

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2021-88476  
(P2021-88476A)

(43) 公開日 令和3年6月10日(2021.6.10)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C 3 0 B 23/06 (2006.01)	C 3 0 B 23/06	4 G 0 7 7
C 3 0 B 29/36 (2006.01)	C 3 0 B 29/36 A	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2019-219257 (P2019-219257)  
(22) 出願日 令和1年12月4日 (2019.12.4)

(71) 出願人 000002004  
昭和電工株式会社  
東京都港区芝大門1丁目13番9号  
(74) 代理人 100141139  
弁理士 及川 周  
(74) 代理人 100163496  
弁理士 荒 則彦  
(74) 代理人 100134359  
弁理士 勝俣 智夫  
(72) 発明者 金田一 麟平  
千葉県千葉市緑区大野台1-1-1 昭和  
電工株式会社内  
(72) 発明者 奥野 好成  
千葉県千葉市緑区大野台1-1-1 昭和  
電工株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 結晶成長装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 坩堝内に收容された原料の温度を均熱化できる結晶成長装置を提供する。

【解決手段】 結晶成長装置100は、内部に原料Gと種結晶Sを收容できる坩堝10と、前記坩堝10の側面を囲む誘導コイル30と、前記坩堝10と前記誘導コイル30との間に位置し、前記坩堝10を輻射熱によって加熱する複数の加熱部20と、を備え、それぞれの加熱部20は、前記坩堝の高さ方向に間隔を置いて配置され、前記複数の加熱部20の間の前記間隔のうちのいずれかは、前記坩堝の高さ方向の中心よりも種結晶Sから遠くに位置する。

【選択図】 図1

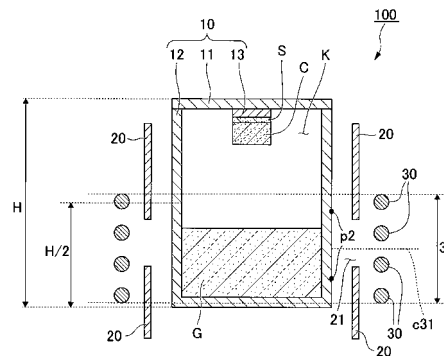


図1

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

内部に原料と種結晶を収容できる坩堝と、  
前記坩堝の側面を囲む誘導コイルと、  
前記坩堝と前記誘導コイルとの間に位置し、前記坩堝を輻射熱によって加熱する複数の加熱部と、を備え、

それぞれの加熱部は、前記坩堝の高さ方向に間隔を置いて配置され、  
前記複数の加熱部の前記間隔のうちのいずれかは、前記坩堝の高さ方向の中心よりも種結晶から遠くに位置する、結晶成長装置。

**【請求項 2】**

前記複数の加熱部の前記間隔のうちのいずれかは、前記高さ方向において、前記誘導コイルの上端と下端との間に位置する、請求項 1 に記載の結晶成長装置。

**【請求項 3】**

前記複数の加熱部の前記間隔のうちのいずれかは、前記誘導コイルの前記高さ方向の中心と、前記高さ方向において重なる位置にある、請求項 1 又は 2 に記載の結晶成長装置。

**【請求項 4】**

前記複数の加熱部のうちのいずれかは、前記誘導コイルの上端と下端との間の領域と、前記高さ方向において、少なくとも一部で重なる、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の結晶成長装置。

**【請求項 5】**

前記複数の加熱部の前記間隔は、断熱材を含む、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の結晶成長装置。

**【請求項 6】**

前記複数の加熱部は、2つの加熱部からなる、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の結晶成長装置。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、結晶成長装置に関する。

**【背景技術】****【0002】**

炭化珪素 (SiC) は、シリコン (Si) に比べて絶縁破壊電界が 1 桁大きく、バンドギャップが 3 倍大きい。また、炭化珪素 (SiC) は、シリコン (Si) に比べて熱伝導率が 3 倍程度高い等の特性を有する。そのため炭化珪素 (SiC) は、パワーデバイス、高周波デバイス、高温動作デバイス等への応用が期待されている。このため、近年、上記のような半導体デバイスに SiC エピタキシャルウェハが用いられるようになっている。

**【0003】**

SiC エピタキシャルウェハは、SiC 単結晶基板上に化学的気相成長法 (Chemical Vapor Deposition: CVD) によって SiC 半導体デバイスの活性領域となる SiC エピタキシャル膜を成長させることによって製造される。

