

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6058515号
(P6058515)

(45) 発行日 平成29年1月11日(2017.1.11)

(24) 登録日 平成28年12月16日(2016.12.16)

(51) Int. Cl.		F I	
H O 1 L 21/205	(2006.01)	H O 1 L 21/205	
C 2 3 C 16/455	(2006.01)	C 2 3 C 16/455	

請求項の数 5 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2013-209507 (P2013-209507)	(73) 特許権者	513249828 漢民科技股▲分▼有限公司 台湾新竹市科學園區研新一路18號
(22) 出願日	平成25年10月4日(2013.10.4)	(74) 代理人	100090413 弁理士 梶原 康稔
(65) 公開番号	特開2015-76417 (P2015-76417A)	(72) 発明者	須田 昇 東京都中央区日本橋本町3-3-6 ワカ 未ビル7階
(43) 公開日	平成27年4月20日(2015.4.20)	(72) 発明者	大石 隆宏 東京都中央区日本橋本町3-3-6 ワカ 未ビル7階
審査請求日	平成28年6月3日(2016.6.3)	(72) 発明者	米野 純次 東京都中央区日本橋本町3-3-6 ワカ 未ビル7階

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 気相成膜装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

成膜用基板を保持するための基板保持部材を有する円板状サセプタ、前記基板を自公転せしめる機構、前記基板保持部材に対向しフローチャネルを形成する対向面、材料ガスの導入部及び排気部を有する気相成膜装置において、

前記円板状サセプタと前記対向面との距離が前記基板の公転方向において変化するように、前記対向面に凹凸形状を施すとともに、

前記材料ガスの導入部に円板状のインジェクタを有し、

前記インジェクタに、前記対向面の凹凸形状の凸部と同じ位置に凸部を有し、前記対向面の凹凸形状の凹部と同じ位置に凹部を有する凹凸形状を施すことを特徴とする気相成膜装置。

【請求項2】

成膜方式が化学気相成長であることを特徴とする請求項1記載の気相成膜装置。

【請求項3】

前記材料ガスが化合物半導体あるいは酸化物の材料ガスであることを特徴とする請求項1又は2記載の気相成膜装置。

【請求項4】

前記材料ガスの一部に有機金属を含むことを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の気相成膜装置。

【請求項5】

10

20

前記対向面及び前記インジェクタを構成する部材の材質が、ステンレス、モリブデンから選択される金属材料、カーボン、炭化ケイ素、炭化タンタルから選択される炭化物、窒化ホウ素、窒化ケイ素、窒化アルミニウムから選択される窒化物、石英、アルミナから選択される酸化物系材料のいずれか、或いはそれらの組み合わせであることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の気相成膜装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体もしくは酸化物基板上に半導体膜を形成する気相成膜装置に関し、詳細には成膜中に基板を自公転させるタイプの気相成膜装置に関するものである。

10

【背景技術】

【0002】

一般に気相成膜法により形成される膜の品質を高く保つのに必要な要素は3つあると考えられる。具体的には、a) 成膜圧力、b) 流速、c) 堆積速度曲線の3つである。以下それぞれが膜質に与える影響について詳述する。

【0003】

まずa)の成膜圧力については、膜中の元素に揮発性の高い成分がある場合に特に重要である。膜からの揮発が深刻となる系では、成膜圧力を高くすることで揮発成分の分圧を上げ、その結果揮発成分の膜からの離脱を抑え、欠陥の少ない高品質の膜を得ることが行われる。IIIV族化合物半導体を例に取れば、V族元素の揮発性が高いため、これを抑えるために気相中でのV族の分圧を上げる必要がある。とりわけ窒化物系の化合物半導体においては窒素の揮発性が高いため、常圧に近い圧力での成膜が好まれる場合が多い。

20

【0004】

次にb)の流速であるが、流速は速いほど好ましい。通常の成膜条件では乱流が発生するほどレイノルズ数は高くない。乱流が発生しないのであればより速い流速とする方が好ましい。その理由としては、流速が遅いと膜の界面品質が低下することが、まず第一に挙げられる。一般的な成膜においては、成膜の途中で膜の組成を変えたり、ドーピング種を変えるなどして膜中に種々の界面を形成することが行われるが、流速が遅いと界面形成前の成膜層で用いていた材料ガスの排出が速やかに行われなため、急峻な膜界面を得ることが難しく、従って膜界面の品質を高く保てなくなる。次にはリアクタ内に原料ガスが導入されてから基板に達するまでの時間が長くかかるため、気相中反応により前駆物質(原料分子)が消費される割合が多くなることが挙げられる。これにより原料の利用効率が低下してしまう。さらには、流速が遅いと原料分子の無秩序な拡散をガス流により制御することが難しくなるため、リアクタ内の意図しない場所への好ましからぬ堆積物を発生させ、これが膜質や再現性に悪影響を及ぼすことが考えられる。

30

【0005】

このように流速に関しては乱流が発生しない範囲内であれば、速ければ速いほど高い膜品質、界面品質を安定的に得ることが出来る。流速と前出の成膜圧力とを絡めて考えると、高い成膜圧力は揮発成分の離脱抑制には利点はあるものの、同じキャリアガス流量ならば圧力が高いほど流速が遅くなるため、流速の点では不利であると言え、二つの要素は基本的には両立しない。従って総合的な観点から最適な成膜圧力と流速を探索するという操作が必要となる。

40

【0006】

最後にc)の堆積速度曲線に関して考察する。図10に従来方法による一般的な自公転式リアクタ構造の断面図を示した。より正確にはIIIV族化合物半導体の成膜にしばしば用いられるリアクタの例である。リアクタ100は、円板状のサセプタ20と、該サセプタ20に対向する対向面形成部材110と、材料ガスの導入部60と、ガス排気部38とにより構成される。基板Wは、基板保持部材22により保持され、基板保持部材22は、サセプタ20の受部26に保持されている。前記リアクタ100は中心対称性があり、サセプタ20はその中心軸に関し公転し、それと同時に基板Wは自転する構造となっている。

50

これら公転・自転のための機構は公知である。また図10の構造では分離供給型インジェクタ部120も備えている。図10の分離供給型インジェクタ部120は、第1のインジェクタ構成部材122と第2のインジェクタ構成部材124によって、上中下の3層のガス導入部に分かれており、上からはV族及び H_2 、 N_2 などのキャリアガス、中間からIII族の原料ガス、下からは H_2 あるいは N_2 そして場合によりV族ガスを加えたガスを導入するようにして使用することが多い。本発明では、サセプタ20あるいは基板W上の各位置における堆積速度を自公転式リアクタの半径方向に対しプロットした曲線を、堆積速度曲線と定義する。

