



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102013902142075
Data Deposito	28/03/2013
Data Pubblicazione	28/09/2014

Classifiche IPC

Titolo

DISPOSITIVO E METODO PER PRODURRE UN BLOCCO DI MATERIALE MULTICRISTALLINO, IN PARTICOLARE SILICIO, MEDIANTE SOLIDIFICAZIONE DIREZIONALE

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"DISPOSITIVO E METODO PER PRODURRE UN BLOCCO DI MATERIALE MULTICRISTALLINO, IN PARTICOLARE SILICIO, MEDIANTE SOLIDIFICAZIONE DIREZIONALE"

di SAET S.P.A.

di nazionalità italiana

con sede: VIA TORINO, 213

LEINI' (TO)

Inventori: DUGHIERO Fabrizio, FORZAN Michele, CISCATO Dario, GIUSTO Francesco, FASOLO Floriana

* * *

La presente invenzione è relativa ad un dispositivo e ad metodo per produrre un blocco di materiale multicristallino, in particolare un materiale semiconduttore multicristallino quale silicio, tramite il controllo ottimale della temperatura in un forno in cui il materiale semiconduttore viene fuso e successivamente sottoposto a solidificazione direzionale.

La richiesta di materiale semiconduttore, in particolare di silicio, ad un grado di purezza elevato, detto "solare", è sempre più alta, in quanto tale materiale serve per la costruzione di celle fotovoltaiche ad elevata efficienza.

Per l'ottenimento di un tale materiale si effettuano

dapprima delle raffinazioni mediante tradizionali procedimenti metallurgici e, infine, viene formato un blocco o lingotto, dal quale sezionare poi i wafer necessari per la realizzazione delle celle fotovoltaiche. Tale blocco o lingotto viene formato con una metodologia nota come DSS, dall'acronimo inglese "Directional Solidification System", ovvero facendo fondere il materiale semiconduttore in un crogiuolo, per poi provocarne una solidificazione direzionale, con ottenimento alla fine di silicio multi cristallino, grazie al mantenimento di un gradiente termico verticale nel blocco o lingotto in fase di formazione in modo da determinare velocità di raffreddamento tali da ottenere l'avanzamento del fronte di solidificazione di 1-2 cm/h. Un vantaggio di tale tecnologia è che le impurezze presenti nel materiale di partenza rimangono preferenzialmente nel materiale fuso e salgono pertanto verso l'alto insieme al fronte di solidificazione.

A blocco o lingotto solidificato è pertanto sufficiente eliminarne la parte superiore per ottenere silicio multi cristallino raffinato al grado di purezza desiderato. Per ottenere tali risultati è necessario però poter esercitare un controllo molto preciso dei flussi termici in direzione verticale almeno durante la fase di solidificazione del blocco o lingotto di materiale

cristallino.

Secondo US2010/0083895 il controllo dei flussi termici verticali nel blocco o lingotto in fase di solidificazione, che è contenuto nel medesimo crogiuolo che è servito a contenere il materiale fuso durante la fase di fusione, è ottenuto mediante mezzi di raffreddamento posti sotto il crogiuolo, mezzi di riscaldamento posti sopra il crogiuolo, così da creare un gradiente termico in direzione verticale all'interno del forno, e mediante una sorgente addizionale e regolabile di calore, la quale è definita da un suscettore costituito da un blocco di grafite, sul quale è appoggiato il fondo del crogiuolo, da un induttore disposto sotto il suscettore e percorso da un liquido di raffreddamento, l'induttore costituendo i citati mezzi di raffreddamento, e da un feltro piano mobile orizzontalmente ed interposto tra l'induttore ed il suscettore. Il feltro, in forma di una piastra piana, è realizzato in un materiale atto a schermare le radiazioni infrarosse, per cui è in grado di bloccare almeno parte del calore radiante emesso dal suscettore verso i mezzi di raffreddamento costituiti dalle spire dell'induttore percorse da un fluido refrigerante.

Il calore radiante emesso dal suscettore è almeno in parte dovuto al calore che si trasmette per conduzione dal crogiuolo al suscettore stesso e, ad induttore

elettricamente alimentato, dal calore prodotto direttamente entro il suscettore per effetto joule dalle correnti indotte.

Lo schermo mobile definito dal feltro lateralmente scorrevole descritto in US2010/0083895 è di fatto irrealizzabile, in quanto il montaggio passante attraverso l'involucro di contenimento del crogiuolo e degli altri elementi del forno, come schematicamente illustrato in US2010/0083895, farebbe venir meno la tenuta idraulica dell'involucro e produrrebbe perdite termiche verso l'esterno del forno.

US2011/0220012 risolve tale problema utilizzando come schermo mobile due o più piastre piane dotate di una singola libertà di movimento, che scorrono una sull'altra venendo a creare un meccanismo simile al diaframma di una macchina fotografica, che permette di aprire e chiudere un foro o passaggio centrale in uno schermo altrimenti impenetrabile interposto tra suscettore e mezzi di raffreddamento. Solo una parte controllata dell'energia radiante emessa dal suscettore in grafite può perciò raggiungere lo scambiatore di calore e venire smaltita, permettendo di controllare il flusso termico in "uscita" dal fondo del crogiuolo.

Tuttavia, la soluzione di US2011/0220012 è complessa e costosa da realizzare, è soggetta a forti usure di

sfregamento e ad impuntamenti e non permette di controllare il flusso termico proveniente dal crogiuolo in modo uniforme, tant'è che il blocco o lingotto in materiale cristallino che viene ottenuto secondo US2011/0220012 presenta obbligatoriamente una forma asimmetrica, bombata, che non è sempre desiderata.

Scopo della presente invenzione è quello di superare gli inconvenienti dell'arte nota fornendo un dispositivo ed un metodo per produrre un blocco o lingotto di un materiale multi cristallino, tipicamente di un materiale semiconduttore quale silicio a grado di purezza "solare", semplici ed economici da realizzare, di ridotto ingombro, che consentano di ottenere un controllo affidabile ed efficace dei flussi termici, in particolare in "uscita" dal fondo del crogiuolo, e che permettano di assicurare l'ermeticità dell'involucro del forno.

Qui e di seguito per grado di purezza "solare" si intende quello necessario alla realizzazione di celle fotovoltaiche ad elevata efficienza.

L'invenzione è dunque relativa ad un dispositivo per produrre un blocco o lingotto di un materiale multi cristallino per fusione e successiva solidificazione direzionale del materiale, tipicamente per l'ottenimento di silicio multi cristallino a grado di purezza "solare", secondo la rivendicazione 1 e ad un metodo per

l'ottenimento di un materiale semiconduttore multi cristallino a grado di purezza "solare", tipicamente silicio, mediante una fase di fusione del materiale semiconduttore ed una successiva fase di solidificazione direzionale del materiale semiconduttore, secondo la rivendicazione 10.

In particolare, il dispositivo secondo l'invenzione è del tipo comprendente un crogiuolo atto a ricevere un materiale da fondere e poi solidificare, il crogiuolo essendo alloggiato in modo rimovibile in un contenitore a tazza in grafite, mezzi per riscaldare il crogiuolo ed il materiale in esso contenuto, mezzi di raffreddamento di almeno una parete di fondo del contenitore in grafite, e mezzi di schermatura termica interposti tra la parete di fondo del contenitore in grafite ed i mezzi di raffreddamento.

Secondo l'invenzione, i mezzi di riscaldo sono definiti da rispettivi induttori superiore, laterale ed inferiore operativamente associati a suscettori in grafite definiti per l'induttore laterale ed inferiore da una parete laterale e dalla parete di fondo del contenitore a tazza; inoltre, l'induttore inferiore, quando viene refrigerato ma non elettricamente alimentato, viene a costituire dei mezzi di raffreddamento per la parete di fondo del contenitore in grafite.

Secondo la principale caratteristica dell'invenzione, i mezzi di raffreddamento e di schermatura termica sono reciprocamente configurabili in modo da stabilire selettivamente un flusso termico regolabile tra la parete di fondo del contenitore in grafite e l'induttore inferiore, uniformemente su tutta l'estensione della parete di fondo; ed i mezzi di schermatura termica sono realizzati in un materiale almeno in parte impervio alla radiazione infrarossa ma buon conduttore termico, come un CFC.

In questo modo è possibile ottenere un raffreddamento uniforme e progressivo della parete di fondo del contenitore in grafite che contiene il crogiuolo, determinando un flusso termico controllato in uscita dal crogiuolo e verso i mezzi di raffreddamento, mentre gli induttori laterale e superiore continuano a riscaldare, in modo controllato, il crogiuolo con il suo contenuto. Si può pertanto ottenere nel crogiuolo un gradiente termico dal profilo desiderato, ad esempio lineare, in modo del tutto riproducibile ed affidabile, ottenendo alla fine un blocco di materiale multi cristallino del tutto simmetrico.

