

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(10) 国際公開番号

WO 2012/011480 A1

(43) 国際公開日

2012 年 1 月 26 日(26.01.2012)

PCT

(51) 国際特許分類:

H01L 21/318 (2006.01) H01L 21/31 (2006.01)
C23C 16/455 (2006.01) H01L 21/768 (2006.01)
C23C 16/511 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2011/066395

(22) 国際出願日: 2011 年 7 月 20 日(20.07.2011)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2010-164212 2010 年 7 月 21 日(21.07.2010) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 東京エレクトロン株式会社(TOKYO ELECTRON LIMITED) [JP/JP]; 〒1076325 東京都港区赤坂五丁目 3 番 1 号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 宮谷 光太郎(MIYATANI, Kotaro) [JP/JP]; 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢 6 5 0 東京エレクトロン技術研究所株式会社内 Yamanashi (JP). 根本剛直(NEMOTO, Takenao) [JP/JP]; 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢 6 5 0 東京エレクトロン技術研究所株式会社内 Yamanashi (JP). 黒鳥

託也(KUROTORI, Takuya) [JP/JP]; 〒4070192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢 6 5 0 東京エレクトロン技術研究所株式会社内 Yamanashi (JP). 小林保男(KOBAYASHI, Yasuo) [JP/JP]; 〒9813137 宮城県仙台市泉区大沢 3-2-1 東京エレクトロン技術研究所株式会社内 Miyagi (JP). 野沢俊久(NOZAWA, Toshihisa) [JP/JP]; 〒9813137 宮城県仙台市泉区大沢 3-2-1 東京エレクトロン技術研究所株式会社内 Miyagi (JP).

(74) 代理人: 河野 登夫(KOHNO, Takao); 〒5400035 大阪府大阪市中央区釣鐘町二丁目 4 番 3 号 河野特許事務所 Osaka (JP).

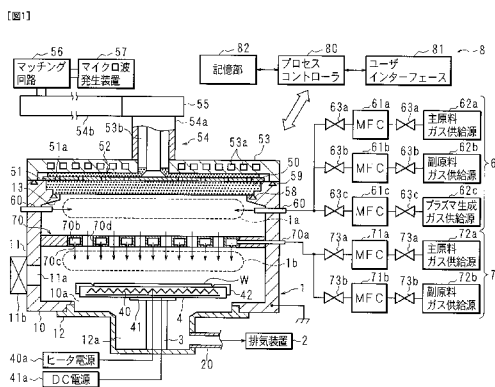
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,

[続葉有]

(54) Title: INTERLAYER INSULATING LAYER FORMATION METHOD AND SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 層間絶縁層形成方法及び半導体装置



56 MATCHING CIRCUIT
57 MICROWAVE GENERATOR
82 MEMORY UNIT
80 PROCESS CONTROLLER
81 USER INTERFACE
61a, 61b, 61c, 71a, 71b MASS FLOW CONTROLLER
62a, 72a MAIN RAW MATERIAL GAS SUPPLY SOURCE
62b, 72b AUXILIARY RAW MATERIAL GAS SUPPLY SOURCE
62c PLASMA GENERATION GAS SUPPLY SOURCE
40a HEATER POWER SUPPLY
41a DC POWER SUPPLY
2 GAS DISCHARGE UNIT

(57) Abstract: Provided are: an interlayer insulating layer formation method which enables the formation of an interlayer insulating layer having excellent mechanical strength and moisture absorption resistance and a low dielectric constant; and a semiconductor device having reduced wiring delay. A method for forming an interlayer insulating layer for a semiconductor device by a plasma CVD method comprises the steps of: installing a substrate to a treatment vessel having reduced pressure; supplying a plasma generation gas to a first space (1a) placed apart from the substrate; exciting the plasma generation gas in the first space (1a); and supplying a raw material gas comprising a boron compound having at least a hydrogen group or a hydrocarbon group to a second space (1b) formed between the first space (1a) and the substrate. A semiconductor device wherein multilayer interconnection is achieved through an interlayer insulating layer having an amorphous structure containing boron, carbon and nitrogen formed therein, and wherein a hydrocarbon group or an alkylamino group is allowed to co-exist in an amorphous structure containing hexagonal and cubic boron nitride in the interlayer insulating layer.

(57) 要約: 機械的強度及び耐吸湿性に優れた低誘電率の層間絶縁層を形成することができる層間絶縁層形成方法を提供する。また、配線遅延を低減させた半導体装置を提供する。半導体装置の層間絶縁層をプラズマCVD法にて形成する方法において、減圧された処理容器内へ基板を搬入する工程と、前記基板から離隔した第1空間1aにプラズマ生成ガスを供給する工程と、前記第1空間1aにて前記

プラズマ生成ガスを励起する工程と、前記第1空間1aと前記基板との間の第2空間1bに、少なくとも水素基又は炭化水素基を含むボロン化合物を含む原料ガスを供給する工程とを有する。また、ホウ素、炭素及び窒素を含むアモルファス構造が形成された層間絶縁層を介して多層配線された半導体装置において、前記層間絶縁層に、六方晶及び立方晶の窒化ホウ素を含むアモルファス構造中に炭化水素基又はアルキルアミノ基を混在させる。

WO 2012/011480 A1



MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア
(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,
GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：層間絶縁層形成方法及び半導体装置

技術分野

[0001] 本発明は、基板に多層配線された半導体装置の層間絶縁層をプラズマCVD法にて形成する層間絶縁層形成方法、及び層間絶縁層を介して多層配線された半導体装置に関する。

背景技術

[0002] 多層配線構造を有する超大規模集積回路ULSI (Ultra-Large Scale Integration) の層間絶縁層として、従来SiO₂を基材としたSiOF、SiCO又は有機物系の膜が開発されてきた。ところが、近年の電子機器の小型化、高性能化への要求に応えるべく、ULSIの集積化が更に進められ、配線長の増大による配線遅延がトランジスタの特性であるゲート遅延を上回るようになった。配線遅延の問題を解決するためには、配線のRC時定数を低減させる必要があり、特に配線の容量成分を低減させるべく、層間絶縁層の低誘電率化が進められてきた。

[0003] 層間絶縁層を低誘電率化する手法としては、例えば、層間絶縁層をポーラス構造にする方法が提案されている。また、ホウ素、炭素及び窒素の少なくとも1元素を主要元素とし、原子の結合構造が異なる領域を2種以上含んだ層間絶縁層が開示されている（例えば、特許文献1，2）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2001-313335号公報
特許文献2：特開2009-81179号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、ポーラス構造の層間絶縁層においては、機械的強度及び耐吸湿性の低下、配線溝側壁から層間絶縁層の空孔への薬液拡散、バリアメタ

ルカバレッジ不良といった問題がある。一方、特許文献 1, 2 に係る層間絶縁層においては、ポーラス構造を有する層間絶縁層に比べて誘電率が高く、配線遅延の問題を十分に解決することができないという問題があった。

[0006] 本発明は斯かる事情に鑑みてなされたものであり、従来技術に係るポーラス構造を有する層間絶縁層に比べて、機械的強度及び耐吸湿性に優れた低誘電率の層間絶縁層を形成することができる層間絶縁層形成方法を提供するものである。

また、本発明は、従来技術に係る層間絶縁層に比べて、機械的強度及び耐吸湿性に優れた低誘電率の層間絶縁層を設けることによって、配線遅延を低減させることができる半導体装置を提供するものである。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明に係る層間絶縁層形成方法は、半導体装置の層間絶縁層をプラズマ CVD 法にて形成する方法において、減圧された処理容器内へ基板を搬入する工程と、前記基板から離隔した第 1 空間にプラズマ生成ガスを供給する工程と、前記第 1 空間にて前記プラズマ生成ガスを励起する工程と、前記第 1 空間と前記基板との間の第 2 空間に、少なくとも水素基又は炭化水素基を含むボロン化合物を含む原料ガスを供給する工程とを有することを特徴とする。

[0008] 本発明にあつては、プラズマが生成された第 1 空間では無く、該第 1 空間から基板側へ離隔した第 2 空間に、原料ガスが供給されるため、層間絶縁層の原料ガスを構成する分子の一部は完全に解離しないまま、基板に堆積する。従って、分子レベルの空間を有する層間絶縁層が形成される。内部に空間が形成された層間絶縁層は、空間を有さない層間絶縁層に比べて低誘電率であるため、配線遅延を低減することが可能である。また、前記空間は分子レベルの空間であるため、層間絶縁層の機械的強度及び耐吸湿性の低下、配線溝側壁から空孔への薬液拡散、バリアメタルカバレッジ不良といった問題は生じない。

なお、プラズマ生成ガスを供給する工程と、前記プラズマ生成ガスを励起

する工程と、原料ガスを供給する工程とは、言うまでも無く同時的に行っても良い。

[0009] 本発明に係る半導体装置は、ホウ素、炭素及び窒素を含むアモルファス構造が形成された層間絶縁層を介して多層配線された半導体装置において、前記層間絶縁層は、六方晶窒化ホウ素及び立方晶窒化ホウ素を含むアモルファス構造中に炭化水素基又はアルキルアミノ基が混在することを特徴とする。

[0010] 本発明における層間絶縁層は、六方晶窒化ホウ素及び立方晶窒化ホウ素を含むアモルファス構造中に炭化水素基又はアルキルアミノ基が混在している。つまり、層間絶縁層は、分子レベルの空間を有している。内部に空間が形成された層間絶縁層は、空間を有さない層間絶縁層に比べて低誘電率であるため、配線遅延を低減することが可能である。また、前記空間は分子レベルの空間であるため、層間絶縁層の機械的強度及び耐吸湿性の低下、配線溝側壁から空孔への薬液拡散、バリアメタルカバレッジ不良といった問題は生じない。

更に、一般的に立方晶窒化ホウ素は、六方晶窒化ホウ素に比べて弾性率が高いため機械的強度に優れている。本発明に係る層間絶縁層は、立方晶窒化ホウ素を含むため、機械的強度に優れている。

発明の効果

[0011] 本発明に係る層間絶縁層形成方法にあつては、従来技術に係るポーラス構造を有する層間絶縁層に比べて、機械的強度及び耐吸湿性に優れた低誘電率の層間絶縁層を形成することができる。

