

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01L 21/304 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480012603.8

[45] 授权公告日 2008 年 8 月 13 日

[11] 授权公告号 CN 100411110C

[22] 申请日 2004.5.11

[21] 申请号 200480012603.8

[30] 优先权

[32] 2003.5.12 [33] KR [31] 10-2003-0029678

[86] 国际申请 PCT/JP2004/006595 2004.5.11

[87] 国际公布 WO2004/100243 日 2004.11.18

[85] 进入国家阶段日期 2005.11.9

[73] 专利权人 株式会社上睦可

地址 日本东京都

共同专利权人 学校法人汉阳学院

[72] 发明人 朴在勤 加藤健夫 李元模 姜贤求

金成准 白云揆

[56] 参考文献

JP2003-59868A 2003.2.28

JP2003-7660A 2003.1.10

US6443811B1 2003.9.3

JP2002-212545A 2002.7.31

JP2003-17445A 2003.1.17

审查员 朱永全

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 孙秀武 邹雪梅

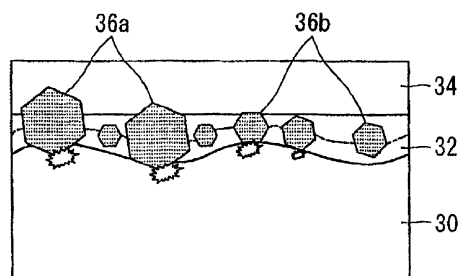
权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图 9 页

[54] 发明名称

能够补偿纳米形貌效应的化学机械抛光用浆液组合物、以及利用其的半导体元件的表面平坦化方法

[57] 摘要

本发明公开了可补偿在晶片表面形成的纳米形貌效应的化学机械抛光用浆液组合物以及利用其的半导体元件的表面平坦化方法。本发明的浆液组合物,在对晶片表面形成的氧化物层进行机械化学机械抛光的工序时,在用于补偿纳米形貌效应的化学机械抛光用浆液组合物中,含有抛光粒子和添加剂,为了在上述化学机械抛光工序后将上述氧化物层的厚度偏差(OTD)控制在一定水平以下,上述抛光粒子的尺寸和上述添加剂的浓度最优化为一定的范围内。



1. 化学机械抛光用浆液组合物，其是在对晶片表面形成的氧化物层进行化学机械研磨工序时，用于补偿纳米形貌效应的化学机械抛光用浆液组合物，其中含有抛光粒子、分散剂和阴离子性有机添加剂，为了在上述化学机械抛光工序后将上述氧化物层的厚度偏差控制在一定水平以下，将上述抛光粒子的尺寸调整到 2nm~1000nm 的范围内，将上述阴离子性有机添加剂的浓度调整到 0.05-0.8 重量%。

2. 半导体元件的表面平坦化方法，其具有下述阶段：准备表面上形成有具备一定高度和波长的纳米形貌的晶片的阶段、在上述晶片上将氧化物层蒸镀至预定厚度的阶段、以及通过化学机械抛光工序而除去上述氧化物层使表面平坦化的阶段；其中在上述化学机械抛光工序中，使用含有抛光粒子、分散剂和阴离子性有机添加剂的浆液组合物，为了在上述化学机械抛光工序后将上述氧化物层的厚度偏差控制在一定水平以下，将上述抛光粒子的尺寸调整到了 2nm~1000nm 的范围内，将上述阴离子性有机添加剂的浓度调整到了 0.05-0.8 重量%。

3. 权利要求 2 所述的半导体元件的表面平坦化方法，其中在准备上述晶片的阶段，上述晶片为裸晶片。

4. 权利要求 2 所述的半导体元件的表面平坦化方法，其中在准备上述晶片的阶段，在上述晶片的表面形成氮化物层并形成沟槽。

能够补偿纳米形貌效应的化学机械抛光用浆液组合物、以及 利用其的半导体元件的表面平坦化方法

技术领域

本发明涉及化学机械抛光用浆液组合物，更详细地说，涉及能够补偿在晶片表面形成的纳米形貌(nanotopography)效应的浆液组合物、以及利用其的半导体元件的表面平坦化方法。

本申请对 2003 年 5 月 12 日申请的韩国专利 10-2003-0029678 号要求优先权，在此援引其内容。

背景技术

化学机械抛光(Chemical Mechanical Polishing; CMP)是通过存在于加压后的晶片和抛光衬垫之间的抛光剂而进行的机械加工、与通过浆液的化学药品而进行的化学蚀刻同时进行的半导体加工技术的领域之一，在亚微尺寸的半导体芯片的制造中，为全面平坦化(Global Planarization)技术的必需工序。

