

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5011631号
(P5011631)

(45) 発行日 平成24年8月29日(2012.8.29)

(24) 登録日 平成24年6月15日(2012.6.15)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/205 (2006.01)

H O 1 L 21/205

C 2 3 C 16/50 (2006.01)

C 2 3 C 16/50

請求項の数 5 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2004-163892 (P2004-163892)
 (22) 出願日 平成16年6月1日(2004.6.1)
 (65) 公開番号 特開2005-347426 (P2005-347426A)
 (43) 公開日 平成17年12月15日(2005.12.15)
 審査請求日 平成19年5月17日(2007.5.17)

(73) 特許権者 000005496
 富士ゼロックス株式会社
 東京都港区赤坂九丁目7番3号
 (74) 代理人 100079049
 弁理士 中島 淳
 (74) 代理人 100084995
 弁理士 加藤 和詳
 (74) 代理人 100085279
 弁理士 西元 勝一
 (74) 代理人 100099025
 弁理士 福田 浩志
 (72) 発明者 八木 茂
 神奈川県南足柄市竹松1600番地 富士
 ゼロックス株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体製造装置および半導体製造システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

反応容器と、基板を保持する基板ホルダーと、前記反応容器内に原料ガスおよび補助ガスを供給するための複数のガス供給手段と、該ガス供給手段から前記基板の一方の面である成膜面方向へと流れるガスを活性化するように配置された複数のプラズマ発生手段と、を備え、

少なくとも1つ以上のプラズマ発生手段により活性化されたガスが、前記成膜面に対して略垂直に吹き付ける垂直吹き付けガス流が形成される半導体製造装置において、

前記複数のプラズマ発生手段として、V族元素を含む第1の原料ガスを活性化する第1のプラズマ発生手段と、

該第1のプラズマ発生手段および前記複数のガス供給手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向下流側に設けられ前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向中心に向かってプラズマ放電を行い、前記ガスを活性化する垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段とを設け、

前記複数のガス供給手段として、前記第1の原料ガスを供給し前記反応容器内に前記垂直吹き付けガス流を形成する第1のガス供給手段と、

該第1のガス供給手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向下流側であり且つ前記垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向上流側に設けられ前記第1の原料ガスとは異なるIII族元素を含む第2の原料ガスを前記垂直吹き付けガス流に合流するように供給する第2のガス供給手段と、

10

20

前記第 1 のガス供給手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向下流側であり且つ前記垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向上流側に設けられ前記垂直吹き付けガス流に合流するように補助ガスを供給する第 3 のガス供給手段とを設けたことを特徴とする半導体製造装置。

【請求項 2】

前記垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段が、少なくとも前記垂直吹き付けガス流の主流部から離れた位置に設置されることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体製造装置。

【請求項 3】

前記垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段が、前記垂直吹き付けガス流の主流部を囲み、且つ、放電面が前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向と略平行に配置された円筒状電極であることを特徴とする請求項 2 に記載の半導体製造装置。

【請求項 4】

前記第 1 のガス供給手段及び前記第 2 のガス供給手段の少なくとも一方が、流量調整器を 1 つ以上含むことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体製造装置。

【請求項 5】

反応容器と、基板を保持する基板ホルダーと、前記反応容器内に原料ガスおよび補助ガスを供給するための複数のガス供給手段と、該ガス供給手段から前記基板の一方の面である成膜面方向へと流れるガスを活性化するように配置された複数のプラズマ発生手段と、を備え、

少なくとも 1 つ以上のプラズマ発生手段により活性化されたガスが、前記成膜面に対して略垂直に吹き付ける垂直吹き付けガス流が形成され、

前記複数のプラズマ発生手段として、V 族元素を含む第 1 の原料ガスを活性化する第 1 のプラズマ発生手段と、

該第 1 のプラズマ発生手段および前記複数のガス供給手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向下流側に設けられ前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向中心に向かってプラズマ放電を行い、前記ガスを活性化する垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段とを設け、

前記複数のガス供給手段として、前記第 1 の原料ガスを供給し前記反応容器内に前記垂直吹き付けガス流を形成する第 1 のガス供給手段と、

該第 1 のガス供給手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向下流側であり且つ前記垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向上流側に設けられ前記第 1 の原料ガスとは異なる III 族元素を含む第 2 の原料ガスを前記垂直吹き付けガス流に合流するように供給する第 2 のガス供給手段と、

前記第 1 のガス供給手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向下流側であり且つ前記垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向上流側に設けられ前記垂直吹き付けガス流に合流するように補助ガスを供給する第 3 のガス供給手段とを設けた半導体製造装置を 2 つ以上含む半導体製造システムであって、

前記基板が、大気雰囲気と遮断された状態でいずれか 1 つの半導体製造装置の反応容器から他の半導体製造装置の反応容器へと移動可能な基板搬送手段を備えたことを特徴とする半導体製造システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、基板に半導体薄膜を形成するための半導体製造装置およびこの半導体製造装置を用いた半導体製造システムに関する。

【背景技術】

【0002】

青色および紫外光領域の光電デバイスの応用材料として、ワイドバンドギャップを有す

10

20

30

40

50

る AlN 、 AlGaInN 、 GaInN 、 GaInN 、 InN 等の III-V [IUPAC (国際純粋及び応用化学連合) の 1989 年無機化学命名法改訂版による族番号は 13] - V [同改訂版による族番号は 15] 族化合物半導体が注目されている。

現在、薄膜を成長させる方法として主に分子線エピタキシー (MBE) 法や有機金属気相成長 (MOCVD) 法が用いられている。このうち、MOCVD 法は気相で輸送された原料で化学反応を起こして、生成した半導体を基板上に堆積させる方法であり、成膜時に供給するガスの流量を制御することで極薄膜形成や混晶比の制御を容易に行うことができる。また、原理的には大面積の基板に均一に結晶を成長させることが可能であることから MOCVD 法は工業的に重要な方法である。