【0007】

図11に前記構造の成膜装置で得られる一般的な堆積速度曲線を示した。この曲線は主として原料分子の輸送により支配される。例えばIIIV族化合物半導体の場合では、通常V族を過剰として成膜が行われるため、III族のみが堆積速度曲線を支配する原料分子として扱われる。横軸はインジェクタ端からの距離で縦軸は堆積速度を表す。堆積が開始する地点は分離供給型インジェクタから原料ガスがリアクタ内に導入される、インジェクタ端位置にほぼ等しい。堆積速度はそこから上昇して行き、やがてピークを付けた後に単調減少する。基板を配置する位置は、このピークよりやや下流の位置に基板の最上流部を持っていくのが普通である。そして基板を自転させることで上流と下流の堆積速度差はキャンセルされ、比較的良好な膜厚均一性が得られるというわけである。逆に言えば堆積速度曲線こそが、自公転した結果得られる膜厚均一性を決定付けることになる。膜厚以外にも膜の化学組成や不純物濃度などは堆積速度の影響を大いに受けるため、これらの特性やその基板面内均一性に対しても堆積速度曲線は非常に重要な意味を持つ。そのため堆積速度曲線は、膜質に大きな影響を与える重要な要素の一つに数えられるのである。

【0008】

堆積速度曲線についてさらに深い考察を進める。今度は堆積速度分布に影響を及ぼす重要な因子について考える。自公転式成膜方法においては、層流モードのガス流れの下で、原料分子拡散を主とした物質輸送が堆積速度を律速するという、いわゆる物質輸送律速モードで成膜が行われることが極めて多い。この場合、(1)ガス中の原料分子濃度、(2)キャリアガス流量、(3)フローチャネル高さの3つが堆積速度分布に影響を及ぼす主要因子として挙げられる。なお、本発明ではキャリアガス流量という語は、純粋なキャリアガスの他、成膜に使用されるあらゆるガス種をトータルした総流量を意味する言葉として用いるものとする。前記(1)から(3)のうち(1)の原料分子濃度に関しては、堆積速度は原料分子濃度に比例するという単純な関係がある(原料分子濃度を变化させたときの堆積速度曲線の変換を示す図12を参照)。

【0009】

次に(2)のキャリアガス流量について考察するにあたり、図13にキャリアガス流量を变化させたときの堆積速度曲線の違いを示した。なおキャリアガス流量を变化させる際、他の成膜条件は全て不変とする。図中a)をあるキャリアガス流量 F_0 のときの堆積速度曲線とすると、b)、c)はそれぞれその2倍、3倍のキャリアガス流量における堆積速度曲線を表す。これから分かるようにキャリアガスを増やすと堆積速度曲線は縦方向に縮み横方向に伸びるように変化する。定量的に言えば、流量を倍すると堆積速度曲線は縦に $1/$ 倍、横に倍したものにおおよそ一致する。これは前述した層流且つ物質輸送律速モードの場合、堆積速度は基板或いはサセプタ面に垂直な方向の原料分子濃度の傾きに比例し、そしてフローチャネル中の原料分子濃度分布は、基板或いはサセプタ表面における原料分子濃度をゼロとした境界条件の下での、移流拡散方程式の解に大よそ従うためである。そして上記のキャリアガス流量と堆積速度曲線の関係は、移流拡散方程式の持つ相似則的性質から導かれる。

【0010】

さらに(3)のフローチャネルの高さが堆積速度曲線に与える影響について記述する。図14にフローチャネル高さを変えたときの堆積速度曲線を示した。a)をあるフローチャネル高さ L_0 のときの堆積速度曲線とすると、b)、c)はそれぞれその2倍、3倍のフロ

10

20

30

40

50

ーチャンネル高さにおける堆積速度曲線を示す。こちら流量のときのように移流拡散方程式の相似則が適用され、フローチャンネル高さを 倍とすると堆積速度曲線は縦に 1 / 倍、横に 倍したものに大よそ一致する。

【 0 0 1 1 】

以上(1)から(3)の因子に関する考察を以下にまとめる。(2)のキャリアガス流量を増やすほど、また(3)のフローチャンネル高さを大きくするほど、堆積速度曲線は相対的に半径方向に引伸ばされた形状、つまりは相対的に緩やかな傾斜を持つ形状の分布を示す。そして堆積速度の絶対値は(1)の原料分子濃度がそれを決定する。

【 0 0 1 2 】

(1)から(3)の三因子に加え、以下では成膜圧力が堆積速度曲線に与える影響について考察する。移流拡散方程式によれば流速と拡散係数の比が一定であれば、その解であるフローチャンネル中の原料分子濃度分布は不変である。同じキャリアガス流量で圧力のみを変化させた場合を考えると、流速は圧力に逆比例し、拡散係数もまた一般には圧力に逆比例するため、結局のところ流速と拡散係数の比は変わらない。従って圧力のみを変化させたときは、ほぼ同一の結果が得られることになる。ただし気相中の化学反応が無視できないときは、流速や圧力により化学反応の進行度合いが変わるため、その要因から結果は異なったものとなりうる。

【 0 0 1 3 】

堆積速度曲線を支配する三因子の役割が明らかになったところで、ここからは理想的な堆積速度曲線について考察する。前述のように三因子を変化させると様々な堆積速度曲線が得られるが、それらにはそれぞれ利点、及び欠点が存在する。キャリアガス流量が少ないとき、あるいはフローチャンネル高さが小さいときに得られる相対的に急峻な堆積速度曲線では、原料ガスが排出されるまでに、そこに含まれる大部分の原料分子を使い切ることになる。そのため原料の利用効率が高いという利点を有する。その一方で、基板より上流のサセプタ上に必然的に厚い堆積層が形成されてしまうことが欠点となる。この上流堆積物は膜質を低下させる恐れがある他、成膜を不安定にして歩留まり低下を招いたり、メンテナンス頻度を増大させたりするなどしてコストアップの要因ともなる。また上流と下流の堆積速度の差が大きいことから、常時同じ堆積速度で成膜される基板中心と、速い遅いを交互に経験する基板周辺部とでは、組成や不純物濃度などの膜質に違いを生じやすく、これらの均一性低下を招く結果となる。