图 1 至图 3 为用于说明通过化学机械抛光工序而进行的通常的半导体元件的表面平坦化方法的工序剖面图，用于说明 STI(Shallow Trench Isolation)工序的工序剖面图。

参照图 1 可知，例如在硅单晶构成的衬底(10)上，形成由硅氧化物(SiO_2)构成的衬垫氧化物层(12)和由硅氮化物(Si_3N_4)构成的氮化物层(14)后，形成划定用于电分离元件活性区域的沟槽区域(16)的光致抗蚀剂图形(未给出图示)，将其作为蚀刻掩模对上述氮化物层(14)进行蚀刻，将其作为蚀刻掩模仅以规定的深度对上述衬垫氧化物层(12)和衬底(10)进行蚀刻，形成沟槽区域(16)。接着，对上述沟槽区域(16)进行填隙(gap fill)，蒸镀由硅氧化物构成的氧化物层(18a)，使其距离上述氮化物层(14)的表面一定高度以上。

接着，参照图 2 可知，对于上述氧化物层(18a)，使用二氧化硅浆液组合物，实施 1 次化学机械抛光工序。之所以使用二氧化硅类浆液，是因为二氧化硅浆液的抛光剂通常比二氧化铈浆液的抛光

剂小，对于表面存在凹凸部分的氧化物层（18a）而言，抛光效率高的缘故。

接着，参照图3可知，到氮化物层（14）的表面露出为止，对于图2中在氮化物层（14）上残留的氧化物层（18a），进行了2次化学机械抛光工序，实现了使得仅在沟槽区域（16）内填埋氧化物层（18c）的全面平坦化。

另一方面，在上述CMP工序的情况下，当衬底（10）的表面并非在整个晶片范围内都平坦，在整个晶片范围内沟槽区域（16）的密度不同时，存在不能实现充分的全面平坦化的问题。

图4a是为了说明纳米形貌，表示CMP工序前的半导体衬底的表面的剖面图，图4b是显示在CMP工序前的半导体衬底上形成的氧化物层的厚度的示意图，图5a是显示对于图4a的半导体衬底进行了CMP工序后的半导体衬底的表面的剖面图，图5b是显示在CMP工序后的半导体衬底上形成的氧化物层的厚度的示意图。

参照图4a可知，在由构成晶片的单晶硅构成的衬底（20）上，蒸镀了具备一定厚度的氧化物层（22）。图4a虽然是相当程度上夸大的表现，但在衬底（20）的表面存在着具备一定波长的波形和具备一定高度的偏差的所谓“纳米形貌（nano-topography）”。纳米形貌通常定义为具有0.2~20mm的波长（L）、具有20~80nm高度的偏差（H）。另一方面，蒸镀在衬底（20）的表面上的氧化物层（22），由于受到衬底（20）的表面存在的纳米形貌的影响，在其表面上也会形成具有一定波长的弯曲。

如图4b所示，即使由于受到衬底（20）的表面存在的纳米形貌的影响而在氧化物层（22）的表面也形成了一定的弯曲，该蒸镀的氧化物层（22）的厚度，在衬底（20）的整个表面上也是一样的。

对图4a的衬底（20）进行作为全面平坦化工序的CMP工序的话，该剖面的形状，如图5a所示，尽管表面变得平坦，但由图5a仅对抛光后的氧化物层（22a）的厚度进行图示的话，如图5b所示，随距离不同，氧化物层（22a）发生严重的厚度偏差。即，在整个晶片范围内，以均匀的速度对与抛光装置的抛光衬垫相接触的衬底的表面进行抛光，因此衬底（20）的表面上存在于谷区域（valley region）的氧化物层（22a），像“A”处一样，被过小抛光（under polishing），

残存比较厚，而存在于峰区域（peak region）的氧化物层（22a），像“B”处一样，被过度抛光（over polishing），残存比较薄。在附图中，“Y3”显示了抛光后的氧化物层（22a）的平均厚度。

因此，即使进行了作为全面平坦化工序的 CMP 工序，由于衬底（20）的表面存在的纳米形貌效应，也不能使得氧化物层（22a）的厚度变得均匀。这样的事实，在必须在整个衬底（20）的范围内维持一定的厚度的情况下，例如在作为半导体存储装置的 DRAM 中，作为 MOS 晶体管的栅极绝缘膜的氧化物层的厚度，在整个晶片衬底的范围内不均匀的情况下，成为导致各 MOS 晶体管的入口电压值不同，从而诱发半导体元件的误操作等的导致元件的可靠性降低的要因。

另一方面，在形成了上述图 3 的沟槽区域（16）的半导体衬底（10）的情况下，形成了沟槽区域（16）的部分位于纳米形貌的谷区域时，被过小抛光，在氮化物层（14）上也原封不动地残存了氧化物层（18c），而位于峰区域时，有时被过度抛光，氮化物层（14）的相当一部分被抛光除去，因此存在 CMP 工序的工艺余量很小的问题。

