



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1926670 B

(45) 授权公告日 2011.05.18

(21) 申请号 200580006865.8

H01L 29/78 (2006.01)

(22) 申请日 2005.03.02

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

058945/2004 2004.03.03 JP

268236/2004 2004.09.15 JP

US 6399520 B1, 2002.06.04, 说明书第5栏第35行至第16栏第2行、附图3.

JP 特开 2003-77915 A, 2003.03.14, 说明书第[0007]-[0020]段, 第[0031]段、附图1, 2.

(85) PCT申请进入国家阶段日

2006.09.04

US 2003/0232491 A1, 2003.12.18, 说明书第[0046]段, 第[0074]段.

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2005/003488 2005.03.02

JP 特开 2002-222941 A, 2002.08.09, 附图2.

(87) PCT申请的公布数据

W02005/086215 JA 2005.09.15

审查员 夏杰

(73) 专利权人 东京毅力科创株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 松山征嗣 中西敏雄 尾崎成则

足立光 高槻浩一 佐藤吉宏

(74) 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司 11322

代理人 龙淳

(51) Int. Cl.

H01L 21/318 (2006.01)

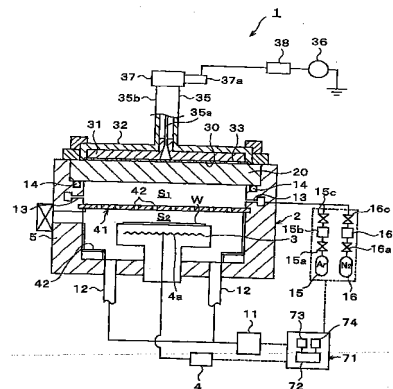
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 5 页

(54) 发明名称

等离子体处理方法

(57) 摘要

在本发明中,在利用由微波产生的等离子体对形成氧化膜后的基板进行氮化处理以形成氧氮化膜时,断续地进行微波的供给。通过断续地供给微波,与电子温度下降相伴的离子冲击降低,氧化膜中的氮化种的扩散速度降低,其结果,氮集中在氧氮化膜的基板侧界面上从而能够抑制其浓度增高。由此,能够提高氧氮化膜的膜质,从而能够降低漏电流、提高动作速度、并提高 NBTI 耐性。



1. 一种等离子体处理方法,利用微波等离子体、感应耦合型等离子体、ECR 等离子体、表面波等离子体和磁控管型等离子体中的任一种等离子体对形成氧化膜后的基板进行氮化处理形成氧氮化膜,其特征在于:

所述由等离子体进行的氮化处理,由向 Ar/N₂ 混合气体断续地供给用于产生等离子体的能量而产生的等离子体进行,

所述断续供给的能量的供给接通时间为 5 ~ 100 μ s,所述断续供给的能量的供给断开时间为 5 ~ 100 μ s,

所述氮化处理后的所述氧化膜的氮浓度被控制在 1 ~ 20 原子%的范围内,与连续供给能量的情况相比,使接通电流特性和 NBTI 耐性双方同时提高,

所述等离子体氮化处理之后,进一步在减压气氛中对形成有所述氧氮化膜的基板进行退火处理,

所述退火处理按照以下方式在减压容器内进行:将至少含有氧的气体导入减压容器内,在 20 ~ 100000Pa 的减压下,在 900℃ ~ 1200℃ 的温度下对基板加热 1 ~ 30 秒,抑制由退火处理产生的膜厚增大,使氧氮化膜的 NBTI 耐性和接通电流特性提高。

2. 根据权利要求 1 所述的等离子体处理方法,其特征在于:

所述断续供给的能量的供给接通时间与断开时间的比为 0.1 : 1 ~ 2 : 1。

3. 根据权利要求 1 所述的等离子体处理方法,其特征在于:

所述氮化处理之后的氧化膜中的氮浓度为 5 ~ 15 原子%。

等离子体处理方法

技术领域

[0001] 本发明涉及等离子体处理方法和计算机存储介质。

背景技术

[0002] 在最近的半导体器件中,为了提高动作速度,需要减薄栅极绝缘膜的厚度。但是,例如在以前的硅氧化膜中,减薄膜厚时,存在漏电流增大,并且电极材料中含有的硼(Boron)穿透绝缘膜的问题,不优选。因此,考虑采用即使膜厚较薄,也能够确保规定的绝缘性,而且能够抑制硼的扩散的氧氮化膜。

[0003] 在形成氧氮化膜时,已提出在形成氧化膜后,通过利用微波的等离子体处理装置对该氧化膜进行等离子体氮化处理,由此形成氧氮化膜的方案(专利文献1)。在这种情况下,连续供给微波,以产生等离子体。

[0004] 根据由该等离子体氮化处理形成氧氮化膜的方法,由于能够使氮的分布偏在电极(表面)一侧,所以能够得到与热氧化膜相同程度的平带电压,并且由于上述理由,可得到将杂质的扩散容易地阻止在表面侧等等离子体的优点。

[0005] 专利文献1:特开2002-208593号公报

发明内容

[0006] 在进行等离子体氮化处理时,由于此时的由等离子体引起的损伤,所以在其后要进行退火处理。以前的这种退火处理是在大致大气压气氛中,进行31~60秒将基板加热到约1100℃~1200℃的所谓“强退火处理”。但是,在实施这样的强退火处理时,氧由于该退火处理而扩散,膜厚增大,介电常数下降,动作速度变慢,特别是在PMOSFET中显著的NBTI(Negative Bias Temperature Instability(负偏压温度不稳定性)):在向PMOSFET的栅极施加负电压、持续给予100℃左右的温度应力的情况下,经过一定时间后,发生源极-漏极间的ON电流(接通电流)的恶化,或者阈值向负方向偏移的现象(负电压高温应力时的不稳定性))特性有可能恶化。因此,期待利用低电子温度的微波等离子体的优点,同时,即使进行这样的等离子体氮化处理,也不需要其后的强退火处理的技术。