Inoltre, la fase di solidificazione direzionale, può essere eseguita non solo raffreddando la parete di fondo del contenitore in grafite mentre se ne riscalda la sommità mediante l'induttore superiore, ma anche riscaldando al contempo, in modo controllato, la parete laterale del

contenitore in grafite e/o direttamente il materiale contenuto nel crogiuolo, quando tale materiale è ad una temperatura sufficiente a renderlo conduttivo, alimentando spira per spira l'induttore laterale.

Si è sperimentalmente riscontrato che associando l'utilizzo dei mezzi di schermatura termica opportunamente configurati insieme a mezzi di raffreddamento ad essi associati secondo l'invenzione con l'utilizzo di un induttore laterale controllabile spira per spira si ottiene un effetto sinergico che permette di raggiungere un controllo del gradiente termico verticale prima non ottenibile.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi del trovato appariranno chiari dalla descrizione che segue di suoi esempi non limitativi di realizzazione, illustrati a scopo puramente esemplificativo con riferimento alle figure dei disegni annessi, nei quali:

- la figura 1A illustra una vista schematica in elevazione e sezionata parallelamente ad un asse di simmetria verticale di un dispositivo o forno per la fusione e successiva solidificazione direzionale di un materiale semiconduttore, realizzato secondo il trovato ed illustrato in una configurazione atta a consentire il caricamento del materiale semiconduttore da trattare;
- la figura 1B illustra in scala ingrandita un

dettaglio del dispositivo di figura 1A;

- le figure 2 e 3 illustrano, rispettivamente, una vista in pianta dall'alto di un componente del dispositivo di figura 1A ed una vista sezionata secondo un piano di traccia III-III del componente di figura 2;

- la figura 4 illustra in scala ingrandita una vista assonometrica di tre quarti dal basso di mezzi di schermo termico facenti parte del dispositivo di figura 1 secondo l'invenzione, formati da una pluralità di componenti come quello in figura 2;

- la figura 5 illustra in scala ulteriormente ingrandita una vista assonometrica di un dettaglio del componente di figura 2 in configurazione esplosa;

- la figura 6 illustra una possibile prima variante applicabile al forno di figura 1A al posto dei mezzi di schermo di figura 4;

- le figure 7A e 7B illustrano una possibile seconda variante applicabile al forno di figura 1A al posto dei mezzi di schermo di figura 4, in due diverse configurazioni di utilizzo; e

- le figure 8A e 8B illustrano una possibile terza variante applicabile al forno di figura 1A al posto dei mezzi di schermo di figura 4, in due diverse configurazioni di utilizzo.

Con riferimento alle figure 1A ed 1B, è indicato nel

suo complesso con 1 un dispositivo per la fusione e successiva solidificazione direzionale di un materiale 2, allo scopo di produrre un blocco o lingotto di un materiale multi cristallino, ad esempio semiconduttore, quale silicio multi cristallino a grado di purezza "solare".

Il dispositivo 1 comprende un crogiuolo 3 per il materiale 2, preferibilmente realizzato in quarzo o materiale ceramico, alloggiato in modo rimovibile in un contenitore 4 conformato a tazza e realizzato in grafite; ed un involucro 5 a tenuta stagna alloggiante al proprio interno il contenitore 4 in grafite e delimitato da un semiguscio inferiore 6 e da un semiguscio superiore 7, conformati a tazza; questi ultimi, che sono preferibilmente realizzati in acciaio, sono normalmente accoppiati a sovrapposizione (figura 1A parte a tratteggio) con le concavità affacciate e rispettivi bordi 8,9 dotati di opportune guarnizioni non illustrate accoppiati testa a testa, a tenuta stagna.

Il semiguscio superiore 7 è inoltre allontanabile verticalmente dal semiguscio inferiore 6, ad esempio mediante attuatori non illustrati per semplicità, in modo l'involucro 5 assuma una configurazione "aperta", illustrata in figura 1A a linea continua, nella quale il semiguscio 7 è verticalmente discosto dal semiguscio 6, per permettere l'accesso al contenitore in grafite 4. Secondo

un aspetto del trovato, il semiguscio inferiore 6 è montato verticalmente fisso, ad esempio su piedi 11 appoggiati a terra, mentre il semiguscio superiore 7 è supportato verticalmente mobile da una struttura di supporto, non illustrata per semplicità.

Il dispositivo 1 comprende inoltre mezzi R1, R2 ed R3 per riscaldare il crogiuolo 3 ed il materiale 2 in esso contenuto che, secondo un aspetto del trovato, comprendono almeno un induttore superiore (o un "blocco" di più induttori separati) 12, comprendente rispettive spire 13 che possono essere ad esempio sagomate secondo una spirale piana, disposto affacciato, con almeno l'interposizione di una piastra in grafite 14, ad una imboccatura 15 del contenitore 4 in grafite; almeno un induttore laterale 16 (o un "blocco" di più induttori separati) disposto, in uso, a semigusci 6, 7 accoppiati, intorno ad una parete laterale 17 del contenitore 4 in grafite; ed un induttore inferiore 18 disposto affacciato ad una parete di fondo 19 del contenitore 4 in grafite.

Il dispositivo 1 comprende infine mezzi 20 disinseribili di alimentazione elettrica AC, noti e pertanto indicati schematicamente semplicemente con un blocco, per alimentare selettivamente, separatamente e indipendentemente uno dall'altro gli induttori 12, 16 e 18; e mezzi 21, pure noti e quindi indicati schematicamente con

un blocco, per alimentare un fluido refrigerante entro le spire 13, internamente cave in quanto costituite da elementi tubolari, degli induttori 12,16 e 18.

In particolare l'induttore inferiore 18, e in generale, secondo un aspetto del trovato, tutti gli induttori 12,16,18, è atto/sono atti ad assumere una configurazione in cui non è/ non sono elettricamente alimentato/i dai mezzi 20, ma è/sono raffreddato/i dal liquido di raffreddamento alimentato attraverso di esso/i dai mezzi 21; l'induttore 18 viene pertanto, in tale configurazione di uso, a definire, insieme con i mezzi 21, dei mezzi di raffreddamento 18D disposti di fronte a, ma ad una distanza prefissata da, almeno la parete di fondo 19 del contenitore 4 in grafite.

Tra i mezzi di raffreddamento costituiti dall'induttore 18 non elettricamente alimentato e la parete di fondo 19 del contenitore 4 in grafite sono interposti mezzi di schermatura termica S1, meglio illustrati in scala ingrandita in figura 1B.

Inoltre, l'induttore laterale 16 include una pluralità di spire 13a,...13e disposte sovrapposte nella direzione verticale ed alimentabili dai mezzi di alimentazione 20 in AC separatamente una dall'altra.

Secondo il trovato, in combinazione con il fatto che i mezzi di riscaldamento R1,2,3 comprendono gli induttori

12,16 e 18, i quali sono operativamente associati in uso, rispettivamente, ad un primo suscettore elettromagnetico costituito dalla piastra in grafite 14, ad un secondo suscettore elettromagnetico costituito dalla parete laterale 17 in grafite del contenitore 4 e ad un terzo suscettore elettromagnetico costituito in uso dalla parete di fondo 19 del contenitore 4 in grafite, che è atta a costituire in uso il terzo suscettore solo quando l'induttore inferiore 18 è elettricamente alimentato dai mezzi 20, i mezzi S1 di schermatura termica sono realizzati con un materiale in grado di sostanzialmente bloccare la maggior parte di energia radiante incidente su di esso ma, al contempo, presentante una conducibilità termica relativamente elevata, ad esempio in un CFC (acronimo per: "carbon fiber composite"). Essi, inoltre, vengono realizzati o utilizzati in modo innovativo, il che ne migliora grandemente l'efficacia di impiego rispetto alla tecnica nota.

Con riferimento anche alle figure da 2 a 5, i mezzi S1 di schermatura termica sono mobili e comprendono un telaio 30 di supporto montato in modo fisso entro una sede 31 di alloggiamento ricavata tra la parete di fondo 19 del contenitore 4 in grafite ed i mezzi di raffreddamento 18D definiti dall'induttore 18 e dai mezzi 20 di alimentazione di fluido raffreddante; ed una pluralità di alette 32

realizzate in un materiale almeno in parte impervio alle radiazioni infrarosse, ad esempio in un CFC.

Le alette 32 sono delimitate da rispettivi opposti lati longitudinali 33,34 rispetto ai quali esse sono portate dal telaio 30 tra loro parallele, girevoli ciascuna attorno ad un asse X di rotazione disposto parallelo ai lati longitudinali 33,34.

