, 형성면의 선택된 위치에서 입자 성장의 핵형성을 제어하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 15

제 1 항에 있어서, 형성면의 선택된 위치에서 입자 성장의 방향성을 제어하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 16

제 1 항에 있어서, 입자성장 핵형성을 제어하는 단계 및 성장의 방향성을 제어하는 단계로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 적어도 하나의 단계를 더 포함하며, 상기 적어도 하나의 단계는:

a. 몰드에 공간적으로 변하는 두께를 제공하는 것;

b. 형성면에 대하여 공간적으로 변하는 압력차를 제공하는 것;

c. 몰드에 공간적으로 변하는 단열성을 제공하는 것;

d. 형성면에 공간적으로 변하는 결조직을 제공하는 것;

e. 몰드에 공간적으로 변하는 열확산율을 제공하는 것;

f. 형성면에 영역 고유의 온도 프로파일을 제공하는 것; 및

g. 용융 재료와 먼저 접촉하는 형성면상의 위치에 결정 시드를 제공하는 것

으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 적어도 하나의 기술을 이용하여 달성되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 17

제 1 항에 있어서,

a. 용융 재료를 제공하는 단계는 용융 재료를 용기 속에 제공하는 것을 포함하며, 용기는 적어도 하나의 벽을 가져서 벽 위에 있는 최상측부를 갖는 용기로부터 반대 방향으로 향하는 볼록한 굴곡을 갖는 용융 재료의 메니스커스가 존재하며; 그리고

b. 형성면을 용융 재료에 접촉시키는 단계는 형성면을 볼록한 메니스커스에 대하여 통과시키는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 18

제 1 항에 있어서, 차압 형태를 제공하는 단계는:

a. 몰드 표면의 제 1 영역에 인접하여 제 1 차압을 제공하고; 그리고

b. 몰드 표면의 다수의 개별 위치에 제 2의 다른 차압을 제공하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 19

제 1 항에 있어서, 용융 재료의 표면의 진동운동을 억제하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 20

제 1 항에 있어서, 몰드는 한정된 열용량을 가져서, 결과물인 응고된 물체의 두께가 접촉 시간에 대해 독립적인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 21

제 1 항에 있어서, 용융 재료를 제공하는 단계는 용융 재료를 용기 속에 제공하여 용융 재료가 5㎜ 미만의 깊이를 갖도록 하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 22

반도체의 제조방법으로서:

a. 표면을 갖는 용융 반도체 재료를 제공하는 단계;

b. 형성면을 포함하는 다공성 몰드를 제공하는 단계;

c. 형성면의 적어도 일부에서의 압력이 용융 재료 표면에서의 압력보다 작도록 된 차압 형태를 제공하는 단계;

d. 형성면을 용융재료에 일정 시간 동안 접촉시켜서 상기 접촉 시간 중의 적어도 일부 동안 상기 차압 형태가 제공되고 반도체 재료 물체가 형성면상에서 응고하도록 하는 단계; 및

응고된 물체를 형성면으로부터 분리하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 23

제 22 항에 있어서, 형성면과 용융재료 사이에 기능성 재료를 제공하는 단계를 더 포함하며, 기능성 재료는 입자성장의 핵형성을 억제하는 것에 기여하도록 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 24

제 22 항에 있어서, 형성면과 용융재료 사이에 기능성 재료를 제공하는 단계를 더 포함하며, 기능성 재료는 불순물이 몰드로부터 응고된 반도체 물체쪽으로 통과하는 것을 방지하는 것에 기여하도록 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 25

제 22 항에 있어서, 형성면과 용융재료 사이에 기능성 재료를 제공하는 단계를 더 포함하며, 기능성 재료는 응

고된 반도체 물체가 형성면으로부터 해제되는 것을 향상시키는 것에 기여하도록 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 26

제 22 항에 있어서, 형성면과 용융재료 사이에 기능성 재료를 제공하는 단계를 더 포함하며, 기능성 재료는 응고된 반도체 물체의 특정 위치에서 입자 성장의 핵형성을 촉진시키는 것에 기여하도록 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 27

제 22 항에 있어서, 형성면과 용융재료 사이에 기능성 재료를 제공하는 단계를 더 포함하며, 기능성 재료는 용융 반도체 재료로부터의 열추출을 제어하는 것에 기여하도록 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 28

제 22 항에 있어서, 몰드에 공간적으로 변하는 두께를 제공함으로써 달성되는 입자성장 핵형성을 제어하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 29

제 22 항에 있어서, 형성면에 대하여 공간적으로 변하는 압력차를 제공함으로써 달성되는 입자성장 핵형성을 제어하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 30

제 22 항에 있어서, 몰드에 공간적으로 변하는 단열성을 제공함으로써 달성되는 입자성장 핵형성을 제어하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 31

제 22 항에 있어서, 형성면에 공간적으로 변하는 결조직을 제공함으로써 달성되는 입자성장 핵형성을 제어하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 32

제 22 항에 있어서, 몰드에 공간적으로 변하는 열확산율을 제공함으로써 달성되는 입자성장 핵형성을 제어하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 33

제 22 항에 있어서, 형성면에 영역 고유의 온도 프로파일을 제공함으로써 달성되는 입자성장 핵형성을 제어하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 34

제 22 항에 있어서, 용융 재료와 먼저 접촉하는 형성면상의 위치에 결정 시드를 제공함으로써 달성되는 입자성장 핵형성을 제어하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 35

제 22 항에 있어서, 몰드에 공간적으로 변하는 두께를 제공함으로써 달성되는 성장 방향성을 제어하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 36

제 22 항에 있어서, 형성면에 대하여 공간적으로 변하는 압력차를 제공함으로써 달성되는 성장 방향성을 제어하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 37

제 22 항에 있어서, 몰드에 공간적으로 변하는 단열성을 제공함으로써 달성되는 성장 방향성을 제어하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 38

제 22 항에 있어서, 형성면에 공간적으로 변하는 결조직을 제공함으로써 달성되는 성장 방향성을 제어하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 39

제 22 항에 있어서, 몰드에 공간적으로 변하는 열확산율을 제공함으로써 달성되는 성장 방향성을 제어하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 40

제 22 항에 있어서, 형성면에 영역 고유의 온도 프로파일을 제공함으로써 달성되는 성장 방향성을 제어하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 41

제 22 항에 있어서, 용융 재료와 먼저 접촉하는 형성면상의 위치에 결정 시드를 제공함으로써 달성되는 성장 방향성을 제어하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 42

제 22 항에 있어서, 용융 재료의 표면의 진동운동을 억제하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 43

제 22 항에 있어서, 용융재료 내에 적어도 하나의 배플(baffle)을 제공하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 44

반도체의 제조장치로서:

a. 표면을 갖는 용융 반도체 재료를 유지하는 수단;

b. 형성면을 포함하는 다공성 몰드;

c. 형성면의 적어도 일부에서의 압력이 용융 재료 표면에서의 압력보다 작도록 된 차압 형태를 제공하는 수단;

d. 형성면을 용융재료에 일정 시간 동안 접촉시켜서 상기 접촉 시간 중의 적어도 일부 동안 반도체 재료 물체가 형성면상에서 응고하도록 차압 형태을 제공하는, 접촉 수단; 및

응고된 물체를 형성면으로부터 분리하는 수단

을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 45

제 44 항에 있어서, 형성면과 용융재료 사이에 기능성 재료를 제공하기 위한 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 46

제 44 항에 있어서, 입자성장 핵형성을 제어하기 위한 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 47

제 44 항에 있어서, 입자성장의 방향성을 제어하기 위한 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 48

제 44 항에 있어서, 형성면의 적어도 일부를 반도체 재료의 용융점 이하의 온도로 유지하기 위한 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 49

제 44 항에 있어서, 몰드가 공간적으로 변하는 두께를 갖는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 50

제 44 항에 있어서, 형성면에 대하여 공간적으로 변하는 압력차를 제공하기 위한 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 51

제 44 항에 있어서, 몰드가 공간적으로 변하는 단열성을 갖는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 52

제 44 항에 있어서, 형성면이 공간적으로 변하는 결조직을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 53

제 44 항에 있어서, 몰드가 공간적으로 변하는 열확산율을 갖는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 54

제 44 항에 있어서, 형성면에 영역 고유의 온도 프로파일을 제공하기 위한 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 55

제 44 항에 있어서, 용융 재료와 먼저 접촉하는 형성면상의 위치에 결정 시드를 제공하기 위한 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 56

제 44 항에 있어서, 용융 재료의 표면의 진동운동을 억제하기 위한 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 57

제 44 항에 있어서, 용융재료 내에 적어도 하나의 배플을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 관련문헌들

[0002] 2009년 3월 9일에 에마뉴엘 엠. 삭스(Emanuel M. Sachs), 리처드 엘. 월리스(Richard L. Wallace), 에어릭 티. 한추(Eerik T. Hantsoo) 및 아담 엠. 로렌츠(Adam M. Lorenz)가 용융재료로부터 박형 반도체 시트를 제조하는 방법 및 장치라는 명칭으로 출원한 미합중국 가출원 제 61/209,682호, 2009년 6월 10일에 에마뉴엘 엠. 삭스(Emanuel M. Sachs), 리처드 엘. 월리스(Richard L. Wallace), 에어릭 티. 한추(Eerik T. Hantsoo) 및 아담 엠. 로렌츠(Adam M. Lorenz)가 직접 커프레스 실리콘 웨이퍼 공정(DIRECT KERFLESS SILICON WAFER PROCESS)이라는 명칭으로 출원한 미합중국 가출원 제 61/224,730호, 및 2009년 8월 28일에 에마뉴엘 엠. 삭스(Emanuel M. Sachs), 리처드 엘. 월리스(Richard L. Wallace), 아담 엠. 로렌츠(Adam M. Lorenz), 에어릭 티. 한추(Eerik T. Hantsoo) 및 조지 데이비드 스티븐 허델슨(George David Stephen Hudelson)이 커프레스 실리콘 웨이퍼 형성 공정{KERFLESS SILICON WAFER FORMING PROCESSES}이라는 명칭으로 출원한 미합중국 가출원 제 61/237,965호에 근거하여 우선권을 주장하며, 이들 출원 각각을 여기서 전부 언급함으로써 인용한다.

[0003] 서론

[0004] 여기서 개시하는 발명들은 실리콘 태양전지의 제조용 고품질 기판을 생산하기 위해 재결정되는 프리폼(preform)으로서 나중에 사용될 수 있는 실리콘 시트를 제조하는 방법이다. 여기서 개시하는 다른 방법들은 재결정 없이 태양전지의 제조에 사용될 수 있는 실리콘 박판을 제조하는 방법이다. 여기서 개시하는 방법들은 또한 실리콘 이외의 용융 반도체 재료로부터 박판을 제조하는데도 사용될 수 있다.

배 경 기 술

[0005] 미합중국을 지정국으로 하고 또한 2007년 6월 26일에 출원된 미국 가출원 제 60/937,129호에 의거하여 우선권을 주장하여 2008년 6월 26일에 에마뉴엘 엠. 삭스(Emanuel M. Sachs), 제임스 지. 서디(James G. Serdy) 및 에어릭 티. 한추(Eerik T. Hantsoo)와 매사추세츠 공과대학이 박막 캡슐에서의 반도체 웨이퍼의 재결정 및 관련 공정이라는 명칭으로 출원한 특허협력조약 출원 제 PCT/US2008/008030호에 공정들이 개시되어 있다. 이 출원들에서 개시된 기술은 반도체를 다른 결정 형태로 재결정시키는데 사용될 수 있는데 여기서는 캡슐내 재결정(RIC) 기술이라고 부른다. 상기 RIC PCT 출원 및 미합중국 가출원을 여기서 전부 언급함으로써 인용한다. 여기에 개시된 방법들은 RIC기술을 이용하여 나중에 재결정되는 출발재료 반도체 시트 프리폼을 제조하는데 사용될 수 있다.

[0006] 미합중국을 지정국으로 하고 역시 두 개의 미합중국 가출원, 즉 2007년 2월 15일에 출원된 미합중국 가출원 제 60/901,511호 및 2008년 1월 23일에 출원된 미합중국 가출원 제 61/011,933호에 의거하여 우선권을 주장하여 2008년 2월 15일에 에마뉴엘 엠. 삭스(Emanuel M. Sachs) 및 제임스 에프. 브렛(James F. Bredt)과 매사추세츠 공과대학이 결조직의 면을 갖는 태양전지라는 명칭으로 출원한 특허협력조약 제 PCT/US2008/002058호에 특정의 처리안 및 양식이 개시되어 있다. 이들 출원에 개시된 기술은 여기서 일괄하여 자체정렬전지(Self Aligned Cell; SAC) 기술이라고 부른다. 여기에 개시된 방법들은 상기 SAC 특허출원에 개시된 자체정렬전지용 출발 가공대상물로서 사용하기 위한 결조직의 반도체 웨이퍼를 제조하는데 사용할 수 있다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0007] 개요

[0008] 도 3a, 도 3b, 도 3c 및 도 3d에 도시된 여기서 개시하는 방법의 일 실시형태에 있어서, 실리콘 용융물(13)이 유지되고, 흑연 같은 다공성 내화재료로 된 차가운 시트(15)는 용융물을 지나가서 내화재료가 용융물의 상단(15)과 접촉하게 된다. 시트를 통하여 주위 대기를 끌어당기기 위해 다공성 내화 시트의 상단에 진공(17)이 적용된다. 용융물과 접촉시, 두 가지 과정이 기본적으로 동시에 일어나는데: 즉 1) 실리콘이 다공성 내화시트의 차가운 표면에 달라붙으며; 2) 진공이 실리콘을 내화시트에 고정시킨다. 그 결과 차가운 내화기판상에 얇은 실리콘 시트(19)가 생긴다. 실리콘은 진공(17)을 해제한 후에 내화시트로부터 해제될 수 있다. 내화시트가 실리콘 용융물(13)에 접촉할 때 차갑기 때문에 내화시트(5)에 부착은 거의 없거나 전혀 없다. 이 방법은 실리콘에 추가하여 다른 박형 반도체 시트를 형성하는데 사용될 수 있다. 다음의 논의는 초기의 예로서 실리콘을 사용하고 나중에 이를 일반적으로 말한다.

도면의 간단한 설명

[0009] 도 1은 본 발명과 함께 사용하기 위한 플레넘 및 내화 몰드 시트의 개략도;

도 2는 결조직 면을 갖는 내화 몰드 시트를 갖는 이런 플레넘의 개략도;

도 3a, 도 3b, 도 3c 및 도 3d는 도 1에 도시한 바와 같은 플레넘을 사용하는 발명의 방법 단계들의 개략도로서, 도 3a는 용융물 표면과 접촉하는 내화시트를 보여주고, 도 3b는 몰드 시트상에 형성된 반도체 시트를 보여주며, 도 3c는 용융물로부터 제거된 플레넘 및 몰드 시트 조립체를 보여주며, 도 3d는 플레넘의 진공 해제시에 몰드 시트로부터 해제되는 형성된 반도체 시트를 보여준다;

도 4a, 도 4b, 도 4c 및 도 4d는 도 1에 도시한 바와 같은 플레넘을 사용하는 발명의 반연속 실시형태의 방법 단계들의 개략도로서, 도 4a는 도가니의 가장자리를 지나 위로 연장되는 용융물 표면에 도달하는 내화시트를 보여주고, 도 4b는 몰드 시트가 용융물의 표면 전역에 걸쳐서 이동할 때 몰드 시트상에 형성되는 반도체 시트를 나타내며; 도 4c는 용융물을 지나간 후에 용융물로부터 제거된 플레넘 및 몰드 시트 조립체를 보여주며, 도 4d

는 플레넘의 진공의 해제시에 몰드 시트로부터 해제된 형성된 반도체 시트를 보여준다;

도 5a, 도 5b, 도 5c 및 도 5d는 도 1에 도시한 바와 같은 플레넘을 사용하는 발명의 다른 반연속 실시형태의 방법 단계들의 개략도로서, 도 4a - 도 4d에 도시한 것과 유사하지만 몰드 시트 표면이 용융물 표면에 대하여 기울어지도록 플레넘이 용융물 표면을 지나가는데, 도 5a는 용융물 표면에 도달하는 내화 시트를 보여주고, 도 5b는 몰드 시트상에 형성되는 반도체 시트를 보여주며, 도 5c는 용융물로부터 제거된 플레넘 및 몰드 시트 조립체를 보여주며, 도 5d는 몰드 시트로부터 해제된 형성된 반도체 시트를 보여준다;

도 6은 백킹재가 내화시트를 보강하는 도 1에 도시한 바와 같은 플레넘 및 내화 몰드 시트의 개략도;

도 7a, 도 7b 및 도 7c는 반도체 시트에 큰 크기의 결조직을 제공하기 위해 매우 큰 크기의 결조직을 갖는 몰드 시트를 가지며 도 1에 도시한 바와 같은 플레넘을 사용하는 발명의 방법단계들의 개략도로서, 도 7a는 결조직의 내화시트를 보여주고, 도 7b는 대응하는 반도체 쉘이 부착된 결조직의 내화시트를 보여주며, 도 7c는 몰드 시트로부터 해제되어 형성된 결조직의 반도체 시트를 보여준다;

도 8a - 도 8e는 몰드 형성면을 용융재료의 표면과의 거의 면대면 접촉으로부터 철수시키는 방법 및 장치의 5단계를 개략단면도로서 보여준다;

도 9a - 도 9c는 점차적으로 거의 면대면 접촉을 이루도록 형성면을 용융물 표면쪽으로 하방으로 기울임으로써 몰드 형성면을 용융재료의 표면에 도입하는 방법 및 장치의 3단계를 개략단면도로서 보여준다;

도 10a - 도 10e는 용융재료가 형성면의 가장자리에 축적되는 동안 형성면을 용융물 표면으로부터 멀리 기울임으로써 몰드 형성면을 용융재료의 표면과의 거의 면대면 접촉으로부터 철수하는 방법 및 장치의 5단계를 개략단면도로서 보여준다;

도 11은 부분적으로 잠긴 흑연으로 된 림을 갖는 도가니를 개략적으로 보여준다;

도 12는 파동을 억제하기 위한 침수형 배플을 갖는 도가니를 개략적으로 보여준다;

도 13a 및 도 13b는 용융물의 자유표면 위에 있지만 용융재료에 의해 젖지 않는 메니스커스 제어 요소로 용융재료의 메니스커스를 형성된 반도체로부터 분리하는 것을 보여주는 방법 및 장치의 2단계를 개략단면도로서 보여준다;

도 14a 및 도 14b는 용융재료에 의해 젖지 않는 부분적으로 잠긴 메니스커스 제어 요소로 용융재료의 메니스커스를 형성된 반도체로부터 분리하는 것을 보여주는 방법 및 장치의 2단계를 계략단면도로서 보여준다;

도 15는 몰드형성면에 국부적으로 돌출한 액체 표면을 제공하기 위해 도가니 내에 위치하여 용융재료를 펌핑할 수 있는 융기 슬롯을 갖는 도가니를 개략단면도로서 보여준다;

도 16은 이동하는 몰드 표면에 국부적으로 돌출하는 액체 표면을 제공하기 위해 용융 재료가 위로 유동할 수 있는 융기된 이동 둑을 갖는 도가니를 개략단면도로서 보여준다;

도 17a 및 도 17b는 전자유체역학적 원리를 이용하여 용융물에 융기된 범프를 제공하기 위한 방법 및 장치의 2단계를 개략적으로 보여준다;

도 18은 비교적 큰 입도를 갖는 결정을 성장시키기 위한 시드결정을 개략적으로 보여준다;

도 19는 비교적 작고 비교적 강한 이동하는 진공 플레넘이 내부에 위치하는 비교적 크고 비교적 약한 진공플레넘을 개략적으로 보여준다;

도 20은 국부적인 진공 프로파일 제어를 위해 막힌 구멍이 플레넘 쪽으로 향하는 몰드 표면을 갖는 몰드 시트를 개략단면도로서 보여준다;

도 21은 국부적인 진공 프로파일 제어를 위해 서로 다른 열전도성의 영역을 갖는 형성표면을 갖는 몰드 시트를 개략단면도로서 보여준다;

도 22a 및 도 22b는 용융재료의 용융물에 인접하여 몰드를 제공하고 몰드는 그 몰드에 대하여 물체가 응고하도록 용융물 표면을 수직하게 지나서 이동하는 방법 및 장치의 2단계를 개략단면도로서 보여준다;

도 23a 및 도 23b는 용융 재료의 용융물 속으로 몰드를 수직하게 도입하는 방법 및 장치의 2단계를 개략단면도로서 보여준다;

도 24는 몰드 위로 다량의 용융재료를 제공하고, 그 아래에는 몰드 시트의 반대측면으로부터 진공이 당겨주는 방법 및 장치를 개략단면도로서 보여준다;

도 25는 형성된 응고체를 몰드 표면으로부터 분리하기 위한 이젝터핀의 기구를 개략단면도로서 보여준다;

도 26은 형성된 응고체를 몰드 표면으로부터 분리하기 위한 스트리퍼 플레이트 기구를 개략단면도로서 보여준다;

도 27은 몰드 시트를 몰드 조립체에 고정하는 것을 도와주고 형성된 웨이퍼를 몰드 시트로부터 해제하는데도 사용하기 위한 이중 플레넘 조립체를 개략단면도로서 보여준다;

도 28은 상대 진공적용 영역을 지나서 연장되어 몰드 표면보다 면적 정도가 작은 응고체가 되게 하는 몰드 표면을 개략단면도로 보여준다;

도 29는 굴곡 가장자리를 가져서 몰드 표면으로부터 보다 쉽게 분리될 수 있는 응고체가 만들어지는 몰드 표면을 개략단면도로서 보여준다;

도 30은 여러 가지 재료 및 여러 가지 두께의 몇 개 층으로 구성된 다공성 몰드를 개략적으로 보여준다;

도 31a는 표면 결조직을 갖는 다공성 몰드 시트의 개략단면도를 보여준다;

도 31b는 도 31a의 다공성 몰드 시트를 보여주는데, 비교적 가벼운 진공이 적용되었으며, 몰드 표면과 용융 성형 재료 사이의 비교적 소량의 접촉면적을 발생한다;

도 31c는 도 31a의 다공성 몰드 시트를 보여주는데, 비교적 강한 진공이 적용되었으며, 몰드 표면과 용융 성형 재료 사이에 비교적 다량의 접촉면적을 발생시킨다;

도 32a, 도 32b, 도 32c, 도 32d 및 도 32e는 용융재료의 표면상에 기능성 재료를 제공하여 사용하기 위한 방법의 단계들을 개략적으로 보여준다;

도 33a, 도 33b, 도 33c, 도 33d, 도 33e, 도 33f, 도 33g 및 도 33h는 희생적 웨이퍼를 성장시키고, 그 희생적 웨이퍼상에 기능성 재료를 성장시키며, 희생적 웨이퍼를 용융시키고, 기능성 재료를 웨이퍼로부터 용융물 표면상에 남기며, 기능성 재료에서 몰드 형성면을 용융물과 접촉시키고, 형성된 웨이퍼를 형성면에서 응고시키며, 형성된 웨이퍼를 몰드 표면으로부터 제거하는 방법의 단계들을 개략적으로 보여준다;

도 34는 원추형 통공을 갖는 기판, 전형적으로는 실리콘의 개략단면도를 보여준다;

도 35는 레이저 절삭되어 분말로 채워진 구멍들을 가지며, 몰드 표면을 갖는 몰드 시트로서 사용하기 위한 기판, 전형적으로는 실리콘의 개략단면도를 보여준다;

도 36은 내측부가 부분적으로 산화되고 외층이 다공성 SiO_2인 몰드 표면을 갖는 몰드 시트로서 사용하기 위한 기판, 전형적으로는 실리콘의 개략단면도를 보여준다;

도 37은 금속 시드층의 무전해 도포 및 레이저 증강을 사용하여 미소다공성 실리콘 기판을 제조하기 위한 발명의 방법의 단계들을 개략플로우챠트 형태로 보여준다;

도 38은 내측부가 벌크 실리콘이고 산화된 다공성 실리콘 플러그가 관통되어 있으며 외층은 벌크 SiO_2인 몰드 표면을 갖는 몰드 시트로서 사용하기 위한 기판, 전형적으로는 실리콘의 개략단면도를 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 상세한 설명

[0011] 여기서 개시하는 발명들의 일반적인 측면들을 먼저 개시한다. 이 일반적인 측면들 다음으로 상세한 변형들을 논한다.

[0012] 먼저 본 발명의 일측면을 배치형 실시로 논할 것인데, 여기서 단일 반도체 시트는 도 3a 내지 도 3b를 참조하여 개략적으로 도시한 바와 같이 한번에 만들어진다. 이 경우, 반도체 용융물(13)은 흑연, 실리카, 탄화규소, 질화규소 및 용융 실리콘을 함유한다고 알려진 그 외의 재료로 만들어진 종래의 도가니(11)에 담겨질 수 있다. 도 1에 상세히 도시한 바와 같이, 예를 들어 흑연 블록 속에 캐비티(3)를 기계가공함으로써 진공 플레넘(vacuum plenum)(1)이 형성된다. 플레넘(1)의 바닥에는 흑연 박형 시트(5)가 부착된다. 이 박형 시트는 바람직하게는

상당한 정도의 가스 투과율을 갖는다(높은 공극률을 갖고/갖거나 비교적 얇다). 이 플레넘은 바람직하게는 이용 가능한 최소의 다공질 흑연이다. 이 플레넘은 또한 비다공질 세라믹으로도 만들어질 수 있다. 이 박판은 여기서 몰드 시트라고 부를 것이다. 포트(7)에는 진공 흡입력이 적용된다. 플레넘(1) 및 몰드 시트(5)의 조립체(8)는 구조부재(도시하지 않음)에 의해 상부로부터 지지된다. 진공 포트(7)의 연장부는 이 구조부재로서 작용할 수 있거나, 또는 별개의 구조부재가 제공될 수 있다. 이제 도 3a를 참조하면, 조립체(8)는 도 3a에서처럼 용융물(13)의 표면(15)과 접촉된다. 조립체는 지정된 시간, 아마도 1초의 크기의 시간 동안 용융물과 접촉한 상태로 유지된다. 조립체와 용융물간의 접촉시간량은 용융물의 온도, 몰드 시트의 온도, 몰드 시트의 두께 및 제조할 실리콘 시트의 원하는 두께를 포함하는 요인들에 따라서 변하겠지만, 이들에 한정되는 것은 아니다. 실리콘 시트는 몰드 시트(5)가 실리콘의 응고점보다 차갑기 때문에 도 3b에 도시한 바와 같이 몰드 시트상에서 응고한다. 따라서 이 공정은 과도열전달(transient heat transfer)이 되어 결국 실리콘 용융물(13)이 융점까지 냉각되고 융해열이 추출되며, 그 결과 몰드 시트 상에 고체 실리콘의 집적물(19)이 생긴다. 일반적으로 몰드 시트는 용융 재료의 응고점보다 차갑게 유지되어야 한다. 보다 일반적으로 몰드 시트의 적어도 일부는 몰드 시트가 용융 재료와 접촉하는 시간의 적어도 일부 동안 응고점 미만의 온도에 있어야 한다. 실리콘을 일예로 들자면, 응고/용융점은 1412℃이다. 몰드 시트를 유지하는 유효한 범위는 실온 내지 1300℃, 아마도 900℃-1200℃의 범위일 수 있지만, 환경 전체에 따라서 응고/용융점 미만의 어떤 온도도 적절할 수 있다.

