



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I843755 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 06 月 01 日

(21)申請案號：108137242

(22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 10 月 16 日

(51)Int. Cl. : H01L21/3065(2006.01)

H01L21/24 (2006.01)

(30)優先權：2018/10/19 美國

62/748,186

(71)申請人：美商蘭姆研究公司(美國) LAM RESEARCH CORPORATION (US)
美國(72)發明人：袁光璧 YUAN, GUANGBI (CN)；那可維西域第 伊娃 NARKEVICIUTE, IEVA
(US)；龔波 GONG, BO (CN)；凡拉德拉彥 巴德里 N VARADARAJAN,
BHADRI N. (US)

(74)代理人：許峻榮

(56)參考文獻：

US 2005/0211170A1

US 2015/0110968A1

審查人員：湯欽全

申請專利範圍項數：24 項 圖式數：9 共 57 頁

(54)名稱

用於間隙填充的遠程氫電漿暴露以及摻雜或未摻雜矽碳化物沉積

(57)摘要

摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜可沉積於基板之一或更多特徵部中而用於間隙填充。該摻雜或未摻雜矽碳化物膜之第一厚度沉積於該一或更多特徵部之後，在使每一該一或更多特徵部之頂表面附近之開口尺寸增大的條件下，暴露該摻雜或未摻雜矽碳化物膜於遠程氫電漿，其中該等條件可藉由控制處理時間、處理頻率、處理功率、及/或遠程電漿氣體組成來控制。重複沉積矽碳化物膜之額外厚度且執行遠程氫電漿處理之操作，以至少實質上填充該一或更多特徵部。可於沉積與電漿處理之間加入諸多時間間隔，以調整間隙填充效能。

A doped or undoped silicon carbide ($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$) film can be deposited in one or more features of a substrate for gapfill. After a first thickness of the doped or undoped silicon carbide film is deposited in the one or more features, the doped or undoped silicon carbide film is exposed to a remote hydrogen plasma under conditions that cause a size of an opening near a top surface of each of the one or more features to increase, where the conditions can be controlled by controlling treatment time, treatment frequency, treatment power, and/or remote plasma gas composition. Operations of depositing additional thicknesses of silicon carbide film and performing a remote hydrogen plasma treatment are repeated to at least substantially fill the one or more features. Various time intervals between deposition and plasma treatment may be added to modulate gapfill performance.

指定代表圖：

符號簡單說明：

500b:操作

502:基板

504:特徵部

506:SiC_xO_yN_z 膜

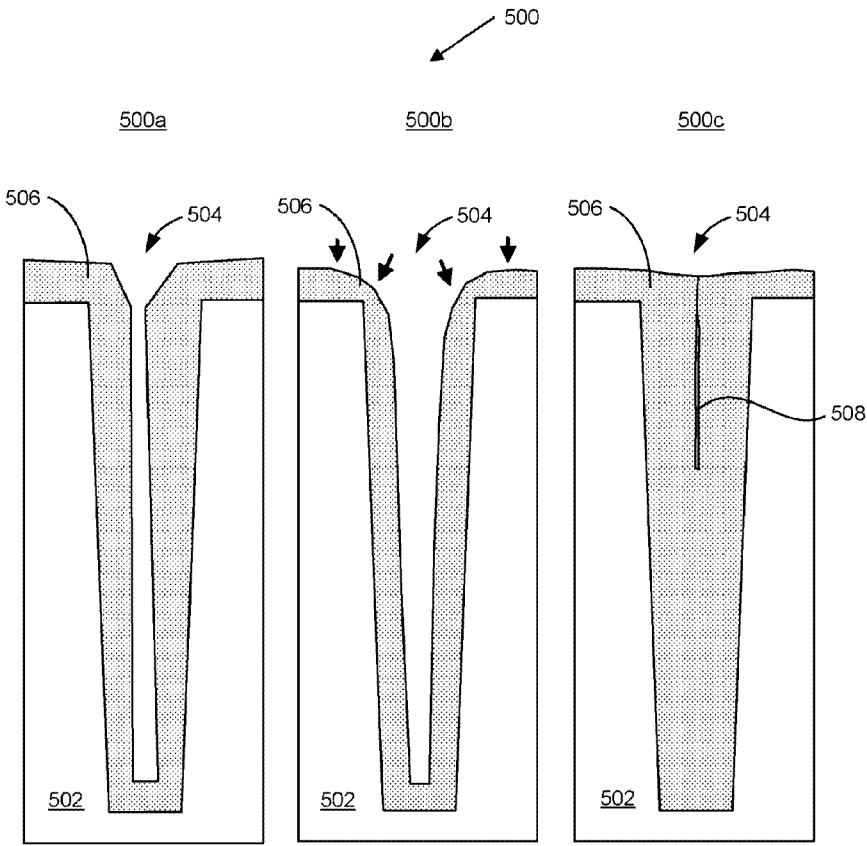


圖 5A

圖 5B

圖 5C



I843755

【發明摘要】

【中文發明名稱】用於間隙填充的遠程氫電漿暴露以及摻雜或未摻雜矽碳化物沉積

【英文發明名稱】DOPED OR UNDOPED SILICON CARBIDE DEPOSITION AND REMOTE HYDROGEN PLASMA EXPOSURE FOR GAPFILL

【中文】

摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜可沉積於基板之一或更多特徵部中而用於間隙填充。該摻雜或未摻雜矽碳化物膜之第一厚度沉積於該一或更多特徵部之後，在使每一該一或更多特徵部之頂表面附近之開口尺寸增大的條件下，暴露該摻雜或未摻雜矽碳化物膜於遠程氫電漿，其中該等條件可藉由控制處理時間、處理頻率、處理功率、及/或遠程電漿氣體組成來控制。重複沉積矽碳化物膜之額外厚度且執行遠程氫電漿處理之操作，以至少實質上填充該一或更多特徵部。可於沉積與電漿處理之間加入諸多時間間隔，以調整間隙填充效能。

【英文】

A doped or undoped silicon carbide ($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$) film can be deposited in one or more features of a substrate for gapfill. After a first thickness of the doped or undoped silicon carbide film is deposited in the one or more features, the doped or undoped silicon carbide film is exposed to a remote hydrogen plasma under conditions that cause a size of an opening near a top surface of each of the one or more features to increase, where the conditions can be controlled by controlling treatment time,

treatment frequency, treatment power, and/or remote plasma gas composition.

Operations of depositing additional thicknesses of silicon carbide film and performing a remote hydrogen plasma treatment are repeated to at least substantially fill the one or more features. Various time intervals between deposition and plasma treatment may be added to modulate gapfill performance.

【指定代表圖】 圖5B

【代表圖之符號簡單說明】

500b : 操作

502 : 基板

504 : 特徵部

506 : $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜

【發明說明書】

【中文發明名稱】用於間隙填充的遠程氫電漿暴露以及摻雜或未摻雜矽碳化物沉積

【英文發明名稱】 DOPED OR UNDOPED SILICON CARBIDE DEPOSITION AND REMOTE HYDROGEN PLASMA EXPOSURE FOR GAPFILL

【技術領域】

【0001】 本發明係關於一種用於間隙填充的方法及其設備。

【先前技術】

【0002】 裝置(例如半導體裝置)之製造可能涉及諸多介電、導電或半導體膜沉積於基板之凹入特徵部中。有用以填充此等特徵部之諸多技術存在，但隨著裝置微縮且特徵部變更小，無空孔或接縫之特徵部填充變得越來越有挑戰性。

【0003】 本文所提供的先前技術係為了概述本揭示內容上下文之目的。本案發明人的成果（在此先前技術段落中所述之範圍內）、以及在申請時可能未以其他方式認定為先前技術之描述態樣，並未明示或默示地被承認為是相對於本發明的先前技術。

【發明內容】

【0004】 本文提供的是沉積一摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜於一基板之一或更多特徵部中的方法。該方法包括：沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之一第一厚度於

該基板之該一或更多特徵部中；在增大每一該一或更多特徵部之頂表面附近之開口尺寸的條件下，暴露該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜於遠程氫電漿；以及沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之一第二厚度於該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之該第一厚度上，其中 x 的值大於零， y 的值等於或大於零，且 z 的值等於或大於零。

【0005】於一些實施方式中，該方法更包括：重複暴露該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜於該遠程氫電漿並沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之新厚度於該一或更多特徵部中之操作，直到該一或更多特徵部被實質上填充。於一些實施方式中，該遠程氫電漿之該等條件包括處理時間、處理頻率、處理功率、及/或遠程電漿氣體組成，其中控制該處理時間、該處理頻率、該處理功率、及/或該遠程電漿氣體組成，使得每一該一或更多特徵部之該頂表面附近之該開口尺寸比每一該一或更多特徵部之底表面附近之該開口尺寸增大得多。暴露於該遠程氫電漿之該處理時間可於約0.5秒與約120秒之間。該處理頻率可為沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜並暴露該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜於遠程氫電漿之每一循環為10 Å或更小之該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜。該遠程氫電漿之該遠程電漿氣體組成可包括具有氫濃度於約10%與約50%體積百分比之間的該遠程氫電漿。於一些實施方式中，每一該第一厚度及該第二厚度於約0.5 Å與約4.5 Å之間。於一些實施方式中，沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之該第一厚度包括：將一或更多含矽前驅物流入一反應腔室；以及將一遠程電漿源所產生之一或更多氫自由基引入並朝向該反應腔室中之該基板，其中該一或更多氫自由基與該一或更多含矽前驅物反應，以沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之該第一厚度。於一些實施方式中，該氫自由基之至少90%為處於基態之氫自由基。於一些實施方式中，該遠程氫電漿之該等條件使每一該一或更多特徵部之該頂表面附近之該開口尺寸增大至少約5%。於一些實施方式中，當該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之該第一厚度之碳的原子濃度於約10%與約30%之間時，

該遠程氫電漿之該等條件使每一該一或更多特徵部之該頂表面附近之該開口尺寸增大。於一些實施方式中，沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之該第一厚度並暴露該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜於該遠程氫電漿的操作係在未引發真空破壞下發生。於一些實施方式中，該方法更包括於沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之該第一厚度與暴露該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之該第一厚度於該遠程氫電漿之間引入一時間間隔，以調整間隙填充效能。

【0006】 另一態樣涉及一設備。該設備包括：一反應腔室；一基板支撐件，用於支撐該反應腔室中之一基板，該基板具有一或更多特徵部；以及一控制器。該控制器係配置有用於執行以下操作之指令：沉積一摻雜或未摻雜矽碳化合物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜之一第一厚度於該基板之該一或更多特徵部中；在增大每一該一或更多特徵部之頂表面附近之開口尺寸的條件下，暴露該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜於遠程氫電漿；以及沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之一第二厚度於該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之該第一厚度上，其中x的值大於零，y的值等於或大於零，且z的值等於或大於零。

【0007】 於一些實施方式，該控制器進一步配置有用於執行以下操作之指令：重複暴露該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜於該遠程氫電漿並沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之新厚度於該一或更多特徵部中之操作，直到該一或更多特徵部被實質上填充。於一些實施方式，該遠程氫電漿之該等條件包括處理時間、處理頻率、處理功率、及/或遠程電漿氣體組成，其中控制該處理時間、該處理頻率、該處理功率、及/或該遠程電漿氣體組成，使得每一該一或更多特徵部之該頂表面附近之該開口尺寸比每一該一或更多特徵部之底表面附近之該開口尺寸增大得多。該遠程氫電漿之該遠程電漿氣體組成可包括具有氫濃度於約10%與約50%體積百分比之間的該遠程氫電漿。於一些實施方式，每一該第一厚度及該第二厚度等於或小於約10 Å。於一些實施方式，該控制器進一步配置有用於執行以下操作之指令：於沉積

該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之該第一厚度與暴露該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之該第一厚度於該遠程氫電漿之間引入一時間間隔，以調整間隙填充效能。

【0008】 參考圖式於下文進一步描述此些及其他態樣。

【圖式簡單說明】

【0009】 圖1示出基板之示例特徵部的剖面示意圖。

【0010】 圖2A-2C為利用沉積-蝕刻-沉積處理進行間隙填充之示例基板之特徵部的剖面示意圖。

【0011】 圖3A-3C為利用抑制化學進行間隙填充之示例基板之特徵部的剖面示意圖。

【0012】 圖4示出根據一些實施方式之示例基板中不同間隙填充材料的剖面示意圖。

【0013】 圖5A-5C為根據一些實施方式利用遠程電漿化學氣相沉積及遠程氫電漿暴露操作進行間隙填充之示例基板之特徵部的剖面示意圖。

【0014】 圖6示出根據一些實施方式之具有遠程電漿源之示例電漿處理設備的示意圖。

【0015】 圖7示出根據一些其他實施方式之具有遠程電漿源之示例電漿處理設備的示意圖。

【0016】 圖8顯示根據一些實施方式沉積於基板之複數特徵部中的 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之TEM影像圖。

【0017】 圖9顯示根據一些實施方式沉積於基板之複數特徵部中的 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之TEM影像圖。

【實施方式】

【0018】 於本發明中，術語「半導體晶圓」、「晶圓」、「基板」、「晶圓基板」及「部分製造之積體電路」可互換使用。本領域中具有通常技藝者將理解，術語「部分製造之積體電路」可指積體電路製造之許多階段中任一階段期間的矽晶圓。半導體裝置工業中使用之晶圓或基板通常具有 200 毫米或 300 毫米或 450 毫米之直徑。以下詳細描述係假設在晶圓上實施本發明。然而，本發明不限於此。工件可為諸多形狀、尺寸及材料。除了半導體晶圓之外，可利用本發明優點之其他工件包括諸多製品，例如印刷電路板及其類似者。

【0019】 基板可包括「特徵部」或「溝槽」。如本文所使用的「特徵部」可指基板之非平面結構，通常是半導體裝置製造操作中被修飾的表面。亦可稱為「負特徵部」或「凹入特徵部」之特徵部示例包括溝槽、孔、貫孔、間隙、凹入區域及其類似者。此些術語在本發明中可互換使用。特徵部之一示例為半導體基板中或基板上層中之孔或貫孔。另一示例為基板或層中的溝槽。特徵部通常具有深寬比(深度比上橫向尺寸)。特徵部之特徵可為狹窄及/或凹陷開口、特徵部內之收縮部、及高深寬比之一或更多者。具有高深寬比之特徵部可具有等於或大於約10:1、等於或大於約15:1、等於或大於約20:1、等於或大於約25:1、等於或大於約30:1、等於或大於約40:1、等於或大於約50:1、或等於或大於約100:1之深度比上橫向尺寸的深寬比。在諸多實施例中，特徵部可具有底層，例如阻障層或黏附層。底層之非限制性示例包括介電層及導電層，例如，矽氧化物、矽氮化物、未摻雜矽碳化物、氧摻雜矽碳化物、氮摻雜矽碳化物、金屬氧化物、金屬氮化物、金屬碳化物及金屬層。

