

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102009901776074A1

Publication Date

20110421

Applicant

SAET S.P.A.

Title

DISPOSITIVO PER L'OTTENIMENTO DI UN MATERIALE SEMICONDUTTORE
MULTICRISTALLINO, IN PARTICOLARE SILICIO, E METODO PER IL
CONTROLLO DELLA TEMPERATURA NELLO STESSO

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"DISPOSITIVO PER L'OTTENIMENTO DI UN MATERIALE SEMICONDUTTORE MULTICRISTALLINO, IN PARTICOLARE SILICIO, E METODO PER IL CONTROLLO DELLA TEMPERATURA NELLO STESSO"

di SAET S.P.A.

di nazionalità italiana

con sede: VIA TORINO, 213

LEINI' (TO)

Inventori: DUGHIERO Fabrizio, FORZAN Michele, CISCATO Dario, CESANO Mario, CRIVELLO Fabrizio, BECHINI Roberto

* * *

La presente invenzione è relativa ad un dispositivo per l'ottenimento di un materiale semiconduttore multi cristallino, in particolare silicio, per fusione del materiale semiconduttore e successiva solidificazione direzionale dello stesso, nonché ad un metodo per ottenere un migliore controllo della temperatura del materiale semiconduttore.

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 lingotto, dal quale sezionare poi i wafer necessari per la realizzazione delle celle fotovoltaiche. Tale 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.

Per ottenere la solidificazione direzionale è necessario provocare la stessa nel crogiuolo mantenendo un gradiente termico verticale nel lingotto in fase di formazione in modo da ottenere velocità di raffreddamento tali da ottenere l'avanzamento del fronte di solidificazione ad una velocità 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 lingotto solidificato è pertanto sufficiente eliminare la parte superiore del lingotto stesso per ottenere silicio multi cristallino raffinato al grado di purezza desiderato.

Per ottenere tali risultati è necessario poter esercitare un controllo molto preciso dei flussi termici.

Inoltre, la fase di fusione del materiale semiconduttore solido da raffinare richiede tempi lunghi ed elevati consumi energetici.

Scopo della presente invenzione è quello di superare gli inconvenienti dell'arte nota fornendo un dispositivo per l'ottenimento di un materiale semiconduttore, tipicamente silicio, multi cristallino a grado di purezza "solare", nonché un metodo di controllo della temperatura dello stesso, che siano di semplice ed economica realizzazione, che consentano un controllo affidabile ed efficace dei flussi termici e che permettano di ridurre gli ingombri ed i consumi energetici delle apparecchiature necessarie.

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 la fusione e successiva solidificazione direzionale di un materiale semiconduttore, tipicamente per l'ottenimento di silicio multi cristallino a grado di purezza "solare", secondo la rivendicazione 1 e ad un metodo per effettuare il controllo della temperatura in un processo di raffinazione di un materiale semiconduttore in cui il materiale semiconduttore viene fuso e successivamente viene sottoposto a solidificazione direzionale, secondo la

rivendicazione 9.

In particolare, il dispositivo del trovato comprende almeno un crogiuolo per il materiale semiconduttore, preferibilmente realizzato in quarzo o materiale ceramico, alloggiato in modo rimovibile in un contenitore a tazza in grafite, un eventuale involucro apribile e a tenuta stagna alloggiante al proprio interno il contenitore in grafite; uno o più induttori superiori disposti affacciati, con l'interposizione di una piastra in grafite, ad una imboccatura del contenitore in grafite; uno o più induttori laterali disposti intorno ad una parete laterale del contenitore in grafite; uno o più induttori inferiori disposti affacciati ad una parete di fondo (19) del contenitore in grafite; mezzi di alimentazione elettrica AC per alimentare separatamente e indipendentemente uno dall'altro gli induttori; e mezzi di raffreddamento per alimentare un fluido refrigerante entro rispettive spire cave degli induttori.

Secondo un aspetto del trovato, il blocco induttori inferiore comprende una pluralità di avvolgimenti disposti affiancati in un medesimo piano di giacitura definito da una piastra isolata di supporto e mezzi di commutazione elettrica sono predisposti tra gli avvolgimenti dell'induttore inferiore ed i rispettivi mezzi di alimentazione elettrica in AC per collegare selettivamente

gli avvolgimenti tra loro secondo differenti configurazioni, che differiscono tra loro per il senso di circolazione della corrente elettrica nei rispettivi avvolgimenti tra loro affiancati.