[0013] 이 진공의 주요한 목적은 실리콘 시트(19)를 몰드 시트(5)에 대하여 일시적으로 유지시키기 위한 것이다. 실리콘 시트가 형성된 다음에는 실리콘 시트(19)가 몰드 시트(5)로부터 쉽게 제거되는 것이 유용하다. 실리콘 시트가 간단히 떨어진다면 매우 도움이 된다. 그러나 실리콘 시트가 형성됨에 따라서 몰드 시트(5)에 달라붙는다는 것이 매우 중요하다. 진공(17)은 이 목적을 달성시켜준다. 진공이 없으며 몰드 시트가 적절한 시간 동안 용융 실리콘(13)과 접촉한 후에 제거될 때 고화된 실리콘(18)은 나중에 용융물의 상단에 남을 것이며 다시 용융될 것이다. 실제로는 고화된 실리콘 시트(19)를 용융물(13, 15)로부터 제거하는 데는 상당한 부착력이 필요한데, 왜냐하면 용융 실리콘의 표면장력이 실리콘 시트(19)를 내리누르고 있기 때문이다.

[0014] 지정된 시간 후에, 조립체(8)는 도 3c에 도시한 바와 같이 용융물(13)로부터 들어올려져서 이제 실리콘 시트(19)가 거기에 부착되어 있다. 마지막으로, 도 3d에서 진공(17)이 해제되고 형성된 실리콘 시트(19)가 몰드 시트(5)로부터 분리될 수 있다. 진공(17)이 해제되면 실리콘 시트(19)는 간단히 떨어질 수 있다. 그러나 일부 소량의 잔류 부착력이 시트가 떨어지는 것을 방지할 수 있다. 한가지 대처방안은 시트(19)를 불어 떨어뜨리기 위해 조립체(8)의 플레넘에 양압의 가스압력을 적용하는 것이다. 다른 대처방안은 약간 완만하게 기계적으로 제거하는 것이다. 이를 위한 기술들은 아래에서 상세하게 논한다.

[0015] 흑연몰드 시트(5)는 실리콘 시트(19)에 부착시키는 목표를 달성하는데 충분한 흡입력을 허용할 수 있도록 충분한 다공성을 가져야 한다. 매우 큰 범위의 다공성에 걸쳐서 흑연의 등급이 매우 크게 변화한다. 두 가지 이런 적절한 선택물은 Carbone of America의 한 부서인 Ultra Carbon Corporation of Bay City Michigan에서 구할 수 있는 Grade UT6 및 Grade 2191이다. 충분한 양이 가스가 통과할 수 있도록 몰드 시트(26)를 제조함으로써 보다 낮은 다공성의 흑연도 사용될 수 있다. 도 6을 참조하여 개략적으로 도시한 바와 같이, 몰드 시트(26)가 너무 얇아서 진공하에서 그 전체 폭에 걸쳐서 스스로 지탱할 수 없다면, 플레넘 내에 백업 구조물(29)이 제공될 수 있다. 이 구조물은 리브 및 기둥 형태로 플레넘 속에 기계가공될 수 있다. 다른 방법으로서 백업 지지하기 위해 플레넘 속에는 큰 다공성이나 그 외의 다공성 재료편이 배치될 수 있다. 예를 들어, 기술적으로 알려진 세라믹 필터체를 사용하여 극히 높은 다공성을 얻을 수 있다.

[0016] 몰드 시트(5)의 다공성은 용융 실리콘(13)이 기공 속으로 들어가서 실리콘 시트(19)의 해제를 어렵게 하거나 불가능하게 할 정도로 커서는 안 된다. 두 가지 독립적인 인자가 결합하여 실리콘이 미세 기공 속으로 들어가는 것을 방지한다. 먼저 용융 실리콘의 표면장력은 너무 높아서 용융 실리콘이 (비습윤 재료의) 미세 기공을 침투할 수 없다. 두 번째로 실리콘은 몰드 시트와 접촉시에 급속하게 응고하기 시작하며, 이 응고는 특히 미세 기공에 의해 주어지는 높은 체적에 대한 표면적 비율 상황에서 빠를 것이다. 이 두 번째 요인은 심지어 젖은 재료에서도 존재한다.

[0017] 몰드 시트에서 낮은 다공성 흑연의 이점은 이 재료의 입경이 작고 따라서 이 재료가 형성된 실리콘 시트상의 미세한 마감을 부여할 수 있다는 점이다. 이런 마감부는 거의 거울형상이 될 수 있으며 매우 매끈한 실리콘 시트를 제공한다. 다른 방법으로서, 도 2에 도시한 바와 같이, 흑연 시트(35)는 몰드 시트(5) 속에 의도적으로 기계가공된 결조직 구조(9)를 가져서 그 결조직을 형성된 실리콘 시트에 전달할 수 있다. 그리고 이 결조직은 금속화 채널처럼 그리고 도전성 핑거 및 버스바처럼 전술한 SAC 특허출원에서 설명한 것 같이 빛을 포착함과 함께 전지의 제조작업을 완성하는데 필요한 홈을 제공하는 작용을 할 수 있다. 진공을 적용하면 실리콘 용융물이 끌

어 당겨져서 홈, 채널 등 같은 관련 결조직 요소를 채우게 된다. 진공흡입력은 용융 실리콘의 표면장력을 극복하여 결조직 요소를 채울 필요가 있다. 결조직 요소는 반구형으로 성형될 수 있다. 그 결과 채워질 수 있는 최소의 반구형 결조직 요소는 다음과 같이 라플라스 방정식(Laplace's equation)을 적용함으로써 추측할 수 있다:

[0018] 압력 = 1 기압 = 2 γ/r

[0019] 여기서 γ는 용융 실리콘의 표면장력이고 r은 반구형 결조직의 반경이다. γ=0.72N/m인 실리콘에서 r은 7미크론이다. 이는 양호한 광포착을 부여할 수 있도록 충분히 작은데, 구체적으로 결조직이 에칭된 결조직보다 클 수 있기 때문이다(실리콘이 에칭/폐기될 필요가 없기 때문). 금속화 홈의 피처크기(feature size)는 광포착 기구의 그것보다 크며, 따라서 금속화 홈들을 용융 재료로 채우기가 더 쉽다. 실제로 광포착 결조직은 매우 큰 규모로 실시될 수 있다. 상단면의 형태는 웨이퍼 자체의 두께보다 깊을 수 있는 특징적인 크기를 가질 수 있다. 전술한 논의는 대략 대기압에서 용융면을 사용하는 것과 관련된다. 이하에 대기압보다 높은 압력에서 용융면을 사용하는 변형예를 검토하겠는데, 이는 전술한 것보다 작은 반구형 결조직 요소를 얻을 수 있게 할 것이다.

[0020] 도 7a, 도 7b 및 도 7c는 큰 크기의 결조직을 갖는 몰드 시트(31)를 보여준다. 이 결조직의 크기는 형성될 실리콘 시트의 원하는 두께보다 크다. 도 7b는 응고된 반도체 시트(32)가 배치된 몰드 시트 및 플레넘 조립체를 보여준다. 도 7c는 몰드 시트로부터 해제된 후의 실리콘 반도체 시트(32)를 보여준다. 도시한 바와 같이, 형성된 시트(32)의 주름의 진폭은 시트(32) 자체의 두께의 적어도 3배이다.

[0021] 한가지 중요한 과제는 응고층이 용융물로부터 들어 올려질 때 일부 액체가 바닥에 달라붙은 다음 바닥을 울퉁불퉁하게 하는 방식으로 응고한다는 것이다. 이를 최소화하기 위한 한 방법은 먼저 일측 가장자리 또는 코너부터 몰드 시트를 들어올려서 용융 재료가 웨이퍼의 바닥으로부터 떠나서 용융물체 속으로 돌아오게 하는 것이다.

[0022] 응고하는 반도체 시트가 액체로부터 급속하게 분리되는 것은 몰드 시트를 용융물과 접촉한 직후에 수 밀리미터(메니스커스 분리(meniscus detachment) 없이 대략 10mm이하가 가능하다) 들어올림으로써 촉진될 수 있다. 이렇게 되면 액체가 초승달처럼 되므로 몰드 시트가 응고종료시에 들어올려질 때 보다 쉽게 떨어질 것이다. 과도한 액체 부착을 최소화하기 위해 형성된 반도체 시트를 기울이는 단계를 이하에 보다 상세히 검토한다.

[0023] 철수시에 형성된 반도체 시트의 하측면으로부터 잔류 액체를 제거하는데 대한 다른 대처방안은 몰드 시트 및 부착된 반도체 시트를 급속하게 회전시켜서 잔류 용융재료를 그 측면으로부터 떨어지게 하는 것이다. 이는 정사각형의 몰드 시트로 실시될 수 있다. 그러나, 대칭을 위해 둥근 몰드 시트를 사용하여 디스크형 반도체 시트 웨이퍼가 던져질 수 있다. 그리고 이 웨이퍼는 원하는 형상 및 크기로 레이저 트리밍되고 절단된 조각들은 재용융될 수 있다. 몰드 시트 및 웨이퍼의 회전은 메니스커스의 분리시에 바로 개시되는데, 이는 몰드 시트를 들어올림으로써 이루어진다. 다른 방법으로서, 회전 개시는 메니스커스 부착이 이루어지게 하는 수단이 될 수 있다. 회전에 의해 측방향으로 배출된 액체는 수용 도가니의 측벽에 충돌하여 용융물 속으로 다시 떨어질 수 있다. 다른 방법으로서, 소량의 액체만이 배출된다면 이 액체가 도가니의 가장자리 위로 던져져서 용융물로부터 이를 제거할 수 있게 된다. 이들 액체방울은 계획된 보수 중에 나중에 제거할 수 있도록 차가운 표면과 충돌하여 거기에 달라붙는다. 이 소량의 액체는 응고중의 불순물의 석출 때문에 농축 불순물을 함유할 것이다. 따라서 이 액체를 제거하면 시스템으로부터 불순물이 제거될 것이다. 형성된 반도체 시트를 회전시키는 단계를 이하에 상세히 검토하고 도시한다.

[0024] 몰드 시트의 온도를 예를 들어 1200℃까지 높게, 또는 실리콘과 몰드 시트 사이의 부착을 피할 수 있을 정도로 높게 올리는 것이 바람직할 수 있다. 고온은 몰드 시트로 인해 열전달이 느려지며 고화된 반도체 시트내의 입자 크기가 커질 것이다. 또한, 지금 검토하고 있는 단일 웨이퍼 배치(batch)모드에서 공정 전반에 걸친 보다 용이한 제어를 위해서는 고화에 5초 정도 길게 소요되는 것이 바람직할 수 있다. 또한, 고화가 몰드 시트상의 일지점이나 일측면으로부터 다른 지점이나 측면으로 진행하도록 하기 위해 몰드 시트에 걸친 온도프로파일을 제어하는 것이 바람직할 수 있다. 예를 들어, 원형 몰드 시트에서는 원하는 입자성장방향에 따라서 중심이 주변보다 높거나 주변이 중심보다 높은 것이 바람직할 수 있다. 주변에서 초기에 핵이 생성하면 유리할 것인데 왜냐하면 이들 작은 입자들이 트리밍 작업 중에 절단될 것이기 때문이다.

[0025] 몰드 시트에 전역에 걸쳐서 온도를 제어하는 한가지 수단은 몰드 시트를 용융물 위로 1-2cm의 위치에 유지하여 열을 얻어서 (나중에 진공을 가하는데 사용될 포트를 통하여) 몰드 시트를 통해 아르곤을 취출함으로써 시트를 냉각시켜서 온도를 제어할 수 있게 할 수 있게 하는 것이다. 몰드 시트의 두께가 그 전체 범위에 걸쳐서 변화

한다면 그를 통과하는 유동이 변할 것이다. 몰드 시트가 더 두꺼운 경우는 냉각 가스의 유동이 작아지고 몰드 시트가 뜨거워질 것이다. 몰드 시트가 용융물의 표면 위의 제 위치에 있는 동안 아르곤을 몰드 시트로부터 취출하는 것의 다른 이점은 산화규소 같은 증기가 몰드 시트에 증착되는 것을 방지할 것이라는 것이다.

[0026] 응고되어 형성된 반도체 시트는 간단히 진공의 제거에 의해 몰드 시트로부터 해제될 수 있다. 그 외에 가스가 일부 외부로 유동하게 되어 형성된 반도체 시트의 분리를 도와줄 수 있다. 또한, 가스를 외부로 유동시키기 위해 플레넘 내에 압력을 적용해서도 몰드 시트를 약간 그리고 제어 가능하게 물러나게 하여 형성된 실리콘 반도체 시트의 분리를 도와줄 수 있다. 부착을 촉진하기 위한 이들 및 추가의 방법들은 이하에 보다 상세히 검토한다.

[0027] 다른 바람직한 실시형태에 있어서, 몰드 시트는 용융풀의 표면 위에서 연속적으로 측방향으로 이동한다. 몰드 시트가 벨트이고 공정이 연속적이 될 수 있지만, 역시 예를 들어 길이가 0.5-2미터 크기인 개별적인 길이의 몰드 시트로 실시될 수도 있다. 이 모드는 여기서 반연속 모드로 부를 것이다.

[0028] 연속 및 반연속 작업 모드의 차별되는 요구조건은 도가니의 벽 내에 그리고 아래에 담겨진 용융물은 무엇인가 다른 게 없으면 연속 또는 반연속 모드에 충분할 것인데, 왜냐하면 도가니보다 큰 몰드 시트는 도가니 벽과의 간섭 없이는 용융물과 접촉할 수 없기 때문이다. 한 가지 해결법은 웨이브 솔더링에서처럼 용융물 소에 범프를 형성하는 것이다. 이는 슬롯을 통하여 용융물을 상방으로 펌핑하여 용융물이 슬롯을 넘쳐서 다시 메인 용융풀 속으로 떨어지게 함으로써 이루어질 수 있다. 용융 실리콘은 원심펌프로 펌핑되어 용융물 속에 가라앉을 수 있다. 다른 방법으로서, 용융물 아래에 위치하는 코일로부터 생성되는 것 같은 진동자계는 전자 반발에 의해 용융물이 쌓아 올라가게 할 수 있다. 용융물 속에서 전류를 측방향으로 통과시키고 수직 자계를 부과하여 용융물 상에 상방향 체적력을 야기함으로써 용융물 표면에 범프를 생성시키는데 전자유체역학을 사용할 수 있다. 이들 방법의 각각은 아래에서 보다 상세히 검토하며 도면들을 참조하여 도시되어 있다.

[0029] 몰드 시트가 연속 또는 반연속 모드에서 용융물의 표면과 접촉하게 하는 다른 방법은 도 4a, 도 4b, 도 4c 및 도 4d에 도시되어 있다. 용융물(23)은 좁은 홈통(21) 속에 제공되며, 용융물의 상단은 홈통의 상단 위로 연장되어 있다. 연장 정도는 약 1 내지 4mm로 작을 수 있다. 용융물은 모세관 작용에 의해 제자리에 유지될 것이며 홈통을 넘치지 않을 것이다. 도 4a는 용융물(23)에 도달하기 전의 조립체(8) 내의 몰드 시트를 보여준다. 도 4b는 일정 두께의 실리콘(19)이 용융물과의 접촉상태에서 나온 몰드 시트(5)의 부분에 응고된 상태에서 용융물 위의 횡거리의 대략 중간에 있는 몰드 시트(5)를 보여준다. 몰드 시트의 중심부는 여전히 용융물과 접촉 상태에 있으며 여기서 실리콘은 몰드 시트에 달라붙고 있는 과정에 있다. 그 결과 액체와 고체 사이의 경계를 한정하는 계면(21)이 몰드 시트(5)의 바닥면(각도 α의 경계가 되는 상측선의 연장선으로 지시)에 대한 각도 α로 기울어진다. 도 4c는 실리콘 시트(19)가 여전히 진공(17)에 의해 부착된 상태에서 횡단을 완료한 후의 몰드 시트(5) 및 진공조립체(8)를 보여준다. 도 4d에서 진공(17)이 해지되어 실리콘 시트(19)가 제거되었다.

[0030] 용융물 상에서의 몰드 시트의 횡단 속도는 매우 빠를 수 있다. 용융물과의 접촉 시간은 0.001초 내지 1초 이상, 예를 들어 2초 사이에서 변할 수 있다. 접촉폭이 2cm 라면 해당하는 횡단 속도는 20m/s 내지 2cm/s가 될 것이며, 가장 가능성 있게는 약 5-20cm/s의 범위의 속도가 된다.

[0031] 실리콘의 융해열은 1787J/g인데, 이는 0.7J/gK의 비열과 비교된다. 과열된 용융물을 응고시키는데 필요한 에너지는 융해열에 의해 압도적으로 지배되는데, 왜냐하면 100° K의 과열에서도 감지할 수 있는 열은 응고에 필요한 에너지의 단지 4%를 차지한다. 이 공정과 그 결과의 막 두께는 열전달에 의해 제어되기 때문에, 이 공정은 용융 온도의 변화에 크게 견딜 수 있다. 200미크론 두께의 막을 응고시키기 위해서 (단지 융해열을 기준으로 한) 단위 면적당 필요한 에너지는 90J/cm^2이다. 높은 열전도성 기판에 있어서, 열제거는 몰드 시트와 반도체(예를 들어, 실리콘) 사이의 열전달계수에 의해 지배된다. 일 예로서, 급속한 응고공정에 필요한 전형적인 열전달계수는 1×10^3 내지 1×10^6W/m^2K이며, 수냉된 동 및 스테인리스 스틸 휘일 상의 실리콘에 대한 실험치는 4.7×10^3W/m^2K로 결정된다. 단위 면적당 열유속은 다음과 같이 정의된다: $Q/A = h(T_{melt}-T_{substrate})$.

[0032] 1000K의 온도구배에서, 열유속이 470W/cm^2이면 200㎛의 두께에서 응고시간은 -200ms가 된다. 기판의 열전도성을 확인하기 위한 검사는 열유량을 제한하지 않으므로, 흑연의 열확산율은 대략 0.1cm^2/s이며, 그 결과 0.2초에서 열확산 길이가 1.4mm가 된다. 응고에너지가 비열 2J/gK의 1mm 두께의 흑연 표면층에 의해 취해진다고 가정하면 몰딩 성형 중에 온도가 200K 상승할 것이다.

[0033] 많은 실시형태에 있어서, 몰드 시트가 횡단하는 동안에 홈통 속의 가용 용융물의 양을 대략 일정하게 유지하는 것이 중요하므로, 용융물이 홈통에 받아들여지게 하는 것이 필요할 것이다. 이 용융물은 홈통에 연결된 도가니에 담겨진 용융 실리콘의 대형 저장부로부터 나올 수 있다. 저장부가 커질수록 횡단 중에 홈통 내의 용융물 높이의 변화가 작다. 용융물 높이를 더욱 제어하는 것은 예를 들어 하방으로 이동한 흑연의 배제 피스톤을 사용하여 횡단 중에 실리콘 회수를 보상함으로써 이루어질 수 있다.

[0034] 과잉열전달은 용융풀과의 접촉 기간 중에 몰드 시트에 달라붙을 실리콘 시트의 두께를 결정하겠지만, 약간의 액체 실리콘이 역시 고화된 실리콘의 하측면상에서 제거될 수 있다. 이를 방지하기 위해, 몰드 시트는 도 5a, 도 5b, 도 5c 및 도 5d에 개략적으로 도시한 바와 같이 수평방향에 대하여 일정 각도로 용융풀 위에서 횡단할 수 있다. 이렇게 하면 작은 수압헤드가 제공되며, 따라서 고화된 실리콘(19)의 바닥에 달라붙은 액체 실리콘을 전부 용융풀 속으로 다시 배출시킬 것이다. 도 5a, 도 5b, 도 5c 및 도 5d는 도 4a, 도 4b, 도 4c 및 도 4d에 대하여 설명한 것과 동일한 공정순서에서의 순간을 보여준다. 도 5a 및 도 5b에서 도가니(25)는 기울어진 외측벽을 갖는 것을 유의하라. 이 경사는 구체적으로 액체가 도가니의 가장자리로부터 제거될 때, 도 5b의 상황 중에 실리콘이 도가니의 측벽을 적시지 못하게 보호하는 여유를 제공한다.

[0035] 이들 방법들의 다른 중요한 이점은 불순물들을 용융물 속으로 배척하여 그 불순물들이 성장중의 실리콘 시트 속에 합쳐지는 것을 피할 수 있는 능력이다. 가장 전기적으로 유해한 액체에서보다 고체에서 훨씬 덜 용해될 수 있으며, 따라서 응고계면에서 배척되기 쉽다. 이런 과정에서처럼 액체/고체 계면이 제어된 방향으로 이동하는 결정성장 과정에서 이는 공급원료를 정화시킬 수 있는 기회를 부여한다. 불순물을 다시 대부분의 용융물 속으로 분리할 수 있도록 하기 위해 액체/고체 계면의 진행속도는 너무 높아서는 안되며 그렇지 않으면 불순물은 고화된 재료 속에 응고된다. 여기서 개시하는 발명에서 시트의 형성속도는 높지만, 역시 몰드 시트의 바닥면에 평행한 화살표(P)로 지시된 당김 방향에 대하여 액체고체 계면이 각도 α로 기울어져 있기 때문에 응고계면의 진행속도는 상당히 느리다. 예를 들어, 용융 실리콘을 담고 있는 홈통의 폭이 2cm이고 접촉에 필요한 시간이 0.2초인 경우를 고려하라. 이때 당김 속도는 10cm/초이다. 제조되는 시트가 200미크론의 두께(전형적인 두께)인 경우, 고화 계면의 진행속도는 0.2초에 200미크론 또는 1mm/초이다. 이 진행속도는 높지만 여전히 분리 및 부수적인 정화를 가능하게 할 것이다.

[0036] 분리는 또한 어떤 의도적인 도판트에 영향을 주어 표준 결정성장법에서 이런 도판트를 사용하기 어렵게 한다. 예를 들어 갈륨은 실리콘내에서 바람직한 p형 도판트이지만, 잉곳성장 또는 주조 과정에서 성장이 계속됨에 따라서 석출에 의해 성장된 결정의 저항성이 감소되기 때문에 통상적으로는 사용하기 어렵다. n형 도판트인 인도 마찬가지다. 그러나 본 발명의 방법으로 용융물 속에 도판트가 형성되어 안정상태에 도달하며 이는 용융물의 적절한 보충에 의해 유지될 수 있다. 이런 방식으로 동일한 도핑 레벨로 용융물로부터 각 웨이퍼가 형성되며 따라서 그 자체가 동일한 도핑 레벨을 가질 것이다. 또한, 용융물로부터 웨이퍼가 직접 형성되면 벌크저항률에 대한 정밀하고 신속한 공정감시가 가능해진다. 용융물 도판트 농도의 필요한 변화는 각각의 규소 공급원료의 추가와 함께 신속하게 이루어질 수 있다.

[0037] 결정성장 계면의 경사각도는 열의 대부분이 응고하는 시트의 두께 전반에 걸쳐서 (횡단/당김 방향에 수직하게) 실리콘으로부터 제거된다는 사실에 기인하는 것이다. 그 결과, 응고하는 시트에서의 온도구배는 매우 작을 수 있다. 이에 따라서 응고중인 시트 내에 낮은 응력이 생기고 따라서 낮은 전위밀도가 생길 것이다. 전위밀도는 태양광발전용 실리콘 시트의 전자 성능을 저하시키는 주요한 요인이다.

[0038] 몰드 시트(5)는 흑연으로 만들어질 수 있지만, 예를 들어 탄화규소, 질화규소, 실리카, 탄화붕소, 열분해성 질화붕소(pyrolitic boron nitride), 그리고 산질화규소를 포함한 이들의 합금을 포함하는 일련의 다른 재료로도 만들어질 수 있다. 몰드 시트는 차갑게 유지되기 때문에, 산화알루미늄 같은 재료를 생각할 수도 있다(그렇지 않으면 뜨거운 상태로 용융물과 접촉하는 경우 알루미늄에 의해 용융물이 오염될 것이다). 실리콘 자체 같은 다른 재료를 이하에 검토한다. 어느 경우라도, 진공흡인을 부여하는데 필요한 다공성은 몰드 시트를 분말로 제조하고 그 분말을 함께 소결하거나 다공체 속에 결합시킴에 의해 형성될 수 있다. 비다공성 재료로 몰드 시트를 제조하고 충분한 밀도 및 다수의 소공을 제공하여 진공을 받아들일 수 있게도 할 수 있다. 일반적으로, 몰드 시트는 흡인을 부여하는 데는 충분하지만 실리콘을 받아들이기에는 충분하지 않은 투과성을 나타내어야 한다. 전이금속이나 전이금속 불순물을 함유해서는 안 된다. 편평하거나 결조직의 박형 시트로 제조되어야 한다. 약간의 열응력/충격에는 견뎌야 한다.

[0039] 전술한 것은 일반적으로 몰드 시트(경우에 따라서는 형성 몰드라고도 함)의 형성면이 반도체 재료의 융점 미만의 온도에 있다고 설명하였다. 이는 형성면이 용융 금속과 접촉하고 있는 기간 중의 일부 동안 형성면의 면적

의 일부에 대해서만 그래야 하지만, 반드시 전체 시간 동안 그리고 형성면의 전체면적에 걸쳐서 그럴 필요는 없다. 마찬가지로, 전술한 것은 형성몰드의 후면의 비형성면과 용융금속 사이에 압력차가 존재하여 용융금속이 당겨지거나 형성몰드에 대하여 가압되도록 진공(또는 어디선가 논한 것처럼 압력차)이 적용된다고 설명하였다. 그러나 이 압력차 또는 진공은 형성몰드의 전체 면적에 걸쳐서 또는 용융재료와 접촉하고 있는 전체부분에 걸쳐서 또는 형성몰드가 용융금속과 접촉하고 있는 전체 기간 중에 적용될 필요는 없다.