[0007] 而且,在以往的技术中,难以使栅极氧化膜中导入氮后的晶体管的静特性(栅极漏电流、源极漏极ON电流)和NBTI两者都提高。

[0008] 本发明鉴于上述问题而做出,其目的在于,在利用由微波产生的等离子体对形成氧化膜后的基板进行氮化处理时,抑制氮化时的损伤从而不需要其后的退火处理,或者即使进行退火处理也是极弱的退火处理即可,结果,使氧氮化膜的膜质提高,从而实现降低半导体器件的漏电流、提高动作速度、以及提高NBTI耐性、提高静电性。

[0009] 为了达到上述目的,本发明的等离子体处理方法的特征在于:在利用由微波产生的等离子体对形成氧化膜后的基板进行氮化处理时,断续地供给上述微波以进行等离子体氮化处理。例如,以所谓脉冲状供给微波,进行等离子体氮化。

[0010] 根据本发明人的见解,认为:与迄今为止的连续供给微波以进行等离子体氮化处

理的情况相比,在断续地供给微波以进行等离子体氮化处理的情况下,在微波供给的 OFF 时间(断开时间)内,等离子体的电子温度下降,能够抑制离子对氧化膜表面的冲击,由此氧化膜中的氮活性种的扩散速度降低。其结果,氮集中在例如硅基板与氧化氮化绝缘膜的界面中,从而能够抑制其浓度增大。结果,能够形成抑制漏电流而不增加膜厚(氧化膜换算膜厚:EOT)、而且 NBTI 特性提高的优质的氧化氮化膜。根据本发明人的验证,与以往的技术相比,NBTI 耐性提高 2~10 倍。

[0011] 而且,根据本发明人的验证,判明:通过至少改变上述断续供给的微波的供给、停止的重复周期或微波的供给 ON 时间(接通时间)与 OFF 时间的比(占空比(duty ratio)),即使改变以往的膜中的氮浓度,也能使处于负相关(trade-off)关系的 MOSFET 的 ON 电流特性(接通电流特性)和 NBTI 耐性的双方都提高。所以,在如上所述断续地供给微波的情况下,通过至少改变重复周期或微波的供给 ON 时间与 OFF 时间的比,能够使 ON 电流特性和 NBTI 耐性的双方都提高,从这一点评价,能够提高膜质。

[0012] 断续供给的微波的供给 ON 时间为 5~100 μ s、优选为 5~50 μ s,微波的供给 OFF 时间为 5~100 μ s、优选为 5~50 μ s。另外,断续供给的微波的供给、停止的重复周期优选为 5kHz~100kHz,更优选为 10~50kHz。另外,断续供给的微波的供给 ON 时间与 OFF 时间的比为 0.10~5:1,即脉冲状波形的 ON 占空比(接通占空比)优选为 9~90%左右,更优选为 30~83%,更进一步优选为 50%。断续的供给可以按照微波供给的 ON-OFF(接通-断开),也可以根据供给的脉冲波进行调制。

[0013] 另外,在上述氮化处理后,氧化膜中的氮浓度优选为 5~15(原子%),更优选为 9~13(原子%)。通过控制为该范围的浓度,能够使漏电流、ON 电流、NBTI 耐性提高。另外,氮化处理时的处理容器内的压力优选为 1mTorr~10T(0.133Pa~1330Pa)左右。更优选为 10mTorr~1T(1.33Pa~133.3Pa)。

[0014] 在这样运行本发明的等离子体处理的情况下,优选使用以下结构的等离子体处理装置。即,上述等离子体处理装置包括:在处理容器内载置基板的载置台;配置在处理容器的上方,向处理空间导入微波、产生等离子体的电介质;向上述处理容器内的上方供给处理气体的气体供给部;和配置在上述气体供给部的下方、载置台上的基板的上方,具有多个透孔,并且至少覆盖上述基板的形态的电介质板。使用上述等离子体处理装置进行等离子体氮化处理时,通过使用具有多个透孔的电介质板,高能离子被该电介质板遮蔽,能够减轻对氮化膜的损伤。由此,为了恢复损伤而实施的其后的退火处理,能够由更短时间的弱退火处理来完成,从而能够抑制由退火处理引起的膜厚的增大。

[0015] 在如上所述进行等离子体氮化处理之后,有时需要进行退火处理,在本发明中,优选在减压气氛下对基板进行退火处理。例如,可以在减压容器内、在 20Pa~100000Pa 的减压度下进行退火处理。另外,将基板加热至 900℃~1200℃的温度、进行 1 秒~30 秒的“弱退火处理”即可。

[0016] 根据本发明,在利用由微波产生的等离子体对形成氧化膜后的基板进行氮化处理时,抑制等离子体氮化时的损伤从而不需要其后的退火处理,或者即使进行退火处理也能够由极弱的退火处理完成。由此,能够使氧化氮化膜的膜质提高、抑制制品化的半导体器件的漏电流、提高动作速度、以及提高 NBTI 耐性。

附图说明

[0017] 图 1 是用于实施本实施方式的等离子体处理方法的等离子体处理装置的纵截面图。

[0018] 图 2 是用于实施退火处理的退火装置的纵截面图。

[0019] 图 3 是在栅极绝缘膜中采用本实施方式中形成的氧氮化膜的 P-MOSFET 的说明图。

[0020] 图 4 是表示氧化膜换算膜厚与漏电流的特性的说明图。

[0021] 图 5 是表示氧化膜换算膜厚与源极 - 漏极间的 MOSFET 的 ON 电流特性的说明图。

[0022] 图 6 是不具有喷淋板 (shower plate) 的等离子体处理装置的纵截面图。

[0023] 图 7 是表示 P-MOSFET 的 ON 电流与 NBTI 耐性的特性的说明图。

[0024] 图 8 是表示改变脉冲条件时的 P-MOSFET 的 ON 电流与 NBTI 耐性的特性的说明图。

[0025] 符号说明

[0026] 1 等离子体处理装置

[0027] 2 处理容器

[0028] 3 基座

[0029] 5 侧壁

[0030] 20 透过窗

[0031] 36 微波供给装置

[0032] 38 脉冲振荡器

[0033] 41 喷淋板

[0034] 51 退火装置

具体实施方式

[0035] 下面说明本发明的实施方式。图 1 表示用于实施本实施方式的等离子体处理方法的等离子体处理装置 1 的纵截面图,该等离子体处理装置 1 包括例如由铝制成的、上部开口的有底圆筒状的处理容器 2。处理容器 2 被接地。在该处理容器 2 的底部,设置有作为用于载置基板例如半导体晶片 (以下称为晶片) W 的载置台的基座 3。该基座 3 例如由铝制成,在其内部设置有利用来自外部电源 4 的电力供给而发热的加热器 4a。由此能够将基座 3 上的晶片 W 加热到规定温度。