Nell'esempio illustrato, il telaio 30 presenta forma in pianta rettangolare ed è delimitato da profilati in materiale non elettricamente conduttore e con buona tenuta meccanica e termica, ad esempio un materiale composito, che definiscono due traverse 35 e due longheroni 36 tra loro collegati a squadra. Piastre 37 sono portate dai longheroni 36 e da almeno una traversa 35 per permettere il fissaggio del telaio 30 ad una struttura di sostegno 38 portata dal semiguscio inferiore 6, entro la concavità dello stesso; in particolare, la parete di fondo 19 del contenitore 4 in grafite appoggia direttamente sulla struttura di sostegno 38 e la sede di alloggiamento 31 per il telaio 30 e le alette 32 da esso portate è ricavata entro la struttura di sostegno 38 in posizione immediatamente adiacente alla parete di fondo 19 del contenitore 4 in grafite; l'induttore inferiore 18 è alloggiato all'interno della struttura di supporto 38, sotto la sede di alloggiamento 31. Di preferenza, grazie alla struttura innovativa dei

mezzi di schermatura termica S1, l'induttore 18 è fisso.

Ciascuna aletta 32 è definita da una striscia piana e piatta di materiale termicamente isolante, ad esempio un CFC, di idonea rigidezza per essere autoportante, avente forma in pianta rettangolare, ma presentante in mezzeria una sezione ristretta per la presenza di una coppia di incavi 40 (figura 5). La dimensione maggiore delle alette 32 è definita dai due lati longitudinali 33 e 34; le alette 32 sono poi delimitate da due opposti lati trasversali 41, che ne definiscono le opposte estremità e che presentano una estensione pari a solo una frazione della estensione in lunghezza dei lati longitudinali 33,34 (ad esempio 1/10); lo spessore delle alette 32 è anche relativamente piccolo e pari ad solo una frazione della estensione in lunghezza dei lati trasversali 41 (ad esempio da 1/5 a 1/10).

Di conseguenza, le alette 32 si estendono ciascuna in un piano di giacitura che contiene anche l'asse di rotazione X, il quale è definito dall'asse di simmetria di una bussola 42 sagomata a forcella che viene calzata e fissata sulla sezione ristretta, in corrispondenza degli incavi 40, ad esempio mediante una spina 43. Alle estremità definite dai lati 41, ciascuna aletta 32 porta due ulteriori bussole 44 di montaggio, coassiali con la bussola 42 e mediante le quali le alette 32 sono incernierate rotanti sui longheroni 36, con i lati longitudinali 33,34

disposti paralleli alle traverse 35.

I mezzi mobili S1 di schermatura termica comprendono infine mezzi attuatori A1 per ruotare le alette 32 tra una prima posizione (illustrata schematicamente a tratteggio in figura 5) ed una seconda posizione.

Nella prima posizione, le alette 32 sono orientate con propri rispettivi piani di giacitura sostanzialmente complanari tra loro, ad esempio disposti tutti orizzontali o quasi, e con gli opposti lati longitudinali 33,34 di ciascuna coppia di alette 32 adiacenti disposti pure adiacenti tra loro, in modo da che l'insieme delle alette 32 montate sul telaio 30 forma una schiera simmetrica di alette 32 che viene a definire una superficie di schermo termico pressoché continua atta a schermare completamente verso l'induttore 18 alimentato sia elettricamente dai mezzi 20, che con fluido refrigerante dai mezzi 21, la parete di fondo 19 del contenitore 4 in grafite.

Nella seconda posizione, invece, le alette 32 sono orientate con i piani di giacitura tra loro paralleli ma non complanari e con i lati longitudinali 33,34 di ciascuna coppia di alette 32 adiacenti tra loro discosti, in modo da delimitare tra ciascuna coppia di alette 32 adiacenti un'apertura 50 (figure 3 e 4), che scopre verso i mezzi di raffreddamento 18D (induttore 18 NON alimentato elettricamente dai mezzi 20, ma alimentato con fluido

refrigerante dai mezzi 21), una corrispondente porzione della parete di fondo 19 del contenitore 4 in grafite.

In particolare, i mezzi attuatori A1 sono atti a variare in modo progressivo e continuo l'ampiezza di tale apertura 50 in funzione di un angolo di rotazione delle alette 32 rispetto ad una posizione angolare di partenza delle alette 32 definita dalla prima posizione; inoltre, le alette 32 presentano una posizione di fine corsa, illustrata schematicamente a tratteggio in figura 3, nella quale i piani di giacitura delle alette 32 sono disposti sostanzialmente verticali e l'ampiezza della apertura 50 è massima.

Il telaio 30 si estende perimetralmente tutto intorno alla parete di fondo 19 del contenitore 4 in grafite e le alette 32 presentano lunghezza, misurata nella direzione dei loro lati longitudinali 33,34, pari o maggiore all'estensione, nella medesima direzione, della parete di fondo 19. Le alette 32 sono inoltre presenti sul telaio 30 in numero tale da coprire tramite i lati 41, quando si trovano nella prima posizione, almeno l'intera estensione della parete di fondo 19 del contenitore 4 in grafite in una direzione perpendicolare alla direzione dei lati longitudinali 33,34 delle alette 32.

Preferibilmente, la parete di fondo 19 del contenitore 4 in grafite presenta uno spessore, misurato in direzione

verticale, maggiore dello spessore della parete laterale 17, misurato in direzione orizzontale.

Secondo l'esempio non limitativo illustrato, i mezzi attuatori A1 comprendono (figura 4) un attuatore lineare 60, una trasmissione articolata a leve 61 terminante con una traversa 63 portata longitudinalmente scorrevole dal telaio 30 di supporto in direzione trasversale all'asse di rotazione X delle alette 32, dunque parallelamente ai longheroni 36, e almeno un elemento di manovella 65 (figure 3 e 5 - nell'esempio illustrato in numero di due per ciascuna aletta 32), conformato a squadra, portato angolarmente solidale ed in mezzeria da ciascuna aletta 32, trasversalmente all'asse di rotazione X.

I due elementi di manovella 65 di ciascuna aletta 32 sono montati angolarmente solidali alla bussola 42, assialmente bloccati sulla stessa negli incavi 40, e vincolati in modo articolato alla traversa 63 ciascuno mediante un perno 66 che impegna una rispettiva scanalatura o feritoia arcuata 67 portata dalla traversa 63 in corrispondenza di ciascuna aletta 32.

Secondo il metodo dell'invenzione, un blocco o lingotto di materiale 2 multi cristallino avente la forma del crogiuolo 3 viene ottenuto per fusione e successiva solidificazione direzionale mediante il dispositivo 1 descritto.

La fase di fusione viene ottenuta alimentando separatamente e indipendentemente uno dall'altro in AC i tre induttori 12, 16, 18 disposti rispettivamente superiormente, inferiormente e lateralmente al crogiuolo 3 contenente il materiale da fondere e circondato dai rispettivi suscettori in grafite 14, 17, 19 operativamente associati agli induttori.

Durante tale fase di fusione le alette 32 dei mezzi mobili di schermatura termica S1 sono mantenute nella prima posizione. In questo modo il calore che si sviluppa nel suscettore costituito dalla parete di fondo 19 non può essere disperso verso l'esterno e, in particolare, verso l'induttore 18 (che è mantenuto dai mezzi 21 ad una temperatura molto inferiore - di almeno un ordine di grandezza - a quella della parete 19).

La fase di solidificazione direzionale viene invece eseguita, secondo l'invenzione, alimentando separatamente e indipendentemente uno dall'altro in AC, di preferenza, solo gli induttori 12 e 16, disposti superiormente e lateralmente al crogiuolo. Inoltre, l'induttore laterale 16 viene alimentato in AC in modo indipendente spira per spira. In questa fase, le alette 32 dei mezzi mobili di schermatura termica S1 sono fatte progressivamente ruotare dalla prima posizione verso la posizione di fine corsa, in modo da creare tra alette 32 adiacenti e verso l'induttore

inferiore 18 le aperture 50 di ampiezza progressivamente crescente; In questa fase l'induttore 18 non viene, ad un certo punto, alimentato elettricamente ma viene refrigerato, e tutti gli induttori 12,16,18 possono essere alimentati con potenze variabili nel tempo e tra loro (pari a zero per l'induttore 18 non alimentato), in modo da creare nel crogiuolo 3 un gradiente termico verticale controllato a causa della energia radiante che la parete 19 trasmette verso i mezzi di raffreddamento 18D attraverso le aperture 50.

In base a quanto descritto, secondo il metodo dell'invenzione le aperture 50 di ampiezza progressivamente crescente ottenute mediante la rotazione delle alette 32 si estendono uniformemente sotto tutta la estensione in piano della parete di fondo 19 del contenitore a tazza 4 in grafite entro cui è alloggiato il crogiuolo 3 e la cui parete di fondo 19 e parete laterale 17 formano i suscettori operativamente associati all'induttore inferiore 18 ed all'induttore laterale 16.