【0003】

しかし、MOCVD 法において高品質な GaInN 結晶の成長に必要なとされる基板温度は 900 から 1200 と高温であり、これにより基板に使用される材料が制限される。また、電極上に半導体を積層するため、デバイス構成を作製する上での自由度に限界がある。これに対し、原料ガスをマイクロ波や高周波によるプラズマ発振によって分解し、さらにそのリモートプラズマ中に気体状の有機金属化合物を導入し、生成された半導体を基板上に堆積させるリモートプラズマ MOCVD 法は成長温度を下げる上で有効な手段である。

【0004】

このリモートプラズマ MOCVD 法において、混晶や多層膜を作製する上で問題となるキャリアガスの種類、圧力、ガス流量などの因子を独立に制御するために、複数のプラズマ発生手段を設けた製造装置による成膜も行われている。複数のプラズマ発生手段を用意し、一方から補助材料として水素などを導入することで、水素ラジカルによる還元効果により炭素の半導体膜中への混入が減少でき、膜欠陥を抑え、高品質の薄膜を作製することができる。

【0005】

しかし、従来の複数のプラズマ発生手段を用いた半導体製造装置では、各プラズマ発生手段が基板成膜面と垂直な方向に対して別方向に位置するように配置されていた (特許文献 1 参照)。このため、活性化されたそれぞれのガスが基板成膜面と垂直な方向に対して異なる方向から反応容器内に進入し、それぞれのプラズマ発生手段により活性化されたガスの流量の違いによって、反応容器内のガスの流れが変化し、基板成膜面上の位置によって膜厚が異なってしまう。このため、成膜面内の膜厚を均一にするために、基板の回転機構を設けるなど複雑な装置を必要とした。

【0006】

また、各プラズマ発生手段により活性化された原料ガス (第 1 の原料ガス) に、この原料ガスと反応する原料ガス (第 2 の原料ガス) を導入して成膜する場合、第 2 の原料ガスがプラズマ発生手段により異なり、かつ、各プラズマ発生手段により活性化された各々の反応ガスを基板成膜面の直上付近で混合する場合には、反応ガスの混合が十分に行われず、基板上に成長する薄膜の組成が成膜面内の位置によって異なってしまう。このような面内組成ムラは、基板を回転させる回転機構を設けても必ずしも回避できない。

以上のようなことから最適化された条件で成長する部分は基板上の僅かな領域に限られ、大面積の基板上に組成および膜厚が均一な膜を形成できなかった。

【0007】

このような問題を解決するために、プラズマ発生手段により活性化されたガスが、基板成膜面に対して略垂直に吹き付けるように構成された半導体製造装置が提案されている (特許文献 2 参照)。しかし、この半導体製造装置では、大面積の半導体薄膜を形成する場合、面内の膜厚均一性については品質要求に十分に対応できるものの、面内の組成均一性については不十分な場合があり、面内の組成均一性のより厳しい品質要求には対応できない場合があった。

【特許文献 1】特開平 10 - 79348 号公報

【特許文献 2】特開平 2001 - 77028 号公報

【発明の開示】

10

20

30

40

50

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明は、上記問題点を解決することを課題とする。すなわち、本発明は、基板の回転機構などの複雑な構造を用いることなく、大面積の基板上に組成および膜厚が均一な半導体薄膜を形成するための半導体製造装置およびこれを用いた半導体製造システムを提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明者らは、上記課題を達成するために、プラズマ発生手段により活性化されたガスが基板成膜面に対して略垂直に吹き付けるように構成された半導体製造装置において、面内の膜質が不均一になる問題点について鋭意検討した。

まず、面内の膜質が不均一になる理由としては種々考えられるが、基板の成膜面に到達する直前のガス流の成膜面と平行な方向の活性化状態の不均一性が一因として考えられる。

【0010】

一方、特許文献2に示される半導体製造装置では、プラズマ発生手段により活性化されたガスが基板成膜面に対して略垂直に吹き付けるガス流（垂直吹き付けガス流）に対して放電する他のプラズマ発生手段（垂直吹き付けガス流放電手段）の放電方向が、垂直吹き付けガス流の流れ方向と同じ方向である上に、この垂直吹き付けガス流放電手段の放電部は、基板成膜面に対向する平面の一部分を占めるように設けられている。

【0011】

このため、本発明者らは、垂直吹き付けガス流の中心に放電が十分に届かず膜質が不均一になるものと考えた。また、ガス流中心に放電が十分に届くように放電部を設けようとすると、この放電部自体が垂直吹き付けガス流の流れを阻害してしまうことになる。

さらに、垂直吹き付けガス流放電手段は、垂直吹き付けガス流の主流部内に位置するように設けられているため、垂直吹き付けガス流放電手段に生成物が付着・堆積し、この生成物が脱落することによって、反応容器内や基板成膜面を汚染してしまう場合もある。このような汚染を防ぐためには、頻繁に反応容器内を清掃しなければならないことに加え、半導体装置を用いて連続生産を行う場合には、清掃メンテナンスや清掃メンテナンス後の立ち上げのような生産に直接寄与しない時間が増大し、生産性が低下してしまう場合もある。

【0012】

従って、本発明者らは、垂直吹き付けガス流を基板成膜面方向に均一に活性化できる位置にプラズマ発生手段を設けることが重要であると考えた。これに加えて、汚染防止の観点からは、垂直吹き付けガス流の流れを阻害しない位置にプラズマ発生手段を設けることも重要であると考え、以下の本発明を見出した。すなわち、本発明は、

【0013】

< 1 >

反応容器と、基板を保持する基板ホルダーと、前記反応容器内に原料ガスおよび補助ガスを供給するための複数のガス供給手段と、該ガス供給手段から前記基板の一方の面である成膜面方向へと流れるガスを活性化するように配置された複数のプラズマ発生手段と、を備え、

