

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2007-535147

(P2007-535147A)

(43) 公表日 平成19年11月29日(2007.11.29)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 21/205 (2006.01)	H O 1 L 21/205	5 F O 4 5
H O 1 L 29/78 (2006.01)	H O 1 L 29/78 3 O 1 S	5 F 1 4 O

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 17 頁)

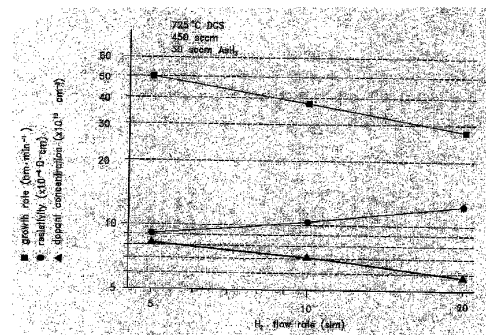
(21) 出願番号 特願2007-509644 (P2007-509644) (86) (22) 出願日 平成17年4月21日 (2005. 4. 21) (85) 翻訳文提出日 平成18年12月4日 (2006. 12. 4) (86) 国際出願番号 PCT/US2005/013674 (87) 国際公開番号 W02005/116304 (87) 国際公開日 平成17年12月8日 (2005. 12. 8) (31) 優先権主張番号 60/565, 033 (32) 優先日 平成16年4月23日 (2004. 4. 23) (33) 優先権主張国 米国 (US) (31) 優先権主張番号 60/565, 909 (32) 優先日 平成16年4月27日 (2004. 4. 27) (33) 優先権主張国 米国 (US)	(71) 出願人 500019890 エーエスエム アメリカ インコーポレイ テッド アメリカ合衆国 8 5 0 3 4 - 7 2 0 0 アリゾナ州 フィーニックス イースト ユニバーシティ ドライブ 3 4 4 0 (74) 代理人 100065215 弁理士 三枝 英二 (74) 代理人 100076510 弁理士 掛樋 悠路 (74) 代理人 100124028 弁理士 松本 公雄
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 インサイチュードーフトエピタキシャルフィルム

## (57) 【要約】

インサイチュードーフトエピタキシャル半導体層を堆積するための方法は、パターニングされた基板を収容する処理チャンバ内を約80 torrより高压に維持するステップを含む。本方法は更に、前記処理チャンバ内ヘジクロロシランのフローを提供するステップを含む。本方法は更に、前記処理チャンバ内ヘドーパント水素化物のフローを提供するステップを含む。本方法は更に、パターニングされた前記基板上的単結晶物質上に、約3 nm min<sup>-1</sup>より速い速度で、前記エピタキシャル半導体層を選択的に堆積するステップを含む。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

インサイチュードエピタキシャル半導体層を堆積するための方法であって、  
 パターニングされた基板を収容する処理チャンバ内を約 80 torr より高压に維持するステップと、

前記処理チャンバ内ヘジクロロシランのフローを提供するステップと、

前記処理チャンバ内ヘドーパント水素化物のフローを提供するステップと、

パターニングされた前記基板上の単結晶物質上に、約  $3 \text{ nm min}^{-1}$  より速い速度で、前記エピタキシャル半導体層を選択的に堆積するステップとを含む方法。

## 【請求項 2】

前記エピタキシャル半導体層が約  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  より高いドーパント濃度を有する請求項 1 の方法。

## 【請求項 3】

前記エピタキシャル半導体層が約  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  ~ 約  $2 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$  の範囲のドーパント濃度を有する請求項 1 の方法。

## 【請求項 4】

パターニングされた前記基板が、露出されたシリコン酸化物ベースの絶縁物質を含み、選択的に堆積するステップが、約  $5 \text{ nm min}^{-1}$  より速い速度での堆積を含む請求項 1 の方法。

## 【請求項 5】

ジクロロシランの前記フローが約 200 sccm より多い請求項 1 の方法。

## 【請求項 6】

ジクロロシランの前記フローが約 300 sccm ~ 約 5 slm の範囲である請求項 1 の方法。

## 【請求項 7】

前記ドーパント水素化物（希釈ガス中で 1 % に希釈された）の前記フローに対するジクロロシランの前記フローの割合が、約 4 : 1 ~ 約 100 : 1 の範囲、若しくは前記ドーパント水素化物の異なる希釈度に関して均等値である請求項 1 の方法。

## 【請求項 8】

前記ドーパント水素化物（希釈ガス中で 1 % に希釈された）の前記フローに対するジクロロシランの前記フローの割合が、約 50 : 1 ~ 約 100 : 1 の範囲、若しくは前記ドーパント水素化物の異なる希釈度に関して均等値である請求項 1 の方法。

## 【請求項 9】

前記ドーパント水素化物（希釈ガス中で 1 % に希釈された）の前記フローに対するジクロロシランの前記フローの割合が、約 4 : 1 ~ 約 50 : 1 の範囲、若しくは前記ドーパント水素化物の異なる希釈度に関して均等値である請求項 1 の方法。

## 【請求項 10】

堆積の間中、前記処理チャンバ内を約 100 torr より高压に維持するステップを更に含む請求項 1 の方法。

## 【請求項 11】

堆積の間中、前記処理チャンバ内をほぼ大気圧に更に維持する請求項 1 の方法。

## 【請求項 12】

選択的に堆積するステップの間、エッチャントをフローするステップを更に含む請求項 1 の方法。

## 【請求項 13】

前記エッチャントが HCl を含む請求項 12 の方法。

## 【請求項 14】

選択的に堆積するステップが、 $x \text{ cm}^2$  のウィンドウについての不均一性の平均が、 $(0.5) x \text{ cm}^2$  のウィンドウについての不均一性の平均から約 5 % 異なる場合のローディング効果より、少ないローディング効果を示す請求項 1 の方法。

10

20

30

40

50

## 【請求項 15】

選択的に堆積するステップが、前記基板上の所定の半導体ウィンドウ内で、20%未満の不均一性を有するマイクロローディング効果を示す請求項1の方法。

## 【請求項 16】

前記ジクロロシラン及び前記ドーパント水素化物と共にカーボン前駆体をフローし、前記エピタキシャル半導体層内にカーボンを添加するステップを更に含む請求項1の方法。

## 【請求項 17】

前記カーボン前駆体が有機シリコン前駆体を含む請求項16の方法。

## 【請求項 18】

前記カーボン前駆体がメチルシランを含む請求項16の方法。

10

## 【請求項 19】

前記ジクロロシラン及び前記ドーパント水素化物と共にゲルマニウム前駆体をフローし、前記エピタキシャル半導体層内にゲルマニウムを添加するステップを更に含む請求項1の方法。

## 【請求項 20】

前記ゲルマニウム前駆体がゲルマンを含む請求項19の方法。

## 【請求項 21】

前記ドーパント水素化物がアルシンを含む請求項1の方法。

## 【請求項 22】

前記ドーパント水素化物の前記フローが、約5～約200 sccmの範囲のアルシン（希釈ガス中で1%に希釈された）、若しくはアルシンの異なる希釈度に関して均等値である請求項21の方法。

20

## 【請求項 23】

前記ドーパント水素化物がホスフィンを含む請求項1の方法。

## 【請求項 24】

トランジスタ構造のためのコンタクトを形成する方法であって、

画定されたソース活性領域及び画定されたドレイン活性領域を有する基板を提供するステップと、

前記ソース及びドレイン活性領域を、ジクロロシラン、ドーパント水素化物、及びエッチャントガスを含む前駆体混合物に露出して、それにより、前記ソース及びドレイン活性領域上に、インサイチュードーフトエピタキシャル半導体層を選択的に堆積するステップとを含む方法。