[0036] 在处理容器 2 的底部,设置有用于利用真空泵等排气装置 11 对处理容器 2 内的气氛进行排气的排气管 12。另外,在处理容器 2 的侧壁上设置有用于供给来自处理气体供给源的处理气体的气体导入部 13。气体导入部 13 中可以使用气体喷嘴。在本实施方式中,作为处理气体供给源,准备氩气供给源 15 和氮气供给源 16,分别通过阀 15a、16a、质量流量控制器 15b、16b 以及阀 15c、16c,与气体导入部 13 连接。

[0037] 在处理容器 2 的上部开口,通过用于确保气密性的 O 型圈等密封件 14,设置有例如由电介质的石英部件构成的透过窗 20。也可以使用其它的电介质材料,例如 Al_2O_3 、AlN 等陶瓷,来代替石英部件。由该透过窗 20 在处理容器 2 内形成处理空间 S。透过窗 20 的平面形态为圆形。

[0038] 在透过窗 20 的上方,设置有平面状的天线部件,例如圆板状的径向线缝隙天线 (Radial Line Slot Antenna) 30,进而在该径向线缝隙天线 30 的上面配置有滞波板 31,在

该滞波板 31 上进而配置有覆盖滞波板 31 的导电性的盖 32。盖 32 设置有冷却部,对盖 32 和透过窗 20 进行冷却。径向线缝隙天线 30 由利用具有导电性的材质、例如银、金等镀层或涂敷的铜的薄圆板构成,螺旋状或同心圆状地排列形成有多个狭缝 33。

[0039] 盖 32 与同轴波导管 35 连接,该同轴波导管 35 由内侧导体 35a 和外管 35b 构成。内侧导体 35a 与径向线缝隙天线 30 连接。内侧导体 35a 在径向线缝隙天线 30 的一侧呈圆锥形,高效率地向径向线缝隙天线 30 传播微波。同轴波导管 35 使由微波供给装置 36 产生的例如 2.45GHz 的微波,经过矩形波导管 37a、模式转换器 37、同轴波导管 35、滞波板 31、和径向线缝隙天线 30,传播到透过窗 20。于是,利用该微波能量在透过窗 20 的下面形成电磁场,将由气体导入部 13 供给到处理容器 2 内的处理气体等离子体化,对基座 3 上的晶片 W 进行等离子体处理。在上述微波供给装置 36 中附设有用于接通-断开(ON-OFF)微波的供给的脉冲振荡器 38,通过该脉冲振荡器 38 的动作,能够对微波进行脉冲调制,进行断续地供给。

[0040] 在处理容器 2 的侧壁 5 的上方、上述气体导入部 13 的下方,水平地设置有喷淋板 41。该喷淋板 41 由电介质、例如石英材料构成,在面内均匀地形成有多个透孔 42。由该喷淋板 41,将处理容器 2 内的处理空间分隔为上方处理空间 S1 和下方处理空间 S2。利用该喷淋板 41,能够捕集在上方处理空间 S1 中产生的离子,而仅使自由基通过。由此能够抑制离子损伤。

[0041] 在气体导入部 13 下方的处理容器 2 的内壁表面上,设置有石英衬垫 42,防止在处理容器 2 内产生等离子体时,处理容器 2 的内壁表面由于溅射而发生金属污染。

[0042] 具有上述结构的等离子体处理装置 1 由控制装置 71 控制。控制装置 71 具有中央处理装置 72、支持电路 73、和包含相关的控制软件的存储介质 74。该控制装置 71 例如控制来自气体导入部 13 的气体的供给、停止和流量调整、加热器 14a 的温度调节、排气装置 11 的排气、以及微波供给装置 36、脉冲振荡器 38 等,对在等离子体处理装置 1 中实施等离子体处理的各工序进行必要的控制。

[0043] 控制装置 71 的中央处理装置 72 可以使用通用计算机的处理器。存储介质 74 例如可以使用以 RAM、ROM、软盘、硬盘为首的各种形式的存储介质。另外,支持电路 73 用于利用各种方法支持处理器,与中央处理装置 72 连接。

[0044] 等离子体处理装置 1 具有以上的结构,例如在对通过热氧化处理或等离子体氧化处理而在表面形成硅氧化膜的晶片 W,进行等离子体氮化处理时,将晶片 W 载置在处理容器 2 内的基座 3 上,从气体导入部 13 例如以 1000/40sccm 的流量向处理容器 2 内供给规定的处理气体、例如 Ar/N₂ 的混合气体,同时通过从排气管 12 进行排气,使处理空间 S 内成为规定压力,例如 1.3Pa ~ 133.3Pa,优选为 6.7Pa ~ 126.6Pa。在此为 6.7Pa。由微波供给装置 36 产生高频的微波,通过由脉冲振荡器 38 进行的调制,断续地供给微波,经过同轴波导管 35、滞波板 31,使微波均匀地向径向线缝隙天线 30 传播。此时的微波的功率,平均为 800W,重复周期为 ON:50 μs、OFF:50 μs。由此,从径向线缝隙天线 30 的狭缝 33 断续地向透过窗 20 供给电磁波。

[0045] 由此,在透过窗 20 的下面形成电磁场,在上方处理空间 S1 中,上述处理气体被等离子体化。于是,氮自由基通过喷淋板 41 的透孔 42,被均匀地供给到晶片 W 的表面,对氧化膜进行氮化处理。此时的等离子体的密度为 $1 \times 10^{10} \sim 5 \times 10^{12}/\text{cm}^3$,等离子体的电子温度被