また、本発明に係る半導体装置にあつては、従来技術に係る層間絶縁層に比べて、機械的強度及び耐吸湿性に優れた低誘電率の層間絶縁層を設けることによって、配線遅延を低減させることができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]本発明の実施形態に係る層間絶縁層形成装置の一構成例を示す模式図である。

[図2]スロット板の一構成例を模式的に示した平面図である。

[図3]第2 ガス導入部の一構成例を模式的に示した平面図である。

[図4]層間絶縁層形成方法に係るプロセスコントローラの処理手順を示すフローチャートである。

[図5]層間絶縁層形成装置によって生成されるプラズマの分布と、電子温度との関係を示すグラフである。

[図6]本実施の形態に係る半導体装置の一構成例を示した側断面図である。

[図7]層間絶縁層を模式的に示した断面図である。

[図8]フーリエ変換型赤外分光による層間絶縁層の化学構造解析結果を示すグラフである。

[図9]六方晶窒化ホウ素及び立方晶窒化ホウ素の特徴を示す図表である。

[図10A]層間絶縁層に含まれる結合構造と、膜特性との関係を示すグラフである。

[図10B]層間絶縁層に含まれる結合構造と、膜特性との関係を示すグラフである。

[図11]層間絶縁層のアニール処理過程で脱離する水分量の時間変化を示したグラフである。

[図12]変形例1における層間絶縁層形成方法に係る処理手順を示したフローチャートである。

[図13]変形例2における層間絶縁層形成方法に係る処理手順を示したフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、本発明をその実施の形態を示す図面に基づいて詳述する。

図1は、本発明の実施形態に係る層間絶縁層形成装置の一構成例を示す模式図である。本発明の実施の形態に係る層間絶縁層形成装置は、例えばRadial Line Slot Antenna型のマイクロ波プラズマCVD装置であり、本実施の形態に係る層間絶縁層形成方法を実施するためのものである。層間絶縁層形成装置は、気密に構成されかつ接地された略円筒状の処理室1を有する。処理室1は、例えば、アルミニウム製であり、略中央部に円形の開口部10aが

形成された平板円環状の底壁 10 と、底壁 10 に周設された側壁 11 とを有し、上部が開口している。なお、処理室 1 の内周には、石英からなる円筒状のライナを設けても良い。

[0014] 処理室 1 の底壁 10 には、開口部 10a と連通するように、下方へ突出した有底円筒状の排気室 12 が設けられている。排気室 12 の側壁には排気管 20 が設けられており、排気管 20 には高速真空ポンプを含む排気装置 2 が接続されている。排気装置 2 を作動させることにより処理室 1 内のガスが、排気室 12 の空間 12a 内へ均一に排出され、排気管 20 を介して排気される。従って、処理室 1 内を所定の真空度まで高速に減圧することが可能である。

また、処理室 1 の側壁 11 には、層間絶縁層形成装置に隣接する搬送室（図示せず）との間で半導体ウェハ W（以下、ウェハ W という。）の搬入出を行うための搬入出口 11a と、この搬入出口 11a を開閉するゲートバルブ 11b とが設けられている。

[0015] 排気室 12 の底部中央には、AlN 等のセラミックからなる柱状部材 3 が略垂直に突設され、柱状部材 3 の先端部に、プラズマ CVD 処理が施されるべき被処理基板であるウェハ W を支持するサセプタ 4 が設けられている。サセプタ 4 は、円盤状をなし、その外縁部にはウェハ W をガイドするためのガイドリング 42 が設けられている。サセプタ 4 には、ウェハ W を加熱するためのヒータ 40 と、ウェハ W を静電吸着するための電極 41 とが埋設されており、ヒータ 40 及び電極 41 には、それぞれヒータ電源 40a 及び DC 電源 41a が接続されている。また、サセプタ 4 には、ウェハ W を支持して昇降させるためのウェハ支持ピン（不図示）がサセプタ 4 の表面に対して突没可能に設けられている。また、被処理基板であるウェハ W へバイアスを印加するための高周波電源（不図示）がサセプタ 4 に設けられていても良い。

[0016] 処理室 1 の上部に形成された開口部には、その周縁部に沿ってリング状の支持部 13 が設けられている。支持部 13 には、誘電体、例えば石英、 Al_2O_3 等のセラミックからなり、マイクロ波を透過する円盤状の誘電体窓 50 が

シール部材 5 8 を介して気密に設けられている。

[0017] 誘電体窓 5 0 の上方には、サセプタ 4 と対向するように、円板状のスロット板 5 1 が設けられている。

[0018] 図 2 は、スロット板 5 1 の一構成例を模式的に示した平面図である。

スロット板 5 1 は、誘電体窓 5 0 に面接触するよう設けられている。スロット板 5 1 は、導体、例えば表面が金メッキされた銅板又はアルミニウム板からなり、複数のマイクロ波放射スロット 5 1 a が所定のパターンで貫通して形成された構成となっている。スロット板 5 1 は Radial Line Slot Antenna 型のアンテナを構成している。すなわち、マイクロ波放射スロット 5 1 a は、例えば長溝状をなし、隣接する一対のマイクロ波放射スロット 5 1 a 同士が略 L 字状をなすように近接して配されている。対をなす複数のマイクロ波放射スロット 5 1 a は、同心円状に配置されている。詳細には、内周側に 7 対、外周側に 26 対のマイクロ波放射スロット 5 1 a が形成されている。マイクロ波放射スロット 5 1 a の長さや配列間隔は、マイクロ波の波長等に応じて決定される。

[0019] スロット板 5 1 の上面には、真空よりも大きい誘電率を有する誘電体板 5 2 が互いに面接触するよう設けられている。誘電体板 5 2 は、平板状の誘電体円板部を有する。誘電体円板部の略中央部には孔部が形成されている。また孔部の周縁から、誘電体円板部に対して略垂直に、円筒状のマイクロ波入射部が突出している。

[0020] 処理室 1 の上面には、スロット板 5 1 及び誘電体板 5 2 を覆うように、円盤状のシールド蓋体 5 3 が設けられている。シールド蓋体 5 3 は、例えばアルミニウムやステンレス鋼等の金属製である。処理室 1 の上面とシールド蓋体 5 3 との間は、シール部材 5 9 によりシールされている。

[0021] シールド蓋体 5 3 の内部には、蓋体側冷却水流路 5 3 a が形成されており、蓋体側冷却水流路 5 3 a に冷却水を通流させることにより、スロット板 5 1、誘電体窓 5 0、誘電体板 5 2、シールド蓋体 5 3 を冷却するように構成されている。なお、シールド蓋体 5 3 は接地されている。

[0022] シールド蓋体 5 3 の上壁の中央には開口部 5 3 b が形成されており、該開口部には導波管 5 4 が接続されている。導波管 5 4 は、シールド蓋体 5 3 の開口部 5 3 b から上方へ延出する断面円形状の同軸導波管 5 4 a と、同軸導波管 5 4 a の上端部に接続された水平方向に延びる断面矩形状の矩形導波管 5 4 b とを有しており、矩形導波管 5 4 b の端部には、マッチング回路 5 6 を介してマイクロ波発生装置 5 7 が接続されている。マイクロ波発生装置 5 7 で発生したマイクロ波、例えば周波数 2.45 GHz のマイクロ波が導波管 5 4 を介して上記スロット板 5 1 へ伝搬されるようになっている。なお、マイクロ波の周波数としては、8.35 GHz、2.45 GHz、1.98 GHz、915 MHz 等を用いることもできる。矩形導波管 5 4 b の同軸導波管 5 4 a との接続部側の端部にはモード変換器 5 5 が設けられている。同軸導波管 5 4 a は、筒状の同軸外導体と、該同軸外導体の中心線に沿って配された同軸内導体とを有し、同軸内導体の下端部はスロット板 5 1 の中心に接続固定されている。また、誘電体板 5 2 のマイクロ波入射部は、同軸導波管 5 4 a に内嵌している。

[0023] 更に、処理室 1 の側壁 1 1 には第 1 及び第 2 ガス導入部 6 0、7 0 が上下に設けられている。第 1 ガス導入部 6 0 は、例えば側壁 1 1 の周囲に配置されたノズル状の部材であり、第 1 ガス導入部 6 0 には、層間絶縁層の原料ガス及びプラズマ生成用のプラズマ生成ガスを供給する第 1 ガス供給系 6 が接続され、処理室 1 の上方に位置する第 1 空間 1 a に原料ガス及びプラズマ生成ガスを供給するように構成されている。この第 1 空間 1 a は、プラズマ生成領域と呼称している。

[0024] 第 1 ガス供給系 6 は、層間絶縁層の主原料ガスを収容した主原料ガス供給源 6 2 a と、層間絶縁層の副原料ガスを収容した副原料ガス供給源 6 2 b と、プラズマ生成ガスを収容したプラズマ生成ガス供給源 6 2 c とを有する。主原料ガス供給源 6 2 a、副原料ガス供給源 6 2 b 及びプラズマ生成ガス供給源 6 2 c は、夫々配管を介して第 1 ガス導入部 6 0 に接続されている。また、各ガス供給源に接続する配管夫々には、マスフローコントローラ 6 1 a

、 6 1 b、 6 1 c 及びその前後に開閉バルブ 6 3 a、 6 3 b、 6 3 c が設けられており、供給されるガスの切替えや流量等の制御ができるように構成されている。流量制御は、後述のプロセッサ 8 0 によって行われる。

[0025] 図 3 は、第 2 ガス導入部 7 0 の一構成例を模式的に示した平面図である。第 2 ガス導入部 7 0 は、格子状のガス流路 7 0 b と、格子状のガス流路 7 0 b に形成された多数のガス吐出孔 7 0 c とを有している。格子状のガス流路 7 0 b の間は空間部 7 0 d となっており、ガス吐出孔 7 0 c はガス流路 7 0 b のサセプタ 4 側に形成されている。ガス流路 7 0 b には処理室 1 の外側に延びる第 2 ガス管 7 0 a が接続される。第 2 ガス管 7 0 a は、層間絶縁層の原料ガスを供給する第 2 ガス供給系 7 に接続され第 1 空間 1 a よりも下方に位置する第 2 空間 1 b、即ちプラズマ生成領域である第 1 空間 1 a から基板側へ隔離した領域に原料ガスを供給する。この第 2 空間 1 b は、拡散プラズマ領域と呼称している。