30

## 【請求項 25】

露出するステップが、堆積圧力を約100 torrより高く維持するステップを含む請求項24の方法。

## 【請求項 26】

露出するステップが、枚葉式ウェーハ堆積チャンバ内へ約200 sccmより多いジクロロシランを提供するステップを含む請求項24の方法。

## 【請求項 27】

前記エピタキシャル半導体層が、約1 m<sup>2</sup>・cm未満の堆積に応じた抵抗率を有する請求項24の方法。

40

## 【請求項 28】

前記エピタキシャル半導体層が、約0.8 m<sup>2</sup>・cm未満の堆積に応じた抵抗率を有する請求項24の方法。

## 【請求項 29】

前記活性領域がリセスを備える請求項24の方法。

## 【請求項 30】

露出するステップが、堆積温度を約650～約750の範囲に維持するステップを含む請求項24の方法。

## 【請求項 31】

50

露出するステップが、堆積温度を約 450 ~ 約 650 の範囲に維持するステップを含む請求項 24 の方法。

【請求項 32】

前記エッチャントガスが HCl を含む請求項 24 の方法。

【請求項 33】

シリコン含有層を堆積するための工程であって、

約 100 torr より高圧のチャンバを提供するステップと、

前記チャンバ内に収容された基板の全面に、ジクロロシラン及びドーパント水素化物をフローするステップと、

前記基板上に、約  $25 \text{ nm min}^{-1}$  より速い速度でシリコン含有層を選択的に堆積するステップとを含む工程。 10

【請求項 34】

前記ドーパント水素化物が n 型ドーパント水素化物である請求項 33 の方法。

【請求項 35】

前記シリコン含有層が約  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  より高いドーパント濃度を有する請求項 33 の方法。

【請求項 36】

前記シリコン含有層が約  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  ~ 約  $2 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$  の範囲のドーパント濃度を有する請求項 33 の方法。

【請求項 37】

前記エピタキシャル堆積が選択的な堆積である請求項 33 の方法。 20

【請求項 38】

前記シリコン含有層が、約  $1 \text{ m} \cdot \text{cm}$  未満の堆積に応じた抵抗率を有する請求項 33 の方法。

【請求項 39】

前記シリコン含有層が、約  $0.8 \text{ m} \cdot \text{cm}$  未満の堆積に応じた抵抗率を有する請求項 33 の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、概して、選択的なエピタキシャル堆積に関し、より詳細には、ドーフト半導体層のインサイチュ急速堆積に関する。 30

【背景技術】

【0002】

ウェーハ処理能力の向上は、特に、枚葉式ウェーハ処理に関して、半導体産業において継続的な挑戦である。枚葉式ウェーハ処理において、個々のウェーハは単一の処理ツール中で連続して処理される。向上したウェーハ処理能力は、概して、費用の削減及び動作マージンの向上を導く。

【0003】

増大したウェーハ処理能力が有益となる一応用例は、集積回路装置を形成するための、ドーフト（外因性）及びアンドーフト（真性）両方の半導体物質のエピタキシャル堆積である。或る応用例において、そのようなエピタキシャル堆積が、フィールド分離領域等の他の構造が既に形成された後に行われる。フォトリソグラフィパターンニング及びエッチングに引き続き行われる、パターンニングされたウェーハ上へのブランケット堆積は、パターンニングされたウェーハ上への選択的な堆積と比較して、概して、高価な追加のステップを要求する。詳細には、選択的なエピタキシャル堆積は、周囲の絶縁層では殆ど又は全く堆積せずに、パターンニングされたウェーハ上の露出した単結晶半導体物質上でのみ起こるように構成可能である。従って、選択的な堆積の使用は、或る応用例において後続のマスク及びエッチングステップの省略を可能にし、それにより処理能力を増大させる。同様に、ドーフト半導体物質の堆積について、インサイチュドーピングの使用は、後続のドーパ 40 50

ト注入、拡散、及び／又は活性化ステップの省略を可能にすることにより、或る応用例において処理能力を増大させる。

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0004】

不利なことに、多くの選択的な堆積の化学的性質は、遅い堆積速度を引き起こす傾向があるので、そのようなフォトリソグラフィ及びエッチングステップの省略により得られた処理能力のうちのいくらか又は全てが、その遅い堆積速度のために失われる。同様に、多くのインサイチュドーピングの化学的性質もまた、堆積速度を減少させるので、そのようなインサイチュドーピングを行うことにより得られた処理能力のうちのいくらか又は全てが、その遅い堆積速度のために失われる。特に問題となるのは、高濃度のヒ素又はリンを用いるドーピングといった高濃度のn型ドーピングである。通常の技術を使用して、減圧化学気相成長法(RPCVD)及び低圧化学気相成長法(LPCVD)の圧力範囲以上で、化学気相成長プロセスを用いて行われる選択的エピタキシャル成長を用いて、約 $10^{19} \text{ cm}^{-3}$ より高いn型ドーピングレベルを生成することは、困難又は不可能である。従って、インサイチュドーフト半導体物質を含む、半導体物質の選択的なエピタキシャル堆積を行うための改善された方法が開発されてきた。

10

【0005】

本発明の一実施形態によると、インサイチュドーフトエピタキシャル半導体層を堆積するための方法は、パターニングされた基板を収容する処理チャンバ内を約80 torrより高圧に維持するステップを含む。本方法は更に、前記処理チャンバ内ヘジクロロシランのフローを提供するステップを含む。本方法は更に、前記処理チャンバ内ヘドーパント水素化物のフローを提供するステップを含む。本方法は更に、パターニングされた前記基板上の単結晶物質上に、約 $3 \text{ nm min}^{-1}$ より速い速度で、前記エピタキシャル半導体層を選択的に堆積するステップを含む。

20

【0006】

本発明の別の実施形態によると、トランジスタ構造のためのコンタクトを形成する方法は、画定されたソース活性領域及び画定されたドレイン活性領域を有する基板を提供するステップを含む。本方法は更に、前記ソース及びドレイン活性領域を、ジクロロシラン、ドーパント水素化物、及びエッチャントガスを含む前駆体混合物に露出する方法を含む。このことは、前記ソース及びドレイン活性領域上への、インサイチュドーフトエピタキシャル半導体層の選択的な堆積に帰着する。

30

【0007】

本発明の別の実施形態によると、シリコン含有層を堆積するための工程は、約100 torrより高圧のチャンバを提供するステップを含む。本工程は更に、前記チャンバ内に囲まれた基板の全面に、ジクロロシラン及びn型ドーパント水素化物をフローするステップを含む。本工程は更に、前記基板上に、約 $25 \text{ nm min}^{-1}$ より速い速度でシリコン含有層を選択的に堆積するステップを含む。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

インサイチュドーフト半導体物質を含む、半導体物質の選択的なエピタキシャル堆積を行うための改善された方法の例示的な実施形態が本明細書に開示される。本明細書に開示された特定の実施形態を用いて堆積される例示的な半導体物質は、シリコンフィルム及びシリコンゲルマニウムフィルムを含む。本明細書に開示された或る化学気相成長法(CVD)は、改善された結晶品質、導入されたドーパントの改善された電気的活性、及び増大した成長速度を有する半導体フィルムを生成する。特定の実施形態において、シリコン前駆体としてのジクロロシラン(DCS)、ドーパント水素化物、及び任意に、選択性を改善するHClを用いて、大気圧条件の下で高ドーフト選択的堆積が可能である。ゲルマン又はメチルシラン等のゲルマニウム及び／又はカーボン前駆体が、混合プロセスガスに任意に加えられて、ゲルマニウム及び／又はカーボンを含むフィルムを形成する。