[0040] 여기서 설명한 공정들은 용융물에 노출된 몰드 시트(5)(도 1)의 면(형성면(6)이라고도 부르는 형성면)과 몰드 시트의 반대측면(배면(4)) 사이에 가해진 압력차에 의존한다. 이 차압을 적용하는 편리한 수단은 용융물 표면(15) 및 몰드 시트(5)의 형성면(6)에서 실질적으로 주위 압력의 가스를 사용하면서 몰드 시트의 배면(4)에 저압을 발생시키기 위해 진공펌프를 이용한다. 본 실시형태의 이점은 가열로 밀폐체가 기밀하게 밀봉될 필요도 없고 퍼지가스 감금에 필요한 것 이상의 양압을 유지할 필요도 없다는 것이다. 그러나, 다른 실시형태에서는 몰드 시트의 형성면 상의 기압을 국소적인 기압보다 실질적으로 높은 압력으로 유지하면서 기압몰드 시트(5)의 배면(4)을 대기 중으로 직접 향하게 함으로써 몰드 시트의 면들 사이의 차압이 발생된다. 본 실시예의 이점은 진공펌프가 필요하지 않다는 것이다. 본 실시형태의 다른 이점은 국소적인 기압보다 큰 몰드 시트를 통한 차압이 얻어질 수 있어서 예를 들어 미세표면 결조직의 형성에 공정이익을 부여할 수 있다는 것이다. 이 차압은 몰드 시트가 용융 재료의 표면과 접촉하기 전이나 후에 적용될 수 있다.

[0041] 본 명세서 및 특허청구범위가 진공이라는 용어를 사용하는 경우, 이는 또한 몰드 시트(5)의 배면(4)이나 형성면(6)에서의 절대압력에 관계없이 몰드 시트(5)의 배면(4)과 형성면(6) 사이에 압력차를 발달시키는 임의의 수단에 해당한다. 실험에 따르면 몰드 시트(5)의 두께 전체에 걸쳐서 1킬로파스칼(kPa) 내지 100kPa 범위의 압력차가 공정실행가능성을 입증하였다. 또한 본 명세서 및 특허청구범위가 진공이라는 용어를 사용하는 경우에는 항시 완전진공을 포함하여 완전진공 이하의 임의의 불완전 진공을 의미하는 것으로 이해된다는 것을 알아야 한다.

[0042] 다공성

[0043] 상기 사항 및 이후의 사항은 다공성의 몰드 시트 및 형성몰드체를 설명한다. 다공성이라는 것은 일측면으로부터 반대측면으로 다공체를 통해 가스가 흐를 수 있도록 개방된 셀 다공성을 의미한다. 이런 다공체는 또한 폐쇄셀 다공성 영역을 포함할 수 있다. 전체 다공체는 그를 통해 가스가 전달될 수 있도록 하는 방식으로 다공성이어야 할 필요가 있다. 따라서 다공성이라는 용어는 여기서 폐쇄 셀 부분을 포함한다고 하더라도 가스가 전달될 수 있도록 하는 다공체를 설명하는데 사용된다.

[0044] 형성 반도체 웨이퍼의 성장은 전술한 바와 같이 연속적인 모드, 반연속 모드 또는 개별 모드로 진행될 수 있다. 연속 성장의 경우에 몰드 시트는 용융물을 담고 있는 도가니의 림부나 립부 위로 공급되어 소정 거리 위에서 용융물과 접촉된 후 도가니의 림부나 립부 위로부터 공급되어야 한다. 편평한 몰드 시트는 용융물의 일부가 도가니의 립부 위에 존재할 필요가 있다. 이는 전술하고 후술하는 바와 같이 기계적 펌핑 또는 전자유체역학적(MHD) 힘에 의해 용융물 속에 쌓아 올려지거나 융기된 범프의 형성에 의해 이루어질 수 있다. 그렇지 않으면 용융 재료는 액체 메니스커스가 도가니의 상단가장자리에 고정된 경우에 도가니의 림부나 립부 위에 존재할 수 있다. 이 도가니는 도 4a - 도 4d 및 도 5a - 도 5d를 참조하여 앞에서 도시한 바와 같이 선형 홈통의 형상이 될 수 있다. 이런 홈통은 독립적으로 세워지거나 또는 보다 큰 다른 도가니 속이나 위에 존재할 수 있다. 이런 배치구조는 홈통 도가니의 가장자리 위에서 유실된 어떤 용융물이라도 보유하는 이점을 가질 것이다. 용융물을 하측의 큰 도가니로부터 홈통 속으로 전달하기 위한 수단은 폐기물을 최소화하는데 유용할 수 있다.

[0045] 도 8a - 도 8e를 참조하여 개략적으로 도시한 바와 같이 개별적 또는 반연속적 성장에서의 한가지 과제는 형성 후에 웨이퍼의 용융물 측면에 남아있는 용융재료의 처분이다. 몰드 시트(805)의 형성면이 자유 용융물면(815)에 실질적으로 평행하게 된 다음에 화살표(W)의 방향으로 철수되도록 용융물(813)에 침지된 진공플레넘 조립체(808)에 매달린 미소다공성 몰드 시트(805)는 매달린 방울(889)을 형성하는 경향이 있다(도 8d). 이 방울은 이후의 웨이퍼처리를 방해하여 일반적으로 바람직하지 못하다. 이런 과잉액체를 제거하기 위해 전술하고 이제 여기서 도시하는 한 가지 방법은 용융물(813)로부터 철수할 때 화살표(S)로 지시한 바와 같이 몰드 시트(805)를 빨리 회전시켜서 과잉액체를 림부로부터 내던지거나 또는 형성된 웨이퍼(819)(도 8e)의 주변부(888)로 분리시키는 것이다. 이 방법은 둥글거나 다각형 몰드 시트(805)와 함께 사용할 수 있다. 과잉 용융물은 도가니로 복귀하거나 불순물배제 수단으로서 시스템으로부터 제거될 수 있다. 회전하는 평면 기판의 림부나 코너에 모여진 과잉 용융물은 트리밍되어 도가니에 복귀될 수 있다. 과잉액체와 마찬가지로, 이 재료의 일부 또는 전부는 불순물 제거수단으로서 격리될 수 있다. 이 과잉용융물은 최후로 응고하기 때문에 배제된 불순물이 많기 쉽다. 도 8e에 도시한 바와 같이, 몰드 시트(805)의 회전축선은 형성된 웨이퍼(819)의 면에 실질적으로 수직하다. 그

렇다고는 한정하지 않는 것이다. 또한 회전축선은 중력장에 대하여 수직하게 도시되어 있다. 역시 그렇다고는 한정하지 않는 것이다.

[0046] 도 9a - 도 9c 및 도 10a - 도 10e를 참조하여 개략적으로 도시한 용융재료의 지속적인 방울을 다루는 다른 방법은 방울(1088)을 중심이 아니라 형성된 웨이퍼(19)의 일측 가장자리에 형성시키는 것이다. 이렇게 웨이퍼의 희생영역은 방울을 수용할 목적으로 확보될 수 있는데, 이는 형성된 웨이퍼로부터 절단되어 다시 용융물로 공급될 수 있다. 이를 달성하는 한가지 방법은 전체 진공플레넘 및 부착된 형성된 형성면을 용융물 표면에 대하여 소정의 각도로 기울이는 것이다. 이 대처방안은 최종 웨이퍼 품질을 희생시킬 수 있는 오염물의 방출 없이 기울임 동작을 가능하게 하고 액체 실리콘 온도에서 동작할 수 있는 진공연결부를 사용할 필요가 있다.

[0047] 이 방법의 일 실현형태는 2단계로 이루어진다. 제 1 단계는 배치단계인데(도 9a - 도 9c), 여기서는 형성면의 하측 가장자리(985)에서 용융물 표면(15)과 접촉될 때까지 화살표(L)로 지시한 바와 같이 형성면(6)이 하방으로 기울어져 이동된 상태로 유지된다. 형성면이 부착된 전체 진공플레넘은 형성면(6)의 전역에 걸쳐서 용융재료를 스윕(sweep)하는 방식으로 형성면(6)의 가장자리(985)와 평행한 축선을 중심으로 회전된다. 용융물 표면과 접촉한 형성면의 가장자리(985)는 이 동안 수직하게 움직일 수 있다. 이렇게 형성면(6)에 용융재료를 스윕방식으로 도입한 결과 비교적 큰 입자를 갖는 기다란 입자구조를 형성하기 위해 (형성면의 면에 평행한) 형성면 상의 실리콘 웨이퍼의 측방향 성장을 촉진시키는데, 이는 바람직한 것이다. 이렇게 큰 입자의 결정 템플레이트 위에 이후에 달라붙는 것은 형성면(6)의 표면에 수직하게 발생할 수 있다. 스윕방식의 도입 및 측방향 성장과는 액체-고체 실리콘 계면이 관련되는데, 이는 웨이퍼의 면에 대하여 일정 각도에 있다(홈통과 관련된 경우에서는 도 4b에 도시한 바와 같다).

[0048] 상기 동일한 장치는 또한 형성면의 모든 부분이 동시에 용융물과 접촉하도록 용융물의 표면에 평행한 형성면을 도입하는데도 사용될 수 있음을 알아야 한다. 이런 경우에, 고체와 액체 실리콘 사이의 계면은 형성 시트의 면 및 웨이퍼의 면에 실질적으로 평행할 것이다. 형성면이 용융물에 평행하게 하방으로 이동된 경우는 형성 시트와 용융물 사이에 소량의 가열로 주위가스를 포착할 가능성을 갖지만, 이런 소량의 공기는 형성면을 통해 끌려지는 진공에 의해 제거될 것이다.

[0049] 도 10a - 도 10e를 참조하여 도시한 바와 같이, 몰드 시트(5)가 용융물 표면(15)으로부터 제거됨에 따라서 형성면(6)이 기울어지는 경우, 액체 메니스커스(1087)는 제어된 방식으로 흐를 수 있으며, 잔류 용융물(1088)은 형성된 웨이퍼(19)의 가장자리(1089)에 남는다(도 10e). 이는 웨이퍼 표면 전역에 걸쳐서 선형 방식으로 메니스커스를 스위핑하여 매우 얇은 막의 용융재료만을 남기게 되는 이점을 갖는다. 회전 배치구조와 마찬가지로, 과잉 또는 분리된 재료는 트리밍 제거되어 용융물로 복귀될 수 있는데, 즉 트리밍된 재료의 일부는 용융물 및 도가니로부터 불순물을 제거하기 위해 격리될 수 있다.

[0050] 평탄성 및 매끈함을 포함한 실리콘 웨이퍼의 표면 마무리는 주로 웨이퍼의 성장 후에 액체 메니커스의 흐름에 의해 결정된다. 좋은 표면마무리는 전술한 기울임 동작에 의해 얻어지지만 다른 공정도 표면마무리를 향상시킬 수 있다. 액체 메니스커스의 분리에서 중요한 한가지 인자는 후술하는 바와 같이 예를 들어 형성된 웨이퍼를 기울이거나 회전시킴에 의해 웨이퍼 표면으로부터 액체가 흐르는 동안의 용융물의 동작이다. 웨이퍼를 액체로부터 제어하여 천천히 매끄럽게 철회하면 매끈한 웨이퍼 표면이 된다. 예를 들어 용융물 내의 파동에 의해 생기는 것 같은 흐름 중의 액체 메니스커스의 불안정성으로 인하여 웨이퍼 표면상에 파동 및 범프 같은 불리한 표면 인공물이 생길 수 있다.

[0051] 웨이퍼의 표면 마무리를 향상시키는 한가지 방법은 용융물의 임의의 파동의 진폭을 줄이고 발생하는 어떤 파동이라도 신속하게 감쇠시키는 것이다. 파동의 진폭을 줄이는 한가지 방법은 얕은 용융물(13)(도 3a)을 사용하는 것인데, 예를 들어 용융물의 깊이가 5㎜ 이하인 것이 유효하며, 심지어는 도가니 바닥상의 국부적인 입자 불순물이 약 0.5㎜보다 이하인 경우에는 3㎜ 또는 1㎜ 정도로 얕은 것이 유효하다. 석영 같은 특정의 비습윤성 도가니(11) 재료로서 이용에서 얻을 수 있는 최소 용융물 깊이는 액체 실리콘의 표면장력과 액체 실리콘과 도가니 재료 사이의 접촉각에 의해 결정된다. 그 결과, 이런 재료의 매우 얕은 용융물을 얻기 위해서는 도가니의 전면 피복을 위해 습윤성 재료의 림도 포함될 수 있다. 예를 들어, 도 11을 참조하여 개략적으로 도시한 바와 같이, (실리콘에 젖는) 흑연으로 된 얇은(예를 들어 두께 5㎜) 링(1112)을 사용할 수 있는데, 외경은 도가니(11)의 내경과 일치하고 높이는 용융물(130의 원하는 깊이와 같다.

[0052] 도 12를 참조하여 개략적으로 도시한 용융물의 파동을 줄이기 위한 다른 방법은 용융물(13)의 표면(15) 아래에 잠긴 물리적 배플(1214)을 사용하는 것이다. 이들 배플은 액체의 측방향 유동을 방해하고 용융물 내에 존재하는 파동을 전부 신속하게 감쇠시킨다.

[0053] 형성된 웨이퍼 표면으로부터 용융물을 제거하는 속도를 제어하는 다른 수단은 메니스커스 제어 요소일 수 있다. 이는 별개의 물체로 구성되는데, 이 물체는 형성면에 대하여 움직이며 그 위치는 새로 형성된 웨이퍼 표면으로부터 메니스커스를 분리하는 위치를 제어한다.

[0054] 이 논제는 명목상의 자유 용융물 표면에 평행하게 올라간 형성면에 부착된 메니스커스의 안정성을 검토한다. 고체 표면상의 액체의 평형 젖음각도는 용융물 및 표면의 표면 에너지에 의해 결정된다. 이 각도는 반복 가능하며, 주어진 액체, 고체 및 주위가스의 시스템에 대하여 일정하다고 생각된다. 불활성 가스에서 고체 실리콘상의 액체실리콘의 평형 부착각도는 11도이다. 젖음 각도가 11도 미만으로 교란되는 물리적 상황이 존재한다면 다시 평형이 이루어지고 부착 각도가 11도일 때까지 메니스커스 부착지점이 이동하는 경향이 있을 것이다. 수평 형성면(자유 용융물 표면에 평행하게 유지)에 액체메니스커스가 부착되는 경우는 라플라스 방정식을 사용하여 검사할 수 있는데, 이는 액체-기체 또는 액체-액체 계면 전체에 걸친 압력차, 그 표면의 곡률반경 및 그 계면의 표면 에너지와 관련된다. 계면 전체에 걸친 압력은 정수압(hydrostatic pressure)으로서 취할 수 있다:

[0055] $P=\rho gH$

[0056] (액체 밀도 * 중력 * 자유표면으로부터의 높이). 주위의 가스압력은 이 계산에서 상수로서 취해지며 자유 용융물 표면에서 액체의 압력과 동일하다고 생각된다.

[0057] 부착상태의 선형 가장자리를 고려한다면, 단지 하나의 곡률반경이 있고 라플라스 방정식은 다음과 같이 된다.

[0058] $P=2\gamma/r$

[0059] 부착각도를 가정하고 표면을 따라서 스윕각도를 매우 작은 단계로 증가시킴으로써 관련된 압력강하 및 곡률 변화가 수치적으로 해결될 수 있다. 자유 용융물 표면 위로 형성면의 최대 안정한 높이는 약 0.1077m였다는 것을 반복을 통해 발견하였다. 밀도치는 2530kg/m^{3}이고 표면장력은 0.72N/m라고 가정하였다.

[0060] 형성면이 자유 용융물 표면으로부터 서서히 들어올려지는 경우, 다음이 예상된다. 형성면에 대한 메니스커스의 부착각도가 11도보다 크기만 하면 시스템은 안정하고 액체(813)는 형성면의 가장자리에 부착된 채로 유지된다. 높이가 더 증가하려면 형성면의 평면에 대한 부착각도가 11도 미만이 되어야 하는 높이까지 형성면이 들어올려지면 다시 평형이 이루어질 때까지 또는 형성면의 다른 가장자리로부터 이동하는 메니스커스를 만날 때까지 메니스커스(887)가 측방향으로 움직인다. 용융물과 형성면 사이의 접촉이 상실되는 경우 많은 잔류 방울(889)이 형성면상에 남는다(도 8d). 용융물이 높이가 아주 조금 동요하면 메니스커스의 부착속도를 변화시키거나 또는 일시적으로 반전시킬 수 있다. 이 동요는 용융물의 파동에 의해 생길 수 있는데, 이는 진공 플레넘 및 형성면의 작용에 의해 교반되는 액체의 용기(도가니) 내에서는 피하기 어렵다.

[0061] 메니스커스 부착 속도를 제어하는 것이 바람직한데, 본 기술로 형성된 실리콘 시트의 표면 마무리는 시트 표면으로부터 메니스커스가 철수하는 상대속도에 크게 의존한다는 것이 관찰되었기 때문이다. 새로 형성된 실리콘 시트의 표면으로부터 메니스커스를 철수시키는 속도를 보다 양호하게 제어하는 기술들이 실리콘 시트의 표면마무리를 제어하는데 아주 적합하다.

[0062] 메니스커스 부착의 안정성에 대한 상기 검토는 실리콘 시트로부터 메니스커스를 분리하는 축도를 제어하는데 관련된다. 형성된 웨이퍼 표면으로부터 용융물을 제거하는 속도를 제어하는 한가지 수단은 메니스커스 제어요소가 될 수 있다. 이는 별개의 물체로 구성되는데, 이는 형성면에 대하여 움직이고 그 위치는 새로 형성된 웨이퍼 표면으로부터 메니스커스의 부착 위치를 제어한다.

[0063] 메니스커스 부착 기구의 한가지 구성은 용융물에 젖지 않는 재료를 사용한다. 이 재료는 주위 대기에서 용융재료에 대하여 대략 60도보다 큰 젖음 각도를 가져야 한다. 도 13a 및 도 13b는 이런 기구의 한가지 가능한 실현형태를 보여준다. 이 예에서, 웨이퍼(19)는 몰드 시트(5)를 용융물(1313) 속에 침지함으로써 형성된다. 웨이퍼이 성장 후에 몰드 시트(5)는 액체 메니스커스(1387)가 형성된 웨이퍼(19)의 용융물 측면에 여전히 부착되어있는 높이(상기 예에서는 0.01077m 미만)까지 용융물(1313)의 자유 표면(1315) 위로 철수된다. 예를 들어 소직경(예를 들어 5mm)의 수평 실린더(1391)로 구성된 메니스커스 제어요소는 형성된 웨이퍼(19)와 용융물(1313) 사이에서 화살표(M)로 지시한 방향으로 이동하여 액체 메니스커스(1387)를 고체 실리콘 웨이퍼(19)로부터 분리시킨다. 이는 부착위치가 고정적으로 유지되는 경우에 부착각도가 11도 미만이 되도록 메니스커스 표면이 변형됨에 의해 생긴다. 제어요소(1387)를 웨이퍼(19)의 전장에 걸쳐서 이동시킨 후에 웨이퍼(19)의 용융물측면(1318)에는 액체 실리콘(1387)이 거의 없다.

[0064] 도 14a 및 도 14b에 도시된 다른 메니스커스 제어요소의 구성은 용융물(1413)의 자유 용융물 표면(1415) 아래에

부분적으로 잠기는 비습윤성 재료로 된 물체(1491)다. 도 14a 및 도 14b에 도시된 다른 요소들은 참조부호가 14로 시작하며, 13으로 시작하고 최하위숫자로서 동일한 숫자를 갖는 도 13에 제시한 것과 유사하며 자체적으로 유사하다.

[0065] 메니스커스 제어요소는 플레넘 및 몰드 시트의 수직 또는 경사 동작과 결합될 수 있거나 또는 메니스커스 분리체의 수직 및 측방향 동작 모두를 수반할 수 있다.

[0066] 홈통

[0067] 웨이퍼 표면마무리 품질은 새로 형성된 웨이퍼 표면으로부터의 메니스커스의 철수 속도에 영향을 받는다. 이 속도를 정확히 제어하는 요소가 바람직하다. 또한 용융 재료를 몰드 시트 표면으로 제어된 스윕방식으로 단계적으로 도입하면 형성된 웨이퍼의 최종 결정(crystallography)에 이점을 가질 수 있다. 구체적으로 몰드 시트의 형성면에 용융 재료를 측방향으로 도입하면 형성면의 전부 또는 일부의 측방향 성장을 촉진시켜서 결과적으로 크고 기다란 입자구조가 된다. 측방향 도입이라는 것은 형성면과 용융재료의 자유 표면 사이에 상대운동이 제공된다는 것을 의미하는데, 이 상대운동은 용융물의 자유표면이 굴곡진 경우에 자유 표면의 면에 평행하거나 접하는 성분을 갖는다. 이후에 용융물로부터 기다란 입자구조의 결정 템플레이트까지 실리콘 같은 반도체 재료가 응고하여 원하는 웨이퍼 두께에 도달할 수 있다. 용융물을 몰드 시트 표면으로 제어하여 도입하는 것과 용융물을 웨이퍼 표면으로부터 분리하는 것을 모두 달성하는 한가지 수단은 도 4a - 도 4d 및 도 5a - 도 5d와 관련하여 앞에서 언급한 홈통을 사용하고 범프나 용융물의 융기부를 제공하는 것이다. 이런 범프를 제공하는 수단을 이하에 검토한다. 이런 방법에서, (용융재료로 채워진) 홈통(21)은 몰드 시트(5)의 일측 가장자리와 용융물이 접촉하도록 위치하며, 그 후 몰드 시트(5)에 대하여 홈통(21)의 측방향 상대운동이 이루어져서 용융재료(23)를 몰드 시트(5)의 형성면 전체에 걸쳐서 스윕하게 된다. 이런 동작은 몰드 시트(5)의 기울임과 결합되어 이와 같은 웨이퍼 표면으로부터 용융물의 제거를 촉진하게 된다. 과잉 용융물을 웨이퍼 표면으로부터 제거하는데 가스젯(gas jet)도 사용될 수 있다. 이런 홈통은 형성되는 웨이퍼로 손실되는 것 외에 가장자리 위에 쏟아질 것이므로 충전이나 보충 수단을 필요로 한다. 개별 모드 또는 반연속 모드의 성장에서 홈통은 홈통을 대형 도가니내의 용융물 표면 아래로 잠기게 함으로써 보충될 수 있다.

[0068] 펌핑된 융기 용융물

[0069] 연속 공정을 제공하기 위해 위에서 일반적으로 간략하게 검토한 한가지 기술은 용융물에 상대적으로 융기된 영역을 만드는 것인데, 이를 여기서는 웨이브 솔더링에서처럼 경우에 따라서 범프라고 부른다. 이를 달성하기 위한 장치는 도 15를 참조하여 개략적으로 도시되어 있다. 이는 용융물(1513)을 슬롯(1582)을 통하여 상방으로 펌핑한 다음 용융물이 슬롯에서 넘치게 하여 메인 용융풀(1513) 속으로 떨어지게 함으로써 이루어진다. 용융 실리콘은 용융 실리콘(1513)을 연속적으로 또는 불연속적으로 가압하는 수단(1585)에 의해 펌핑되어 용융물의 자유표면(1515) 위로 흐르게 됨으로써 용융물 속에 잠겨진, 몰드 시트(5)의 형성면에 대한 용융 실리콘의 부착위치를 제공하게 된다. 펌핑 수단은 기어펌프, 임펠러 펌프 또는 그 외의 다른 적절한 수단이 될 수 있다. 관련된 실시형태에 있어서, 용융 실리콘을 펌핑하는 것은 슬롯(1582)과 유체 연통된 실리콘 충전 용기와 결합하는 주사기형 디스플레이서를 사용하여 불연속 방식으로 실시될 수 있다. 이 실시형태는 디스플레이서 위치를 변화시킴으로써 용융물 메니스커스(1518)의 높이를 실시간으로 직접 제어할 수 있게 하는 이점을 갖는다. 유사한 실시형태는 디스플레이서로서 가스를 사용하여 슬롯에 용융 실리콘을 불연속적으로 공급한다. 연속적으로 펌핑된 슬롯과 비교한 이들 양자의 실시형태들의 이점은 마모가 감소되며, 하드웨어 복잡성이 낮아지며, 웨이퍼 기초상의 메니스커스 높이를 변화시킬 수 있다는 것이다.

[0070] 도 16을 참조하여 개략적으로 도시한 바와 같이, 펌핑되거나 운동적으로 가압된 펌프에 의존하는 대신에, 몰드 시트의 전장을 따라서 액체 실리콘 표면(1615) 아래에서 화살표(W)의 방향으로 둑(1681)을 스위핑함으로써 이동중의 몰드 시트(5)에 국부적으로 높은 액체표면(1615)이 제공될 수 있는데, 둑 자체는 화살표(M)의 방향으로 움직이며 이 화살표(M)는 화살표(W)에 평행한 성분을 가지며 화살표(W)의 방향으로의 둑의 속도의 크기를 초과하는 크기를 갖는다. 이런 둑은 이동중의 둑(1681)의 전방에 액체 실리콘 자유표면 높이를 일시적으로 상승시킬 것이다. 용융 실리콘이 이동중의 둑 위로 흐름에 따라서, 몰드 시트는 역시 화살표(M)의 방향으로 동일 방향으로 둑의 최고점 위로 독립적으로 움직여서 유동하는 액체와 접촉한다. 둑이 일단 도가니(1611)를 횡단하고 몰드 시트의 전장이 액체 표면의 가장자리 위를 지나면 둑은 출발위치로 복귀하고 사이클이 다시 시작될 수 있다. 몰드 시트는 또한 고정상태가 될 수 있는데, 이동하는 둑과 이와 관련된 융기 용융물은 자유표면 약간 위에 수평한 몰드 시트와 접촉하게 된다. 둑은 웨이퍼가 양방향으로 형성될 수 있도록 대칭상태가 될 수 있다.

[0071] 용융물 표면의 한 구역을 수직하게 올리거나 낮추는 다른 방법이 도 17a 및 도 17b를 참조하여 개략적으로 도시

되어 있다. 용융물(1713)의 일부는 전기절연성의 홈통(1711) 속에 격리된다. 홈통 재료로서는 석영이 사용될 수 있다. 홈통(1713) 자체는 도시하지 않은 대형 유체저장부 내에 유체 연통되어 있으며, 이 저장부 속으로 용융물(1713)이 흐를 수 있다. 전기 접점이 두 개의 접점(1791a, 1791b)을 통해 양단부의 전기적으로 격리된 영역에 만들어진다면, 화살표(I)의 방향을 따라서의 전류경로는 도가니(1711)의 내부치수 및 용융물의 깊이에 의해 결정되는 액체 체적(1713)에 집중될 수 있다.

[0072] 이 전류가 화살표(B)로 지시한 방향을 따라서 직교자계에 적용되는 경우, 용융물의 한정된 영역에 체적력(F)이 발생한다. 이 체적력의 방향은 전류(I) 및 자계(B)의 기호에 따라서 상방향 또는 하방향이다. 홈통(1711)의 일단부(도 17a의 좌측에 개방상태로 도시되어 있음)가 홈통 외부에 존재하는 큰 체적의 용융물(도시하지 않음)과 연통되는 경우, 도 17a 및 도 17b에 도시한 액체의 상단 레벨을 비교하여 도시한 바와 같이 전류의 크기 및 기호에 따라서 홈통 속의 액체(1715)의 상단의 수직위치의 변화가 이루어질 수 있는데, 한편 전류경로 및 관련 체적력은 여전히 홈통 속의 그리고 두 개의 전극 사이의 용융물에 한정하고 있다.