少なくとも1つ以上のプラズマ発生手段により活性化されたガスが、前記成膜面に対して略垂直に吹き付ける垂直吹き付けガス流が形成される半導体製造装置において、

前記複数のプラズマ発生手段として、V族元素を含む第1の原料ガスを活性化する第1のプラズマ発生手段と、

該第1のプラズマ発生手段および前記複数のガス供給手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向下流側に設けられ前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向中心に向かってプラズマ放電を行い、前記ガスを活性化する垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段とを設け、

前記複数のガス供給手段として、前記第 1 の原料ガスを供給し前記反応容器内に前記垂直吹き付けガス流を形成する第 1 のガス供給手段と、

該第 1 のガス供給手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向下流側であり且つ前記垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向上流側に設けられ前記第 1 の原料ガスとは異なる III 族元素を含む第 2 の原料ガスを前記垂直吹き付けガス流に合流するように供給する第 2 のガス供給手段と、

前記第 1 のガス供給手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向下流側であり且つ前記垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向上流側に設けられ前記垂直吹き付けガス流に合流するように補助ガスを供給する第 3 のガス供給手段とを設けたことを特徴とする半導体製造装置である。

10

【0014】

< 2 >

前記垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段が、少なくとも前記垂直吹き付けガス流の主流部から離れた位置に設置されることを特徴とする < 1 > に記載の半導体製造装置である。

【0015】

< 3 >

前記垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段が、前記垂直吹き付けガス流の主流部を囲み、且つ、放電面が前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向と略平行に配置された円筒状電極であることを特徴とする < 2 > に記載の半導体製造装置である。

20

【0018】

< 4 >

前記第 1 のガス供給手段及び前記第 2 のガス供給手段の少なくとも一方が、流量調整器を 1 つ以上含むことを特徴とする < 1 > に記載の半導体製造装置である。

【0019】

< 5 >

反応容器と、基板を保持する基板ホルダーと、前記反応容器内に原料ガスおよび補助ガスを供給するための複数のガス供給手段と、該ガス供給手段から前記基板の一方の面である成膜面方向へと流れるガスを活性化するように配置された複数のプラズマ発生手段と、を備え、

30

少なくとも 1 つ以上のプラズマ発生手段により活性化されたガスが、前記成膜面に対して略垂直に吹き付ける垂直吹き付けガス流が形成され、

前記複数のプラズマ発生手段として、V 族元素を含む第 1 の原料ガスを活性化する第 1 のプラズマ発生手段と、

該第 1 のプラズマ発生手段および前記複数のガス供給手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向下流側に設けられ前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向中心に向かってプラズマ放電を行い、前記ガスを活性化する垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段とを設け、

前記複数のガス供給手段として、前記第 1 の原料ガスを供給し前記反応容器内に前記垂直吹き付けガス流を形成する第 1 のガス供給手段と、

40

該第 1 のガス供給手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向下流側であり且つ前記垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向上流側に設けられ前記第 1 の原料ガスとは異なる III 族元素を含む第 2 の原料ガスを前記垂直吹き付けガス流に合流するように供給する第 2 のガス供給手段と、

前記第 1 のガス供給手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向下流側であり且つ前記垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段よりも前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向上流側に設けられ前記垂直吹き付けガス流に合流するように補助ガスを供給する第 3 のガス供給手段とを設けた半導体製造装置を 2 つ以上含む半導体製造システムであって、

前記基板が、大気雰囲気と遮断された状態でいずれか 1 つの半導体製造装置の反応容器

50

から他の半導体製造装置の反応容器へと移動可能な基板搬送手段を備えたことを特徴とする半導体製造システムである。

【発明の効果】

【0020】

以上に説明したように本発明によれば、基板の回転機構などの複雑な構造を用いることなく、大面積の基板上に組成および膜厚が均一な半導体薄膜を形成するための半導体製造装置およびこれを用いた半導体製造システムを提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

(半導体製造装置)

本発明の半導体製造装置は、反応容器と、基板を保持する基板ホルダーと、前記反応容器内に原料ガスおよび/または補助ガスを供給するための複数のガス供給手段と、該ガス供給手段から前記基板の一方の面である成膜面方向へと流れるガスを活性化するように配置された複数のプラズマ発生手段と、を備え、少なくとも1つ以上のプラズマ発生手段により活性化されたガスが、前記成膜面に対して略垂直に吹き付ける垂直吹き付けガス流が形成される半導体製造装置において、前記垂直吹き付けガス流のガス流れ方向中心に向かってプラズマ放電を行い、前記ガスを活性化する垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段を少なくとも1つ設けたことを特徴とする。

【0022】

従って、本発明の半導体装置を用いれば、基板の回転機構などの複雑な構造を用いることなく、大面積の基板上に組成および膜厚が均一な半導体薄膜を形成することができる。

また、本発明の半導体製造装置に設けられる垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段は、垂直吹き付けガス流のガス流れ方向中心に向かってプラズマ放電を行い、前記ガスを活性化するため、基板の成膜面に到達する直前のガス流の成膜面と平行な方向の活性化状態を、従来の垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段を備えた半導体製造装置よりもより均一にでき、成膜面内の組成均一性を更に向上させることができる。

【0023】

なお、垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段は、垂直吹き付けガス流のガス流れ方向中心に向かって放電できるのであればその構成や設置位置は特に限定されないが、垂直吹き付けガス流の流れを阻害しないように、少なくとも垂直吹き付けガス流の主流部から離れた位置に設置されることが特に好ましい。

主流部内に位置するように垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段が設けられている場合には、垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段に生成物が付着・堆積し、脱落した生成物が反応容器内や基板成膜面を汚染してしまったり、連続生産を行う場合には、清掃メンテナンスや清掃メンテナンス後の立ち上げのような生産に直接寄与しない時間が増大し、生産性が低下してしまう場合もある。

【0024】

また、成膜面内の組成均一性の向上、汚染防止、生産性向上、装置構造の簡素化等、実用上求められる諸条件をバランス良く両立させることができる点からは、垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段は、垂直吹き付けガス流のガス流れ方向中心に対して出来るだけ対称性の高い構成・配置であることが好ましい。このような条件を満たす垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段の好適な具体例としては、例えば、垂直吹き付けガス流の主流部を囲み、且つ、放電面が垂直吹き付けガス流のガス流れ方向と略平行に配置された円筒状電極が挙げられる。

