

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200380108258.3

[51] Int. Cl.

C23C 16/34 (2006.01)

C23C 16/56 (2006.01)

H01L 21/30 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009年8月19日

[11] 授权公告号 CN 100529174C

[22] 申请日 2003.12.18

[21] 申请号 200380108258.3

[30] 优先权

[32] 2002.12.20 [33] US [31] 10/327,467

[86] 国际申请 PCT/US2003/040586 2003.12.18

[87] 国际公布 WO2004/059707 英 2004.7.15

[85] 进入国家阶段日期 2005.7.4

[73] 专利权人 应用材料有限公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 S·王 E·A·C·桑柴兹

A·陈

[56] 参考文献

US5273920A 1993.12.28

US6324439B1 2001.11.27

US5591494A 1997.1.7

Hydrogen radical assisted chemical vapor deposition of ZnSe. S. Oda, R. Kawase, T. Sato, I. Shimizu, H. Kokado. Appl. Phys. Lett., Vol. 1 No. 48. 1986

Silicon nitride films grown by hydrogen radical enhanced chemical vapor deposition utilizing trisdimethylaminosilane. Kanji Yasui, Kazutaka Otsuki, Tadashi Akanane. Journal of Non-Crystalline Solids, No. 169. 1994

审查员 王傲寒

[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

代理人 赵蓉民

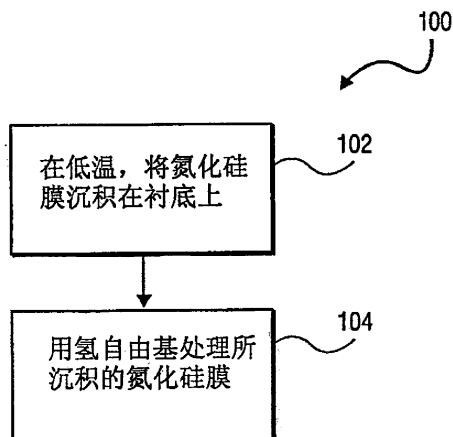
权利要求书 6 页 说明书 17 页 附图 5 页

[54] 发明名称

形成高质量的低温氮化硅膜的方法和设备

[57] 摘要

本发明提供一种形成氮化硅膜的方法。根据本发明，通过对含硅/氮源气体或者含硅源气体和含氮源气体进行热分解来在低沉积温度（例如小于 550°C）下沉积氮化硅膜，以形成氮化硅膜。然后利用氢自由基对热沉积的氮化硅膜进行处理以形成处理后的氮化硅膜。



1. 一种形成氮化硅膜的方法，包括：  
将衬底加热到 550°C 或更低的温度；  
在将所述衬底加热到 550°C 或更低温度的同时，对含硅和氮源气体或者含硅源气体和含氮源气体进行热分解，从而在所述衬底上形成氮化硅膜，其中，所述含硅和氮源气体或所述含硅源气体包括通过单键与第二硅原子键合的第一硅原子，以及与所述第一硅原子键合的氯原子或氮原子，和与所述第二硅原子键合的氯原子或氮原子；并且  
利用氢自由基来处理所述氮化硅膜。
2. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述氢自由基通过含氢源气体的等离子体分解而形成。
3. 根据权利要求 2 所述的方法，其中，所述含氢源气体包括  $\text{NH}_3$ 。
4. 根据权利要求 3 所述的方法，其中，所述含氢源气体进一步包括  $\text{H}_2$ 。
5. 根据权利要求 2 所述的方法，其中，所述含氢源气体包括  $\text{H}_2$ 。
6. 根据权利要求 5 所述的方法，其中，与所述含氢源气体一起提供惰性气体，该惰性气体选自由氮气、氩和氦组成的组。
7. 根据权利要求 2 所述的方法，其中，所述源气体的所述等离子体分解发生于远离用氢自由基来处理所述氮化硅膜的所述室的另一个室中。
8. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，利用所述氢自由基对所述氮化硅膜所作的处理在 100 毫托-5 托的压力下进行。
9. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述氮化硅膜的氯浓度在所述膜被处理之前为 1.0 at.% 以上，在所述膜被处理之后为 1.0 at.% 以下。

10. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 所述氮化硅膜的碳浓度在所述膜被处理之前为 10 at.%以上, 在所述膜被处理之后为 5 at.%以下。

11. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 所述衬底的温度低于 500 °C。

12. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 形成所述氮化硅膜的沉积速率大于 100 Å/分钟。

13. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 在利用所述氢自由基进行处理之前, 所形成的所述氮化硅膜的厚度小于 150 Å。

14. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 在所述氢自由基处理之前, 所述氮化硅膜的氢浓度为 15 at.%以上。

15. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 所述含硅源气体或所述含硅和氮源气体包括通过单键与第二硅原子键合的第一硅原子, 且其中每个所述硅原子的其他三个键与氮原子或氯原子键合。

16. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 所述硅源气体或所述硅和氮源气体包括与氮原子相键合的有机基团, 该氮原子与第一硅原子键合, 而该第一硅原子与第二硅原子之间具有一个单键。

17. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 所述含硅源气体或所述含硅和氮源气体包括氯化的氨基乙硅烷或未氯化的氨基乙硅烷  $R_2N-Si(R'_2)-Si(R'_2)-NR_2$ , 其中: R, R' 是 Cl、或甲基、或乙基、或异丙基、或其它烷基基团、或另一个烷基氨基基团、或含 N 的环状基团、或甲硅烷基基团的任意组合。

18. 根据权利要求 17 所述的方法, 其中, 所述含硅源气体或所述含硅和氮源气体选自由 1,2-二乙基-四(二乙基氨基)乙硅烷, 1,2-二氯-四(二乙基氨基)乙硅烷, 以及六(N-吡咯烷)乙硅烷组成的组。

19. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述含硅源气体是六氯乙硅烷。

20. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括,通过对含硅和氮源气体或含硅源气体和含氮源气体进行热分解而在所述处理过的氮化硅膜上形成第二层氮化硅膜;并且  
利用氢自由基来处理所述第二层氮化硅膜。

21. 根据权利要求20所述的方法,进一步包括,通过对含硅和氮源气体或者含硅源气体和含氮源气体进行热分解而在所述处理过的第二层氮化硅膜上形成第三层氮化硅膜;并且利用氢自由基来处理所述第三层氮化硅膜。

22. 根据权利要求1所述的方法,其中,利用氢自由基以 $5 \times 10^{15}$ 个/cm<sup>2</sup>原子- $1 \times 10^{17}$ 个/cm<sup>2</sup>原子的流量处理所述氮化硅膜。

23. 根据权利要求22所述的方法,其中,利用所述氢自由基处理所述氮化硅膜时的压力为100毫托-5托。

24. 根据权利要求1所述的方法,其中,形成所述氮化硅膜时所述室内的压力为10-350托。

25. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述沉积的氮化硅膜被处理15-120秒。

26. 根据权利要求1所述的方法,其中,在450-600℃的温度下利用氢自由基处理所述氮化硅沉积膜。

27. 根据权利要求14所述的方法,其中,处理所述氮化硅膜之后,所述氮化硅膜的氢浓度为10 at.%以下。

28. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 利用氢自由基处理所述氮化硅膜之前, 所述氮化硅膜的折射率为1.85以下。

29. 根据权利要求28所述的方法, 其中, 利用氢自由基处理所述氮化硅膜之后, 所述氮化硅膜的折射率大于或等于1.90。

30. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 利用氢自由基处理所述氮化硅膜之前, 所述氮化硅膜的蚀刻速率为利用缓冲氧化物蚀刻的氧化硅的蚀刻速率的2倍以上。

31. 根据权利要求30所述的方法, 其中, 利用氢自由基处理所述氮化硅膜之后, 所述氮化硅膜的蚀刻速率与利用缓冲氧化物蚀刻的氧化硅的蚀刻速率基本相同。

32. 一种形成氮化硅膜的方法, 包括:

通过对含硅和氮源气体或含硅源气体和含氮源气体进行热分解而在550°C以下的温度以大于100Å/分钟的沉积速率沉积氮化硅膜, 达到150 Å以下的厚度, 其中, 所述含硅和氮源气体或所述含硅源气体包括通过单键与第二硅原子键合的第一硅原子, 以及与所述第一硅原子键合的氯原子或氮原子, 和与所述第二硅原子键合的氯原子或氮原子; 以及