Inoltre, le alette 32 vengono realizzate con uno spessore, misurato perpendicolarmente al loro piano di giacitura, molto piccolo rispetto all'estensione dei lati longitudinali 33,34, come prima definito, in modo che quando le alette 32 si trovano nella posizione di fine corsa, in cui i loro piani di giacitura sono orientati

sostanzialmente in verticale, risulta direttamente affacciata all'induttore inferiore 18, cioè senza l'interposizione delle alette 32, la maggior parte (ad esempio più dell'80%) della estensione in pianta della parete di fondo 19 del contenitore 4 in grafite.

In questo modo il dispositivo 1 può essere di volta in volta regolato in modo da ottenere uno schermo termico totalmente efficace verso l'induttore 18 (alette 32 nella prima posizione) o sostanzialmente assente (alette 32 nella posizione di fine corsa), passando selettivamente per una pluralità di posizioni intermedie e, quindi, di flussi termici in uscita dal crogiuolo 3 regolati con assoluta precisione.

Con riferimento ora alle figure 8A e 8B, dove i dettagli simili od uguali a quelli già descritti sono indicati per semplicità con i medesimi numeri, un risultato simile a quello descritto si può ottenere sostituendo, nel dispositivo 1 di figura 1 i mezzi mobili di schermatura termica S1 con mezzi mobili di schermatura termica S2, i quali sono illustrati solo schematicamente per semplicità nelle figure 8 A e B.

I mezzi di schermatura termica S2 sono definiti da due piastre piane 101 e 102, ad esempio realizzate in grafite isolante, preferibilmente rivestita in un CFC, disposte ravvicinate e sovrapposte, a contatto reciproco o meno, ad

esempio sostenute da un supporto analogo al telaio 30 e non illustrato per semplicità, la cui realizzazione è ovvia per il tecnici del ramo. Le piastre 101 e 102 sono dotate di una pluralità di fori passanti 103 e 104, uniformemente distribuiti sulle piastre 101, 102 spaziati tra loro (cioè separati da porzioni piene, prive di fori, delle piastre 101, 102), ad esempio disposti secondo una schiera o a scacchiera. Le piastre 101 e 102 sono inoltre mobili relativamente una rispetto all'altra parallelamente ai propri piani di giacitura ed alla parete di fondo 19, ad esempio in quanto una, ad esempio la piastra 101, è montata fissa rispetto all'induttore 18 (pure esso preferibilmente fisso) e l'altra, ad esempio la piastra 102, è vincolata ad un attuatore lineare 60 come quello di figura 4 per venire spostata lateralmente rispetto alla piastra 101. Oppure, entrambe le piastre 101 e 102 sono mobili ed azionate in direzioni opposte dall'attuatore 60 mediante un rinvio non illustrato per semplicità.

Pertanto, questa forma di realizzazione comprende, oltre alle piastre 101 e 102, mezzi attuatori 160 (indicati solo schematicamente con un blocco) atti a fare assumere alle piastre 101 e 102, selettivamente, una prima posizione, illustrata in figura 8A, nella quale i fori 103 e 104 sono allineati a formare attraverso i mezzi di schermatura termica S2 delle aperture passanti analoghe

alle aperture 50 che permettono alla energia termica irradiata in uso dalla parete 19 di passare attraverso i mezzi di schermatura S2 (attraverso i fori 103 e 104 tra loro allineati con continuità, appunto) per venire asportata dai mezzi di raffreddamento 18D; ed una seconda posizione, illustrata in figura 8B, nella quale le piastre 101 e 102 sono disposte traslate lateralmente una rispetto all'altra di una quantità tale che i fori 103 e 104 non sono più allineati, ma sono disposti totalmente sfalsati tra loro. In questa seconda posizione, pertanto, le piastre 101 e 102 bloccano l'energia radiante emessa dalla parete 19, che non può pertanto essere asportata dai mezzi di raffreddamento 18D. Tra la prima e la seconda posizione, le piastre 101 e 102 possono assumere, tramite i mezzi attuatori 160, una pluralità di posizioni intermedie, non illustrate per semplicità, nelle quali i fori 103 e 104 sono solo parzialmente sfalsati tra loro (disallineati), permettendo quindi il passaggio di una certa quantità di energia radiante attraverso i mezzi di schermo S2, tanto minore quanto maggiore è la sovrapposizione delle porzioni piene (cioè prive di fori 103,104) di una delle piastre 101,102 con i fori 103,104 dell'altra delle piastre 101,102 e viceversa.

In figure 7A e 7B sono illustrati schematicamente dei mezzi di schermatura termica S3 atti a sostituire nel

dispositivo 1 i mezzi di schermatura termica S1 prima descritti con pari o anche superiore efficacia. In questo caso, i mezzi di schermatura termica S3 sono costituiti da almeno una piastra 201 realizzata in un CFC o materiale di caratteristiche equivalenti, del quale, secondo questa forma di realizzazione, si sfruttano le caratteristiche peculiari di bloccare, almeno in parte, l'energia termica radiante (cioè di essere impervio alla radiazione infrarossa), ma di possedere una conducibilità termica relativamente elevata e tale per cui il CFC utilizzato possa essere definito un buon conduttore.

Secondo questa forma di realizzazione, la piastra 201 è priva di fori o passaggi, è cioè continua, in modo da costituire una barriera termica alla irradiazione estesa su tutto lo sviluppo della parete di fondo 19, ed è mobile perpendicolarmente alla parete di fondo 19, nella direzione delle frecce, azionata da mezzi attuatori 260 indicati solo schematicamente con un blocco, ad esempio costituiti da uno o più attuatori 60 disposti trasversalmente alla parete di fondo 19 e direttamente collegati alla piastra 201.

In particolare, la piastra 201 è atta ad assumere selettivamente, in responso all'azionamento dei mezzi attuatori 260: una prima posizione illustrata in figura 7A, nella quale la piastra 201 è interposta tra la parete di fondo 19 e l'induttore 18, discosta da entrambi; ed una

seconda posizione, illustrata in figura 7B, nella quale la piastra 201 è sempre interposta tra l'induttore 18 e la parete di fondo 19, ma è però disposta a contatto diretto con i mezzi di raffreddamento 18D, cioè a contatto con, ovvero contro a, l'induttore 18 percorso da un fluido refrigerante (ad esempio acqua) alimentato e fatto circolare in esso dai mezzi 21.

Nella prima posizione della piastra 201, pertanto, l'energia radiante emessa dalla parete di fondo 19 è bloccata dalla piastra 201 e non raggiunge i mezzi di raffreddamento 18D, ma riscalda la piastra 201 stessa, che aumenta di temperatura, funzionando da isolante termico, ma non emette a sua volta radiazione infrarossa verso l'induttore 18, se non in misura trascurabile; ci si trova pertanto in condizioni analoghe a quando le alette 32 dei mezzi di schermatura S1 sono disposte adiacenti e complanari. Nella seconda posizione, invece, la piastra 201 si riscalda per effetto della radiazione termica emessa dalla parete di fondo 19, ma, essendo il CFC un buon conduttore, cede tale calore, per conduzione, all'induttore 18, il quale lo cede per convezione al fluido di raffreddamento che lo attraversa, alimentato dai mezzi 21. Si stabilisce pertanto un flusso termico in uscita dalla parete di fondo 19, flusso termico che viene asportato dai mezzi di raffreddamento 18D, in misura tanto maggiore

quanto maggiore è la portata di fluido refrigerante alimentato dai mezzi 21 nell'induttore 18, flusso termico che può pertanto essere ben controllato. Ci si trova pertanto in condizioni analoghe a quando le alette 32 vengono progressivamente ruotate e discoste una dall'altra.

Con riferimento, infine, alla figura 6, in essa è illustrata una ulteriore variante dell'invenzione, applicabile nel dispositivo 1 di figura 1 in sostituzione sia dei mezzi di schermatura mobili S1 che dei mezzi di raffreddamento 18D.

Secondo questa variante, il dispositivo 1 comprende dei mezzi di schermatura termica S4 fissi, che sostituiscono i mezzi di schermatura S1 e dei mezzi di raffreddamento 380 che sostituiscono i mezzi di raffreddamento 18D. In particolare, i mezzi di schermatura S4 sono costituiti da almeno una piastra 301 realizzata in un CFC o materiale di caratteristiche equivalenti; la piastra 301 è del tutto analoga alla piastra 201 prima descritta, quindi priva di fori o passaggi e costituisce quindi una barriera termica continua alla energia radiante emessa in uso dalla parete di fondo 19, su tutta l'estensione della parete di fondo 19. La piastra 301 è montata disposta in posizione fissa, interposta tra l'induttore 18 e la parete di fondo 19, discosta da entrambi, ad esempio direttamente supportata integrale

dalla struttura di supporto 38. Tra l'induttore 18, pure esso montato preferibilmente fisso entro il semiguscio 6, e la piastra 301 è delimitato all'interno del semiguscio 6, ad esempio nella struttura di supporto 38, un condotto o una intercapedine 302 che copre tutta la superficie della piastra 301 rivolta verso l'induttore 18 e che è delimitato/a sul lato opposto alla piastra 301 dall'induttore 18 stesso; in alternativa, l'induttore 18 può essere semplicemente inserito all'interno della intercapedine 302 che sarà altrimenti delimitata dalla struttura 38 e/o dal semiguscio 6.