[0026] 第 2 ガス供給系 7 は、層間絶縁層の主原料ガスを収容した主原料ガス供給源 7 2 a と、層間絶縁層の副原料ガスを収容した副原料ガス供給源 7 2 b とを有する。主原料ガス供給源 7 2 a 及び副原料ガス供給源 7 2 b は、夫々配管を介して第 2 ガス導入部 7 0 に接続されている。また、各ガス供給源に接続する配管夫々には、マスフローコントローラ 7 1 a、7 1 b 及びその前後に開閉バルブ 7 3 a、7 3 b が設けられており、供給されるガスの切替えや流量等の制御ができるように構成されている。流量制御は、第 1 ガス供給系 6 と同様、後述のプロセッサ 8 0 によって行われる。

[0027] 下記表 1 は、処理室 1 に供給するガスの種類及び各ガスの供給先の一例を示している。

[0028]

[表1]

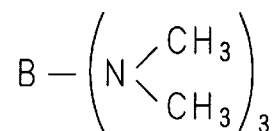
表 1

供給するガスの種類		ガスの供給先
主原料ガス	アルキルボロン	第2空間
	アルキルアミノボロン	第2空間
副原料ガス	窒素又はアンモニア	第1空間
	炭化水素	第1空間
プラズマ生成ガス	アルゴン、ヘリウム、キセノン、クリプトン	第1空間

[0029] 主原料ガスは、少なくともホウ素が含まれるガスである。例えば、ジボロン、アルキルボロン、又はアルキルアミノボロンである。アルキルボロンは、水素基又は炭化水素基を有するボロン化合物であり、例えば、トリメチルボロン $B-(CH_3)_3$ 、トリエチルボロン $B-(C_2H_5)_3$ 等が用いられる。また、主原料ガスとして常温では液体の原料を用いる場合には、気化器（図示せず）を用いて液体の原料をガス状にすることができる。この場合、キャリアガスとして不活性ガスを用いることができる。

アルキルアミノボロンは、水素基又は炭化水素基と、アミンとを有するボロン化合物であり、例えば、トリスジメチルアミノボロン（TMAB）が用いられる。トリスジメチルアミノボロンの構造式は、下記化学式で表される。

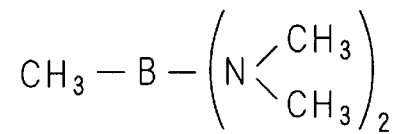
[0030] [化1]



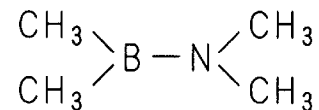
[0031] その他、主原料ガスとして、下記化学式で表されるアルキルアミノボロンを利用しても良い。

[0032]

[化2]



[0033] [化3]



[0034] 副原料ガスは、例えば、窒素若しくはアンモニア、又は炭化水素等である。

プラズマ生成ガスは、例えば不活性ガスである。より具体的には、不活性ガスは、アルゴン、ヘリウム、キセノン、クリプトン等である。なお、上述の例では、主原料ガス及び副原料ガスを処理室１に供給する場合を説明したが、目的とする層間絶縁層の組成によっては、主原料ガスのみを処理室１に供給するように構成しても良い。なお、言うまで無く、上述の主原料ガス、副原料ガス、及びプラズマ生成ガスは一例であり、分子中に、ホウ素、炭素及び窒素を含み、ホウ素、炭素及び窒素を含む層間絶縁層をプラズマＣＶＤにて形成可能なガスであれば、他の原料ガスを利用しても良い。

[0035] また、層間絶縁層形成装置は、層間絶縁層形成装置の各構成部を制御する制御手段８を有する。制御手段８は、例えば、プロセスコントローラ８０と、ユーザインターフェース８１と、記憶部８２とを有する。プロセスコントローラ８０には、工程管理者が層間絶縁層形成装置を管理するためにコマンドの入力操作等を行うキーボード、層間絶縁層形成装置の稼働状況を可視化して表示するディスプレイ等からなるユーザインターフェース８１が接続されている。また、プロセスコントローラ８０には、層間絶縁層形成装置で実行される各種処理をプロセスコントローラ８０の制御にて実現するための制

御プログラム、処理条件データ等が記録されたプロセス制御プログラムが格納された記憶部 82 が接続されている。プロセスコントローラ 80 は、ユーザインターフェース 81 からの指示に応じた任意のプロセス制御プログラムを記憶部 82 から呼び出して実行し、プロセスコントローラ 80 の制御下で、層間絶縁層形成装置での所望の処理が行われる。

[0036] 図 4 は、層間絶縁層形成方法に係るプロセスコントローラ 80 の処理手順を示すフローチャートである。以下、各種半導体素子が配された導通層が形成されたウェハ W が処理室 1 に搬入された後の処理手順を説明する。プロセスコントローラ 80 は、プラズマ生成ガス供給源 62c の開閉バルブ 63c を開くことにより、プラズマ生成ガスを第 1 空間 1a に供給する（ステップ S11）。次いで、プロセスコントローラ 80 は、マイクロ波発生装置 57 を駆動させることにより、第 1 空間 1a にマイクロ波を放射させる（ステップ S12）。第 1 空間 1a にプラズマ生成ガスを供給し、マイクロ波を放射することによって、第 1 空間 1a にプラズマを生成することができる。

[0037] 次いで、プロセスコントローラ 80 は、第 1 ガス供給系 6 における副原料ガス供給源 62b の開閉バルブ 63b を開くことによって、第 1 空間 1a に層間絶縁層の副原料ガスを供給する（ステップ S13）。そして、プロセスコントローラ 80 は、第 2 ガス供給系 7 における主原料ガス供給源 62a の開閉バルブ 73a を開くことによって、第 2 空間 1b に層間絶縁層の主原料ガスを供給する（ステップ S14）。

[0038] プロセス条件は、下記の通りである。ウェハ W 温度は 0～400℃、処理室 1 の側壁 11 及び誘電体窓 50 の温度は 0～200℃である。プラズマ条件は、圧力 1～50Pa、マイクロ波の周波数は 2.45GHz、マイクロ波パワーは 1500～5000W である。但し、該プラズマ条件は、300mm ウェハ用の装置の条件である。ガス流量範囲は、主原料ガスが 50～300sccm、副原料ガスとして炭化水素ガスが 0～500sccm、プラズマ生成ガスが 0～1000sccm である。なお、副原料ガスである炭化水素の流量は、CH₄ 換算の流量である。

[0039] 図5は、層間絶縁層形成装置によって生成されるプラズマの分布と、電子温度との関係を示すグラフである。横軸は、鉛直方向における誘電体窓50の下面からの距離、縦軸は、プラズマの電子温度を示している。なお、誘電体窓50の下面からの距離は、鉛直下方、即ちサセプタ4側が正である。また、図5中、誘電体窓50からの距離20mmの箇所に示した破線は、第2ガス導入部70の位置を示している。なお、誘電体窓50の下面と、サセプタ4の上面との距離は120mmである。

図5に示すように、誘電体窓50の直下0～10mmは、プラズマの電子密度が比較的高い領域であり、該領域にてプラズマを生成する。この領域は、プラズマ生成領域、即ち第1空間1aに対応している。第1空間1aで生成したプラズマは、処理室1の下部の領域に拡散する。この領域は、拡散プラズマ領域、即ち第2空間1bに対応している。第2空間におけるプラズマの電子温度は、1eV程度まで減衰しているため、第2空間に供給された原料ガスは、過剰に解離せず、結合を保ったまま、ウェハWに堆積する。

[0040] 次に、本実施の形態に係る半導体装置の一構成例を説明する。本実施の形態に係る半導体装置は、ウェハW上に多層配線構造を有する超大規模集積回路ULSIである。以下、NチャンネルのMOSFETがウェハW上に形成され、層間絶縁層を介して多層配線されている例を説明する。

[0041] 図6は、本実施の形態に係る半導体装置9の一構成例を示した側断面図である。半導体装置9は、p型のウェハ基板91と、ウェハ基板91上に形成されたMOSFET92と、素子分離用の酸化膜93、93と、多層配線用の層間絶縁層94a～94c及び配線金属95a～95c、96b～96dと、保護膜97とを有する。

[0042] MOSFET92は、ウェハ基板91上に離隔して形成されドレイン・ソース92c、92cと、ドレイン・ソース92c、92c間にSiO₂膜92bを介して形成されたゲート92aとで構成されている。

[0043] 層間絶縁層94a～94cは、複数の各層に積層して形成された図示しない複数の半導体素子同士を絶縁する層である。層間絶縁層94a～94cは

、例えば、本実施の形態に係る層間絶縁層形成方法によって形成される。

[0044] 図7は、層間絶縁層94a～94cを模式的に示した断面図である。層間絶縁層94a～94cは、六方晶窒化ホウ素及び立方晶窒化ホウ素を含むアモルファス構造で構成されており、該アモルファス構造中には炭化水素基941及びアルキルアミノ基942が混在している。層間絶縁層94a～94cのアモルファス構造は、例えば、プラズマCVD装置にてプラズマが生成される領域に層間絶縁層の原料ガスを供給し、原料ガスを構成する分子が解離したホウ素、炭素及び窒素をウェハ基板91上に蒸着させることによって形成される。また、プラズマ生成領域よりも基板側へ離隔した低電子温度な領域に、原料ガスを供給することによって、炭化水素基941及びアルキルアミノ基942をアモルファス構造に混入させることができる。炭化水素基941及びアルキルアミノ基942は、原料ガスを構成する分子が部分的に解離して生成された原子団である。

[0045] 図8は、フーリエ変換型赤外分光による層間絶縁層94a～94cの化学構造解析結果を示すグラフである。横軸は波数、縦軸は吸光度を示している。図8に示すグラフから分かるように、六方晶窒化ホウ素による波数約1400 cm^{-1} の赤外光吸収ピークと、立方晶窒化ホウ素による波数約1070 cm^{-1} の赤外吸収ピークとが認められる。従って、層間絶縁層94a～94cは、六方晶窒化ホウ素及び立方晶窒化ホウ素を含むアモルファス構造を有していることが分かる。