利用由含氢源气体进行等离子体分解形成的氢自由基处理所述沉积的氮化硅膜而形成处理过的氮化硅膜。

33. 根据权利要求32所述的方法, 其中, 所述含硅源气体或所述含硅和氮源气体是有机乙硅烷。

34. 根据权利要求32所述的方法, 其中, 所述含氢源气体包括NH<sub>3</sub>。

35. 根据权利要求32所述的方法, 其中, 所述含氢源气体包括H<sub>2</sub>。

36. 根据权利要求 32 所述的方法, 其中, 所述含氢源气体包括  $\text{NH}_3$  和  $\text{H}_2$ 。

37. 根据权利要求 32 所述的方法, 其中, 利用氢自由基以  $5 \times 10^{15}$  个/ $\text{cm}^2$  原子- $1 \times 10^{17}$  个/ $\text{cm}^2$  原子的流量处理所述沉积的氮化硅膜。

38. 根据权利要求 32 所述的方法, 其中, 利用氢自由基处理所述沉积的氮化硅膜之前, 所述氮化硅膜的氢浓度为 15 at.% 以上, 其大部分为 Si-H 形式的键, 而利用氢自由基处理所述沉积的氮化硅膜之后, 所述处理过的氮化硅膜的氢浓度为 10 at.% 以下, Si-H 键显著减少。

39. 根据权利要求 32 所述的方法, 其中, 所述等离子体分解在远离用氢自由基处理所述氮化硅膜的室的另一个室中进行。

40. 根据权利要求 32 所述的方法, 其中, 所述氮化硅膜在其进行沉积的同一个室中进行处理。

41. 一种形成氮化硅膜的方法, 包括:

通过对含硅和氮源气体或含硅源气体和含氮源气体进行热分解而沉积硅膜, 其中所述含硅源或所述含硅和氮源气体包括氯和碳, 其中, 所述含硅和氮源气体或所述含硅源气体包括通过单键与第二硅原子键合的第一硅原子, 以及与所述第一硅原子键合的氯原子或氮原子, 和与所述第二硅原子键合的氯原子或氮原子; 以及

利用等离子体分解含氢气体形成的氢自由基处理所述沉积的氮化硅膜而形成处理过的氮化硅膜。

42. 一种形成氮化硅膜的方法, 包括:

通过对含硅和氮源气体或含硅源气体和含氮源气体进行热分解而沉积氮化硅膜, 其中, 在沉积所述氮化硅膜之后, 所述氮化硅膜的氢浓度为 15 at.% 以上, 碳浓度为 10 at.% 以上; 以及

利用氢自由基处理所述沉积的氮化硅膜, 直到所述氮化硅膜的氢浓度

为 10 at.%以下，而碳浓度为 5 at.%以下。

43. 根据权利要求 42 所述的方法，其中，所述氮化硅膜的氯浓度在所述膜被处理之前为 1.0 at.%以上，而在所述膜被处理之后为 1.0 at.%以下。

44. 用于形成氮化硅膜的设备，包括：

衬底支架，其设置在室中用于支撑衬底；

加热器，其用于加热放置在所述衬底支架上的衬底；

气体入口，其用于向所述室内供给包括硅源气体和氮源气体和/或硅和氮源气体的工艺气体混合物；

从含氢气体生成氢自由基的装置；以及

处理器/控制器，其用于控制所述设备的操作，其中所述处理器/控制器包括存储器，所述存储器具有许多指令，其中包括：用于将放置在所述衬底支架上的衬底加热到 550°C 以下的温度的指令；向所述室内供给含硅源气体和含氮源气体或含硅和氮源气体，同时加热所述衬底而在所述衬底上形成氮化硅膜的指令，其中，所述含硅和氮源气体或所述含硅源气体包括通过单键与第二硅原子键合的第一硅原子，以及与所述第一硅原子键合的氯原子或氮原子，和与所述第二硅原子键合的氯原子或氮原子；以及控制用于生成氢自由基的所述装置的指令，以便利用氢自由基处理所述氮化硅膜。

## 形成高质量的低温氮化硅膜的方法和设备

### 发明背景

### 技术领域

本发明关于薄膜形成领域，更具体地是关于以低沉积温度和高沉积速率来形成氮化硅膜的方法和设备。

### 相关技术的讨论

现代集成电路毫无夸张地是由集成到功能电路中的数百万到上千万个晶体管构成的。为了进一步提高集成电路的计算能力和存储能力，晶体管特征尺寸，例如栅长和栅氧化物厚度必须进一步按比例缩小。但是，随着晶体管的栅长不断按比例改变，晶体管的电学特性和性能可能会由于器件中掺杂物的热量再分布而发生很大变化。同样，随着器件进一步按比例改变，必须也降低用于制造集成电路的热量预算，以确保器件具有一致的和可靠的电学性能。也就是说，随着器件尺寸不断减小，用于形成集成电路的薄膜的沉积和工艺温度也必须降低。预期制造晶体管尺寸为 65 纳米或更小的集成电路要求能够在低于 550 °C 的沉积温度下形成的高质量薄膜。

此外，为了进一步按比例改变半导体器件的尺寸，用于制造这些器件的薄膜必须能以高度的组分均匀性和厚度均匀性而形成。为了形成厚度和组分极均匀的膜，通常需要在单晶片沉积反应器中形成膜。为了在可制造量的时间内于单晶片反应器中形成薄膜，薄膜的沉积速率应该至少为 50Å/分钟。

在半导体制造工艺的整个过程中，采用由热化学气相沉积法 (CVD) 沉积的氮化硅薄膜。例如，热 CVD 氮化硅膜用作隔离膜，蚀刻阻挡层(etch stops)，以及电容器和多晶硅间介质体。但是，在单晶片反应器中利用热化学气相沉积法形成高质量氮化硅膜的现有技术需要高于 750 °C 的沉积温度，和/或在较低温度下的低沉积速率。在大多数氮化硅沉积工艺中，如果沉积温度降低至 550 °C 以下，则沉积速率发生大



幅降低并可能达到 0。此外，当氮化硅膜在低温下沉积或以高沉积速率进行沉积时，膜质量通常很差。

因此，所需要的是通过热化学气相沉积(CVD)，以小于或等于 550℃的低沉积温度，并以大于 50Å/分钟的可制造沉积速率形成高质量氮化硅膜的方法。

## 发明概述

本发明描述了一种形成氮化硅膜的方法。根据本发明，通过在低沉积温度(例如小于 550℃)下对含硅/氮源气体或者含硅源气体和含氮源气体进行热分解来沉积氮化硅膜，以形成氮化硅膜。然后利用氢自由基对热沉积的氮化硅膜进行处理以形成处理过的氮化硅膜。

## 附图说明

图 1 示出了本发明氮化硅膜形成方法的流程图。

图 2 示出了本发明一种实施方式中氮化硅膜形成方法的流程图。

图 3A-3C 是本发明中形成半导体器件的方法的截面图，其中该半导体器件具有由氮化硅膜构成的侧壁隔离层。

图 4 示出了本发明中可用于形成氮化硅膜的设备。

图 5 示出了本发明中可用于形成氮化硅的群集工具。

## 发明详述

本发明是可在低沉积温度下形成的高质量氮化硅膜。在下列的说明书中，对许多特定的细节，如沉积和退火设备展开了描述，目的是能彻底地理解本发明。

然而，本领域的普通技术人员将认识到本发明可在缺少这些特定细节的情况下实施。在另一些例子中并未对公知的半导体加工工艺展开特别详细的描述，目的是避免不必要地隐藏本发明。

本发明是在低于 550℃的沉积温度下采用热化学气相沉积法(CVD)形成高质量氮化硅膜的新颖的方法和设备。图 1 的流程图中对沉积氮化硅膜的方法的一个示例进行了一般性说明。根据本发明的第一步骤，如图 1 的方块 102 所示，在小于等于 550℃，理想地是低于 500℃的沉

积温度（衬底温度）下，包括含硅/氮源气体或含硅源气体和含氮源气体的工艺气体或处理气体混合物在室内被热分解而产生硅物质和氮物质，并由此沉积出氮化硅膜。选择源气体或多种源气体，使氮化硅膜能由热化学气相沉积法在低于或等于 550°C 的低沉积温度下（即衬底或晶片温度），以至少 50Å/分钟，理想地是至少 100Å/分钟的沉积速率形成。

可用于由热化学气相沉积法在低温下以足够高的沉积速率产生氮化硅膜的含硅源气体或含硅/氮源气体包括：例如，六氯乙硅烷(HCD 或 Si<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>) 和含有机硅的气体，如 1,2 二乙基-四(二乙基氨基)乙硅烷，1, 2-二氯-四(二乙基氨基)乙硅烷，六(N-吡咯烷基)乙硅烷，以及其它氯化或未氯化的烷基-氨基-乙或甲硅烷 R<sub>2</sub>N-Si(R'<sub>2</sub>)-Si<sub>x</sub>(R'<sub>2</sub>)<sub>y</sub>-NR<sub>2</sub>(x = y = 0 或 1; R, R' = Cl、或甲基、或乙基、或异-丙基、或其它烷基基团、或另一个烷基氨基基团、或含 N 的环状基团、或甲硅烷基基团中的任意组合)。