【 0 0 1 4 】

キャリアガス流量が多いとき、あるいはフローチャンネル高さが大きいときには、逆に堆積速度分布は逆になだらかとなるが、この場合には原料の利用効率は相対的に低いものの、上流堆積物による悪影響は少なく、またより均一な膜質を得やすい。このようにいずれの場合にも一長一短があり、そのため膜質や生産性などの要素を総合的に判断した上で最適な堆積速度曲線が選択される。ただ、純粋に膜質あるいは膜質の均一性を追求するならば、なだらかな堆積速度曲線がより好ましい。

【 0 0 1 5 】

ここで冒頭で挙げた三要素、a)成膜圧力(特に揮発成分の分圧)、b)流速、c)堆積速度曲線に戻り、それらが膜質に与える影響についてまとめると、良い膜質あるいは膜質均一性を得るには、a)成膜圧力は高いほど良い、b)流速は速いほど良い、c)堆積速度曲線は緩やかな方が良い、ということになる。

【 0 0 1 6 】

いまキャリアガス流量を固定するとして、高い成膜圧力で速い流速を得ようと思えば、フローチャンネル高さを小さくするしかない。ところがフローチャンネル高さを小さくするとc)の堆積速度分布が急峻となり、膜質の観点から好ましくない。逆にこの状態から緩やかな堆積速度分布を実現しようとするれば、結局のところキャリアガス流量を増やすしかない。しかしながらキャリアガス流量のみを増やせば、揮発成分の材料ガスの割合が低下するため、揮発成分の分圧が低下するという好ましくない結果を生じる。突き詰めれば揮発成分の材料ガスもキャリアガス同様増やす必要があるが、材料ガスは高価であるので自由

10

20

30

40

50

を増やすことは現実的に不可能である。

【0017】

翻って、速い流速が実現できる減圧下では基本的に各種ガス分圧は低くならざるを得ない。しかしながら、キャリアガス中の揮発成分材料ガスの割合を多くすれば、減圧下においても高い分圧を実現することができる。以下ではこの可能性について考えてみる。前述したように材料ガスの供給流量は際限なく増やせるというものではなく、事実上上限がある。従って、ある圧力且つ決められた材料ガス流量のもとで材料ガスの分圧を上げるためには、材料ガス以外のキャリアガスを減らす必要がある。少ないキャリアガス流量で緩やかな堆積速度曲線を得るためには、フローチャネル高さを大きくすればよい。ところが少ないキャリアガス流量でフローチャネル高さを大きくすると、相乗的に流速が低下してしまうため、減圧下と言えども深刻な膜質低下及び生産性の低下を招くことになる。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0018】

【特許文献1】特開2002-175992号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0019】

以上のような考察から、現実的な材料ガス流量を維持したまま、高い揮発成分分圧、速い流速、そして緩やかな堆積速度分布の三要素を同時に満たすことは、従来装置においては難しく、とりわけ量産に使用される大型装置においては不可能と言っても過言ではなかった。

20

【0020】

上記従来技術の問題点を鑑み、本発明では少ないガス消費量で、高い揮発成分分圧、速い流速、そして緩やかな堆積速度曲線の三要素を同時に実現する成膜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】

【0022】

本発明は、成膜用基板を保持するための基板保持部材を有する円板状サセプタ、前記基板を自公転せしめる機構、前記基板保持部材に対向しフローチャネルを形成する対向面、材料ガスの導入部及び排気部を有する気相成膜装置において、前記円板状サセプタと前記対向面との距離が前記基板の公転方向において変化するように、前記対向面に凹凸形状を施すとともに、前記材料ガスの導入部に円板状のインジェクタを有し、前記インジェクタに、前記対向面の凹凸形状の凸部と同じ位置に凸部を有し、前記対向面の凹凸形状の凹部と同じ位置に凹部を有する凹凸形状を施すことを特徴とする。

30

【0023】

主要な形態の一つは、成膜方式が化学気相成長であることを特徴とする。他の形態は、前記材料ガスが化合物半導体あるいは酸化物の材料ガスであることを特徴とする。更に他の形態は、前記材料ガスの一部に有機金属を含むことを特徴とする。更に他の形態は、前記対向面及び前記インジェクタを構成する部材の材質が、ステンレス、モリブデンから選択される金属材料、カーボン、炭化ケイ素、炭化タンタルから選択される炭化物、窒化ホウ素、窒化ケイ素、窒化アルミニウムから選択される窒化物、石英、アルミナから選択される酸化物系材料のいずれか、或いはそれらの組み合わせであることを特徴とする。本発明の前記及び他の目的、特徴、利点は、以下の詳細な説明及び添付図面から明瞭になる。

40

【発明の効果】

【0024】

本発明によれば、少ないキャリアガス流量で従来装置の最適条件と同等の成膜が実現できるのみならず、揮発成分の材料ガス分圧を従来よりも格段に高めることができ、そのため従来よりも高品質の成膜が実現可能となる。

50

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本発明の対向面形成部材を示す平面図である。

【図2】前記図1のA-A断面図である。

【図3】対向面形成部材の他の例を示す平面図である。

【図4】対向面形成部材の他の例を示す断面図である。

【図5】本発明のリアクタ構造を示す分解斜視図である。

【図6】本発明のリアクタ構造を示す断面図である。

【図7】本発明のインジェクタ構造を示す分解斜視図である。

【図8】本発明の実験例で得られた堆積速度曲線を示す図である。

10

【図9】本発明の実験例で得られた多重量子井戸のフォトルミネッセンススペクトルを示す図である。

【図10】従来の自公転式成膜装置のリアクタ構造を示す断面図である。

【図11】一般的な堆積速度曲線と自公転する基板の配置を示す図である。

【図12】原料分子濃度を変化させたときの堆積速度曲線の変化を示す図である。

【図13】キャリアガス流量を変化させたときの堆積速度曲線の変化を示す図である。

【図14】フローチャンネル高さを変化させたときの堆積速度曲線の変化を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0026】