40

50

## 【0009】

好ましくは約80 torrより高い、より好ましくは約100 torrより高い、そして、最も好ましくは大気圧の圧力での、LPCVD及びRPCVD圧力範囲より高い圧力での堆積は、高いドーパント含有率及び速い堆積速度の両方を伴い選択的となり得る。図7に示されるように、活性ドーパントの含有率は、圧力につれて著しく増大する。図7に説明されるデータは、エピタキシャルシリコンのブランケット層が200 mmウェーハ上に約700 の温度で成長され、実質的にHClフローの無い例示的な実施形態から得られた。図示されたように、約10 torr～約40 torrの範囲で、堆積に応じた抵抗率が約3.0 m $\cdot$ cmのフィルムが得られる一方、約100 torrを越える圧力で、その他は同様の条件の下で、堆積に応じた抵抗率が約1.0 m $\cdot$ cmであるフィルムが得られる。他の実施形態において、図5に説明されたように、同様の抵抗率を有するシリコンフィルムが、別の温度だがその他は同様の工程条件を用いて成長される。詳細には、一実施形態において、0.8 m $\cdot$ cmの抵抗率を有するシリコンフィルムが700 で成長され、別の実施形態において、1.3 m $\cdot$ cmの抵抗率を有するシリコンフィルムが750 で成長される。

## 【0010】

図11において示されるように、シリコンゲルマニウム堆積について同様の結果が得られた。図11に示されるデータは、エピタキシャルシリコンゲルマニウムのブランケット層が200 mmウェーハ上に約730 の温度で成長され、実質的にHClフローの無い例示的な実施形態から得られた。図11に示されたように、約3  $\cdot$  cmの低い抵抗率を有するフィルムについて、フィルムの抵抗率は、約200 torrより高圧での堆積用にフィルムが成長される圧力にほとんど依存しない。

## 【0011】

改善された実施形態において、堆積に引き続きアニールを行うことにより、ドーパント半導体フィルムの抵抗率は更に減少される。例えば、一実施形態において、約900 での1分間のアニールは、シリコンフィルムの抵抗率を約1.1  $\cdot$  cmから約0.88  $\cdot$  cmに減少させる。別の実施形態において、約1000 での1分間のアニールは、シリコンフィルムの抵抗率を約1.1  $\cdot$  cmから約0.85  $\cdot$  cmに減少させる。別の実施形態において、約1050 でのスパイクアニールは、シリコンフィルムの抵抗率を約1.1  $\cdot$  cmから約0.93  $\cdot$  cmに減少させる。別の実施形態において、約1050 での3秒間のアニールは、シリコンフィルムの抵抗率を約1.1  $\cdot$  cmから約0.86  $\cdot$  cmに減少させる。或る実施形態においてアニールがインサイチュに行われるが、別の実施形態においてアニールがエクサイチュに行われる。

## 【0012】

通常、n型ドーパント前駆ガスの流量をシラン前駆ガスの流量と比較して増大させることは、堆積速度を減少させるであろうと理解されていた。しかしながら、本明細書に開示された或る実施形態においては、たとえドーパント前駆ガスの流量が半導体前駆ガスの流量と比較して相対的に増大されようとも、堆積速度は増大し得る。ドーパント前駆ガスの流量と比較して増大した流量の半導体前駆ガスを提供すると同時にドーパント含有率をエンハンスする手段もまた、本明細書に開示される。例示的な半導体前駆ガスは、DCS等のシリコン前駆ガス、及びゲルマン( $\text{GeH}_4$ )等のゲルマニウム前駆ガスを含む。

## 【0013】

選択的な堆積の例示的な一実施形態においては、シリコン窒化物ベースの物質又はシリコン酸化物ベースの物質といった絶縁物質の全面に、殆ど又は全く堆積が起こらない。或る実施形態において、選択的な堆積はHCl等のエッチャントを使用し、従って、選択的な堆積速度は、非選択的な堆積速度と比較して一般に低く抑えられる。例えば、選択的な堆積速度は、典型的には約50 nm min $^{-1}$ 未満である。一方、非選択的な堆積に関しては、或る実施形態において、堆積速度は同様に50 nm min $^{-1}$ 未満であるが、より多くの前駆ガスの流量が提供される他の実施形態において、堆積速度は50 nm min $^{-1}$ 以上である。

## 【0014】

パターニングされたウェーハ上に選択的な堆積が行われる応用例において、堆積速度は、好ましくは  $3 \text{ nm} \cdot \text{min}^{-1}$  より速い。シリコン及びシリコン酸化物をベースとする物質のみが基板上に露出される或る応用例において、さらに速い堆積速度であっても選択性は維持され、そのような一実施形態において、堆積速度は好ましくは  $5 \text{ nm} \cdot \text{min}^{-1}$  より速い。そのような堆積速度を達成するために、或る実施形態において用いられる選択された工程条件が、表Aにリストされる。拡散定数がより低い点で、ヒ素を用いたドーピングは或る応用例において有利であるが、改善された実施形態において、 $\text{PH}_3$  又は  $\text{B}_2\text{H}_6$  は  $\text{AsH}_3$  に置き換えられる。さらに、 $\text{GeH}_4$  ( $\text{H}_2$  中 1%) が混合プロセスガスに任意に加えられてシリコンゲルマニウムフィルムを生成し、及び/又はモノメチルシランが混合プロセスガスに加えられて、ドーフト  $\text{Si}:\text{C}$  層を生成する。

## 【0015】

## 【表1】

表A

パラメータ	典型値	好ましい範囲
温度( $^{\circ}\text{C}$ )	700	450~750
圧力(torr)	大気圧	80torr~大気圧
$\text{H}_2$ 流量(slm)	10	5~30
DCS 流量(sccm)	500	200~2000
$\text{AsH}_3$ 流量(sccm) ( $\text{H}_2$ 中 0.1%)	100	25~1000
$\text{HCl}$ 流量(sccm)	50	0~500

## 【0016】

図8は、本明細書に開示された或る実施形態に係る、選択的に成長されたエピタキシャルシリコンゲルマニウムフィルムについての成長特性を説明する。これらのフィルムは、750 及び 10 torr のチャンバ内で成長された。選択性を維持するために、異なる  $\text{GeH}_4$  流量について  $\text{HCl}$  の流量が変化された。図示されるように、 $\text{GeH}_4$  流量が増大するにつれて、ゲルマニウム含有率及びフィルム成長速度の両方が増大する。フィルムの成長速度を  $\text{GeH}_4$  流量の関数として、非ドーフト ( $\text{AsH}_3$  無し) 及びドーフト ( $\text{AsH}_3$  有り) フィルムの両方について説明する図9に説明されるように、混合プロセスガスへの  $\text{AsH}_3$  の添加は、フィルムの成長速度を減少させる。このフィルムは、 $\text{HCl}$  フロー無しで、700 及び 20 torr のチャンバ内で成長された。

## 【0017】

或る実施形態において、特に高い電気的活性ドーパント濃度を得ることができる。そのような実施形態は特に、トランジスタ構造のソース及びドレインコンタクトの形成に役立つ。そのような応用例の例は、リセスドソース及びドレイン構造と同様に、エレベータードソース及びドレイン構造のエピタキシャル堆積を含む。さらに、本明細書に開示された或る実施形態は、チャンネル構造の形成、及びパターニングされた基板上への高ドーフト構造の形成といった他の応用例において特に役立つ。本明細書に開示された或る実施形態を用いて形成可能な例示的な高ドーフト構造は、ヘテロ接合バイポーラトランジスタ用のエピタキシャルエミッタを含む。例えば、一実施形態において、高い結晶品質、導入されたドーパントの高い電気的活性、及び速い成長速度を有するエピタキシャルエミッタが形成される。そのような実施形態において、ソース及びドレイン構造が形成された後、ソース及びドレインを覆って堆積される過剰なシリコンを消費する金属堆積が行われる。従って、過剰なシリコン堆積は、金属がソース又はドレインの全面を消費する可能性を妨げる又は減少させる。