【0020】 基板之特徵部可為諸多類型。在一些實施例中，特徵部可具有筆直的側壁、正斜率的側壁或負斜率的側壁。在一些實施例中，特徵部可具有側

壁形貌或側壁粗糙度，其可因形成特徵部之蝕刻製程而發生。在一些實施例中，特徵部可具有特徵部頂部大於底部之特徵部開口，或者特徵部可具有特徵部底部大於頂部之特徵部開口。在一些實施例中，特徵部可用材料部分填充或具有一或更多底層。例如前述實施例中任一者之特徵部的間隙填充(gapfill)可取決於特徵部類型及輪廓。半導體製造製程經常包括間隙填充製程或介電間隙填充製程。通常，使用化學氣相沉積(CVD)及/或原子層沉積(ALD)方法以填充特徵部。然而，習知技術經常導致特徵部內形成不期望的接縫或空孔。在一些實施例中，間隙填充中接縫及/或空孔的存在可能導致高電阻、污染、填充材料的損失、效能變差以及甚至裝置失效。

【0021】隨著特徵部的深寬比增加，CVD氣相反應之質量輸送限制可能導致「麵包條(bread-loafing)」沉積效應，其於頂表面呈現較厚的沉積，而在凹入表面則為較薄的沉積，此導致特徵部開口的頂部在特徵部可完全填充之前即閉合。不同於CVD製程，ALD製程係使用表面介導的沉積反應，以在逐層基礎上沉積膜，且此等膜通常為保形的。雖然ALD可沉積高保形膜，但將膜沉積至高深寬比特徵部中仍是一項挑戰。膜沿著側壁之階梯覆蓋率(step coverage)及均勻性取決於例如沉積前驅物、反應物離子及/或自由基之傳送以及副產物。隨著特徵部的橫向尺寸減小或特徵部的深度增加，沉積前驅物及/或反應物種之傳送及擴散在特徵部中變得越來越困難。因此，由於擴散限制，特徵部之頂部暴露於較多的前驅物及反應物種，而特徵部的底部則暴露於較少的前驅物及反應物種。此可能導致在高深寬比特徵部中形成接縫及/或空孔。

【0022】圖1示出基板之示例特徵部的剖面示意圖。基板100具有特徵部101，其係使用習知CVD、電漿增強CVD(PECVD)、ALD或電漿增強ALD(PEALD)技術填充。接縫106形成於沿著特徵部101側壁沉積之間隙填充材料102相交會之處。若使用ALD或PEALD技術，特徵部101頂部處的開口閉合，且分子傳送變得

逐漸困難，此導致接縫106形成於特徵部101頂部附近並在特徵部101中留下空孔108。若使用CVD或PECVD技術，則間隙填充材料102將傾向於在特徵部101邊緣處比沿著特徵部側壁更快地積聚，使得特徵部101的頂部在特徵部101被填充之前即閉合且在接縫106處被「夾止(pinched)」，因而於特徵部101中留下空孔108。

【0023】除了形成空孔及接縫之外，沉積於特徵部內的膜可能比沉積於特徵部頂部附近的膜具有不同且更加劣化的膜品質。不受任何理論的限制，此可能是因為到達特徵部底部之反應物種的數量及分佈不同於頂部處並小於頂部處。在一些實施例中，可透過蝕刻沉積膜且觀察並比較特徵部頂部處、特徵部底部處以及特徵部側壁處的蝕刻速率來評估膜品質。

【0024】為了改善CVD、PECVD、ALD或PEALD製程中的間隙填充效能，一般是實施許多方法中的其中一者。

【0025】在一些實施例中，可減慢CVD、PECVD、ALD或PEALD間隙填充的沉積速率。減慢沉積速率可微調間隙填充結構中之沉積輪廓並改善間隙填充效能。例如，在特徵部閉合之前，可在ALD或PEALD製程中執行更多循環。此外或替代地，初始循環期間較長的持續時間可允許前驅物及/或反應物種擴散到達特徵部的底部及側壁。然而，減慢沉積速率以改善間隙填充會降低整體產量，且一般更適用於低深寬比的特徵部及/或具有大開口的特徵部。

【0026】在一些實施例中，採用沉積-蝕刻-沉積(沉積、蝕刻、沉積)技術來填充特徵部。沉積-蝕刻-沉積技術涉及間隙填充材料之沉積，隨後回蝕一些間隙填充材料以打開特徵部開口，然後重新沉積一些相同的間隙填充材料以完成間隙填充或促進間隙填充製程。圖2A-2C為利用沉積-蝕刻-沉積處理來進行間隙填充之示例基板之特徵部的剖面示意圖。圖2A示出基板200之特徵部201的示例，其中材料202a沉積於特徵部201中。材料202a可沿著特徵部201之頂表面、側壁及底表面保形地沉積。在一些實施例中，材料202a可使用ALD或PEALD來沉積。

典型的ALD循環可包括:(i)注入以輸送並吸附前驅物材料至基板表面上，(ii)從腔室中沖洗過量的前驅物材料，並將自限性單層留在基板表面上，(iii)輸送反應物材料以與吸附的前驅物材料反應，以及(iv)從腔室中沖洗未反應的反應物材料或反應副產物。該注入步驟可以自限方式吸附前驅物材料，使得一旦活性位點被前驅物材料佔據，幾乎沒有額外的前驅物材料將被吸附在基板表面上。反應物材料可同樣以自限或吸附限制的方式與前驅物材料反應。可視情況地執行沖洗步驟，以從腔室去除過量的前驅物材料、反應副產物及/或未反應的反應物材料，因而完成ALD循環。圖2B示出基板200之特徵部201的示例，其中材料202a被回蝕。例如，如圖2B所示，材料202a可被回蝕並且導致錐形輪廓。因此，特徵部201頂部附近比起特徵部201底部附近有更多的材料202a被去除。在圖2B中執行的蝕刻操作對沉積的材料202a進行了整形，使得更多材料可填入特徵部201中。當執行後續沉積操作以在特徵部201頂部附近沉積比特徵部201底部處更多的材料時，特徵部201可填充而具有較小的空孔或沒有空孔。圖2C示出基板200之特徵部201的示例，其中材料202b沉積於特徵部201中。材料202b包括來自圖2A及2B的材料202a。如圖2C所示，材料202b可在沉積及蝕刻操作之後實質上填充特徵部201。材料202b的沉積可能導致空孔203之形成，但透過用一或更多蝕刻操作中斷沉積操作，空孔203可較小。雖然沉積-蝕刻-沉積技術可減少空孔及/或接縫之形成，但沉積-蝕刻-沉積期間之蝕刻操作可能蝕刻底層材料，此經常會導致裝置不穩定及可能的裝置失效。再者，沉積-蝕刻-沉積技術經常涉及多輪的沉積-蝕刻-沉積及/或沉積與蝕刻腔室之間多次的晶圓轉移，此降低了總產量。

【0027】 在一些實施例中，可使用抑制化學，使得間隙填充材料以形貌上不同的方式在特徵部中生長或以其他方式形成。例如，抑制劑可與材料反應並形成鈍化表面以抑制生長。基板的表面在特徵部的場及上部區域中可較多地鈍化，而隨著到特徵部中的距離增加，則較少地鈍化。如此一來，特徵部頂部處

的沉積被選擇性抑制，而特徵部較下部分中的沉積可以較少抑制或不受抑制地進行。因此，增強了自下而上的填充。圖3A-3C為利用抑制化學進行間隙填充之示例基板之特徵部的剖面示意圖。圖3A示出基板300之特徵部301的示例，其中特徵部301之至少場區域及上部區域暴露於反應物(其抑制間隙填充材料之沉積/生長)。該反應物與材料反應，以形成鈍化層305於基板300上。舉例來說，可使用氮氣(N_2)或氨(NH_3)，以形成由氮化物製成的鈍化層305。間隙填充材料，例如ALD二氧化矽(SiO_2)，在氮化物表面上以較慢的速率成核。於圖3B中，間隙填充材料302a沉積於特徵部301中。間隙填充材料302a可沿著特徵部301的頂表面、側壁及底表面沉積。鈍化層305選擇性地抑制特徵部301場區域及上部區域中之間隙填充材料302a的沉積/生長，使得特徵部301之其他區域中之間隙填充材料302a的沉積/生長係於較少抑制或無抑制下進行。於圖3C中，沉積間隙填充材料302b以實質上填充特徵部301。間隙填充材料302b的沉積可能導致空孔303之形成，但藉由抑制化學促進特徵部301中由下而上的填充，空孔303可較小。儘管抑制化學可減少空孔及/或接縫的形成，但抑制化學僅限於某些類型的化學品及製程。換言之，不同的製程需要不同的抑制化學品。某些抑制化學品可能不適用於限制 $SiC_xO_yN_z$ 膜的沉積/生長、或使用特定沉積技術(例如，遠程電漿CVD)之 $SiC_xO_yN_z$ 膜的沉積/生長、或具有所欲特性(例如，對氧化物及氮化物之高蝕刻選擇性)之 $SiC_xO_yN_z$ 膜的沉積/生長。因此，間隙填充中之抑制化學的應用可能限於某些化學品、沉積技術及膜特性。

【0028】 本發明係關於使用遠程電漿CVD及遠程電漿暴露，以沉積用於間隙填充之摻雜或未摻雜矽碳化合物膜。一或更多高深寬比特徵部係以摻雜或未摻雜之矽碳化合物間隙填充材料填充或至少實質上填充。在一些實施例中，摻雜或未摻雜之矽碳化合物間隙填充材料是矽碳氧化物($SiCO$)。在一些實施例中，摻雜或未摻雜之矽碳化合物間隙填充材料是矽碳氮化物($SiCN$)。包括有氫氣之源氣體係提

供至可使該源氣體解離並產生處於激發態之離子及自由基的遠程電漿源中。激發後，處於激發態的自由基在反應腔室中鬆弛(relax)至實質上低能態的自由基或基態的自由基。在反應腔室中提供一或更多含矽前驅物，其中一或更多含矽前驅物中的鍵被實質上低能態的自由基或基態的自由基選擇性地打斷，以於一或更多高深寬比特徵部中形成摻雜或未摻雜的矽碳化物間隙填充材料。間隙填充係透過交替的沉積及處理操作而發生，其中沉積操作包括透過遠程電漿CVD沉積一定厚度的摻雜或未摻雜矽碳化物間隙填充材料，且其中該處理操作包括暴露摻雜或未摻雜矽碳化物間隙填充材料於遠程氬電漿。控制遠程氬電漿處理條件，以使每一高深寬比特徵部頂表面附近之開口尺寸在處理後得以增大。在一些情況下，每一高深寬比特徵部頂表面附近之開口尺寸在處理後比底表面附近之開口尺寸增大得多。在一些實施例中，遠程氬電漿處理條件係透過控制處理時間、處理頻率、處理功率及/或遠程電漿氣體組成來控制。可在電漿沉積與電漿處理之間引入諸多時間間隔，以調控間隙填充效能。

【0029】 矽碳化物膜經常用於半導體裝置中。如本文所用，術語「矽碳化物」包括未摻雜或摻雜的矽碳化物，例如氧摻雜矽碳化物或矽碳氧化物(SiCO)、氮摻雜矽碳化物或矽碳氮化物(SiCN)、氮及氧摻雜矽碳化物或矽碳氮氧化物(SiOCN)。就大多數而言，摻雜的矽碳化物具有最多約50%原子之摻雜原子，無論該等原子為氧、氮或是其他元素的原子。摻雜水平提供所欲的膜特性。如本文所用，提及「摻雜或未摻雜的矽碳化物」具體是指「 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 」，其中x的值大於零，y的值等於或大於零，而z的值等於或大於零。

【0030】 摻雜或未摻雜的矽碳化物膜可在其他應用中用作金屬擴散阻障、蝕刻停止層、硬遮罩層、用於源極與汲極植入的閘極間隔物、用於磁阻式隨機存取記憶體(MRAM)或電阻式隨機存取記憶體(RRAM)的封裝阻障、以及氣

隙處的氣密性擴散阻障。在一些實施例中，摻雜或未摻雜的矽碳化物膜可用作電晶體裝置之高深寬比特徵部中的間隙填充材料。

【0031】圖4示出根據一些實施方式之示例基板中不同間隙填充材料之剖面示意圖。半導體裝置400可包括第一導電結構402及第二導電結構404。在一些實施例中，半導體裝置400是為電晶體裝置。間隔物420可將第一導電結構402與第二導電結構404隔開。第一間隙填充材料在第一導電結構402上方形成第一絕緣蓋層412，第二間隙填充材料在第二導電結構404上方形成第二絕緣蓋層414。第一絕緣蓋層412可具有與第二絕緣蓋層不同的蝕刻選擇性。例如，第一絕緣蓋層412的第一間隙填充材料在乾式蝕刻或濕式蝕刻條件下相對於第二絕緣蓋層414的第二間隙填充材料可具有至少7：1之蝕刻選擇性。第一間隙填充材料可具有優異的電特性，包括高崩潰電壓及低漏電流。再者，第一間隙填充材料可具有低介電常數(low-k)，其中第一間隙填充材料的有效介電常數約4.0或更低、約3.5或更低、約3.0或更低、或約2.5或更低。在一些實施例中，第一間隙填充材料為透過本發明遠程電漿CVD製程所形成的SiCO。第二間隙填充材料可為氮化物或氧化物，例如矽氮化物或矽氧化物。在一些實施例中，第一導電結構402包括電晶體裝置中的源極/汲極接觸，而第二導電結構404包括電晶體裝置中具有閘極電極層及閘極介電層的閘極堆疊。使第一間隙填充材料為透過本發明遠程電漿CVD製程所形成的SiCO，不僅提供良好的電特性、低介電常數以及相對於其他間隙填充材料之高蝕刻選擇性，且亦提供良好的階梯覆蓋率及間隙填充效能，其未留下明顯接縫及/或空孔。

【0032】基板的特徵部可使用涉及遠程電漿CVD與遠程氫電漿暴露之交替操作的製程，以填充或至少實質上填有摻雜或未摻雜的矽碳化物間隙填充材料。換言之，可透過遠程電漿CVD沉積一定厚度的摻雜或未摻雜矽碳化物間隙填充材料，隨後進行受控的遠程氫電漿暴露，且可重複步驟直到特徵部被填充

或至少實質上被填充。如本文中所使用，實質上填充可指特徵部被填充到至少98%(體積百分比)。

【0033】圖5A-5C為根據一些實施方式使用遠程電漿化學氣相沉積及遠程氫電漿暴露操作進行間隙填充之示例基板之特徵部的剖面示意圖。圖5A-5C所示之製程500的操作500a-500c可包括額外、較少或不同的操作。圖5A-5C中所示之製程500的操作500a-500c可由圖6及7中所述之電漿處理設備的任何一者執行。