また、C=C結合、C-H結合、B-C結合、C-N結合等による赤外光吸収が認められるため、炭化水素基941及びアルキルアミノ基942が解離せずにアモルファス構造中に取り込まれていることが分かる。

[0046] 図9は、六方晶窒化ホウ素及び立方晶窒化ホウ素の特徴を示す図表である。図9には、六方晶窒化ホウ素、立方晶窒化ホウ素、及びダイヤモンドそれぞれの弾性率、比誘電率、結晶構造の模式図が示されている。図9に示すように、立方晶窒化ホウ素の弾性率は、400 GPaであり、ダイヤモンド並の弾性率を有している。また、六方晶窒化ホウ素の弾性率も37 GPaであ

り、十分な機械的強度を有している。従って、炭化水素基 941 及びアルキルアミノ基 942 を導入しても層間絶縁層 94a～94c は十分な機械的強度を保持することができる。一方、六方晶窒化ホウ素及び立方晶窒化水素の比誘電率は、いずれも SiO_2 と同程度である。

従って、炭化水素基 941 及びアルキルアミノ基 942 の導入量を制御することによって、十分な機械的強度を保持しつつ、所望の低い誘電率を有する層間絶縁層 94a～94c を得ることができる。特に、本実施の形態に係る層間絶縁層 94a～94c は、立方晶窒化ホウ素を有しているため、立方晶窒化ホウ素を有さない層間絶縁層に比べて、炭化水素基 941 及びアルキルアミノ基 942 を多量に導入し、低誘電率化を図ることができる。また、炭化水素基 941 及びアルキルアミノ基 942 の導入量が同程度であれば、本実施の形態に係る層間絶縁層 94a～94c は、立方晶窒化ホウ素を有しているため、立方晶窒化ホウ素を有さない層間絶縁層に比べて、機械的強度が高い。

[0047] 図 10A 及び図 10B は、層間絶縁層 94a～94c に含まれる結合構造と、膜特性との関係を示すグラフである。図 10A は、層間絶縁層 94a～94c に含まれる B-N 結合及び C-C 結合の原子濃度と、アニール処理の前後における層間絶縁層 94a～94c の膜厚比との関係を示している。アニール処理の前後における層間絶縁層 94a～94c の膜厚比は、1 に近い程、シュリンクが無い良好な膜であり、耐熱性が高いと言える。図 10B は、層間絶縁層 94a～94c に含まれる B-N 結合及び C-C 結合の原子濃度と、層間絶縁層 94a～94c の誘電率との関係を示している。図 10A、B のグラフより、層間絶縁層 94a～94c 中の B-N 結合の原子濃度が高い程、耐熱性が向上するが、誘電率は上昇する傾向にあることが分かる。また、層間絶縁層 94a～94c 中の C-C 結合の原子濃度が高い程、誘電率は低下するが、耐熱性が悪いことが分かる。従って、層間絶縁層 94a～94c に導入される C-C 結合の原子濃度、即ち炭化水素基 941 及びアルキルアミノ基 942 の導入量は、層間絶縁層 94a～94c に求められる誘

電率及び耐熱性の兼ね合いで適宜決定される。本実施の形態に係る層間絶縁層形成装置によれば、第1ガス導入部60及び第2ガス導入部70に導入する主原料ガス及び副原料ガスの量を調整することによって、炭化水素基941及びアルキルアミノ基942の導入量を制御し、所望の誘電率及び耐熱性を有する層間絶縁層94a～94cを得ることができる。

[0048] 図11は、層間絶縁層94a～94cのアニール処理過程で脱離する水分量の時間変化を示したグラフである。横軸はアニール処理の時間を示し、左縦軸はイオン電流、右縦軸は温度を示している。イオン電流は、層間絶縁層94a～94cから脱離する水分量に対応している。図11中、グラフa1, a2, a3及びbは、異なるプロセス条件で形成された層間絶縁層94a～94cの水分脱離傾向を示している。グラフa1, a2, a3の成膜温度はいずれも350℃であり、グラフbの成膜温度は170℃である。また、グラフa1の成膜時に用いたプラズマ生成ガスはアルゴン、グラフa2は窒素、グラフa3はアルゴン及び水素である。また、グラフbの成膜時に用いたプラズマ生成ガスはアルゴンである。

図11から分かるように、350℃で形成した層間絶縁層94a～94cは、用いるプラズマ生成ガスの種類に拘わらず、脱離する水分量が多いが、アニール処理温度が約80℃に達するまでに水分の脱離が完了している。従って、350℃で形成した層間絶縁層94a～94cに含まれていた水分は、膜中に含まれていた水分では無く、主に膜表面に吸着した水分であると考えられる。

一方、170℃で形成した層間絶縁層94a～94cは、脱離する水分量のピークは低いがアニール処理温度が300℃に達するまで水分の脱離が続く。従って、170℃で形成した層間絶縁層94a～94cは、膜中に水分を有していると考えられる。

一般的に、層間絶縁層94a～94cの膜内に含まれる水分量が少ない程、誘電率が低く、機械的強度が高い緻密な膜である。従って、350℃で形成した層間絶縁層94a～94cは、170℃で形成した層間絶縁層94a

～94cに比べて低誘電率で機械的強度が高く、優れた膜であると言える。

[0049] 本実施の形態にあっては、密なアモルファス構造中に炭化水素基941及びアルキルアミノ基942が混在しているため、分子レベルの空間が層間絶縁層94a～94cに形成される。内部に空間が形成された層間絶縁層94a～94cは、空間を有さない層間絶縁層に比べて低誘電率である。また、層間絶縁層94a～94cに形成される空間は、従来のポーラス構造とは異なる分子レベルの空間であるため、層間絶縁層94a～94cの機械的強度及び耐吸湿性を低下させることなく、半導体装置9の配線遅延を低減させることができる。更に、層間絶縁層94a～94cは従来のポーラス構造では無いため、層間絶縁層94a～94cに形成されたコンタクトホール表面に空孔が露出し、該空孔から薬液等の各種不純物が拡散したり、バリアメタルカバレッジ不良といった問題を回避することができる。

[0050] 以上、本実施の形態に係る層間絶縁層形成方法にあっては、従来技術に係る層間絶縁層に比べて、機械的強度及び耐吸湿性に優れた低誘電率の層間絶縁層94a～94cを形成することができる。

また、本実施の形態に係る半導体装置9にあっては、従来技術に係る層間絶縁層に比べて、機械的強度及び耐吸湿性に優れた低誘電率の層間絶縁層94a～94cを設けることによって、配線遅延を低減させることができる。

[0051] 更に、プロセスコントローラ80によって、主原料ガス及び副原料ガスの供給先及び供給量を制御することによって、層間絶縁層94a～94cの構造を容易に制御することができる。例えば、層間絶縁層94a～94cを構成している六方晶窒化ホウ素及び立方晶窒化ホウ素を含むアモルファス構造に混入させる炭化水素基及びアルキルアミノ基の量を制御することができ、誘電率、リーク電流、吸湿性、弾性率、硬度等の特性を制御することができる。

また、本実施の形態によれば、第1空間1a及び第2空間1bに供給される原料ガスの配分によって、層間絶縁層94a～94cの物性が変動する。従って、層間絶縁層の物性を制御することができ、所望の物性、例えば誘電

率、強度及び耐熱性を有する層間絶縁層 94 a ~ 94 c を製造することが可能になる。

[0052] 更にまた、Radial Line Slot Antenna型のマイクロ波プラズマCVD装置は、 $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高電子密度、1 ~ 2 eV以下の低電子温度のプラズマを生成することができるため、半導体装置に損傷を与える虞がなく、高レートで層間絶縁層 94 a ~ 94 c を形成することができる。

[0053] 更にまた、Radial Line Slot Antenna型のマイクロ波プラズマCVD装置にあっては、誘電体窓 50 の直下に表面波プラズマが生成されるため、プラズマ生成領域である第1空間 1 a とプラズマの拡散により電子温度が低下したプラズマ拡散領域である第2空間 1 b へのガスの供給を適宜制御することによって、層間絶縁層 94 a ~ 94 c に係る各種特性の制御を容易に行うことができる。

[0054] なお、実施の形態では、Radial Line Slot Antenna型のマイクロ波プラズマCVD装置を用いて、層間絶縁層を形成する例を説明したが、基板から隔離した領域にプラズマを局所的に生成できる装置であれば、他のスロットを介してマイクロ波を放射するプラズマCVD装置を利用して層間絶縁層を形成するように構成しても良い。

また、スロットを介してマイクロ波を放射するプラズマCVD装置以外にも、平行平板プラズマ、ICP (Inductively Coupled Plasma)、電子サイクロトロン共鳴 (ECR : Electron Cyclotron Resonance) プラズマ等を用いたプラズマCVD装置を用いてもよい。ただし、この場合には、電子温度が高い点や磁場を用いることにより半導体装置へ損傷を与えてしまう可能性がある。

[0055] (変形例 1)

変形例 1 に係る層間絶縁層形成方法は、主原料ガス及び副原料ガスの供給先のみが異なるため、以下では主に上記相異点について説明する。下記表 2 は、処理室 1 に供給するガスの種類及び各ガスの供給先の一例を示している。

[0056] [表2]

表 2

供給するガスの種類		ガスの供給先
主原料ガス	アルキルボロン	第1空間
	アルキルアミノボロン	第1空間
副原料ガス	アンモニア	第2空間
	炭化水素	第2空間
プラズマ生成ガス	アルゴン、ヘリウム、キセノン、クリプトン	第1空間

[0057] 上記表2に示すように、変形例1では、主原料ガスであるアルキルボロン及びアルキルアミノボロンを第1空間1aへ供給し、副原料ガスであるアンモニア及び炭化水素を第2空間1bへ供給する。

[0058] 図12は、変形例1における層間絶縁層形成方法に係る処理手順を示したフローチャートである。プロセスコントローラ80は、プラズマ生成ガス供給源62cの開閉バルブ63cを開くことにより、プラズマ生成ガスを第1空間1aに供給する（ステップS111）。次いで、プロセスコントローラ80は、マイクロ波発生装置57を駆動させることにより、第1空間1aにマイクロ波を放射させる（ステップS112）。