I mezzi di raffreddamento 380 comprendono l'induttore 18 non elettricamente alimentato ma percorso da un fluido refrigerante alimentato in esso dai mezzi 21, l'intercapedine o condotto 302 e mezzi 310 per alimentare selettivamente nell'intercapedine o condotto 302 un flusso di gas 311, indicato da una freccia, preferibilmente un gas inerte, ad esempio comprendenti una pompa 312 ed un circuito di ricircolo 313.

Il flusso di gas 311, quando viene alimentato nella intercapedine o condotto 302 mediante azionamento della pompa 312, lambisce sia la piastra 301, sia l'induttore 18. Pertanto, se la pompa 312 non viene azionata, non c'è flusso di gas 311 e la piastra 301 blocca il calore radiante emesso dalla parete di fondo 19 riscaldandosi.

Viceversa, azionando la pompa 312 si stabilisce il flusso di gas 311; il calore radiante emesso dalla parete di fondo 19 viene pertanto assorbito dalla piastra 301 e trasmesso per conduzione verso l'intercapedine o condotto 302. Qui, l'energia termica viene asportata per convezione forzata dalla piastra 301 mediante il flusso di gas 311, il quale cede a sua volta il calore asportato, sempre per convezione, all'induttore 18. Si stabilisce pertanto anche in questo caso un flusso termico in uscita dalla parete di fondo 19, flusso termico che può essere regolato controllando la portata sia del flusso di gas 311 che del liquido refrigerante che attraversa l'induttore 18.

In definitiva, tutte le forme di realizzazione descritte del trovato sono accomunate dal fatto che i mezzi di raffreddamento 18D o 380 e di schermatura termica S1-S4 sono reciprocamente configurabili in modo da stabilire selettivamente un flusso termico regolabile tra la parete di fondo 19 del contenitore in grafite e l'induttore 18, uniformemente su tutta l'estensione della parete di fondo 19, laddove i mezzi di schermatura termica S1-S4 sono realizzati in un materiale almeno in parte impervio alla radiazione infrarossa ma buon conduttore termico, come i citati CFC.

In base a quanto descritto, risulta infine evidente che l'invenzione comprende anche un metodo per produrre un

blocco o lingotto di un materiale 2 multi cristallino per fusione e successiva solidificazione direzionale, tipicamente per ottenere un materiale semiconduttore multi cristallino a grado di purezza "solare", mediante uno dei dispositivi descritti, in cui:

- la fase di fusione viene ottenuta alimentando separatamente e indipendentemente uno dall'altro in AC i tre induttori 12,16,18 disposti rispettivamente superiormente, lateralmente e inferiormente al crogiuolo 3 contenente il materiale da fondere e circondato da rispettivi suscettori in grafite operativamente associati agli induttori; durante tale fase di fusione mezzi di schermatura termica S1-S4 venendo interposti tra l'induttore inferiore 18 ed il suscettore (la parete di fondo 19) operativamente associato all'induttore inferiore 18) per impedire o almeno ostacolare una irradiazione termica dell'induttore inferiore 18 da parte del suscettore 19 ad esso associato; ed in cui
- la fase di solidificazione direzionale viene eseguita alimentando separatamente e indipendentemente uno dall'altro in AC gli induttori 12,16,18, eventualmente anche con livelli di potenza variabili, e, dopo una fase iniziale, continuando ad alimentare gli induttori 12 e 16, disposti superiormente e lateralmente al crogiuolo, l'induttore laterale 16 venendo alimentato in AC in modo

indipendente spira per spira, e portando a zero la potenza alimentata all'induttore 18 (induttore 18 non alimentato elettricamente), configurando al contempo i mezzi di schermatura termica S1-S4 e rispettivi mezzi di raffreddamento 18D o 380 ad essi associati in modo da stabilire selettivamente un flusso termico regolabile tra il suscettore 19 associato all'induttore inferiore 18 e l'induttore inferiore 18 stesso, uniformemente su tutta l'estensione del suscettore 19 e stabilire così nel crogiuolo un gradiente termico verticale controllato; è però necessario che i mezzi di schermatura termica S1-S4 vengano realizzati in un materiale almeno in parte impervio alla radiazione infrarossa ma buon conduttore termico, come ad esempio in un CFC.

RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo (1) per produrre un blocco o lingotto di un materiale multi cristallino per fusione e successiva solidificazione direzionale, tipicamente per l'ottenimento di silicio multi cristallino a grado di purezza "solare", comprendente: almeno un crogiuolo (3) atto a ricevere un materiale da fondere e poi solidificare, il crogiuolo essendo alloggiato in modo rimovibile in un contenitore (4) a tazza in grafite; mezzi per riscaldare il crogiuolo ed il materiale in esso contenuto; mezzi di raffreddamento (18D;380) di almeno una parete di fondo (19) del contenitore in grafite; e mezzi di schermatura termica (S1;S2;S3;S4) interposti tra la parete di fondo (19) del contenitore in grafite ed i mezzi di raffreddamento; **caratterizzato dal fatto che**, in combinazione:

i)- i mezzi di riscaldamento comprendono almeno un induttore superiore (12), disposto affacciato, con l'interposizione di almeno una piastra (14) in grafite ad una imboccatura (15) del contenitore in grafite, la piastra in grafite costituendo in uso un primo suscettore operativamente associato all'induttore superiore; almeno un induttore laterale (16) disposto in uso intorno ad una parete laterale (17) del contenitore in grafite, che costituisce in uso un secondo suscettore operativamente associato all'induttore laterale; e almeno un induttore

inferiore (18) disposto affacciato alla parete di fondo (19) del contenitore in grafite, che è atta a costituire in uso un terzo suscettore al quale l'induttore inferiore è operativamente associato; detti induttori essendo operativamente associati a mezzi (20) disinseribili di alimentazione elettrica AC per alimentare separatamente e indipendentemente uno dall'altro gli induttori (12,16,18), ed a mezzi (21) per fare circolare entro gli induttori un liquido di raffreddamento;

ii)- i mezzi di raffreddamento della parete di fondo del contenitore in grafite comprendono l'induttore inferiore (18), il quale è atto ad assumere una configurazione in cui non è elettricamente alimentato, ma è raffreddato dal liquido di raffreddamento;

iii)- i mezzi di raffreddamento (18D;380) e di schermatura termica (S1-S4) sono reciprocamente configurabili in modo da stabilire selettivamente un flusso termico regolabile tra la parete di fondo (19) del contenitore in grafite e l'induttore (18), uniformemente su tutta l'estensione della parete di fondo (19); detti mezzi di schermatura termica (S1-S4) essendo realizzati in un materiale almeno in parte impervio alla radiazione infrarossa ma buon conduttore termico.

2. Dispositivo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che i mezzi di schermatura termica

(S1) sono mobili e comprendono: un telaio (30) di supporto montato in modo fisso entro una sede di alloggiamento (31) ricavata tra la parete di fondo del contenitore in grafite ed i mezzi di raffreddamento; una pluralità di alette (32) realizzate in detto materiale almeno in parte impervio alle radiazioni infrarosse ma buon conduttore, ad esempio in un CFC, le alette essendo delimitate da rispettivi opposti lati longitudinali (33,34) rispetto ai quali sono portate dal telaio tra loro parallele, girevoli ciascuna attorno ad un asse di rotazione (X) disposto parallelo ai lati longitudinali; e mezzi attuatori (A1) per ruotare le alette tra una prima posizione, nella quale le alette sono orientate con propri rispettivi piani di giacitura, che contengono gli assi di rotazione, sostanzialmente complanari e con i lati longitudinali (33,34) disposti adiacenti tra loro, in modo da schermare completamente verso i mezzi di raffreddamento (18D) la parete di fondo (19) del contenitore in grafite, ed una seconda posizione, nella quale le alette sono orientate con i piani di giacitura paralleli ma non complanari e con i lati longitudinali tra loro discosti in modo da delimitare tra ciascuna coppia di alette adiacenti un'apertura (50) che scopre verso i mezzi di raffreddamento una porzione della parete di fondo del contenitore in grafite; i mezzi attuatori (A) essendo preferibilmente atti a variare in

modo progressivo e continuo l'ampiezza di detta apertura (50) in funzione di un angolo di rotazione delle alette (32) rispetto ad una posizione angolare di partenza delle alette definita dalla detta prima posizione.