控制得低至 $0.1 \sim 1\text{eV}$, 所以能够在高密度下降低离子的能量, 从而能够进行低损伤的等离子体处理。

[0046] 此时, 由于微波的供给断续地进行, 所以平均的氮离子照射能量降低, 同时在供给 OFF 时间内, 晶片 W 的表面温度下降, 氧化膜的氮化种的扩散速度下降, 从而可进行损伤小的等离子体氮化处理。而且, 在上述等离子体处理装置 1 中, 由于通过喷淋板 41 进行等离子体氮化处理, 所以高能离子的直接照射被喷淋板 41 遮蔽, 因此, 从这一点看, 也可对晶片 W 的氧化膜进行损伤小的等离子体氮化处理。

[0047] 微波断续供给的 ON 时间, 每一个周期优选为 $5 \sim 100 \mu\text{s}$ 。另外, 微波的供给、停止的重复周期优选为 $5\text{kHz} \sim 100\text{kHz}$ 。另外, 断续供给的微波供给的 ON 时间与 OFF 时间的比优选为 $0.10 \sim 5 : 1$, 即将被供给的微波看成脉冲状波形时, ON 占空比优选为 $9 \sim 90\%$ 。更优选为 $30 \sim 83\%$, 进一步优选为 50% 。

[0048] 这样等离子体氮化处理后的晶片 W, 可以接着进行退火处理。退火处理可以使用各种退火装置, 例如可以使用图 2 所示的灯退火方式的退火装置 51。

[0049] 该退火装置 51 中, 在处理容器 52 的内部上方, 水平地架设有透明的石英板 53, 在盖部 54 与石英板 53 之间的空间中, 例如配置有灯 54 作为加热源。处理容器 52 的底部, 形成有与真空排气装置 (未图示) 相通的排气口 55。在处理容器 2 的侧壁上石英板 53 的下方, 设置有气体供给口 56。晶片 W 被载置于设置在处理容器 2 底部的支撑销 57 上。

[0050] 在该退火装置 51 中, 对等离子体氮化处理后的晶片 W 进行退火处理。作为处理条件, 例如从气体供给口 56 供给 N_2/O_2 的混合气体, 而且将处理容器 2 内减压至例如 133Pa (1Torr) 左右, 将晶片 W 加热到 1000°C 左右。此外, 作为处理气体, 除了上述之外, 例如可以是至少含有氧的气体, 为了降低氧的分压, 例如可以用氮气进行稀释。还可以添加氨、氢后使用。在这样的加热条件下, 对晶片 W 进行例如 $1 \sim 30$ 秒、更优选为 $5 \sim 10$ 秒的弱退火处理。与以往的氮化处理后的退火处理相比, 优选这样的减压气氛中的短时间的退火处理。由此, 氧氮化膜的厚度不怎么增大, 而使氧氮化膜的膜质, 即 NBTI 耐性、ON 电流特性进一步提高, 同时能够使等离子体处理后的氧氮化膜中和界面的损伤恢复。

[0051] 利用上述实施例的等离子体处理方法, 对形成例如 P-MOSFET 的栅极绝缘膜时的效果进行说明。图 3 概略地表示 P-MOSFET 61 的结构, 在 N 型半导体基板 62 上分别形成 P 型半导体 63、64, 分别引出漏极电极 67、源极电极 68。在它们之间形成栅极绝缘膜 65, 在栅极绝缘膜上形成栅极电极 66, 进而形成栅极引出电极 69。在该栅极绝缘膜 65 中采用上述等离子体氮化处理后的氧氮化膜。此外, N-MOSFET 通过相反地形成 N 型半导体基板 62 和 P 型半导体 63、64 而构成。

[0052] 在栅极绝缘膜 65 中采用利用本实施方式进行等离子体氮化后的氧氮化膜的情况下, 在栅极绝缘膜 65 与 N 型半导体基板 62 的界面侧, 氮的浓度与以往的等离子体氮化处理后的氧氮化膜相比, 得到了抑制, 其结果 NBTI 耐性提高。接着, 与其它特性一起, 对此进一步详细说明。

[0053] 图 4 分别表示在氧化膜换算膜厚与漏电流的关系中, 对氧化膜 (X) 实施“以往的等离子体氮化处理” (Y) 和“以往的等离子体氮化处理 + 以前的退火处理” (Z) 的情况; 以及对其实施本实施方式的处理、即“由断续供给微波进行的等离子体氮化处理” (A) 和“由断续供给微波进行的等离子体氮化处理 + 本发明的退火处理 (弱退火处理)” (B) 的情况。

[0054] 根据图 4 所示的 N-MOSFET, 与“以往的等离子体氮化处理”(Y) 相比, 实施方式的“由断续供给微波进行的等离子体氮化处理”(A) 可实现栅极绝缘膜间的漏电流进一步降低, 而且膜的厚度薄。而且, 在进一步对其实施退火处理的情况下, “以往的等离子体氮化处理 + 以前的退火处理”(Z), 虽然确实降低了漏电流, 但膜厚增大相当大, 高速动作性恶化。与此相对, “由断续供给微波进行的等离子体氮化处理 + 本发明的退火处理(弱退火处理)”(B), 虽然漏电流值本身比以往型稍微恶化, 但膜厚的增大很少, 可确保高速动作性。

[0055] 接着, 对氧化膜换算膜厚与源极 - 漏极间的 N-MOSFET 的 ON 电流特性进行研究, 如图 5 所示, 实施方式的“由断续供给微波进行的等离子体氮化处理”(A) 和“由断续供给微波进行的等离子体氮化处理 + 本发明的退火处理(弱退火处理)”(B) 的任何一种情况, 都得到比以往高的 ON 电流值。

[0056] 此外, 在图 5 中, (C) 表示在等离子体处理装置 1 中, 使用除去喷淋板 41 的图 6 的等离子体处理装置 81, 利用同样的断续供给的微波进行等离子体氮化处理的情况。即, 图 6 的等离子体处理装置 81, 具有将图 1 所示的等离子体处理装置 81 中的喷淋板 41 除去的结构, 其它的结构都与图 1 的等离子体处理装置 1 的结构相同。