[0059] 次いで、プロセスコントローラ80は、第1ガス供給系6における主原料ガス供給源62aの開閉バルブ63aを開くことによって、第1空間1aに層間絶縁層の主原料ガスを供給する（ステップS113）。そして、プロセスコントローラ80は、第2ガス供給系7における副原料ガス供給源72bの開閉バルブ73bを開くことによって、第2空間1bに層間絶縁層の副原料ガスを供給する（ステップS114）。

[0060] 変形例1にあっても、実施の形態と同様の効果を奏する。ただし、層間絶縁層の内部構造が異なるため、誘電率、機械的強度及び耐透湿性などの特性は異なる。具体的には、六方晶窒化ホウ素及び立方晶窒化ホウ素を含むアモルファス構造に混在するアルキルアミノ基の割合を、炭化水素基に比べて低く設定することができる。

[0061] (変形例 2)

変形例 2 に係る層間絶縁層形成方法は、主原料ガス及び副原料ガスの供給先のみが異なるため、以下では主に上記相異点について説明する。下記表 3 は、処理室 1 に供給するガスの種類及び各ガスの供給先の一例を示している。

[0062] [表3]

表 3

供給するガスの種類		ガスの供給先
主原料ガス	アルキルボロン	第1空間及び第2空間
	アルキルアミノボロン	第1空間及び第2空間
副原料ガス	窒素	第1空間
	アンモニア	第1空間及び第2空間
	炭化水素	第1空間及び第2空間
プラズマ生成ガス	アルゴン、ヘリウム、キセノン、クリプトン	第1空間

[0063] 上記表 3 に示すように、変形例 2 では、主原料ガスであるアルキルボロン及びアルキルアミノボロンを第 1 及び第 2 空間 1 a、1 b の双方へ供給し、副原料ガスであるアンモニア及び炭化水素も第 1 及び第 2 空間 1 a、1 b の双方へ供給する。また、副原料ガスである窒素を第 1 空間 1 a へ供給する。窒素ガスは、プラズマ生成領域である第 1 空間 1 a に供給しなければ解離せず、ウェハ W に蒸着させることができないため、第 2 空間 1 b では無く、第 1 空間 1 a へ供給する方が良い。なお、窒素ガスも第 2 空間 1 b に供給するように構成することも可能である。第 1 空間 1 a から下方へ移動してきたラジカルによって、窒素ガスの一部を解離させることができる。

[0064] 図 1 3 は、変形例 2 における層間絶縁層形成方法に係るプロセスコントローラ 80 の処理手順を示したフローチャートである。プロセスコントローラ 80 は、プラズマ生成ガス供給源 62 c の開閉バルブ 63 c を開くことにより、プラズマ生成ガスを第 1 空間 1 a に供給する（ステップ S 211）。次いで、プロセスコントローラ 80 は、マイクロ波発生装置 57 を駆動させることにより、第 1 空間 1 a にマイクロ波を放射させる（ステップ S 212）

。

[0065] 次いで、プロセスコントローラ 80 は、第 1 及び第 2 ガス供給系 6、7 における主原料ガス供給源 62 a、72 a の開閉バルブ 63 a、73 a を開くことによって、第 1 及び第 2 空間 1 a、1 b に層間絶縁層の主原料ガスを供給する（ステップ S 213）。そして、プロセスコントローラ 80 は、第 1 及び第 2 ガス供給系 6、7 における副原料ガス供給源 62 b、72 b の開閉バルブ 63 b、73 b を開くことによって、第 1 及び第 2 空間に層間絶縁層の副原料ガスを供給する（ステップ S 214）。

[0066] 変形例 2 にあっても、実施の形態と同様の効果を奏する。ただし、層間絶縁層の内部構造が異なるため、誘電率、機械的強度及び耐透湿性などの特性は異なる。具体的には、六方晶窒化ホウ素及び立方晶窒化ホウ素を含むアモルファス構造に混在するアルキルアミノ基の割合を、実施の形態に比べて低く、変形例 1 に比べて高く設定することができる。

[0067] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した意味ではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味及び範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

- [0068]
- 1 処理室
 - 1 a 第 1 空間
 - 1 b 第 2 空間
 - 6 第 1 ガス供給系
 - 7 第 2 ガス供給系
 - 9 半導体装置
 - 60 第 1 ガス導入部
 - 70 第 2 ガス導入部
 - 62 a, 72 a 主原料ガス供給源
 - 62 b, 72 b 副原料ガス供給源

6 2 c プラズマ生成ガス供給源

8 0 プロセスコントローラ

8 1 ユーザインターフェース

8 2 記憶部

9 1 ウェハ基板

9 2 M O S F E T

9 3 酸化膜

9 4 a ~ 9 4 c 層間絶縁層

9 4 1 炭化水素基

9 4 2 アルキルアミノ基

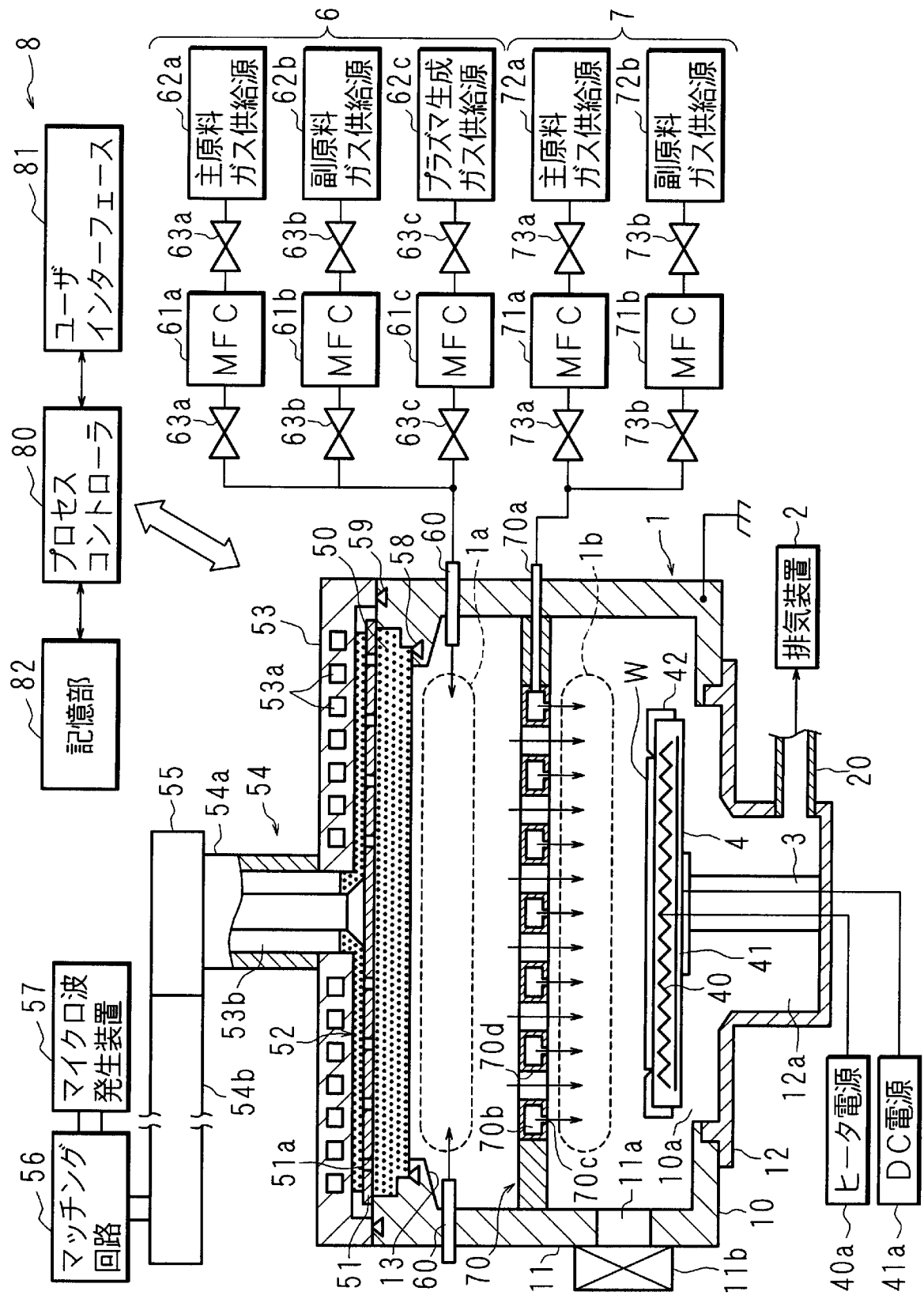
W ウェハ

請求の範囲

- [請求項1] 半導体装置の層間絶縁層をプラズマCVD法にて形成する方法において、
- 減圧された処理容器内へ基板を搬入する工程と、
- 前記基板から離隔した第1空間にプラズマ生成ガスを供給する工程と、
- 前記第1空間にて前記プラズマ生成ガスを励起する工程と、
- 前記第1空間と前記基板との間の第2空間に、少なくとも水素基又は炭化水素基を含むボロン化合物を含む原料ガスを供給する工程と
- を有することを特徴とする層間絶縁層形成方法。
- [請求項2] 前記プラズマ生成ガスを励起する工程は、スロットを介して前記処理容器内へ放射されたマイクロ波を用いることを特徴とする請求項1に記載の層間絶縁層形成方法。
- [請求項3] 前記原料ガスは、
- ホウ素、炭素及び窒素を含む
- ことを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の層間絶縁層形成方法。
- [請求項4] 前記原料ガスは、
- アルキルボロン又はアルキルアミノボロンを含む
- ことを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれか一つに記載の層間絶縁層形成方法。
- [請求項5] 前記第1空間及び／又は第2空間に、アンモニア又は炭化水素ガスを供給する
- ことを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれか一つに記載の層間絶縁層形成方法。
- [請求項6] 前記第1空間に窒素ガスを供給する
- ことを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれか一つに記載の層間絶縁層形成方法。