【0034】在製程500的操作500a中， $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度沉積於基板502之特徵部504中。雖然基板502在圖5A-5C中僅顯示一個特徵部504，但將理解，基板502可具有一或更多特徵部504。在一些實施例中， $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506包括矽碳氧化物(SiCO)。 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度係透過遠程電漿CVD製程沉積。該遠程電漿CVD製程係於鄰近基板502之相對溫和的條件下沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度於基板502之表面上。

【0035】沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度包括使一或更多含矽前驅物流入反應腔室，並將遠程電漿源所產生之一或更多氫自由基引向反應腔室中的基板502，其中該一或更多氫自由基與該一或更多含矽前驅物反應，以沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度。該一或更多含矽前驅物可包括具有一或更多矽-氫(Si-H)鍵及/或矽-矽(Si-Si)鍵之含矽前驅物。在一些實施例中，含矽前驅物可具有一或更多矽-碳(Si-C)鍵。在一些實施例中，含矽前驅物可具有一或更多矽-氧(Si-O)鍵。在一些實施例中，含矽前驅物可具有一或更多矽-氮(Si-N)鍵。含矽前驅物之示例於下文進一步詳細討論。

【0036】沉積製程期間， Si-H 鍵及/或 Si-Si 鍵斷裂並充當反應位點，以在沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506中的含矽前驅物之間形成鍵。斷裂的鍵亦可充當沉積期間或之後所進行之熱處理期間用於交聯的位點。反應位點處之鍵結及交聯可在最終的 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506中共同形成一個主骨架或基體。在一些實施例中，相對溫和的條

件可保留或實質上保留 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之剛沉積(as-deposited)層中存在的Si-C鍵及Si-O鍵和Si-N鍵(若存在的話)。據此，鄰近基板502之反應條件提供了Si-H及/或Si-Si鍵之選擇性斷裂，例如，從斷裂的Si-H鍵中提取氫，但反應條件不能提供從Si-O鍵中提取氧、從Si-N鍵中提取氮或從Si-C鍵中提取碳。然而，引入共反應物(例如氧)可從Si-C鍵中提取碳。一般而言，該所述之反應條件係存在於基板502之暴露面(沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506的面)。它們可進一步存在於基板502上方某個距離處，例如，基板502上方約0.5微米至約150毫米。實際上，含矽前驅物之活化可於氣相中發生在基板502上方相當大距離處。通常，相關的反應條件在基板502的整個暴露面上將是均勻的或實質上均勻的，儘管某些應用可允許一些變化。

【0037】除了含矽前驅物之外，鄰近基板502之環境亦包括一或更多處於實質上低能態或基態的自由基。該一或更多自由基可包括一或更多氫自由基，其亦可稱為氫原子自由基或氫自由基物種。在一些實施例中，鄰近基板502之全部或實質上全部或大部分的氫自由基處於基態，例如，鄰近基板502之氫自由基中至少約有90%或95%處於基態。作為示例，氫氣(H_2)可提供於遠程電漿源中之惰性載氣(例如氮氣)中。氫自由基於遠程電漿源中產生並引入反應腔室。一旦在遠程電漿源中產生，氫自由基便處於激發能態。例如，處於激發能態的氫可具有至少10.2eV的能量(第一激發態)。激發的氫自由基可能導致含矽前驅物發生非選擇性分解，容易打斷Si-H、Si-Si、Si-N、Si-O及Si-C鍵，其可改變 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506的組成或物理或電特性。此可能導致膜具有高介電常數、低崩潰電壓、高漏電流及較差的保形性。控制製程條件，以使氫自由基在遇到基板502時失去其能量或鬆弛而未發生再結合。控制製程條件，以使氫自由基在鄰近基板502之環境中處於實質上低能態或基態，其中處於實質上低能態或基態之氫自由基能夠選擇性地打斷Si-H及Si-Si鍵，且通常保留了Si-O、Si-N及Si-C鍵。例如，可設計電漿處理設備或相關部件，使得從遠程電漿源擴散至基板502之氫自由基的停留時

間大於被激發之氫原子自由基的能量鬆弛時間。圖6及7所示之電漿處理設備可配置成用以產生溫和狀態，其中鄰近基板502之環境中的大部分氫自由基處於基態。

【0038】 氫自由基的源氣體可與其他物種(包括載氣)一起輸送。含矽前驅物可與其他物種(包括載氣)一起輸送。示例性載氣包括但不限於氬(Ar)、氦(He)、氖(Ne)、氪(Kr)及氙(Xe)。載氣的濃度可實質上大於源氣體的濃度。如本文所使用，關於相對於源氣體之載氣的濃度「實質上大於」可指至少三倍大的體積百分比。舉例來說，氫氣可以約1-50%氫之濃度提供於氦載氣中。載氣的存在可助於增加源氣體的離子化並減少再結合。雖然較低的壓力通常有助於增加源氣體的離子化並減少再結合，但載氣的存在可提供相同作用。如此一來，即使在較高的壓力下，當載氣(例如氦)與源氣體一起流動時，便可產生大量自由基且將再結合降至最低。沉積期間反應腔室中較高的壓力可改善 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506的保形性。反應腔室中較高的壓力可對應於大於約3托耳(Torr)或大於約5托耳的壓力，例如約7托耳。

【0039】 在一些實施例中，引入含矽前驅物作為具有主要及次要物種的混合物。次要物種可能不會對 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506的組成或結構特徵有重大貢獻。在一些實施例中，含矽前驅物提供了所沉積之 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506的基本全部質量，而來自遠程電漿之少量氫或其他元素則提供小於約5原子百分比或小於約2原子百分比。在一些實施例中，沉積反應包括含矽前驅物及氫自由基以外的共反應物，其可能會或可能不會對沉積的 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之組成有貢獻。因此，共反應物可調整 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度的組成。共反應物的示例包括二氧化碳(CO_2)、一氧化碳(CO)、水(H_2O)、甲醇(CH_3OH)、氧(O_2)、臭氧(O_3)、氮(N_2)、一氧化二氮(N_2O)、氨(NH_3)、二氮烯(N_2H_2)、甲烷(CH_4)、乙烷(C_2H_6)、乙炔(C_2H_2)、乙烯(C_2H_4)、乙硼烷(B_2H_6)及其組合。此等材料可用作氮化劑、氧化劑、還原劑等。取決於共

反應物之選擇，該共反應物可增加或減少 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506的碳、氧或氮含量。在一些實施例中，可沿著與氫自由基相同的流動路徑將共反應物引入反應腔室中。可在含矽前驅物之上游引入共反應物，其中該共反應物可至少部分地轉化成自由基及/或離子。在一些實施例中，可沿著與含矽前驅物相同的流動路徑將共反應物引入反應腔室中。在此等情況下，可在氫自由基的下游引入共反應物，通常不直接暴露於電漿。在一些實施例中，共反應物可以約0.05%(質量百分比)或更少、或以約0.01%(質量百分比)或更少，或以約0.001%(質量百分比)或更少存在於製程氣體中。在一些實施例中，共反應物可以較高的濃度存在，例如約2%(質量百分比)或更少、或約0.1%(質量百分比)或更少。在一些實施例中，共反應物可以更高的濃度存在，例如約10%(質量百分比)或更多、或約20%(質量百分比)或更多。在一些實施例中，共反應物中的鍵可被氫自由基選擇性地打斷以活化該共反應物。

【0040】可控制用於沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度的製程條件。在一些實施例中，可於 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之沉積期間，透過支撐基板502於其上之基座溫度，以大程度地控制鄰近基板502之環境中的溫度。在一些實施例中，操作溫度可於約50°C與約500°C之間或約250°C與約400°C之間。升高溫度可導致基板表面上之交聯增加。在一些實施例中，可控制反應腔室中的壓力，以促進反應性自由基的產生。在一些實施例中，腔室壓力可約35托耳或更低，在一些應用中可於約10托耳與約20托耳之間，或者在一些其他應用中可於約0.2托耳與約5托耳之間。

【0041】用於形成 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之含矽前驅物可各自含有至少一Si-H及/或至少一Si-Si鍵。含矽前驅物可視情況各自含有至少一Si-O鍵、Si-N鍵及/或Si-C鍵。在一些實施例中，每一含矽前驅物不含有O-C或N-C鍵；例如，前驅物不含有烷氧基(-O-R)，其中R是例如烴基之有機基團，或不含有胺(-NR₁R₂)，其中R₁

及 R_2 獨自為氫或有機基團。不受任何理論的限制，據信此等基團可對其上留有它們之前驅物或片段提供高黏附係數。

【0042】在沉積反應中採用的含矽前驅物可限於特定的化學類別或化學類別的混合物。在一些實施例中，含矽前驅物包括矽氧烷。矽氧烷可為環狀、三維或籠狀、或線形。在一些實施例中，含矽前驅物包括烷基矽烷或其他烴取代的矽烷。例如，含矽前驅物可包括烷基碳矽烷。在一些實施例中，含矽前驅物包括烷氧基矽烷。在一些實施例中，含矽前驅物包括矽氮烷。矽氮烷可為環狀或線形。含矽前驅物之化學類別的具體示例描述於Varadarajan 等人於2015年2月6日申請之美國專利申請案第14/616,435 號，標題為「CONFORMAL DEPOSITION OF SILICON CARBIDE FILMS」，其全部內容為了所有目的皆併於此作為參考。

【0043】於沉積 $SiC_xO_yN_z$ 膜506時，製程氣體中可存有複數含矽前驅物，其中一些含矽前驅物是不同的。例如，可將矽氧烷與烷基矽烷一起使用，或者可將矽氧烷與烷氧基矽烷一起使用。各別前驅物之相對比例可基於所選擇之前驅物的化學結構及所得 $SiC_xO_yN_z$ 膜506之應用作選擇。例如，以莫耳百分比計，矽氧烷的量可大於矽烷的量，以產生更多孔的膜。

【0044】在一些實施例中，當沉積矽碳氧化物膜時，含矽前驅物可包括矽氧烷，例如環狀矽氧烷或線形矽氧烷。在一些實施例中，當沉積矽碳氧化物膜時，含矽前驅物可包括烷基矽烷。可引入含氧共反應物以與烷基矽烷反應。

【0045】可選擇含矽前驅物以產生高度保形之 $SiC_xO_yN_z$ 膜506。可透過比較特徵部504底部、側壁或頂部上沉積之膜的平均厚度與特徵部504底部、側壁或頂部上沉積之膜的平均厚度來計算保形性。例如，可透過將特徵部504側壁上沉積之膜的平均厚度除以頂部處沉積之膜的平均厚度並將其乘以100，以獲得百分比來計算保形性。據信具有低黏附係數之含矽前驅物能夠產生高度保形的膜。

「黏附係數」是用於描述被吸附物種(例如，片段或分子)吸附/黏附於表面上之個數比上同一時間段期間撞擊在該表面上之物種總數之比率的術語。有時使用符號 S_c 表示黏附係數。 S_c 的值在0(表示沒有物種黏附)與1(表示所有撞擊物種黏附)之間。諸多因素都會影響黏附係數，包括撞擊物種的類型、表面溫度、表面覆蓋率、表面結構細節以及撞擊物種的動能。

【0046】在製程500的操作500a中， $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度可具有至少約75%、至少約80%、至少約85%、至少約90%、至少約95%、或至少約98%之保形性。 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度可等於或小於約10埃(Å)，或者可等於或小於約5 Å。在一些實施例中， $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度可於約0.5 Å與約5 Å之間，或約0.5 Å與約4.5 Å之間。

【0047】可根據預定沉積時間來沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度，以獲得所欲厚度。在一些實施例中，沉積時間可於約1秒與約200秒之間，或約5秒與約100秒之間。可控制第一厚度，使得後續遠程電漿處理能夠充分滲透，以使 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度緻密化及收縮。再者，可根據後續遠程電漿處理操作之所欲處理頻率來控制第一厚度。

【0048】 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度沉積於基板502之特徵部504中，其中特徵部504可採溝槽、凹入或孔的形狀。特徵部504可具有至少約5:1、至少約10:1、至少約15:1、至少約20:1、至少約30:1、至少約40:1、至少約50:1、或至少約100:1之深度比上橫向尺寸的深寬比。例如，具有高深寬比之特徵部可為至少10:1。橫向尺寸可為特徵部504之頂部處的寬度或直徑。在一些實施例中，特徵部504的橫向尺寸可小於約200 nm、小於約100 nm、約2 nm與約100 nm之間、或約2 nm與約50 nm之間。在一些實施例中，特徵部504的深度可於約0.1 μm與約100 μm之間、約0.5 μm與約50 μm之間、約0.5 μm與約25 μm之間、或約1 μm與約25 μm之間。

【0049】 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之組成可能影響後續遠程電漿暴露操作中

$\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度收縮的量。在一些實施方式中， $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之組成可具有約10%與約40%之間或約10%與約30%之間的碳原子濃度。在一些實施方式中，碳的原子濃度可透過調整沉積參數，例如前驅物的選擇、前驅物的流速、共反應物的選擇以及共反應物(例如氧)的流速來控制。例如，於 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之沉積中增加氧的存在，即可從 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506中提取更多的碳。在一些實施方式中，在操作500a期間控制 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506中碳的原子濃度，以使遠程氬電漿暴露的條件得以在操作500b期間增大特徵部504頂表面附近的開口尺寸。

【0050】 在製程500之操作500b中，於增大特徵部504頂表面附近之開口尺寸的條件下，使 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506暴露於遠程氬電漿。遠程氬電漿係用於處理 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度，使得 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度在特徵部504頂表面附近收縮。 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度在特徵部504頂表面附近收縮多少可取決於 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度及組成。 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度在特徵部504頂表面附近收縮多少亦可取決於遠程電漿條件。

【0051】 用於在沉積期間產生源氣體之自由基的遠程電漿源亦可用於在處理期間產生源氣體之自由基，以使 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度於特徵部504頂表面附近收縮。據此，可在與 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜處理相同之反應腔室中發生 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜沉積。此允許在同一工具中執行交替的沉積及處理循環。因此，可在不引起真空破壞(例如，空氣破壞)的情況下，發生沉積第一厚度，並將 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度暴露於遠程氬電漿。真空破壞會降低產量並在基板502中引發氧化，其會導致更高電阻並降低效能。

【0052】 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜5506之第一厚度暴露於遠程氬電漿係在未輸送含矽前驅物下發生。換言之，當沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度涉及使一或更多含矽前驅物流動以與遠程氬電漿之氬自由基反應時，暴露 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度將