【0025】

一方、原料ガスや、補助ガスを反応容器内に供給するガス供給手段を設ける位置は、基板ホルダーのガスが排気される側(下流)と反対側(上流)であれば反応容器内へとガスを供給することができる任意の位置(反応容器や、この反応容器に接続されたガス導입管等のガス流路等)に設けることができる。

また、複数のガス供給手段のうち、少なくとも1つは原料ガス供給手段である必要があ

10

20

30

40

50

り、補助ガスを供給するガス供給手段は必要に応じて設けても設けなくてもよい。

【0026】

なお、電気的特性等の諸物性の制御性向上や、複雑な組成の半導体薄膜の作製、膜厚方向の組成制御等において求められるような多様な成膜条件の実現を可能とするために原料ガスや補助ガスを供給するガス供給手段は、以下に説明する位置に設けられることが好ましい。

すなわち、複数のプラズマ発生手段のいずれか1つのプラズマ発生手段の第1のガス活性化領域から、該第1のガス活性化領域を通過し前記基板の成膜面側へと流れるガスを活性化する他のプラズマ発生手段の第2のガス活性化領域の間を流れるガスに合流するように、1種以上の原料ガスを供給するガス供給手段を設けることが好ましい。

10

【0027】

また、垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段のガス活性化領域、および/または、該ガス活性化領域近傍の前記基板ホルダー側と反対側の領域を流れる前記垂直吹き付けガス流に合流するように、1種以上の補助ガスを供給するガス供給手段を設けることが好ましい。

なお、この場合の補助ガスを供給するガス供給手段は、生成物の付着、堆積、脱落による汚染を防ぐために、垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段のガス活性化領域の外側に位置するように設けることが特に好ましい。

【0028】

また、上記と同様の観点から、原料ガスを供給するガス供給手段は、流量調整器を備えたノズル(ガス導入管)を1つ以上含むものであることが好ましく、ノズルが複数ある場合にはノズル毎に流量調整器が備えられていることが好ましい。この場合、より微妙な成膜条件の制御が可能となる。

20

【0029】

なお、本発明において、原料ガスと補助ガスとは厳密に区別できるものではないが、敢えて分類するならば、原料ガスとは、半導体の基本骨格を構成する必須/主要成分を含むガスを意味する。原料ガスには、半導体の基本骨格を修飾する成分が含まれていてもよく、キャリアガスとして同時に機能してもよい。

一方、補助ガスとは、半導体の基本骨格を構成する必須/主要成分を含まないその他のガスを意味し、例えば、半導体の基本骨格を修飾する成分のみからなるガスや、キャリアガスとしてのみ機能するガス、放電状態を制御する機能のみを有するガス等や、あるいは、これらのいずれか2つ以上を兼有するガスであってもよい。

30

【0030】

例えば、窒化物半導体からなる半導体薄膜を作製する場合を例に挙げるならば、トリメチルガリウムやトリメチルインジウム等の有機金属ガスや窒素ガスが原料ガスに相当し、水素ガスや、ヘリウムガス、アルゴンガス等が補助ガスに相当する。

【0031】

- 半導体装置の具体例 -

次に、本発明の半導体装置の具体例を図面を用いて説明する。

図1は本発明の半導体製造装置の一構成例を示す概略模式図であり、図中、1が、真空に排気しうる反応容器、2が排気口、3が基板ホルダー、4がヒーター、5が基板、5'が成膜面、6が石英管、7がマイクロ波導波管(プラズマ発生手段)、8、8'がガス導入管(ガス供給手段)、9aがガス導入管、9bがバルブ、9c、9dがガス管、10、10'がガス供給手段、11がガス導入管(ガス供給手段)、12が容量結合型高周波電極からなる円筒状電極(垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段)、13がアース電極、13'がアース配線、14がRF(高周波)導入端子、20が垂直吹き付けガス流(のガス流れ方向中心軸)、21が放電方向、100が半導体装置を表す。

40

【0032】

なお、以下の説明においては「垂直吹き付けガス流のガス流れ方向中心軸」という用語を用い、図中では矢印線で示しているが、現実にはこのような中心軸が存在することを意味

50

するものではない。これは、図面の説明を容易とする都合上、ガスが滞留することなく一方向へ最もスムーズに流れる領域の中心を、仮想的に示したものである。

【 0 0 3 3 】

この半導体製造装置 1 0 0 は、略円筒状で、真空中に排気しうる反応容器 1 を備えており、反応容器 1 内には、基板 5 を保持すると共に、基板 5 を加熱するためのヒーター 4 を内蔵した基板ホルダー 3 が設けられている。また、反応容器 1 には、この反応容器 1 内の基板 5 の成膜面 5 ' 側（以下、「上側」、「上部」と称す）で、成膜面 5 ' に対して略垂直な方向に石英管 6 が接続されており、成膜面 5 ' と反対側（以下、「下側」、「下部」と称す）で、成膜面 5 ' に対して略垂直な方向には排気口 2 が設けられており、石英管 6 の軸方向、反応容器 1 の軸方向、基板ホルダー 5 の中心部、排気口 2 の軸方向が概ね同一の直線上に位置するように配置されている。

10

【 0 0 3 4 】

石英管 6 の反応容器 1 が接続された側と反対側には反応容器 1 内へとガスを導入するガス導入管（ガス供給手段）1 1 が接続されており、排気口 2 の反応容器 1 が接続された側と反対側には、反応容器 1 内のガスを排気する不図示の排気手段が接続されている。また、石英管 6 の近傍には、石英管 6 内を流れるガスを活性化するために、石英管 6 と直交するようにマグネトロンを用いた不図示のマイクロ発振器に接続されたマイクロ波導波管 7 が設けられている。これにより、マイクロ波導波管 7 により石英管 6 内にはガス活性化領域が形成される。