- [請求項7] ホウ素、炭素及び窒素を含むアモルファス構造が形成された層間絶縁層を介して多層配線された半導体装置において、
- 前記層間絶縁層は、
- 六方晶窒化ホウ素及び立方晶窒化ホウ素を含むアモルファス構造中に炭化水素基又はアルキルアミノ基が混在することを特徴とする半導体装置。
- [請求項8] 前記層間絶縁膜層に含まれる六方晶窒化ホウ素の量は、立方晶窒化ホウ素の量より少ない
- ことを特徴とする請求項7に記載の半導体装置。

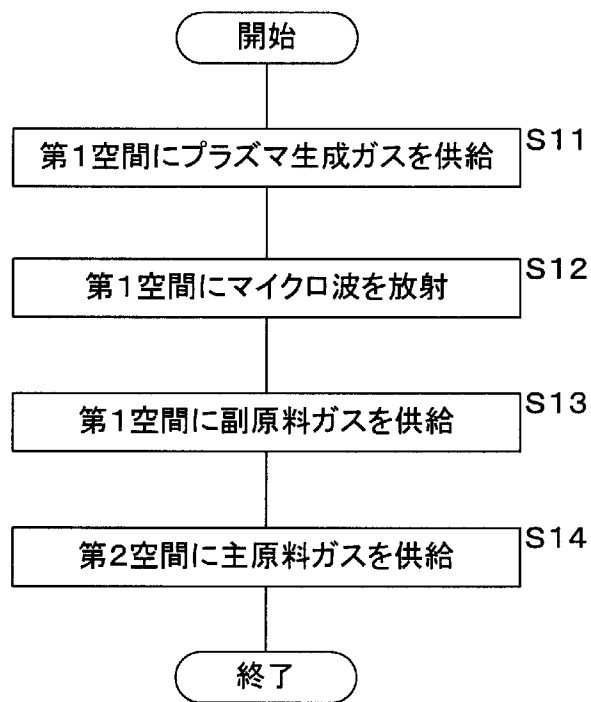
[図1]



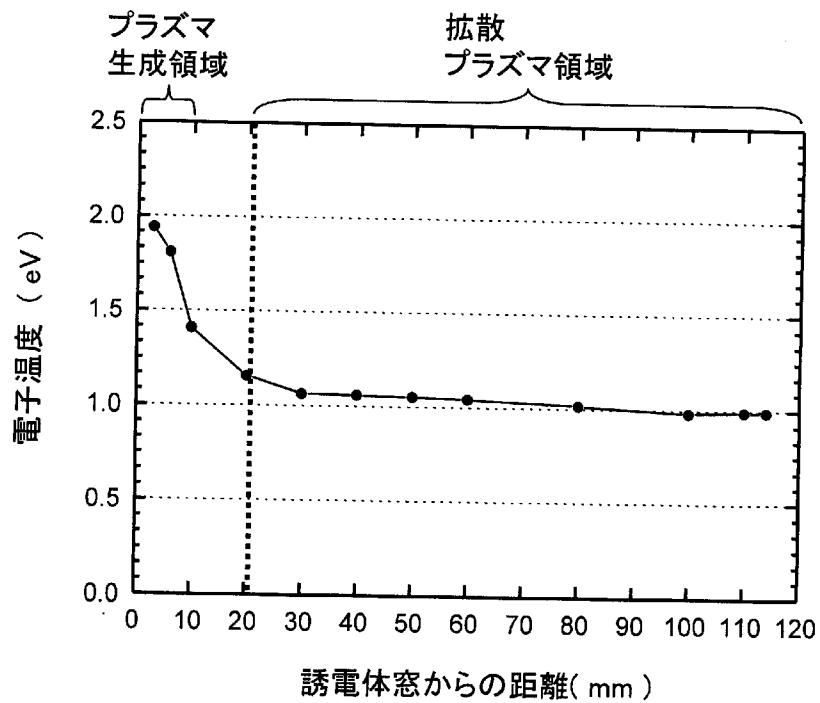
A diagram of a circular substrate 51 with a central hole. A ring of rectangular features 51a is arranged around the central hole. The features are distributed in a ring-like pattern, with some features being more prominent than others.

FIG. 1 is a top view of a circular substrate 70. The substrate 70 has a central region 70c and a central opening 70d. A central rod 70e is visible. A central region 70f is also indicated. The substrate 70 is divided into a grid of square elements 70a and 70b. The central region 70c is a circular area. The central opening 70d is a circular area. The central rod 70e is a cylindrical rod. The central region 70f is a circular area. The substrate 70 is a circular substrate. The grid of square elements 70a and 70b is a grid of square elements. The central region 70c is a circular area. The central opening 70d is a circular area. The central rod 70e is a cylindrical rod. The central region 70f is a circular area.

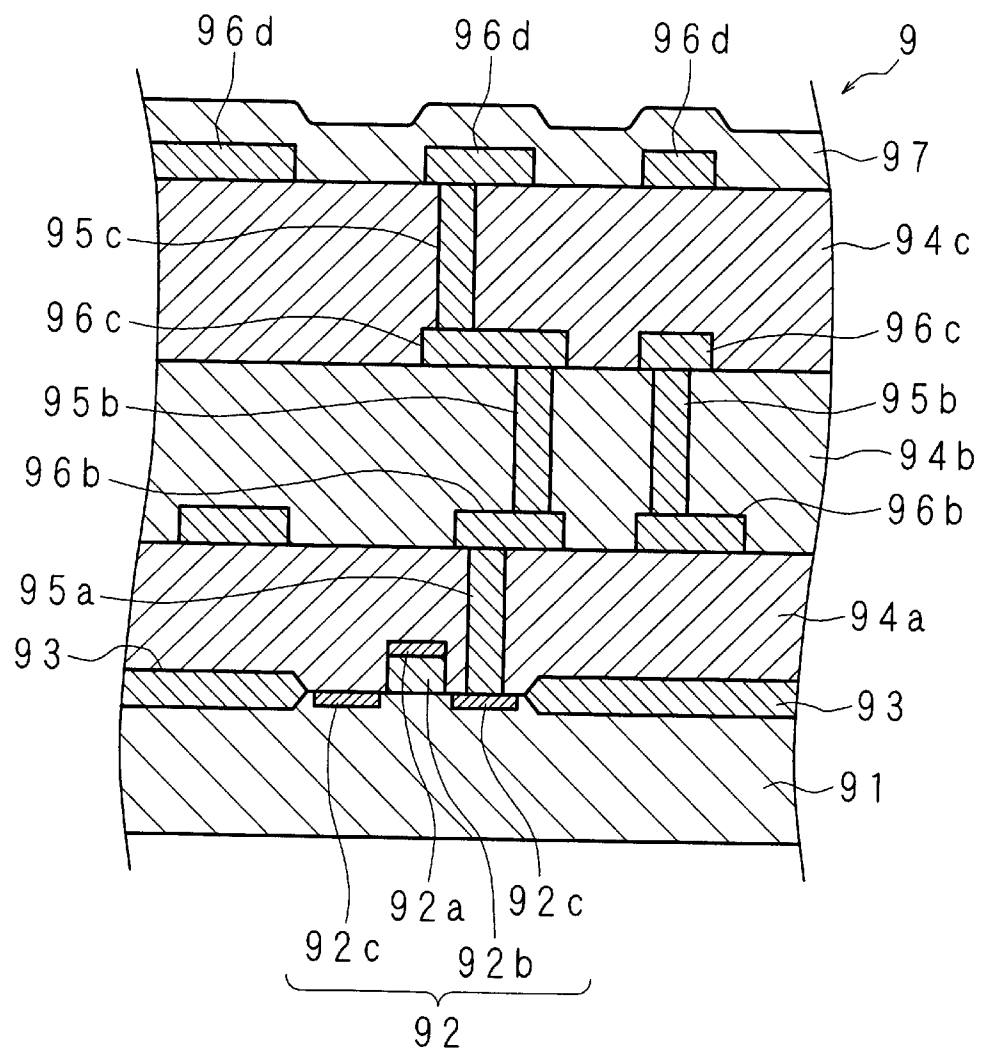
[図4]



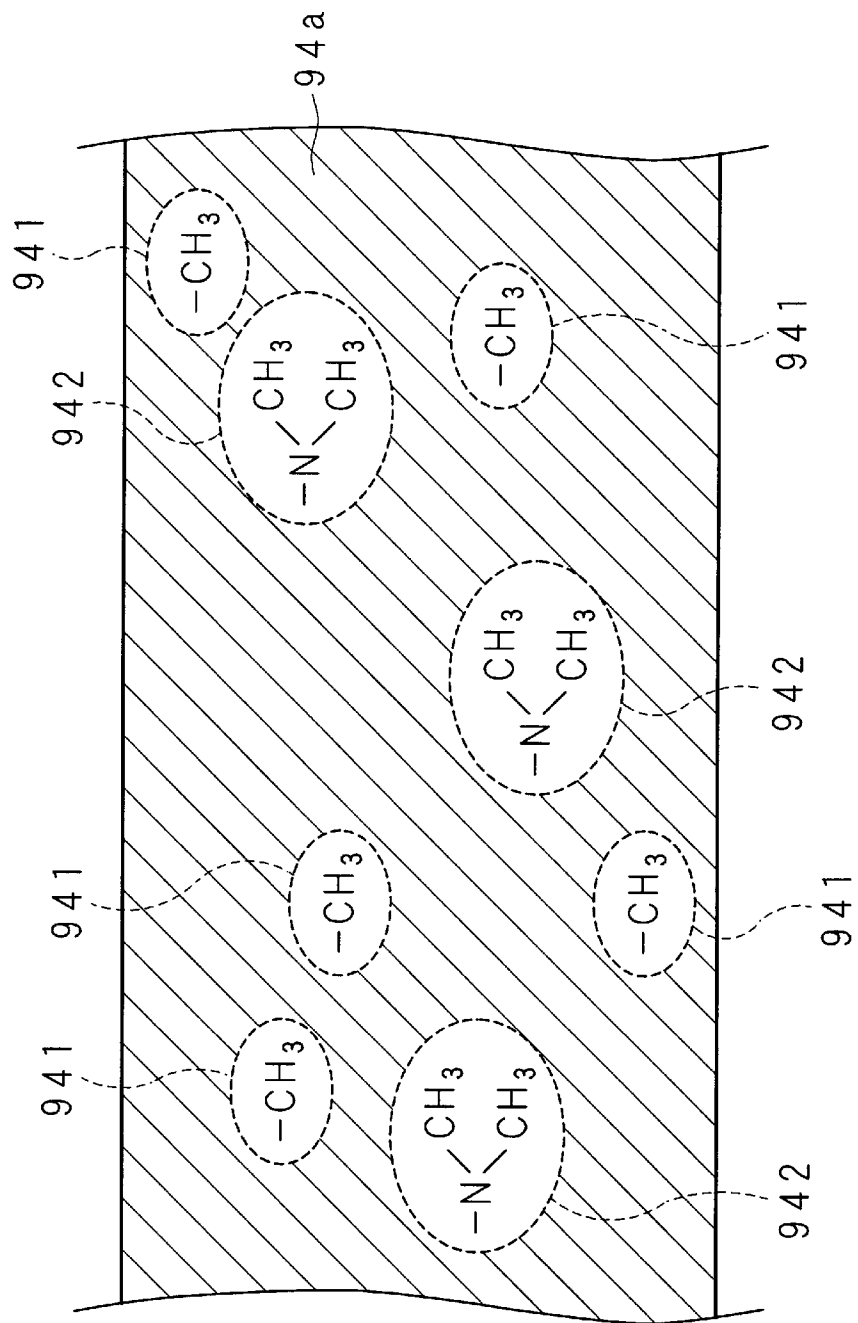
[図5]