停止含矽前驅物的流動。可對包括氫氣之源氣體提供惰性載氣(例如氮)。在一些實施例中，源氣體可包括氫、氮、含N-H的物種(例如 NH_3)、氧、含氧的物種(例如 H_2O 、 CO_2 或 N_2O)或其組合。源氣體係提供於遠程電漿源中，其中氫自由基於遠程電漿源中產生，並被引入反應腔室中且朝向基板502。一旦在遠程電漿源中產生，氫自由基便處於激發態。氫自由基在遇到基板502時失去其能量或鬆弛且未發生再結合。 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度暴露至遠程氫電漿，使得至少大部分的氫自由基處於實質上低能態或基態。在一些實施例中，源氣體之至少90%的自由基為基態的氫自由基。遠程氫電漿之此等氫自由基係用以使特徵部504頂表面附近之 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506的第一厚度緻密化及收縮。至少部分地因為離子的最小濃度及氫自由基的低能態，故暴露 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506於遠程氫電漿通常不會對基板502之下層造成傷害。

【0053】可根據每一遠程氫電漿處理之處理頻率來沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506的厚度。因此，控制每一沉積-處理循環沉積多少 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506，以改善間隙填充效能。在操作500a， $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度等於或小於約 $10\text{ \AA}$ 、等於或小於約 $5\text{ \AA}$ 、或者約 $0.5\text{ \AA}$ 與約 $4.5\text{ \AA}$ 之間。據此，在每一沉積-處理循環中沉積等於或小於約 $10\text{ \AA}$ 、等於或小於約 $5\text{ \AA}$ 、或約 $0.5\text{ \AA}$ 與約 $4.5\text{ \AA}$ 之間的 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506厚度。較高的處理頻率對應於每一循環沉積較小厚度的 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506，其中較高的處理頻率可能提供較佳之間隙填充效能。

【0054】可沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之組成，使得遠程氫電漿處理對收縮 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度有更大的影響。具體地說，可在操作500a調整 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506中碳的原子濃度，其中碳的原子濃度於約10%與約40%之間或約10與約30%之間。在一些實施方式中，當 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506中原子碳濃度較低時，特徵部504頂表面附近之開口尺寸增大得較多。在控制碳的原子濃度下，可利用遠程氫電漿的條件來增大特徵部504頂表面附近之開口尺寸。此可改善間隙填充效能。

【0055】可控制遠程氫電漿之條件，以優先處理特徵部504頂表面附近而不是特徵部504底表面附近之 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506的第一厚度。特徵部504頂表面附近之 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506的第一厚度可比底表面附近暴露於更多的遠程氫電漿之氫自由基。在一些實施例中，可控制處理時間及/或處理頻率，以限制遠程氫電漿之氫自由基朝特徵部504底表面之擴散或傳送。例如，較短的處理時間可限制氫自由基之擴散/傳送免於到達特徵部504底表面。在一些實施例中，暴露於遠程氫電漿之處理時間於約0.5秒與約120秒之間、約1秒與30秒之間、約2秒與20秒之間、或約5秒與15秒之間。在一些實施例中，暴露於遠程氫電漿之處理時間約10秒。將理解的是，處理時間可根據特徵部504的深寬比作變化，其中處理時間要足夠長以使 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度緻密化且收縮，但要足夠短以限制氫自由基到特徵部504底表面之擴散及傳送。

【0056】可控制遠程氫電漿之條件，以增大特徵部504頂表面附近的開口尺寸。在一些實施例中，特徵部504頂表面附近的開口尺寸比特徵部504底表面附近之開口尺寸來增大得多。暴露於遠程氫電漿可透過提取氫並促進交聯而使 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506緻密化，從而可形成更多的Si-O-Si及Si-C-Si鍵。再者，暴露於遠程氫電漿可在合適的條件下收縮 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506的厚度。在一些實施例中，可控制處理功率以促進 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之厚度緻密化並收縮。在一些實施例中，可調整感應耦合式電漿之RF功率，以控制處理功率，其中RF功率可於約300瓦與10千瓦之間、約1千瓦與約8千瓦之間、或者約2千瓦與約6千瓦之間。可調整處理期間施加至遠程電漿源之RF功率，以增加源氣體之氫自由基的產生。在一些實施例中，處理功率可至少部分地與遠程電漿氣體組成相關。遠程電漿氣體組成可包括相對於載氣之源氣體的濃度，其中源氣體之較高濃度有助於增加自由基的產生，因而導致較高的處理功率。在一些實施例中，源氣體(例如，氫氣)的濃度為至少10%(體積百分比)且餘量為惰性載氣、至少15%(體積百分比)且餘量為

惰性載氣、至少20%(體積百分比)且餘量為惰性載氣、至少25%(體積百分比)且餘量為惰性載氣、約10%與約50%(體積百分比)之間且餘量為惰性載氣、或約10%與約30%(體積百分比)之間且餘量為惰性載氣。具體地說，氣體混合物可包括氫氣且餘量為惰性載氣(例如氮)，其中該氣體混合物包括至少10%(體積百分比)的氫氣及餘量的氮、至少15%(體積百分比)的氫氣及餘量的氮、至少20%(體積百分比)的氫氣及餘量的氮、至少25%(體積百分比)的氫氣及餘量的氮，約10%與約50%(體積百分比)之間的氫氣及餘量的氮、或約10%與約30%(體積百分比)之間的氫氣及餘量的氮。相反地，典型的氣體混合包括氫氣，其濃度為1-10%(體積百分比)，且餘量為氮。處理功率及遠程電漿氣體組成可根據 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506的組成作調整。在一些實施例中，可在遠程氫電漿處理中降低處理功率及/或可降低氫源氣體濃度，且仍實現特徵部504頂表面附近開口尺寸的增大，其中 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506中碳的原子濃度於特徵部504頂表面附近降低。

【0057】 可利用沿著特徵部504頂表面之橫向距離(例如直徑)來測量特徵部504頂表面附近之開口尺寸。具體地說，可透過特徵部504頂表面之相對轉角之間的距離減去特徵部504頂表面之轉角處的 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506厚度來測量開口尺寸。在一些實施例中，特徵部504頂表面附近之開口尺寸可於操作500b後增大至少約1%、至少約5%、至少約10%、至少約20%、至少約50%、至少約100%、約1%與約100%之間、約5%與約100%之間、約1%與約50%之間、或約5%與約50%之間的百分比量。舉例來說，特徵部504頂表面附近之開口尺寸於操作500b後可從20 nm增大至大於30 nm的量，其表示增加了至少50%。

【0058】 在一些實施例中，特徵部504頂表面附近之開口尺寸比特徵部504底表面附近之開口尺寸增大得多。可使用沿著特徵部504底表面的橫向距離(例如，直徑)來測量特徵部504底表面附近的開口尺寸。具體地說，可透過特徵部504底表面之相對轉角之間的距離減去特徵部504底表面之轉角處的 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506

厚度來測量開口尺寸。當特徵部504被 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506填充時，特徵部504底表面是指最低的暴露表面。在操作500b之後，特徵部504底表面附近之開口尺寸不增大或以小於特徵部504頂表面附近開口的量增大。

【0059】 在一些實施例中，可控制遠程氫電漿的條件，使得 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506在頂部開口處比在底部開口處收縮得多。遠程電漿的氫自由基及/或離子本質上可為等向性或實質上等向性，使得該處理優先發生在特徵部504的頂部開口而不是底部開口。可控制處理頻率、處理時間、處理功率及/或遠程電漿氣體組成，使得特徵部504頂表面附近的開口尺寸比特徵部504底表面附近的開口尺寸增大得多。可控制 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之組成及厚度，使得特徵部504頂表面附近之開口尺寸比特徵部504底表面附近之開口尺寸增大得多。

【0060】 將理解，可控制除了處理頻率、處理時間、處理功率、遠程電漿氣體組成、 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506組成及 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506厚度以外的參數，以使頂部開口處之 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506收縮。其他可調參數包括但不限於時序、氣體組成、氣體流速、腔室壓力、腔室溫度、基板溫度、沉積與電漿處理之間的時間間隔以及基板位置。此些參數可在暴露於遠程氫電漿期間作調整，以影響遠程電漿之特性，其可影響特徵部504頂表面附近的開口尺寸。在一些實施例中，腔室壓力可於約0.2托耳與約5托耳之間、或約1托耳與約3托耳之間。在一些實施例中，腔室壓力可大於3托耳或大於5托耳，其中其他製程條件(例如惰性載氣)導致充分的離子化並減少停留時間。在一些實施例中，源氣體可與一或更多共反應物例如 CO_2 、 CO 、 H_2O 、 CH_3OH 、 O_2 、 O_3 、 N_2 、 N_2O 、 NH_3 、 N_2H_2 、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_2H_2 、 C_2H_4 、 B_2H_6 或其組合一起流動。取決於共反應物的選擇，一或更多共反應物可增加或減少 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506的氧、氮或碳含量。在一些實施例中，該一或更多共反應物可包括 CO_2 、 O_2 、 N_2 、 NH_3 或其組合。氧氣或氧自由基之存在傾向於從Si-C鍵中提取碳，因而將碳化物轉化為氧化物。

【0061】 在一些實施例中，可在操作500a沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度與在操作500b暴露 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度於遠程電漿處理之間引入時間間隔。在該時間間隔期間，關閉電漿，且一些氣體繼續流入反應腔室。在一些實施例中，氣體可包括在操作500a沉積期間流動的含矽前驅物。在關閉電漿之時間間隔期間，不會發生可能會對間隙填充效能產生不利影響之殘留物沉積。在一些實施方式中，時間間隔可於約1秒與約30秒之間，例如約5秒、約10秒或約20秒。

【0062】 在製程500之操作500c中，沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第二厚度於基板502之特徵部504中。第二厚度可沉積在 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度上或上方。沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第二厚度的態樣可與沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度的態樣相同或至少相似。具體地說，在沉積第一厚度包括在操作500a期間使一或更多含矽前驅物流入反應腔室中，並引入遠程電漿源所產生的氫自由基以與一或更多含矽前驅物反應之情況下，沉積第二厚度則包括在操作500c中重複上述操作500a。操作500c中之沉積時間、膜厚度、腔室壓力、腔室溫度、基板溫度、RF功率位準、氣體流量、氣體組成及其他參數可與操作500a中的相同或不同。 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度透過遠程電漿CVD製程沉積，而 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第二厚度透過遠程電漿CVD製程沉積，其中遠程電漿CVD製程係在鄰近基板502之相對溫和條件下沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第二厚度於基板502之表面上。此等相對溫和條件係描述於操作500a中。

【0063】 在一些實施例中， $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第二厚度可具有至少約75%、至少約80%、至少約85%、至少約90%、至少約95%或至少約98%的保形度。 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第二厚度可等於或小於約 $10\text{ \AA}$ ，或者等於或小於約 $5\text{ \AA}$ 。在一些實施例中， $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第二厚度可於約 $0.5\text{ \AA}$ 與約 $5\text{ \AA}$ 之間，或約 $0.5\text{ \AA}$ 與約 $4.5\text{ \AA}$ 之間。

【0064】 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第二厚度的沉積可在與 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506處理及 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第一厚度沉積相同的反應腔室中發生。因此，可在操作之間不引發真空破壞(例如，空氣破壞)下發生 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第二厚度沉積。

【0065】 製程500之操作500c可進一步包括重複500b和500a的操作，直到特徵部504被填充或實質上被填充。如本文中所使用，關於填充特徵部504之「實質上填充」可指使 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506佔據特徵部504體積之至少98%。當特徵部504實質上被 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506填充時，可能形成接縫及/或空孔508。然而，透過如本發明所述之透過遠程電漿CVD之沉積及遠程氫電漿暴露可消除接縫及/或空孔508形成或至少將接縫及/或空孔508尺寸減至最小。

【0066】 在操作500c中重複500b及500a的操作可包括重複: (i)暴露 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506於遠程氫電漿，使得特徵部504頂表面處之開口尺寸增大，以及(ii)沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之新厚度於特徵部504中。在一些實施例中，操作500c中之處理頻率、處理時間、處理功率及/或遠程電漿氣體組成與操作500b及500a中之處理頻率、處理時間、處理功率及/或遠程電漿氣體組成相同。例如，可提供每一沉積-處理循環為5Å或更小之處理頻率、約0.5秒與120秒之間的處理時間、施加RF功率於約1千瓦與約8千瓦之間的處理功率、以及具有濃度於約10%與約50%(體積百分比)之間的氫及餘量氮之遠程電漿氣體組成，直到特徵部504被填充或至少實質上被填充。控制操作500c中重複操作500b期間之遠程氫電漿的條件，使得特徵部504頂表面附近之開口尺寸增大。在一些實施例中，當在操作500c中重複操作500b時，特徵部504頂表面附近之開口尺寸比特徵部504底表面附近之開口尺寸增大得多。當操作500c中所重複之操作500a的其中一者閉合特徵部504的開口時，即完成填充。

【0067】 在一些實施例中，可在操作500c沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之第二厚度與重複操作500b(即電漿處理)之間引入時間間隔。於該時間間隔期間，關閉電漿，

且一些氣體繼續流入反應腔室。在一些實施例中，該等氣體可包括在操作500b之電漿處理期間流動之氫氣、惰性載氣及/或共反應物氣體。在關閉電漿之時間間隔期間，不會發生可能會對間隙填充效能產生不利影響之殘留物沉積。在一些實施方式中，時間間隔可於約1秒與約30秒之間，例如約5秒、約10秒或約20秒。一般而言，在電漿沉積與電漿處理操作之間可能發生諸多時間間隔，以調整間隙填充效能。此意味著時間間隔可能發生在從沉積到電漿處理的過渡中，及/或從電漿處理回到沉積的過渡中。

【0068】 在一些實施例中，處理頻率、處理時間、處理功率及/或遠程電漿氣體組成之參數可根據特徵部504的幾何形狀作調整。取決於特徵部504的深寬比，處理頻率、處理時間、處理功率及/或遠程電漿氣體組成可作變化。例如，處理頻率可基於進入的特徵部幾何形狀作彈性調整，以對特徵部504的填充作整形並改善間隙填充效能。如此一來，可調整每一沉積-處理循環沉積多少 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506厚度，以使接縫及/或空孔508之形成降至最小，並保持合理產量。

【0069】 本發明中透過遠程電漿CVD所沉積之 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506對氧化物及氮化物材料均具有高蝕刻選擇性，其中 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506在乾式蝕刻或濕式蝕刻條件下對氧化物及氮化物材料具有至少7：1之蝕刻選擇性。 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506可具有優異的電特性，包括高崩潰電壓及低漏電流。此外， $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506可具有低介電常數(low-k)，其中 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜506之有效介電常數約4.0或更小、約3.5或更小、約3.0或更小、或者約2.5或更小。

【0070】 本發明之一態樣是配置成完成本文所述方法之設備。根據本發明，合適的設備包括用於完成製程操作的硬體及具有用於控制製程操作之指令的系統控制器。在一些實施例中，用於執行前述處理操作的設備可包括遠程電漿源。相較於直接電漿，遠程電漿源提供溫和的反應條件。合適的遠程電漿設備之示例描述於Varadarajan 等人在2013年10月24日申請之美國專利申請案第