以下、本発明を実施するための最良の形態を、実施例に基づいて詳細に説明する。

20

【実施例1】

【0027】

<本発明の基本概念>・・・最初に、図1及び図2を参照して本発明の概念を説明する。上述した課題を解決すべく鋭意努力した結果、発明者らは少ないキャリアガス消費量で十分速い流速を実現でき、且つ最適な堆積速度曲線を同時に実現し得るリアクタ構造を見出した。その方法は、対向面上に凹凸を設けることにより、反応炉中心から放射状に広がる、互いに分離されたフローチャンネルを形成し、成膜に寄与するエリアをこのフローチャンネルに限定せしめるというものである。従来技術では対向面形状をすり鉢型にしたり、あるいはフローチャンネルの途中に段差をつけるといった方法でフローチャンネル高さに変化を付ける方法は存在していた（例えば特開2005-5693号公報など）。しかしながら、いずれも周方向で見たときのフローチャンネル高さは一定であった。従って、特開2005-5693号公報の技術では、基板よりも上流の領域における不要な堆積を削減する効果はあるものの、基板領域におけるフローチャンネル高さは周方向において一定であることから、基板領域での堆積速度曲線は通常のフローチャンネル形状のものと本質的に変わらない。従ってこの構造においても、先に述べた成膜圧力、流速、堆積速度曲線の三要素が複合した問題を逃れられるものではない。本発明は周方向においてフローチャンネル高さに変化を付けるというものであり、その意味で従来のもとは全く形態が異なり、そしてそれには以下に述べるような効果があるのである。

30

【0028】

図1及び図2に本発明の概念を示した。図1は、本発明の成膜装置を構成する対向面形成部材の平面図、図2は、前記図1のA-A断面図である。成膜装置のリアクタ構造は、図5及び図6に示す通りであるが、ここでは、本発明の基本概念の説明のため、対向面形成部材30についてのみ説明する。なお、リアクタ構造10自体は、上述した背景技術のリアクタ構造100と基本的に同様であるが、本発明では、サセプタ20と対向する対向面形成部材30の形状に特徴を有する。前記対向面形成部材30は、中央に開口部32を有しており、放射状に凹部34と凸部36が交互に形成されている。サセプタ20との対向面がこのような形状であれば、凸部36には原料ガスはほぼ流れず、ガスの大部分は凹部34を流れるため、成膜は基本的に凹部34でのみ行われる。

40

【0029】

さらに例を用いて本発明の概念を詳述する。いま従来構造（図10参照）において、フ

50

ローチャンネル高さL0にて成膜圧力、流速、堆積速度曲線の観点から最適な成膜条件が得られているとする。本発明構造を、凸部36と凹部34の面積比率を1:1に設定し、そして凹部34におけるフローチャンネル高さL(図2参照)は従来構造における最適値L0と同じとする。理解を容易にするため、凸部36には全くガスは流れず凹部34にのみに流れるものと仮定する。なお、実際の構造においては成膜エリアを完全に凹部34に限定することは出来ないが、それに近い状況は容易に実現可能であるので、この仮定の下で考察を進めて差し支えない。成膜圧力は任意に制御が可能であるのでこれを従来装置の条件と同じに設定する。

【0030】

以上のリアクタ構造のもとで、従来と同様の好適な堆積速度曲線を得るためには、凹部フローチャンネルにおける流速を従来のもものと一致させればよい。本発明構造においてはガスの流れる断面積は従来に比べ半分となっているため、同じ流速を得るには半分のキャリアガス流量でよい。逆にその条件であれば、凹部34においてはフローチャンネル高さLも流速も従来のもとの最適条件と全く等しくなっているので、必然的に最適な堆積速度曲線が得られる。

10

【0031】

次に堆積速度の絶対値に関し考察する。本発明構造では従来構造に比べ成膜に寄与する領域は半分になるので、これは堆積速度の絶対値を半分にする作用がある。一方、キャリアガスが半分になることからガス中の原料濃度は倍となり、これは堆積速度を倍にする効果を有する。結果としてこれらの効果がキャンセルし合い、堆積速度の絶対値は従来と同等となる。つまり同じ原料分子の投入量で従来と同等の堆積速度が得られるというわけであり、原料の利用効率を損なうことはない。

20

【0032】

ここまでの説明で本発明構造を採用することにより、従来の半分量のキャリアガスで、従来の最適条件と全く同様の状態を実現できることが分かる。これだけでもキャリアガスの使用量を削減でき、ひいては製品のコストダウンに資するという大きな利点を有するが、実は本発明にはそれとは別のさらに重要な利点が存在する。キャリアガス流量を減らす際に、揮発成分の材料ガス流量を従来と同じに維持すれば、キャリアガス中の揮発成分材料ガスの割合が自動的に増加する。従って、従来に比べ揮発成分の材料ガス分圧を大幅に高めることが出来るのである。ここでもIII族半導体を例にとって説明する。本発明の成膜条件において、成膜における最も重要なパラメータの一つである、V/III比を従来条件と同じに設定するとする。III族の供給量は従来と同じでよいので、V族材料ガスの供給量も同じのままでよい。一方、キャリアガス流量は従来の半分量であるので、供給する全ガス流量中のV族材料ガスの割合は2倍に上昇する。このためV族材料ガスの分圧も2倍となる。この高い分圧はV族原子の膜からの離脱を抑制するのに効果的であり、従って従来よりも質の高い膜が得られるのである。

30

【0033】

以上のように本発明の方法によれば、少ないキャリアガス流量で従来装置の最適条件と同等の成膜が実現できるのみならず、揮発成分の材料ガス分圧を従来よりも格段に高めることが出来、そのため従来よりも高品質の成膜が実現可能となる。

40

【0034】

前にも述べたように、実際の構造においては成膜エリアを完全に凹部34に限定することは出来ないが、凸部36と凹部34の高さ比、面積比を適当に選べば、本発明の効果は十分に得られる。また凸部の側面であるフローチャンネルの側壁35が流れのパターンに幾らか影響を与えるが、この効果は限定的である。もし側壁35の影響を補正したければ、これは流速に関係するものなので、ガス条件の微調整により矯正可能である。

【0035】

最後に堆積速度の時間推移について考察する。本発明では基板が公転する間に、凹部34である成膜領域と、凸部36の成膜がなされない領域とを交互に通過することになる。従って堆積速度の時間推移を考えると、それは矩形あるいはパルス的になると考えられる

50

。これが問題となるか否かは当然関心の対象である。これについては、近年ではパルスMO CVD法など原料供給をパルス状に行う成膜方式も報告されており(C.Bayram et.al. Proc. of SPIE Vol. 7222 722212-1など)、通常の成膜方法を上回る結果も出ている。このことを鑑みれば、堆積速度が矩形あるいはパルスの的に推移することには基本的に問題はないと言える。またパルスのな堆積速度が膜質均一性に与える影響については、基板の全ての場所において同様にパルスのな堆積速度となるため、このことが均一性には影響することはない。つまり従来方法と同様に、均一性に関してはあくまで堆積速度曲線のみが支配すると考えてよい。以上のような考察から、パルスのな堆積速度の時間推移は、あらゆる観点から欠点にはなりえないと結論できる。