## 【0018】

或る実施形態において、DCS、ドーパント水素化物、及び任意に、選択性を改善する

H C l を用いて、大気圧条件の下で高ドーフト選択的堆積が行われる。任意に、ゲルマン及び / 又はメチルシラン等の、ゲルマニウム及び / 又はカーボン前駆体が、前駆ガスの混合に加えられ。例示的な実施形態において、高ドーフト選択的堆積は、R P C V D 圧力範囲より高い圧力、即ち、好ましくは約 8 0 t o r r より高圧で行われる。より好ましくは、そのような堆積は、約 1 0 0 t o r r ~ 約 7 6 0 t o r r の範囲で行われ、最も好ましくは、そのような堆積はほぼ大気圧で行われる。

#### 【 0 0 1 9 】

本明細書に説明されたように、或る実施形態において、H C l 等のエッチャントが前駆ガスの混合に加えられ、堆積を行う間の選択性の維持又はエンハンスメントを手助けする。H C l を含む混合プロセスガスを用いて選択的な堆積が行われる一実施形態において、約 7 n m m i n<sup>-1</sup> ~ 約 8 n m m i n<sup>-1</sup> の範囲の成長速度が得られ、約 2 . 5 m ・ c m のフィルム抵抗率が得られた。混合プロセスガス中の H C l により生じる堆積速度の減少を補償するために、非選択的な堆積の実施形態に関して温度が増大される。しかしながら、良好な選択性の維持及びサーマルバジェットの過剰な消費を避けるために、温度は、好ましくは約 8 0 0 より低く維持される。改善された実施形態において、図 8 において説明したように、混合プロセスガスに G e H<sub>4</sub> が加えられ、選択性及び成長速度をエンハンスさせる。さらに、ドーパント水素化物を含む混合プロセスガスに G e H<sub>4</sub> が加えられる実施形態において、G e H<sub>4</sub> の添加に伴いドーパント含有率が増大し、抵抗率が減少する。この効果は、G e H<sub>4</sub> 流量の関数として抵抗率を説明する図 1 0 において明らかである。しかしながら、改善された実施形態において、増大した成長速度をゲルマニウムの添加無しに得ることができる。そのような実施形態においては、堆積圧力が増大され、処理チャンバに G e H<sub>4</sub> が供給されない。ドーパント含有率を増大させることにより、このことはフィルム成長速度を増大させ、フィルム抵抗率を減少させる。

#### 【 0 0 2 0 】

ヒ素が低い拡散率を示すため、D C S を用いる n 型ドーピングについて、特に本明細書に開示された低い工程温度において、高いドーピングレベルから低いドーピングレベルへの急な遷移が可能である。これら低い温度にもかかわらず、導入されたドーパントの大部分が電気的に活性であり、それにより、分離したドーパント活性化ステップ及び付随するサーマルバジェットの消費、ドーパントの不要な拡散等を排除する。従って、或る実施形態において、極めて低い抵抗率（シート抵抗）、優れた結晶品質、及び低い表面粗度を得ることができる。

#### 【 0 0 2 1 】

或る実施形態において、アンドーフト（真性）フィルムの堆積と比較して堆積速度を増大させるために、ドーパント水素化物が D C S と混合される。H C l が前駆ガスの混合に任意に加えられ、さらに選択性がエンハンスされる。D C S の 1 s l m までの流量であっても、成長速度の飽和は観測されない。一般に、成長速度の増大及び D C S 流量の増大とともに、ドーパント含有率は増大するが、ドーパント水素化物流量によっては影響されない。図 4 A において示されるように、或る実施形態においてドーパント水素化物流量が調節されて、フィルム成長速度が最適化される。そのような実施形態において、ドーパント水素化物流量は、フィルム成長速度に悪影響を与えるほど高くなく、フィルム表面からの塩素の十分な除去を提供する。驚いたことに、ドーパント水素化物の一定の流量であっても、D C S 等のシリコン前駆体の流量の増大は、有利なことに、成長速度及びドーパント含有率を増大させる。理論によって制限されることなく、このことは、ドーパント偏析現象の成長速度依存性、及びドーパント偏析現象の温度依存性に起因するものと考えられている。改善された実施形態において、ドーパント水素化物を含む混合プロセスガスに G e H<sub>4</sub> が加えられ、それにより、成長速度、選択性、ファセッティング、及び抵抗率をさらに改善する。他の実施形態において、ドーパント水素化物を含まない混合プロセスガスに G e H<sub>4</sub> が加えられ、そのような実施形態において、抵抗率を低減させる一方、G e H<sub>4</sub> が成長速度（図 8 を参照）、選択性、及びファセッティングをエンハンスする。

#### 【 0 0 2 2 】

10

20

30

40

50



例えば、一実施形態において、1 s l mのDCS及び1 0 s c c mの $B_2H_6$  ( $H_2$  中 1 %) が、6 3 0 の反応チャンバに供給される。これらの工程条件によって、表 B に示される成長速度及び抵抗率を生じた。

【 0 0 2 3 】

【 表 2 】

表B

H <sub>2</sub> 流量 (slm)	成長速度 (nm min <sup>-1</sup> )	抵抗率 (mΩ・cm)
40	50	6. 5
30	64	5. 1
20	125	2. 4

10

【 0 0 2 4 】

本明細書に開示された或るドーフトフィルムは、エレベータッド及びリセスドコンタクトを含むソース及びドレインコンタクトについて、また同様に、相補型金属酸化膜半導体 (CMOS) 装置のチャネルについて、及び縦型トランジスタ構造について使用可能である。縦型トランジスタ構造は、時には、2重、3重、及び 形状トランジスタと呼ばれる。

【 0 0 2 5 】

おおむね、本明細書に開示されたフィルムは、約 4 5 0 ~ 8 0 0 の範囲の工程温度で堆積される。2 0 0 mmウェーハ上に成長されたフィルムの選択された特性を示す図 2 A、図 2 B、図 3 A、図 3 B、図 5、及び図 6 は、成長速度、抵抗率、及びドーパント濃度等の或るフィルム特性の温度依存性を示す。このデータは、適切な工程条件が用いられると、低温であっても高いドーパント濃度で選択的なインサイチュドーフトエピタキシャル堆積が達成されることを示す。通常、選択的なエピタキシーは、SiGe堆積については700 より高温で、シリコン堆積については750 より高温で行われてきた。不利なことに、これら高温での選択的な堆積は遅く、しばしば追加のドーパント活性化ステップを必要とする。