Secondo il metodo dell'invenzione, dunque, la fase di fusione viene effettuata riscaldando il materiale semiconduttore contenuto in un crogiuolo mediante suscettori di grafite operativamente associati ciascuno con almeno un rispettivo induttore e disposti a circondare il crogiuolo e, allo scopo di ottenere il desiderato controllo della temperatura vengono eseguite le fasi di:

- disporre sotto il crogiuolo un suscettore operativamente associato con almeno un induttore inferiore comprendente una pluralità di avvolgimenti disposti affiancati in un medesimo piano di giacitura; e
- collegare selettivamente gli avvolgimenti tra loro e con rispettivi mezzi di alimentazione elettrica in AC dell'induttore inferiore secondo differenti configurazioni che differiscono tra loro per il senso di circolazione della corrente elettrica nei rispettivi avvolgimenti tra loro affiancati.

In questo modo, si può variare con estrema semplicità ed in modo attuabile più volte durante il medesimo processo il calore che il suscettore inferiore in grafite fornisce al crogiuolo, senza sostanzialmente alterare alcun altro

parametro di funzionamento del dispositivo, ed in particolare degli induttori.

Preferibilmente, inoltre, l'induttore inferiore è mobile cosicché la sua distanza dal suscettore ad esso associato può essere variata sia durante la fase di fusione, sia durante la fase di solidificazione. In particolare, durante quest'ultima l'induttore inferiore viene disattivato e portato in contatto con il suscettore, continuando ad alimentare nelle spire dello stesso un fluido refrigerante così da asportare direttamente il calore presente nel suscettore.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi del trovato appariranno chiari dalla descrizione che segue di un suo esempio non limitativo di realizzazione, illustrato a scopo puramente esemplificativo con riferimento alle figure dei disegni annessi, nei quali:

- la figura 1 illustra una vista schematica in elevazione e sezionata parallelamente all'asse di simmetria verticale di un dispositivo per la fusione e successiva solidificazione direzionale di un materiale semiconduttore, realizzato secondo il trovato, illustrato solo a metà, la parte asportata essendo simmetrica;

- la figura 2 illustra in scala ingrandita una vista prospettica di tre quarti dall'alto di un induttore inferiore del dispositivo di figura 1; e

- le figure 3 e 4 illustrano rispettivamente in modo schematico tre diverse possibili configurazioni operative dell'induttore di figura 2 e le conseguenti distribuzioni di temperatura in una piastra di grafite interposta tra l'induttore ed un crogiuolo contenente il materiale semiconduttore da scaldare.

Con riferimento alle figure da 1 e 2, è indicato nel suo complesso con 1 un dispositivo per la fusione e successiva solidificazione direzionale di un materiale 2 semiconduttore, tipicamente per l'ottenimento di silicio multi cristallino a grado di purezza "solare".

Il dispositivo 1 comprende almeno un crogiuolo 3 per il materiale semiconduttore 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 1) con le concavità affacciate e rispettivi bordi 8,9 dotati di opportune guarnizioni non illustrate accoppiati testa a testa, a tenuta stagna.

Il dispositivo 1 comprende inoltre mezzi 10 per

allontanare verticalmente il semiguscio superiore 7 dal semiguscio inferiore 6, nella fattispecie in modo che l'involucro 5 assuma una configurazione "aperta" per permettere l'accesso al contenitore in grafite 4.

Il dispositivo 1 comprende inoltre, secondo un aspetto del trovato, almeno un induttore superiore 12, nell'esempio non limitativo illustrato a sviluppo piano, comprendete spire 13 ad esempio sagomate secondo una spirale piana, disposto affacciato, con l'interposizione di una piastra in grafite 14 ad esso operativamente associata, ad una imboccatura del contenitore 4 in grafite; almeno un induttore laterale 16 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 inoltre mezzi 20 di alimentazione elettrica AC, noti e pertanto indicati schematicamente semplicemente con dei blocchi, per alimentare separatamente e indipendentemente uno dall'altro gli induttori 12,16 e 18; e mezzi 21 di raffreddamento, pure noti e quindi indicati schematicamente con dei blocchi, per alimentare un fluido refrigerante entro le spire 13, internamente cave in quanto costituite da elementi tubolari, degli induttori 12,16 e 18.