根据本发明，用于在低温下形成氮化硅膜的硅源气体(前体)或硅/氮源气体(前体)具有弱硅-硅单键(即 Si-Si 单键)，这使得分子易于在低温下发生分解。此外，理想地，硅源气体或硅/氮源气体也含有与每个具有弱单键的硅原子相键合的氯(Cl)原子和/或氮(N)原子。即，理想地，硅源气体或硅/氮源气体具有与弱 Si-Si 单键连续的 Si-Cl 官能团和/或 Si-N 官能团。这对不断降低的温度下以合适的沉积速率改进台阶覆盖和微载荷尤其起到关键作用。在本发明的实施方式中，硅源气体或硅/氮源气体具有弱 Si-Si 单键，其中每个硅原子的其它三个键与氮(N)原子或氯(Cl)原子键合，理想地与一个氮原子和一个氯原子键合。在本发明的实施方式中，硅源气体或硅/氮源气体包括有机基团，其中该有机基团理想地与氮原子相键合，而该氮原子又与另一个具有单键与另一个硅原子键合的硅原子键合。或者，有机基团可直接与硅原子相键合，而该硅原子又具有与另一个硅原子键合的弱单键。理想地，硅源气体或硅/氮源气体是对称的分子。

根据本发明，可用于在低温下沉积含有硅和氮的膜的氮源气体或前体包括但不限于氨气(NH<sub>3</sub>)或 N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>。理想地，氮源气体含有弱的氮-氮单键(即，N-N 单键)，从而使氮源气体易于在低温下发生分解。此外，

当将含硅/氮源气体用于工艺气体混合物中时，气体混合物中也通常包括一定量的氮源气体，以在膜沉积期间灵活控制所沉积的膜的组成。

由于氮化硅膜是在低温下以高沉积速率沉积得到的，因此氮化硅膜通常在最初时是质量差的膜。即，最初的“沉积态”的氮化硅膜的总氢浓度高(例如高于 15 at.% (原子百分比))，其中的大部分为 Si-H 形式；在采用有机硅前体的情况下碳浓度高(例如高于 10 at.%)；在采用氯化硅前体的情况下氯浓度高(例如高于 1 at.%)；折射率低(例如低于 1.85)；以及湿蚀刻速率高(例如为利用氧化物蚀刻，如缓冲氧化物蚀刻(BOE)的蚀刻速率的两倍以上)。

如图 1 的方块 104 所示，为了提高沉积态氮化硅膜的质量，用氢自由基处理膜达预定的时间，从而提高膜的质量(例如，将总氢浓度降低到 10 at.% 以下，或降低 Si-H 形式的分数，或将碳浓度降低至例如 5 at.% 以下，或将氯浓度降低至例如 1 at.% 以下，或将折射率增加至例如 1.90 以上，或将湿蚀刻速率降低至例如与利用氧化物蚀刻如 BOE 的氮化硅蚀刻速率基本相同 (1:1))。氢自由基可例如通过等离子体分解(原位或远处)或通过对含氢气体如氨气( $\text{NH}_3$ )和氢气( $\text{H}_2$ )的“热线”分解而形成。沉积态的氮化硅膜可用流量为  $5 \times 10^{15}$  个/ $\text{cm}^2$  原子- $1 \times 10^{17}$  个/ $\text{cm}^2$  原子的氢自由基进行处理。在氢自由基的处理期间，将衬底加热到 450-600°C 的低温。通常在 15-120 秒内就发生了充分的处理。本发明的方法能通过热化学气相沉积法在低沉积温度下以可制造的高沉积速率(例如大于 50 Å/min)形成高质量氮化硅膜。低沉积温度使得氮化硅膜在形成晶体管或有源器件之后的应用或场合中能被用于半导体电路制造方法中，原因是沉积温度低得足以不会强烈地影响器件的热预算或改变其中的掺杂物分布。氮化硅膜的高沉积速率使得可在单晶片反应器中实施该方法。

图 2 的流程图 200 示出了根据本发明的实施方式，在单晶片反应器中沉积和处理氮化硅膜的一个示例。第一步是采用热化学气相沉积法在晶片或衬底上沉积氮化硅膜。流程图 200 的方块 201 示出了氮化硅沉积法的一个特例。沉积氮化硅膜的第一步是将晶片或衬底放置到室内。理想地，氮化硅膜在减压单晶片冷壁反应器的室内形成，该室具有用于加热晶片的电阻性加热的衬底支架，例如是应用材料有限公

司的 Xgen 室。图 4 中举例说明并示出了合适的室的一个示例。

一旦已经将衬底放置到室内，就达到了用于沉积氮化硅膜的沉积压力和温度。在本发明的一个实施方式中，发生氮化硅膜沉积的沉积压力为 10-350 托。沉积温度（即晶片或衬底的温度）将取决于用于沉积氮化硅膜的特定处理气体（例如，含硅源气体和含氮源气体）。晶片或衬底温度小于或等于 550°C，理想的是低于 500°C，在沉积过程期间通常为 550-450°C。接下来，如方块 206 所示，将工艺气体引导到沉积室内。工艺气体混合物将包括含硅源气体（即，可被分解而提供用于沉积氮化硅膜的硅原子或含硅中间物质的气体）和含氮源气体（即，可被热分解而提供用于沉积氮化硅膜的氮原子或含氮物质的气体）中的至少一种。或者，工艺气体混合物可包括硅/氮源气体，其从单分子提供用于形成氮化硅膜的既含硅原子又含氮原子的源，或者是含有氮和硅的中间物质源。当采用硅/氮源气体时，工艺气体混合物还可以包括氮源气体和/或硅源气体，或可只包括硅/氮源气体而无其它的氮和硅源。

含氮源气体可包括但不限于氨气(NH<sub>3</sub>)和肼(N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)。在本发明的一个实施方式中，在将硅源气体供入到室内之前，先将氮源气体供入到沉积室内。此外，在本发明的一个实施方式中，氮源气体具有弱氮-氮单键（即 N-N 单键）。

本发明用于在低温下形成氮化硅膜的硅源气体（前体）或硅/氮源气体（前体）具有使分子在低温下易于分解的弱硅-硅单键（即 Si-Si 单键）。此外，理想情况下，硅源气体或硅/氮源气体也含有与每个具有弱单键的硅原子相键合的氯(Cl)原子和/或氮(N)原子。也就是说，理想情况下，硅源气体或硅/氮源气体具有与弱 Si-Si 单键连续的 Si-Cl 官能团和/或 Si-N 官能团。这对在不断降低的温度下以合适的沉积速率改进台阶覆盖和微载荷尤其起到关键作用。在本发明的实施方式中，硅源气体或硅/氮源气体具有弱硅-硅单键，其中每个硅原子的另外三个键与氮(N)原子或氯(Cl)原子键合，理想的是与氮原子和氯原子键合。在本发明的实施方式中，硅源气体或硅/氮源气体包括多个有机基团，理想的是其中有一个有机基团与氮原子相键合，该氮原子又与硅原子相键合，而该硅原子与另一个硅原子之间存在单键。或者，有机基团可直接键合到某个硅原子上，该硅原子与另一个硅原子之间存在弱单键。理想情

况下，硅源气体或硅/氮源气体是对称分子。

在本发明的一个实施方式中，硅源气体是六氯乙硅烷(HCD)。可将HCD和NH<sub>3</sub>或N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>供入室内而形成氮化硅膜。如果采用HCD，在引入到反应室内之前，可先将其与惰性载气如N<sub>2</sub>相混合。应该理解诸如N<sub>2</sub>的载气在反应的沉积温度下不起反应，或不发生热分解，同样也就不参加反应。在本发明的一个实施方式中，HCD以10-200 sccm的速率供入反应室内，同时提供500-5000 sccm的氮源气体。在一个示例中，HCD源气体和氮源气体的流速为1:1和1:1000，理想情况下分别为1:1-1:500之间。这种方法或工艺可在晶片温度为530℃时以约80 Å/min沉积速率形成氮化硅膜，而在晶片温度为480℃时以约50 Å/min沉积速率形成氮化硅膜。

在本发明的实施方式中，含硅源气体是含有机硅的气体，例如1,2-二乙基-四(二乙基氨基)乙硅烷，1,2-二氯-四(二乙基氨基)乙硅烷，六(N-吡咯烷基)乙硅烷，以及其它氯化或非氯化的烷基-氨基-二或甲-硅烷R<sub>2</sub>N-Si(R'<sub>2</sub>)-Si<sub>x</sub>(R'<sub>2</sub>)<sub>y</sub>-NR<sub>2</sub> (x=y=0或1; R, R'=Cl、或甲基、或乙基、或异-丙基、或其它烷基基团、或另一个烷基氨基基团、或含N的环状基团、或甲硅烷基基团的任意组合)。可利用流速为10-100 sccm的1,2-二氯-四(二乙基氨基)乙硅烷以及流速为200-2000 sccm的氮源气体形成合适的氮化硅膜。可由流速为10-100 sccm的1,2-乙基-四(二乙基氨基)乙硅烷和流速为200-2000 sccm的氮源气体沉积合适的氮化硅膜。这种方法或工艺可在晶片温度为530℃时以约80 Å/min沉积速率形成氮化硅膜，而在在晶片温度为480℃时以约50 Å/min沉积速率形成氮化硅膜。