[0073] 몰드 시트를 용융물 표면으로 측방향으로 도입하기 위한 전술한 방법 및 장치는 형성된 실리콘 웨이퍼 내의 입자들의 측방향 성장을 촉진하여 전기적 특성이 향상된 긴 입자들을 만들려는 것이다. 입도를 더욱 증가시키기 위한 한 방법은 공지의 방위를 갖는 시드 결정으로 형성된 웨이퍼를 시딩(seeding)함에 의한 것인데, 이는 전술한 측방향 도입법 중의 어느 것과도 함께 실현될 수 있다.

[0074] 성장된 웨이퍼를 시딩하는 한가지 방법은 도 18을 참조하여 도시되어있다. 시딩은 용융물에 대하여 화살표(A)의 방향으로 이동할 몰드 시트(5)의 선단 가장자이에 단결정편(1829)을 (진공 또는 기계적 방식으로) 부착함에 의해 이루어진다.(몰드 시트의 제 1 가장자리는 용융물과 접촉한다). 이는 도 18에 홈통 실현형태에 개략적으로 예시되어있다. 용융물(15)이 시드 결정에 도입된 후, 웨이퍼(1819)는 시드 결정과 동일한 방위의 단일 입자의 측방향 성장으로 형성된다. 웨이퍼 성형이 완료된 후, 시드 결정은 절단되어 다음의 성형과정에 재사용될 수 있거나, 또는 새로운 시드 결정이 각 성형 과정에 사용될 수 있다.

[0075] 공지의 결정 방위를 가질 수 있는 개별 시드로 성장을 개시함으로써 형성된 실리콘 시트의 최종 결정에 영향을 줄 수도 있다. 이들 시드는 기능층의 용융물측면에 놓여질 수 있으며, 진공에 의해 형성면 상에 고정될 수 있다. 개별 결정 시드와 핵형성 억제 기능층(후술함)의 조합으로 소정의 방위의 큰 입자들을 갖는 최종 실리콘 시트가 될 수 있다. 이들 시드는 형성면의 가장자리에 배치된 실리콘 웨이퍼의 스트립으로 구성되어 이 시드로부터 측방향 성장이 일어나서 형성면 전체에 걸쳐 전파될 수 있다. 이런 시드 스트립은 <111>방위의 실리콘 웨이퍼로 된 좁은 절편으로 구성될 수 있다. 다른 가능성은 일련의 입자들이 형성면 전체에 걸쳐서 균일하게 분포되는 것이다. 이 경우, 그 결과의 실리콘 시트는 초기 시드의 간격에 해당하는 균일한 사이즈의 입자 어레이로 구성될 수 있다.

[0076] 형성 웨이퍼의 전장을 따라서 응고 선단의 측방향으로 전파되는 것은 큰 입자들을 성장시키고 제조설비의 설계를 단순화하는데 유리할 수 있다. 전술한 방법 및 장치는 고체-용융물 계면의 측방향 전파 및 직접 제어를 가능하게 하지만, 고체-용융물 계면에 표면액체효과가 없는 측방향(면내(in-plane) 성장을 제공하는 방법 및 장치도 유리할 수 있다. 본 발명의 모든 실시형태에 있어서, 웨이퍼의 성장에는 용융물과 몰드 시트 사이의 열접촉이 필요한데, 이는 몰드 시트를 통해 진공을 적용함으로써 이루어진다. 도 19를 참조하여 개략적으로 도시한 바와 같이, 몰드 시트(1905)의 배면(1904)상의 공간진공환경을 변화시킴으로써, 강한 진공포트(1909)를 통해 강한 진공원(1923)에 공급된 작고 강한 진공영역(1921)에서의 열접촉이 용융물(1915)과 몰드 시트(1905) 사이에서 이루어질 수 있다. 이 강한 진공영역(1921)의 위치를 변경시킴으로써, 예를 들어 강한 진공 라인을 형성 웨이퍼(1919)의 전장을 따라서 화살표(M)로 지시한 방향으로 스위핑함으로써, 동적으로 안정한 몰드 시트/용융물 계면의 필요 없이 측방향 성장이 이루어질 수 있다. 이런 실시형태는 용융물 표면(1915)과 연속적으로 접촉상태로 유지되는 몰드 시트(1905) 뒤에 진공 플레넘(1921)을 부여함으로써 실현될 수 있다. 웨이퍼(1919)는 이동하는 플레넘(1921)의 위치에 또는 그 근처에서 응고한다. 일단 웨이퍼(1919)가 형성되면, 플레넘(1903)의 나머지 부분내의 약한 배경진공레벨에 의해 웨이퍼(1919)가 몰드 시트(1905)에 일시적으로 부착된 상태로 유지된다. 여기서 사용하는 바와 같은 강한 진공은 대략 30 내지 대략 80kPa 사이로 생각되고, 약한 진공은 대략 1 내지 30kPa 사이로 생각된다.

[0077] 동적으로 한정한 메니스커스의 필요 없이 고체-액체 계면의 면내 측방향 전파를 야기하는 다른 방법은 몰드 시트의 특성 및 형상을 변경시킴으로써 몰드 시트 속으로의 열전달 속도를 공간적으로 변화시키는 것이다. 단면도인 도 20을 참조하여 개략적으로 도시한 일 실시형태에 있어서, 몰드 시트(2005)의 배면(2004)의 일련의 막힌 구멍(2016) 속의 재료를 제거함으로써 몰드 시트(2005)의 영역 전체에 걸친 국부적인 진공이 공간적으로 변화된

다. 막힌 구멍을 갖는 몰드 시트의 영역은 진공(2017)을 용융물 측면(2006)에 보다 강하게 안내하여 열전달 향상에 의한 국부적인 핵형성으로 이어진다. 막힌 구멍(2016)의 정확한 간격으로 이들 국부적으로 핵형성된 입자들은 막힌 구멍이 없는 몰드 시트의 영역 전체에 걸쳐서 측방향으로 전파되어 최대로 큰 입자들을 형성한다.

[0078] 도 21을 참조하여 개략적으로 도시한 다른 실시형태에 있어서, 가변 열확산율을 갖는 재료로 된 삽입체(2116)가 몰드 시트(2105) 전반에 걸쳐 여러 위치에 매립되어 있다. (21로 시작되는 참조숫자를 갖는 항목들은 다른 언급이 없는 한 도 20에 도시한 20으로 시작되는 항목들과 유사하다). 비교적 짧은 기간에 비교적 많은 열을 전도할 수 있는 몰드 시트의 영역은 새로운 입자를 핵으로 하기 쉬울 것이다. 이들 입자들은 낮은 열용량 영역 전역에 걸쳐서 전파되어 이웃 입자들을 만날 때에 큰 입자를 형성할 것이다. 일 실시형태에 있어서, 높은 열확산율의 흑연으로 된 삽입체(2116)들은 낮은 열확산율의 탄화규소로 된 몰드 시트(2105) 내에 일정한 간격으로 매립되어있다. 입자들은 높은 열확산율 삽입체(2116) 바로 아래의 위치(2118)에서 핵을 형성하여 이들 위치로부터 외측으로 확장할 것이다.

[0079] 도 22a 및 도 22b를 참조하여 개략적으로 도시한 다른 실시형태에 있어서, 몰드 시트(2205)는 수직방향으로 당겨져서 전술한 실시형태에서 도시한 바와 같이 수직방향이 아니라 수평방향으로부터 실리콘 용융물(2213)에 노출된다. 이 방법에서 용융물(2213)은 일측벽(2229a)이 다른 벽(2229b)보다 얕은 도가니(2211) 속에 담겨지므로, 용융물(2213)의 표면(2215)의 레벨이 상승할 때, 용융물이 얕은 가장자리(2229a) 위로 쏟아진다. 용융물의 레벨은 도시한 바와 같은 디스플레이서(2221)에 의해 또는 임의의 적절한 방법에 의해 증가될 수 있다. 몰드 시트(2205)는 짧은 벽(2229a)과 밀접하게 접촉한 상태로 배치되므로 용융 실리콘(2213)은 벽(2229a)의 상측 가장자리 위에 쏟아지기보다는 몰드 시트(2205)와 접촉하며 진공(2217)이 몰드 시트(2205)의 배면(2206)으로부터 포트(2207)를 통하여 당긴다. 몰드 시트(2205)에 대하여 고체 반도체 시트(2219)가 형성된다. 몰드 시트는 화살표(M)의 방향을 따라서 상방으로 당겨진다. 진공(2217)은 전술한 경우와 마찬가지로 몰드 시트(5)의 아래로부터 용융물 노출부의 몰드 시트(2205) 속으로의 부착 및 열전달을 촉진시킨다. 몰드 시트에 추가의 비교적 약한 진공이 더 적용되어(도시하지 않음) 몰드 시트가 상방으로 이동할 때 실리콘 시트를 몰드 시트에 유지시키게 된다. 도가니벽(2229a, 329b)은 용융 재료에 대하여 젖지 않으므로 도가니벽의 외측면과 몰드 시트 사이의 작은 틈새가 액체 실리콘의 표면장력 때문에 넘치는 용융물에 의해 채워지지 않을 것이다. 비습윤성 도가니 재료의 일 예는 석영이다.

[0080] 이 수직방법의 이점은 형성 웨이퍼(2219)로부터 액체가 흐르는 것이 중력에 의해 도움이 된다는 것이다. 몰드 시트(2205)의 동작 방향(M)은 도 22a에 도시한 바와 같이 수직하게 될 수 있거나 또는 그 방향은 기울어질 수 있다. 몰드 시트(2205)가 용융물(2213)로부터 기울어진다면, 형성된 고체 실리콘 시트(2219)는 몰드 시트(2205)의 상측부상에 중력에 의해 지지된다. 몰드 시트가 용융물 쪽으로 기울어져서 형성된 실리콘 시트가 용융물 위가 된다면, 몰드 시트의 상측부에 약한 진공이 적용되므로 해제가 필요할 때까지 실리콘 시트를 몰드 시트에 유지할 수 있게 된다. 최적의 액체 흐름은 중력이 표면장력에 반대로 직접 작용할 때 일어날 것인데, 이를 위해 고체 실리콘에 대한 액체 실리콘은 대략 11도에 있다.

[0081] 용융물을 몰드 시트 표면에 제어하여 점차적으로 측방향으로 부착시키고 용융물을 형성된 웨이퍼 표면으로부터 부착시키는 다른 수단은 몰드체의 형성면이 용융물이 없는 표면에 수직한 상태에서 형성면이 수직방향으로 용융물 속으로 들어갈 수 있도록 형성면을 배치시키는 것이다. 이는 도 23a 및 도 23b를 참조하여 개략적으로 도시되어 있는데, 중공의 미소다공성 몰드체(2308)는 화살표(P)의 방향으로 따라서 용융물(2313) 속으로 들어가서 각각 두 개의 몰드 시트(2305a 및 2305b)를 갖는 몰드체(2308)의 두 개의 형성면(2306a, 2306b) 상에 웨이퍼(2319a, 2319b)를 형성한다. 두 개의 형성면(2306a, 2306b)이 도시되어 있는데, 이들은 실질적으로 평행하여 서로 반대로 향하고 있다. 몰드체는 여러 가지 많은 형상중의 하나가 될 수 있으며, 두 개, 세 개, 네 개 또는 그 이상의 몰드 형성면을 가질 수 있다. 형성면(2306a, 2306b)의 각각을 지지하는 구조물(2305a, 2305b)의 각각은 그 용어를 여기서 사용하는 것처럼 몰드 시트라고 생각될 수 있다. 도 23b는 화살표(W)의 방향을 따라서 용융물(2313)로부터 철수 종료 무렵의 몰드체(2308)를 보여준다. 이는 형성 과정당 두 개의 웨이퍼를 형성할 수 있게 하지만, 비교적 깊은 도가니를 필요로 한다. 예를 들어 도관(2307)을 통해 진공(2317)이 가해져 플레넘(2303)을 통하여 차압이 제공된다.

[0082] 본 발명의 수직 침지 실시형태의 가장 최근의 논의 전의 상기 논의는 용융재료가 그 최종 형상 및 표면 결조직으로 성형되는 대향의 요소를 의미하는 몰드 시트라는 용어를 사용한다. 이 몰드 시트는 일층 이상의 층으로 된 일반적인 시트 형상 요소로 설명되었다. 본 장은 서로 기하학적 관계로 배치된 두 장 이상의 시트로 구성된 일반적으로 3차원의 비(非)시트형상 요소를 의미하는 몰드체라는 용어를 사용한다. 각 몰드 시트는 역시 여기서 형성면으로 부르는 형성면을 갖는다. 몰드체의 개개의 몰드 요소는 시트 형상일 필요가 없다. 예를 들어,

몰드체는 진공이 통할 수 있는 다공성 내부를 갖고 몰드체의 주변으로 서로 외측으로 향하는 서로 다른 형성면을 갖는 완전한 고체일 수 있다. 여기서 그리고 특허청구범위에서 사용하는 바와 같이 몰드라는 용어는 몰드 시트나 몰드체중의 하나 또는 둘, 몰드체의 개개의 몰드 시트 또는 몰드체의 외주를 의미하는데 사용될 것인데, 이는 형성된 웨이퍼상에 성형되는 형상 및/또는 표면 결조직을 구체화한다.

[0083] 도 24를 참조하여 개략적으로 도시한 다른 실시형태에 있어서, 차가운 몰드 시트(2405)는 몰드 시트(2405) 위에 존재하는 실리콘 용융물(2413)에 노출된 상태로 화살표(M)의 방향을 따라서 수평방향으로 당겨진다. 용융 재료(2413)는 벽(2429a, 2429b)의 바닥을 따라서 있는 작은 틈새를 따라서 비습윤성 재료를 사용하는 도가니(2411) 속에 담겨지는데, 이 틈새는 액체 실리콘의 높은 표면장력에 의해 실리콘 용융물(2413)이 누설되는 것을 방지한다. 하나의 벽(2429a)은 고체 시트(2419)를 추출할 수 있도록 들어올려질 수 있는데, 고체 시트는 진공 공동(2403)을 통해 진공 플레넘(2401)에 의해 반대측면으로부터 진공을 가하여 몰드 시트(2405)에 대하여 형성되어 몰드 시트(2405)로의 접착성 및 열전달을 촉진시킨다.

[0084] 전술한 다른 경우와 마찬가지로, 도 24는 수평방향으로(중력장에 직각으로) 당겨지는 몰드 시트를 보여주는데, 그렇다고는 한정하지 않는다. 몰드 시트는 용융 금속이 그 위에 중력방식으로 위치한 상태에서 소정 성분을 갖는 라인을 따라서 당겨질 수 있다.

[0085] 어떤 경우라도, 진공을 사용하면 진공이 없는 경우에 가능한 것보다 훨씬 넓은 몰드 시트 온도 및 재료 공정창이 가능하다. 구체적으로 진공은 비습윤성의 재료에 대한 필요한 접착성을 향상시킬 수 있다. 비습윤성 재료는 또한 전형적으로 낮은 핵형성을 나타내고 보다 큰 과냉각을 지원할 수 있기 때문에, 이는 응고된 실리콘 시트의 결과 입도를 제어하는데 상당한 이점이다.

[0086] 도 25를 참조하여 개략적으로 도시한 바와 같이, 형성된 웨이퍼(2519)가 몰드 시트(2505)로부터 해제되는 것은 하나 이상의 작은 핀(2593)에 의해 지원될 수 있는데, 이 핀들은 몰드 시트의 밀봉결합구멍을 통하여 밀어질 것이다. 이 핀들은 바람직하게는 새롭게 형성된 웨이퍼(2519)와 접촉하여야 하며 웨이퍼가 형성된 후에는 형성면(2506)의 표면으로부터 웨이퍼를 밀어내는 역할을 한다.

[0087] 이런 해제를 이루기 위한 다른 장치가 도 26을 참조하여 개략적으로 도시되어있다. 프레임(2693)은 형성면(2606)의 주위로 환체를 형성한다. 웨이퍼(2619)가 형성된 후, 프레임(2693)이 밀어져서 형성면(2606)의 면을 지나 돌출하여 웨이퍼(2619)를 형성면(2606)으로부터 밀어낸다. 프레임은 형성면의 전체 주위로 또는 그 일부 구간 위로만 연장될 수 있다. 다른 방법은 몰드 시트(5)의 표면(4)의 내부의 감소된 영역에만 진공을 가하는 것이다. 웨이퍼는 진공이 가해지는 경우에 형성되기 쉬우며, 따라서 작은 내부영역에 진공을 가하면 형성면(6)이 웨이퍼(19)에 의해 완전히 덮여지지 못할 수 있다. 도 27을 참조하여 도시한 바와 같이, 압력감소영역은 작은 진공 플레넘(2701a), 또는 진공이 필요하지 않은 영역의 몰드 시트(2705)의 배면상의 비투과성 피복(2712)에 의해 얻어질 수 있다. 이런 피복의 예로는 CVD SiN(질화규소) 또는 열분해 흑연이다. 그 다음 형성된 웨이퍼(2719)는 형성면(2706)의 예리한 가장자리까지 연장되지 않으며 순수한 평면으로부터 해제될 수 있다. 이는 물의 해제특성과 형성과정 중에 웨이퍼가 받는 소성변형량에 영향을 준다. 예리한 가장자리는 형성된 웨이퍼(2719)에 대한 부착성을 향상시키는 자리라는 것이 발견되었으며, 웨이퍼(2719)와 형성면(2706) 사이의 강한 기계적 결합을 제공한다. 웨이퍼가 가장자리로부터 가장자리까지 기계적으로 연속적으로 되는 것을 방지하면 웨이퍼와 형성면 사이의 상대적 미끄러짐을 촉진시켜서 소성변형량과 이와 관련된 전위의 생성 및 증식과 그 외의 결정학적 결함을 감소시킨다. 이런 전위 및 결함은 모두 형성면 및 응고된 웨이퍼의 열팽창계수가 같지 않기 때문에 생길 것이다.

[0088] 또는 도 28을 참조하여 개략적으로 도시한 바와 같은 유사하고 단순한 실시형태에서, 형성면(2806)은 진공플레넘의 영역(2803)을 넘어가는 연장부(2893)를 가져서 그 가장자리 근처의 몰드 시트로 용융재료가 전혀 끌어당겨지지 않으므로 가장자리 부근에서 발생하는 강한 부착효과를 최소화하며 따라서 형성된 웨이퍼(2819)가 보다 쉽게 해제될 수 있다.

[0089] 도 29를 참조하여 개략적으로 도시한 바와 같이, 형성면(2906)은 또한 가장자리(2993)의 영역에서 평면상태가 아니라서 용융물이 형성면(2906)으로 점차적으로 도입되는 것을 촉진시키고 또한 형성된 웨이퍼(2919)가 형성면(2906)에 기계적으로 부착될 기회를 감소시킬 수 있다.

[0090] 감소된 영역의 진공 플레넘, 가스불침투층, 이젝터핀, 스트리퍼 플레이트, 비평면 가장자리 영역 등 같은 형성면에 형성된 웨이퍼가 부착되는 정도를 줄이기 위한 이런 기술 중의 하나 이상은 유사한 목적으로 개발된 전술하거나 후술하는 그 외의 어떤 구조와도 결합될 수 있다.

[0091] 몰드 시트(5)를 플레넘 조립체(8)에 고정할 필요가 있다. 이는 종래의 핀이나 다른 기계적 부착기구를 사용하여 행해질 수 있다. 다른 방법으로서, 도 27을 참조하여 도시한 바와 같이 몰드 시트(2705)는 진공에 의해 플레넘 조립체(2708)에 고정될 수 있다. 이 경우, 가스불투과성 피복(2712)이 몰드 시트(2705)의 가장자리 주위에 제공된다. 몰드 시트를 플레넘 조립체(2708)에 기계적으로 부착하는 수단으로서 그리고 응고된 반도체 웨이퍼(2719)의 해제를 위해 주 플레넘(2701a)이 압축될 때 몰드 시트(2705)의 비투과성 영역에는 2차 진공 플레넘(2701b)이 적용된다. 얇은 단면해칭 영역(2712)은 가스의 유동을 허용하지 않고 두 가지 목적으로 사용되는 열분해 흑연 같은 가스불투과성 피복이다. 먼저, 이는 진공이 가장자리 부근의 몰드 시트(2705)의 외측부에 적용되는 것을 방지하여, 진공이 적용되는 경우에 응고된 웨이퍼(2719)가 공동(2703a)에 인접한 비피복 영역에 의해 한정된다. 이에 따라서 웨이퍼(2719)의 가장자리가 몰드 시트(2705)의 가장자리로부터 떨어져서 유지되며 웨이퍼(2719)의 해제에 도움이 된다. 외측 진공 플레넘(2701b)은 또한 웨이퍼(2719)의 해제 중에 내측 플레넘(2701a)이 진공을 적용하지 않을 때 몰드 시트를 진공 조립체(2708)에 기계적으로 부착하기 위해 이 피복 영역(2712)에 적용될 수 있다. 기계적 부착 수단으로서 진공을 사용하는데 있어서의 한가지 이점은 웨이퍼 두께에 영향을 줄 수 있는 몰드 시트(2705)의 열질량에 영향을 주지 않는다는 것이다. 다른 이점은 보다 간단한 몰드 시트(2705)의 자동화 장착 및 해제 수단을 제공할 수 있다는 것인데, 이 수단은 각 웨이퍼의 형성기간의 적절한 범위 및 몰드 시트의 내구성을 고려하여 분당 1회 내지 두 시간 또는 세 시간에 1회의 범위가 될 수 있는 속도로 제조일에 걸쳐서 여러 번 부착 및 분리를 통해 순환되어야 한다.

[0092] 목표 두께의 제어 및 형성된 실리콘 시트의 두께 균일성의 제어는 형성된 실리콘 시트 웨이퍼로 만들어진 웨이퍼의 열질량 및 강도에 영향을 줄 수 있기 때문에 태양전지의 제조에서 실리콘 시트의 사용에 있어서 중요하다. 본 방법들은 예를 들어 태양전지에서 사용하기 위해 웨이퍼를 구성하는 보다 큰 시트에 또는 개개의 반도체 웨이퍼를 제조하는데 사용될 수 있다. 본 논의는 보다 일반적인 시트라는 용어를 사용할 것이지만 두께에 대한 논의는 또한 웨이퍼로서 형성된 물체와도 관련됨을 이해할 수 있을 것이다. 두께 및 이후의 열질량은 웨이퍼가 금속화 소성 같은 급속한 열사이클을 받을 때 중요할 수 있다. 실리콘 시트의 얇은 영역은 결국 취급 과정에서 웨이퍼가 국부적으로 취약해지고 파손되게 하며 전지처리에서의 수율 감소로 이어질 수 있다.

[0093] 여기서 개시하는 발명으로 형성된 실리콘 시트의 두께는 주로 전술한 바와 같은 성형 과정 중에 용융물(13)로부터의 열추출 제어에 의해 결정된다. 용융물로부터 단위 면적당 열유속은 재료 두께 및 몰드 시트(5)의 표면 결조직 외에 적용된 진공압 및 용융물(13) 및 몰드 시트(5)의 온도에 의해 영향을 받는다.

[0094] 접촉시에 용융물(13)과 몰드 시트(5)가 서로 밀접하게 열접촉하면 고체 실리콘 시트(19)가 응고되는데, 이 시트의 두께는 융해열 및 열유속에 근거하여 성장한다:

[0095] $V=h*(T_{melt}-T_{mold})/H_f$

[0096] 여기서 V는 응고선단 속도이고, h는 열전달계수, T는 온도, 그리고 Hf는 용적으로 측정한 융해열, 즉 실리콘에서는 4.2×10^9 J/m^{3}이다. 이 단순한 형태는 전술한 바와 같이 일반적으로 Hf의 5% 미만인 용융물 과열상태의 비열을 간과하고 있다. 몰드 시트의 형성면(6)에 평행한 응고선단에 관한 평면의 경우도 일반적으로 몰드 시트가 용융물 표면(15)의 전역에 걸쳐서 이동하는 연속 공정에 적용할 수 있으며 응고선단은 그러나 몰드 시트로부터 작은 각도에서는 거의 평행하게 될 것이다. 이 문헌 및 실험 측정으로부터 h의 일 예의 값은 -5000W/m^{2}K인데, 결국 각각 100℃ 및 800℃의 ΔT에서 응고선단 속도가 0.1mm/s 및 1mm/s 가 될 것이다. 접촉 후 초기에는 실리콘 시트 두께를 몰드 시트가 용융물과 접촉하고 있는 시간으로 제어할 수 있다.

[0097] 용융물로부터 열이 추출됨에 따라서, 몰드 시트(5)는 자신의 열질량과 전도성에 근거하여 가열될 것이다. AT가 100℃인 상기 경우에서, 전도성이 k=50W/mK인 몰드 시트를 통한 열유속이 5×10^5W/m^{2}이면 몰드 시트에서 온도 구배는 10℃/mm가 될 것이다. 얇은 몰드 시트를 절연 지지층과 함께 사용하는 경우, 몰드 시트의 벌크 온도는 T_{mold} ≒ T_{melt} 일 때 포화될 때까지 상승할 것이다. 비열이 C_p = 3.5×10^6 J/m^{3}K이고 초기 AT가 100℃인 2mm 두께의 몰드 시트의 경우, 최대 열용량이 7×10^5 J/m^{2}이 될 것인데, 이는 실리콘 시트 두께 167㎛에 해당한다. 이는 잔류시간에 관계없는 두께제어용 안정화 기구를 제공한다.

[0098] 마찬가지로, 몰드 시트는 원하는 실리콘 시트 두께 및 잔류시간의 변화에도 일정한 향상된 균일성을 얻기 위해 적층물 속에 절연층을 포함한 다양한 두께의 여러 재료로 설계될 수 있다. 도 30에 개략적으로 도시한 한가지 몰드 시트의 예로서, 높은 열전도성을 갖는 몰드 시트(3005)의 층(3008)은 일단 원하는 두께의 실리콘 시트가

형성되면 그 층(3008)이 열적으로 포화되도록 선택된 두께 및 초기 온도로 사용될 수 있다. 열적으로 포화된다는 것은 용융물과 층(3008) 사이의 온도구배를 가정하면 추가의 반도체 재료가 전혀 응고할 수 없다는 것을 의미한다. 추가의 내부절연층(3007)은 이후의 열흐름을 지연시켜서 초기 포화점 이후에 응고속도가 상당히 더 느려질 것이다. 층(3008)은 응고속도가 원래의 응고속도의 10% 미만까지 느려지도록 거의 포화될 것이다. 이에 따라서 두께를 제어하는 보다 확고한 수단이 제공되는데, 이는 잔류시간에 대한 예민도를 감소시키기 때문에다.