发明内容

本发明的目的在于解决上述以往技术中的问题点，提供可最大程度补偿存在于晶片表面的纳米形貌（Nanotopography）效应的化学机械抛光用浆液组合物。

本发明的另一目的在于提供使用上述本发明的浆液组合物使得半导体元件的表面平坦化的方法。

为了达到上述本发明的目的，本发明中的化学机械抛光用浆液组合物为在对晶片表面形成的氧化物层进行化学机械抛光工序时，用于补偿纳米形貌效应的化学机械抛光用浆液组合物，其中含有抛光粒子和添加剂，为了在上述化学机械抛光工序后将上述氧化物层的厚度偏差（OTD）控制在一定水平以下，将上述抛光粒子的尺寸和上述添加剂的浓度调整到一定的范围内。

优选将上述抛光粒子的尺寸调整到 2nm~1000nm 的范围内，并且将上述添加剂的浓度调整到 10 重量%以下。

另一方面,用于实现本发明的另一目的的本发明的半导体元件的表面平坦化方法,具备准备表面上形成有一定的高度和波长的纳米形貌的晶片的阶段、进行蒸镀以使得氧化物层在上述晶片上变成规定厚度的阶段、以及通过化学机械抛光工序而除去上述氧化物层使得表面平坦化的阶段,其中在上述化学机械抛光工序中,含有抛光粒子和添加剂,为了在上述化学机械抛光工序后将上述氧化物层的厚度偏差(OTD)控制在一定水平以下,使用将上述抛光粒子的尺寸和上述添加剂的浓度调整到一定的范围内的浆液组合物。

在准备上述晶片的阶段,上述晶片有时为裸(bare)晶片,上述晶片的表面有时形成氮化物层、形成沟槽。

根据本发明,在浆液组合物中,例如通过在一定的控制范围内添加添加剂,在提高相对于氮化物层的氧化物层的抛光速度选择比的同时,还能将抛光粒子的尺寸调整到一定的范围内,补偿半导体晶片的表面存在的纳米形貌效应,减少CMP工序后氧化物层的厚度偏差。

附图简述

图1为用于说明通过化学机械抛光(CMP)进行的通常的半导体元件的表面平坦化方法的工序剖面图。

图2为用于说明通过化学机械抛光(CMP)进行的通常的半导体元件的表面平坦化方法的工序剖面图。

图3为用于说明通过化学机械抛光(CMP)进行的通常的半导体元件的表面平坦化方法的工序剖面图。

图4a为用于说明纳米形貌的CMP工序前的半导体衬底的表面的剖面图。

图4b为CMP工序前的半导体衬底上形成的氧化膜的厚度的示意图。

图5a为对图4a的半导体衬底进行了CMP工序后的半导体衬底的表面的剖面图。

图5b为CMP工序后的半导体衬底上形成的氧化膜的厚度的示意图。

图6为显示相对于半导体晶片的纳米形貌的高度的图的平面

图，其中该半导体晶片是出于应用本发明的实施例的目的而准备的。

图 7 表示沿着图 6 的横向而测定的纳米形貌的高度的曲线图。

图 8 为随应用本发明的实施例而使用的添加剂浓度，抛光时间与除去速度之间的关系的曲线图。

图 9a 为相对于本发明的实施例中的浆液 A，添加剂浓度为 0 重量%时，纳米形貌的高度与 OTD (Oxide Thickness Deviation) 的曲线图。