【0036】

このように本発明は、従来と比べ如何なる欠点もない一方で、高い材料ガス分圧による膜質の向上とガス消費の大幅削減という、絶大な利点を有するのである。

【0037】

<本発明の詳細な構造>・・・次に、図3～図7も参照して本発明の成膜装置の構造について詳細に説明する。図3は、対向面形成部材の他の例を示す平面図である。図4は、対向面形成部材の他の例を示す断面図である。図5は、本発明のリアクタ構造を示す分解斜視図である。図6は、本発明のリアクタ構造を示す断面図である。図7は、本発明のインジェクタ構造を示す分解斜視図である。図5及び図6に示すように、対向面形成部材30とインジェクタ部40以外は従来構造と全く同じとしてよい。本発明の根幹をなす対向面形状に関しては、設計パラメータとして対向面の平面形状及び断面形状、凹部凸部の面積比率及び高さ比率、そしてフローチャネルの分割数が挙げられる。

【0038】

図1には平面図における凹部34の形状として扇形の例を示したが、長方形、あるいはこれらの組合せでも類似の効果は得られる。それぞれの成膜条件等を勘案し、適宜形状を選択すれば良い。図3に示す対向面形成部材70は、凹部74が長方形部分74Aと扇状部分74Bを組み合わせた形状となっている。また、凹部の断面形状に関しては、図2には矩形の例を示したが、もちろん台形、三角形、あるいはサインカーブのような曲面でも同様な効果が得られるのは明らかである。よりスムーズな流れという観点では曲面を含む形状が適しているかもしれない。図4は、凹凸形状の断面形状を台形とし、エッジにフィレット75を施した例を示した。

【0039】

次に凹部34と凸部36の面積比率に関してであるが、凹部34の面積比率が小さいほどキャリアガスの節減効果、そして揮発成分材料ガス分圧の上昇効果は高い。ただし凹部34の面積を小さくしすぎると、成長に寄与しない凸部36の通過時間が長くなり、これは場合によっては非常に薄い膜層を形成する際に不利となる可能性がある。自公転の回転速度にもよるが、凹部34の面積比率としては20～80%程度が許容範囲であろう。

【0040】

凹部34と凸部36の高さ比に関しては、サセプタは自公転する一方、対向面は静止しているので、凸部36とサセプタ20の間には隙間が必要である。凹部34と凸部36のフローチャネル高さ(サセプタと対向面間の距離)の比は、もちろんこれが大きいほど発明の効果は大きい。しかしながら、少しでも高低差あれば理論的には幾らかの効果は得られる。現実的に満足できる効果を得ようと思えば、この高さ比率は凸部：凹部で1：2程度は設けたい。高さ比を大きくするためには、凸部36とサセプタ20間の距離は小さいほど有利であるが、これを小さくしすぎるとサセプタ20の熱変形等により、サセプタ20と対向面凸部36が接触してしまうリスクが高くなる。このことから凸部36とサセプタ20との隙間の下限は、1mm程度は必要であろう。凹部34のフローチャネルの高さは、従来タイプの最適条件に一致させる必要がある。現実には使用されている自公転式炉のフローチャネル高さは5～40mmと幅がある。もし凹部34の高さとして40mmを選ぶならば凸部36の高さは20mmぐらいいでも効果は現れる。また凹部の高さを5mmとするならば、凸部36の高さは2.5mm以下、望ましくは1mm程度に抑えたい。以上のことから、凸

10

20

30

40

50

部36の高さは1~20mm、凹部34の高さは5~40mm程度の範囲内で、条件に応じ適宜選択するのが良い。

【0041】

対向面形状の最後の設計パラメータはフローチャンネルの分割数である。分割が多いほど周方向の偏りが小さくなるため、この意味では分割数は多いほど良い。ところが分割数を多くして、凹部フローチャンネルの幅が小さくなりすぎると、フローチャンネル側壁35の影響が強くなる。これが直ちに問題となるわけではないが、従来の方式で得られてきたデータからの乖離が大きくなることは避けられない。これらのことを勘案すると、分割数は厳密ではないが3~30程度が適当な範囲であろう。リアクタのサイズにもよるが、量産に使用される大型装置では、この範囲内であれば従来方式で得られたデータをそのまま活用することが可能である。分割数が3より小さくなると凸部1個あたりの面積が大きくなり、ここを通過する時間が長くなりすぎる。また30より大きくなるとフローチャンネルの幅が小さくなりすぎ、流体力学的観点からガス流れに対するフローチャンネル側壁面の影響が顕著に現れる。

【0042】

対向面形状のほかインジェクタについても、対向面の凹凸形状に合わせてその形状を変えるのが良い。ここでもIIIV族化合物半導体を例に引くが、この分野でしばしば使用されるインジェクタは、V族とIII族が混合するポイントをなるべく基板近くに持つこと、そしてインジェクタを低温に保つことにより原料分子の前駆反応を抑制するなどの機能を有する。従来装置では、図10に示すように、インジェクタ部120は、基本的に単純な円板形状の第1のインジェクタ構成部材122及び第2のインジェクタ構成部材124により構成されている。それに対し本発明の下では、乱流を防ぐために図5あるいは図7に見られるように、対向面フローチャンネルと連続(対応)になるようにインジェクタ内の流れも分割するのが好ましい。

【0043】

具体的には、図5及び図7に示すように、本実施例では、分離供給型のインジェクタ部40を構成する第1のインジェクタ構成部材42と第2のインジェクタ構成部材50は、図3に示す対向面形成部材と同様の表面形状を有している。第1のインジェクタ構成部材42は、放射状に扇型の凹部44と凸部46が交互に形成されており、中央に、貫通孔48Aが形成されたガス導入口48を有している。第2のインジェクタ構成部材50は、放射状に扇型の凹部52と凸部54が交互に形成されており、中央に、貫通孔56Aが形成されたガス導入口56を有している。

【0044】

このような構造とすることでインジェクタ部材が下面に接触する面積を大きく取ることができ、そしてこの接触部をヒートシンクとすることで、インジェクタを従来よりもより低温に保つことが可能となる。インジェクタを下面に接触させ冷却する技術としては、特開2011-155046号公報に記載された技術があるが、この発明では接触部形状を円柱状とすることで流れを乱さない工夫がなされているが、その効果は十分とはいえない。本発明の構造であれば接触面積を十分大きく取ることが出来る上に乱流の発生も防げるので、その利点は絶大である。