接下来，如流程图200的方块208所示，来自被加热的衬底或衬底支架的热量使硅/氮源气体或硅源气体和氮源气体发生热分解。硅源气体的热分解提供了硅原子或含硅的中间物质。氮源气体的热分解提供了氮原子或含氮的中间物质。硅/氮源气体的热分解既可提供硅原子或含硅的中间物质，又可提供氮原子或含氮的中间物质。硅原子或含硅的中间物质与氮原子或含氮的中间物质发生反应而在衬底的表面上沉积氮化硅膜。应该理解在本发明中，含硅/氮源气体或硅源气体和氮源气体仅利用热能，如来自于衬底的热或来自于衬底支架的热进行热

分解，而不需要其它辅助能源，例如光子增强或等离子增强。在本发明的一个实施方式中，氮化硅膜的沉积厚度为 10-150 Å，优选的厚度为 120 Å 以下，理想的是 80 Å 以下。如果需要较厚的膜，可采用多次沉积/氢自由基处理循环以沉积较厚的膜，这将在下文进行论述。

在本发明的一个实施方式中，如方块 210 所示，在沉积足够厚的氮化硅膜之后，停止硅源气体和氮源气体的流入。在本发明的一个实施方式中，当氮化硅的沉积完成之后，可任选用氮源气体处理衬底，如方块 210 所示。在约 10 秒的时间内，仅将氮源气体引入到反应室内。在沉积步骤结束时采用氮源气体处理氮化硅膜，这终止了衬底上未反应的硅位点。这一操作有助于增加 N/Si 比，降低氮化硅膜内的氢(尤其是在 Si-H 键形式中)。然而，操作 210 并非是根据本发明获得良好氮化硅膜所必须的。

本发明中用于沉积氮化硅膜的工艺气体混合物能通过热化学气相沉积法，在低于 550 °C，理想的是低于 500°C 的低沉积温度下，以至少为 50Å/分钟，理想的是高于 100Å/分钟的速率来沉积氮化硅膜。

由于以高沉积速率和/或在低沉积温度下沉积氮化硅膜，"沉积态"的氮化硅膜通常具有较差的质量。即，"沉积态"的氮化硅膜常常具有大于 15 at.% 的较高氢浓度（主要是 Si-H 形式），以及小于 1.85 的低折射率和较高的湿蚀刻速率(例如为利用氧化物蚀刻如缓冲氧化物蚀刻(BOE)的氧化硅蚀刻速率的两倍以上)。此外，当采用氯化的和/或有机硅前体时，膜中的氯和碳浓度高，分别为大于 1.0 at.% 和 10 at.%。质量这样差的氮化硅膜不适用于半导体器件制造中氮化硅膜的许多应用场合，例如隔离层和多晶硅间介质体。

根据本发明，"沉积态"的氮化硅膜用氢自由基处理一段预定的时间，以提高"沉积态"膜的质量，如流程图 200 中的方块 212 所示。在本发明的一个实施方式中，将氮化硅膜暴露到流量为  $5 \times 10^{15}$  个/cm<sup>2</sup> 原子 -  $1 \times 10^{17}$  个/cm<sup>2</sup> 原子，理想地为约  $1 \times 10^{16}$  个/cm<sup>2</sup> 原子的氢自由基中。在本发明的一个实施方式中，氮化硅膜被氢自由基处理 15-120 秒，同时将衬底加热到 450-600°C 的温度下。氢自由基处理可在 100 毫托—5 托的压力下进行。

氢自由基处理所采用的氢自由基可以以任何合适的形式产生。在

本发明的实施方式中，氢自由基由可被分解而提供足量氢自由基的含氢气体进行等离子体分解形成。氢自由基包括所有种类的原子氢，包括高度活化的中性原子氢和带电荷的氢离子。合适的氢源气体包括氨(NH<sub>3</sub>)和氢气(H<sub>2</sub>)。在本发明的实施方式中，氢源气体包括NH<sub>3</sub>和H<sub>2</sub>的混合物。在本发明的一个实施方式中，氢处理气体仅包括NH<sub>3</sub>或仅包括H<sub>2</sub>。此外，在本发明的一个实施方式中，惰性气体，例如N<sub>2</sub>、Ar或He可与氢处理气体一起提供。利用微波或射频源在200—2000瓦的功率下适当地分解含氢气体而提供氢自由基。氢处理气体的等离子体分解可在原位完成或利用远程等离子体完成。在原位方法中，等离子体和氢自由基在同一个室中生成，该室中装有将被处理的具有氮化硅膜的衬底。合适的等离子室的一个示例包括电容性耦合的PECVD或高密度等离子体HDP室。在远程等离子体处理中，氢自由基和等离子体由独立于装有具有氮化膜的衬底的室的另一个室内的微波生成。在远程等离子体方法中，等离子体和氢自由基在一个室或第一室(分解室或腔)中生成，然后从分解室出发，流经导管而进入另一个室或第二室中，该第二室中装有具有将被处理的氮化硅膜的衬底。可采用任何合适的远程等离子体发生器反应器，例如但不限于Astex Astron，应用材料有限公司的远程等离子体渗氮(RPN, Remote Plasma Nitridation)源，以及应用材料有限公司的高级去除钝化层附加(ASP, Advanced Strip Passivation Plus)室。

在本发明的一个实施方式中，氢自由基由含氢气体的“热线”分解或催化分解而形成，所述的含氢气体例如为氨(NH<sub>3</sub>)和氢气(H<sub>2</sub>)或其混合物。在“热线”法中，将金属丝或催化剂，例如钨丝加热到约1600-1800℃的高温下，将氢处理气体输入到钨丝上。热的钨丝导致氢处理气体发生裂化或分解，形成氢自由基。然后，氢自由基对形成于钨丝下方衬底上的氮化硅膜进行处理。尽管钨丝温度很高，但衬底在处理过程中仍然只被加热到600℃以下，优选550℃以下的低温。在本发明的另一个实施方式中，可利用感应生成的等离子体来生成氢自由基。

在本发明的一个实施方式中，“沉积态”氮化硅膜在一段时间、温度和压力下被暴露到氢自由基中，从而将膜的氢浓度降低到10at.%以下

和/或降低 Si-H 键的分数以及将折射率提高到 1.9 以上。如果利用有机硅源气体，则可对膜进行处理，直到膜中的碳浓度下降到 5 at.% 以下。如果采用氯化的硅源气体，则可对膜进行处理，直到膜中的氯浓度降低到 1 at.% 以下。在本发明的一个实施方式中，对氮化硅膜进行处理，直到湿蚀刻速率几乎与利用 BOE 的氧化硅的相同。

由于采用低温法时，氢自由基可渗透氮化硅膜的深度或距离通常被限制为 100 Å 以下，典型地为 50 Å 以下，在氢自由基处理之前，先形成不超过 150 Å，优选不超过 100 Å 的氮化硅膜。当需要较厚的氮化硅膜时，可采用多次沉积和处理循环。例如，如果需要 300 Å 厚的氮化硅膜，首先可沉积 100 Å 厚的氮化硅膜，然后用氢自由基处理该氮化硅膜。然后，在处理过的氮化硅膜上沉积第二层 100 Å 的氮化硅膜，接着用氢自由基处理第二层氮化硅膜。此后，在第二层氮化硅膜上沉积第三层 100 Å 厚的氮化硅膜，接着用氢自由基进行处理。通过这种方式，可形成任何所需厚度的高质量氮化硅膜。

本发明中形成氮化硅膜的方法可理想地用于制造要求低热量预算和/或防止置于硅衬底中的掺杂物发生重新分布的半导体器件。根据本发明，采用氮化硅膜的一个示例是制造侧壁隔离层。在此类应用中，可提供衬底，例如图 3A 所示的衬底 300。衬底 300 包括单晶硅衬底或形成于其上的、具有栅极介电层 304 的膜 302。在栅极介电层上形成门电极或栅电极 306，其具有横向相对设置的侧壁。典型地，一对源极/漏极端或扩展区或延伸区 310 形成于衬底 302 中，与门电极 306 的横向相对侧壁同轴。