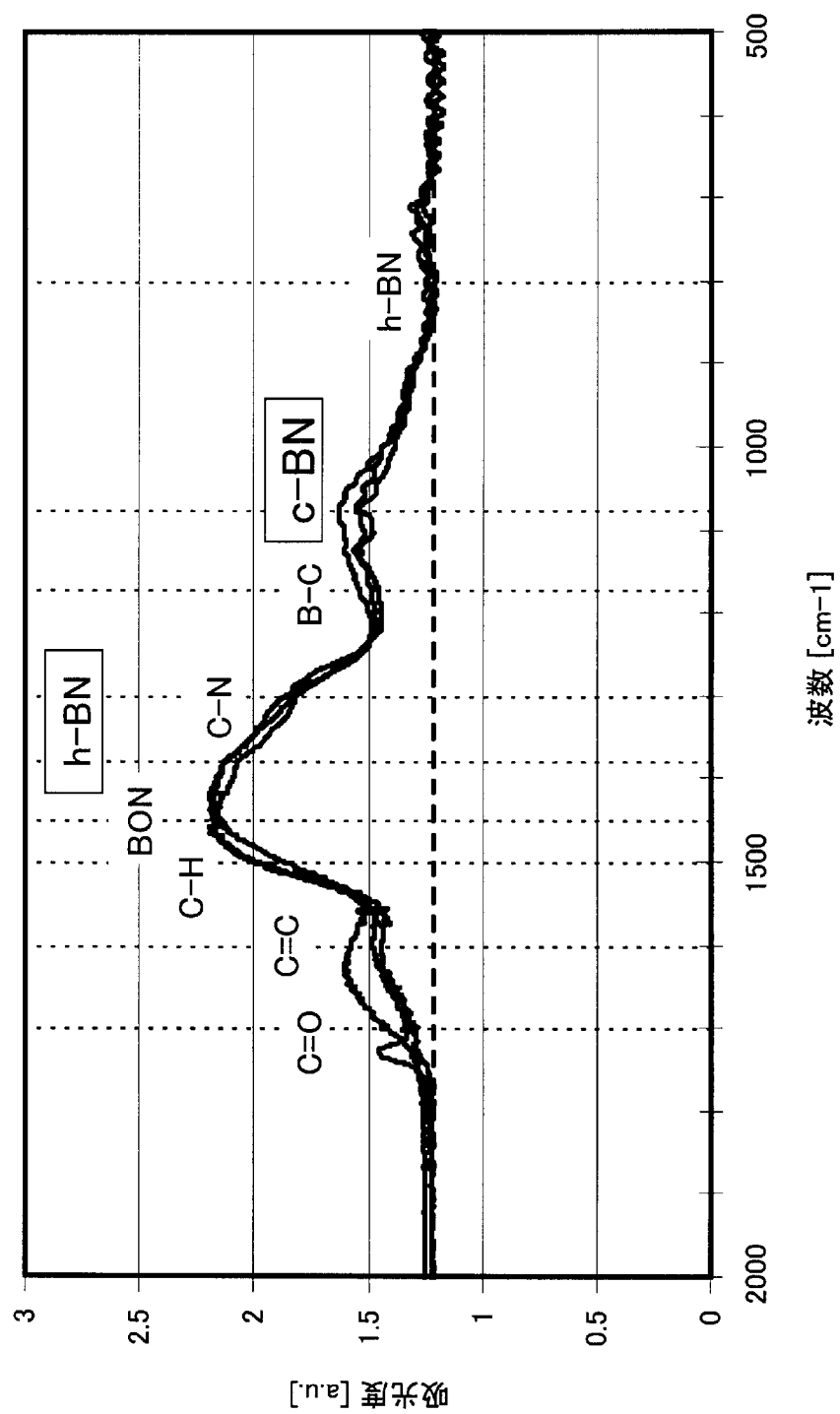
[図6]



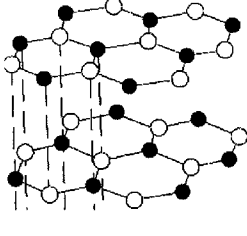
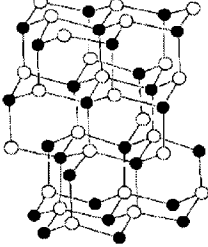
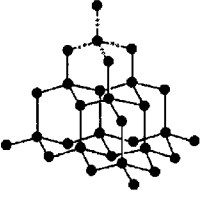
[図7]



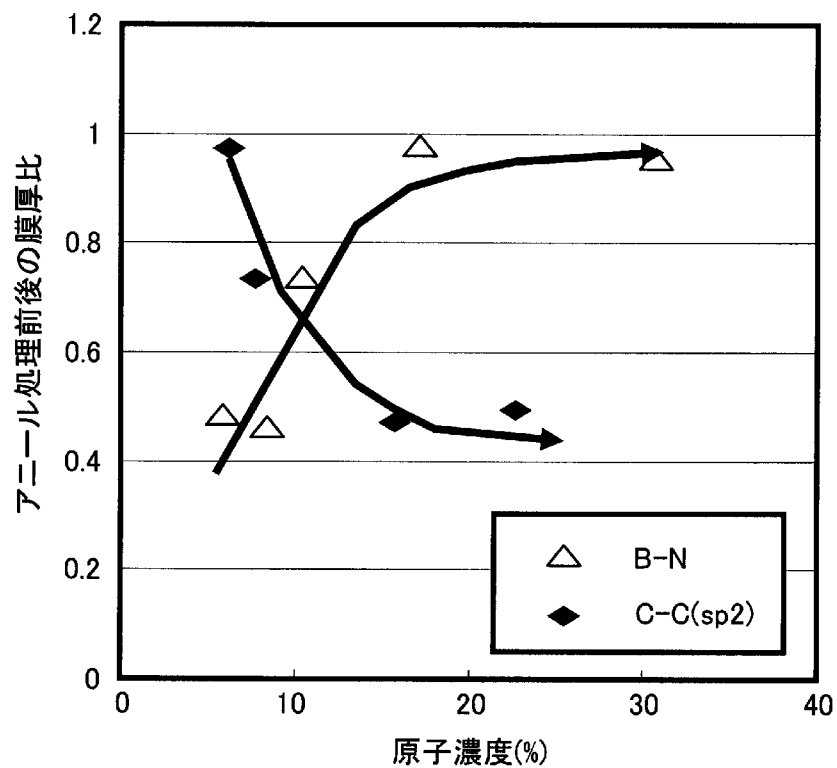
[図8]



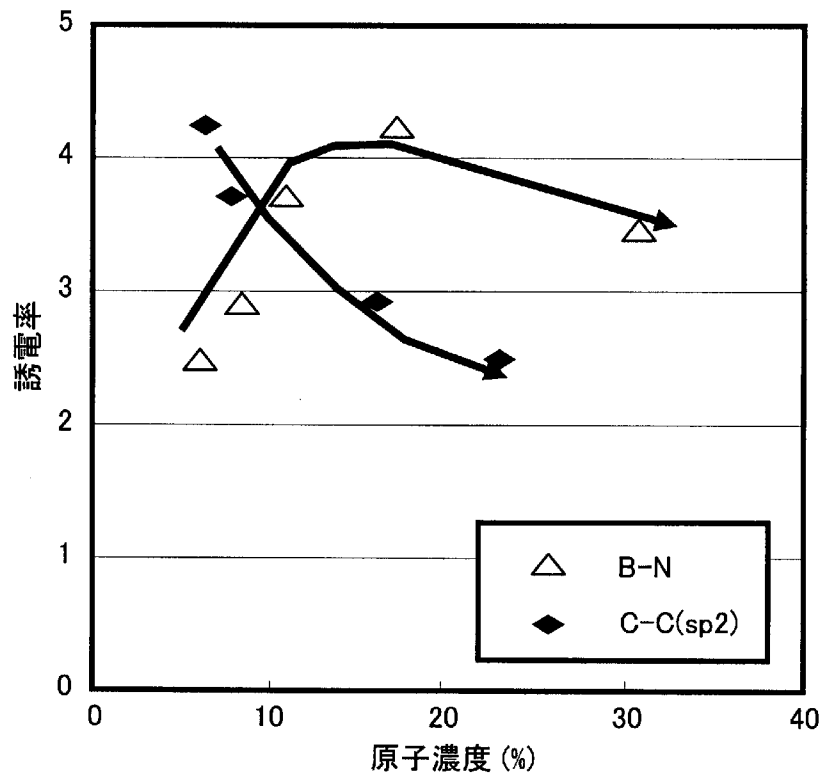
[図9]