第 25 頁，共 41 頁(發明說明書)

14/062,648號中，標題為「GROUND STATE HYDROGEN RADICAL SOURCES FOR CHEMICAL VAPOR DEPOSITION OF SILICON-CARBON-CONTAINING FILMS」，其全部內容為了所有目的皆併於此作為參考。

【0071】圖6呈現根據某些實施例之遠程電漿設備示意圖。裝置600包括帶有噴淋頭620之反應腔室610。於反應腔室610內部，基板630置於平台或基座635上。在一些實施例中，基座635可裝配有加熱/冷卻元件。控制器640可連接至裝置600之部件，以控制裝置600的操作。例如，控制器640可含有用於控制裝置600操作之製程條件的指令，例如溫度製程條件及/或壓力製程條件。在一些實施例中，控制器640可含有用於控制前驅物氣體、共反應物氣體、源氣體及載氣之流速的指令。控制器640可含有用於控制遠程氬電漿之處理頻率、處理時間、處理功率及遠程電漿氣體組成之指令。下文提供控制器640更加詳細的描述。

【0072】在操作期間，氣體或氣體混合物經由耦接至反應腔室610之一或更多氣體入口引進反應腔室610中。在一些實施例中，二或更多氣體入口耦接至反應腔室610。第一氣體入口655可耦接至反應腔室610並連接至容器650，且第二氣體入口665可耦接至反應腔室610並連接至遠程電漿源660。在包括遠程電漿配置之實施例中，遠程電漿源660中所產生之前驅物及自由基物種的輸送管線是分開的。因此，前驅物及自由基物種在到達基板630之前實質上不相互作用。將理解的是，在一些實施方式中，氣體管線可顛倒，使得容器650可通過第二氣體入口665提供前驅物氣體流，而遠程電漿源660可通過第一氣體入口655提供離子及自由基。

【0073】一或更多自由基物種可在遠程電漿源660中產生並配置成經由第二氣體入口665進入反應腔室610。任何種類之電漿源可用於遠程電漿源660中，以產生自由基物種。此包括，但不限於，電容耦合電漿、感應耦合電漿、微波電漿、DC電漿及雷射產生電漿。電容耦合電漿之示例可為射頻(RF)電漿。高頻

電漿可配置成以13.56 MHz或更高頻率操作。此等遠程電漿源660之示例可為由加利福尼亞州弗里蒙特市之科林研發公司(Lam Research Corporation)製造的GAMMA[®]。此等RF遠程電漿源660之另一示例可為由馬薩諸塞州威爾明頓市之萬機儀器公司(MKS Instruments)製造的Astron[®]，其可在440 kHz下操作，且可提供作為用螺栓固定在較大設備上的子單元，以同步處理一或更多基板。在一些實施例中，微波電漿可用作遠程電漿源660，例如亦由MKS Instruments製造的Astex[®]。微波電漿可配置成以2.45 GHz的頻率操作。提供至遠程電漿源660之氣體可包括氫、氮、氧及本文其他處提及之其他氣體。在某些實施例中，於載氣(如氮)中提供氫。舉例而言，在沉積操作期間，可以約1-50%(體積百分比)的濃度提供氫氣於氮載氣中，而在處理操作期間則可以至少約10%(體積百分比)的濃度提供氫氣於氮載氣中。

【0074】前驅物可提供於容器650中，並可通過第一氣體入口655供應至噴淋頭620。該噴淋頭620將前驅物分配至反應腔室610中並朝向基板630。基板630可位於噴淋頭620的下方。將理解的是，噴淋頭620可具有任何合適的形狀，且可具有用於將氣體分配至基板630之任何數量及佈設的開口。前驅物可以受控的流速供應至噴淋頭620，並最終至基板630。

【0075】遠程電漿源660中所形成之一或更多自由基物種可於氣相中被帶向基板630。該一或更多自由基物種可流過第二氣體入口665並進入反應腔室610。將理解的是，第二氣體入口665不需要垂直於基板630的表面，如圖6所示。在某些實施例中，第二氣體入口665可於基板630正上方或於其他位置。遠程電漿源660與反應腔室610之間的距離可配置成提供溫和的反應條件，使得遠程電漿源660中產生的離子化物種實質上被中和，但至少一些處於實質上低能態的自由基物種保留在鄰近基板630之環境中。此等低能態之自由基物種不會再結合形成穩定的化合物。遠程電漿源660與反應腔室610之間的距離可取決於電漿的侵

蝕性(例如，部分由源RF功率位準決定)、電漿中氣體的密度(例如，若有高濃度之氫原子，其中很大一部分可能在到達反應腔室610之前再結合形成H₂)、及其他因素。在一些實施例中，遠程電漿源660與反應腔室610之間的距離可於約1cm與30cm之間，例如約5cm或約15cm。

【0076】 在一些實施例中，共反應物(其不是主要的含矽前驅物或氫自由基)於沉積反應期間被引入。在一些實施方式中，裝置600係配置成通過第二氣體入口665引入共反應物，在此情況下，共反應物至少部分地轉化為電漿。在一些實施方式中，裝置600係配置成經由第一氣體入口655通過噴淋頭620引入共反應物。共反應物之示例包括氧、氮、氨、二氧化碳、一氧化碳及其類似者。

【0077】 圖7示出根據一些其他實現方式之具有遠程電漿源的示例性電漿處理設備示意圖。電漿處理設備700包括與反應腔室704隔開的遠程電漿源702。遠程電漿源702透過多開口氣體分佈器706(其亦可稱為噴淋頭)與反應腔室704流體耦接。自由基物種於遠程電漿源702中生成並供應至反應腔室704。一或更多含矽前驅物係從遠程電漿源702以及從多開口氣體分佈器706供應至下游的反應腔室704。該一或更多含矽前驅物係於反應腔室704之化學氣相沉積區708中與自由基物種反應，以沉積SiC_xO_yN_z膜於基板712的表面上。該化學氣相沉積區708包括鄰近基板712表面之環境。

【0078】 該基板712係支撐於基板支撐件或基座714上。該基座714可在反應腔室704內移動，以將基板712置於化學氣相沉積區708內。在圖7所示之實施例中，基座714係示為已升高基板712於化學氣相沉積區708內。在一些實施例中，基座714亦可調整基板712的溫度，其可對基板712上之熱活化表面反應提供一些選擇性控制。

【0079】 圖7示出環繞遠程電漿源702佈設的線圈718，其中遠程電漿源702包括外壁(例如，石英圓頂)。線圈718電耦接至電漿產生器控制器722，其可用於

透過感應耦合電漿產生而在電漿區域724內形成並維持電漿。在一些實施方式中，電漿產生器控制器722可包括供應功率至線圈718之電源供應，其中該功率在電漿產生期間可於約1與6千瓦(kW)之間的範圍內。在一些實施方式中，用於平行板或電容耦合電漿產生之電極或天線可用以透過電漿激發而非感應耦合電漿產生來產生自由基的連續供應。無論用於在電漿區域724中激燃並維持電漿的機制為何，可在膜沉積及處理期間使用電漿激發來連續產生自由基物種。在一些實施方式中，氫自由基係在穩態膜沉積期間於接近穩態條件下產生，儘管在膜沉積及處理之開始及結束時可能發生瞬變。

【0080】 當氫氣或其他源氣體正供應至遠程電漿源702時，可在電漿區域724內連續產生氫自由基的供應。激發的氫自由基可在遠程電漿源702中產生。若不重新激發或重新提供能量，或與其他自由基再結合，則激發的氫自由基會失去能量或鬆弛。因此，激發的氫自由基可能鬆弛而形成處於實質上低能態或基態的氫自由基。

【0081】 氫氣或其他源氣體可用一或更多額外氣體稀釋。此些一或更多額外氣體可供應至遠程電漿源702。在一些實施方式中，氫氣或其他源氣體與一或更多額外氣體混合以形成氣體混合物，其中該一或更多額外氣體可包括載氣。額外氣體之非限制性示例可包括氮、氖、氬、氦及氙。該一或更多額外氣體可支持或穩定遠程電漿源702內的穩態電漿條件，或有助於過渡電漿激燃或熄滅過程。在一些實施方式中，例如用氮稀釋氫氣或其他源氣體可允許較高的總壓力而不會伴隨電漿破壞。換言之，氫氣與氮氣之稀釋氣體混合物可允許較高的總氣壓，而不會增加遠程電漿源702之電漿功率。如圖7所示，源氣體供應726與遠程電漿源702流體耦接，以供應氫氣或源氣體。此外，額外氣體供應728與遠程電漿源702流體耦接，以供應一或更多額外氣體。該一或更多額外氣體亦可包括如上所述之共反應物氣體。儘管圖7中之實施例繪示通過隔開的氣體出口引入源

氣體與該一或更多額外氣體之氣體混合物，但將理解，該氣體混合物可直接引入遠程電漿源702。亦即，可通過單一氣體出口，將預混合的稀釋氣體混合物供應至遠程電漿源702。

【0082】 例如激發的氫及氮自由基以及鬆弛的氣體/自由基之氣體透過多開口氣體分佈器706，流出遠程電漿源702並進入反應腔室704。多開口氣體分佈器706內及反應腔室704內的氣體一般不受其中的連續電漿激發。在一些實施方式中，多開口氣體分佈器706包括離子過濾器及/或光子過濾器。過濾離子及/或光子可降低反應腔室704內之基板損壞、不希望發生的分子再激發、及/或含矽前驅物之選擇性破壞或分解。多開口氣體分佈器706可具有複數氣體開口734，以將氣體流擴散至反應腔室704中。在一些實施方式中，該複數氣體開口734可佈設為相互隔開。在一些實施方式中，該複數氣體開口734可佈設為規則間隔開之通道或通孔的陣列，該通道或通孔延伸穿過將遠程電漿源702及反應腔室704隔開的板子。該複數氣體開口734可將自遠程電漿源702離開的自由基平順地分散且擴散至反應腔室704中。

【0083】 典型的遠程電漿源係遠離反應容器。因此，自由基之熄滅及再結合(例如，透過壁碰撞事件)可實質地減少活性物種。相反地，在一些實施方式中，該複數氣體開口734之尺寸可鑑於典型處理條件下之平均自由路徑或氣流停留時間來配置，以助於自由基自由通過並進入反應腔室704。在一些實施方式中，該複數氣體開口734之開口可佔多開口氣體分佈器706的暴露表面積之約5%至約20%之間。在一些實施方式中，該複數氣體開口734可各自具有於約3:1與10:1之間或約6:1與約8:1之間的軸向長度比上直徑之比例。此等深寬比可降低穿過該複數氣體開口734之自由基物種的壁碰撞頻率，且對大多數激發態自由基物種提供充足的時間以鬆弛至基態自由基物種。在一些實施方式中，可配置該複數氣體開口734之尺寸，使得通過多開口氣體分佈器706之氣體的停留時間大於激發態

自由基物種之典型能量鬆弛時間。氫源氣體之激發態自由基物種在圖7中可表示為 $\cdot\text{H}^*$ ，而氫源氣體的基態自由基物種在圖7中可表示為 $\cdot\text{H}$ 。

【0084】 在一些實施方式中，離開該複數氣體開口734之激發態自由基物種可流入包含於反應腔室704內部之鬆弛區738。該鬆弛區738位於化學氣相沉積區708的上游，但於多開口氣體分佈器706的下游。離開多開口氣體分佈器706之實質上全部或至少90%的激發態自由基物種將在鬆弛區738中轉變為鬆弛態自由基物種。換言之，進入鬆弛區738之幾乎所有激發態自由基物種(例如，激發的氫自由基)在離開鬆弛區738之前變為去激發或轉變為鬆弛態自由基物種(例如基態氫自由基)。在一些實施方式中，可配置鬆弛區738之製程條件或幾何形狀，使得流過鬆弛區738之自由基物種的停留時間(例如，由平均自由路徑及平均分子速度所決定的時間)得以導致鬆弛態之自由基物種流出鬆弛區738。

【0085】 隨著自由基物種從多開口氣體分佈器706輸送至鬆弛區738，可將一或更多含矽前驅物及/或一或更多共反應物引入化學氣相沉積區708中。該一或更多含矽前驅物可透過氣體分佈器或氣體出口742引入，其中氣體出口742可與前驅物供應源740流體耦接。鬆弛區738可包含於多開口氣體分佈器706與氣體出口742之間的空間內。該氣體出口742可包括相互間隔開之開口，使得一或更多含矽前驅物的流動可沿著平行於氣體混合物從鬆弛區738流出之方向引入。該氣體出口742可位於多開口氣體分佈器706及鬆弛區738的下游。該氣體出口742可位於化學氣相沉積區708及基板712的上游。該化學氣相沉積區708位於該反應腔室704之內部，並於氣體出口742與基板712之間。

【0086】 可防止實質上所有之該一或更多含矽前驅物流與鄰近多開口氣體分佈器706之激發態自由基物種混合。鬆弛態或基態自由基物種在鄰近基板712之區域中與該一或更多含矽前驅物混合。化學氣相沉積區708包括鄰近基板712之區域，而鬆弛態或基態自由基物種與該一或更多含矽前驅物於此區域中混

合。於 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之CVD形成期間，鬆弛態或基態自由基物種與呈氣相之一或更多含矽前驅物混合。然而，於 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之緻密化及收縮期間，鬆弛態或基態自由基物種不與呈氣相之任何含矽前驅物混合。

【0087】 在一些實施方式中，可從氣體出口742引入共反應物，並與該一或更多含矽前驅物一起流動。該共反應物可引入遠程電漿源702之下游。該共反應物可由與氣體出口742流體耦接之前驅物供應源740或其他源（未示出）供應。在一些實施方式中，可從多開口氣體分佈器706引入共反應物，並與遠程電漿源702中所產生的自由基物種一起流入反應腔室704。此可包括遠程電漿源702中所提供之共反應物氣體的自由基及/或離子。該共反應物可由額外氣體供應728供應。

【0088】 氣體出口742可與多開口氣體分佈器706以足夠的距離隔開，以防止該一或更多含矽前驅物向後擴散或向後流動。在一些實施方式中，氣體出口742可與該複數氣體開口734分隔約0.5英寸與約5英寸之間、或約1.5英寸與約4.5英寸之間、或約1.5英寸與約3英寸之間的距離。