[0099] 몰드 시트 재료의 열확산율은 그 확산율이 몰드 시트를 통해 열을 추출하기에 충분하지 않고 표면온도가 대신에 상승하는 경우에 열추출을 추가로 한정할 것이다. 열확산율이 낮아지면 시트 두께의 균일성 향상에 유리하게 작용할 수 있는데, 왜냐하면 몰드 시트 표면온도가 상승하면 응고선단 속도를 감소시키고 잔류시간에 대한 두께의 예민도를 감소시키기 때문이다.

[0100] 몰드 시트와 용융물 사이의 초기 접촉시에, 용융물의 표면은 몰드 시트와 부분적으로 일치하는 형상을 가질 수 있다. 이렇게 하면 전술한 바와 같이 광을 포착하는 결조직을 부과할 수 있으며, 추가적으로 열전달에 영향을 줄 수 있다. 몰드 시트(5)의 배면(4)(도 1)에 가해진 진공압력은 용융 실리콘의 표면장력들을 균형 맞추고 몰드 시트의 접촉면적 및 이후의 열전달계수를 결정하는데 사용될 수 있다. 도 31a는 형성면(3106)상의 결조직면을 갖는 몰드 시트(3105)의 일부의 예를 개략적으로 단면으로 보여준다. 홈(3110)의 깊이는 연마면에서는 1미크론 미만일 수 있거나 또는 의도적으로 설계된 결조직에서는 20 내지 50미크론이 될 수 있다. 도 31b에 도시한 가벼운 진공압 하에서는 용융물 표면(3115)을 변형시키는 구동력이 거의 없으며 결조직의 최고점만이 용융물과 밀접하게 접촉하여 열추출될 것이다. 용융물과 몰드 표면 사이의 공간의 잔류 포켓은 비교적 절연성을 가지며 전체 열전달계수를 감소시키는 영향을 준다. 연속적인 고체층이 일단 형성되면, 추가의 변형은 일어나지 않을 것이다. 강한 진공압(압축 용융물 챔버 내에서는 1기압 이상) 하에서 용융물은 고체를 형성하기 이전에 홈속으로 더 깊게 들어가서 도 31c에 도시한 바와 같이 접촉면적을 효과적으로 증가시킨다.

[0101] 몰드 시트가 처음에 주위압력이었던 용융물 표면과 접촉함에 따라서 압력이 변하여 몰드 시트의 배면에 가해진 진공압과 일치하게 되며 응답의 시간상수는 다음과 같다:

[0102] $\tau = M\varepsilon\mu t^2 / 2\kappa\rho RT$

[0103] 여기서 M, μ, ρ 및 T는 가스의 분자량, 동적 점도, 밀도 및 온도이며, R은 보편기체상수이고, ε, K 및 t는 몰드 시트의 공극률, 투과성 및 두께이다. 일 예로서, 1723° K에서 아르곤의 특성 그리고 투과성이 $1\times10^{-15}m^2$, 공극률이 5%이고 τ=15ms인 1mm 두께의 몰드 시트를 사용한다. 몰드 시트 재료는 세 자리 숫자에 걸친 투과성 값을 가져서 두께 선택과 연결하여 이용할 수 있는데, 이 시간상수는 수초 내지 대략 1밀리초 미만 사이에서 조정될 수 있다.

[0104] 연속층을 응고시키기 전에 액체가 변형하는데 이용할 수 있는 시간은 용융물 과열상태, 비열, 핵형성 전의 불충분 냉각 및 열유속에 의해 결정된다. 몰드 시트 및 용융물 조건은 응고 전에 이용할 수 있는 시간이 압력 감소 및 용융물 표면의 변형에 필요한 시간상수보다 길도록 선택될 수 있다. 이런 시간은 응고 전에 액체가 몰드 시트 표면과 보다 양호하게 일치할 수 있게 하며(도 31c에 도시한 것과 유사) 접촉면적 및 이후의 열전달계수를 증가시킨다.

[0105] 입도를 증가시키는 한가지 수단은 웨이퍼의 형성 중에 몰드 시트와 용융물 사이에 기능층을 사용하는 것이다. 여러 가지 종류의 기능층들이 있는데, 이들은 여러 가지 기술에 의해 제공될 수 있으며 여러 가지 방식으로 기능할 수 있다. 또한, 이들 기능층들은 많은 여러 가지 재료로 이루어질 수 있다.

[0106] 한 종류의 기능층은 핵을 형성하지 않는 계면을 제공하는데, 이 계면은 용융물로부터의 열 추출 및 액체의 불충분 냉각을 가증하게 하여 새로운 입자의 핵형성 없이도 고체 결정입자가 측방향으로 성장하게 하여, 결국 큰 입도가 된다. 다른 종류는 몰드 시트의 재료로부터 불순물들이 형성되는 반도체 웨이퍼 속으로 오염확산하는 것을 막는 화학적 장벽을 제공한다. 또 다른 기능층은 원하는 위치에 입자의 핵형성(시드)을 촉진시킬 수 있다. 제공 가능한 또 다른 이런 기능층은 형성된 물체가 몰드 시트에 부착되는 것을 방지하는 것이다.

[0107] 한가지 유효한 비핵형성 기능층은 예를 들어 두께가 500nm의 막인 이산화규소 같은 산화규소 박막이다. 시차주사열량측정(DSC) 실험은 150℃를 초과하는 불충분냉각이 액체 실리콘과 이산화규소층 사이에 유지될 수 있다는 것을 나타낸다.

[0108] 기능 재료들은 몰드 시트 형성면상이나 또는 용융물상에 또는 이들 양쪽상에 제공될 수 있다. 용융물 상에 기능재료를 제공하는 것을 먼저 논의한 다음에 몰드 시트상에 기능층을 제공하는 것에 관하여 논의한다.

[0109] 산화규소 기능층을 형성하는 한가지 대처방안이 실리콘 용융물(13)의 자유표면(15)상에 기능층을 형성하기 위해 도 32a - 도 32e를 참조하여 개략적으로 도시되어있다. 이는 용융물 표면(15)상에 존재하는 규소와 반응하여 용융물의 표면상에 부유하는 산화규소 박층을 형성하는 산화기체종을 도입합으로써 용융물 상에 산화규소의 박층(3216)을 직접 성장시킴으로써 이루어질 수 있다. 그리고 몰드 시트(5)는 용융물 속에 침지되어(도 32c), 몰드 시트(5)의 형성면(6) 상에 웨이퍼(3219)를 형성한다. 몰드 조립체(3208)는 진공 적용에 의해 용융물 표면(15)으로부터 철수되어 형성된 웨이퍼(3219)를 용융물로부터 들어올린다. 제거된 웨이퍼(3219)는 기능층인 피복층(3216)을 포함한다(도 32e). 이런 대처방안에서, 기능층은 각 웨이퍼 성형 과정 사이에서 재성장한다.

[0110] 비핵형성 기능층을 형성하는 다른 대처방안은 도 33a - 도 33h를 참조하여 개략적으로 도시되어있다. 이 대처방안은 고체 실리콘 표면상에 이런 기능층을 성장시키는 것인데, 이 기능층은 이후에 다시 용융되어 산화규소만을 남긴다. 산화물 성장의 동력학 및 산화물 특성은 액체와 고체 실리콘 사이가 다르기 때문에, 기능층을 실리콘 용융물의 자유표면이 아니라 고체 실리콘 표면상에 성장시킬 수 있는 것이 유효하다고 입증할 수 있다. 이런 대처방안에서, 먼저 몰드 시트(5)의 형성면(6)은 용융물 표면(15)과 접촉하여 전술한 바와 같지만 작은 입자들을 갖는 희생적 웨이퍼(3318)를 만든다. 희생적 웨이퍼(3318)는 몰드 시트(5)로부터 해제되어 용융물(13)의 표면상에 부유한다. 그 후 산화 환경(3317)이 희생 웨이퍼의 표면에 도입되어 산화물층(3316)을 성장시킨다. 산화물층 성장과 동시에 또는 그 후에, 희생 실리콘 웨이퍼(3318)는 용융물(13)의 고온에 의해 하측면으로부터 용융되지만 잠시 동안 산화물이 남아 있다. 마지막으로 몰드 시트(5)가 부유하는 산화물 기능층(3316)과 접촉하고, 생성 웨이퍼(3319)가 형성된다.

[0111] 기능층이 수행할 수 있는 다른 기능은 화학적 장벽처럼 예를 들어 몰드 시트로부터 형성되는 반도체 웨이퍼로의 불순물의 확산을 방지하는 것이다. 기능층이 수행할 수 있는 다른 기능은 몰드 시트와 응고된 실리콘 시트 사이가 부착되는 것을 방지하여 해제를 용이하게 하는 것이다. 기능층은 또한 형성되는 물체에서 제어되지 않은 입자 핵형성을 저지시킬 수 있다. 실리카는 이들 목적들의 각각에 적합할 수 있다. 여러 가지 기능성 재료는 또한 공간적으로 조정되는 경우 원하는 위치에 입자핵형성을 촉진시킬 수 있다.

[0112] 용융물 표면과 몰드 시트 사이에 기능층을 형성하는 다른 대처방안은 몰드 시트 자체의 표면상에 이런 기능층을 형성하는 것, 예를 들어 흑연 몰드 시트상에 이산화규소 또는 질화규소 기능층을 침착하는 것이다. 도 30은 몰드 시트(3005) 상의 이런 기능층(30014)을 보여준다. 이런 기능층을 형성하는 한가지 대처방안은 예를 들어 화학적증착(CVD)에 의해 또는 물리적 증착(PVD)에 의해 기능층을 최종형태로 직접 침착하는 것이다. 플라즈마화학기상증착법(PECVD)에 의해 반사방지피복으로서 사용하기 위한 실리콘 태양전지 상에 수소가 풍부한 질화규소층이 통상적으로 침착된다. 이들 질화규소층과 SiO_2로 침착된 전자비임은 모두 몰드 시트 상의 핵형성억제 버퍼층을 형성하는데 효과적이라는 것을 발견하였다.

[0113] 다른 대처방안은 나중에 최종 기능층(3014)으로 변환되는 전구재료층을 침착하는 것이다. 예를 들어, 얇은 실리콘층이 전자비임증착에 의해 몰드 시트 위에 침착되고 이후에 산화가스의 존재하에서의 열적 애닐링에 의해 이산화규소로 변환될 수 있다.

[0114] 형성면상의 기능층을 다른 실현형태는 분말층을 사용하는 것이다. 이 분말층은 예를 들어 탄화규소, 질화규소 또는 이산화규소 등의 세라믹 분말로 구성될 수 있다. 분말층은 분말이 다른 조성 및/또는 입도 분포를 갖는 단일 성분 또는 다중 성분이 될 수 있다.

[0115] 전술한 실시 형태의 각각에 있어서, 형성된 기능층은 기능층을 보충하거나 재침착함 없이 다수의 웨이퍼의 성형 중에 존속할 수 있다. 그러나 최적의 기능성을 얻기 위해 각 성형 과정 사이에 기능층을 보충하거나 재침착할 필요가 있을 수 있다. 침착되거나, 변환되거나 또는 보충된 기능층의 다공성은 여전히 기능층의 면을 통해 가스가 통과하기에 충분하여야 하므로 진공이나 압력차 부착 기구가 동작할 수 있다.

[0116] 따라서 기능성 재료는 산화규소, 이산화규소(실리카), 탄화규소, 질화규소, 산질화규소, 옥시탄화규소(silicon oxycarbide), 질화붕소, 및 실리콘 자체(시드로서 작용)를 포함하는 그룹에서 선택될 수 있지만 이들에 한정되는 것은 아니다.

[0117] 상기 설명은 흑연, 탄화규소, 질화규소, 실리카, 산질화규소, 옥시탄화규소, 탄화규소, 질화붕소, 및 산질화규소 등을 포함한 이들의 합금 같은 다양한 재료로 구성된 몰드 시트의 사용을 논의하였다.

[0118] 실리콘 자체는 매우 높은 순도에서의 이용 가능성, 잘 이해된 열적 특성, 및 전술한 기능층으로 사용하기 위한 이산화규소, 질화규소, 탄화규소 같은 실리콘계 화합물을 성장시키거나 침착시키기 용이함 때문에 실리콘 웨이퍼를 성장시키는데 뛰어난 재료가 될 수 있다. 보다 구체적으로 이산화규소는 뛰어난 비핵형성 및 화학적 장벽

특성을 갖는 것이 발견되었으며 실리콘 상에서 성장될 수 있다. 따라서, 사정에 따라서 실리콘으로 제조된 몰드 시트(5)를 사용하는 것이 바람직할 것이다. 중대한 문제점은 실리콘이 투과성이 없으며 따라서 진공이나 압력차를 용융물에 전달할 수 없다는 것이다. 그러나 실리콘을 투과성이 있게 만드는 몇 가지 방법이 개발되었으며 이하에 논의한다.

[0119] 개략단면도로서 도 34를 참조하여 개략적으로 도시한 바와 같이, 실리콘 기판의 적어도 일면에 <3μm의 통공 직경을 갖는 얇은 벌크 실리콘(3434)(두께 100-300μm)의 기판(3405)에 레이저 통공(3432)이 형성될 수 있다. (여기서 사용하는 몰드 시트라는 용어는 형성면 및 상대면을 갖는 완성된 몰드 요소를 의미한다. 용융재료는 몰드 시트의 형성면에 존재한다. 경우에 따라서는 수 개의 몰드 시트가 서로에 대하여 배열된 몰드체를 사용할 수 있다. 기판이라는 용어는 여기서 몰드 시트가 되도록 처리되는 재료를 의미하는데 사용된다). 통공(3432)의 크기 및 피치는 두께 및 미소구조 같은 웨이퍼 특성을 제어하기 위해 변할 수 있다. 통공을 형성하여 다공성을 만든 다음, 기판(3405)은 실리콘의 산화물, 질화물 및 탄화물로 산화시키거나 피복함으로써 더욱 처리되어 원하는 외측 기능층(3431)을 형성할 수 있다. 이런 반응성 이온에칭 같은 다른 처리방법들도 사용하여 통공을 만들 수 있다.

[0120] 도 35를 참조하여 개략적으로 도시한 바와 같이 보다 두꺼운 기판(3505)이 바람직한 경우, <3μm의 직경을 갖는 통공을 레이저 절단하는 것은 현실적이지 못할 수 가 있다. 다른 대처방안은 기판(3505)의 일측면(3531)에서 직경이 100-1000μm이고 반대측면에서 10-100μm인 큰 원추형 통공(3532)을 형성하는 것이 될 것이다. 기판(3505)의 본체(3534)는 벌크 실리콘이다. 그리고 이들 통공은 규소, 탄화규소, 질화규소, 실리카 또는 이들 실리콘계 화합물의 전부 또는 일부의 조합의 분말로 채워질 수 있다. 통공은 예를 들어 기판의 통공 치수 및 원하는 투과성과 일치하는 혼합 입자 사이즈를 갖는 원하는 분말 슬러리를 큰 직경의 구멍을 갖는 기판의 표면에 적용함으로써 채워질 수 있다. 보다 구체적으로, 분말 혼합물이 구멍 속에 견고하게 박힐 수 있도록 작은 구멍의 직경에 가까운 입자들을 포함하여야 하며, 투과성을 조정하기 위해 보다 작은 사이즈의 입자들을 사용하여야 한다. 그리고 작은 구멍을 갖는 기판의 표면(3533)으로부터 진공을 가하여 분말입자들을 통공 속에 채울 수 있다. 기판은 불활성 또는 반응성 분위기에서 열처리되어 질화물, 탄화물, 반응결합제를 산화시키거나 또는 분말 혼합물을 소결하여 통공 내의 분말을 연결시켜서 치밀하게 할 수 있다.

[0121] 지금까지 설명한 통공을 레이저 절삭하는 양 방법은 모두 육안으로 보아서 불균일한 투과성을 갖는 투과성 실리콘이 된다. 이는 핵형성 제어에 바람직할 수 있다. 균일한 투과성이 바람직한 경우, 벌크 실리콘은 나노미터 크기의 기공들을 갖는 투과성으로 만들어질 필요가 있다. 은, 금, 구리 같은 금속촉매층으로 HF:H_2O_2에서 에칭함으로써 다공성 실리콘층을 만들기 위한 처리들은 문헌(예를 들어 C. Chartier 등의 Electrochimica Acta 53(2008) 5509-5516)에 설명되어있다.

[0122] 은(Ag)이 지원되는 HF:H_2O_2를 사용하면, 실리콘 용융물로부터 실리콘 웨이퍼를 성장시키기 위한 몇 가지 신형 기판이 만들어질 수 있다. 도 36은 표면에 산화된 다공성 실리콘(3631)을 갖는 두꺼운 다공성 실리콘 기판(3605)(두께 100-1000μm)을 보여준다. 에칭 공정 중에 두 가지 형태의 다공성 실리콘이 발생된다. 실리콘 속으로 잠기는 은입자들은 수백 나노미터(nm)의 직경을 갖는 큰 마크로 기공 뒤에 남는다. 샘플의 표면 및 기공벽에는 비다공성 실리콘이 발생한다. 이 나노다공성 실리콘은 NaOH 또는 KOH 같은 알칼리성 에칭으로 제거될 수 있다. 나노다공성 실리콘은 마크로 다공성 실리콘보다 훨씬 더 반응적이며, 예를 들어 두꺼운 SiO_2가 바람직한 경우에는 제자리에 남을 수 있다. 실리콘 에칭 후는 샘플로부터 잔류은을 전부 제거하기 위해 HNO_3에서의 세정단계가 추천된다. SiO_2 층을 형성하기 위해 산소함유 환경에서 900℃ - 1300℃의 열산화가 실시될 수 있다. 투과성의 정도는 침착된 은의 양, 에칭시간, HF:H_2O_2의 비율 및 욕의 온도에 의해 조정될 수 있다. 도 36은 본 방법에 의해 만들어져 중심(3634)에는 부분적으로 산화된 다공성 실리콘이 있고 표면(3631) 상에는 다공성 SiO_2 층이 있는 기판(3605)의 일 예를 보여준다.

[0123] 상기 문헌에 설명된 방법들의 한가지 결점은 인접 영역에 표면마무리를 유지하면서 다공성 실리콘의 국부영역을 만들기가 쉽지 않다는 것이다. 두꺼운 기판을 통해 완전히 에칭하는데 필요한 시간 전반에 걸쳐서, 은층이 HF:H_2O_2에서의 에칭 전에 마스킹되었다고 하더라도 실버 부분은 에칭용액에 용해되며 기판의 전체면에 걸쳐서 촉매작용을 받는다. 이 문제점은 본 발명자들에 의해 개발된 기술에 의해 해결될 수 있다. 도 37은 다공성 실리콘 영역을 갖는 기판을 만들기 위한 바람직한 공정흐름을 보여준다.

[0124] 실리콘 기판들이 세정되고(3761), 그 다음에 질산은용액(3762)으로부터 도금된다. 그리고 예를 들어 은시드층

의 침착(3762) 후에 저전력설정으로 레이저를 사용하여 하층의 실리콘과 은을 합금시킴으로서(3765), 샘플 표면상에 은실리콘 합금의 영역이 형성될 수 있다. 그리고 합금되지 않은 은은 농축질산에서 제거되어 은실리콘 합금을 갖는 영역에 인접한 청정실리콘 영역을 남기는데, 왜냐하면 Ag-Si 합금은 질산에 의해 에칭되지 않기 때문이다. 은-실리콘 합금은 여전히 촉매로서 작용하지만 에칭 욕을 오염시키지 않을 것이며 따라서 이렇게 만들어진 기판을 HF:H_2O_2 용액 중에서 에칭함으로써 다공성 실리콘 플러그를 갖는 벌크 실리콘 기판이 제조될 수 있다. 도 38은 산화(3774) 후에 이런 기판을 보여준다. 산화된 다공성 실리콘 플러그(3832)는 벌크 실리콘(3834)을 관통한다. 벌크 실리콘 영역들은 완전히 치밀한 SiO_2(3831)로 피복된다. 벌크 실리콘 위에 두꺼운 다공성 SiO_2층이 바람직하다면, 합금된 영역이 완전히 에칭되기 전이나 후에(3766) 기판은 은첨가 에칭용액(약 100ppmw의 은이면 충분하다) 속에 침지될 수 있다(3767). 그 결과 샘플의 표면에 두꺼운 나노다공성 실리콘층이 생길 것인데, 그 결과 산화 후에 두꺼운 다공성 SiO_2층이 될 것이다(이 경우 3834는 벌크 SiO 대신에 다공성 SiO_2가 될 것이다). 최종 실리콘 에칭(3766 또는 3767) 후에 샘플은 탈이온수 속에서 헹굼(3768)에 의해 세정되어야 한다. 다공성 실리콘이 전혀 필요하지 않은 경우, 샘플은 예를 들어 1% NaOH 같은 약한 부식용액에서 에칭될 수 있다(3769). 어떤 경우라도 기판은 잔류 은금속을 제거하기 위해 질산에서 세정되어야 한다(3770). 이런 방법으로 벌크 실리콘과 다공성 실리콘으로 된 3차원 구조가 만들어질 수 있다. 다공성 실리콘은 벌크 실리콘보다 반응적이기 때문에, 예를 들어 SiO_2 또는 질화규소 같은 실리콘이 반응생성물과 벌크 실리콘의 3차원 구조가 만들어질 수 있다. SiO_2 층으로 핵형성을 억제하는 것 외에도 진공을 제어하고 열전달을 제어하면 이들 기판상에 성장한 웨이퍼의 미소구조를 더욱 제어할 수 있다.

[0125] 앞에서 개요를 설명한 바와 같이 열적으로 성장한 이산화규소는 실리콘을 성장시킬 때 핵형성 억제층으로서 양호하게 작용한다. 금속지원 에칭에 의해 발생된 레이저 통공 또는 다공성을 갖는 실리콘 기판 상에 비교적 큰 입자(입경이 웨이퍼 두께의 3배 내지 5배)를 갖는 실리콘 웨이퍼가 성장되었다. 미소구조는 레이저 통공의 밀도 및 사이즈에 의해 제어되었다. 통공의 자리에서는 입자들의 핵형성이 촉진되었으며 그 밖의 자리에서는 억제되어 핵형성의 높은 제어정도를 보여준다. 기판이 성장된 웨이퍼에 대한 시드로서 작용하는 산화된 다공성 실리콘 기판상에 거의 단결정 실리콘이 성장하였다.

[0126] 따라서, 몰드 시트는 방금 논의하고 그리고 위에서 개요를 설명한 것처럼 다공성 실리콘으로 형성될 수 있으며, 몰드 시트는 방금 위에서 논의한 것처럼 흑연, 탄화규소, 질화규소, 실리카, 산질화규소, 옥시탄화규소, 탄화붕소, 질화붕소 및 이들의 조합과 다공성 실리콘의 조합으로 구성될 수 있다.

[0127] 전술한 논의의 많은 논의는 결조직의 형성면을 갖는 몰드 시트에 관련되었다. 그러나 여기서 개시하는 발명들은 또한 결조직이 없는, 실질적으로 매끈하며 심지어 실질적으로 연마된 몰드 표면을 갖는 몰드 시트에서도 유효하다.

[0128] 여기서 개시된 발명들의 일부 발명의 중심이 되는 측면은 몰드 시트 전역에 걸쳐서 압력차를 사용하여 그 위에 웨이퍼를 형성하고 응고를 제어하고 그 압력차를 나중에 완화함으로써 몰드 시트에 대한 반도체, 전형적으로는 실리콘의 부착을 제어함으로써 형성된 웨이퍼가 해제될 수 있게 한다는 것이다. 이 측면은 기판상의 시트를 응고시키는데 이용할 수 있는 재료들과 변수의 범위를 크게 증가시키고 또한 비용도 줄인다. 몰드 시트는 (그럴 필요는 없지만) 용융물보다 차가우며 심지어 상당히 차가울 수 있는데, 왜냐하면 부착은 압력차에 의해 생기고 적셔짐에 의존하지 않기 때문이다. 하측 몰드 시트의 온도를 이용하면 이용할 수 있는 시트 재료의 특성을 넓혀준다. 압력차를 감소시키거나 심지어 반전시켜서 해제하면 박리형 피복의 기능과 그 재도포에 의존하지 않는 신속하고 경제적이며 제조 가능한 해제 방법이 제공된다.

[0129] 열은 거의 전적으로 형성되는 웨이퍼의 두께를 통하여(웨이퍼의 길이를 따라서가 아님) 추출된다. 따라서, 액체와 고체 사이의 계면은 몰드 시트 형성면에 실질적으로 평행하거나 비교적 작은 예각으로 배치된다. 따라서 반도체 물체를 응고시키는 온도는 그 폭 전역에 걸쳐서 실질적으로 균일하므로, 결국 저응력 및 저전위밀도가 되며 따라서 높은 결정학적 품질이 된다. 불순물들이 계면으로부터 용융물로 분리되는 것이 발생하여 결국 재료가 성장 중에 정화된다. 각 웨이퍼가 동일한 도판트 농도를 갖는 용융물로부터 성장되어 동일한 도판트 농도를 가질 수 있으므로 낮은 석출계수를 갖는 (실리콘 내의 갈륨 같은) 도판트가 사용될 수 있다.

[0130] 몰드 시트는 그를 통해 가스가 흘러서 압력차를 형성하여 유지하여야 하는데, 이는 시트의 전체영역에 걸친 다공성에 의해 또는 시트 전체에 분포된 다공성 집중에 의해 이루어질 수 있다. 몰드 시트는 실질적으로 예를 들어 스트립 형태의 단일 웨이퍼의 크기 또는 다중 웨이퍼의 크기가 될 수 있다. 용융물이 몰드 시트에 도입되는 것은 재료 용융물의 상단과 전체 영역이 접촉; 수평상태나 수직상태에 관계없이 또는 중간에서 몰드 시트와 용

융물의 부분 접촉을 횡단; 및 몰드 시트를 용융물 속에 침지:를 포함하는 다양한 구성으로 실현될 수 있다. 응고층의 두께는 몰드 시트의 온도, 몰드 시트의 두께, 용융물의 온도 및 몰드 시트와 용융물 사이의 접촉 기간을 변화시킴으로써 제어될 수 있다. 입도는 몰드 시트를 방향성 수단에서 용융물에 도입함으로써 몰드 시트의 초기온도에 의해 제어될 수 있다. 방향성 수단이라는 것은 먼저 몰드 시트의 일부가 점차적으로 용융재료와 접촉한 다음에, 전체 몰드 시트가 한번에 용융재료와 접촉하는 것이 아니라 추가의 부분이 용융 재료와 접촉하는 것을 의미한다. 입도는 또한 특히 핵형성 경향을 감소시키는 기능성 재료의 사용에 의해 몰드 시트와 용융물 표면 사이의 계면에서 재료의 성질에 의해 제어될 수 있다. 형성된 웨이퍼를 용융물로부터 제거하는 것은 모세관 작용에 의해 고정될 수도 있는 응고되지 않은 과잉 용융물을 흘려주는 기구를 제공함으로써 보조된다. 웨이퍼를 몰드 시트로부터 제거하는 것은 압력차의 감소 또는 반전에 의해 이루어질 수 있거나 또는 기계적으로 보조될 수 있다. 용융물 도입, 응고 제어, 과잉 용융물의 제거 및 웨이퍼의 제거에 대한 다양한 방법들이 적절한 방식으로 결합될 수 있다. 응고된 시트의 제거에 의한 재료의 손실을 벌충하기 위해 용융물에 재료가 첨가되어야 한다. 이는 고체편을 추가하거나 또는 별개의 용기 속에 용융된 용융재료를 추가함으로써 이루어질 수 있다. 이 보충은 각 웨이퍼의 형성 사이에, 한 무리의 웨이퍼 형성 사이에 또는 연속적인 방식으로 일어날 수 있다. 첨가되는 재료는 또한 일반적으로 응고된 웨이퍼에서 필요한 것과 대략 동일한 농도의 도판트를 함유하여야 한다. 그러나, 의도하는 도핑의 레벨은 응고된 웨이퍼의 도핑 전반에 걸쳐서 보다 정확한 제어를 유지하도록 변화될 수 있다.