然后，如图 3B 所示，根据本发明形成的低温氮化硅膜是沉积在图 300 的衬底上的覆盖层。氮化硅膜 312 的厚度取决于所制造晶体管的物理特性，对 65nm 技术器件通常为至少 200 Å 厚。根据本发明，利用低沉积温度，以高沉积速率按照上述方法沉积氮化硅膜。首先形成厚度为小于或等于 100 Å，理想情况为小于 50 Å 的氮化硅层。然后，如上所述，用氢自由基对该氮化硅膜进行退火处理。接下来，在必要的情况下于氢自由基处理过的第一层氮化硅膜上形成第二层氮化硅膜。之后用氢自由基按照上述方法处理该第二层氮化硅膜，然后，如上所述，可采用低温化学气相沉积法沉积第三层氮化硅层。如上所述，用



氢自由基处理第三层氮化硅层。按照这一方式继续该过程，直到形成具有所需总厚度的氮化硅膜 312。在一些应用实施方式中，在氮化硅层之前先形成沉积的或生长的氧化硅层，从而成为氮化硅层的基础。由于氮化硅层 312 是采用低温法形成的，并用氢自由基在低温下进行处理，形成源极/漏极扩展区域 310 的掺杂物在氮化硅形成期间基本不会在衬底 302 内发生移动或重新分布。按照这种方式，所制造的设备的电学特性是一致的。

接下来，如图 3C 所示，在形成足够厚的氮化硅层 312 之后，氮化硅 312 可被各向异性地蚀刻，从而形成沿着门电极 306 的横向相对侧壁延伸的侧壁隔离层 314。各向异性的蚀刻法从水平表面上，例如源极/漏极扩展区 310 和门电极 306 的顶部上去除氮化硅层，同时留下竖直表面，如门电极 306 侧壁上的氮化硅。形成侧壁隔离层 314 之后，可进行对半导体器件的其它处理，如形成深的源极/漏极区域 316 和/或在源极/漏极区域上形成硅化物 318。侧壁隔离层 314 允许深的源极/漏极区域发生偏移，以及允许硅化物，如硅化钛或硅化钴以本领域公知的自对准法形成于源极/漏极区域和门电极的顶部。

#### 用于形成低温氮化硅膜的设备

理想情况下，本发明的氮化硅膜在低压热化学气相沉积反应器中形成。图 4 示出了合适的反应器 400 的一个示例。在本发明的一个实施方式中，氢自由基处理可在用于沉积氮化硅膜的同一个室内进行。为了在用于沉积膜的同室内用氢自由基处理"沉积态"氮化硅膜，可将远程等离子源耦合到低压化学气相沉积反应器上，以向室内提供氢自由基源。与低压化学气相沉积反应器 400 相耦合的远程等离子体发生器源 801 的一个示例也示于图 4 中。将远程等离子体发生器 801 耦合到热化学气相沉积反应器 400 上，这极大地提高了本发明的产量，并能在氮化硅沉积之后直接用氢自由基处理氮化硅层。此外，当采用连续沉积/处理循环来形成厚氮化硅膜，如厚度大于 200 Å 的氮化硅膜时，这类设备极大地提高了晶片产量。

图 4 示出了反应容器组件 (反应器) 400。图 4 所示的反应器 400 包括室本体 406，其限定了反应室 408，其中，工艺气体，前体气体或

反应气体在反应室中发生热分解而形成位于晶片衬底(未示出)上的含硅膜。室本体 406 由能使室维持 10-约 350 托压力的材料构成。在一个示例性的实施方式中,室本体 406 由铝合金材料构成。室本体 406 包括通道 410,用于温度受控流体 (temperature controlled fluid) 被抽吸穿过该通道,以冷却室本体 406。由于配备有温度受控流体通道,反应器 400 被称作"冷壁"反应器。对室本体 406 的冷却防止了由反应物质和高温的存在而造成对形成室本体 406 的材料的腐蚀。

位于室本体 406 内的有反应室 408,室盖 426,面板(或喷头) 430,阻挡板 428,以及电阻性加热组件 404。电阻性加热组件 404 包括沿着加热器管 414 的引线 412,该加热器管 414 由镍制成。加热器管 414 的末端是由烧结的 AlN 制成的加热盘 416。加热盘 416 内部是由钨制造的一个或多个加热线圈 418。引线 412 和线圈 418 通过铜焊相连接,并在此具有电传导性。引线 412 与 AlN 陶瓷套管 420 是热绝缘的。线圈 418 供给大部分的电阻,并因此供给大部分的反应室 408 加热热量。在加热盘 416 的末端是被称作晶片槽 422 的凹槽,凹槽 422 内放置有晶片(未示出)。

图 4 示出了室体 408 中还设有升降机组件 436。升降机组件 436 为晶片衬底(未示出)移入和移出反应室 408 提供了便利。升降机组件 436 可以是步进电机。步进电机沿着轴 405 上下移动加热器组件 404,从而为晶片衬底移入和移出反应室 408 提供了便利。

例如采用机械手式传送机构(未示出)通过入口 434 而将衬底或晶片放置到反应室 408 中。在一个实施方式中,机械手式传送机构与转送片相连接,该转送片由机械手式传送机构控制。转送片通过开口插入衬底,将衬底装载到反应室 408 中和加热盘 416 的凹槽 422 上。在装载衬底时,用升降机组件 436 沿轴 405 的下方向降低加热组件 404 和加热盘 416,从而使加热盘 416 的表面低于入口 434。当加热盘 416 被降低时,衬底被放置到反应室 408 中。

一旦装载了衬底,入口 434 被封住,且升降机组件 436 在上方向(即向上)朝着面板 430 移动或抬升移动或提升加热器组件 404 和加热盘 416。在一种示例性的实施方式中,当晶片衬底距离面板 430 很近时(例如 400-900 密尔),则停止提升。

在一个示例性的实施方式中，当准备沉积或处理时，将由气体控制板 401 控制的工艺气体或前体气体被引导到反应室 408 中。阻挡板 428 上具有许多孔(未示出)以调节流经的气体。工艺气体首先穿过端口 424，穿过阻挡板 428，然后穿过面板 430 而被引入到反应室 408 中。工艺气体从端口 424 出发，穿过阻挡板 428 上的多个孔，然后穿过面板 430 而分布。面板 430 使处理气体均匀地配送到反应室 408 内。

通过例如向下(降低)加热组件 404 的方法，可从室内移出衬底。当加热组件 404 以向下的方向移动时，通过升降机组件 436 的作用，使得升降杆或起模杆 442 与接触升降板 444 相接触并保持稳定，最后伸出加热盘 416 的顶表面，在加热盘 416 降低时使衬底与加热盘相分离。然后将转送片穿过开口 434 插入而设置于衬底和加热盘 416 之间。然后降低接触升降板 444，从而降低起升降杆 442，使衬底降低放到转送片上。然后衬底可用转送片通过入口 434 移出。

对后续的衬底可重复如上的机制。对一种合适的升降机组件 436 的详细描述见美国专利 No.5772773，该专利已被转让给位于加利福尼亚州圣克拉拉市的应用材料有限公司。

反应器 400 还包括温度指示器(未示出)，以监测反应室 408 内部的处理温度。在一个示例中，温度指示器可以是热电偶，该热电偶的设置能方便地提供加热盘 416 表面的温度数据(或由加热盘 415 支撑的衬底的表面的温度数据)。反应器 400 中，衬底的温度比加热盘 416 的温度稍低 20-30°C。

图 4 还示出了反应室 408 衬有温度受控的衬垫或绝缘衬垫 409。如上所述，室本体 406 包括温度受控流体的通道 410，从而产生冷壁室效果。反应室 408 内部的反应温度可高至 600°C 或更高。由于用于形成膜的化学品在反应室 408 中的使用，高温将易于腐蚀反应室 408 的室本体 406。因此，室本体 406 配有为温度受控流体如水或其它冷却室本体 406 的冷却剂流体设置的通道 410。这将防止室本体 406 变得太热，而室本体 406 太热将导致室体 406 容易受到腐蚀。与这种冷壁室有关的一个问题是：反应室 408 内与室的冷壁非常接近的区域容易经历温度的急剧下降的情况。这些区域中的温度急剧下降促进了颗粒的形成或凝聚，这对于在反应室 408 内形成的含硅膜而言是不希望的或不利的。

例如,在用于形成氮化硅( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )膜的沉积过程中, HCD 和  $\text{NH}_3$  的反应容易导致形成  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 。  $\text{NH}_4\text{Cl}$  是一种不希望的盐类副产物,其需要被清洗掉以防止对所形成的  $\text{Si}_3\text{N}_4$  造成污染。当温度降低到约  $150^\circ\text{C}$  以下时,如  $\text{NH}_4\text{Cl}$  的凝聚将会发生。这些颗粒可能会离开室壁。离开室壁的颗粒在晶片衬底上成为形成颗粒的成核位点。在一个实施方式中,反应室 408 衬有温度受控衬垫 409,从而防止不希望发生的颗粒凝聚现象。