【0089】 可透過配置成與泵（未示出）流體耦接之出口748，從反應腔室704移除製程氣體。因此，可從反應腔室704移除過量的含矽前驅物、共反應物、自由基物種、以及稀釋劑和置換或沖洗氣體。在一些實施方式中，系統控制器750與電漿處理設備700可操作地通訊。在一些實施方式中，系統控制器750包括處理器系統752(例如，微處理器)，其配置成用以執行保存在數據系統754(例如，記憶體)中之指令。在一些實施方式中，系統控制器750可與電漿產生器控制器722通訊，以控制電漿參數及/或條件。在一些實施方式中，系統控制器750可與基座714通訊，以控制基座升抬及溫度。在一些實施方式中，系統控制器750可控制其他處理條件，例如RF功率設定、頻率設定、工作週期、脈衝時間、反應腔室704內的壓力、遠程電漿源702內的壓力、來自該源氣體供應726及該額外氣體供

應728之氣體流速、來自前驅物供應源740及其他源之氣體流速、基座714之溫度、以及反應腔室704之溫度諸如此類。

【0090】 下述圖7之控制器750態樣亦適用於圖6之控制器640。控制器750可包含指令，用於控制電漿處理設備700操作之製程條件。控制器750通常將包括一或更多記憶體裝置及一或更多處理器。該處理器可包括CPU或電腦、類比及/或數位輸入/輸出連接、步進電機控制器板等。用於實施適當控制操作之指令係於處理器上執行。此些指令可儲存於與控制器750相連之記憶體裝置上或其可透過網路來提供。

【0091】 在某些實施例中，控制器750控制本文所述之電漿處理設備700的全部或大多數動作。例如，控制器750可控制與沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜相關之電漿處理設備700的所有或大多數動作，以及可選地在包括 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之製造流程中的其他操作。控制器750可執行系統控制軟體，其包括用於控制間隙填充操作之遠程電漿條件之處理頻率、處理時間、處理功率及遠程電漿氣體組成之指令集。控制器750亦可執行系統控制軟體，其包括用於控制時序、沉積與電漿處理操作之間的時間間隔、氣體組成、氣體流速、腔室壓力、腔室溫度、基板位置及/或其他參數的指令集。儲存在與控制器750相關之記憶體裝置的電腦程式、腳本、程序可應用在一些實施例中。為了在鄰近基板712的環境處提供相對溫和的反應條件，可藉由控制器750調整並維持參數，例如RF功率位準、到電漿區域724的氣體流速、到化學氣相沉積區708之氣體流速、以及電漿激燃之時序。此外，調整基板位置更可在鄰近基板712的環境處減少高能自由基物種之存在。於多站反應器中，該控制器750可包含用於不同設備站之不同或相同指令，因而允許設備站獨立地或同步地操作。

【0092】 在一些實施例中，控制器750可包括用於執行例如下述操作之指令：沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之第一厚度於基板712之一或更多特徵部中；於增大每一該一

或更多特徵部頂表面附近之開口尺寸的條件下，暴露 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜於遠程氬電漿；以及沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之第二厚度於基板712之該一或更多特徵部中。在沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之第一厚度及第二厚度中，該控制器750可包括用於使一或更多含矽前驅物流入反應腔室704中並將遠程電漿源702所產生之一或更多氬自由基引入且朝向反應腔室704中基板712的指令，其中該一或更多氬自由基與該一或更多含矽前驅物反應以沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜。在一些實施例中，控制器750可進一步包括用於控制 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之原子濃度的指令，以使遠程氬電漿之條件得以增大每一該一或更多特徵部頂表面附近之開口尺寸。在一些實施例中，控制器750可進一步包括用於重複下述操作的指令：暴露 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜於遠程氬電漿並沉積 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之新厚度於基板712之一或更多特徵部中，直到該一或更多個特徵部被填充或至少實質上被填充。在一些實施例中，遠程氬電漿之條件包括處理頻率、處理時間、處理功率及/或正受控之遠程電漿氣體組成，以使每一該一或更多特徵部頂表面附近之開口尺寸比每一該一或更多特徵部底表面附近之開口尺寸增大得多。在一些實施例中，遠程氬電漿之處理功率包括濃度約10%與約50%(體積百分比)之間的氬，或濃度約10%與約30%(體積百分比)之間的氬。在一些實施例中， $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之第一厚度及第二厚度各自於約0.5 Å與約10 Å之間、或約0.5 Å與約4.5 Å之間。

【0093】 在一些實施例中，設備700可包括與控制器750相關之使用者介面。使用者介面可包含顯示螢幕、設備700及/或製程條件之圖形軟體顯示、及使用者輸入裝置，例如指向裝置、鍵盤、觸控螢幕、麥克風等。

【0094】 用於控制上述操作之電腦程式碼可以任何習知電腦可讀取程式語言寫成：例如，組合語言、C、C++、Pascal、Fortran、或其他者。藉由處理器執行經編譯的目標碼或腳本，以進行程式中識別之任務。

【0095】 用於監控製程之訊號可由系統控制器的類比及/或數位輸入連結所提供。用以控制製程之訊號係輸出至處理系統之類比及數位輸出連接端上。

【0096】 一般而言，本文所述之方法可在包含有半導體處理裝備(例如一處理工具或複數工具、一腔室或複數腔室、一處理平台或複數平台、及/或特定處理構件(晶圓基座、氣流系統等)。此等系統可與電子設備結合，以控制半導體晶圓或基板處理前、處理期間及處理後之操作。一般而言，該等電子設備係指控制器，其可控制該系統或複數系統之諸多構件或次部件。取決於處理需求及/或系統類型之控制器可程式化，以控制本文所揭示之任何製程，包括處理氣體之傳送、溫度設定(如加熱及/或冷卻)、壓力設定、真空設定、功率設定、射頻(RF)產生器設定、射頻匹配電路設定、頻率設定、流速設定、流體傳送設定、位置及操作設定、晶圓轉移(進出與特定系統相連接或相接合之工具及其他轉移工具、及/或裝載室)。

【0097】 廣泛地講，控制器可定義為具有接收指令、發佈指令、控制操作、啟動清洗操作、啟動終點量測以及類似者之諸多積體電路、邏輯、記憶體、及/或軟體的電子設備。積體電路可包含：儲存程式指令之韌體形式的晶片、數位訊號處理器(DSP，digital signal processor)、定義為特殊應用積體電路(ASIC，application specific integrated circuit)的晶片、及/或一或更多微處理器、或執行程式指令(例如，軟體)的微控制器。程式指令可為以諸多各別設定(或程式檔案)之形式而傳送至控制器或系統的指令，該各別設定(或程式檔案)為實行(半導體晶圓上，或針對半導體晶圓，或對系統之)特定的製程而定義操作參數。在一些具體實施例中，操作參數可為由製程工程師為了在一或更多以下者的製造期間實現一或更多處理步驟而定義之配方的一部分：一或更多層、材料(如矽碳化物)、表面、電路、及/或晶圓的晶粒。

【0098】 在一些實施方式中，控制器可為電腦的一部分，或耦接至電腦，該電腦係與系統整合、耦接至系統、以其他網路的方式接至系統、或其組合。舉例而言，控制器可在能容許遠程存取晶圓處理之「雲端」或廠房主機電腦系統的全部、或部分中。電腦可使系統能夠遠程存取，以監控製造操作的目前進度、檢查過去製造操作的歷史、自複數的製造操作而檢查其趨勢或效能度量，以改變目前處理的參數、設定目前處理之後的處理步驟、或開始新的製程。在一些示例中，遠程電腦(例如，伺服器)可通過網路而提供製程配方至系統，該網路可包含局域網路或網際網路。遠程電腦可包含能夠進行參數及/或設定輸入或程式設計之使用者介面，接著該參數及/或設定可自遠程電腦傳送至系統。在一些示例中，控制器接收數據形式指令，該指令為即將於一或更多操作期間進行之每一處理步驟指定參數。應當理解，參數可特定針對待執行之製程類型、及控制器與之接合或加以控制之工具類型。因此，如上所述，控制器可為分散式，例如藉由包含以網路方式接在一起、且朝向共同目的(例如，本文所描述之製程及控制)運作之一或更多分離的控制器。用於此目的之分散式控制器舉例為，腔室上與位於遠程的一或更多積體電路(例如，於平臺水平處、或作為遠程電腦的一部分)進行通訊的一或更多積體電路，兩者相結合以控制腔室上的製程。

【0099】 除了本文所述之摻雜或未摻雜的矽碳化物沉積及處理之外，示例系統亦可包括電漿蝕刻腔室或模組、沉積腔室或模組、旋轉清洗腔室或模組、金屬電鍍腔室或模組、清洗腔室或模組、斜角緣部蝕刻腔室或模組、物理氣相沉積(PVD)腔室或模組、化學氣相沉積(CVD)腔室或模組、原子層沉積(ALD)腔室或模組、原子層蝕刻(ALE)腔室或模組、離子植入腔室或模組、軌道腔室或模組、及可在半導體晶圓的製造及/或加工中相關聯的、或使用的任何其他半導體處理系統。

【0100】如上所述，取決於待藉由工具而執行之製程步驟或複數步驟，控制器可與半導體製造工廠中的一或更多以下者進行通訊：其他工具電路或模組、其他工具元件、叢集工具、其他工具介面、鄰近的工具、相鄰的工具、遍及工廠而分布的工具、主電腦、另一控制器、或材料輸送中使用之工具，該材料輸送中使用之工具攜帶晶圓容器往返工具位置及/或裝載埠。

【0101】上述之設備/製程可結合例如用於半導體裝置、顯示器、LED、太陽能板及其類似者之製造或生產的微影圖案化工具或製程來使用。通常，雖然非必要，此等工具/製程將一起使用或實施在普遍的製造設施中。膜之微影圖案化通常包括部份或全部之以下操作(使用一些可能的工具來執行每一操作)：(1)使用旋塗或噴塗工具，將光阻塗佈在工件(即基板)上；(2)使用加熱板、爐、或UV硬化工具，硬化光阻；(3)使用如晶圓步進機之工具，將光阻暴露於可見光、或UV光或X射線光；(4)使用如濕式工作台(wet bench)的工具對光阻進行顯影，以選擇性移除光阻並因而圖案化光阻；(5)藉由使用乾式或電漿輔助蝕刻工具，轉移光阻圖案至下層膜或工件中；及(6)使用如RF或微波電漿光阻去除機之工具，移除光阻。

【0102】圖8示出根據一些實施方式沉積於基板之複數特徵部中的 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之TEM影像圖。該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜係作為該複數特徵部中之間隙填充材料。該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜可包括矽碳氧化物。該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜可透過交替進行遠程電漿CVD及遠程氫電漿暴露操作來沉積。該處理頻率為每一沉積-處理循環大於約 $10\text{\AA}$ ，而遠程氫電漿之處理功率具有濃度於1%與5%(體積百分比)之間的氫以及餘量氮，遠程氫電漿暴露之處理時間為至少10秒。圖8中之每一該複數特徵部中形成有空孔。

【0103】圖9示出根據一些實施方式沉積於基板之複數特徵部中的 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之TEM影像圖。該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜係作為該複數特徵部中之間隙填充材料

料。該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜可包括矽碳氧化物。該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜可透過交替進行遠程電漿CVD及遠程氬電漿暴露操作來沉積。可於遠程電漿CVD與遠程氬電漿暴露操作之間引入諸多時間間隔，以調整間隙填充效能。然而，控制遠程氬電漿暴露條件以限制圖9中形成之空孔尺寸。該處理頻率為每一沉積-處理循環等於或小於 $5\text{\AA}$ ，該遠程氬電漿之處理功率係於約2千瓦與約6千瓦之間，且遠程電漿氣體組成具有濃度於約10%與約50%(體積百分比)之間的氬及餘量氮，遠程氬電漿暴露之處理時間係於約0.5秒與約120秒之間。圖9中之每一該複數特徵部中形成有空孔，但與圖8相比，該等空孔明顯較小。

【0104】 於前文描述中，提出了諸多具體的細節，以提供對所提出之實施例的透徹理解。所揭露之實施例可在缺乏此些具體細節之部分或所有者的情況下實施。在其他情況下，眾所周知的製程操作便不加以贅述，以免不必要地使所揭露的實施例失焦。雖然所揭露之實施例係連同具體實施例進行說明，但將理解，此並非意圖限制所揭露之實施例。

【0105】 雖然為求清楚地理解，已詳細地描述前述實施例，但顯而易見地，仍可實施落於隨附請求項之範圍內的某些變化和變更。應注意的是，仍有許多實施本實施例之製程、系統及設備的替代性方式。因此，本實施例應被視為說明性而非限制性，且實施例並非侷限於本文所提出之細節。

【符號說明】

【0106】

100 : 基板

101 : 特徵部

102 : 間隙填充材料

106 : 接縫

108 : 空孔

200 : 基板

201 : 特徵部

202a : 材料

202b : 材料

203 : 空孔

300 : 基板

301 : 特徵部

302a : 間隙填充材料

302b : 間隙填充材料

303 : 空孔

305 : 鈍化層

400 : 半導體裝置

402 : 第一導電結構

404 : 第二導電結構

412 : 第一絕緣蓋層

414 : 第二絕緣蓋層

420 : 間隔物

500 : 製程

500a : 操作

500b : 操作

500c : 操作

502 : 基板

504 : 特徵部

506 : $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜

508 : 空孔

600 : 裝置

610 : 反應腔室

620 : 噴淋頭

630 : 基板

635 : 基座

640 : 控制器

650 : 容器

655 : 第一氣體入口

660 : 遠程電漿源

665 : 第二氣體入口

700 : 電漿處理設備

702 : 遠程電漿源

704 : 反應腔室

706 : 多開口氣體分佈器

708 : 化學氣相沉積區

712 : 基板

714 : 基座

- 718 : 線圈
- 722 : 電漿產生器控制器
- 724 : 電漿區域
- 726 : 源氣體供應
- 728 : 額外氣體供應
- 734 : 氣體開口
- 738 : 鬆弛區
- 740 : 前驅物供應源
- 742 : 氣體出口
- 748 : 出口
- 750 : 系統控制器
- 752 : 處理器系統
- 754 : 數據系統

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種沉積摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜於基板之一或更多特徵部中的方法，該方法包括：

沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之一第一厚度於該基板之該一或更多特徵部中；

在增大每一該一或更多特徵部之頂表面附近之開口尺寸的條件下，暴露該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜於遠程氬電漿；及

沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之一第二厚度於該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之該第一厚度上，其中x的值大於零，y的值等於或大於零，且z的值等於或大於零。

【請求項2】 如請求項1所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜於基板之一或更多特徵部中的方法，更包括：

重複暴露該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜於該遠程氬電漿並沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之新厚度於該一或更多特徵部中之操作，直到該一或更多特徵部被實質上填充。

【請求項3】 如請求項1所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜於基板之一或更多特徵部中的方法，其中該遠程氬電漿之該等條件包括處理時間、處理頻率、處理功率、及/或遠程電漿氣體組成，其中控制該處理時間、該處理頻率、該處理功率、及/或該遠程電漿氣體組成，使得每一該一或更多特徵部之該頂表面附近之該開口尺寸比每一該一或更多特徵部之底表面附近之開口尺寸增大得較多。