Secondo un aspetto del trovato, l'induttore inferiore 18 è mobile verticalmente in modo da poter variare in uso la sua distanza D (figura 3) dalla parete di fondo 19, tramite mezzi di movimentazione 30, mentre l'induttore laterale 16 (figure 5 e 6) include una pluralità di spire 13 piane, ovvero aventi ciascuna sviluppo in un medesimo piano di giacitura, disposte coassiali rispetto ad un asse A di simmetria dei semigusci 6,7, sovrapposte nella direzione verticale.

Secondo una tecnica nota, la parete laterale 17 e parete di fondo 19 del contenitore 4 in grafite e la piastra 14 in grafite hanno composizione e dimensioni tali da costituire suscettori elettromagnetici per rispettivamente l'induttore laterale 16, l'induttore inferiore 18 e l'induttore superiore 12.

I mezzi di raffreddamento 21 possono essere realizzati in modo che il fluido refrigerante da essi utilizzato e che circola nelle spire 13 cave, sia un olio diatermico, anziché acqua. In questo modo, in caso di perdite di fluido refrigerante all'interno dell'involucro 5, durante il processo di fusione o di solidificazione direzionale, o in caso di rottura del crogiuolo 3 con conseguente versamento del silicio 2 fuso nel semiguscio inferiore 6, non si ha il rischio di esplosioni conseguenti alle possibili reazioni chimiche del silicio con l'acqua.

Secondo il principale aspetto del trovato, l'induttore inferiore 18 (figura 2) comprende una pluralità di avvolgimenti 31, 32, 33 e 34, nella fattispecie illustrata a sviluppo piano, disposti affiancati in un medesimo piano di giacitura definito da una piastra 35 isolata di supporto, a sua volta portata da uno stelo o mozzo 36 che viene movimentato entro il semiguscio 6 dai mezzi di movimentazione 30 per variare in uso la distanza D.

Inoltre, secondo il trovato, mezzi di commutazione elettrica 40, schematizzati con un blocco e non descritti nei dettagli in quanto ovvii per un tecnico del ramo, una volta individuata e descritta la loro funzione, sono predisposti tra gli avvolgimenti 31-34 dell'induttore 18 inferiore ed i rispettivi mezzi 20 di alimentazione elettrica in AC per collegare selettivamente gli avvolgimenti 31-34 tra loro e con i mezzi 20 secondo differenti configurazioni, che differiscono tra loro per il senso di circolazione della corrente elettrica nei rispettivi avvolgimenti 31-34 tra loro affiancati, come schematizzato ad esempio in figura 3.

Secondo la preferita forma di realizzazione, l'induttore inferiore 18 include quattro avvolgimenti, appunto indicati con 31, 32, 33 ,34, disposti affiancati a due a due, secondo uno schema a scacchiera.

Gli avvolgimenti 31-34 sono in particolare conformati

ciascuno come una spirale piana (figura 2) ottenuta ripiegando più volte su sé stesso un tubo in rame a formare le spire cave 13 e suddividono l'induttore inferiore 18 in rispettivi settori adiacenti, schematizzati in figura 4, nella quale gli avvolgimenti 31-34 sono pure illustrati schematizzati da frecce circolari aventi verso concorde con quello di circolazione della corrente elettrica negli stessi, in cui rispettive linee di flusso L del campo magnetico generato dall'induttore 18 hanno andamento simile.

I mezzi di commutazione 40 sono allora tali da essere atti a determinare selettivamente tra settori adiacenti un andamento delle linee di flusso L rispettivamente tangenziale (ad esempio figura 4a), o normale (figura 4c) alle linee di confine K tra un settore e l'altro, o, ancora, misto (figura 4b).

Come detto, i mezzi di raffreddamento 21 di almeno l'induttore inferiore 18 sono atti ad alimentare nelle spire cave 13 dello stesso un olio diatermico oppure acqua, attraverso il mozzo o stelo 36, mediante rispettivi bocchettoni 50, ad esempio in numero di uno per ciascun avvolgimento 31-34; in particolare, ciascun avvolgimento 31-34 inizia e termina con una imboccatura 60 (figura 2) collegata tramite linee idrauliche 61 interne al mozzo o stelo 36 con i bocchettoni 50, i quali sono a loro volta

collegati in modo noto con i mezzi di raffreddamento 21 .

Eventualmente, è possibile predisporre tra gli avvolgimenti 31-34 ed in mezzi refrigeranti 21 mezzi commutatori idraulici 70 (figura 1) per alimentare, nel caso sia necessario, flussi diversi di fluido refrigerante nelle spire 13 dei diversi avvolgimenti 31-34.