**【0004】**

SiC 単結晶基板は、SiC 単結晶を切り出して作製する。この SiC 単結晶は、一般に昇華法によって得ることができる。昇華法は、黒鉛製の坩堝内に配置した台座に SiC 単結晶からなる種結晶を配置し、坩堝を加熱することで坩堝内の原料粉末から昇華した昇華ガスを種結晶に供給し、種結晶をより大きな SiC 単結晶へ成長させる方法である。

**【0005】**

近年、市場の要求に伴い、SiC 単結晶の大口径化、長尺化の要望も高まっている。また SiC 単結晶の大口径化、長尺化の要望と共に、SiC 単結晶の高品質化及び生産効率の向上も求められている。

**【0006】**

10

20

30

40

50

特許文献1には、高さ方向に分割されたヒータの間に仕切壁部を設けることが記載されている。仕切壁部は、分割されたヒータ間の熱伝導を制御し、ヒータから坩堝へ伝わる輻射熱を制御し、種結晶側と原料側とを断熱する。特許文献1に記載の炭化珪素単結晶の製造装置は、仕切壁部により坩堝の種結晶側と原料側とを別々に制御する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2008-290885号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0008】

昇華法においてSiC単結晶は、原料粉末から昇華した昇華ガスが再結晶化することで成長する。原料粉末は、坩堝の外周側から加熱される。坩堝の中央部は、外周側と比較して低温になる。低温部（例えば坩堝の中央部）に位置する原料は昇華しづらい。つまり低温部の原料は、SiC単結晶の結晶成長に効率的に利用できているとは言えない。

【0009】

また低温部には生成物が生じる場合がある。生成物は、昇華ガスが再結晶化したものであり、SiCと同様の組成を有する。生成物も高温になると昇華するが、生成物と原料粉末とは昇華条件が異なり、生成物から昇華した昇華ガスがSiC単結晶の品質の劣化の原因となる場合もある。

20

【0010】

SiC単結晶の高品質化及び生産効率の向上のためには、原料粉末を均一に加熱することが求められている。大口径のSiC単結晶を得るためには、直径の大きな坩堝を用いる必要があり、直径の大きな坩堝は特に原料内に温度分布が生じやすい。特許文献1に記載の炭化珪素単結晶の製造装置は、坩堝の種結晶側の温度と原料側の温度とを別々に制御することはできるが、原料粉末の温度を均熱にすることはできない。

【0011】

本発明は上記問題に鑑みてなされたものであり、坩堝内に収容された原料の温度を均熱化できる結晶成長装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

30

【0012】

本発明は、上記課題を解決するため、以下の手段を提供する。

【0013】

(1) 第1の態様にかかる結晶成長装置は、内部に原料と種結晶を収容できる坩堝と、前記坩堝の側面を囲む誘導コイルと、前記坩堝と前記誘導コイルとの間に位置し、前記坩堝を輻射熱によって加熱する複数の加熱部と、を備え、それぞれの加熱部は、前記坩堝の高さ方向に間隔を置いて配置され、前記複数の加熱部の前記間隔のうちのいずれかは、前記坩堝の高さ方向の中心よりも種結晶から遠くに位置する。

【0014】

(2) 上記態様にかかる結晶成長装置において、前記複数の加熱部の前記間隔のうちのいずれかは、前記高さ方向において、前記誘導コイルの上端と下端との間に位置してもよい。

40

【0015】

(3) 上記態様にかかる結晶成長装置において、前記複数の加熱部の前記間隔のうちのいずれかは、前記誘導コイルの前記高さ方向の中心と、前記高さ方向において重なる位置にあってもよい。

【0016】

(4) 上記態様にかかる結晶成長装置において、前記複数の加熱部のうちのいずれかは、前記誘導コイルの上端と下端との間の領域と、前記高さ方向において、少なくとも一部で重なってもよい。