【0045】

ここまでインジェクタ部40を有する構造に関して説明してきたが、本発明はインジェクタを使用する場合に限定されるものではない。砒素系やリン系などの化合物半導体の成膜においてはインジェクタを使用しない場合も多い。この場合においても対向面に凹凸を付け、複数のフローチャンネルに分割するという本発明の概念は適用でき、またその効果が得られることは明らかである。

【0046】

また上記説明に用いた図においては、基板表面が鉛直下向きとなるいわゆるフェイスダウンタイプの装置に関し示したが、通常の成膜条件においては重力の影響は軽微であるので、基板表面が上向きとなるいわゆるフェイスアップの装置においても、本発明による効

10

20

30

40

50

果が等しく得られることは自明である。従って本発明はフェイスダウンタイプに限定されるものではない。

【0047】

本発明の対向面形成部材30及びインジェクタ部40を形成する部材の材料に関しては、純度及び使用される環境に耐える耐熱、耐腐食性が満たされれば基本的にはどの材料でも良い。具体的には半導体あるいは酸化物の成膜に一般的によく使用されるステンレス、モリブデン等の金属材料、カーボン、炭化ケイ素や炭化タンタル等の炭化物、窒化ホウ素、窒化ケイ素、窒化アルミニウム等の窒化物、石英、アルミナ等の酸化物系材料などが挙げられ、この中から適宜選択すればよい。

【0048】

<実験例1>・・・窒化ガリウム膜の堆積速度曲線

次に、本発明を窒化ガリウム膜の成膜に適用し、従来方法と比較した例を紹介する。まず比較のために行った従来方法の例に関して説明する。従来例では図10に示された断面構造を有するリアクタを用いた。この装置において膜質、原料利用率、キャリアガス消費量、及び流速の観点から条件出しを行ったところ、最適な成膜圧力は25kPa、フローチャネル高さは1.4mm、キャリアガス流量は120SLMであった。一方本発明の構造としては、対向面形成部材として、図1及び図2に示すような矩形の断面形状を持ち、12分割のフローチャネルとなる対向面を採用した。凹部34、凸部36のいずれも開き角は15度で、これらは30度の周期性を有し、従って12回対称の形状である。凹部34とサセプタ20との距離は従来構造での最適値である1.4mmに一致させ、凸部36とのそれは4mmとした。対向面形成部材の材質にはカーボンを用いた。

【0049】

さらに従来構造に合わせ、3層の流れとなるインジェクタを使用した。3層のフローチャネルの高さは各4mmで、それぞれを仕切る板の板厚が1mmである。合わせると対向面部フローチャネル高さに等しい1.4mmとなる。3層のうち下二つのフローチャネル形状は対向面のフローチャネルと連続(対応)となるよう12分割とし、上の一層は分割はなく360度均等に流れる形態とした。なおインジェクタに用いた材質はモリブデンである。これらの構造を図5、図6に示した。図5は部品に分割した斜視図、図6は組み上げたときの断面図である。断面図における右半分は凹部フローチャネルを表し、左半分は凸部フローチャネルを表している。

【0050】

以下の表1に窒化ガリウム膜成膜時のガス条件を示した。従来例に関しては最適条件であるキャリアガス総流量120SLMの条件、本発明の例では従来例と同じ120SLM、その半分の60SLM、そして結果的に従来例と類似の堆積速度曲線の得られた35SLMの実験条件について掲載している。

【表1】

	装置構造	成長圧力 (kPa)	キャリアガス流量 (SLM)			TMGa流量 (sccm)	NH ₃ 分圧 (kPa)
			H ₂	NH ₃	総流量		
a)	従来型	25	96	24	120	100	5
b)	本発明型	25	96	24	120	100	5
c)	本発明型	25	36	24	60	100	10
d)	本発明型	25	11	24	35	100	17.1

【0051】

図8に各条件における成膜の結果得られた堆積速度曲線を示す。これは自転なしで5rpmの公転のみによる成膜の結果である。本発明構造で従来と同じ120SLMのキャリアガス流量とした場合、堆積速度曲線は横方向に拡大し縦方向に縮小している。この様態は流速が速すぎることを表しており、冒頭考察した理論とよく合う結果であった。キャリアガス

10

20

30

40

50

流量を減らしていくと堆積速度曲線は急峻化していき、35 SLMのキャリアガス流量において従来例の堆積速度曲線に近い結果が得られた。本発明の構造ではフローチャネルの断面積は従来約64%となっているため、従来約29%の流量である35 SLMにおいて類似の堆積速度曲線が得られたことは奇妙に思える。しかし拡散係数を考慮すればこれは妥当な結果と言える。本発明例ではキャリアガス中のNH₃比率が上昇しているが、NH₃は水素に比べ分子量が格段に大きいため、グラハムの法則から拡散係数が水素よりも大幅に小さい。堆積速度曲線は移流拡散方程式に支配されるため、流速のみならず拡散係数によっても変化する。本実験例ではキャリアガスの実効的な拡散係数が低下したために、予想以上に少ないキャリアガス流量で従来と類似の堆積速度曲線が得られたと考えられる。

【0052】

このように本発明によれば、従来と同様の堆積速度曲線を得るのに、70%以上のキャリアガスの削減が可能となる上、表1より分かるようにNH₃分圧は従来5 kPaから17.1 kPaと3倍以上に上昇している。このため膜表面からの窒素原子の離脱が抑えられ、より高品質の膜が得られることになる。

【0053】

<実験例2>・・・多重量子井戸の発光特性

次に、実施例1にある従来型と本発明型の装置を用い、InGaN/GaNの多重量子井戸を作製し、フォトルミネッセンスのスペクトルにより評価した。それぞれの成膜条件を以下の表2に記した。

【表2】

	装置構造	成長圧力 (kPa)	キャリアガス流量 (SLM)			III族流量 (sccm)			NH ₃ 分圧 (kPa)
			N ₂	NH ₃	総流量	TEG (障壁)	TEGa (井戸)	TMIn (井戸)	
a)	従来型	30	26	24	50	500	185	200	14.4
b)	本発明型	30	10	21	31	416	154	200	20.3

【0054】

これらの成膜条件の下、4インチサイズの基板を用いて、公転5 rpm、自転15 rpmの回転速度で基板を自公転させて成膜を行った。図9は得られた多重量子井戸のフォトルミネッセンスのスペクトルである。この図より、本発明構造で作製された多重量子井戸の方がピーク強度が15%程度高く、また半値幅はより小さくなっていることが分かる。当然のことながら、ピークが急峻且つ強度が強い方がより高品質である。このように多重量子井戸の品質が向上したのは、表2にあるようにNH₃の分圧が約40%高くなっているためと考えられる。これは本発明構造を用いることにより、キャリアガス総流量を減らせたために実現できたことである。また、ガスの使用量の他、III族の使用量も減ずることにも出来たため、成膜コストの削減にも大いに寄与することが分かった。