	六方晶窒化ホウ素 (h-BN)	立方晶窒化ホウ素 (c-BN)	ダイヤモンド
弾性率(GPa)	37	400	440
比誘電率	4~4.6	~4.1	5.8
結晶構造			

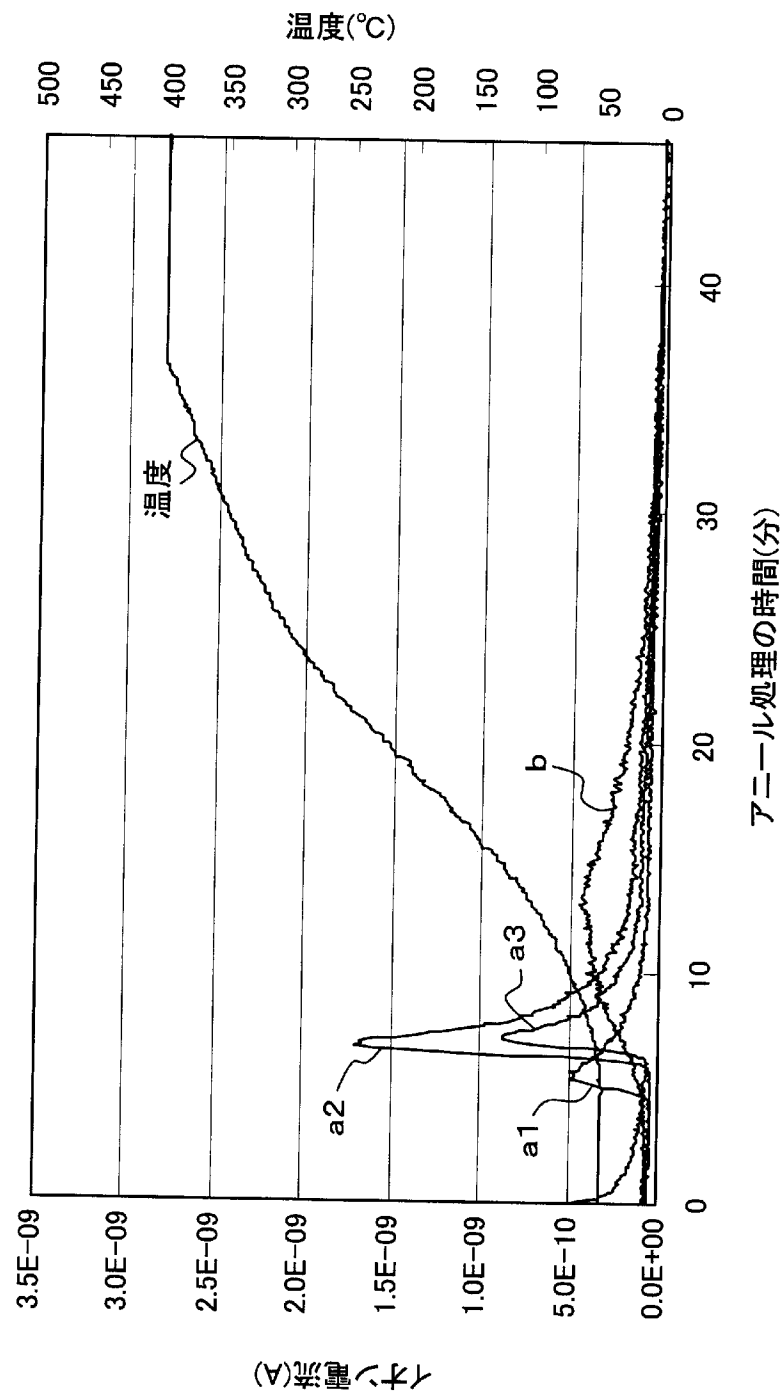
[図10A]



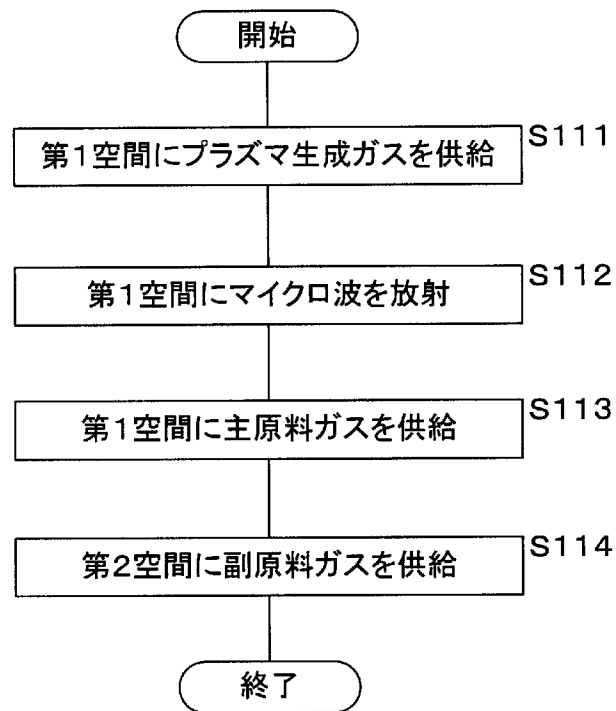
[図10B]



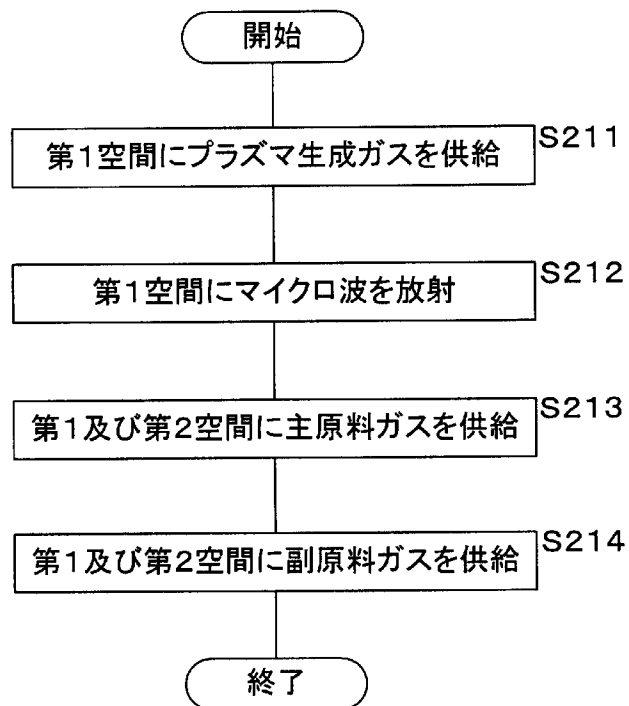
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/066395

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/318(2006.01)i, C23C16/455(2006.01)i, C23C16/511(2006.01)i,
H01L21/31(2006.01)i, H01L21/768(2006.01)i

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)

H01L21/318, C23C16/455, C23C16/511, H01L21/31, H01L21/768

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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 A	JP 2008-222488 A (Independent Administrative Institution National Institute for Materials Science), 25 September 2008 (25.09.2008), paragraphs [0016] to [0027]; fig. 2 to 5 (Family: none)	7-8 1-6
A	JP 2009-081179 A (M. Watanabe & Co., Ltd.), 16 April 2009 (16.04.2009), paragraphs [0006] to [0042] (Family: none)	1-8
A	WO 2005/035824 A1 (Konica Minolta Holdings, Inc.), 21 April 2005 (21.04.2005), page 3, line 20 to page 41, line 6 (Family: none)	1-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

"E" earlier application or patent but 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" document 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 document 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" document 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" document 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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
06 October, 2011 (06.10.11)

Date of mailing of the international search report
18 October, 2011 (18.10.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/066395

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
See extra sheet.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/066395

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

In order that a group of inventions set forth in claims 1-8 comply with the requirement of unity, it is required that a special technical feature for so linking the group of inventions as to form a single general inventive concept is present, but the group of inventions set forth in claims 1-8 are considered to be linked with one another by only the matter which comprises "interlayer insulating membrane containing boron and carbon".

However, the above-said matter cannot be a special technical feature, since the matter is described in the prior-art documents, for example, JP 2009-081179 A (M. Watanabe & Co., Ltd.), 16 April 2009 (16.04.2009), paragraphs [0006]-[0042].

Consequently, there is no special technical feature among the group of inventions set forth in claims 1-8 for so linking the inventions as to form a single general inventive concept.

In conclusion, it is obvious that the group of inventions set forth in claims 1-8 does not comply with unity of invention.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/318(2006.01)i, C23C16/455(2006.01)i, C23C16/511(2006.01)i, H01L21/31(2006.01)i, H01L21/768(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/318, C23C16/455, C23C16/511, H01L21/31, H01L21/768

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 2008-222488 A（独立行政法人物質・材料研究機構）2008.09.25, 段落【0016】-【0027】，図2-5（ファミリーなし）	7-8 1-6
A	JP 2009-081179 A（株式会社渡辺商行）2009.04.16, 段落【0006】-【0042】（ファミリーなし）	1-8
A	WO 2005/035824 A1（コニカミノルタホールディングス株式会社）2005.04.21, 第3頁第20行-第41頁第6行（ファミリーなし）	1-8

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 6 . 1 0 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 8 . 1 0 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

山本 雄一

4 R

3 1 2 3

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 7 1

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（P C T 17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってP C T 規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

特別ページ参照

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

請求項 1～8に記載されている一群の発明が単一性の要件を満たすためには、その一群の発明を単一の一般的発明概念を形成するように連関させるための、特別な技術的特徴の存在が必要であるところ、請求項 1～8に記載されている一群の発明は、「ホウ素と炭素を有する層間絶縁膜」からなる事項でのみ連関していると認める。

しかしながら、この事項は先行技術文献、例えば、JP 2009-081179 A（株式会社渡辺商行）2009.04.16，段落【0006】－【0042】に記載されているため、特別な技術的特徴とはなり得ない。

そうすると、請求項 1～8に記載されている一群の発明の間には、単一の一般的発明概念を形成するように連関させるための、特別な技術的特徴は存在しないこととなる。

そのため、請求項 1～8に記載されている一群の発明が発明の単一性を満たしていないことは明らかである。