[0057] 根据图 5 所示的结果可知, 在进行等离子体氮化处理时, 由图 1 所示的具有喷淋板 41 的等离子体处理装置 1 进行等离子体氮化处理的一方, 能够得到更高的 MOSFET 的 ON 电流。这可认为是喷淋板 41 对入射离子量的降低效果以及与由微波的断续供给引起的电子温度下降相伴的入射离子能量进一步降低的效果协同作用, 进而得到了良好的效果。

[0058] 接着, 对 N-MOSFET 的 ON 电流和 NBTI (施加负电压高温应力时的可靠性: 例如阈值电压偏移量、ON 电流值超出允许范围之前的寿命或它们的偏移量、劣化程度成为指标) 耐性进行研究。如图 7 所示, 实施方式的等离子体氮化处理, 可得到非常高的 NBTI 耐性。另外, (D) 表示对于在上述等离子体氮化处理后进行的退火处理, 实施以往的“强退火处理”来取代“弱退火处理”的情况, 如果进行本发明的等离子体氮化处理, 则即使在其后实施以往的强退火处理, 依然显示出比以往高的 NBTI 耐性。

[0059] 接着, 使用上述等离子体处理装置 1, 改变各种等离子体条件, 对构成 P-MOSFET 的栅极绝缘膜的氧化膜进行等离子体氮化处理, 以具有由此形成的氧氮化膜的 PMOS 的 ON 电流特性为横轴, 以 NBTI 耐性为纵轴, 将其结果示于图 8。此时的等离子体氮化条件如下。

[0060] 基底氧化膜的膜厚为 1.0nm, 处理容器内的压力为 50mTorr (6.65Pa), 功率为 1500W。另外, 进行等离子体氮化处理时的气体, 氩气 / 氮气的流量比为 1000sccm/40sccm。等离子体氮化处理时间取 5、10、20、40 秒, 其时栅极氧化膜中氮的浓度分别为 5 原子%、9 原子%、11 原子%、15 原子%。

[0061] 在图 8 中, 各脉冲条件为:

[0062] 脉冲条件 1: ON 时间 / OFF 时间为 50 μ S / 50 μ S (ON 占空比 50%, 重复周期 10kHz);

[0063] 脉冲条件 2: ON 时间 / OFF 时间为 50 μ S / 10 μ S (ON 占空比 83%, 重复周期 17kHz);

[0064] 脉冲条件 3: ON 时间 / OFF 时间为 10 μ S / 10 μ S (ON 占空比 50%, 重复周期 50kHz);

[0065] 脉冲条件 4: ON 时间 / OFF 时间为 200 μ S / 500 μ S (ON 占空比 29%, 重复周期 1kHz)。

[0066] 此外, 在图中, CW 表示连续波的情况。

[0067] 由此可以确认, 脉冲条件 4 的情况与连续波没有差别, 但随着从脉冲条件 3 变化至脉冲条件 1, PMOS 的 ON 电流特性与 NBTI 耐性均提高。即, 能够确认: 在以往的连续波中,

ON 电流特性与 NBTI 耐性有负相关的关系,改变膜中的氮浓度使任一方提高时,另一方则下降,但通过像本实施例那样改变 ON 时间 /OFF 时间 (占空比和重复周期),能够使 ON 电流特性与 NBTI 耐性同时提高。即,膜中的氮浓度为 5 原子%时, NBTI 耐性提高得更高,该趋势与氮浓度为 9 原子%时的趋势大致相同。氮浓度为 11 原子%时,能够使 NBTI 耐性与 ON 电流特性双方提高大致相同程度,氮浓度为 15 原子%时,能够使 ON 电流特性进一步提高。氮的浓度并不限于该范围,优选的范围为 1 ~ 20 原子%,更优选为 5 ~ 15 原子%,进一步优选为 9 ~ 13 原子%。无论是哪个范围,都能够使 ON 电流特性与 NBTI 耐性双方比以往提高。

[0068] 另外,对使用等离子体处理装置 1 的等离子体氮化处理的工序的一个例子进行说明。

[0069] 首先,将表面形成有氧化膜的晶片 W 搬入处理容器 2 内,将晶片 W 载置在基座上。然后,例如以 2000sccm 的流量向处理容器 2 内供给 Ar 气体,同时利用排气装置 11 对处理容器 2 内的气氛进行排气,将处理容器 2 内的压力维持在 126.66Pa 的减压度。此时利用加热器 4a 将晶片 W 加热到例如 400℃。通过这样事先对晶片 W 充分加热、而且对处理容器 2 内进行减压,能够有效地除去晶片 W 上附着的水分,而且,由于一边供给 Ar 气体一边对处理容器 2 内进行排气,所以能够对从上述晶片 W 除去的水分和处理容器 2 内的残留气氛进行有效地吹扫。由此,在等离子体氮化处理时,能够将 N 原子均匀且有效地导入到基板上。这样的所谓预热工序,例如进行 70 秒。

[0070] 接着,进行等离子体点火工序。此时,例如以 2000sccm 的流量向处理容器 2 内继续供给 Ar 气体,将处理容器 2 内的压力维持在 126.66Pa 的减压度。这样,通过将处理容器 2 内的压力设定得比本来的等离子体氮化处理时的压力高,所谓的等离子体点火变得容易。此外,等离子体点火时微波供给装置 36 的输出为 2000W,这样的等离子体点火工序进行例如 5 秒。

[0071] 接着,为了使等离子体氮化处理稳定,进一步对处理容器 2 内进行减压,使其压力成为 6.7Pa。此时 Ar 气体的供给流量降低为 1000sccm,微波供给装置 36 的输出降低为 1500W,处理容器 2 内的压力和微波供给装置 36 的输出都被设定为等离子体氮化处理时的压力和输出。这样的所谓准备、调整工序,进行例如 5 秒。

[0072] 接着,在分别将处理容器 2 内的压力维持为 6.7Pa、将微波供给装置 36 的输出维持为 1500W、将 Ar 气体的供给流量维持为 1000sccm 的状态下,例如以 40sccm 的流量向处理容器 2 内供给氮气,对晶片 W 的氧化膜进行等离子体氮化处理。该等离子体氮化处理的时间,例如为 5 ~ 40 秒。