【0055】

なお、本発明は、上述した実施例に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々変更を加え得ることができる。例えば、以下のものも含まれる。

- (1)前記実施例で示した形状、寸法は一例であり、同様の効果を奏する範囲内で適宜設計変更可能である。
- (2)前記実施例で示した対向面形成部材30やインジェクタ部40を構成する材料も一例であり、同様に効果を奏する範囲内で適宜変更可能である。
- (3)前記実施例では、インジェクタ部40を用いることとしたが、これも一例であり、インジェクタは必要に応じて設けるようにすればよい。また、インジェクタ部40の構造も一例であり、必要に応じて適宜設計変更可能である。
- (4)前記実施例では、基板表面が下を向くフェイスダウンのタイプとしたが、基板表面が上を向くフェイスアップにおいても適用可能である。

【産業上の利用可能性】

【 0 0 5 6 】

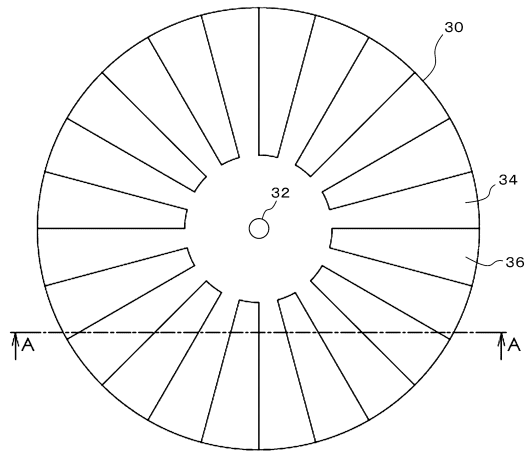
本発明によれば、少ないキャリアガス流量で従来装置の最適条件と同等の成膜が実現できるのみならず、揮発成分の材料ガス分圧を従来よりも格段に高めることができ、そのため従来よりも高品質の成膜が実現可能となるため、自公転式の気相成膜装置の用途に適用できる。特に、化合物半導体膜及び酸化物膜の成膜用途に好適である。

【 符号の説明 】

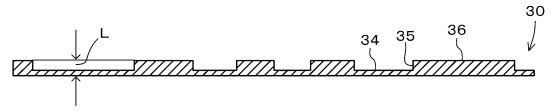
【 0 0 5 7 】

1 0	: リアクタ構造	
2 0	: サセプタ	
2 2	: 基板保持部材	10
2 4	: 均熱板	
2 6	: 受部	
3 0	: 対向面形成部材	
3 0 A	: 対向面	
3 2	: 開口部	
3 4	: 凹部	
3 4 A	: 凹部対向面	
3 5	: 側壁	
3 6	: 凸部	
3 6 A	: 凸部対向面	20
3 8	: ガス排気部	
4 0	: インジェクタ部	
4 2	: 第 1 のインジェクタ構成部材	
4 4	: 凹部	
4 6	: 凸部	
4 8	: ガス導入口	
4 8 A	: 貫通孔	
5 0	: 第 2 のインジェクタ構成部材	
5 2	: 凹部	
5 4	: 凸部	30
5 6	: ガス導入口	
5 6 A	: 貫通孔	
6 0	: ガス導入部	
7 0	: 対向面形成部材	
7 2	: 開口部	
7 4	: 凹部	
7 4 A	: 長方形部分	
7 4 B	: 扇状部分	
7 5	: 斜面	
7 6	: 凸部	40
1 0 0	: リアクタ	
1 1 0	: 対向面形成部材	
1 2 0	: インジェクタ部	
1 2 2	: 第 1 のインジェクタ構成部材	
1 2 4	: 第 2 のインジェクタ構成部材	
W	: 基板	