50

## 【0017】

(5) 上記態様にかかる結晶成長装置において、前記複数の加熱部の前記間隔は、断熱材を含んでもよい。

## 【0018】

(6) 上記態様にかかる結晶成長装置において、前記複数の加熱部は、2つの加熱部からなってもよい。

## 【発明の効果】

## 【0019】

上記態様にかかる結晶成長装置によれば、坩堝内に収容された原料の温度を均熱化できる。

10

## 【図面の簡単な説明】

## 【0020】

【図1】第1実施形態に係る結晶成長装置の断面模式図である。

【図2】比較例にかかる結晶成長装置の断面図である。

【図3】変形例1にかかる結晶成長装置の断面図である。

【図4】実施例1のシミュレーションのモデル図である。

【図5】実施例3の結果を示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0021】

以下、本実施形態にかかる結晶成長装置について、図を適宜参照しながら詳細に説明する。以下の説明で用いる図面は、本発明の特徴をわかりやすくするために便宜上特徴となる部分を拡大して示している場合があり、各構成要素の寸法比率などは実際とは異なっていることがある。以下の説明において例示される材質、寸法等は一例であって、本発明はそれらに限定されるものではなく、その要旨を変更しない範囲で適宜変更して実施することが可能である。

20

## 【0022】

(結晶成長装置)

「第1実施形態」

図1は、第1実施形態にかかる結晶成長装置の断面模式図である。図1に示す結晶成長装置100は、坩堝10と複数のヒータ20と誘導コイル30とを備える。ヒータ20は、加熱部の一例である。図1では、理解を容易にするために、原料G、種結晶S、種結晶S上に結晶成長した単結晶Cを同時に図示している。

30

## 【0023】

以下図示において、原料Gと単結晶Cとが向き合う方向を高さ方向とし、高さ方向に対して垂直な方向を径方向とする。図1は、坩堝10の結晶設置部13の中央を通る任意の面で切断した断面図である。

## 【0024】

坩堝10は、単結晶Cを結晶成長させる成長空間Kを囲む。坩堝10は、例えば、蓋体11と容器12と結晶設置部13とを有する。

## 【0025】

蓋体11と容器12は、成長空間Kを形成する。蓋体11は、成長空間K側に、結晶設置部13を有する。容器12は、原料Gを収容する。原料Gは、例えば、坩堝10の高さHの中心の高さH/2の位置より種結晶Sから遠くに収容される。原料Gは、また例えば、坩堝10の高さHの1/3の高さ位置より下方に収容される。

40

## 【0026】

結晶設置部13は、原料Gと対向する位置にある。種結晶Sは、結晶設置部13に設置される。原料Gは、加熱により昇華ガスを発生する。原料Gから昇華した原料ガスが、種結晶Sの表面で再結晶化し、単結晶Cが結晶成長する。

## 【0027】

坩堝10は、単結晶Cを成長する際の高温に耐えることができる材料からなる。坩堝1

50

0 は、例えば、黒鉛、又は、被覆層を有する黒鉛からなる。被覆層は、例えば、炭化珪素、タンタルカーバイド (TaC) である。坩堝 10 内の温度は、3550 程度まで至ることがあり、これらの材料であれば高温にも耐えうる。

【0028】

誘導コイル 30 は、坩堝 10 の側面を囲む。誘導コイル 30 は、坩堝 10 及びヒータ 20 の径方向外側に位置する。誘導コイル 30 は、例えば、坩堝 10 の外周を螺旋状に囲む。誘導コイル 30 は、一つの導体からなり、第 1 端と第 2 端との間に高周波電流を流すことで磁場を生み出す。

【0029】

複数のヒータ 20 は、坩堝 10 と誘導コイル 30 との間に位置する。複数のヒータ 20 は、坩堝 10 の径方向外側、誘導コイル 30 の径方向内側に位置する。ヒータ 20 は、例えば、黒鉛部材である。ヒータ 20 は、坩堝 10 を囲む円環状である。ヒータ 20 は、誘導コイル 30 が生じる磁場を受けて、誘導加熱により加熱される。発熱したヒータ 20 は自身が熱輻射の発生源となり、坩堝 10 を輻射熱により加熱する。

10

【0030】

それぞれのヒータ 20 は、坩堝 10 の高さ方向に間隔を置いて配置されている。坩堝 10 を加熱するヒータ 20 は、一つの場合が多く、一つのヒータを分割したとみなすこともできる。図 1 に示すヒータ 20 は、二つである。二つのヒータ 20 は、空間を挟んで高さ方向に配列している。それぞれのヒータ 20 の径方向の位置は、異なってもよい。

【0031】

それぞれのヒータ 20 のうち少なくとも一つは、例えば、誘導コイル 30 の上端と下端との間の領域 (以下、コイル領域 31 という。) と、高さ方向において一部で重なっている。図 1 に示すようにヒータ 20 が 2 つの場合、それぞれのヒータの一部は、高さ方向においていずれもコイル領域 31 と重なっていることが好ましい。誘導コイル 30 から生じる磁場をそれぞれのヒータ 20 が受けやすくなり、ヒータ 20 が効率的に加熱される。