20

【 0 0 2 6 】

本明細書に開示された或る実施形態に従って堆積されたフィルムは、詳細には、約 6 5 0 ~ 約 7 5 0 の範囲の温度で、改善された活性ドーパント濃度を示す。或る実施形態においては、約 6 5 0 より低温で多結晶の堆積が支配的となり、図 5 に示したように、抵抗率の劇的な増大を生じる。好ましい実施形態において、約  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  ~  $2 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$  の範囲の活性ドーパント濃度を有するフィルムが堆積される。これによって、好ましくは約  $1 \text{ m} \cdot \text{cm}$  以下、そして、より好ましくは約  $0.8 \text{ m} \cdot \text{cm}$  以下である堆積に応じた抵抗率を生じる。約  $0.8 \text{ m} \cdot \text{cm}$  の堆積に応じた抵抗率は、およそ約  $10^{20} \text{ cm}^{-3}$  の活性ドーパント濃度に相当する。これらの値は、ヒ素の固体での溶解限度に達する。そのような実施形態において、電気的活性ドーパント濃度と対照的に、ドーパント流量が調節されてもトータルのヒ素濃度は飽和しない。選択された工程条件を用いて200 mmウェーハ上に成長されたインサイチュドーフトフィルムの堆積についての成長速度、抵抗率、及びドーパント濃度を示す図 1 も参照のこと。図 1 はまた、速い成長速度において電気的活性ドーパント含有率が増大すると、それによりフィルム抵抗率が減少することも示す。

30

【 0 0 2 7 】

或る実施形態において、インサイチュドーフト半導体フィルムは、1 0 0 t o r r より高圧、及び約 4 5 0 ~ 約 6 0 0 の範囲の温度において堆積され得る。この低温範囲内での堆積は、サーマルバジェットの消費を有利に減少させ、半導体フィルム内に導入された電気的活性ドーパントの割合を増大させる。

【 0 0 2 8 】

40

50

改善された実施形態において、DCS、及びアルシン（ $AsH_3$ ）又はホスフィン（ $PH_3$ ）等のドーパント水素化物を用いて、カーボンドーフトシリコンエピタキシャル層が堆積される。より小さなカーボン原子は、大きいドーパント原子即ちゲルマニウム原子のためのより多くの空間を生成する。例えば、ゲルマニウム含有率約10%のシリコンゲルマニウムは、単結晶シリコンを覆ってヘテロエピタキシャルに堆積されると、圧縮ひずみを生じる傾向にある。しかしながら、1%のカーボンの添加が、 $Si_{0.89}Ge_{0.10}C_{0.01}$ 層全体の格子構造中に十分な空間を生成し、効果的にひずみを緩和するであろう。同様に、所定のレベルの引張ひずみについて、格子構造中へのカーボンの添加が、電気的活性ドーパント濃度のより高い含有を可能とする。そのような工程のために、モノメチルシラン等の少量の有機シリコン前駆体が、シリコン及びカーボン源としてDCSフローに加えられる。そのような実施形態を用いて形成されたドーフト $Si:C$ 層は、ソース及びドレインコンタクト構造の形成の際に適用される。

#### 【0029】

DCS、及びアルシン又はホスフィンのどちらかをインサイチュドーフトエピタキシャル堆積の前駆体として使用すること、並びに、所定のドーパント水素化物流量についてより多くのDCS流量を使用することは、フィルム内への活性ドーパントの含有率を増大させる傾向がある。理論によって制限されることなく、増大したドーパント濃度は増大した堆積速度に起因するものと考えられている。特に、成長しているフィルムの表面への拡散によって、ドーパントは偏析するための時間を持たないと考えられている。従って、シリコン前駆体の多くの流量によりドーパントが急速に埋め込まれるため、ドーパントは堆積を阻止又は抑制する機会を持たない。それゆえに、枚葉式ウェーハ堆積について、DCS流量は、好ましくは200 sccmより多く、より好ましくは約300 sccm～約5 slmの範囲である。他の実施形態において、より多くの流量が使用される。或る実施形態において、ドーパント水素化物流量に対するDCS流量の割合（ $R_{DCS:D_H}$ ）は、温度範囲に依存して変化する。好ましくは、約675より低温においてより高い $R_{DCS:D_H}$ が使用（例えば、約50:1～約100:1の範囲）され、一方、約675より高温においてより低い $R_{DCS:D_H}$ が使用（例えば、約4:1～約50:1の範囲）される。

#### 【0030】

図4Aは、大気圧において200 mmウェーハ上に堆積された半導体フィルムについて、成長速度をドーパント水素化物流量の関数として示す。図示したように、ドーパント水素化物流量の増大は、成長速度を或るポイントまで増大させ、ドーパント水素化物流量のさらなる増大の後には、フィルム成長速度を全体的に減少させる。最大成長速度は、一般に、より高温で、ドーパント水素化物のより高いレベルにおいて生じる。また一般に、最大成長速度は温度と共に増大する。同様に、DCS流量の増大もまた、最大成長速度を増大させる。図4Bは、図4Aと同じ工程条件の下で、ドーパント濃度をドーパント水素化物流量の関数として示す。

#### 【0031】

本明細書に開示された或る実施例において、エーエスエム アメリカ インコーポレイテッド（アリゾナ州 フェニックス）から市販されている200 mm Epsilon（登録商標）枚葉式ウェーハエピタキシャル堆積反応炉等の、枚葉式ウェーハチャンバ内において基板が処理される。例示的な実施形態において、基板は、本明細書に開示された堆積工程を行う前に、クリーニングされて、元から存在する酸化物が除去された、200 mmの $Si(001)$ ウェーハである。堆積が行われるウェーハについてのクリーニング工程の一例は、約1050でのインサイチュベークの実行を含む。選択的な堆積が行われるパターンニングされたウェーハについてのクリーニング工程の一例は、脱イオン化リンスに引き続き行われるHF浸漬、マランゴニ乾燥、及び約850～約900の範囲のインサイチュベークを含む。

#### 【0032】

200 mmウェーハ上に堆積物が形成される一実施形態において、約200 sccm～

約 3 s l m の D C S が、約 1 0 s c c m ~ 約 1 0 0 s c c m の範囲のアルシン (  $H_2$  中 1 % ) と共に、反応チャンバに供給される。他の実施形態において、異なるファクターは、反応物流量の釣り合いのとれた変化によって補償される。例えば、3 0 0 m m ウェーハ等のより大きい基板上への堆積について、より多くの流量が一般に用いられる。より一般的に述べると、枚葉式ウェーハ処理について、好ましくは、約 5 s c c m ~ 約 2 0 0 s c c m の範囲の、希釈物 ( 例えば  $H_2$  ) 中 1 % のドーパント水素化物が提供され、それは、約 5 0 s c c m ~ 約 2 0 0 0 s c c m の範囲の、 $H_2$  中 0 . 1 % のドーパント水素化物、又は約 0 . 0 5 s c c m ~ 2 s c c m の純粋なアルシンと実質的に等価である。

#### 【 0 0 3 3 】

本明細書に開示された化学的性質の更なる有利な点は、ローディング効果の欠如である。本明細書に開示された或る実施形態が用いられると、ウェーハ表面全域で、あったとしても極僅かのローディング効果が検出され得る。ウィンドウサイズの違いにもかかわらず、不均一性が、ウェーハ表面全域にわたって、ウィンドウ間でほぼ同じであることが分かった。従って、 $x \text{ cm}^2$  のウィンドウについての不均一性の平均は、約 ( 0 . 5 )  $x \text{ cm}^2$  のウィンドウの不均一性の平均から、約 5 % 未満だけ異なるであろう。

#### 【 0 0 3 4 】

更に、本明細書に開示された或る実施形態が用いられると、マイクロローディング効果もまた減少される。パターンニングされたウェーハ上への選択的な堆積の状況において、マイクロローディング効果は、成長速度中の局所的な堆積パターン不均一性、及びウェーハ表面上のパターンニングされたウィンドウ内のフィルム組成に関連する。例えば、ファセッティングは、選択的な堆積パターンのエッジ周辺のエピタキシャル層の薄層化を引き起こすマイクロローディング効果である。不利なことに、ファセッティングは、エピタキシャル堆積の後に行われる自己整合サリサイド化、又は「サリサイド化」ステップを複雑にする。或る実施形態において、堆積圧力の減少及び / 又は堆積温度の減少は、マイクロローディング効果の減少又は排除に役立つ。一実施形態において、1 つのウィンドウ内で、任意の所定のウィンドウ全域で 2 0 % 未満の不均一性が示される。