3. Dispositivo secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che le alette (32) presentano una posizione di fine corsa nella quale i piani di giacitura delle alette sono disposti sostanzialmente verticali e l'ampiezza di detta apertura (50) è massima.

4. Dispositivo secondo la rivendicazione 2 o 3, caratterizzato dal fatto che detto telaio (30) si estende perimetralmente tutto intorno alla parete di fondo (19) del contenitore in grafite e dal fatto che le alette (32) presentano lunghezza, misurata nella direzione dei loro lati longitudinali (33,34), pari o maggiore all'estensione nella medesima direzione, della parete di fondo (19) del contenitore in grafite e sono presenti in numero tale da coprire, quando si trovano nella prima posizione, almeno l'intera estensione della parete di fondo del contenitore in grafite in una direzione perpendicolare alla direzione dei lati longitudinali delle alette.

5. Dispositivo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che i mezzi di schermatura termica (S2) sono mobili e comprendono: due piastre piane (101,102) disposte ravvicinate e sovrapposte, a contatto reciproco o

meno, dotate di una pluralità di fori passanti (103,104) uniformemente distribuiti sulle piastre (101,102) spaziati tra loro, ad esempio disposti secondo una schiera o a scacchiera, le piastre (101,102) essendo mobili relativamente una rispetto all'altra parallelamente ai propri piani di giacitura ed alla detta parete di fondo (19); e mezzi attuatori (160) per fare assumere selettivamente alle piastre (101,102) una prima posizione, nella quale i fori (103,104) sono allineati a formare attraverso i mezzi di schermatura termica (S2) delle aperture passanti; ed una seconda posizione, nella quale le piastre (101,102) sono disposte in modo che i fori (103,104) non sono più allineati, ma sono disposti totalmente sfalsati tra loro; tra la prima e la seconda posizione, le piastre (101,102) essendo atte ad assumere una pluralità di posizioni intermedie, nelle quali i fori (103,104) sono solo parzialmente sfalsati tra loro.

6. Dispositivo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che i mezzi di schermatura termica (S3) sono mobili e comprendono almeno una piastra (201) realizzata in un CFC o materiale di caratteristiche equivalenti, priva di fori o passaggi, in modo da costituire una barriera termica alla irradiazione estesa su tutto lo sviluppo di detta parete di fondo (19), la piastra (201) essendo mobile perpendicolarmente alla parete di

fondo (19); e mezzi attuatori (260) per azionare la piastra (260) in modo che questa sia atta ad assumere selettivamente, in responso all'azionamento dei mezzi attuatori (260), una prima posizione, nella quale la piastra (201) è interposta tra la parete di fondo (19) e l'induttore inferiore (18), discosta da entrambi; ed una seconda posizione, nella quale la piastra (201) è sempre interposta tra l'induttore inferiore (18) e la parete di fondo (19), ma è a contatto diretto con i mezzi di raffreddamento (18D), disposta contro l'induttore inferiore (18) percorso da un fluido refrigerante alimentato in esso dai mezzi (21) per fare circolare entro gli induttori un liquido di raffreddamento.

7. Dispositivo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che comprende dei mezzi di schermatura termica (S4) fissi costituiti da almeno una piastra (301) realizzata in un CFC o materiale di caratteristiche equivalenti, priva di fori o passaggi, montata interposta tra l'induttore inferiore (18) e la parete di fondo (19), discosta da entrambi; tra l'induttore inferiore (18) e la piastra (301) essendo delimitato un condotto o intercapedine (302) che copre tutta la superficie della piastra (301) rivolta verso l'induttore inferiore (18) e che è delimitato/a sul lato opposto alla piastra (301), preferibilmente dall'induttore inferiore

(18) stesso; i mezzi di raffreddamento (380) comprendendo, in combinazione: l'induttore inferiore (18) non elettricamente alimentato ma percorso da un fluido refrigerante alimentato in esso dai mezzi (21) per fare circolare entro gli induttori un liquido di raffreddamento; la detta intercapedine o condotto (302); e mezzi (310) per alimentare selettivamente nell'intercapedine o condotto (302) un flusso di gas (311); detto flusso di gas (311), quando viene alimentato nella intercapedine o condotto (302) lambendo sia la piastra (301), sia l'induttore inferiore (18).

8. Dispositivo secondo una delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre un involucro (5) a tenuta stagna alloggiante al proprio interno il contenitore (4) in grafite e delimitato da un semiguscio inferiore (6) e da un semiguscio superiore (7), conformati a tazza, reciprocamente mobili tra una prima posizione, nella quale sono accoppiati a sovrapposizione con le concavità affacciate, ed una seconda posizione, nella quale il semiguscio superiore (7) è verticalmente discosto dal semiguscio inferiore (6) per permettere l'accesso al contenitore in grafite; detti mezzi di schermatura termica (S1-S4) e detti mezzi di raffreddamento (18D;380) essendo interamente contenuti nel semiguscio inferiore (6), al di sotto del contenitore in grafite.

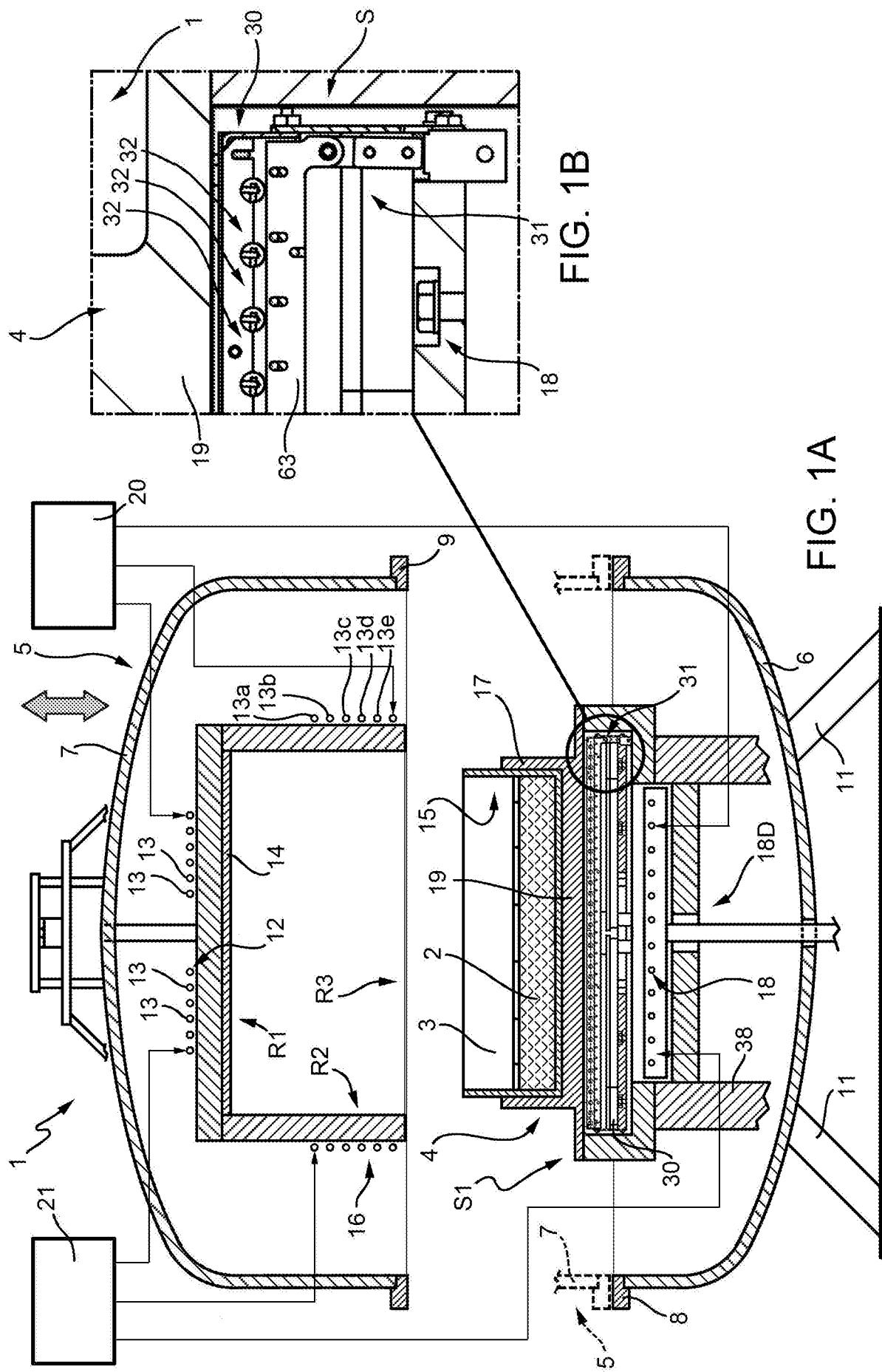
9. Dispositivo secondo una delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che la parete di fondo (19) del contenitore in grafite presenta uno spessore, misurato in direzione verticale, maggiore dello spessore della parete laterale (17), misurato in direzione orizzontale; e dal fatto che l'induttore laterale (16) include una pluralità di spire (13a...13e) disposte sovrapposte nella direzione verticale ed alimentabili da detti mezzi di alimentazione in AC separatamente una dall'altra.