在一个实施方式中,温度受控衬垫 409 连接到室本体 406 的壁上,使温度受控衬垫 409 沿着室本体 406 的壁仅具有几个物理接触点(如参见图 4 所示的接触点 459)。将温度受控衬垫 409 和室本体 406 的壁之间的物理接触降至最少,因而通过将传导点降至最低而实现了室体 406 的热损失最小化。

在沉积期间,可将吹扫气体或清洗气体(例如氮气)输入到反应室 408 的底部,从而防止发生不希望的沉积。

反应器 400 也与一个或多个压力调节器(未示出)相耦合。压力调节器建立并保持反应室 408 内的压力。这类压力调节器是本领域公知的。可用于示例性实施方式中的压力调节器必须能将压力保持在约 10 托—约 350 托的范围内。或者,反应器 400 也可耦合到气体泵出系统(未示出)上,该气体泵出系统在本领域是公知的,其目的是将气体抽出反应室 408。气体泵出系统(例如,其可包括一个或多个节流阀)也可用于控制反应室 408 内的压力。反应器 400 还耦合到监测反应室 408 内处理压力的多个传感器(未示出)上。

在一个实施方式中,控制器或处理器/控制器 900 耦合到室本体 406 上以接收传感器表示室压力的信号。处理器/控制器 900 也可耦合到气体控制板 401 系统以控制氮源气体流、硅源气体流和惰性气体流和/或吹扫气体流。处理器 900 可与一个或多个压力调节器联合作用,以调节或保持反应室 408 内的所需压力。此外,处理器/控制器可控制加热盘的温度,从而控制置于其上的衬底温度。处理器/控制器 900 包括存储器,该存储器中存有计算机可读形式的指令,用于控制氮源气体流、硅源气体流和惰性气体流,以及将室内压力和加热盘温度控制在上述为形成本发明氮化硅膜的参数范围内。例如,处理器/控制器 900 的存

储器中存有将衬底加热到小于或等于 550℃ 的指令；向室 408 内提供硅源气体、氮源气体和/或硅/氮源气体，同时将衬底加热到小于或等于 550℃ 的指令；以及将室 408 内的压力控制在 10-350 托之间的指令。

对反应器 400 中各部件的材料进行选择，使暴露的部件必须与本发明的高温处理相适应。本发明的前体或反应物物质发生热分解而形成含硅膜，该热分解所涉及的反应室 408 内部的温度高至 600℃。反应器 400 中各部件的材料应为能承受这一高温的类型。在一个实施方式中，室本体 406 由抗腐蚀的金属，如硬质阳极氧化的铝板制成。这一类型的铝通常是很昂贵的。或者，室本体 406 包括为温度受控流体的流经而设置的通道 401。为温度受控流体设置的通道使室本体 406 能由非常便宜的铝合金或其它合适的金属制造，原因是通道 410 将保持室本体 406 冷却。正如所述的，这是为什么通常将反应器 400 称为冷壁反应器的原因。为防止在冷壁或冷却的室本体 406 上发生不希望的凝聚，上述的温度受控衬垫 409 可采用吸收来自反应室 408 的热辐射的材料制造，并将温度受控衬垫 409 的温度保持在至少约 150℃ 或高于 150℃ 的温度下，或者保持在至少约 200℃ 或高于 200℃ 的温度下，这取决于形成膜的应用。在一个实施方式中，温度受控衬垫 409 所需要保持的温度足以防止发生不希望的聚集。

此外，部件材料也应该与工艺气体和其它化学物质，如可能被导入到反应室 408 中的清洗用化学物质和前体相适应。在一个实施方式中，加热组件 404 的暴露表面可由各种材料构成，条件是该材料与处理方法相适应。例如，这一讨论中的示例性实施方式要求在高温下应用的腐蚀性化学物质。因而，加热组件的部件必须耐受这一环境。在一个示例中，加热组件由陶瓷材料，如氮化铝(AlN)制成。加热组件 404 的加热盘 416 也可由氮化铝材料组成。

在一个示例性实施方式中，采用稳定性气体，如 N<sub>2</sub>，He，Ar 或其组合来稳定反应室 408。在一个示例中，将稳定性气体释放到反应室 408 内的气体控制板系统 401 中包括气体歧管。稳定性气体的流速范围优选为 1,000 sccm—10,000 sccm，对容量为 5—6 升反应器 400 来说，优选为约 2,000 sccm。

在本发明的一个实施方式中，反应器 400 耦合到远程等离子体发

生器 801 上, 该远程等离子体发生器产生氢自由基并向沉积室 408 供给氢自由基。远程等离子体发生器 801 包括以微波源产生微波的磁控管 802。磁控管 802 可优选产生至多 10,000 瓦, 2.5 Ghz 的微波能量。应该注意到: 所需要的功率量取决于室 408 的尺寸(与室 408 的尺寸成比例)。对用于处理 300mm 晶片的退火室, 10,000 瓦的能量应该是足够的。尽管采用微波源在设备 800 中产生等离子体, 但也可采用其它的能量源, 如射频(RF)。

磁控管 802 耦合到绝缘体和为阻抗匹配而提供的虚负载 804 上。虚负载吸收反射的功率, 因此并无反射的功率到达磁控管的头部。绝缘体和虚负载 804 连接, 其将微波能量传递给自动调谐器 808。波导管 808 由阻抗匹配头和单独的检测器模块构成, 该单独的检测器模块采用由三台步进电机驱动的阻抗匹配轴端, 以减少被导向电源的微波能量的反射功率。自动调谐器 808 将微波能量聚焦到微波作用器腔 810 的中心, 从而将被氢处理气体吸收的能量通过导管 812 而输入到微波作用器腔 810 中。尽管优选自动调谐器, 但也可利用手动的调谐器。

作用器 810 采用从磁控管 802 接收的微波能量, 在氢处理气体向下流经位于微波作用器 810 内部的石英等离子体管时, 从氢处理气体生成等离子体。将源 814 连接到微波作用器 810 上, 该源 814 的例子有用于产生氢自由基的例如但不限于  $H_2$  和  $NH_3$  的氢处理气体罐。此外, 也可将例如氩(Ar)或氦(He)的惰性气体源耦合到微波作用器 810 上。预先点火的汞灯可用于将紫外光辐射到等离子体管中, 使工艺气体部分电离, 从而使微波能量更易于点燃等离子体。

来自磁控管 802 的微波能量将氢处理气体转化为基本包括下列三种组分的等离子体: 电离的或带电荷的氢原子, 活化的(或活性的)电中性氢原子, 以及含中间产物氢的物质, 这三种组分的目的都是为了构建"氢自由基"。

微波作用器 810 可用螺栓固定在设备 400 的盖上。浓缩的等离子体混合物向下流经导管 814 到达室 408 中。由于氢自由基在与将被退火的衬底所处的室 408 分开的或远处(室 810)产生, 氢自由基被称为是"远程产生的"。

远程等离子体源 801 可与处理器/控制器 900 相耦合。处理器/控制

器 900 可包括以计算机可读格式存储于存储器中的许多指令，其控制远程等离子体源 801 的操作而实现上述的氢自由基处理过程。各种指令可例如包括控制氢处理气体流速和功率以获得处理氮化硅膜所必须的预期氢自由基流量的指令，预期氢自由基流量例如为  $5 \times 10^{15}$  个/cm<sup>2</sup> 原子— $1 \times 10^{17}$  个/cm<sup>2</sup> 原子，也可包括控制加热盘的温度(并从而控制晶片温度)的指令，以及控制自由基处理过程期间室 408 内部压力的指令。

此外，尽管已经就采用单晶片设备的情况对本发明展开了描述，但在需要的情况下，本发明的沉积和处理方法也可在半批次的或管式设备中进行，而并不偏离本发明的范围。

在本发明的另一种实施方式中，低温氮化硅沉积工艺可在群集工具，如图 5 所示的群集工具 500 中进行。群集工具 500 包括可密封运送室或转移室 502，该密封运送室 502 中含有晶片晶片输送装置 504，例如机械手。将一个装载锁或一对装载锁 506 通过可密封的门连接到运送室 502 上，使晶片能通过机械手 504 被送入或送出群集工具 500。通过可密封的门与运送室 502 相连接的有氮化硅沉积反应器 508，例如具有电阻性加热器的应用材料有限公司的 Xgen 单晶片冷壁热化学气相沉积反应器。可通过可密封的门与运送室 502 相连接的还有图 5 所示的氢自由基处理室 510。氢自由基处理室例如可为等离子体室，具体如应用材料有限公司的高级去除钝化层附加 (ASP, Advanced Strip Passivation Plus) 室；远程等离子体室，具体如应用材料有限公司的远程等离子体渗氮 (RPN, Remote Plasma Nitridation) 室，或"热线"室。典型地，运送室 502 保持在减压下，包含惰性环境，如 N<sub>2</sub>。按照这种方式，可将晶片从一个室(例如，氮化硅沉积室 508)转移到另一个室(例如，氢自由基处理室)，反之亦然，无需将晶片暴露到氧化环境或污染物中。群集工具 500 也可包括上述的处理器/控制器 900，以控制对氮化硅沉积反应器 500 以及氢自由基处理室 510 的操作，从而按照上述方法沉积氮化硅膜和按照上述方法用氢自由基处理氮化硅膜。