[0131] 방법 발명의 유용한 일 실시형태는 다음의 특징을 갖는다. 큰 입자들을 성장시키기 위해 용융물이 점차적인 방식으로, 예를 들어 도 9a 및 도 9b를 참조하여 설명한 것처럼 기울어진 배치 방법을 이용하여 몰드 시트에 도입된다. 몰드 시트상이거나 용융물의 표면상이거나 관계없이 입자 핵형성을 감소시키는 기능성 재료가 역시 사용된다. 메니스커스는 메니스커스 제어요소의 도움으로 분리된다. 몰드 시트는 형성될 웨이퍼보다 크며, 해제를 용이하게 하기 위해 진공은 몰드 시트의 일부에만 한정된다.

[0132] 본 설명의 부분들은 태양전지로 순차적으로 처리될 실리콘 시트의 제조에 집중되었지만, 여기서 개시하는 방법들은 본 출원에 한정되는 것은 아니다. 입도 및 형성된 실리콘의 구조는 이들 방법으로 제조된 실리콘 시트 상에 태양전지를 직접 제조할 수 있을 정도로 충분하지 않을 수 있다. 응고는 웨이퍼의 두께 전역에 걸쳐서 일어나기 때문에 전술한 바와 같이 불순물을 용융물 속으로 배출할 가능성이 있으며, 따라서 공정 중에 실리콘을 화학적으로 정제할 가능성이 있다. 따라서 일부 직접 제조된 시트는 고효율태양전지를 지지하기에는 너무 작은 입자를 갖지만 적정한 효율의 전지(아마도 15%) 극히 저렴한 비용으로 얻을 수도 있다.

[0133] 이와 같이, 실리콘 시트는 본 설명의 서두에서 설명한 캡슐내 재결정(RIC) 기술용 공급원료로서 사용될 수 있다.

[0134] 또한, 형성되는 재료는 실리콘일 필요는 없다. 게르마늄 같은 원소 반도체 비화갈륨 같은 화합물 반도체 같은 다른 반도체 재료가 사용될 수 있다.

[0135] 본 발명의 많은 기술 및 기계적인 측면을 여기서 설명하였다. 당업자라면 이들 기술 및 기계적 측면 중의 많은 것은 그것들이 함께 사용하는 것으로 구체적으로 설명하지 않았다고 하더라도 다른 개시된 기술들과 함께 사용할 수 있다는 것을 이해할 것이다. 효과적으로 결합되어 사용될 수 있는 여기서 개시한 요소들의 임의의 조합, 하위조합, 그 하위조합 등 어느 것이라도 여기서 청구하던지 하지 않든 지에 관계없이 분명한 발명으로서 개시하려는 것이다. 발명성이 있고 여기서 개시한 발명에 기초하는 수백 개의 가능한 조합을 발명으로서 구체적으로 개시할 수 없을 것이다.

[0136] 따라서, 여기서 개시한 발명들은 방법들, 제조 물품 및 제조 장치를 포함한다.

[0137] 여기서 개시한 방법 발명들은 차가운 다공성 몰드 시트를 반도체 재료 용융물과 접촉시키고, 몰드 시트의 전면 및 배면 전역에 걸쳐 압력차를 발생시켜서 얇은 반도체 시트를 용융물로부터 분리하며, 형성된 프리폼 시트를 RIC 응용에서 설명한 바와 같이 재결정시킨 다음, 반도체 시트를 태양전지 기판으로서 사용함으로써 후속의 재결정용 반도체 시트 프리폼을 제조하는 방법을 포함한다. 다른 방법 발명은 재결정될 필요가 없으며 결조직 표면을 갖거나 갖지 않는 반도체 용융물 및 차가운 몰드 시트를 사용하여 태양전지 기판을 제조하는 방법이다. 용융재료와 몰드 시트가 접촉하게 하는 수단; 침지 및 기울임; 몰드 시트 아래의 융기된 용융물; 몰드 시트 위의 용융물; 수직 몰드 시트의 측면의 용융물; 몰드체를 용융물 속으로 수직방향으로 넣기를 포함한 이들 방법들의 많은 변형예들을 논의하였다. 그 외의 변형예들은 대기압에서 용융표면에 완전진공 또는 불완전 진공을 사용하거나, 압축상태의 용융물 가열로를 사용하거나, 전체 몰드 시트에 걸쳐서 균일한 압력을 가하거나 몰드 시트의 여러 위치에서 여러 압력 형태를 적용하는 것을 포함한 압력차를 가하는 방법에 관한 것이다. 몰드 시트

전역에 걸쳐서 차압을 차단하고, 즉 양압, 기계적 핀을 적용하고, 부착을 방지하기 위해 몰드 시트를 성형하고, 몰드 해제부로서 작용하는 기능성 재료를 제공하고, 몰드 시트의 일부상의 가스불침투성 피복과 함께 이중플레넘진공을 사용하는 것을 포함하여 응고체를 몰드 시트로부터 제거하는 많은 방법 및 장치를 설명하였다.

[0138] 예를 들어, 몰드 시트를 통해 진공을 가하기 위한 어떤 적절한 방법도 사용할 수 있다. 시트 프리폼용 재료로서는 어떤 반도체도 사용할 수 있다. 액체가 형성된 시트 프리폼의 바닥에 달라붙는 것을 방지하기 위해 다양한 기술들이 사용될 수 있다. 여러 가지 목적으로 여러 가지 기능성 재료들을 사용할 수 있다. 용융물을 몰드 시트에 도입하는 여러 방법들을 사용할 수 있다.

[0139] 여기서 개시한 제조품 발명은 결조직의 표면을 갖던지 갖지 않고 재결정하거나 하지 않고 사용하기에 적합한 전술한 방법들에 따라서 만들어진 반도체 시트 프리폼을 포함한다. 추가의 물품 발명은 다공성이나 그 외의 재료로 채워지거나 채워지지 않은 관통된 막힌 구멍을 갖는 것들; 여러 가지 두께 및 열확산율을 갖는 적층형태; 응고될 반도체 물체보다 크고 그리고/또는 둥근 가장자리를 갖는 몰드 시트; 형성면에서 기능성 재료를 갖는 몰드 시트; 편평하거나 결조직이 있는 형성면을 갖는 몰드 시트를 포함한 다양한 몰드 시트의 구조를 포함한다. 더 많은 물품 발명들은 다공성 재료로 채워지거나 채워지지 않을 수 있으며; 그리고 예를 들어 실리카 또는 그 외의 재료로 된 외측면을 갖거나 갖지 않을 수 있는 거시적 개구부를 갖거나 갖지 않는 다공성 실리콘을 구성된 몰드 시트이다.

[0140] 제조장치의 발명들은 반연속 방식 제조에 대하여 전술한 바와 같은 플레넘 및 몰드 시트용 홈통 및 지지 구조물의 배치구조 및 플레넘 및 몰드 시트 조립체; 스윕 능력을 갖는 이중 플레넘; 몰드 시트와 형성된 웨이퍼 부착 및 해제를 위한 이중 플레넘을 포함한다. 추가의 장치 발명들은 이동둑, 펌프 및 용융 반도체를 위로 펌핑하기 위한 융기 슬롯, 전자유체역학 장비를 포함하여 용융물 속에 융기부를 생성하기 위한 다양한 장치를 포함한다. 추가의 장치 발명들은 용융 재료가 몰드 시트 아래에 있는 것, 용융 재료가 위로부터(중력방식으로) 몰드 시트에 제공되는 것, 및 용융 재료가 측면으로부터 몰드 시트에 제공되는 것을 포함하여 용융 재료를 차가운 몰드 시트에 제공하기 위한 여러 가지 배치구조를 포함한다.

[0141] 특정의 실시형태들을 도시하고 설명하였지만, 당업자라면 상기 개시내용으로부터 이탈함 없이 보다 넓은 측면에서 다양한 변형 및 수정이 이루어질 수 있음을 이해할 것이다. 상기 설명이 포함되고 첨부 도면에 도시된 모든 내용은 제한적 의미가 아닌 예시적인 의미로서 해석되어야 한다는 것이다.

[0142] 본 개시내용은 일 발명 이상을 설명하고 개시한다. 본 발명들은 출원된 것뿐만 아니라 본 개시내용에 기초하여 임의의 특허출원의 실행 중에 개발된 것으로서 본 명세서의 특허청구범위와 관련문헌에 개시되어 있다. 본 발명자들은 추후에 결정되는 것처럼 다양한 발명들 모두를 종래기술에 의해 주어지는 한계까지 청구하려고 한다. 여기서 설명한 어떤 특징도 여기서 개시하는 각 발명에 절대 필요한 것은 아니다. 따라서, 본 발명자들은 여기서 설명하였지만 본 개시내용에 기초한 임의의 특허의 특정 특허청구범위에서 청구되지 않은 특징들 어느 것도 이런 특허청구범위에 포함되어서는 안 된다고 하려는 것이다.

[0143] 일부 하드웨어의 조립체 또는 단계들의 그룹을 여기서 발명이라고 부른다. 그러나 이는 일 특허출원 또는 발명의 단일성에서 검사될 발명의 개수에 관한 법과 규정에 따라서 구체적으로 예기할 수 있는 것 같은 반드시 특허적으로 구별되는 발명이라는 것을 인정하는 것은 아니다. 발명의 일 실시형태를 말하는 짧은 방법이라는 것이다.

[0144] 요약서를 함께 제출한다. 이 요약서는 심사관들 및 검사관들이 그 외의 그 기술적 개시내용의 대상을 신속하게 확인할 수 있게 할 요약서를 요구하는 규칙에 따라서 제공되는 것이라는 것을 강조한다. 이는 특허청 규칙이 약속한대로 특허청구범위의 범위나 의미를 해석 또는 한정하는데 이용되지 않을 것이라는 것을 이해하는 것으로 하여 제출한다.

[0145] 상기 논의는 예시적인 것으로 이해되어야 하며 어떤 의미로도 제한되는 것으로 생각해서는 안 된다. 본 발명들을 그 바람직한 실시형태를 참조하여 구체적으로 도시하고 설명하였지만, 당업자라면 특허청구범위에 의해 정해지는 바와 같은 발명의 정신 및 범위로부터 이탈함 없이 형태 및 세부에서의 다양한 변화가 만들어질 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

[0146] 해당하는 구조, 재료, 행위 및 모든 수단이나 단계의 동등물에 추가하여 아래의 특허청구범위내의 기능적 요소들은 구체적으로 청구하는 바와 같은 다른 청구된 요소와 함께 기능을 수행하기 위한 임의의 구조, 재료 또는 행위를 포함하려는 것이다.

[0147] 발명들의 측면들

[0148] 본 발명들의 이후의 측면들은 여기서 설명하려는 것으로서, 본 장은 이들 측면들이 언급되었다는 것을 확실히 하기 위한 것이다. 이들은 측면이라고 부르는데, 이들 측면은 특허청구범위와 유사하게 보이지만 특허청구범위가 아니다. 그러나 장래 어느 시점에서 출원인들은 본 출원 및 임의의 관련 출원 중의 측면들의 어느 것 그리고 모든 것을 주장할 수 있는 권리를 보유한다.

[0149] A1. 반도체의 제조방법으로서, 상기 방법은:

[0150] a. 표면을 갖는 용융 반도체 재료를 제공하는 단계;

[0151] b. 형성면을 포함하는 다공성 몰드를 제공하는 단계;

[0152] c. 형성면의 적어도 일부에서의 압력이 용융 재료 표면에서의 압력보다 작도록 된 차압 형태를 제공하는 단계;

[0153] d. 형성면을 용융재료에 일정 시간 동안 접촉시켜서 접촉 시간중의 적어도 일부 동안

[0154] i. 상기 차압 형태가 제공되고;

[0155] ii. 형성면의 적어도 일부가 반도체 재료의 용융점 미만의 온도에 있게 하여,

[0156] 반도체 재료 물체가 형성면상에서 응고하도록 하는 단계;

[0157] e. 응고된 물체가 형성면상에 있는 상태에서 형성면을 용융 반도체 재료에 대하여 움직이게 하는 단계; 및

[0158] f. 차압 형태의 정도를 줄여서 응고된 물체가 형성면으로부터 분리되는데 기여하는 단계를 포함하는 방법.

[0159] A2. 측면 1의 방법에 있어서, 차압 형태를 제공하는 단계는, 용융 재료 표면에 대기압을 제공하고, 형성면에는 대기압보다 작은 압력을 제공하는 것을 포함한다.

[0160] A3. 측면 2의 방법에 있어서, 대기압보다 작은 압력은 불완전 진공이다.

[0161] A4. 측면 1의 방법에 있어서, 차압 형태를 제공하는 단계는, 용융 재료 표면에 대기압을 초과하는 압력을 제공하고 형성면에 대기압을 제공하는 것을 포함한다.

[0162] A5. 측면 1의 방법에 있어서, 몰드는 용융 반도체 재료의 표면과 접촉하는 단일 형성면을 포함한다.

[0163] A6. 측면 1의 방법에 있어서, 몰드는 서로에 대하여 각을 이루는 다수의 표면을 포함하며, 접촉시키는 단계는 몰드를 용융 재료 속에 침지시켜서 용융 재료가 다수의 표면과 접촉하도록 하는 것을 포함한다.

[0164] A7. 측면 6의 방법에 있어서, 몰드는 직교 표면들을 포함한다.

[0165] A8. 측면 1의 방법에 있어서, 형성면을 용융재료와 접촉시키는 단계 전에, 형성면을 용융재료의 표면에 대하여 기울여서 형성면의 일부만이 용융재료의 표면과 초기에 접촉하게 하는 단계를 더 포함한다.

[0166] A9. 측면 1의 방법에 있어서, 형성면을 용융재료와 접촉시키는 단계 후에, 형성면을 중력장에 대하여 기울여서 용융재료가 형성면으로부터 흐르게 하는 단계를 더 포함한다.

[0167] A10. 측면 1의 방법에 있어서, 형성면을 용융재료에 대하여 움직이게 하는 단계중이나 후에, 형성면을 형성면에 수직한 성분을 갖는 축선을 중심으로 회전시켜서 용융재료가 형성면으로부터 흐르게 하는 단계를 더 포함한다.

[0168] A11. 측면 1의 방법에 있어서, 형성면을 용융재료에 대하여 움직이게 하는 단계 후에, 형성면과 응고된 반도체 사이의 압력이 형성면의 반대측으로 향하는 응고된 반도체의 자유면에서의 압력보다 크도록 된 압력형태를 제공하는 단계를 더 포함한다.

[0169] A12. 측면 1의 방법에 있어서, 형성면과 용융재료 사이에 기능성 재료를 제공하는 단계를 더 포함하며, 기능성 재료는

[0170] a. 입자성장의 핵형성을 억제하고;

[0171] b. 불순물이 몰드로부터 응고된 반도체 물체쪽으로 통과하는 것을 방지하고;

[0172] c. 응고된 반도체 물체가 형성면으로부터 해제되는 것을 향상시키고; 그리고

[0173] d. 응고된 반도체 물체의 특정 위치에서 입자 성장의 핵형성을 촉진시키는 것으로 구성된 그룹에서 선택된 기능

에 기여하도록 선택된다.

[0174] A13. 측면 1의 방법에 있어서,

[0175] a. 상대 운동시키는 단계 전에, 희생적 응고체라고 지정된 응고된 반도체 재료에 산화물을 포함하는 기능성 재료를 제공하는 단계;

[0176] b. 응고된 희생적 반도체를 용융시켜서 용융 재료상에 기능성 물체를 남기는 단계; 및

[0177] c. 형성면을 제 2 접촉 시간 동안에 용융 재료상의 기능성 물체에 접촉시켜서 제 2 접촉 시간의 적어도 일부 동안에

[0178] i. 차압 형태가 제공되고; 그리고

[0179] ii. 형성면의 적어도 일부가 반도체 재료의 용융점 미만의 온도에 있게 하여,

[0180] 자유면을 갖는 반도체 재료의 물체가 형성면상에서 응고하게 하는 단계를 더 포함한다.

[0181] A14. 측면 13의 방법에 있어서, 형성면을 기능성 물체에 접촉시키는 단계 전에, 형성면을 기능성 물체에 대하여 상대운동시켜서 이들이 일시 이격되게 하는 단계를 더 포함한다.

[0182] A15. 측면 13의 방법에 있어서, 형성면을 기능성 물체에 접촉시키는 단계는, 희생적 물체를 용융시키는 단계 동안에 형성면을 기능성 물체와 접촉상태로 유지하는 것을 포함한다.

[0183] A16. 측면 12의 방법에 있어서, 기능성 재료를 제공하는 단계는 기능성 재료를 형성면에 제공하는 것을 포함한다.

[0184] A17. 측면 12의 방법에 있어서, 기능성 재료를 제공하는 단계는 기능성 재료를 용융 재료의 표면에 제공하는 것을 포함한다.

[0185] A18. 측면 17의 방법에 있어서, 용융 재료는 실리콘을 포함하며, 기능성 재료를 제공하는 단계는 응고된 기능성 재료의 물체를 용융 실리콘의 표면에 제공하고, 용융 실리콘의 표면의 분위기가 산소가 풍부하게 하여 용융 실리콘의 표면상에 SiO2의 물체를 발생시키는 것을 포함하며, 상기 방법은 형성면을 SiO2의 물체에 접촉시키는 단계를 더 포함한다.

[0186] A19. 측면 12의 방법에 있어서, 기능성 재료는 산화규소, 이산화규소(실리카), 탄화규소, 질화규소, 규소, 산질화규소, 옥시탄화규소 및 질화붕소로 구성된 그룹에서 선택된다.

[0187] A20. 측면 1의 방법에 있어서, 형성면을 용융 재료에 접촉시키는 단계 전에, 형성면과 용융 재료 사이의 계면에 우선핵형성제를 제공하는 단계를 더 포함한다.

[0188] A21. 측면 8의 방법에 있어서, 기능성 재료는 규소 및 이산화규소로 구성된 그룹에서 선택된다.

[0189] A22. 측면 1의 방법에 있어서, 메니스커스 제어 요소를 적용하여 응고된 물체로부터 부착성 용융 재료를 분리시키는 단계를 더 포함한다.

[0190] A23. 측면 22의 방법에 있어서, 메니스커스 제어 요소는 용융 재료에 실질적으로 젖지 않고, 용융 재료와 주변 분위기에 대하여 약 60보다 큰 젖음 각도를 갖는 물체를 포함한다.

[0191] A24. 측면 22의 방법에 있어서, 메니스커스 제어 요소는 봉을 포함한다.

[0192] A25. 측면 1의 방법에 있어서, 형성면은 실질적으로 결조직이 없는 표면을 포함한다.

[0193] A26. 측면 1의 방법에 있어서, 형성면은 결조직 표면을 포함한다.

[0194] A27. 측면 26의 방법에 있어서, 결조직 표면은 응고된 반도체 재료에 형성될 광포착 결조직에 상당하는 형상을 포함한다.

[0195] A28. 측면 26의 방법에 있어서, 결조직 표면은 응고된 반도체 재료에 형성될 전극위치 결조직에 상당하는 형상을 포함한다.

[0196] A29. 측면 26의 방법에 있어서, 결조직 표면은 특징적 크기를 가지며, 응고된 반도체 물체는 특징적 크기보다 작은 두께를 갖는다.

[0197] A30. 측면 1의 방법에 있어서, 다공성 형성 물체는 흑연, 탄화규소, 질화규소, 실리카, 산질화규소, 옥시탄화규

소 및 질화붕소로 구성된 그룹에서 선택된 재료를 포함한다.

[0198] A31. 측면 1의 방법에 있어서, 다공성 몰드는 소결분말로 된 물체를 포함한다.

[0199] A32. 측면 1의 방법에 있어서, 다공성 몰드는 흑연체를 포함한다.

[0200] A33. 측면 1의 방법에 있어서, 다공성 몰드는 다공성이 되도록 처리된 원래의 고체 실리콘으로 된 물체를 포함한다.

[0201] A34. 측면 1의 방법에 있어서, 다공성 몰드는 구멍이 관통 형성된 원래의 고체 실리콘체를 포함한다.

[0202] A35. 측면 34의 방법에 있어서, 구멍은 원추형 구멍을 포함한다.

[0203] A36. 측면 34의 방법에 있어서, 고체에 관통 형성된 구멍 속에 다공성 재료를 더 포함한다.

[0204] A37. 측면 1의 방법에 있어서, 다공성 몰드는 다공성 실리콘으로 된 물체를 포함한다.

[0205] A38. 측면 37의 방법에 있어서, 다공성 실리콘은 금속 시드층을 실리콘체의 표면상에 침착한 다음에 시드된 실리콘체를 에칭함으로써 형성된다.

[0206] A39. 측면 33의 방법에 있어서, 다공성 몰드는 산화규소로 된 적어도 일 외측면층을 더 포함한다.

[0207] A40. 측면 1의 방법에 있어서, 형성면의 선택된 위치에 입자 성장의 핵형성을 제어하는 단계를 더 포함한다.

[0208] A41. 측면 1의 방법에 있어서, 핵형성을 제어하는 단계는

[0209] a. 몰드에 공간적으로 변하는 두께를 제공하는 것;

[0210] b. 형성면에 대하여 공간적으로 변하는 압력차를 제공하는 것;

[0211] c. 몰드에 공간적으로 변하는 단열성을 제공하는 것;

[0212] d. 형성면에 공간적으로 변하는 결조직을 제공하는 것;

[0213] e. 몰드에 공간적으로 변하는 열확산율을 제공하는 것;

[0214] f. 형성면에 영역고유의 온도 프로파일을 제공하는 것; 및

[0215] g. 용융 재료와 먼저 접촉하는 형성면상의 위치에 결정 시드를 제공하는 것으로 구성되는 그룹에서 선택된다.

[0216] A42. 측면 1의 방법에 있어서, 형성면의 선택된 위치에 입자성장의 방향성을 제어하는 단계를 더 포함한다.

[0217] A43. 측면 42의 방법에 있어서, 입자성장의 방향성을 제어하는 단계는

[0218] a. 몰드에 공간적으로 변하는 두께를 제공하는 것;

[0219] b. 형성면에 대하여 공간적으로 변하는 압력차를 제공하는 것;

[0220] c. 몰드에 공간적으로 변하는 단열성을 제공하는 것;

[0221] d. 형성면에 공간적으로 변하는 결조직을 제공하는 것;

[0222] e. 몰드에 공간적으로 변하는 열확산율을 제공하는 것;

[0223] f. 형성면에 영역 고유의 온도 프로파일을 제공하는 것; 및

[0224] g. 용융 재료와 먼저 접촉하는 형성면상의 위치에 결정 시드를 제공하는 것으로 구성된 그룹에서 선택된다.

[0225] A44. 측면 1의 방법에 있어서, 몰드는 플레넘을 포함한다.

[0226] A45. 측면 44의 방법에 있어서, 몰드는 몰드 시트를 포함하며, 플레넘은 임의의 과도압력에 대하여 몰드 시트를 보강하도록 설계된 구조를 포함한다.

[0227] A46. 측면 44의 방법에 있어서, 플레넘은 적어도 두 개의 챔버를 갖는 화합물 플레넘을 포함하며, 차압 형태를 제공하는 단계는 두 개의 다른 차압 형태를 제공하여 형성면의 적어도 두 개의 다른 부분에서의 압력이 용융 재료 표면에서의 분위기의 압력보다 작도록 하는 것을 포함하며, 상기 방법은 접촉 단계 중에 한 챔버를 다른 챔버에 대하여 이동시켜서 두 개의 다른 압력 형태의 상대 위치를 변화시키는 단계를 더 포함한다.

[0228] A47. 측면 1의 방법에 있어서, 또한

[0229] a. 용융 재료를 제공하는 단계는 용융 재료를 용기 속에 제공하는 것을 포함하며, 용기는 적어도 하나의 벽을 가져서 볼록한 굴곡이 벽 위에 있는 최상측부를 갖는 용기의 반대 방향으로 향하는 용융 재료의 메니스커스가 존재하며; 그리고

[0230] b. 형성면을 용융 재료에 접촉시키는 단계는 형성면을 볼록한 메니스커스에 대하여 통과시키는 것을 포함한다.

[0231] A48. 측면 47의 방법에 있어서, 상대운동을 일으키는 단계는 형성면과 용융 재료 사이에 실질적으로 직선형의 상대운동을 일으키는 것을 포함한다.

[0232] A49. 측면 48의 방법에 있어서, 상대운동을 일으키는 단계는 국부 중력장에 실질적으로 수직한 상대운동을 일으키는 것을 포함한다.

[0233] A50. 측면 48의 방법에 있어서, 상대운동을 일으키는 단계는 국부 중력장과 동일선상에 정렬된 성분을 갖는 상대운동을 일으키는 것을 포함한다.

[0234] A51. 측면 1의 방법에 있어서, 차압 형태를 제공하는 단계는

[0235] a. 몰드 표면의 제 1 영역에 인접하여 제 1 차압을 제공하고; 그리고

[0236] b. 몰드 표면의 다수의 개별 위치에 제 2의 다른 차압을 제공하는 것을 포함한다.

[0237] A52. 측면 1의 방법에 있어서, 용융 재료의 표면의 진동운동을 억제하는 단계를 더 포함한다.

[0238] A53. 측면 1의 방법에 있어서, 용융 재료를 제공하는 단계는 용융 재료를 용기 속에 제공하여 용융 재료가 대략 5㎜ 미만, 바람직하게는 대략 3㎜ 미만의 깊이를 갖도록 하는 것을 포함한다.

[0239] A54. 측면 1의 방법에 있어서, 차압 형태의 정도를 줄이는 단계는 차압의 방향을 반전시켜서 형성면으로부터 멀리 향하는 응고된 재료에 힘이 가해지도록 하는 것을 포함한다.