20

【0032】

それぞれのヒータ 20 の間には空間が形成される。以下、隣接するヒータ 20 の間の空間を断熱領域 21 と称する。図 1 において断熱領域 21 は、坩堝 10 の高さ H の中心の高さ  $H/2$  の位置より種結晶 S から遠くに位置する。断熱領域 21 が複数存在する場合は、いずれかの断熱領域 21 が、坩堝 10 の高さ H の中心の高さ  $H/2$  の位置より種結晶 S から遠くに位置すればよい。ここで、断熱領域 21 が、坩堝 10 の高さ H の中心の高さ  $H/2$  の位置より種結晶 S から遠くに位置するとは、断熱領域 21 の高さ方向の中心が、坩堝 10 の高さ H の中心の高さ  $H/2$  の位置より種結晶 S から遠くに位置することを指す。

30

【0033】

断熱領域 21 は、好ましくは、高さ方向において誘導コイル 30 の上端と下端との間 (コイル領域 31) に位置する。また断熱領域 21 は、より好ましくは、コイル領域 31 の高さ方向の中心 c 31 と重なる位置にある。

【0034】

第 1 実施形態にかかる結晶成長装置 100 によれば、原料 G 内の温度差を小さくすることができる。以下、その理由について説明する。

40

【0035】

図 2 は、比較例にかかる結晶成長装置 101 の断面図である。図 2 に示す結晶成長装置 101 は、坩堝 10 と誘導コイル 30 との間に、連続する一つのヒータ 40 が設けられている点が、図 1 に示す結晶成長装置 100 と異なる。その他の構成については図 1 と同様であり、図 1 と同様の符号を付す。

【0036】

ヒータ 40 は、坩堝 10 の径方向外側、誘導コイル 30 の径方向内側に位置し、高さ方向に連続する。誘導コイル 30 で生じた磁場は、ヒータ 40 を誘導加熱により加熱する。坩堝 10 は、加熱されたヒータ 40 が生じる熱輻射を受けて加熱される。

【0037】

50

高さ方向にヒータ40の形状及び構成が変化せず、ヒータ40が一様な場合、コイル領域31の高さ方向の中心c31と重なる位置が坩堝10の加熱中心p1となる。加熱中心p1は、坩堝10において最も高温となる点である。原料Gの温度は、加熱中心p1から離れるほど低下する。

【0038】

これに対し、第1実施形態にかかる結晶成長装置100は、ヒータ20が高さ方向に複数ある。それぞれのヒータ20は、誘導コイル30で生じた磁場を受けて発熱し、坩堝10を輻射熱により加熱する。坩堝10は、それぞれのヒータ20の寄与により加熱されるため、加熱中心が高さ方向に広がる、又は、加熱中心p2は複数になる。加熱中心p2が一か所に集中しないことで、原料G内の温度分布が変化する。その結果、原料G内の温度分布が均熱化する。

10

【0039】

また断熱領域21が坩堝10の高さHの中心の高さH/2の位置より種結晶Sから遠くに位置することで、坩堝10の高さHの中心の高さH/2の位置より種結晶Sから遠くに収容される原料Gの温度分布を効率的に均熱化できる。

【0040】

また比較例1において加熱中心p1となるコイル領域31の高さ方向の中心c31と重なる位置に断熱領域21を設けることで、坩堝10の加熱中心が一か所に集中することを避けることができ、より効果的に均熱化することができる。

【0041】

以上、第1実施形態について詳述したが、本発明は特定の実施の形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲内に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

20

【0042】

(変形例1)

図3は、変形例1にかかる結晶成長装置102の断面図である。図3に示す結晶成長装置102は、複数のヒータ20の間に断熱材50を有する点が、図1に示す結晶成長装置100と異なる。その他の構成については図1と同様であり、図1と同様の符号を付す。

【0043】

断熱材50は、複数のヒータ20の間に位置する。図1における断熱領域21が断熱材50に置き換わっている。

30

【0044】

断熱材50は、2000以上の高温で熱伝導率が10W/mK以下である材料により構成されていることが好ましい。2000以上の高温で熱伝導率が10W/mK以下の材料としては、黒鉛、炭素を主成分としたフェルト材があげられる。また、断熱材50は5W/mK以下の部材であることが望ましい。