#### 【 0 0 3 5 】

従来技術を越えて達成された発明及び利点を説明する目的のために、選択された実施形態の或る目的及び利点が上記に記述されたことを言及しておく。そのような目的又は利点の全てが、どの特定の実施形態に関しても達成されるとは限らない。従って、例えば、一つの利点又は利点のグループを達成又は最適化する方法で、他の目的又は利点を必ずしも達成すること無く、或る実施形態が具現化又は実行され得る。

#### 【 図面の簡単な説明 】

#### 【 0 0 3 6 】

【 図 1 】望ましい一実施形態に係る成長速度、抵抗率、及びドーパント濃度を水素流量の関数として示すグラフである。

【 図 2 A 】第 1 の堆積フィルムについてヒ素濃度を堆積温度、 $AsH_3$  流量、及びフィルム厚さの関数として示すグラフである。

【 図 2 B 】第 2 の堆積フィルムについてヒ素濃度を堆積温度、 $AsH_3$  流量、及びフィルム厚さの関数として示すグラフである。

【 図 3 A 】望ましい一実施形態に係る成長速度を温度の関数として示すグラフである。

【 図 3 B 】望ましい一実施形態に係るヒ素濃度を温度の関数として示すグラフである。

【 図 4 A 】望ましい一実施形態に係る成長速度を  $AsH_3$  流量の関数として示すグラフである。

【 図 4 B 】望ましい一実施形態に係るヒ素濃度を  $AsH_3$  流量の関数として示すグラフである。

【 図 5 】望ましい一実施形態に係る成長速度及び抵抗率を温度の逆数の関数として種々の  $AsH_3$  流量について示すグラフである。

【 図 6 】望ましい一実施形態に係る成長速度を温度の逆数の関数として種々のドーパント及びドーパント濃度について示すグラフである。

10

20

30

40

50

【図 7】望ましい一実施形態に係るシリコンフィルムの成長速度及び抵抗率を圧力の関数として示すグラフである。

【図 8】望ましい一実施形態に係る成長速度及びゲルマニウム含有率を  $\text{GeH}_4$  流量の関数として示すグラフである。

【図 9】望ましい一実施形態に係る成長速度を  $\text{GeH}_4$  流量の関数としてノンドープト ( $\text{AsH}_3$  無し) 及びドープト ( $\text{AsH}_3$  有り) フィルム両方について示すグラフである。