[0240] A55. 측면 1의 방법에 있어서, 공간 크기 전역에 걸쳐서 균일한 초기 온도에서 각각 몰드의 형성면과 용융 재료의 표면을 제공하는 단계를 더 포함한다.

[0241] A56. 측면 1의 방법에 있어서, 형성면을 용융 재료의 표면에 접촉시켜서 형성면의 각 부분이 대략 동일한 시간 동안 용융 재료와 접촉하게 하는 것을 포함한다.

[0242] A57. 측면 56의 방법에 있어서, 접촉시키는 단계는 용융 재료의 표면에 대하여 형성면의 점차적인 상대 스윕을 제공한다.

[0243] A58. 측면 1의 방법에 있어서, 몰드는 한정된 열용량을 가져서 형성면의 온도가 용융 재료의 온도와 대략 동일한 온도까지 실질적으로 상승하며 그 후에 더 이상 용융 재료가 응고하지 않는다.

[0244] A59. 측면 1의 방법에 있어서, 초기의 응고층과 몰드 사이의 접촉면적을 줄임으로써 몰드와 응고체 사이의 열전달계수를 감소시키는 단계를 더 포함한다.

[0245] A60. 측면 59의 방법에 있어서, 열전달계수를 제어하는 단계는 차압 형태의 크기를 조정하는 것을 포함한다.

[0246] A61. 측면 59의 방법에 있어서, 몰드를 제공하는 단계는 열전달계수에 대한 접촉 영역을 한정하기 위해 용융 재료의 과열과 함께 시간에 따른 차압 형태의 크기의 변화를 제어하도록 선택된 가스 투과성, 공극률 및 두께의 특성들을 몰드에 제공하는 것을 포함한다.

[0247] A62. 측면 1의 방법에 있어서, 형성된 웨이퍼는 용융 재료내의 불순물 레벨보다 낮은 불순물 레벨을 갖는다.

[0248] A63. 측면 62의 방법에 있어서, 불순물의 하측 레벨은 분리 작용을 통해 얻어지며 응고선단의 진행은 분리가 일어날 수 있을 정도로 느리게 유지된다.

[0249] A64. 측면 1의 방법에 있어서, 낮은 석출계수를 갖는 도판트를 더 포함한다.

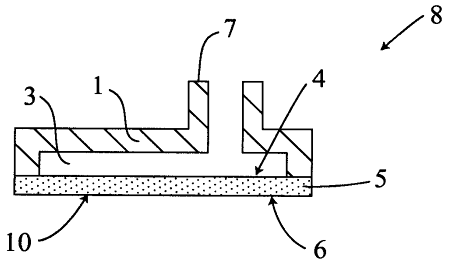
[0250] A65. 측면 64의 방법에 있어서, 갈륨, 인듐, 인 또는 비소를 첨가하는 단계를 더 포함하며, 용융 재료는 실리콘이다.

[0251] A66. 측면 64의 방법에 있어서, 최종 웨이퍼에 필요한 것과 대략 동일한 도판트의 농도를 갖는 재료를 첨가하여 용융물을 보충하는 단계를 더 포함한다.

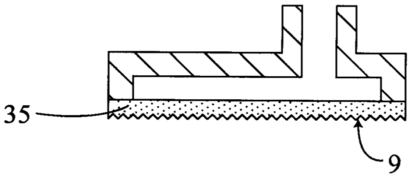
[0252] 여기서 본 발명을 개시하였는데, 청구하고자 하는 것은 다음과 같다.