[0073] 规定的等离子体氮化处理结束时,停止微波供给装置 36,使等离子体消失(所谓的等离子体 OFF)。此时,氮气维持 40sccm 的供给流量、Ar 气体维持 1000sccm 的供给流量,处理容器 2 内的压力还被维持在 6.7Pa。这样的等离子体消失的工序,进行例如 3 秒。

[0074] 接着,停止氮气、Ar 气体的供给,例如将处理容器内的压力提高至和与等离子体处理装置 1 连接的负载锁定室等预备室相同的压力之后,将晶片 W 从处理容器 2 搬出。

[0075] 通过以这样的工序进行等离子体氮化处理,能够在低等离子体损伤下,均匀地将氮导入氧化膜表面侧,能够提高 NBTI 耐性和 ON 电流特性。

[0076] 在以上的等离子体处理中,使用利用平面天线的微波等离子体作为等离子体源,

但也可以应用平行平板型（电容型）等离子体、感应耦合型等离子体（ICP）、ECR 等离子体、表面波等离子体、磁控管型等离子体等作为其它的等离子体源。

[0077] 产业上的可利用性

[0078] 本发明能够减薄半导体器件的绝缘膜而不增大漏电流，对动作速度高的半导体器件的制造特别有用。

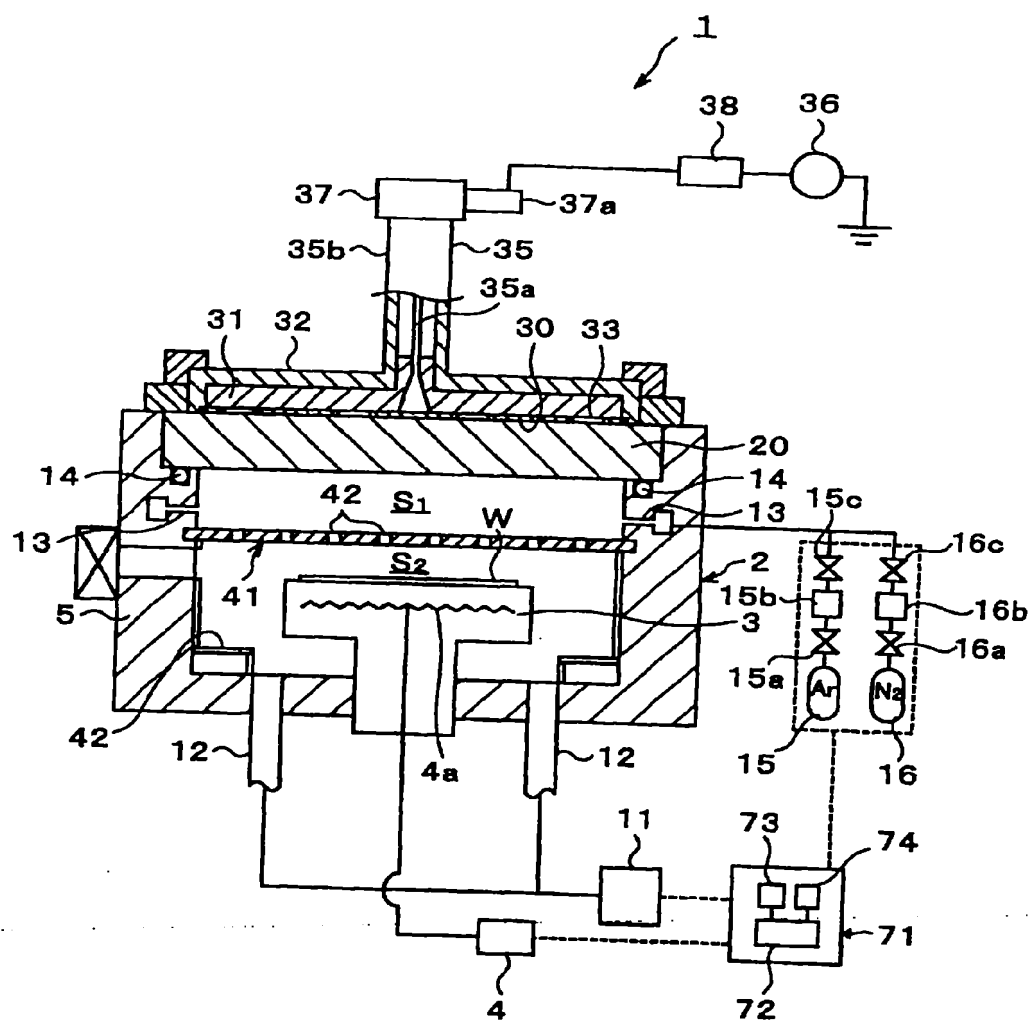


图1

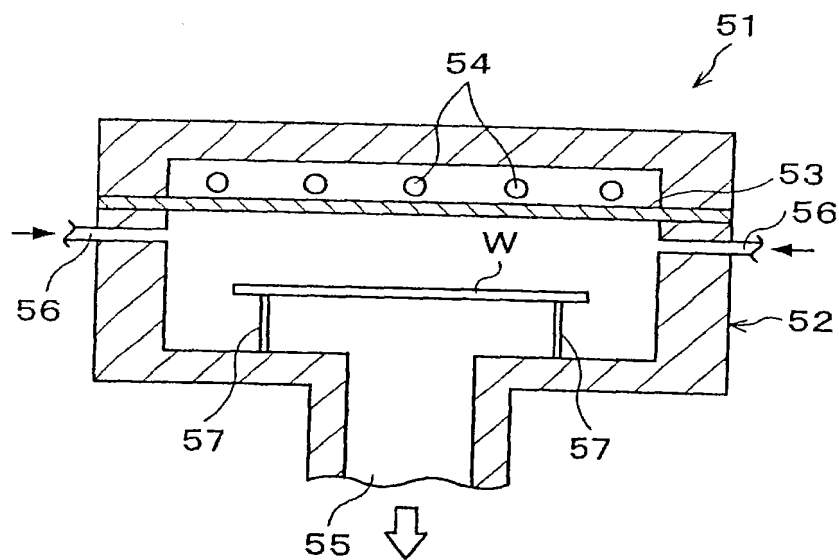