【0045】

変形例1にかかる結晶成長装置102は、断熱領域21が断熱材50に置き換わっただけであり、第1実施形態にかかる結晶成長装置100と同様の効果を奏する。

【実施例】

40

【0046】

(実施例1)

図4に示す構成をシミュレーションで再現し、坩堝を加熱時の坩堝内の温度を求めた。シミュレーションには、気相結晶成長解析ソフトVirtual Reactor PVT SiCを用いた。図4に示す構成は、図1に示す結晶成長装置100に対応する。

【0047】

シミュレーションは、計算負荷を低減するために、中心軸を通る任意の断面の半分(径方向の半分)の構造のみで行った。シミュレーションの条件は以下とした。

【0048】

坩堝半径：100mm

50

坩堝厚み：10 mm  
 坩堝高さ：300 mm  
 坩堝の本体部の輻射率：0.8（黒鉛相当）  
 坩堝熱伝導率：40 W/mK  
 原料熱伝導率：5 W/mK  
 坩堝内原料高さ：150 mm  
 ヒータ位置：坩堝側面から50 mm外側  
 2つのヒータ間の幅  $h$ ：60 mm  
 2つのヒータ間の中心位置：坩堝底面から80 mm  
 コイル領域高さ：60 mm  
 コイル領域の中心高さ位置：坩堝底面から80 mm  
 坩堝およびヒータを覆う断熱材の厚み：30 mm  
 上記断熱材の熱伝導率：1 W/mK  
 坩堝上面と上記断熱材の距離：10 mm  
 坩堝下面と上記断熱材の距離：10 mm

10

## 【0049】

当該条件の基、原料内の温度分布を測定し、最高温度と最低温度との温度差は、90であった。

## 【0050】

（実施例2）

図4におけるヒータ間の領域を断熱材で埋めて、同様のシミュレーションを行った。断熱材は、黒鉛、炭素を主成分としたフェルト材を想定し、熱伝導率は1 W/mKに設定した。実施例2の構成は、図3に示す結晶成長装置102に対応する。

20

## 【0051】

当該条件の基、原料内の温度分布を測定し、最高温度と最低温度との温度差は、86であった。

## 【0052】

（比較例1）

図4におけるヒータ間の領域をヒータと同様の材料で埋めて、同様のシミュレーションを行った。すなわち、ヒータを高さ方向に連続する一つの部材としている。比較例1の構成は、図2に示す結晶成長装置101に対応する。

30

## 【0053】

当該条件の基、原料内の温度分布を測定し、最高温度と最低温度との温度差は、98であった。

## 【0054】

（実施例3）

図4における2つのヒータ間の幅  $h$  を変更して、原料内の最高温度と最低温度との温度差  $T$  を求めた。このとき、ヒータ間を空間とした場合（実施例1条件）と、ヒータ間を断熱材で埋めた場合（実施例2条件）の2つの条件でシミュレーションを行った。その結果を図5に示す。図5の縦軸の  $T$  低減効果は、ヒータを高さ方向に連続する一つの部材とした場合（比較例1）に対して、原料内の最高温度と最低温度との温度差  $T$  が低減された量である。

40

## 【0055】

原料の高さに対してヒータ間の幅  $h$  が大きくなると、それぞれのヒータに対応する加熱中心（図1における加熱中心  $p_2$ ）位置が十分離れ、温度分布の低減効果が高まっていると考えられる。一方で、図5に示すように、ヒータ間の幅  $h$  がコイル領域高さよりも顕著に大きな値になると温度分布の低減効果の上昇率が低下していくことが確認された。それぞれのヒータに対応する加熱中心位置が離れすぎ、それぞれのヒータに対応する加熱中心（図1における加熱中心  $p_2$ ）位置の間に低温となる部分が発生したためと考えられる。

## 【符号の説明】

50

【 0 0 5 6 】

- 1 0 坩 埚
- 1 1 蓋 体
- 1 2 容 器
- 1 3 結 晶 設 置 部
- 2 0、4 0 ヒ ー タ
- 2 1 断 熱 領 域
- 3 0 誘 導 コ イ ル
- 3 1 コ イ ル 領 域
- 5 0 断 熱 材
- 1 0 0、1 0 1、1 0 2 結 晶 成 長 装 置
- S 種 結 晶
- C 単 結 晶
- K 成 長 空 間