도면

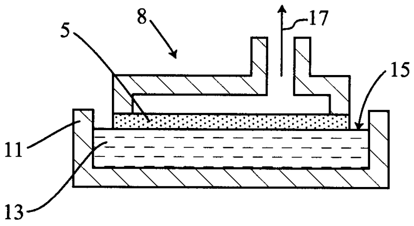
도면1



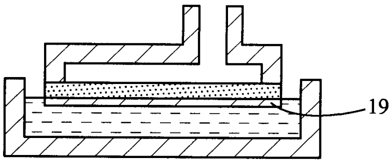
도면2



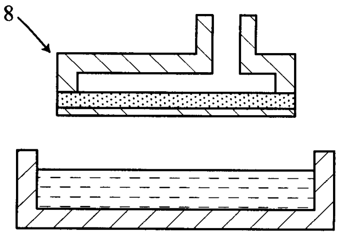
도면3a



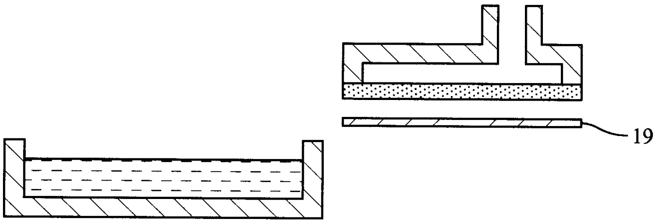
도면3b



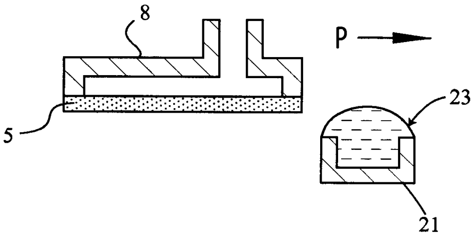
도면3c



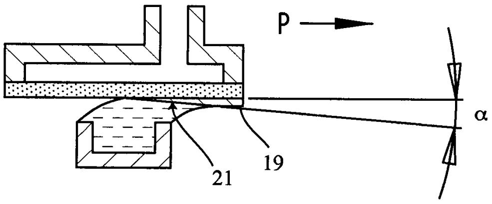
도면3d



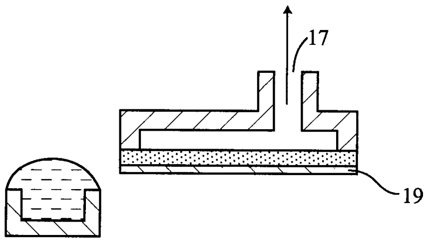
도면4a



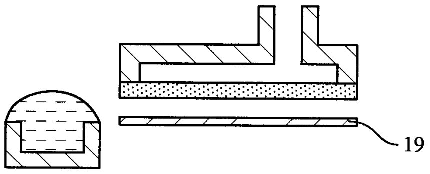
도면4b



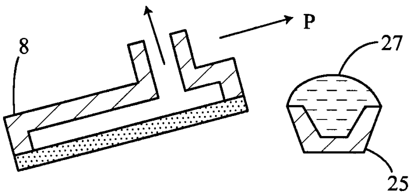
도면4c



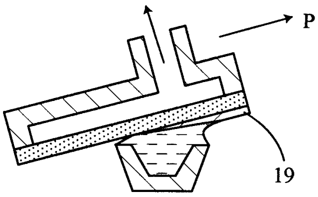
도면4d



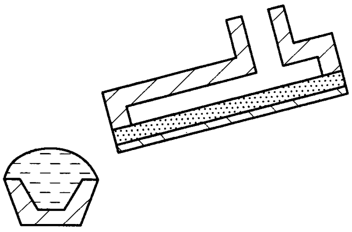
도면5a



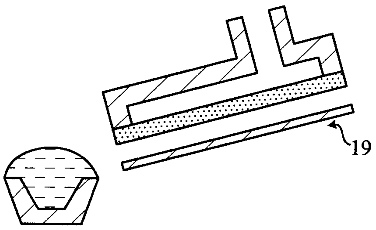
도면5b



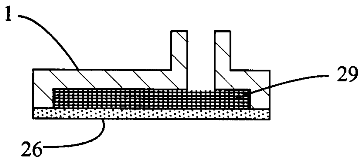
도면5c



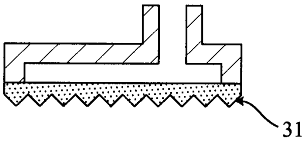
도면5d



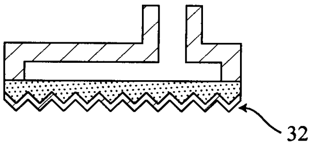
도면6



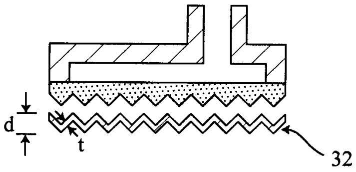
도면7a



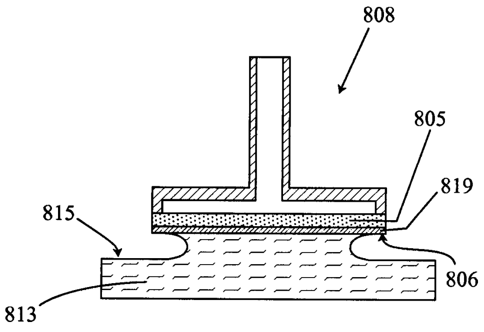
도면7b



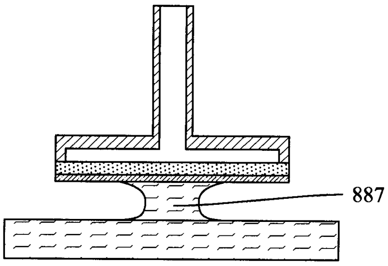
도면7c



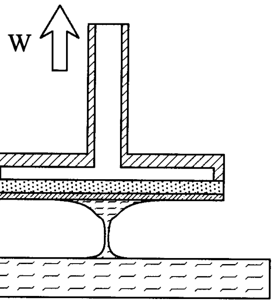
도면8a



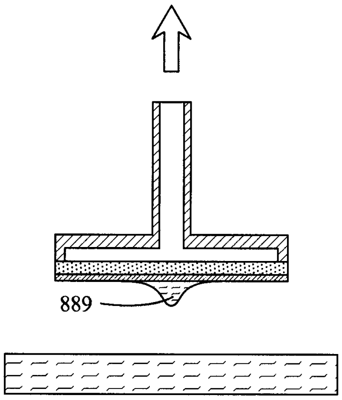
도면8b



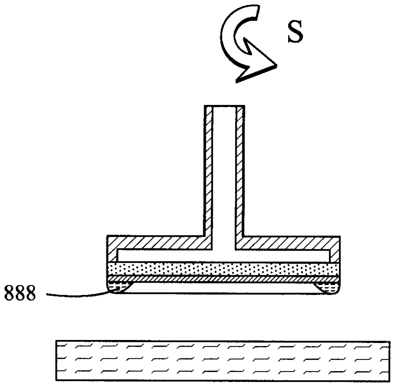
도면8c



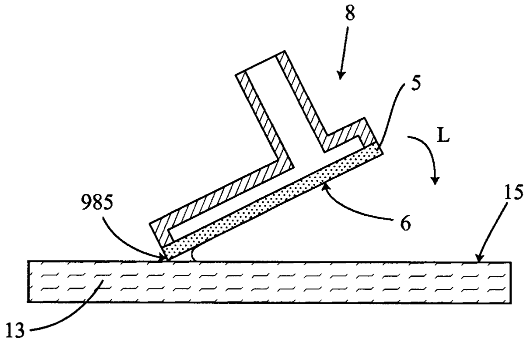
도면8d



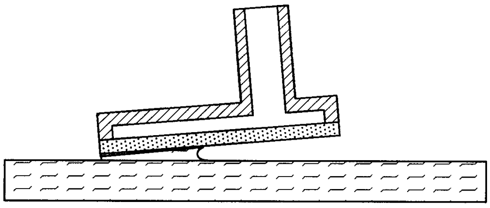
도면8e



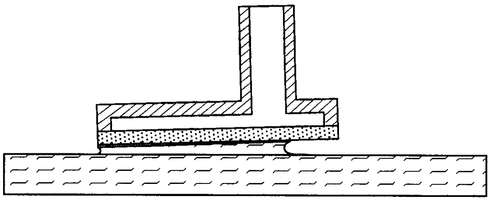
도면9a



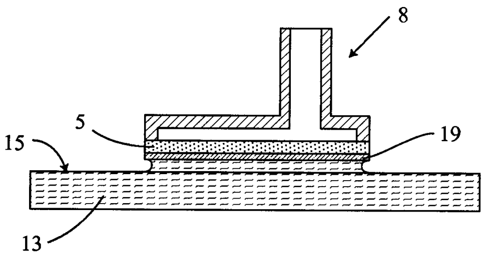
도면9b



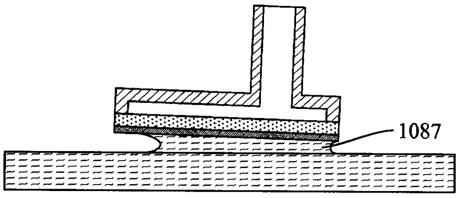
도면9c



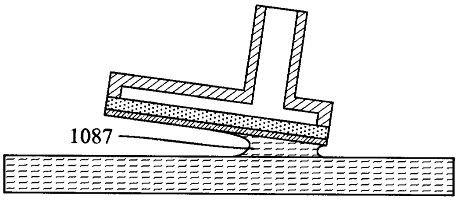
도면10a



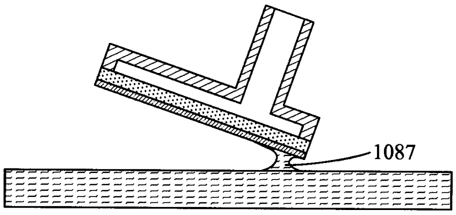
도면10b



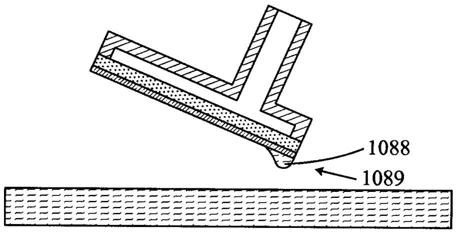
도면10c



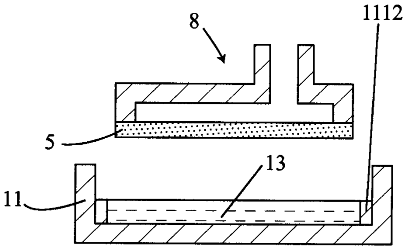
도면10d



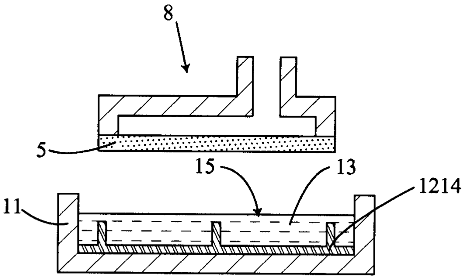
도면10e



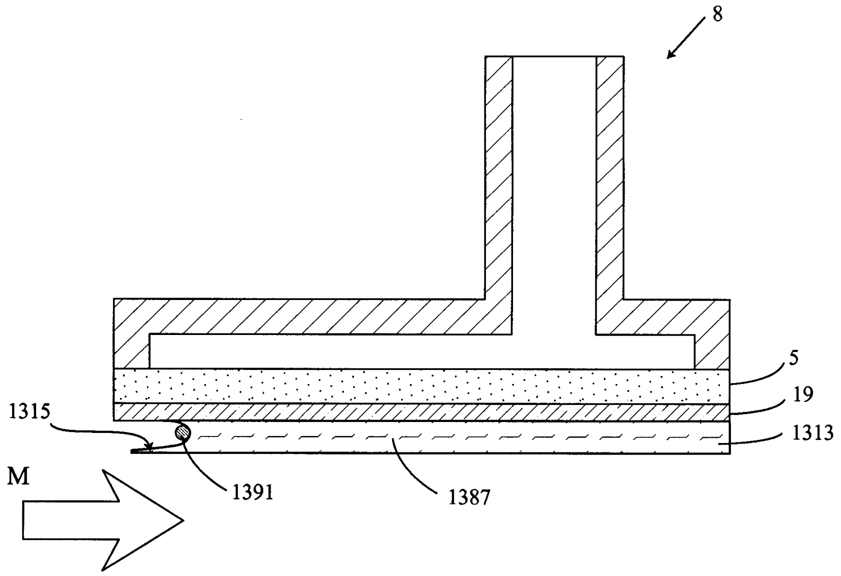
도면11



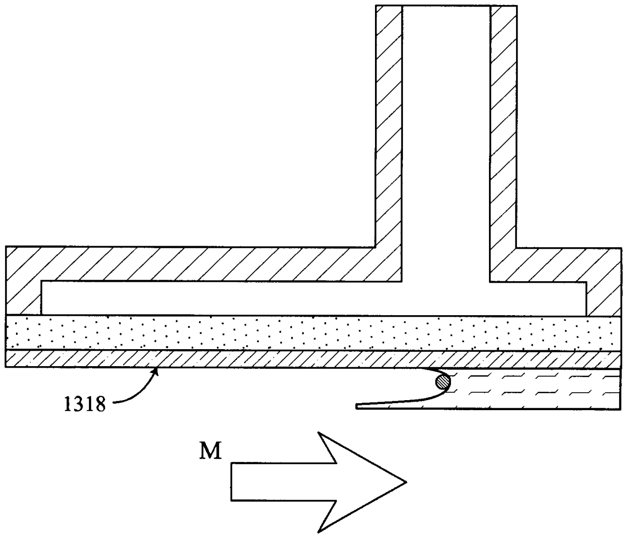
도면12



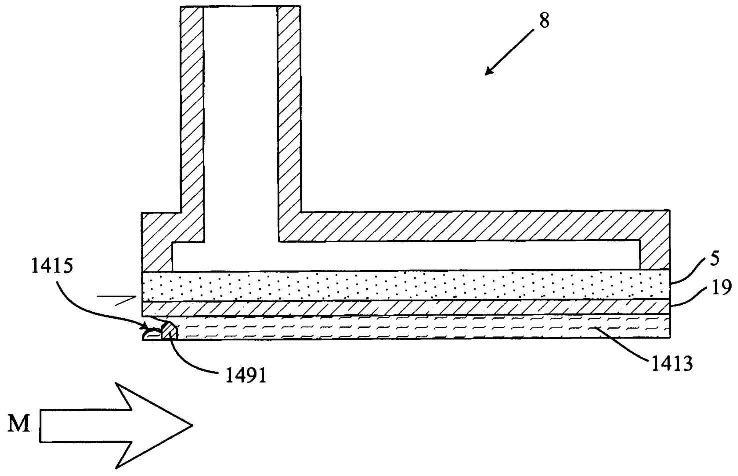
도면13a



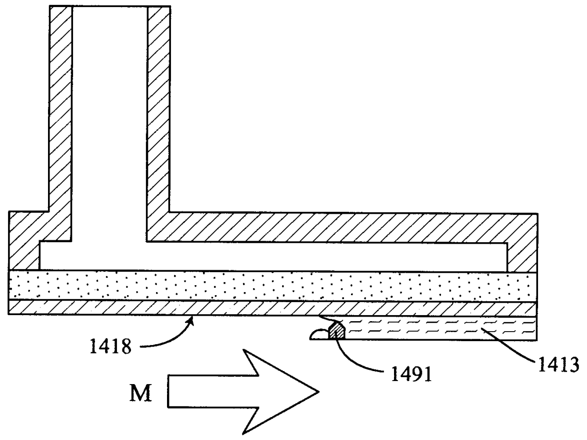
도면13b



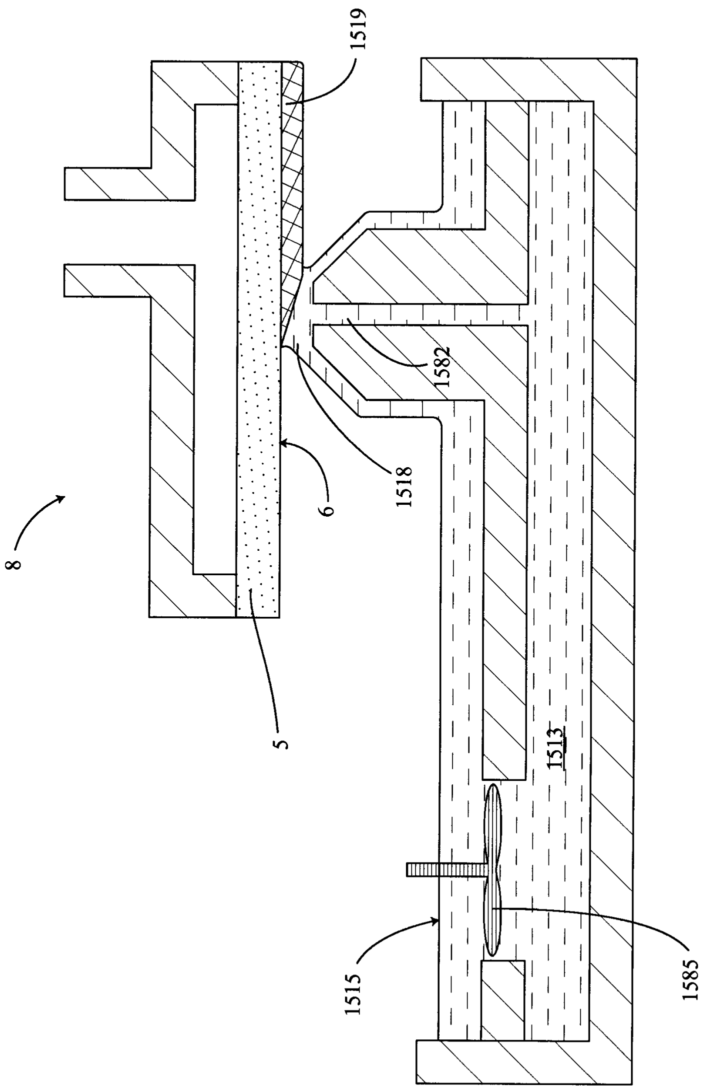
도면14a



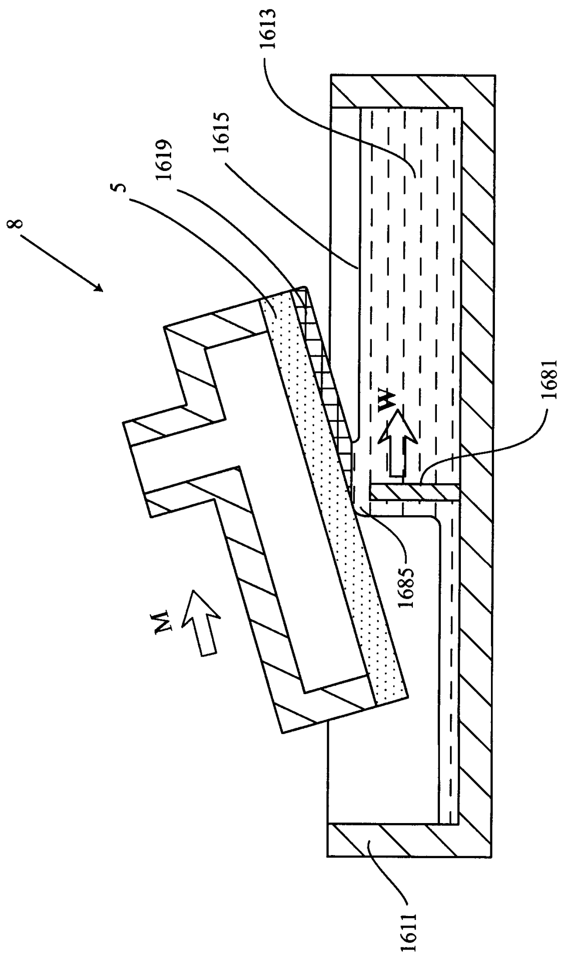
도면14b



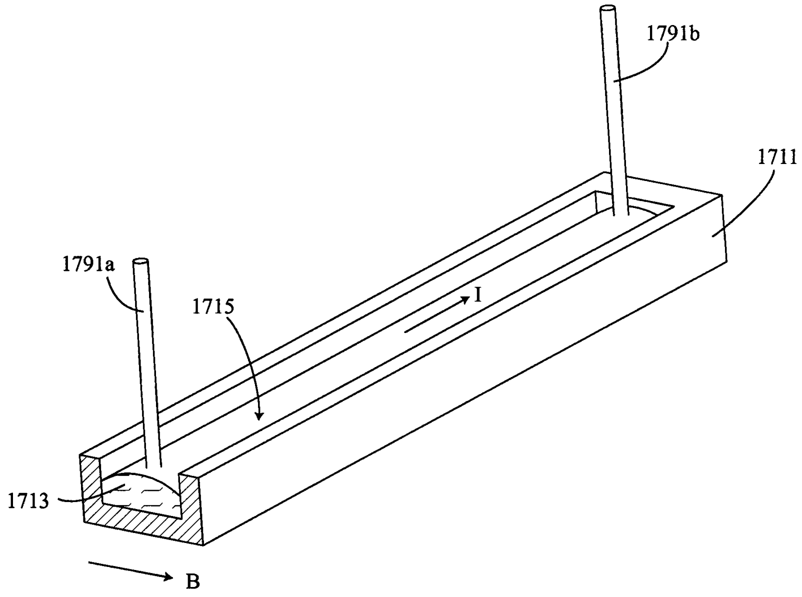
도면15



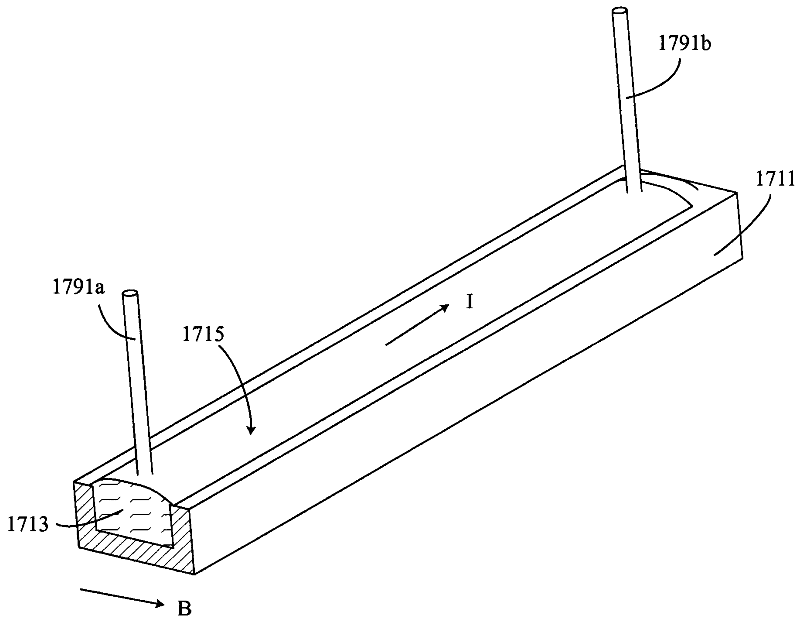
도면16


1613
1615
1619
5
8
W
1681
1685
M
1611

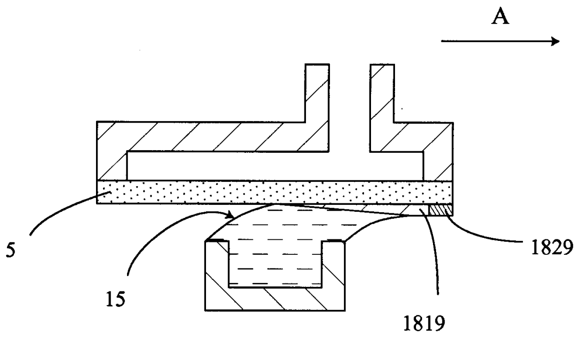
도면17a


1791b
1711
1791a
1715
I
1713
B

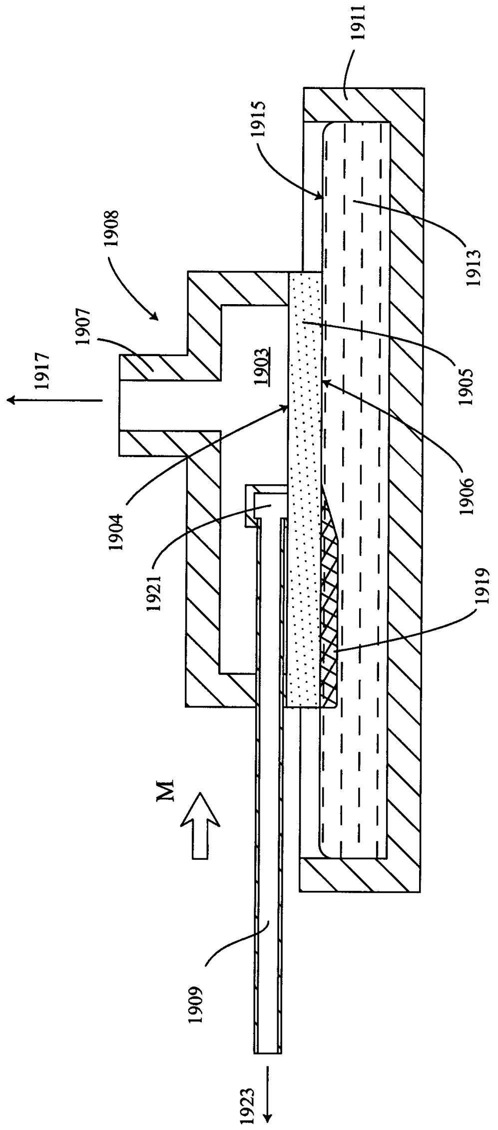
도면17b



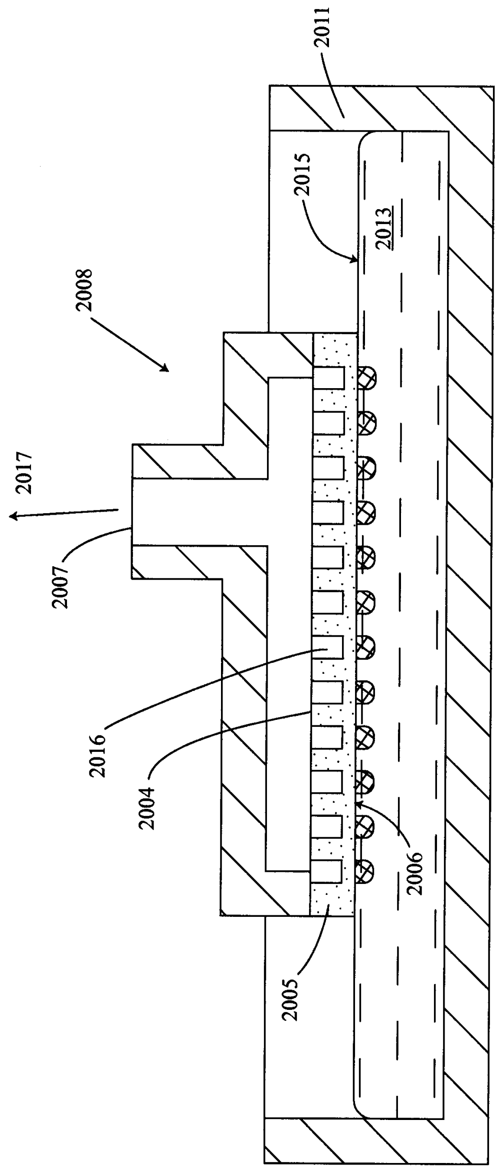
도면18



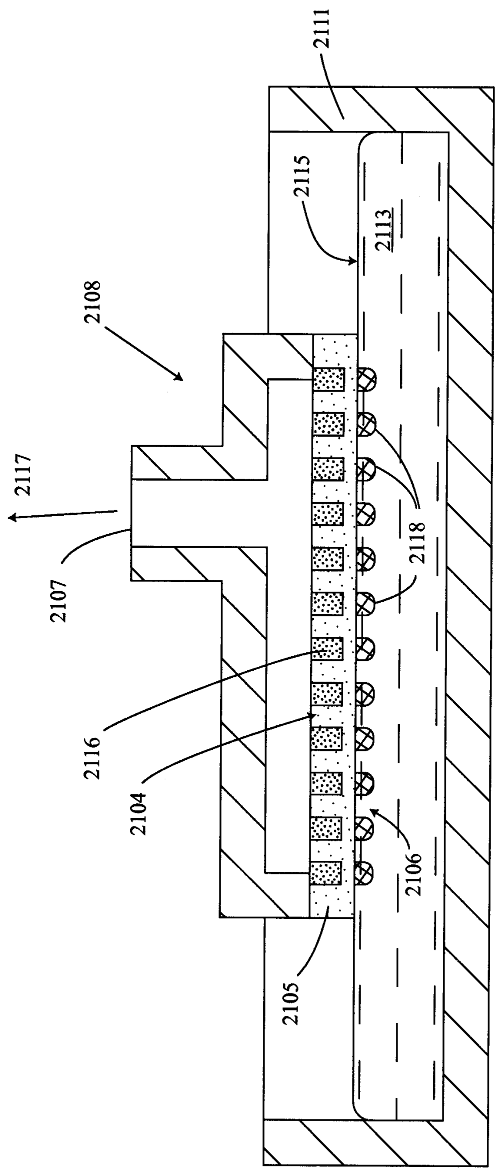
도면19


1911
1915
1908
1913
1907
1917
1903
1905
1904
1906
1921
1919
M
1909
1923

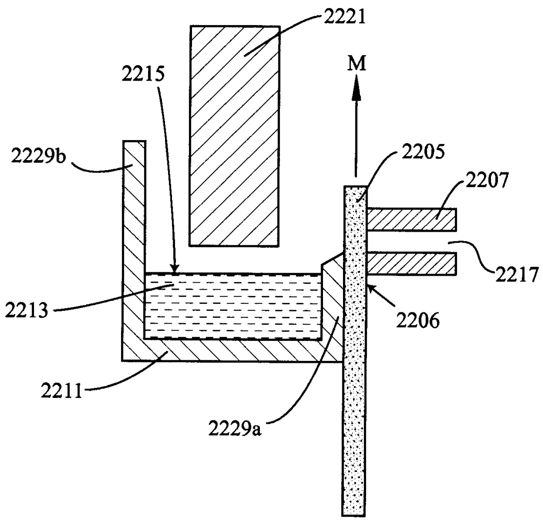
도면20



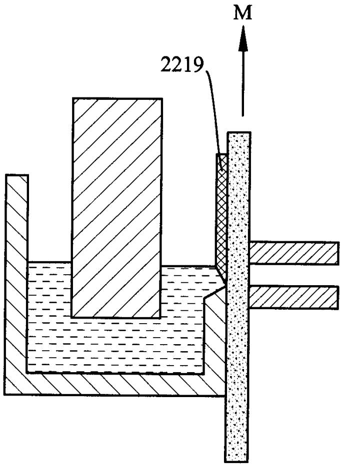
도면21



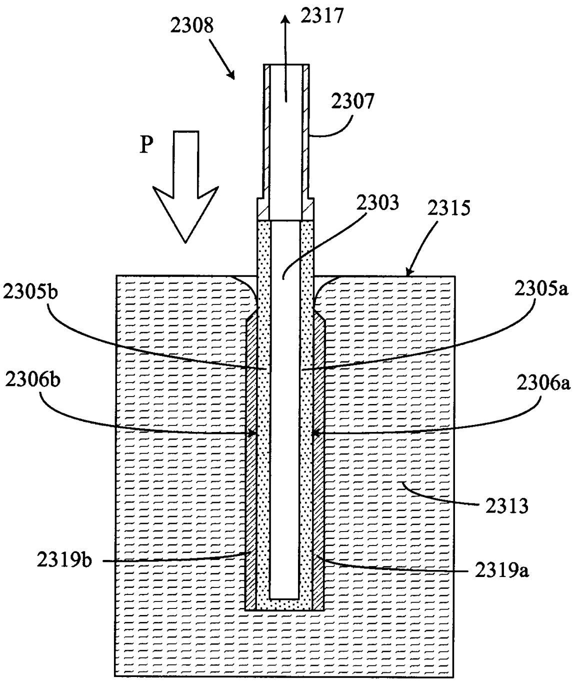
도면22a



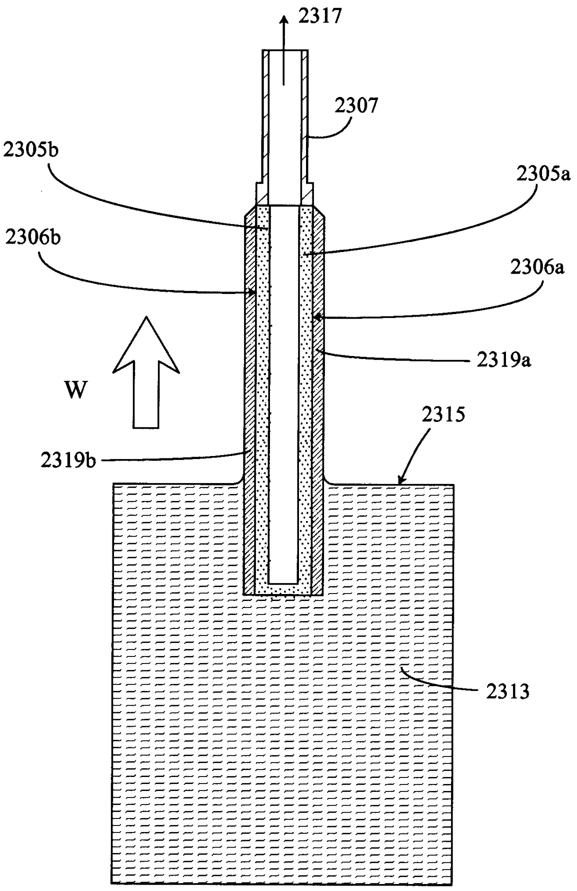
도면22b



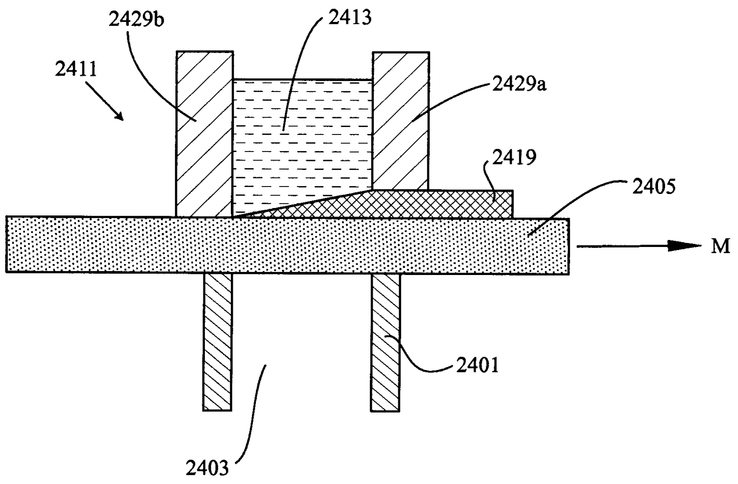
도면23a


2308
2317
2307
P
2303
2315
2305b
2305a
2306b
2306a
2313
2319b
2319a

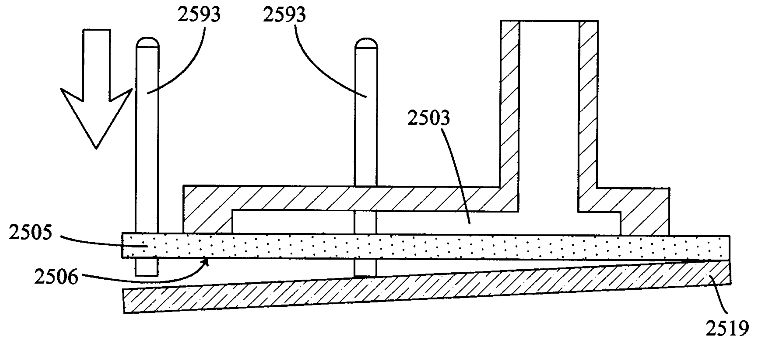
도면23b


2317
2307
2305b
2305a
2306b
2306a
2319a
W
2315
2319b
2313

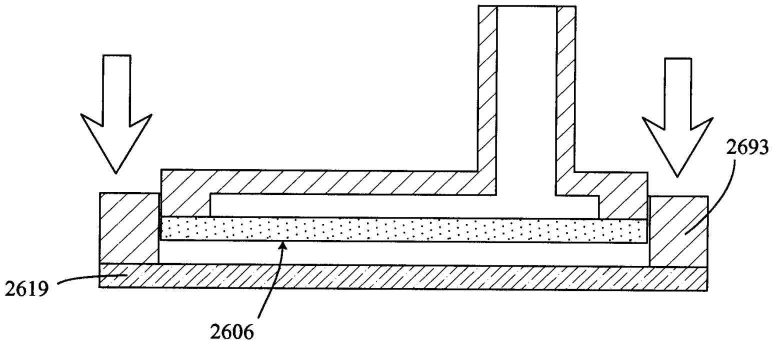
도면24


2429b
2413
2411
2429a
2419
2405
M
2401
2403

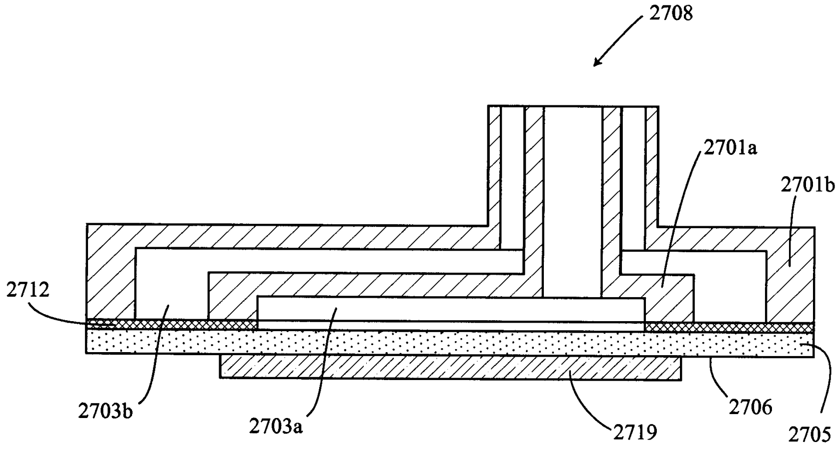
도면25



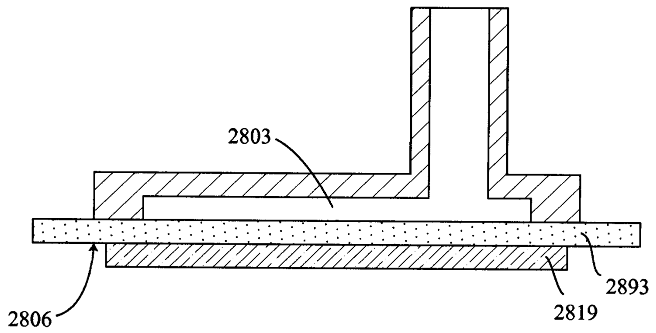
도면26



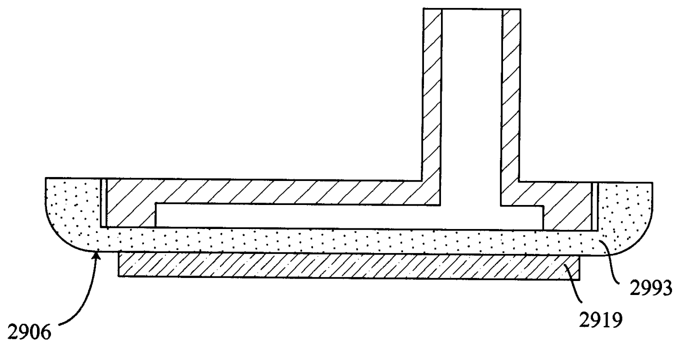
도면27



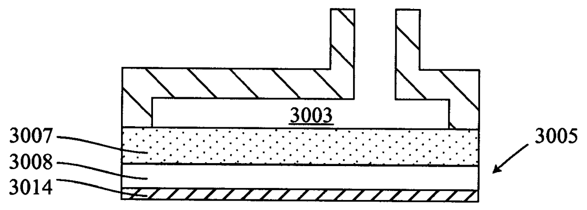
도면28



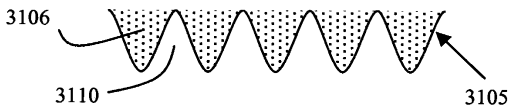
도면29



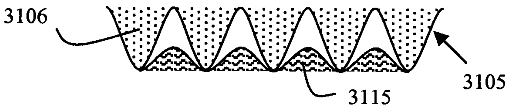
도면30



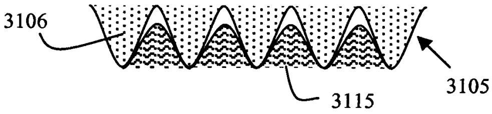
도면31a



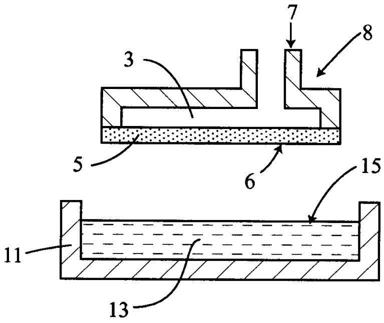
도면31b



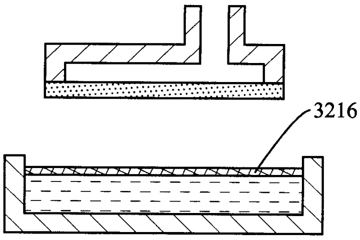
도면31c



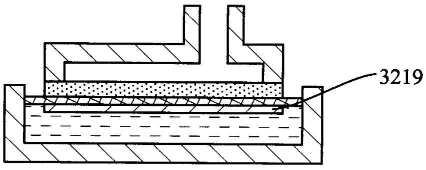
도면32a



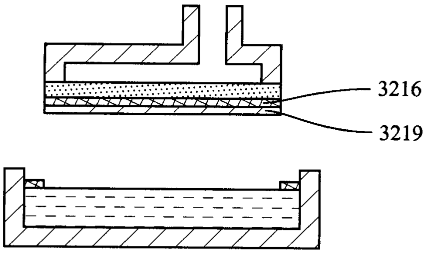
도면32b



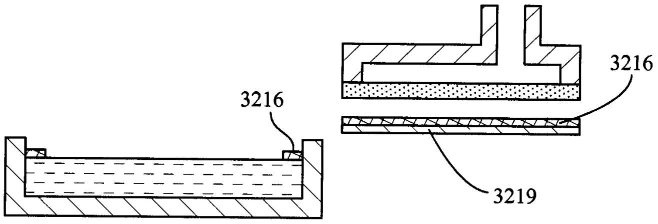
도면32c



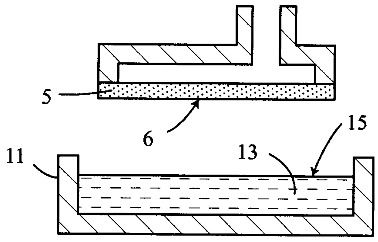
도면32d



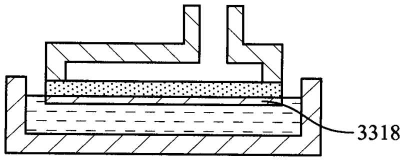
도면32e



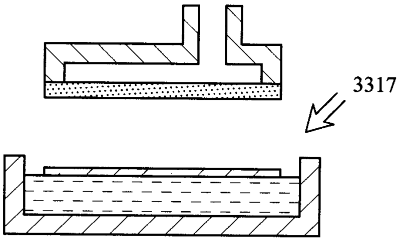
도면33a



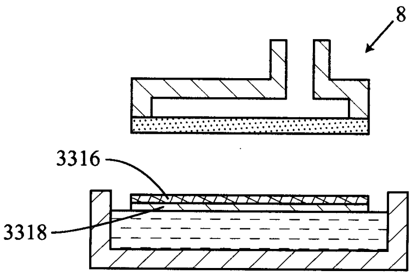
도면33b



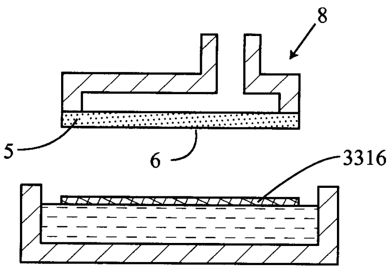
도면33c



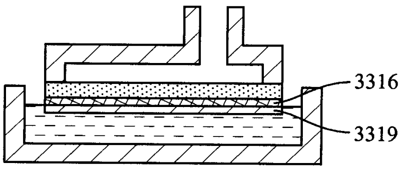
도면33d



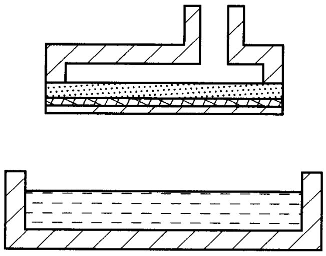
도면33e



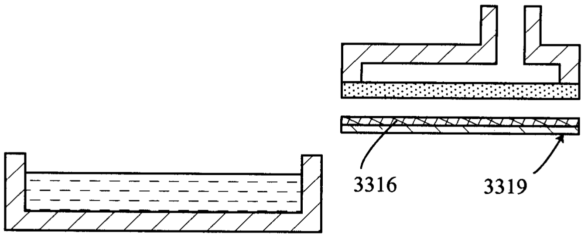
도면33f



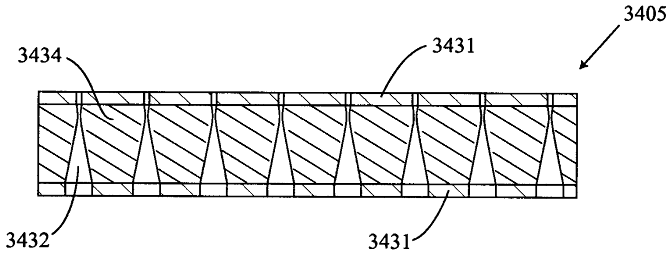
도면33g



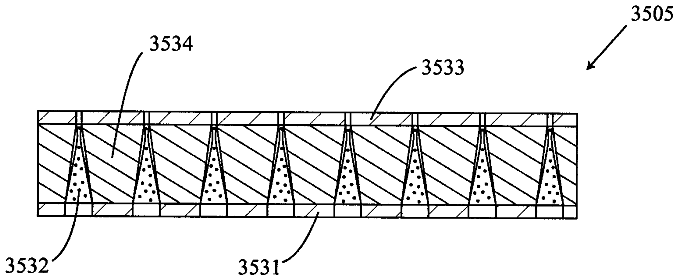
도면33h



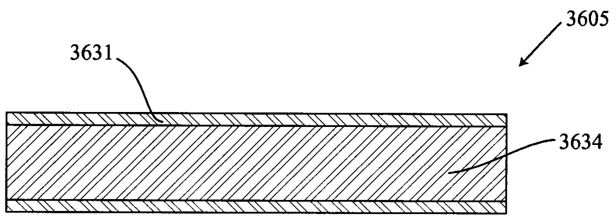
도면34



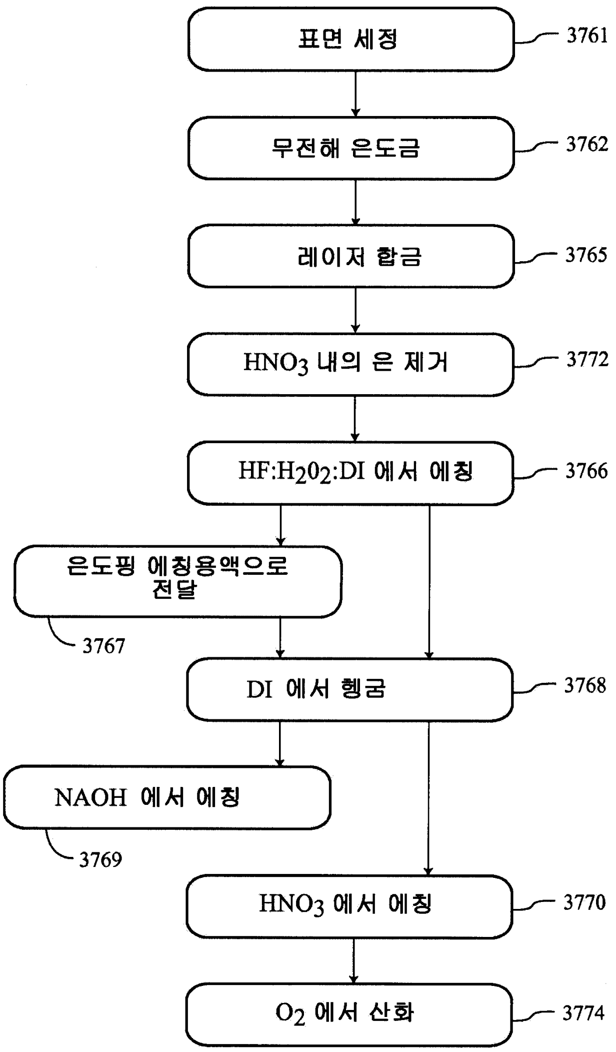
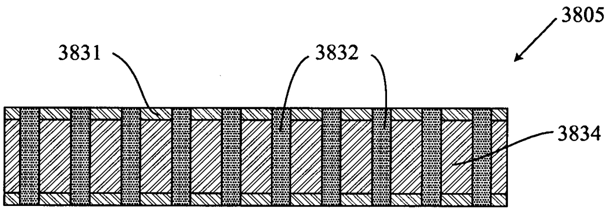
도면35



도면36


3631
3605
3634

도면37


표면 세정
3761
무전해 은도금
3762
레이저 합금
3765
HNO3 내의 은 제거
3772
HF:H202:DI 에서 에칭
3766
은도핑 에칭용액으로 전달
3767
DI 에서 헹굼
3768
NAOH 에서 에칭
3769
HNO3 에서 에칭
3770
O2 에서 산화
3774

도면38