【図 10】望ましい一実施形態に係る抵抗率を  $\text{GeH}_4$  流量の関数として示すグラフである。

【図 11】望ましい一実施形態に係るシリコンゲルマニウムフィルムの成長速度及び抵抗率を圧力の関数として示すグラフである。

10

【図 1】

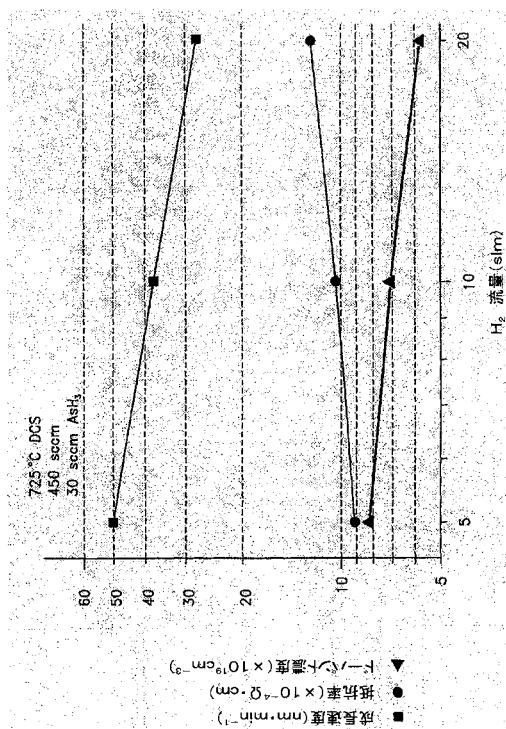


FIG. 1

【図 2 A】

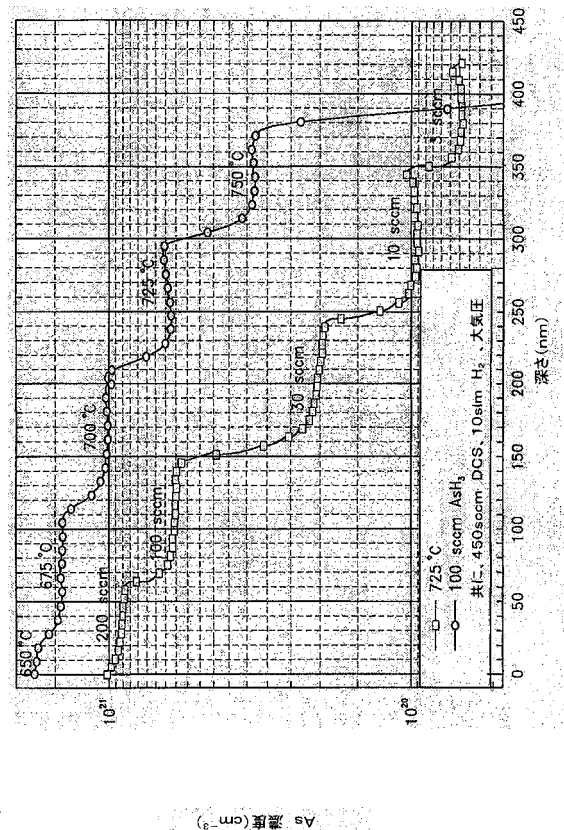


FIG. 2A

【図 2 B】

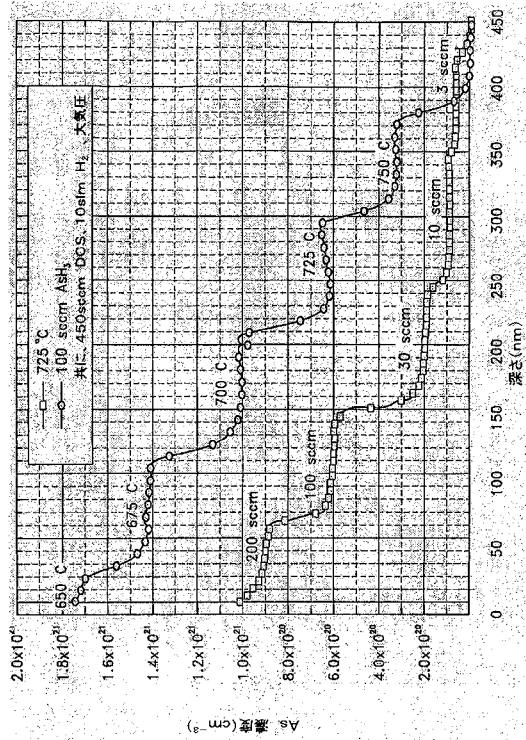


FIG. 2B

【図 3 A】

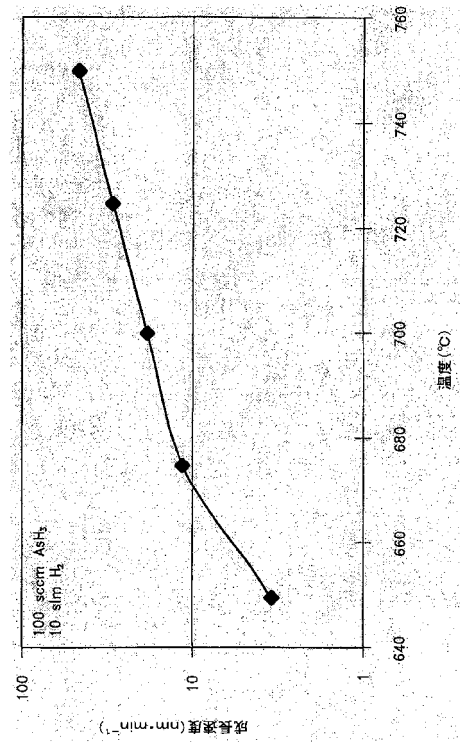


FIG. 3A

【図 3 B】

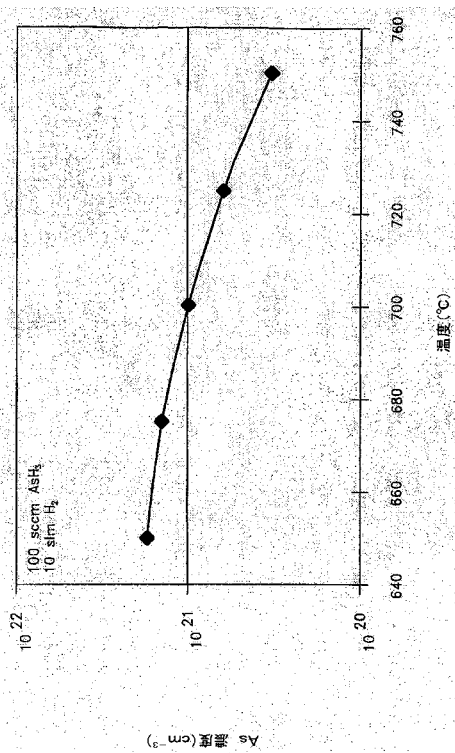


FIG. 3B

【図 4 A】

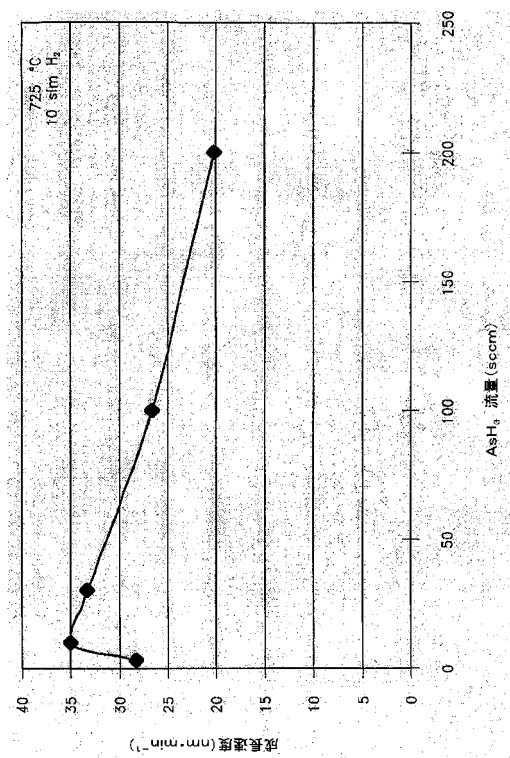


FIG. 4A

【 図 4 B 】

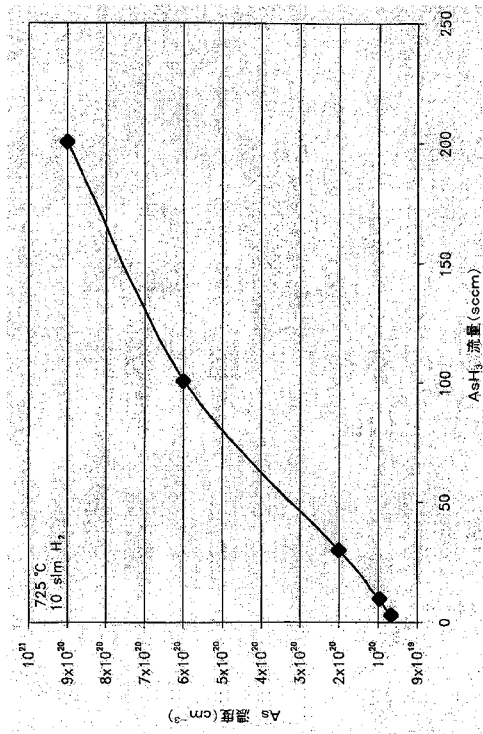


FIG. 4B

【 図 5 】

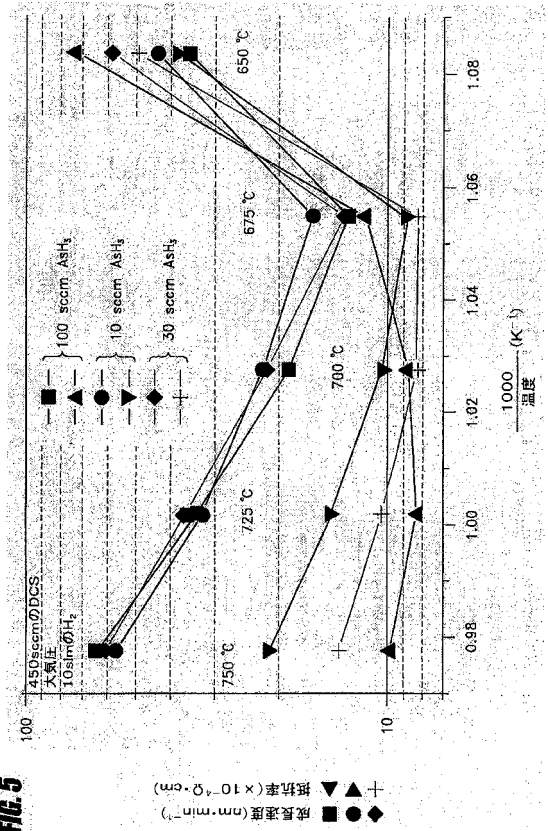


FIG. 5

【 図 6 】

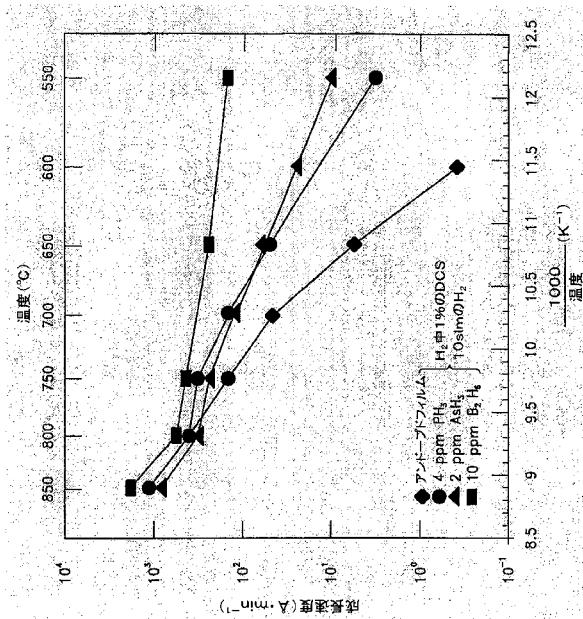


FIG. 6

【 図 7 】

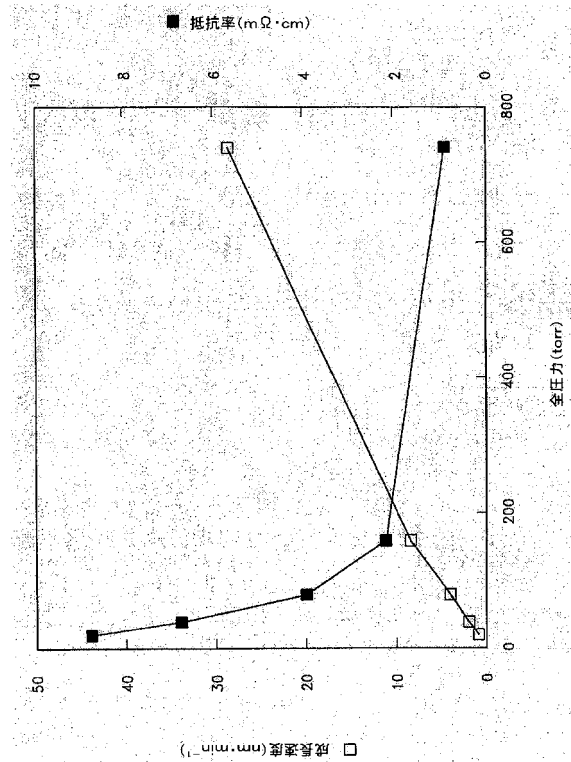


FIG. 7

【 図 8 】

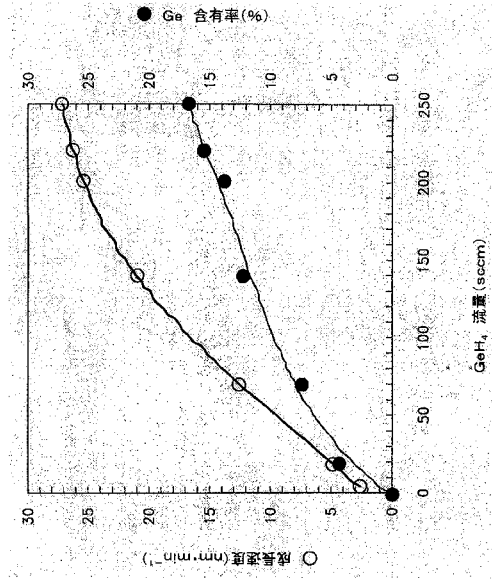


FIG. 8

【 図 9 】

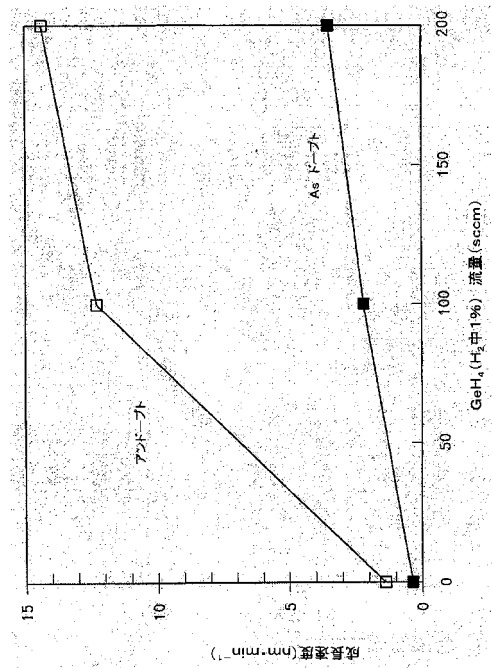


FIG. 9

【 図 10 】

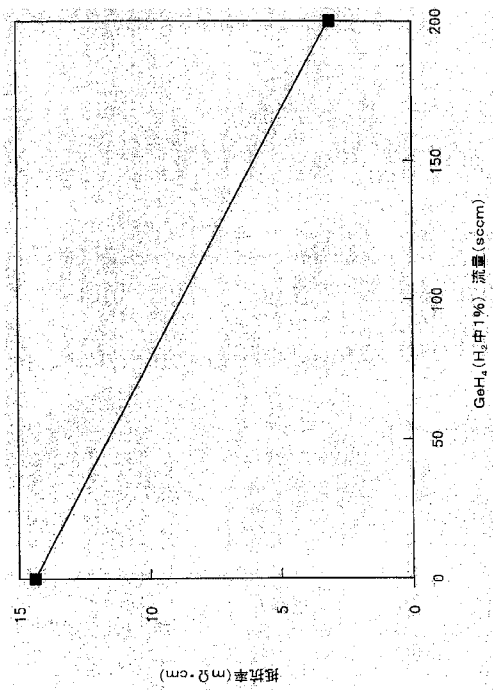


FIG. 10

【 図 11 】

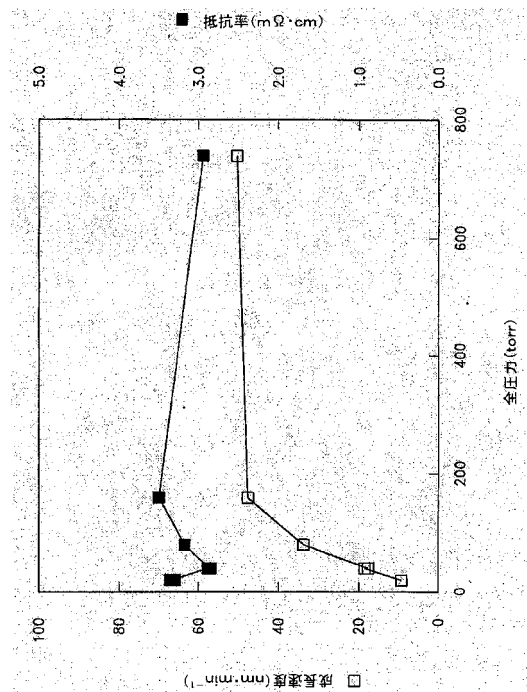


FIG. 11

【 国際調査報告 】

60700200013



11

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US05/13674

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC: H01L 21/20( 2006.01)

USPC: 438/481,508

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

U.S. : 438/479, 481, 508

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2004/0045499 A1 (LANGDO et al) 11 March 2004 (11.03.2004), Fig. 5, paragraphs 46, 52-59.	24, 29-32
Y	US 2004/0045499 A1 (LANGDO et al) 11 March 2004 (11.03.2004), Fig.5, paragraphs 46, 52-59.	1-23, 25-28, 33-39