【 0 0 3 5 】

20

従って、基板 5 の成膜面 5 ' 上に半導体薄膜を形成するためにガス導入管 1 1 から石英管 6 を経て反応容器 1 内へと活性化されたガスを導入すると共に、反応容器 1 内に導入されたガスを排気口 2 から排気する場合、マイクロ波導波管 7 により石英管 6 内で活性化されたガスが石英管 6 の出口（反応容器 1 との接続部）から、図中、符号 2 0 で示される矢印方向へと流れ、成膜面 5 ' に対して略垂直に吹き付ける垂直吹き付けガス流 2 0 が形成される。

【 0 0 3 6 】

また、石英管 6 出口と成膜面 5 との間の反応容器 1 側壁には、上部から下部へと順に、垂直吹き付けガス流のガス流れ方向中心軸 2 0 に対して略対称に配置された、1 対のガス供給手段 1 0、1 0 '、1 対のガス導入管（ガス供給手段）8、8 '、および、円筒状電極（垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段）1 2 が設けられている。

30

ここで、ガス供給手段 1 0、1 0 ' は、反応容器 1 側壁を貫通するように配置されたガス導入管 9 a と、ガス導入管 9 a の反応容器 1 外壁側の端に接続されたバルブ 9 b と、バルブ 9 b に接続された 2 本のガス管 9 c、9 d から構成され、不図示のガス供給源に接続されたガス管 9 c、9 d 内を流れるガスが、バルブ 9 b、ガス導入管 9 a を介して反応容器 1 内へと供給できるようになっている。なお、バルブ 9 b に接続されるガス管は 2 本以上であってもよい。

【 0 0 3 7 】

ガス導入管 9 a はノズル状で、先端が閉じた鋭い穴を有するものでも反対にラッパ状に開いたものでも良い。またノズル先端の位置は石英管 6 を成膜面 5 ' 側の軸方向に延長した同心円領域の内側でも外側でも良く、ノズル先端の位置を調整することにより、ノズル先端から放出されるガスが垂直吹き付けガス流 2 0 へと均一に合流できるように調整することができる。なお、図 1 に示す例では、ガス導入管 9 a は 1 対（2 本）しか設けられていないが、2 本以上であることが好ましく、多ければ多い方が良い。ガス導入管 9 a から反応容器 1 内に供給されるガスの種類やその混合割合、流量は、ガス種の切り替え・混合機能と流量調整機能とを備えたバルブ 9 b で調節することができる。

40

また、図 1 に示すガス導入管 9 a はノズル状であるが、このノズルは円形になっても良いし、メッシュ状であっても良い。また、成膜面 5 ' に形成される半導体薄膜の膜厚のより一層の均一化のために、ノズルの先端にガスの拡散板を設けても良い。

【 0 0 3 8 】

50

一方、ガス供給手段 10、10' の下流側に設けられるガス導入管 8、8' に関しても、基本的に分岐構造を有していない点を除けば上述したガス供給手段 10、10' と同様に、必要に応じて上述した種々の構成や配置を選択することができる。但し、ノズル先端の位置は、図 1 に示すように円筒状電極 12 の放電領域（ガス活性化領域）の外側に位置するように配置することが好ましい。

【0039】

円筒状電極 12 は、その内周面（放電面）のいずれの位置からも、垂直吹き付けガス流のガス流れ方向中心軸 20 までの距離が略等距離の位置を保ち、且つ、垂直吹き付けガス流 20 の主流部から離れた位置に設置されている。このため、円筒状電極 12 からの放電により形成される放電領域（ガス活性化領域）内を通過する垂直吹き付けガス流 20 は、基板 5 の成膜面 5' 方向に対してほぼ一様に活性化される。このため、半導体製造装置 100 を用いて半導体薄膜を形成した場合、従来よりも成膜面 5' に形成される半導体薄膜の面内組成をより均一にすることができる。

10

【0040】

なお、円筒状電極 12 の外周面には、RF 導入端子 14 が接続されており、この RF 導入端子のもう一端は、反応容器 1 外部に設けられた不図示の RF 発生装置と接続されている。さらに、円筒状電極 12 の外周側には円筒状のアース電極 13 が設けられており、アース電極 13 は、アース配線 13 により反応容器 1 の内壁に接地されている。

【0041】

半導体製造装置 100 には、3つのガス供給手段 8（8'）、11、10（10'）が設けられているが、半導体薄膜の形成に際しては、成膜する半導体の組成や成膜条件に応じて、1種以上の原料ガスを含むガスを1つ以上のガス供給手段を利用して反応容器 1 内へと供給することができる。

20

【0042】

すなわち、原料ガスや補助ガスは、ガス供給手段 11、ガス供給手段 10、10'、ガス供給手段 8、8' のいずれかから必要に応じて反応容器 1 内へと供給することができる。

但し、面内の組成および膜厚が均一な半導体薄膜を形成するためには、少なくとも1種の原料ガスが2つ以上の活性化領域を通過したのち成膜面 5' に到達することが好ましく、この点で、少なくとも1種の原料ガスは最も上部に位置するガス供給手段 11 から供給されることが好ましい。

30

この場合、ガス供給手段 11 から成膜面 5' へと垂直に吹き付ける安定したガスの流れ（垂直吹き付けガス流 20）が形成されると共に、このガスの流れに沿って直列に配置された2つのプラズマ発生手段 7、12 によりガスが十分に活性化される。さらに、垂直吹き付けガス流 20 のガス流れ方向に対して横方向に配置されたガス供給手段 10、10' や、ガス供給手段 8、8' からガスが供給される場合には、一旦活性化されたガスが、これら横方向から供給されるガスと合流してもガスの流れが乱れにくく、且つ、十分に混合される。

なお、原料ガスの活性化状態の制御や膜欠陥防止等のために利用される補助ガスは、円筒状電極 12 の上部近傍に位置するガス供給手段 8、8' から供給されることが好ましい。