【請求項4】 如請求項3所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜於基板之一或更多特徵部中的方法，其中暴露於該遠程氬電漿之該處理時間係於約0.5秒與約120秒之間。

【請求項5】 如請求項3所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜於基板之一或更多特徵部中的方法，其中該處理頻率為沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜並暴露該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜於遠程氫電漿之每一循環為 $10\text{ \AA}$ 或更小之該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜。

【請求項6】 如請求項3所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜於基板之一或更多特徵部中的方法，其中該遠程氫電漿之該遠程電漿氣體組成包括具有氫濃度於約10%與約50%體積百分比之間的該遠程氫電漿。

【請求項7】 如請求項1-6中任一項所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜於基板之一或更多特徵部中的方法，其中每一該第一厚度及該第二厚度等於或小於約 $10\text{ \AA}$ 。

【請求項8】 如請求項7所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜於基板之一或更多特徵部中的方法，其中每一該第一厚度及該第二厚度於約 $0.5\text{ \AA}$ 與約 $4.5\text{ \AA}$ 之間。

【請求項9】 如請求項1-6中任一項所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜於基板之一或更多特徵部中的方法，其中沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之該第一厚度包括：

將一或更多含矽前驅物流入一反應腔室；及

將一遠程電漿源所產生之一或更多氫自由基引入並朝向該反應腔室中之該基板，其中該一或更多氫自由基與該一或更多含矽前驅物反應，以沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之該第一厚度。

【請求項10】 如請求項9所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜於基板之一或更多特徵部中的方法，其中該氫自由基之至少90%為處於基態之氫自由基。

【請求項11】 如請求項1-6中任一項所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物 ($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$) 膜於基板之一或更多特徵部中的方法，其中該遠程氬電漿之該等條件使每一該一或更多特徵部之該頂表面附近之該開口尺寸增大至少約5%。

【請求項12】 如請求項1-6中任一項所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物 ($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$) 膜於基板之一或更多特徵部中的方法，其中當該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之該第一厚度之碳的原子濃度於約10%與約30%之間時，該遠程氬電漿之該等條件使每一該一或更多特徵部之該頂表面附近之該開口尺寸增大。

【請求項13】 如請求項1-6中任一項所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物 ($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$) 膜於基板之一或更多特徵部中的方法，其中該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜包括矽碳氧化物 (SiCO)。

【請求項14】 如請求項1-6中任一項所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物 ($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$) 膜於基板之一或更多特徵部中的方法，其中沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之該第一厚度並暴露該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜於該遠程氬電漿的操作係在未引發真空破壞下發生。

【請求項15】 如請求項1-6中任一項所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物 ($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$) 膜於基板之一或更多特徵部中的方法，其中該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜在乾式蝕刻或濕式蝕刻條件下對氮化物材料及氧化物材料具有大於7:1之蝕刻選擇性。

【請求項16】 如請求項1-6中任一項所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物 ($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$) 膜於基板之一或更多特徵部中的方法，更包括：

於沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之該第一厚度與暴露該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜於該遠程氬電漿之間引入一時間間隔，以調整間隙填充效能。

【請求項17】 如請求項1-6中任一項所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜於基板之一或更多特徵部中的方法，更包括：

於暴露該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜於該遠程氬電漿之後引入一時間間隔，以調整間隙填充效能。

【請求項18】 一種沉積摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜的設備，包括：

一反應腔室；

一基板支撐件，用於支撐該反應腔室中之一基板，該基板具有一或更多特徵部；及

一控制器，配置有用於執行以下操作之指令：

沉積一摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜之一第一厚度於該基板之該一或更多特徵部中；

在增大每一該一或更多特徵部之頂表面附近之開口尺寸的條件下，暴露該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜於遠程氬電漿；及

沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之一第二厚度於該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之該第一厚度上，其中x的值大於零，y的值等於或大於零，且z的值等於或大於零。

【請求項19】 如請求項18所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜的設備，其中該控制器進一步配置有用於執行以下操作之指令：

重複暴露該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜於該遠程氬電漿並沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之新厚度於該一或更多特徵部中之操作，直到該一或更多特徵部被實質上填充。

【請求項20】 如請求項18所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜的設備，其中該遠程氬電漿之該等條件包括處理時間、處理頻率、處理功率、及/或遠程電漿氣體組成，其中控制該處理時間、該處理頻率、該處理功率、及/或該

遠程電漿氣體組成，使得每一該一或更多特徵部之該頂表面附近之該開口尺寸比每一該一或更多特徵部之底表面附近之開口尺寸增大得較多。

【請求項21】 如請求項20所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜的設備，其中該遠程氬電漿之該遠程電漿氣體組成包括具有氬濃度於約10%與約50%體積百分比之間的該遠程氬電漿。

【請求項22】 如請求項18-21中任一項所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜的設備，其中該控制器進一步配置有用於執行以下操作之指令：

於沉積該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜之該第一厚度與暴露該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜於該遠程氬電漿之間引入一時間間隔，以調整間隙填充效能。

【請求項23】 如請求項18-21中任一項所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜的設備，其中該控制器進一步配置有用於執行以下操作之指令：

於暴露該 $\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 膜於該遠程氬電漿之後引入一時間間隔，以調整間隙填充效能。

【請求項24】 如請求項18-21中任一項所述之沉積摻雜或未摻雜矽碳化物($\text{SiC}_x\text{O}_y\text{N}_z$)膜的設備，其中每一該第一厚度及該第二厚度等於或小於約 $10\text{ \AA}$ 。