Y	US 5,124,278 (BOHLING et al) 23 June 1992 (23.06.1992), col. 10, lines 16-47, col. 13, line 3 to col. 14, line 31.	1, 10, 25, 33
Y	US 5,426,329 (TSUCHIMOTO) 20 June 1995 (20.06.1995), Fig. 1, col. 3, lines 25-43, col. 4, line 31 to col. 5, line 31.	16-18

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents:

"A" documents defining the general state of the art, which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" documents referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later documents published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" documents of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" documents of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"Z" documents member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

09 September 2006 (09.09.2006)

Date of mailing of the international search report

13 OCT 2006

Name and mailing address of the ISA/US

Mail Stop PCT, Attn: ISA/US  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, Virginia 22313-1450

Facsimile No. (571) 273-3201

Authorized officer

Chandra Chaudhari

Telephone No. 703-308-0956

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

30. 3. 2007



## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 バウアー マティアス

ドイツ国 7 2 5 8 5 リードリッヒ アルベルト シュヴァイツァー シュトラッセ 7

Fターム(参考) 5F045 AA03 AB01 AB02 AB32 AC05 AC08 AC13 AC19 AD10 AE23

AE25 AE29 CA05 DA59 DB02 EE12 EE15

5F140 BH06 BH07 BH27 BK18 BK21