图2

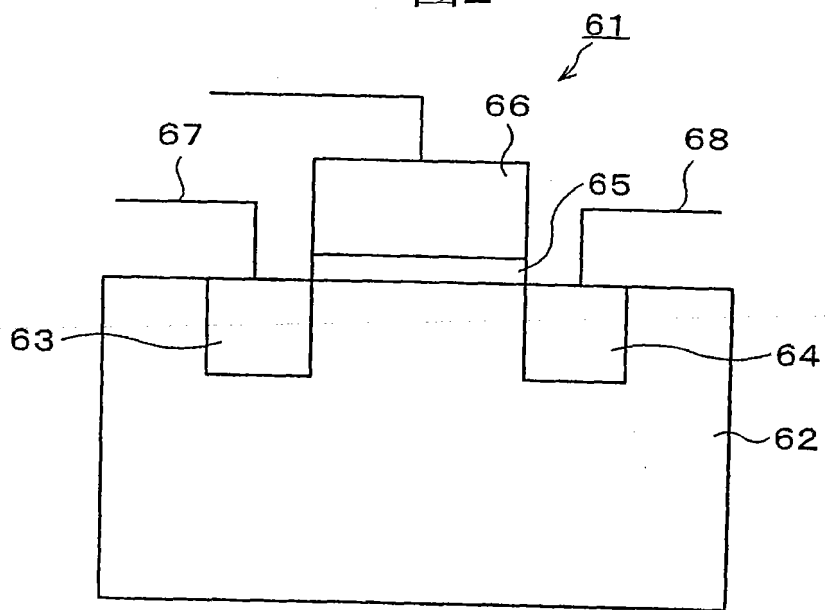


图3

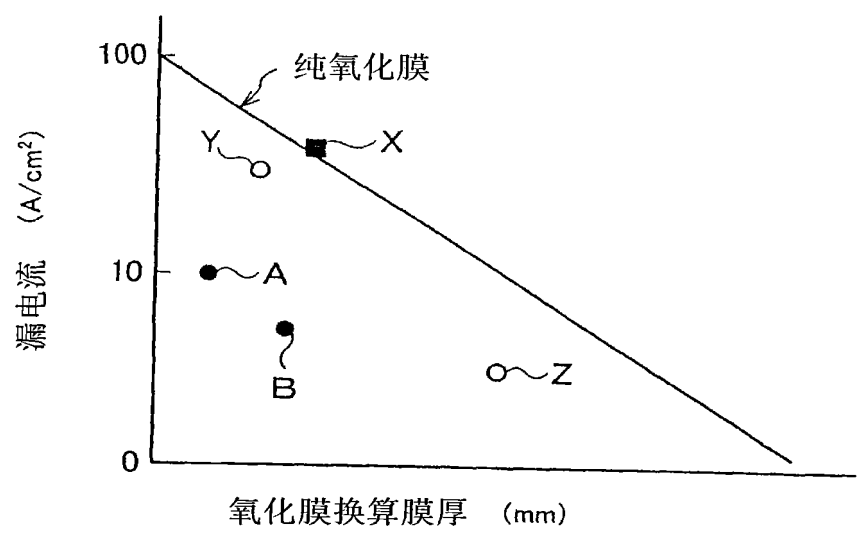


图4

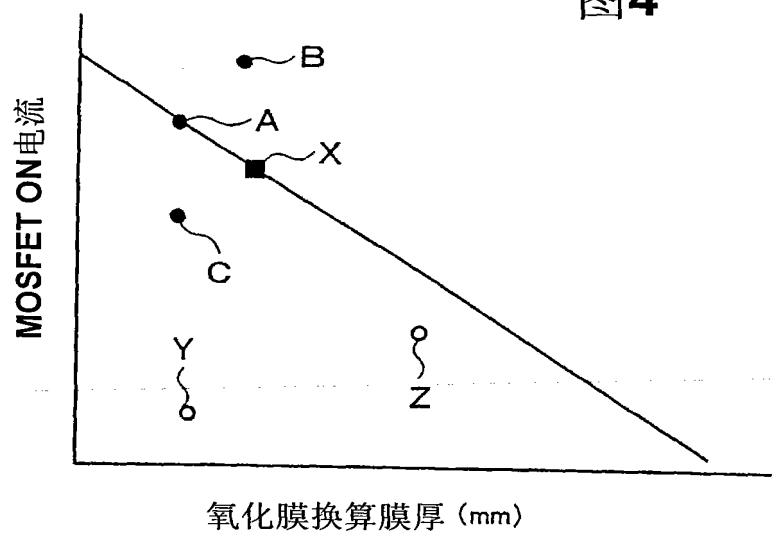


图5

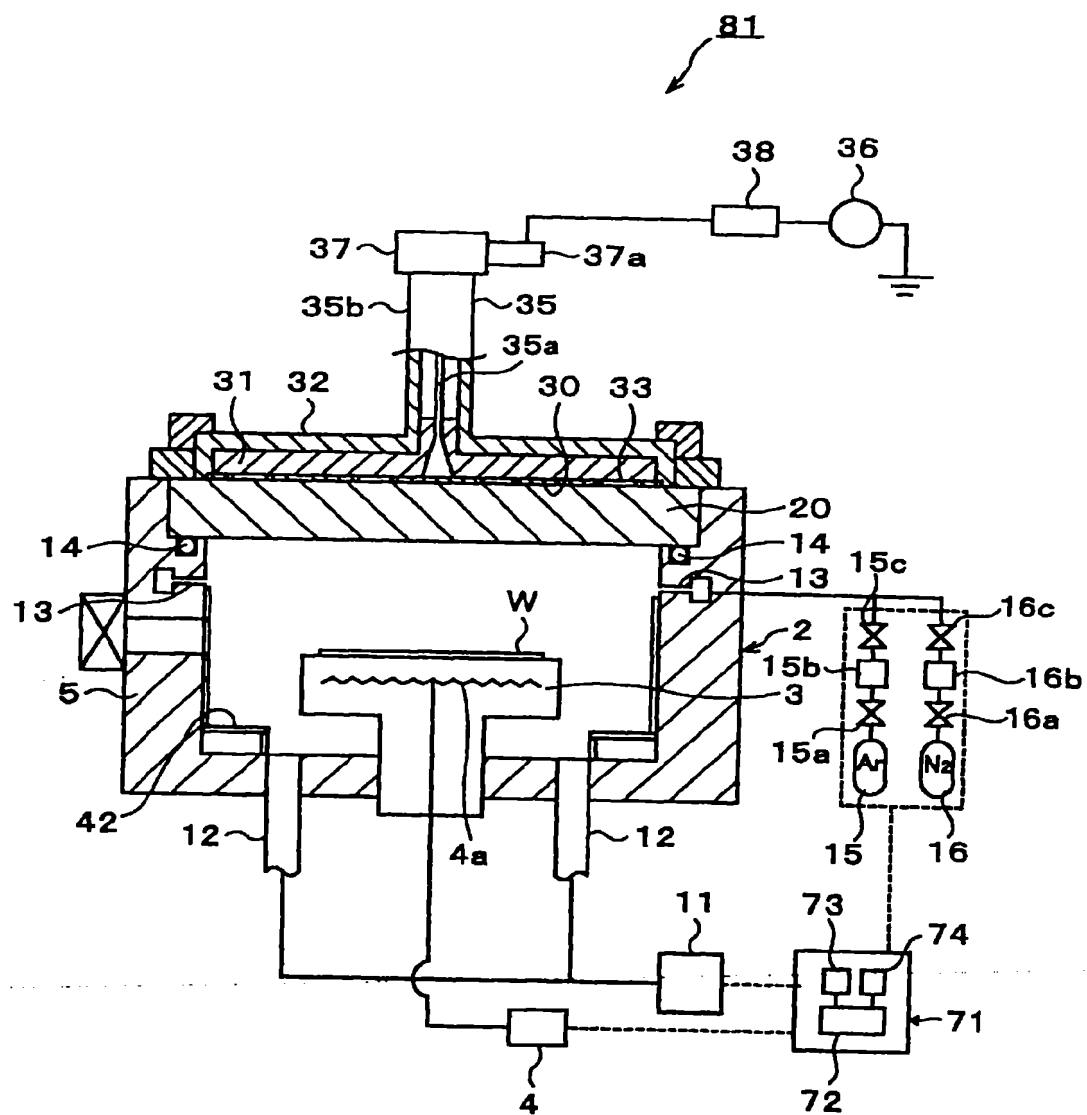


图6

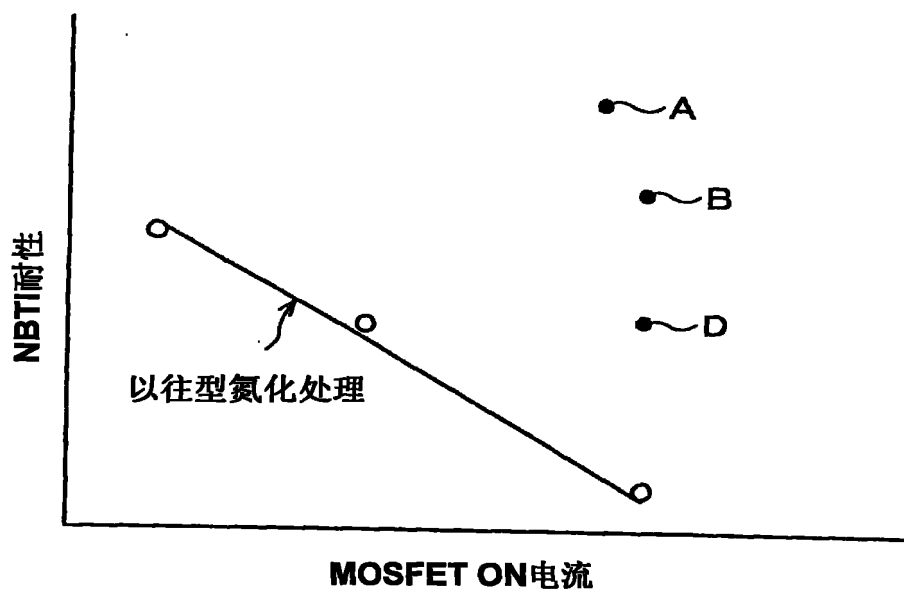


图7

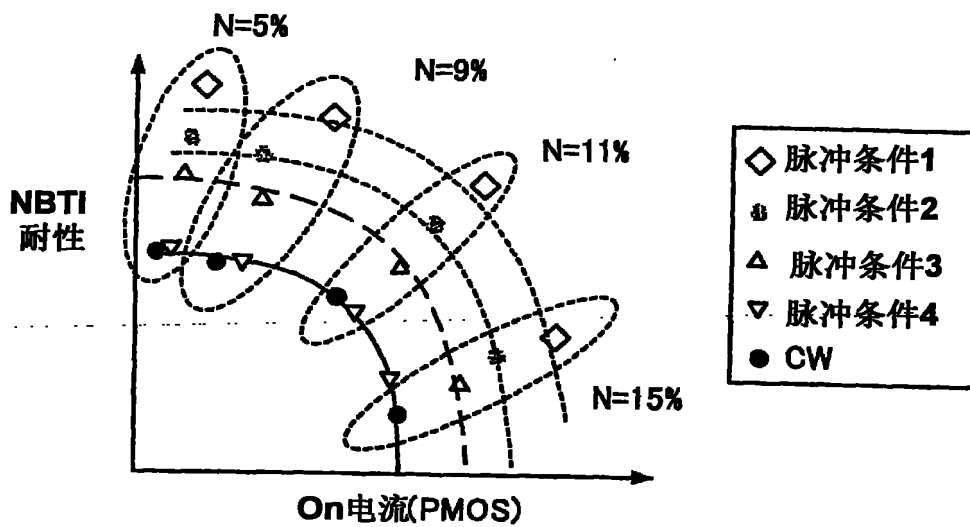


图8