10. Metodo per produrre un blocco o lingotto di un materiale (2) multi cristallino per fusione e successiva solidificazione direzionale, tipicamente per ottenere un materiale semiconduttore multi cristallino a grado di purezza "solare", mediante il dispositivo delle rivendicazioni precedenti, in cui la fase di fusione viene ottenuta alimentando separatamente e indipendentemente uno dall'altro in AC tre induttori (12,16,18) disposti rispettivamente superiormente, lateralmente e inferiormente ad un crogiuolo (3) contenente il materiale da fondere e circondato da rispettivi suscettori in grafite operativamente associati agli induttori, durante tale fase di fusione mezzi di schermatura termica (S1-S4) essendo interposti tra l'induttore inferiore (18) ed un suscettore (19) operativamente associato all'induttore inferiore (18)

per impedire o almeno ostacolare una irradiazione termica dell'induttore inferiore (18) da parte del suscettore (19) ad esso associato; ed in cui la fase di solidificazione direzionale viene eseguita alimentando separatamente e indipendentemente uno dall'altro in AC gli induttori disposti superiormente e lateralmente (12,16) al crogiuolo, l'induttore laterale (16) venendo alimentato in AC in modo indipendente spira per spira, e configurando i mezzi di schermatura termica (S1-S4) e rispettivi mezzi di raffreddamento (18D;380) ad essi associati in modo da stabilire selettivamente un flusso termico regolabile tra il suscettore (19) associato all'induttore inferiore (18) e l'induttore inferiore (18) stesso, uniformemente su tutta l'estensione del suscettore (19) associato all'induttore inferiore (18) e stabilire così nel crogiuolo un gradiente termico verticale controllato; detti mezzi di schermatura termica (S1-S4) venendo realizzati in un materiale almeno in parte impervio alla radiazione infrarossa ma buon conduttore termico.

p.i.: SAET S.P.A.

Rinaldo PLEBANI



1B
FIG.