Sulla base di quanto descritto è chiaro che, mediante il dispositivo 1 è possibile implementare efficacemente un metodo per effettuare il controllo della temperatura del materiale semiconduttore 2 in un processo di solidificazione direzionale di tale materiale, in cui lo stesso viene fuso e successivamente viene sottoposto a solidificazione controllata ed in cui la fase di fusione viene effettuata riscaldando il materiale semiconduttore contenuto nel crogiuolo 3 mediante suscettori di grafite 14,17,19 operativamente associati ciascuno con almeno un rispettivo induttore, rispettivamente 12, 16 e 18 e disposti a circondare il crogiuolo 3.

In particolare, il metodo di controllo della temperatura del silicio 2 nel crogiuolo 3 comprende le fasi di:

- disporre sotto il crogiuolo 3 un suscettore 19, nella fattispecie costituito dalla piastra di base definente la parete di fondo del contenitore 4, operativamente associato con un induttore inferiore 18 comprendente una pluralità di

avvolgimenti 31-34 a sviluppo piano disposti affiancati in un medesimo piano di giacitura; e

- collegare selettivamente gli avvolgimenti 31-34 tra loro e con i rispettivi mezzi 20 di alimentazione elettrica in AC dell'induttore inferiore 18 secondo differenti configurazioni, illustrate schematicamente in figura 3, che differiscono tra loro per il senso di circolazione della corrente elettrica, schematizzata dal verso delle frecce circolari, nei rispettivi avvolgimenti 31-34, tra loro affiancati, pure schematizzati dalle frecce circolari in figura 3.

In particolare, gli avvolgimenti 31-34 dell'induttore inferiore 18 vengono collegati tra loro in modo che ciascun avvolgimento 31-34 definisce un settore dell'induttore 18 in cui rispettive linee di flusso L del campo magnetico hanno andamento simile; ed in modo che, in combinazione, le linee di flusso L di settori adiacenti abbiano andamento rispettivamente sempre tangenziale (figura 3a) o normale (figura 3c) alla linea di confine K tra un settore e l'altro.

Inoltre, la distanza D tra l'induttore inferiore 18 ed il rispettivo suscettore 19 in grafite ad esso associato viene variata secondo il metodo del trovato, in base alla necessità e, in particolare, durante la fase di solidificazione direzionale, che viene effettuata

interrompendo l'alimentazione elettrica dell'induttore 18 inferiore, mantenendo però in circolazione nelle spire cave 13 dello stesso un fluido refrigerante, ed avvicinando l'induttore 18 al suscettore 19 ad esso associato fino a portarlo sostanzialmente in contatto con lo stesso, usando come fluido refrigerante un olio diatermico oppure acqua, come già evidenziato.

A tale scopo, l'induttore 18 è disposto all'interno di un vano definito da rispettivi elementi termicamente isolanti 100 che circondano i suscettori 14,17,19, mentre gli induttori 12 e 16 sono preferibilmente disposti all'esterno di tale vano e, quindi, con gli elementi isolanti 100 interposti tra di essi ed i suscettori 14,17 ad essi associati.

In questo modo si è sperimentalmente riscontrato, come si evidenzia in figura 4, che si può variare con estrema semplicità ed in modo attuabile più volte durante il medesimo processo il calore che il suscettore 19 inferiore in grafite fornisce al crogiuolo 3. La figura 4a mostra in particolare l'andamento delle temperature (le zone a temperatura più elevata sono le zone più chiare, secondo la scala di grigi usata nei grafici di figura 4) nel suscettore 19 quando la configurazione delle correnti elettriche negli avvolgimenti 31-34 è quella di figura 3a. Le figure 4b e 4c mostrano similmente l'aspetto della

distribuzione delle temperature nel suscettore 19 quando la configurazione delle correnti elettriche è quella di figure 4b e rispettivamente 4c.

Inoltre, anche il controllo della temperatura del silicio 2 in fase di solidificazione è grandemente facilitata dalla particolare configurazione costruttiva dell'induttore 18 e dal suo uso come scambiatore di calore, una volta disattivato lo stesso staccando i suoi mezzi di alimentazione elettrica AC 20.

RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo (1) per la fusione e successiva solidificazione direzionale di un materiale (2) semiconduttore, tipicamente per l'ottenimento di silicio multi cristallino a grado di purezza "solare", comprendente almeno un crogiuolo (3) per il materiale semiconduttore, preferibilmente realizzato in quarzo o materiale ceramico, alloggiato in modo rimovibile in un contenitore (4) a tazza in grafite,; almeno un induttore superiore (12) disposto affacciato, con almeno l'interposizione di una piastra (14) in grafite ad esso operativamente associata , ad una imboccatura (15) del contenitore in grafite; almeno un induttore laterale (16) disposto intorno ad una parete laterale (17) del contenitore in grafite; almeno un induttore inferiore (18) disposto affacciato ad una parete di fondo (19) del contenitore in grafite; mezzi (20) di alimentazione elettrica AC per alimentare separatamente e indipendentemente uno dall'altro i detti induttori (12,16,18); e mezzi (21) di raffreddamento per alimentare un fluido refrigerante entro rispettive spire (13) cave degli induttori; **caratterizzato dal fatto che,** in combinazione:

- l'almeno un induttore inferiore (18) comprende una pluralità di avvolgimenti (31-34) disposti affiancati in un medesimo piano di giacitura definito da una piastra (35)

isolata di supporto;

- mezzi (40) di commutazione elettrica essendo predisposti tra gli avvolgimenti (31-34) di detto almeno un induttore inferiore (18) ed i rispettivi mezzi di alimentazione elettrica (40) in AC per collegare selettivamente questi ultimi e gli avvolgimenti (31-34) tra loro secondo differenti configurazioni.

2. Dispositivo secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che dette differenti configurazioni differiscono tra loro per il senso di circolazione della corrente elettrica nei rispettivi avvolgimenti (31-34) tra loro affiancati.

3. Dispositivo secondo la rivendicazione 1 o 2, caratterizzato dal fatto che detto almeno un induttore inferiore (18) include quattro detti avvolgimenti (31-34), disposti affiancati a due a due, secondo uno schema a scacchiera.

4. Dispositivo secondo una delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detti avvolgimenti (31-34) disposti affiancati sono a sviluppo piano essendo conformati ciascuno come una spirale piana.

5. Dispositivo secondo una delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detti avvolgimenti (31-34) suddividono l'almeno un induttore inferiore (18) in rispettivi settori adiacenti in cui rispettive linee di

flusso (L) del campo magnetico generato dall'induttore (18) hanno andamento simile; detti mezzi di commutazione (40) essendo atti a determinare selettivamente tra settori adiacenti un andamento delle linee di flusso (L) rispettivamente tangenziale o normale alla linea (K) di confine tra un settore e l'altro.

6. Dispositivo secondo una delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detto almeno un induttore inferiore (18) è mobile verticalmente in modo da poter variare in uso la sua distanza (D) dalla parete di fondo (19) del contenitore (4) in grafite.

7. Dispositivo secondo una delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di raffreddamento (21) di almeno l'induttore inferiore (18) sono atti ad alimentare nelle spire cave (13) dello stesso un olio diatermico.

8. Dispositivo secondo una delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che comprende inoltre, un involucro (5) apribile e a tenuta stagna alloggiante al proprio interno il contenitore (4) in grafite e detti induttori (12,16,18).

9. Metodo per effettuare il controllo della temperatura in un processo di solidificazione direzionale di un materiale semiconduttore (2) in cui il materiale semiconduttore viene fuso e successivamente viene

sottoposto a solidificazione controllata, il cui la fase di fusione viene effettuata riscaldando il materiale semiconduttore contenuto in un crogiuolo (3) mediante suscettori di grafite (14,17,19) operativamente associati ciascuno con almeno un rispettivo induttore (12,16,18) e disposti a circondare il crogiuolo, caratterizzato dal fatto di comprendere le fasi di:

- disporre sotto il crogiuolo (3) un detto suscettore (19) operativamente associato con almeno un induttore inferiore (18) comprendente una pluralità di avvolgimenti (31-34) disposti affiancati in un medesimo piano di giacitura; e
- collegare selettivamente gli avvolgimenti (31-34) tra loro e con rispettivi mezzi di alimentazione elettrica (40) in AC dell'induttore inferiore secondo differenti configurazioni che differiscono tra loro per il senso di circolazione della corrente elettrica nei rispettivi avvolgimenti (31-34) tra loro affiancati.

10. Metodo secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che detti avvolgimenti (31-34) dell'almeno un induttore inferiore (18) vengono collegati tra loro in modo che ciascun avvolgimento definisce un settore dell'induttore in cui rispettive linee (L) di flusso del campo magnetico hanno andamento simile; ed in modo che, in combinazione, le linee di flusso (L) di settori adiacenti abbiano andamento rispettivamente

tangenziale o normale alla linea di confine (K) tra un settore e l'altro.