【發明圖式】

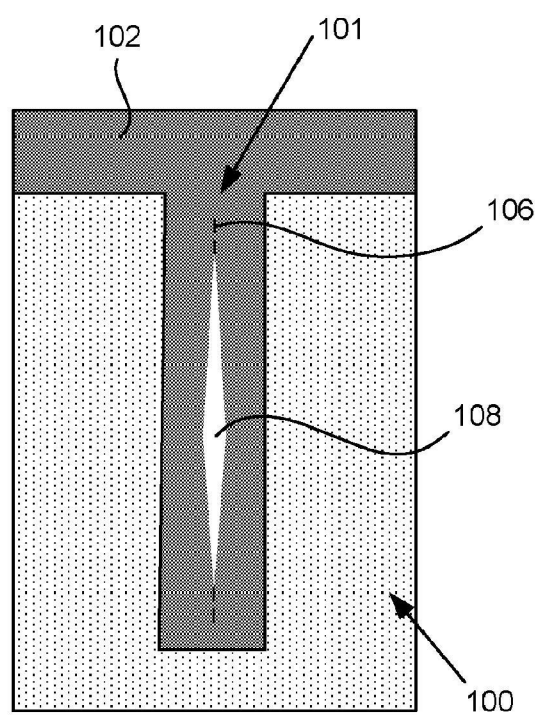


圖 1

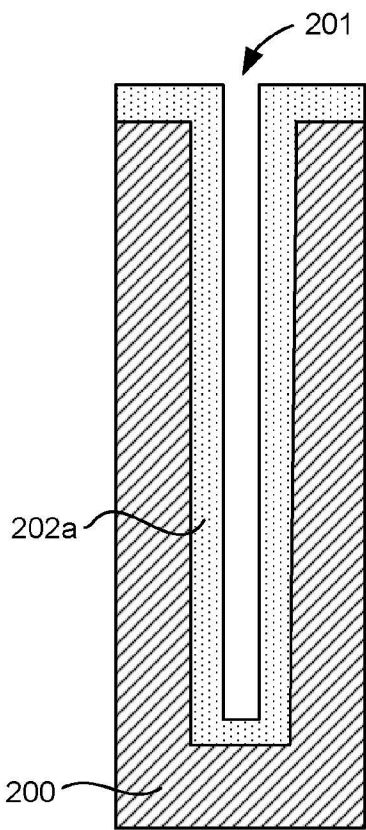


圖 2A

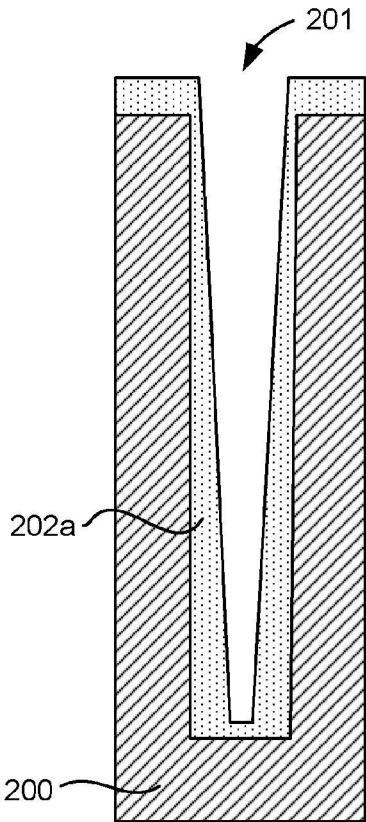


圖 2B

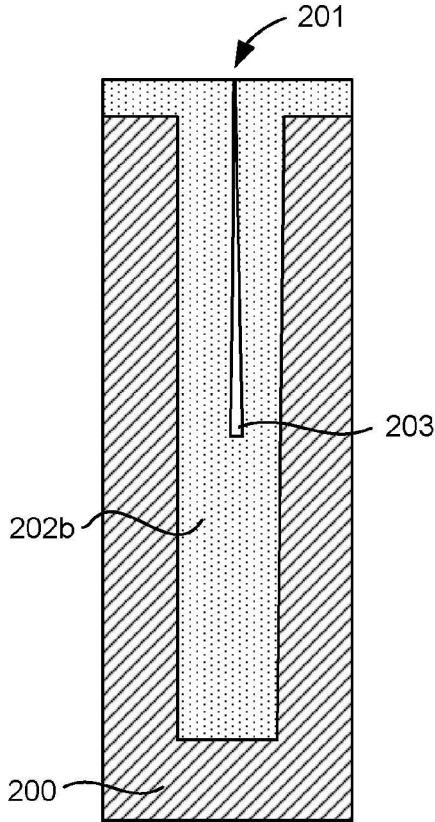


圖 2C

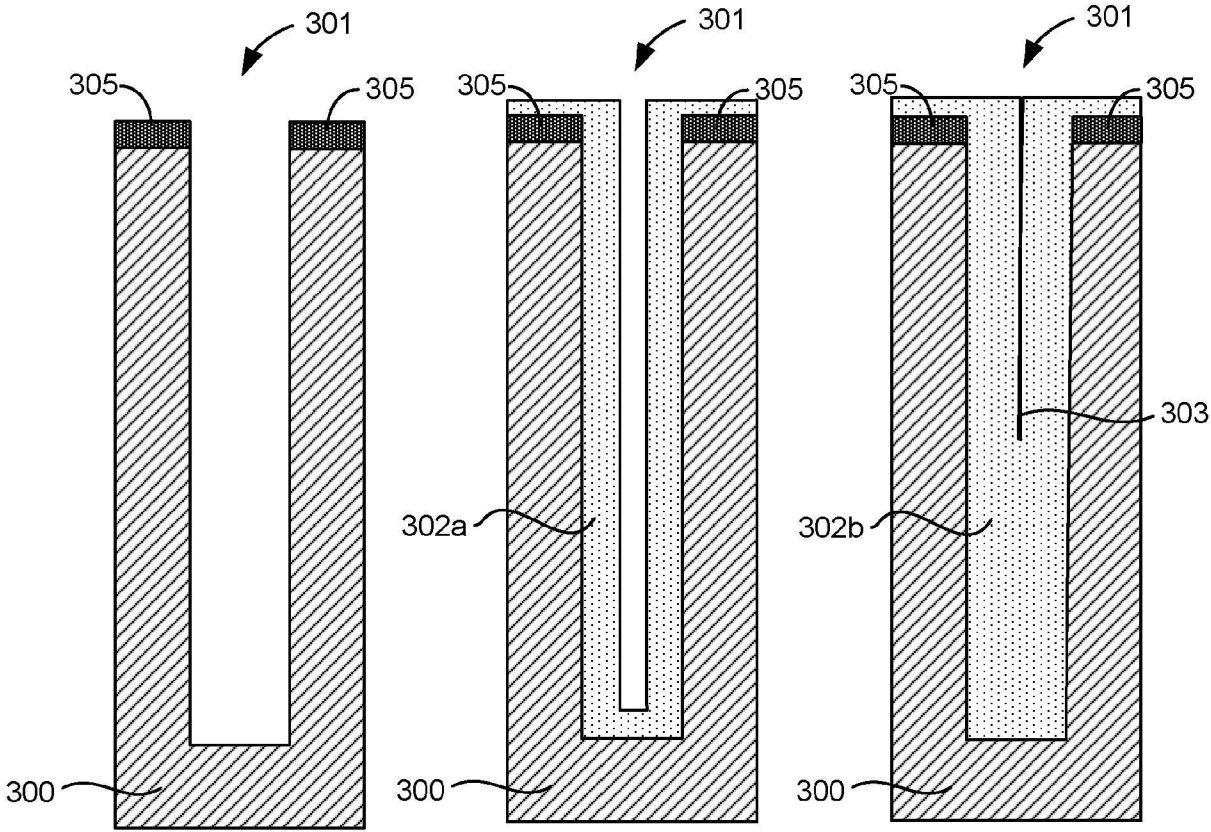


圖 3A

圖 3B

圖 3C

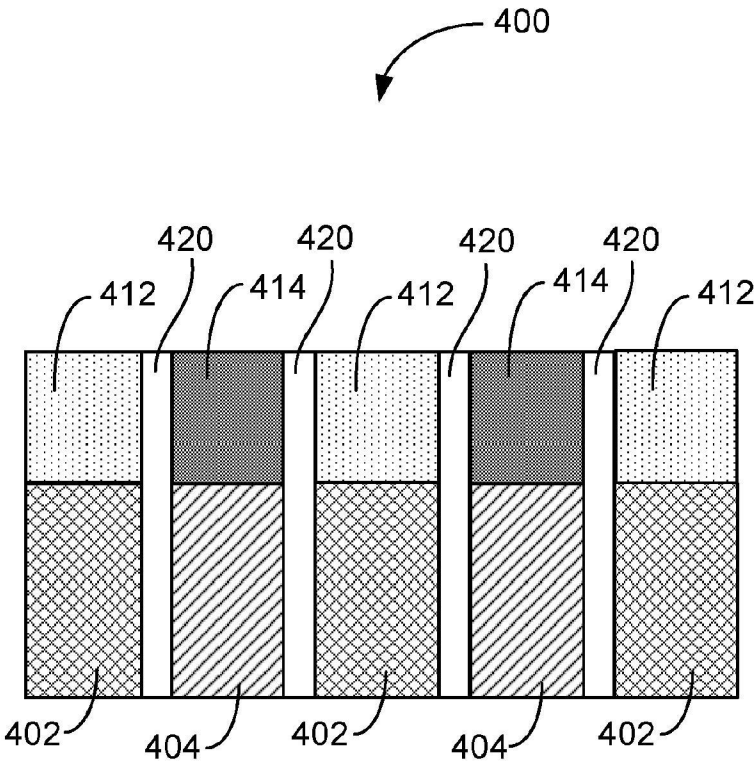


圖 4

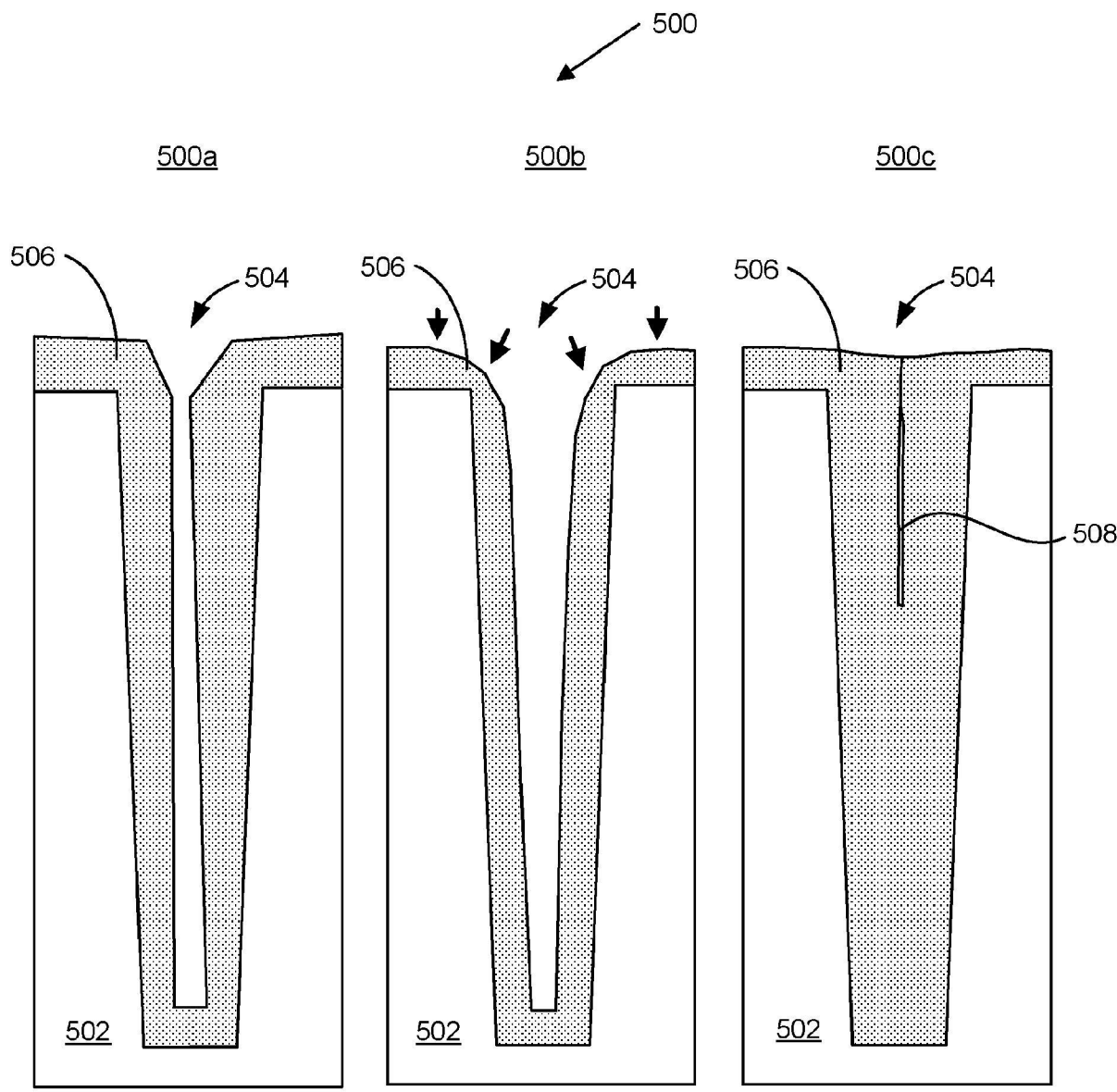


圖 5A

圖 5B

圖 5C

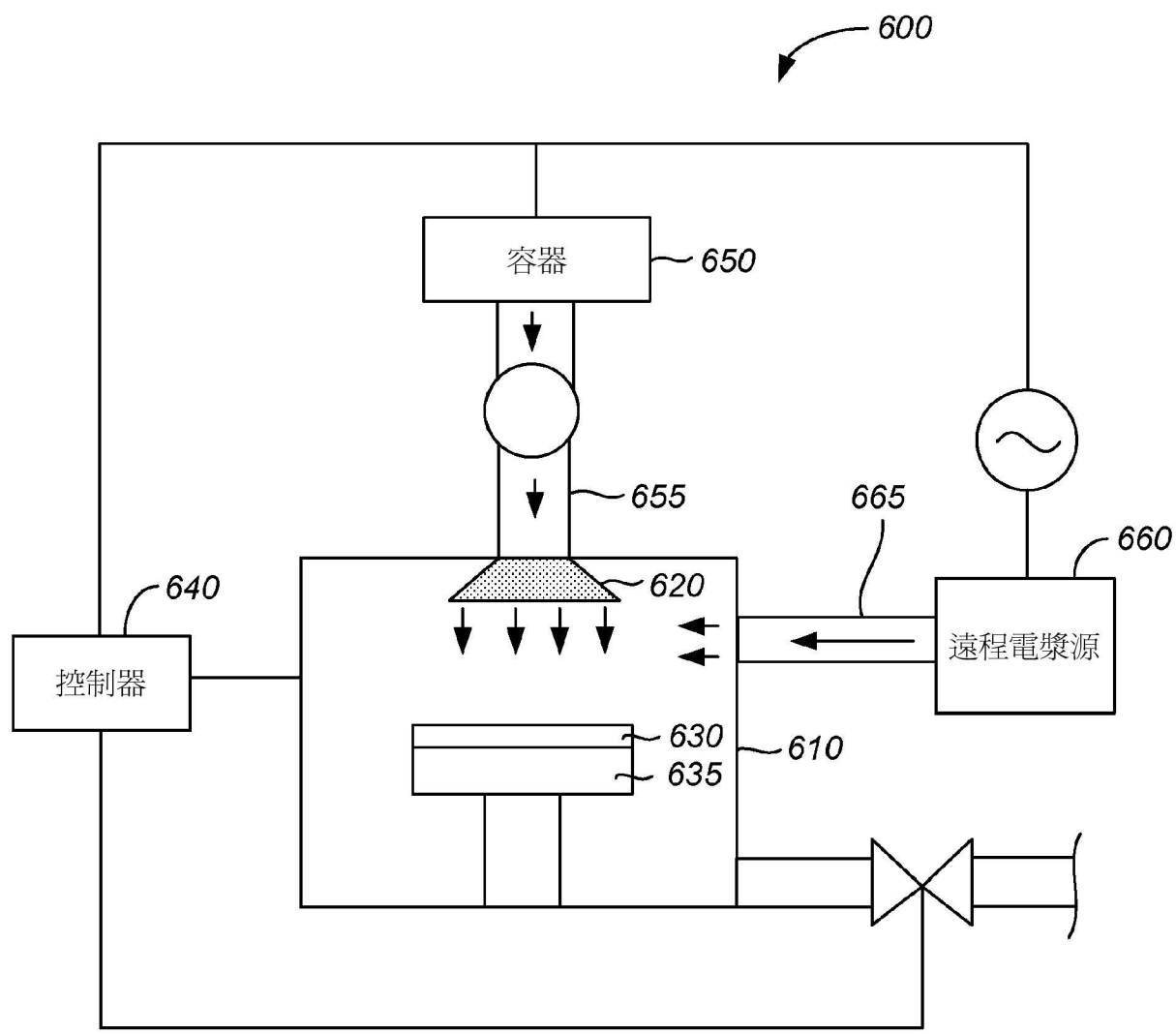


圖 6

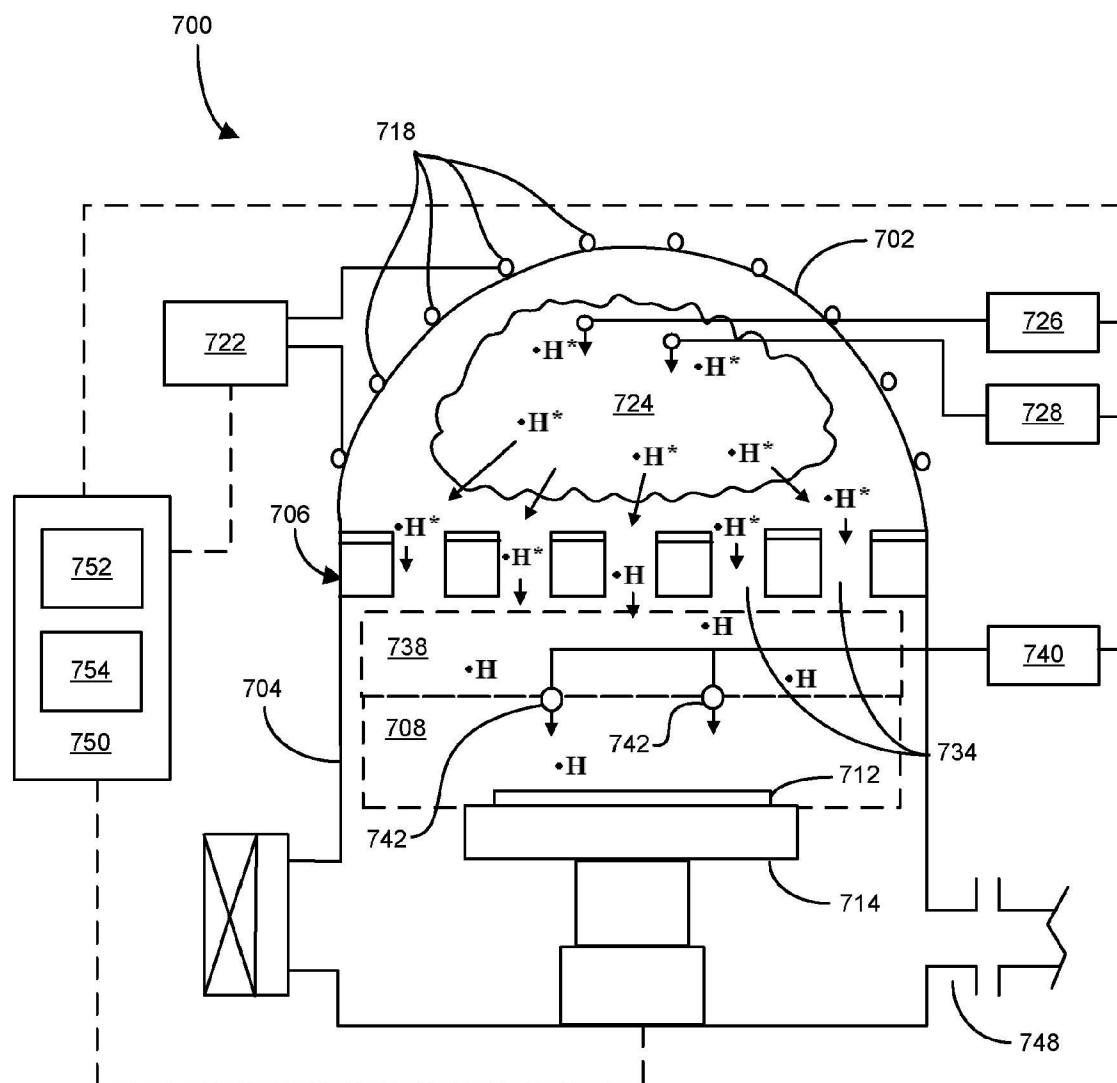


圖 7

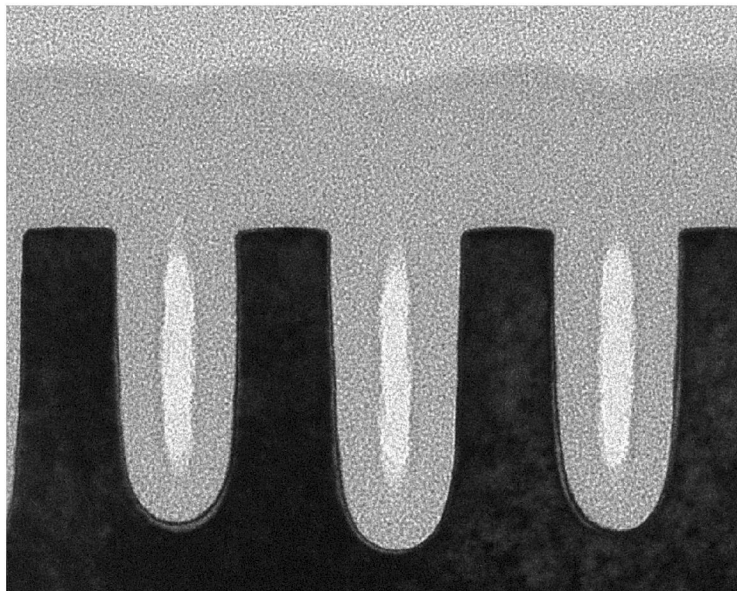


圖 8

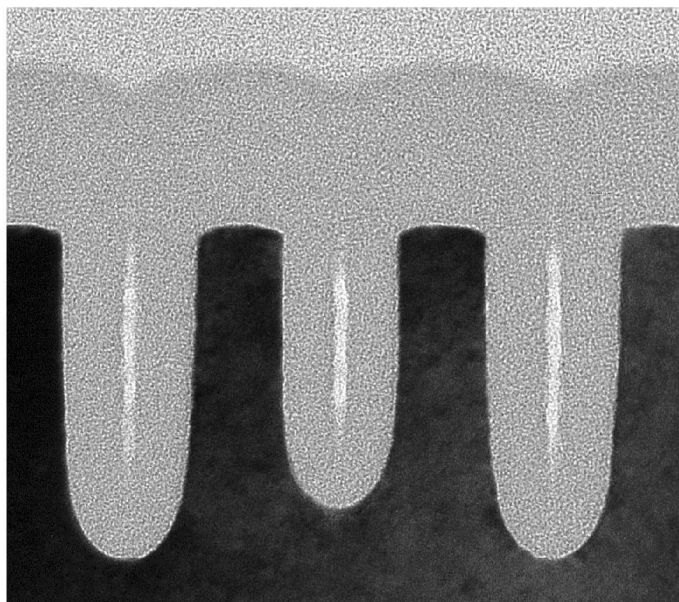


圖 9