在使用中，通过机械手 504 将晶片或衬底，例如图 3A 所示的晶片从装载锁 506 送入运送室 502 中。将晶片运送到氮化硅沉积室 508 中，其间的门是密封的，采用低沉积温度方法在晶片上形成氮化硅膜。一旦在晶片上形成了氮化硅膜，则采用机械手 504 从氮化硅沉积室 508

中移出晶片，并用机械手 504 将其送入到氢自由基处理室 510 中。然后密封氢自由基处理室 510 和运送室 502 之间的门，并按照上述的方法使氮化硅膜暴露于氢自由基中。如果需要较厚的氮化硅膜，则可从室 510 中移出晶片，使其返回到氮化硅沉积室 508 中以沉积额外的氮化硅。再一次将晶片从氮化硅沉积室 508 中移出并使其回到氢自由基处理室 510 中并再次用氢自由基进行处理。晶片可在沉积室 508 和处理室 510 之间连续转移，直到获得所需厚度和质量的氮化硅膜。一旦形成了充分厚的氮化硅层，则从群集工具 500 中移出晶片。

因此，本文已经公开了在低沉积温度下沉积和处理高质量氮化硅膜的方法和设备。



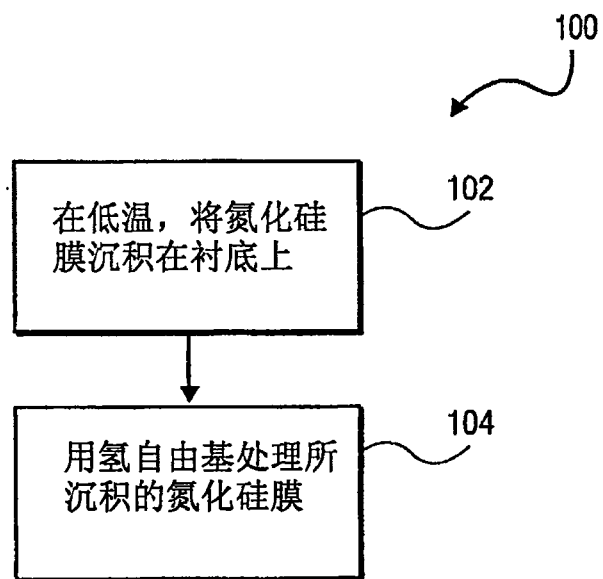


图1

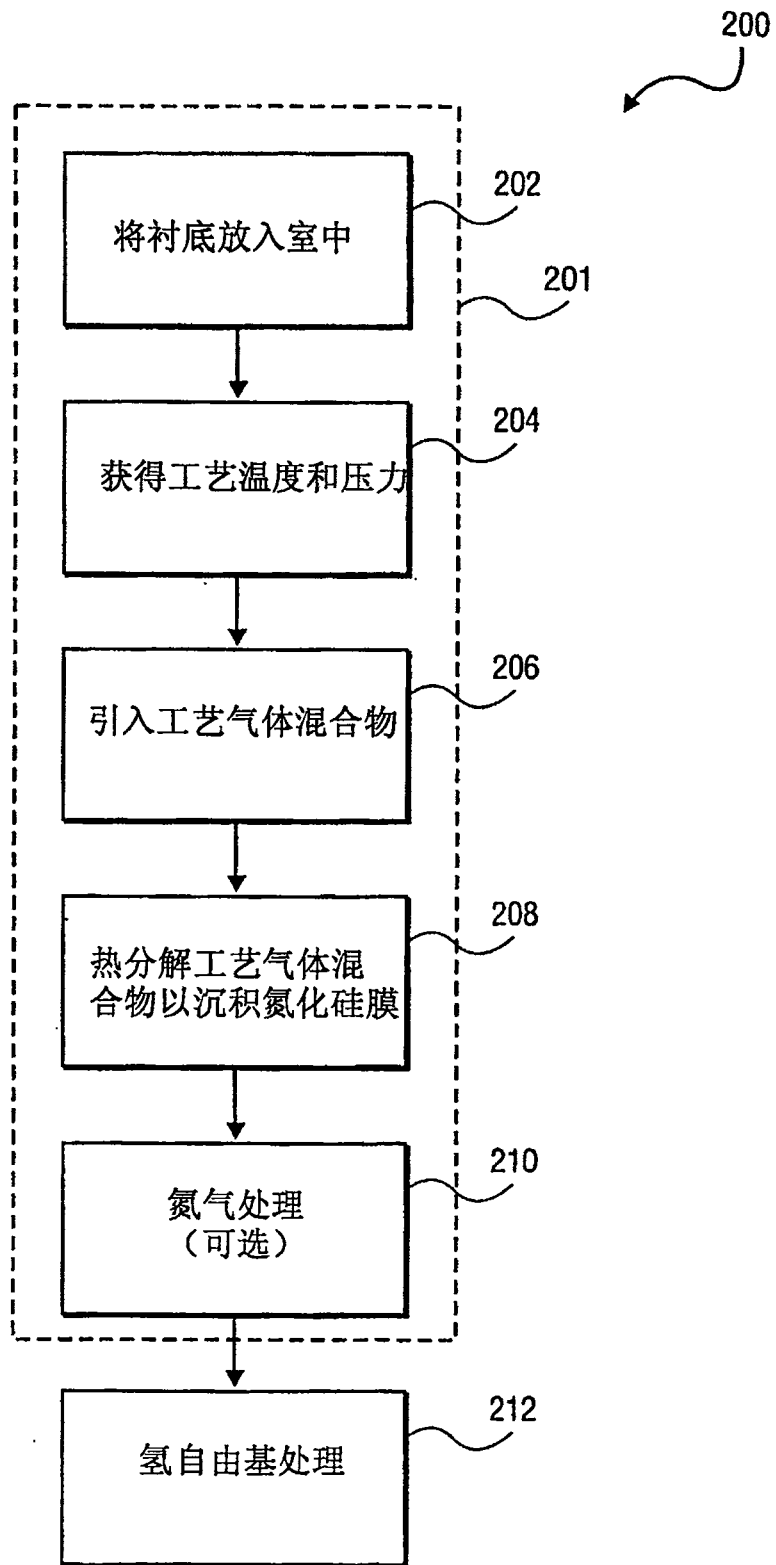


图2

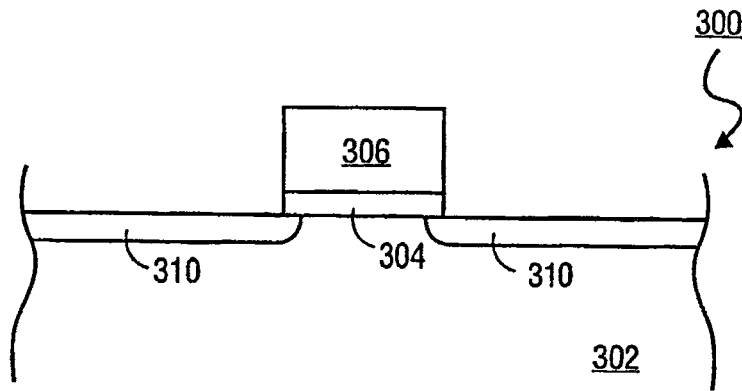


图3A

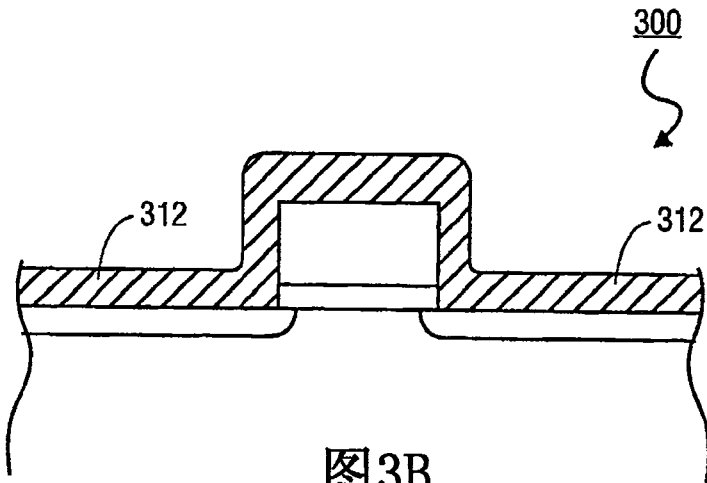


图3B

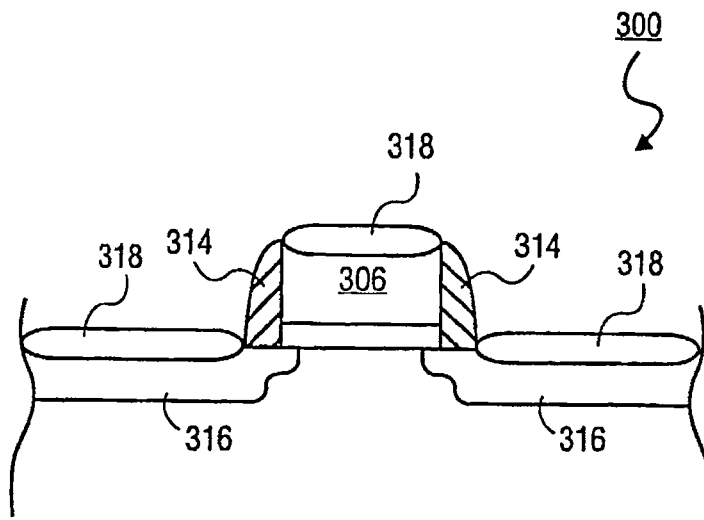


图3C

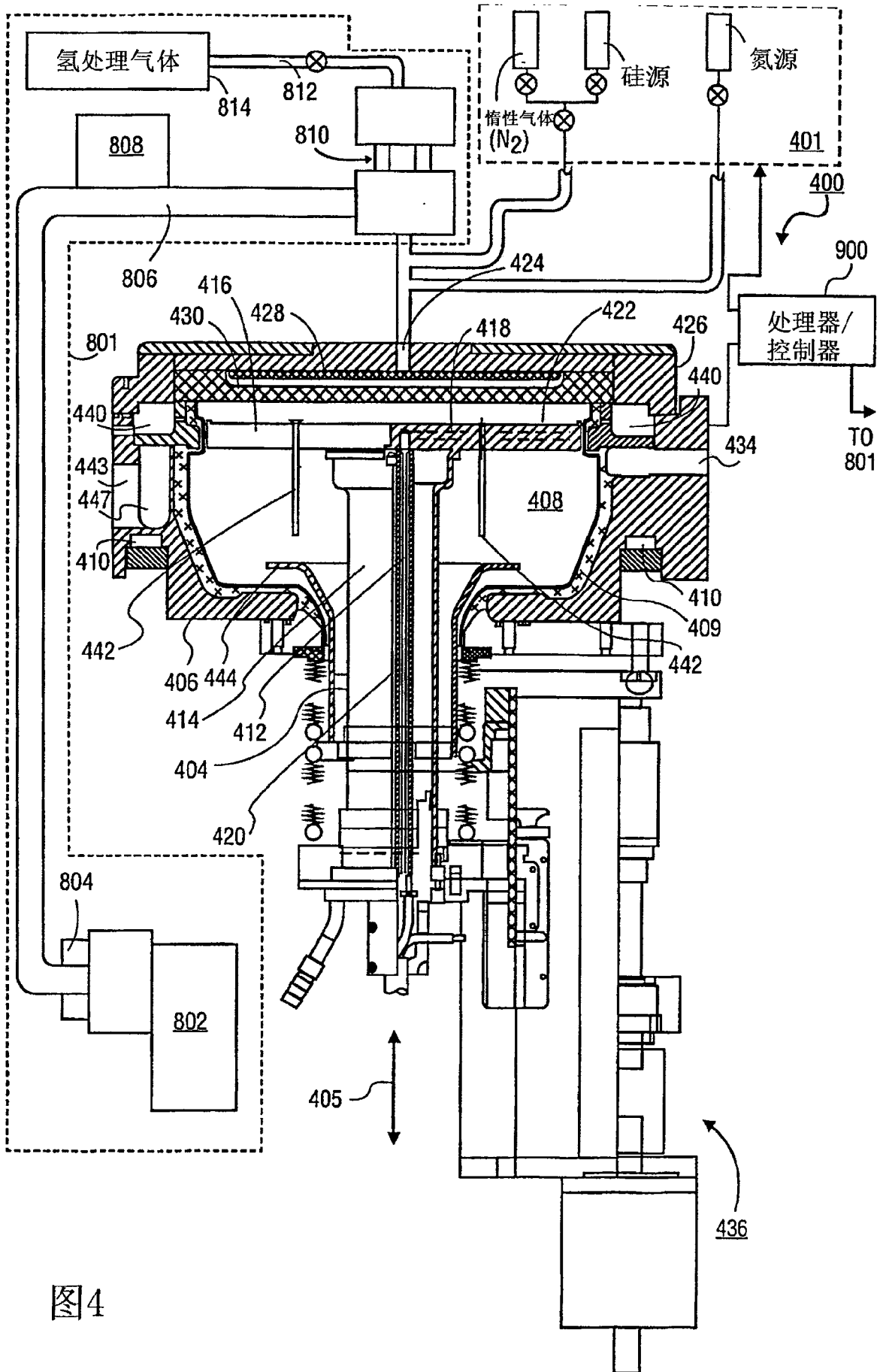


图4

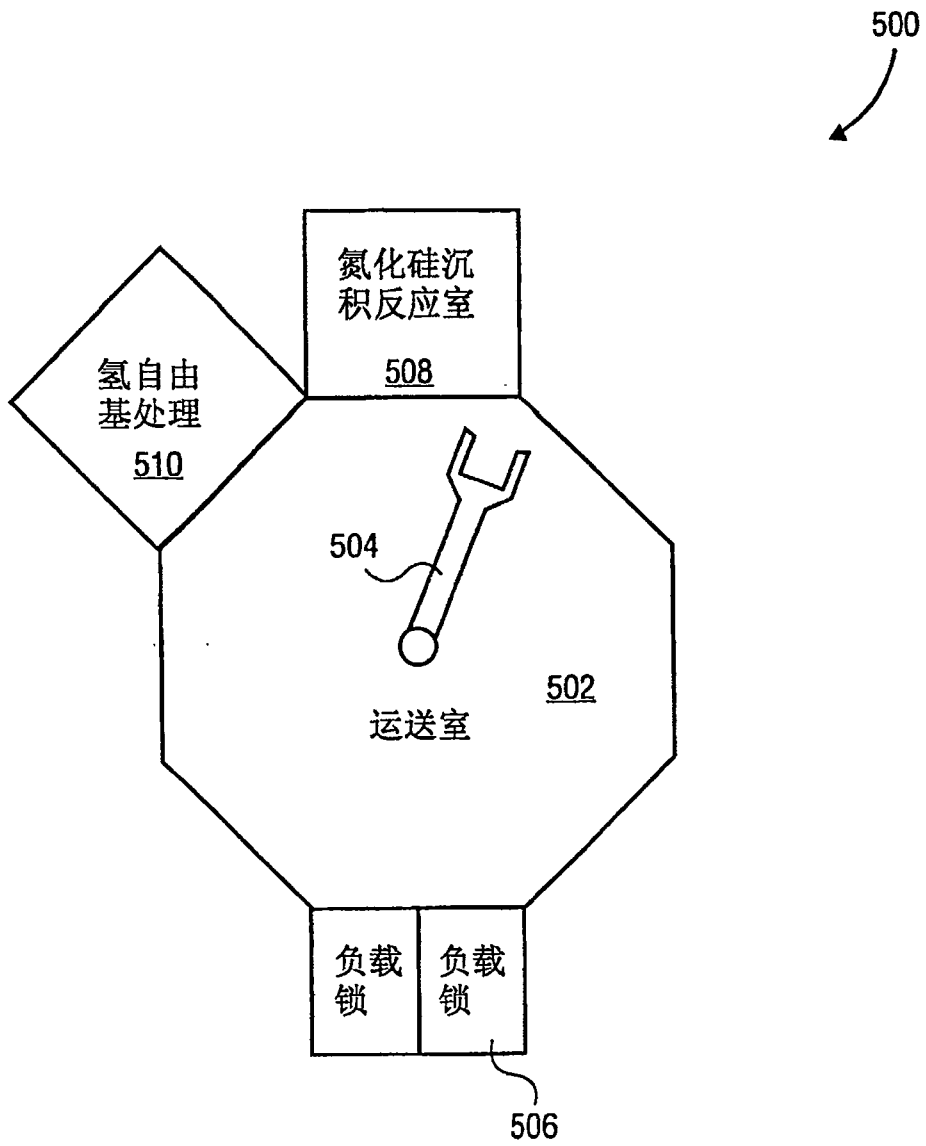


图5