40

【0043】

また、半導体製造装置 100 では、2種以上のガスを用いる場合においても均一に混合され、更に成膜面 5' 方向に対して均一に活性化された状態の垂直吹き付けガス流 20 が成膜面 5' 表面に吹き付けるため、成膜面 5' 面内方向の膜厚および組成が均一な半導体薄膜を得ることができる。

【0044】

次に、この半導体製造装置 100 を用いて窒化物半導体膜として GaInN 膜を作製する場合について説明する。

まず、基板 5 を 20 ~ 1200 に加熱し、例えば、原料としての窒素をガス導入管 1

50

1 から導入し、マイクロ波導波管 7 に 2 . 4 5 G H z のマイクロ波を供給し、石英管 6 内で放電させる。これにより窒素ガスは石英管 6 内で活性化された後、反応容器 1 内へと流入する。

この時、ガス管 9 a からキャリアガスと混合されたトリメチルガリウムガスを、ガス管 9 b からキャリアガスと混合されたトリメチルインジウムガスを導入し、バルブ 9 b で、所望の割合に混合すると共に、流量を調整し、ガス導入管 9 a より反応容器 1 内へと導入する。

【 0 0 4 5 】

このように、活性化された窒素ガスに I I I 族元素を含む原料ガスを導入することによって、活性化した窒素やラジカル、イオンによって I I I 族元素を含む原料ガスが分解されまたは反応し活性化種を生成する。

10

また、ガス導入管 8 から補助ガスとして水素ガスを導入する。なお、必要に応じて、水素ガスの代わりに、H e、A r のような不活性気体を補助ガスとして導入してもよい。

【 0 0 4 6 】

このように 3 つのガス供給手段から供給された各々のガスは、合流して垂直吹き付けガス流 2 0 を形成し、成膜面 5 ' に到達する前に円筒状電極によりさらに活性化される。こうして、成膜面 5 ' に到達する直前の垂直吹き付けガス流 2 0 中には活性化された I I I 族元素や V 族元素が独立に制御された状態で存在し、また、活性化により生じた水素原子が、トリメチルガリウムやトリメチルインジウムのメチル基をメタン等の不活性分子にするため、炭素成分が含まれず膜欠陥が抑えられ、所望の組成に制御されると共に、面内の膜厚および組成が均一な窒化物半導体薄膜が成膜面 5 ' 上に形成される。

20

【 0 0 4 7 】

次に、本発明の半導体製造装置の他の例を図面を用いて説明する。

図 2 は本発明の半導体製造装置の他の構成例を示す概略模式図であり、7 ' が高周波コイル（プラズマ発生手段）、2 0 0 が半導体製造装置、他の符号は、図 1 に示すものと同様である。

図 2 に示す半導体製造装置は、図 1 に示す半導体製造装置 1 0 0 と基本的に同様の構成を有するものであるが、マイクロ波導波管 7 の代わりに石英管 6 の回りに巻きつけられた高周波コイル 7 ' を備えた点が異なる。

この半導体製造装置 2 0 0 でも、基本的な構成は半導体製造装置 1 0 0 と同様であるため、面内の組成および膜厚が均一な半導体薄膜を形成することができる。

30

【 0 0 4 8 】

なお、図 1 , 2 に示すような本発明の半導体製造装置において、プラズマ発生手段による放電は直流放電でも交流放電でもよい。また、交流放電の場合、高周波放電の他低周波放電でもよい。さらに、高周波放電の場合、誘導型でも容量型でもよい。また、マイクロ波導波管のみならず、エレクトロンサイクロトロン共鳴方式やヘリコンプラズマ方式の導波管を使用してもよい。

また、本発明の半導体製造装置に用いられる複数のプラズマ発生手段の組み合わせは任意であり、図 1 , 2 に示すようなマイクロ波導波管と容量結合型高周波電極との組み合わせや、高周波コイルと容量結合型高周波電極との組み合わせに限られるものではない。

40

【 0 0 4 9 】

1 つの空間において 2 種以上のプラズマ発生手段を用いる場合、同じ圧力で同時に放電が生起できるようにする必要があり、プラズマを発生する部分と、半導体を成膜する基板の近傍とに圧力差を設けてもよい。これらの圧力を同一とする場合、異なる種類のプラズマ発生手段、例えば、図 1 のようにマイクロ波導波管 7 と容量結合型高周波電極 1 2 とを用いると活性種の活性エネルギーを大きく変えることができ、膜質制御に有効である。

【 0 0 5 0 】

また、基板ホルダー 3 は、上下方向に可動なものであってもよい。また、反応容器 1 内への基板 5 の出し入れが容易なように、反応容器 1 の内外を移動可能なものであってもよい。なお、本発明の半導体製造装置は、面内の膜厚および組成が均一な半導体薄膜が形成

50

できるため、基本的には基板ホルダー 3 を成膜面 5' 方向に回転させる回転機構を設ける必要はないが、より一層の膜厚や組成の面内均一性が求められる場合には、必要に応じて回転機構を設けることもできる。

【0051】

さらに、半導体製造装置 100, 200 ではガス導入管 11 は反応容器 1 の真上に配置されているが、ガス導入管 11 は石英管 6 の軸方向に対して斜めに傾斜していてもよい。

【0052】

なお、上述のような本発明の半導体製造装置を用いれば、基板上に半導体薄膜を形成することができるが、勿論、本発明の半導体製造装置は半導体膜膜以外の MOCVD 法を利用して作製可能な薄膜の製造にも適用可能である。

【0053】

- 垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段の他の具体例 -

以上の図 1, 2 に示した半導体装置の垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段としては円筒状電極 12 が利用されていたが、このような板状電極を利用した他の垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段の具体例を図 1 や 2 に示した半導体装置の構成を前提として図面を用いて説明する。

図 3 は、垂直吹き付けガス流のガス流れ方向と平行な面における板状電極（垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段）の形状および配置の具体例を示す概略模式図であり、図中、30, 31, 32 が板状電極を表し、他の符号は図 1, 2 中に示すものと同様である。なお、図中、反応容器等やガス供給手段等の他の構成は省略している。