11. Metodo secondo la rivendicazione 9 o 10, caratterizzato dal fatto che la distanza (D) tra detto almeno un induttore inferiore (18) ed il rispettivo suscettore (19) in grafite ad esso associato viene variata.

12. Metodo secondo una delle rivendicazioni da 9 a 11, caratterizzato dal fatto che la fase di solidificazione controllata viene effettuata interrompendo l'alimentazione elettrica dell'almeno un induttore inferiore (18), mantenendo in circolazione in rispettive spire cave (13) dello stesso un fluido refrigerante, ed avvicinando l'induttore (18) al suscettore (19) ad esso associato fino a portarlo sostanzialmente in contatto con lo stesso.

13. Metodo secondo la rivendicazione 12, caratterizzato dal fatto che viene usato come fluido refrigerante un olio diatermico.

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

Rinaldo PLEBANI

Rinaldo PLEBANI
(Iscrizione Albo nr. 358/BM)

CLAIMS

1. A device (1) for melting and subsequent directional solidification of a semiconductor material (2), typically for obtaining multicrystalline silicon with "solar" degree of purity, comprising: at least one crucible (3) for the semiconductor material, preferably made of quartz or ceramic material, housed in a removable way in a cup-shaped graphite container (4); at least one top inductor (12) set facing, with at least the interposition of a graphite plate (14) operatively associated thereto, an inlet opening (15) of the graphite container; at least one lateral inductor (16) set around a side wall (17) of the graphite container; at least one bottom inductor (18) set facing a bottom wall (19) of the graphite container; a.c. electrical-supply means (20) for supplying said inductors (12, 16, 18) separately and independently of one another; and cooling means (21) for supplying a refrigerating fluid within respective hollow coils (13) of the inductors;

said device being **characterized in that**, in combination:

- the at least one bottom inductor (18) comprises a plurality of windings (31-34) set alongside one another in one and the same plane of lie defined by an insulated supporting plate (35);
- electrical switching means (40) being provided between the windings (31-34) of said at least one bottom inductor

(18) and the respective a.c. electrical-supply means (40) for selectively connecting the latter and the windings (31-34) to one another according to different configurations.

2. The device according to Claim 1, characterized in that said different configurations differ from one another as regards the direction of circulation of the electrical current in the respective windings (31-34) set alongside one another.

3. The device according to Claim 1 or Claim 2, characterized in that said at least one bottom inductor (18) includes four said windings (31-34), set alongside one another in twos, according to a checkerboard scheme.

4. The device according to any one of the preceding claims, characterized in that said windings (31-34) set alongside one another have a planar development, each being shaped as a spiral.

5. The device according to any one of the preceding claims, characterized in that said windings (31-34) divide the at least one bottom inductor (18) into respective adjacent sectors in which respective lines of flux (L) of the magnetic field generated by the inductor (18) have a similar pattern; said switching means (40) being designed to determine selectively, between adjacent sectors, a pattern of the lines of flux (L) respectively tangential and normal to the boundary line (K) between one sector and

the other.

6. The device according to any one of the preceding claims, characterized in that said at least one bottom inductor (18) is vertically mobile in order to enable variation in use of its distance (D) from the bottom wall (19) of the graphite container (4).

7. The device according to any one of the preceding claims, characterized in that said cooling means (21) of at least the bottom inductor (18) are designed to supply a diathermic oil into the hollow coils (13) thereof.

8. The device according to any one of the preceding claims, characterized in that it further comprises an openable fluid-tight casing (5) housing inside it the graphite container (4) and said inductors (12, 16, 18).

9. A method for performing control of temperature in a process of directional solidification of a semiconductor material (2), wherein the semiconductor material is melted and is subsequently subjected to controlled solidification, the melting step being carried out by heating the semiconductor material contained in a crucible (3) by means of graphite susceptors (14, 17, 19) operatively associated each to at least one respective inductor (12, 16, 18) and arranged so as to surround the crucible, said method being characterized in that it comprises the steps of:

- setting under the crucible (3) a said susceptor (19)

operatively associated to at least one bottom inductor (18), which comprises a plurality of windings (31-34) set alongside one another in one and the same plane of lie; and - selectively connecting the windings (31-34) to one another and to respective a.c. electrical-supply means (40) of the bottom inductor according to different configurations that differ from one another as regards the direction of circulation of the electrical current in the respective windings (31-34) set alongside one another.