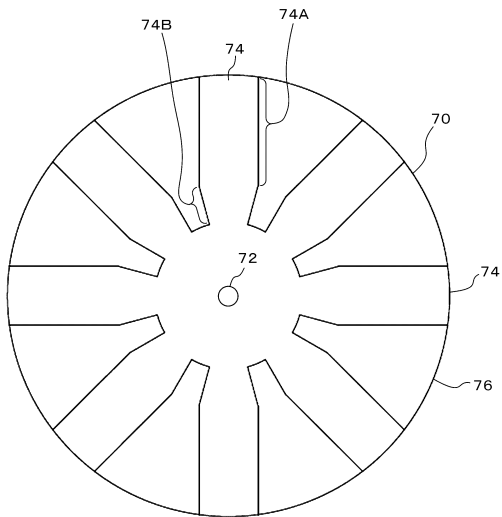
【図 1】



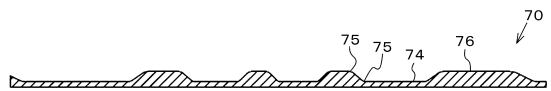
【図 2】



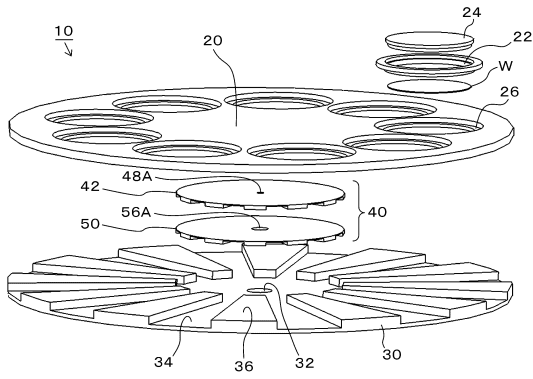
【図 3】



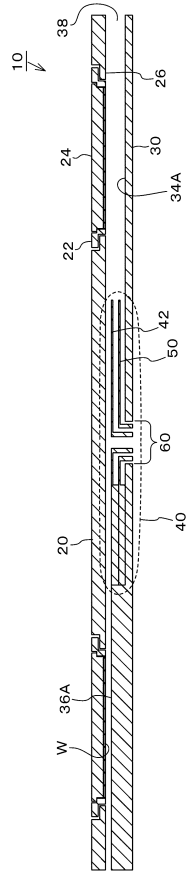
【図 4】



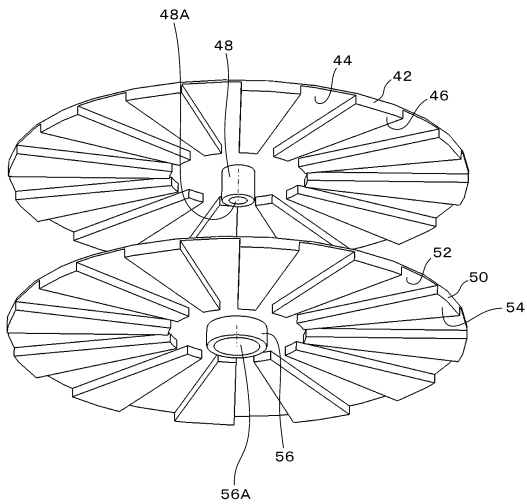
【図5】



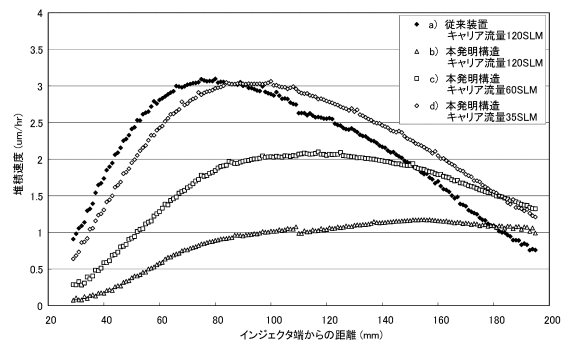
【図6】



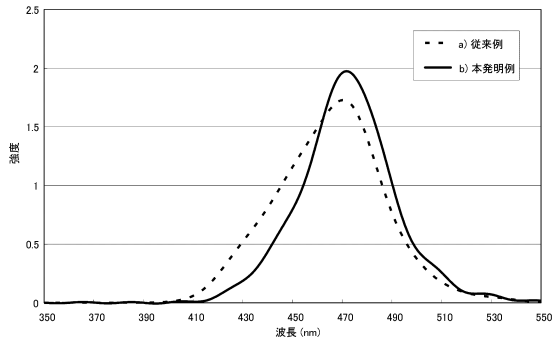
【図7】



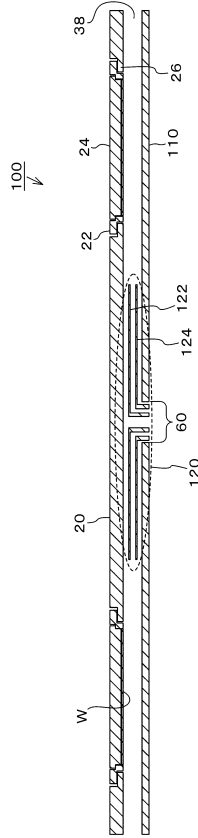
【図8】



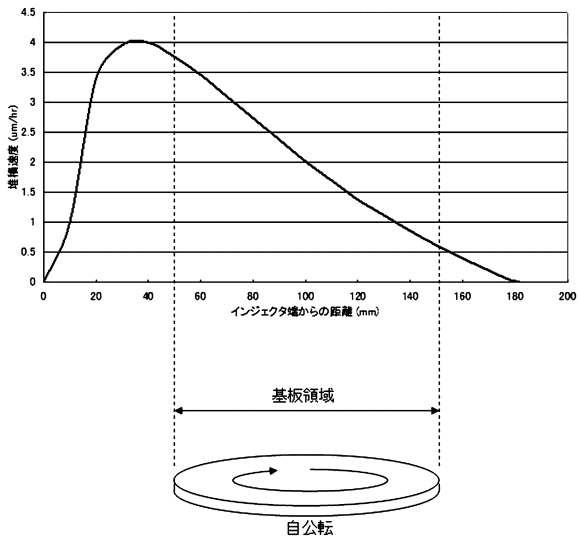
【図 9】



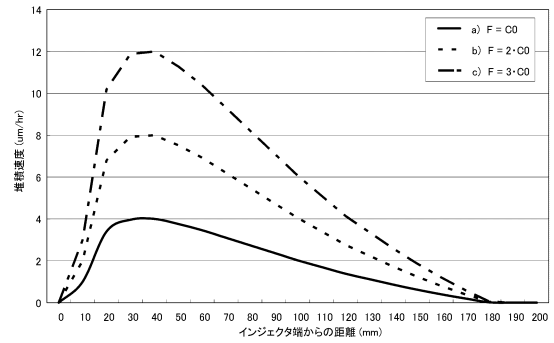
【図 10】



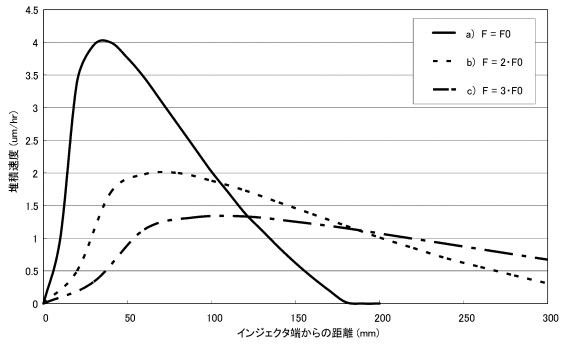
【図 11】



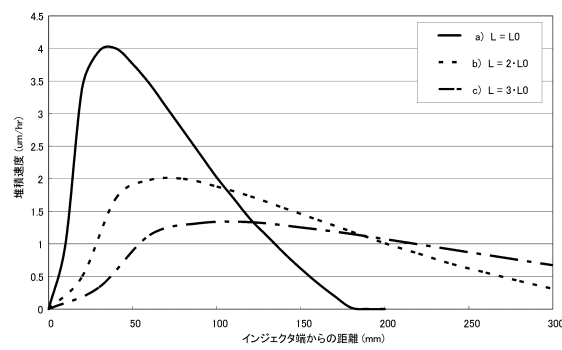
【図 12】



【 図 13 】



【 図 14 】



フロントページの続き

- (72)発明者 盧柏菁
台湾新竹市科學園區研新一路18號 漢民科技股 分 有限公司内
- (72)発明者 薛士雍
台湾新竹市科學園區研新一路18號 漢民科技股 分 有限公司内
- (72)発明者 鐘 步 青
台湾新竹市科學園區研新一路18號 漢民科技股 分 有限公司内

審査官 正山 旭

- (56)参考文献 特開平08-181076(JP,A)
特開2010-206025(JP,A)
特開2002-305155(JP,A)
特開2007-180340(JP,A)
特開2006-228782(JP,A)
特開2013-197474(JP,A)
特開2005-286069(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/205
C23C 16/455