【0054】

ここで、図 3 (a) は、図 1 や図 2 に示す板状電極（円筒状電極）12 を示したものであり、放電面が真横を向き、垂直吹き付けガス流のガス流れ方向中心軸 20 と平行に配置されている。

これに対して、図 3 (b) に示す板状電極 30 のように放電面が若干下側を向き、垂直吹き付けガス流のガス流れ方向中心軸 20 に対してやや傾けた状態で配置したり、板状電極 31 のように放電面が若干上側を向き、垂直吹き付けガス流 20 のガス流れ方向に対してやや傾けた状態で配置したりすることもできる。

但し、垂直吹き付けガス流のガス流れ方向中心軸 20 に対して放電面が傾き過ぎると垂直吹き付けガス流の成膜面と平行な方向の活性化状態が不均一となり、成膜面内の組成が不均一となる場合があるため、放電面と垂直吹き付けガス流のガス流れ方向中心軸 20 との成す角度は、最大でも 30 度以下であることが好ましく、20 度以下であることが好ましく、図 3 (a) に示すように 0 度であることが最も好ましい。

また、板状電極は、放電面が平坦なものに限定されるものではなく、例えば、図 3 (c) の板状電極 32 に示されるように、放電面が曲面であってもよい。

【0055】

一方、図 3 に対して、図 4 は、垂直吹き付けガス流のガス流れ方向と垂直に交わる面における板状電極（垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段）の形状および配置の具体例を示す概略模式図であり、図中、33a ~ 33d、34a ~ 34d が板状電極を表し、他の符号は図 1 ~ 3 中に示すものと同様である。なお、図中、反応容器等やガス供給手段等の他の構成は省略している。

【0056】

ここで、図 4 (a) は、図 1 や図 2 に示す板状電極（円筒状電極）12 を示したものであり、垂直吹き付けガス流のガス流れ方向中心軸 20 から等距離に位置するように 1 枚の連続した円筒状電極 12 が設けられている。

図 4 (a) に示す例は、垂直吹き付けガス流のガス流れ方向中心軸 20 から等距離に放電面が位置しており、理想的な電極形状ではある。しかし、半導体製造装置のメンテナンス性の向上や、装置構造の簡素化等、実用的な面も考慮した場合、図 4 (b) (c) に示すように、1 枚の連続した円筒状電極を 4 つの部分に分割（電極 33a、33b、33c、33d）したものであってもよく、放電面が平坦な電極（電極 34a、34b、34c

10

20

30

40

50

、 3 4 d) を 4 つ用いたものであってもよい。

この場合、 4 つの電極の各々に図 1 や図 2 に示されるようなアース配線が接続されたアース電極が電極の外周側に配置されると共に、 R F (高周波) 導入端子が接続される。

【 0 0 5 7 】

(半導体製造システム)

また、本発明の半導体製造装置は、これを 2 つ以上含む半導体製造システムとしても利用できる。この場合、本発明の半導体製造システムは、基板が、大気雰囲気と遮断された状態でいずれか 1 つの半導体製造装置の反応容器から他の半導体製造装置の反応容器へと移動可能な基板搬送手段を備えていることが好ましい。

10

【 0 0 5 8 】

このような半導体製造システムを使用することによって異なる活性化条件 (例えば、放電電力、原料ガスの流量、ドーピング元素など) を用いて短時間で異なる組成の半導体薄膜 (半導体層) を任意の膜厚で積層することが可能となる。

また、半導体層と半導体層との界面が大気に曝されて酸化されたりコンタミやパーティクル等により汚染されたりすること無く連続成膜・多層成膜ができるため、高性能で界面欠陥の少ない半導体素子を得ることができる。

【 0 0 5 9 】

一方、本発明の半導体製造システムは、本発明の半導体製造装置を利用しているため、大面積化しても各層の膜厚や組成が均一である。このため、大面積の基板上に半導体層が積層された 1 枚のウエハーを切り出して個々の半導体素子を作製しても、各々の素子間の性能ばらつきが小さく安定した品質の素子を得ることができる。さらに、従来、ウエハーの大面積化に伴い発生しやすい傾向にあった面内の膜厚や組成の不均一性に起因する歩留まり低下を抑制することができる。

20

【 0 0 6 0 】

なお、基板搬送手段としては、特に限定されないが、モータによりレール上を移動する等の可動式の基板ホルダーであることが好ましい。

また、 1 の半導体層が形成される反応容器 (第 1 の反応容器) と他の半導体層が形成される反応容器 (第 2 の反応容器) との間は、例えば、大気雰囲気と遮断された状態で基板の搬送が可能な連結室によって接続することができる。この場合、第 1 の反応容器中のガスあるいは第 2 の反応容器中のガスが、拡散や圧力差によって他方の反応容器中へと流れ込まないように、ガスの流れを遮断する開閉式のゲートが設けられていることが好ましい。このようなゲートを設けることにより個々の半導体層の膜質や組成の制御性をより向上させることができる。

30

【 0 0 6 1 】

これに対して、各々の半導体層の組成、膜質や成膜条件が類似している場合や、半導体製造システムの構成をより簡易化するために、本発明の半導体製造システムは、 1 つの反応容器を複数の半導体製造装置が共有する半導体製造システムであってもよい。

この場合、例えば、図 1 に示す半導体製造装置の基板ホルダー 5 よりも上部の構造部分 (成膜システム) を、円形の反応容器の外周側に 2 つ以上接続した構成が挙げられる。この場合、反応容器の中心付近に基板ホルダーを設置し、各半導体層の形成に際しては、反応容器の外周側に接続された各々の成膜システム側から反応容器の中心へと流れる垂直吹き付けガス流に対して基板の成膜面が対向するように移動・回転させることで、各々の半導体層を基板上に積層することができる。