10. The method according to Claim 9, characterized in that said windings (31-34) of the at least one bottom inductor (18) are connected to one another in such a way that each winding defines one sector of the inductor in which respective lines (L) of flux of the magnetic field have a similar pattern; and in such a way that, in combination, the lines of flux (L) of adjacent sectors have a pattern respectively tangential and normal to the boundary line (K) between one sector and the other.

11. The method according to Claim 9 or Claim 10, characterized in that the distance (D) between said at least one bottom inductor (18) and the respective graphite susceptor (19) associated thereto is varied.

12. The method according to any one of Claims 9 to 11, characterized in that the step of controlled solidification is carried out by interrupting the electrical supply of the

at least one bottom inductor (18), maintaining a refrigerating fluid in circulation in respective hollow turns (13) thereof, and approaching the inductor (18) to the susceptor (19) associated thereto until it is brought substantially into contact therewith.

13. The method according to Claim 12, characterized in that a diathermic oil is used as refrigerating fluid.

Rinaldo PLEBANI
(Iscrizione Albo nr. 358/BM)

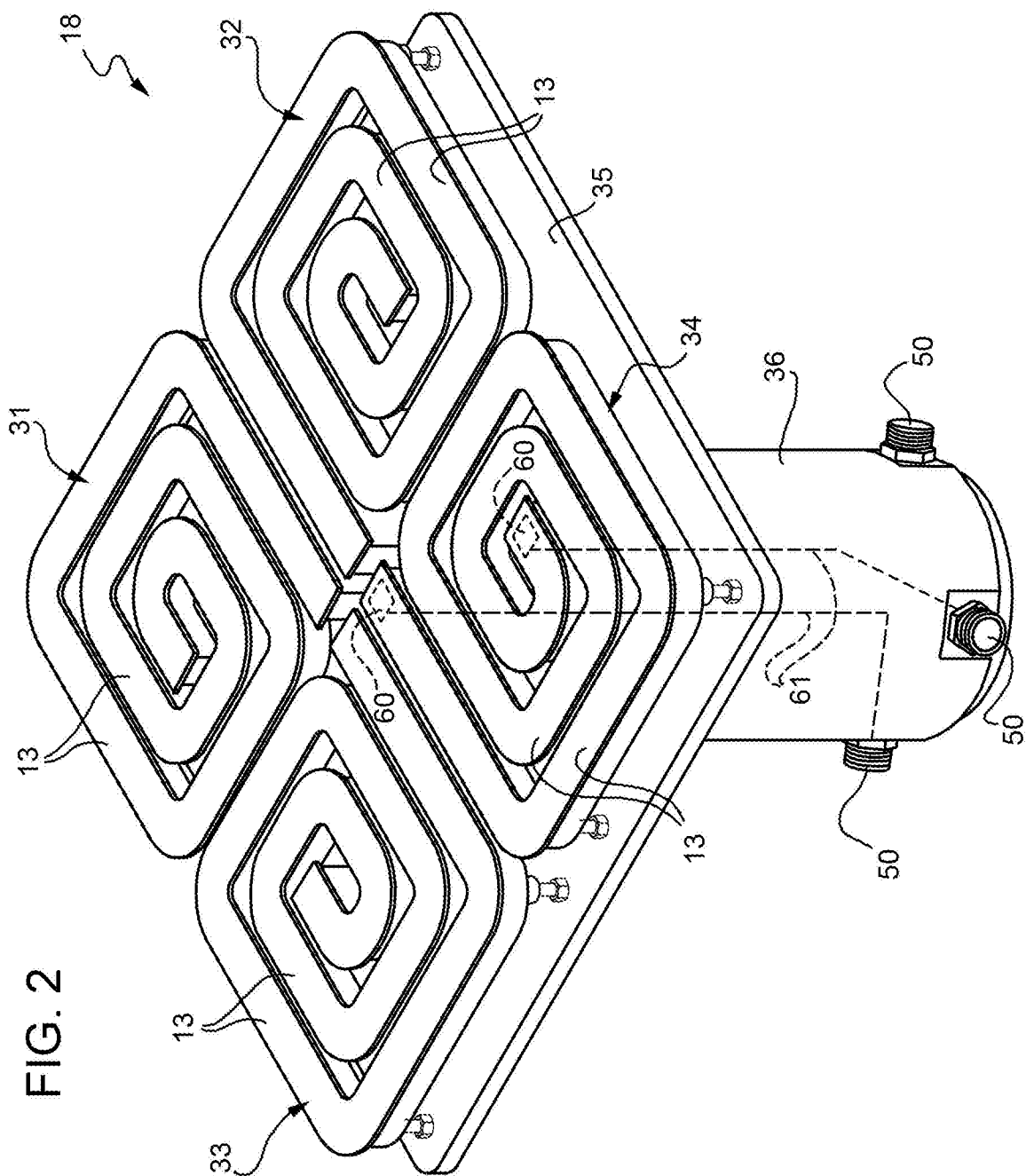


FIG. 2

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

Rinaldo PLEBANI
(Iscrizione Albo nr. 358/BM)

FIG. 3a

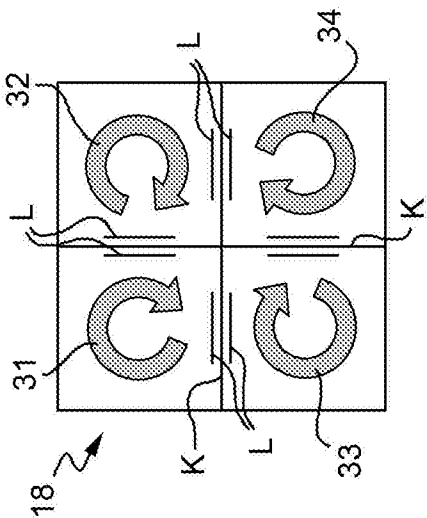


FIG. 4a

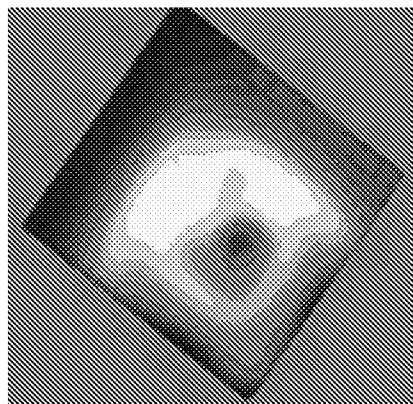


FIG. 3b

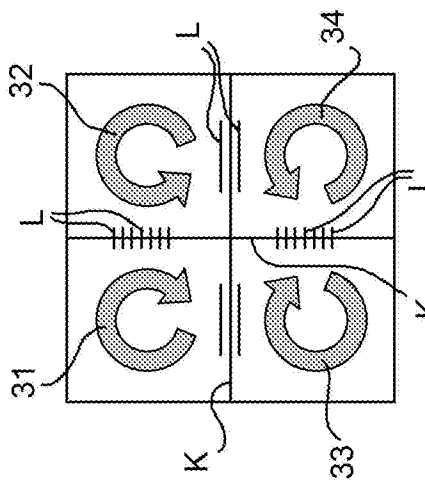


FIG. 4b

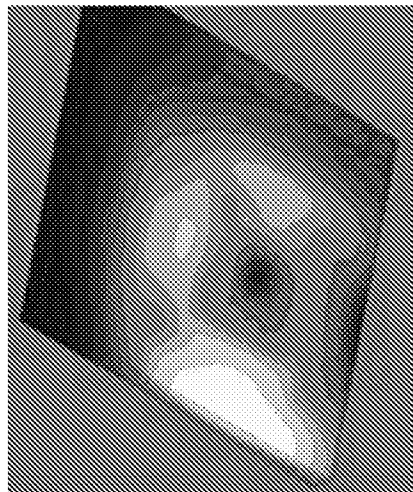


FIG. 3c

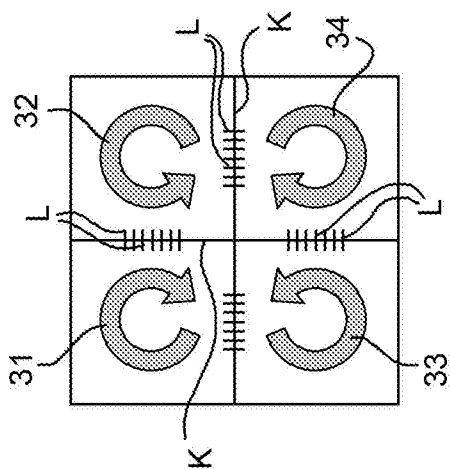


FIG. 4c