【 図 1 】

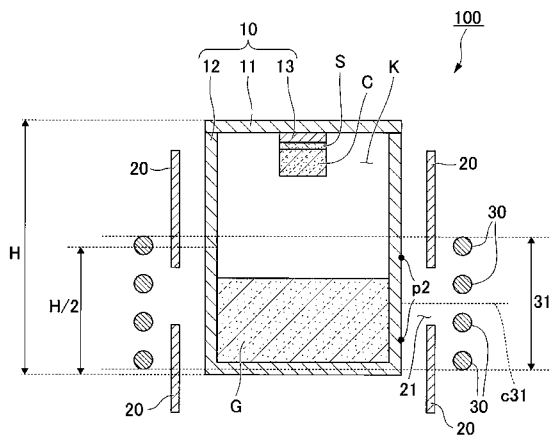


図1

【 図 2 】

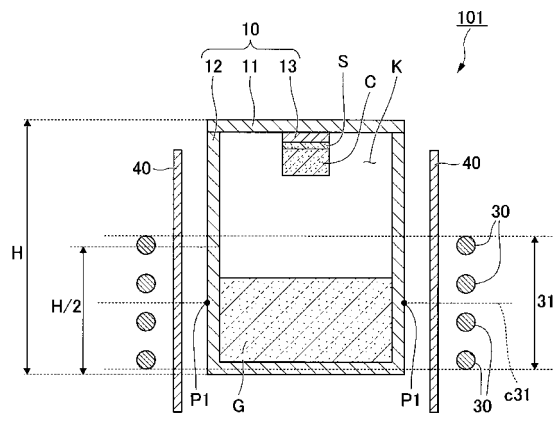


図2



【 図 3 】

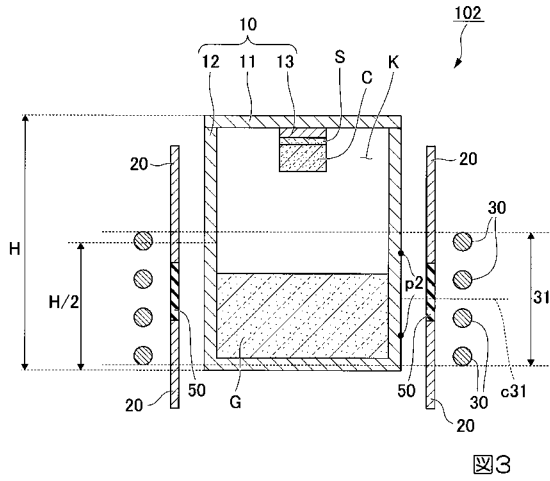


図3

【 図 4 】

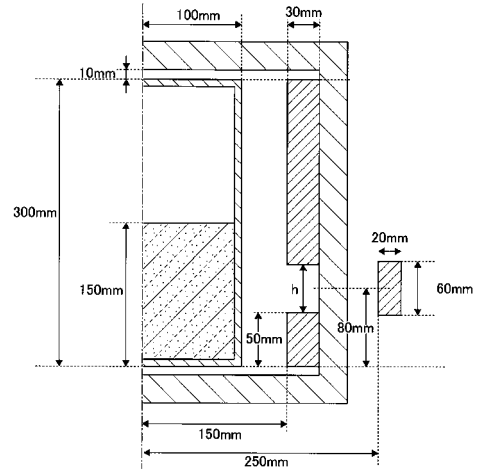


図4

【 図 5 】

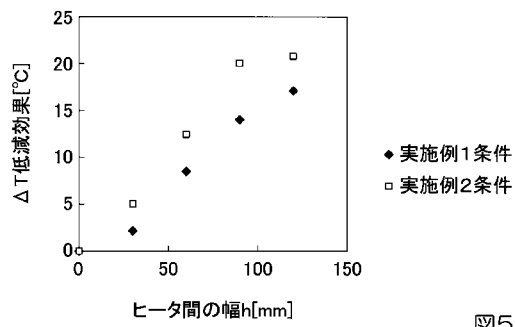


図5

---

フロントページの続き

(72)発明者 庄内 智博

滋賀県彦根市清崎町60番地 昭和電工株式会社内

Fターム(参考) 4G077 AA02 BE08 DA02 DA18 DA19 EG18 EG25 HA06 HA12 SA04  
SA11