40

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 6 2 】

【 図 1 】 本発明の半導体製造装置の一構成例を示す概略模式図である。

【 図 2 】 本発明の半導体製造装置の一構成例を示す概略模式図である。

【 図 3 】 垂直吹き付けガス流のガス流れ方向と平行な面における板状電極 (垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段) の形状および配置の具体例を示す概略模式図である。

50

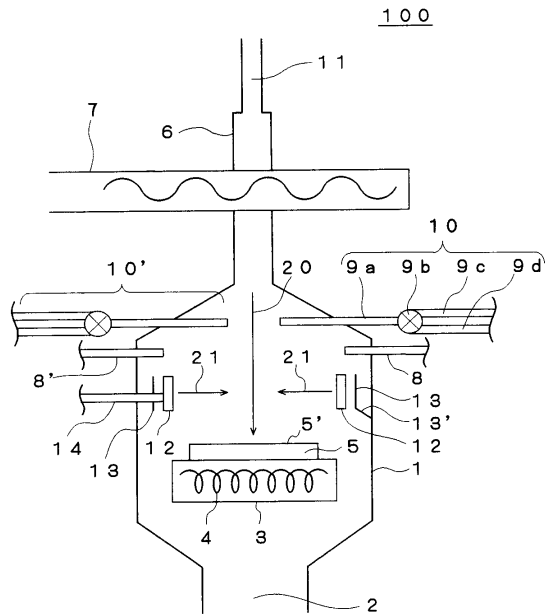
【図 4】垂直吹き付けガス流のガス流れ方向と垂直に交わる面における板状電極（垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段）の形状および配置の具体例を示す概略模式図である。

【符号の説明】

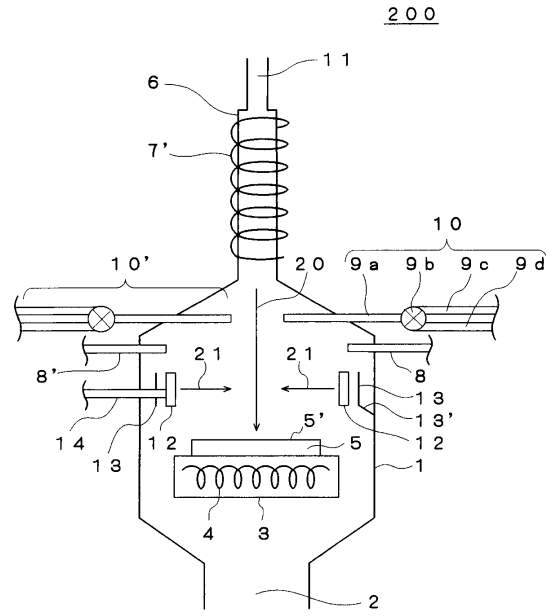
【 0 0 6 3 】

- 1 真空に排気しうる反応容器
- 2 排気口
- 3 基板ホルダー
- 4 ヒーター
- 5 基板 10
- 5' 成膜面
- 6 石英管
- 7 マイクロ波導波管（プラズマ発生手段）
- 7' 高周波コイル（プラズマ発生手段）
- 8、8' ガス導入管（ガス供給手段）
- 9 a ガス導入管
- 9 b バルブ
- 9 c、9 d ガス管
- 10、10' ガス供給手段
- 11 ガス導入管（ガス供給手段） 20
- 12 円筒状（板状）電極（垂直吹き付けガス流活性化用プラズマ発生手段）
- 13 アース電極
- 13' アース配線
- 14 R F（高周波）導入端子
- 20 垂直吹き付けガス流（のガス流れ方向中心軸）
- 21 放電方向
- 30、31、32、33 a ~ 33 d、34 a ~ 34 d 板状電極
- 100、200 半導体装置

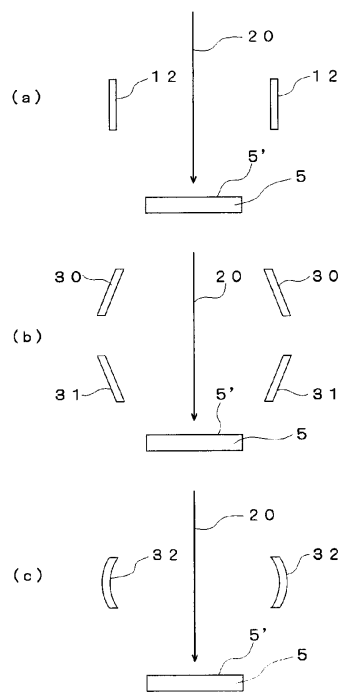
【図 1】



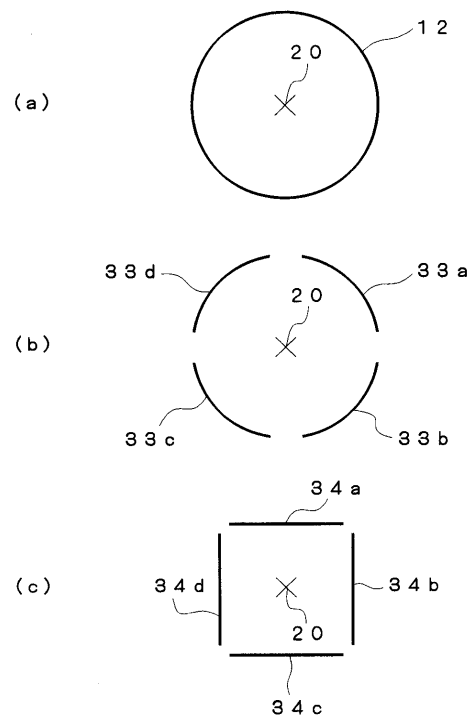
【図 2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

(72)発明者 鳥越 誠之

神奈川県南足柄市竹松1600番地 富士ゼロックス株式会社内

審査官 山本 雄一

(56)参考文献 特開2000-188257(JP,A)

特開平11-286781(JP,A)

特開2001-177099(JP,A)

特開平07-161647(JP,A)

特開平09-036107(JP,A)

特開2001-077028(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/205

H01L 21/3065

H01L 21/31

C23C 16/00-16/56