FIG. 1A

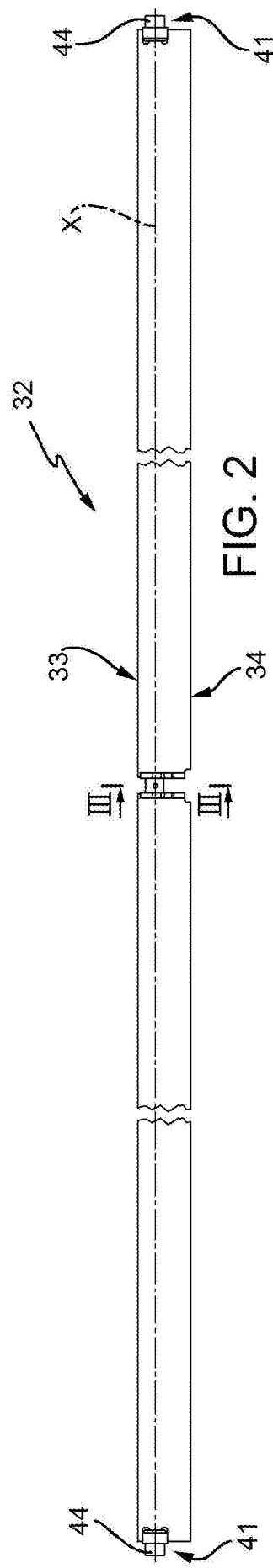


FIG. 2

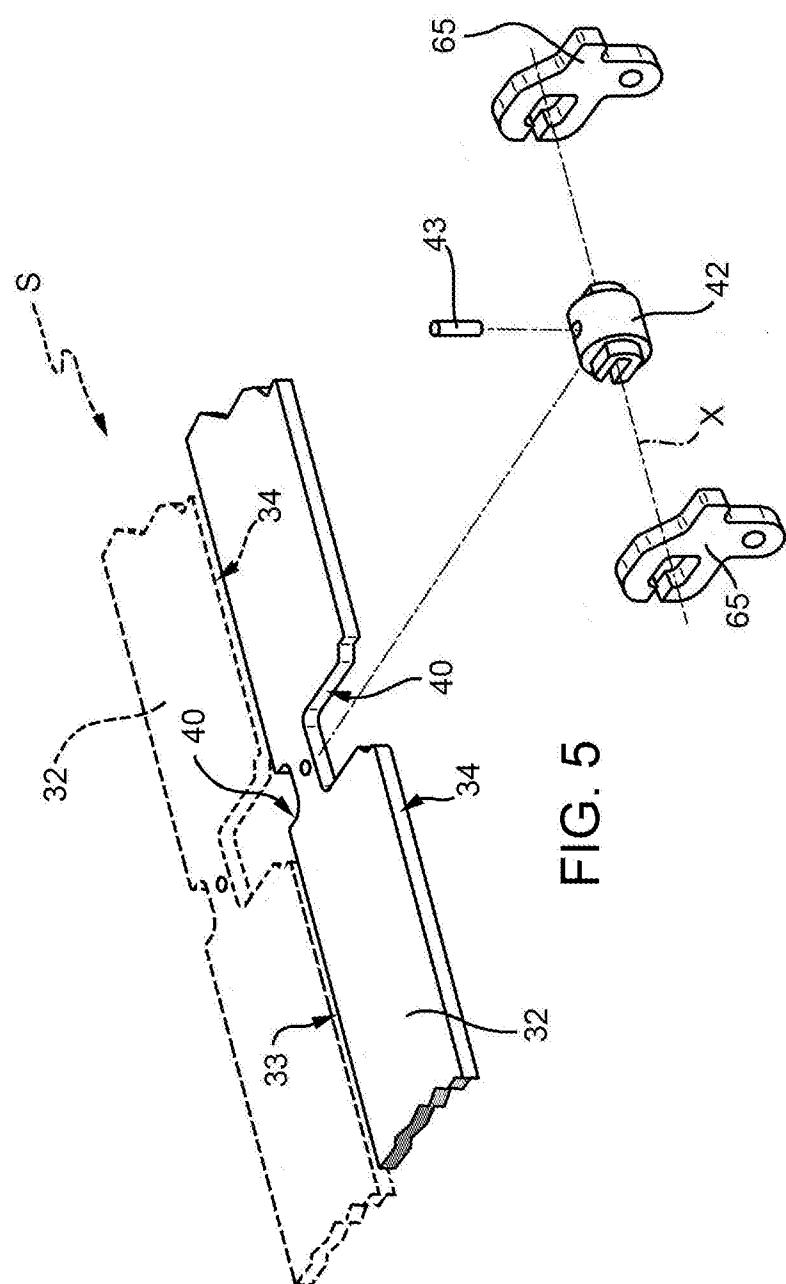


FIG. 5

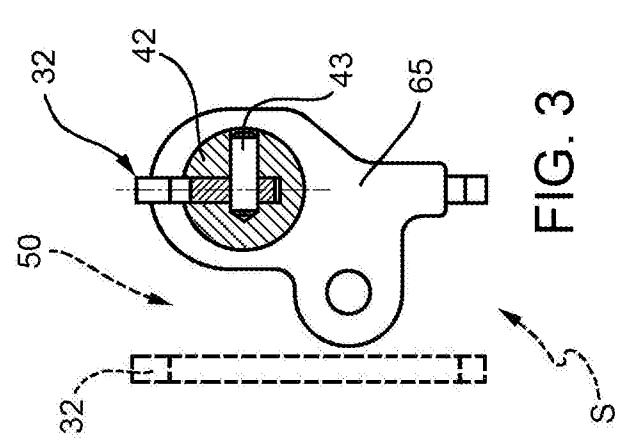


FIG. 3

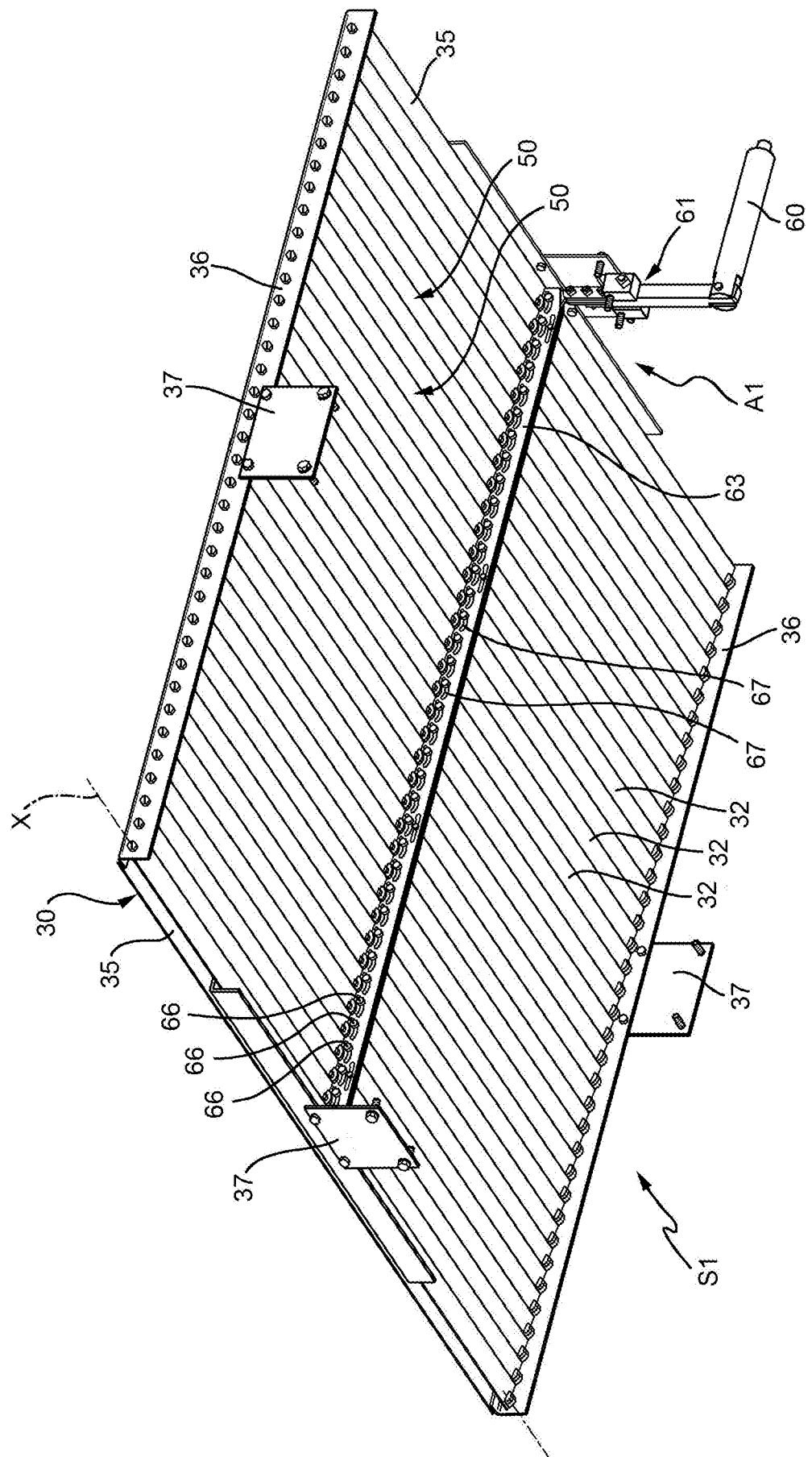


FIG. 4

p.i.: SAET S.P.A.

Rinaldo PLEBANI
(Iscrizione Albo nr. 358/BM)

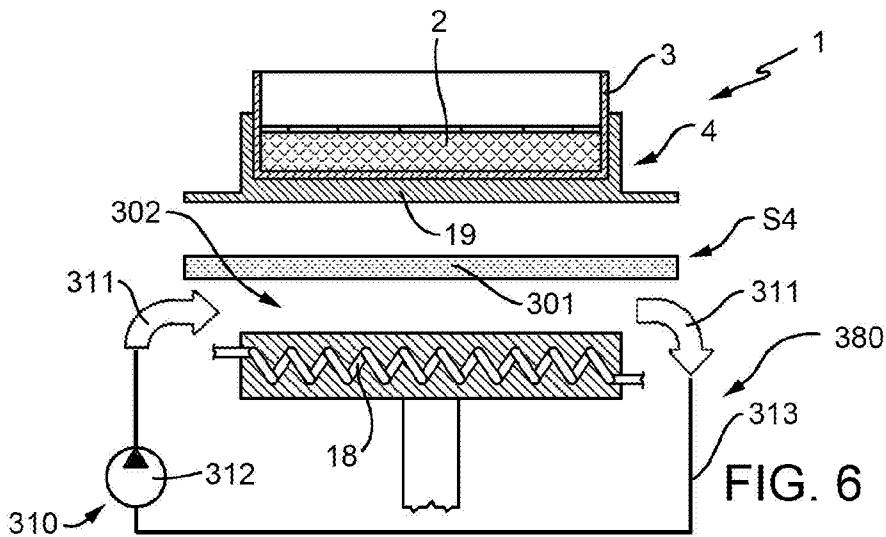


FIG. 6

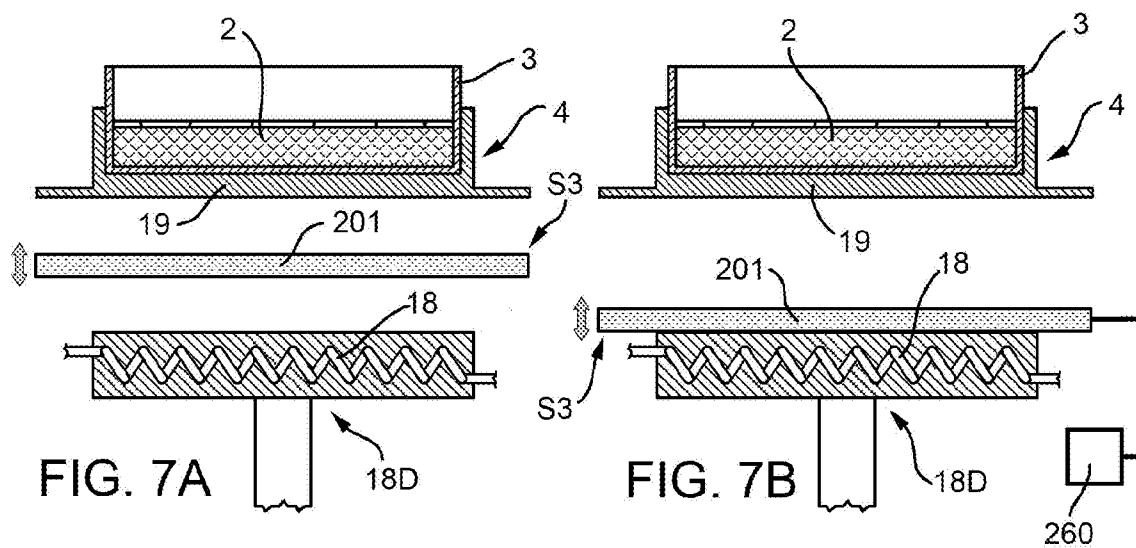


FIG. 7A

FIG. 7B

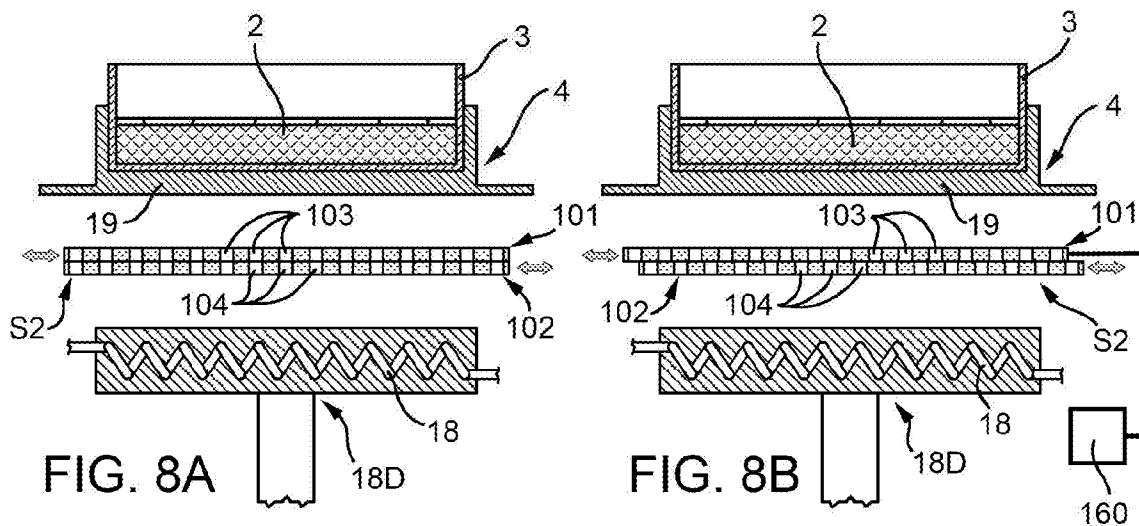


FIG. 8A

FIG. 8B