图 9b 为相对于本发明的实施例中的浆液 A，添加剂浓度为 0.2 重量%时，纳米形貌的高度与 OTD 的曲线图。

图 9c 为相对于本发明的实施例中的浆液 A，添加剂浓度为 0.8 重量%时，纳米形貌的高度与 OTD 的曲线图。

图 10a 为相对于本发明的实施例中的浆液 B，添加剂浓度为 0 重量%时，纳米形貌的高度与 OTD 的曲线图。

图 10b 为相对于本发明的实施例中的浆液 B，添加剂浓度为 0.2 重量%时，纳米形貌的高度与 OTD 的曲线图。

图 10c 为相对于本发明的实施例中的浆液 B，添加剂浓度为 0.8 重量%时，纳米形貌的高度与 OTD 的曲线图。

图 11a 为相对于本发明的实施例中的浆液 C，添加剂浓度为 0 重量%时，纳米形貌的高度与 OTD 的曲线图。

图 11b 为相对于本发明的实施例中的浆液 C，添加剂浓度为 0.2 重量%时，纳米形貌的高度与 OTD 的曲线图。

图 11c 为相对于本发明的实施例中的浆液 C，添加剂浓度为 0.8 重量%时，纳米形貌的高度与 OTD 的曲线图。

图 12 为对本发明的各实施例中不同的浆液的添加剂浓度下的 OTD 的 Rms 值进行比较的棒图。

图 13 为用于说明在本发明的实施例中抛光粒子的尺寸的影响的示意图。

具体实施方式

以下，边参照附上的各个附图，边对本发明的各个优选实施例进行详细说明。各个实施例并不是用来限定本发明的，而仅仅是作为

本发明的具体实施例，为使本领域技术人员能够容易地理解本发明的思想而进行的简单例示。

本发明的发明人对 CMP 用浆液中，添加剂的浓度和抛光粒子的尺寸对纳米形貌效应的影响进行了试验和测定。在半导体元件的表面平坦化方法中代表性采用的 STI (Shallow Trench Isolation) CMP 工序中使用的浆液中，氧化物层和氮化物层之间的除去速度选择比，是决定 STI 工艺余量，最终决定收率的重要因素。与在氧化物层的抛光中广泛使用的二氧化硅浆液相比，二氧化铈具有抛光除去速度的选择比大的优点。

这里，本发明的发明人准备了相对于氮化物层，氧化物层的抛光除去速度的选择比大的化学机械抛光用二氧化铈浆液组合物。准备了使用 3 种相互不同尺寸的高纯度二氧化铈抛光粒子的浆液，对所有的浆液，均采用了以碳酸铈为前体的固相取代反应法 (Solid displacement reaction method)。抛光粒子的尺寸，使用 Colloidal Dynamics 公司的 AcoustoSizer II 进行测定，其结果如表 1 所示。

【表 1】

浆液类型	浆液 A	浆液 B	浆液 C
抛光粒子的尺寸 (nm)	148.0	81.5	71.7

将这样的各抛光粒子分散在去离子水中，为了使得抛光粒子的分散稳定，添加作为商用化分散剂的聚丙烯酸。接着，添加例如聚甲基丙烯酸酯酸 (poly-meta-acrylate-acid) 作为阴离子性有机添加剂，使其变为 0~0.8 重量%。该阴离子性添加剂是为了通过 CMP 抛光除去速度，对相对于氮化物层的氧化物层的选择比进行控制而使用的。最后，用去离子水稀释，使得二氧化铈抛光粒子的固体含量变为 1 重量%。添加碱性剂，使得浆液的氢离子指数变为 7.0。

接着，准备通过单面抛光法而制备的 8“硅裸 (bare) 晶片”。利用化学气相蒸镀法，形成 PETEOS (Plasma Enhanced Tetra-Ethyl-Ortho-Silicate) 膜，使其厚度变为 7000Å，作为氧化物层。用 ADE 公司的纳米测绘仪 (Nano-Mapper)，测定晶片表面的纳米形

貌的高度,该测定结果如图6和图7所示。图6为表示准备的半导体晶片的纳米形貌高度的图的平面图。图7为表示沿着图6的中央的横向测定的纳米形貌高度的曲线图。

图6中相对暗的区域(dark region)与图7中具备相对低的高度的谷区域(valley region)相对应,图6中相对亮的区域(brighter region)与图7中具备相对高的高度的峰区域(peak region)相对应。

接着,对上述氧化物层进行的抛光,使用具备单一抛光衬垫和抛光台板的Strasbaugh 6EC。作为衬垫,使用Rodel公司的IC1000/Suba IV衬垫,作为下压力(Down force)而施加的抛光压力为4psi(磅每平方英寸),背压(backpressure)为0。头和台的旋转速度设定为70rpm,衬垫和晶片之间的相对速度设定为250fpm(英尺每分钟)。浆液流量设定为 $100\text{cm}^3/\text{min}$,在各抛光工序前,使用金刚石砂轮修整机进行异位修整,使用ナノマトリクス(Nanometrics)公司的ナノスペック(Nanospec)180和Sopra公司的スペクトロストピック偏振光椭圆率测量仪对CMP前后的氧化膜层的厚度偏差进行测定。

为了排除抛光深度对纳米形貌效应的影响,对抛光时间进行调整,使得抛光深度为一定($3000\text{\AA}$)。图8为表示随适用于本发明实施例的添加剂浓度变化的抛光时间与除去速度之间的关系的曲线图。由图8可知,由于随着添加剂浓度的增加,氧化物层的抛光除去速度降低,因而为了具有一定的抛光深度,需要相对增加抛光时间。

图9a~图11c是分别对于抛光粒子的尺寸不同的浆液A、浆液B以及浆液C,边改变添加剂的浓度,边测定得到的纳米形貌的高度以及CMP工序后的OTD(Oxide Thickness Deviation)值而进行显示的曲线图。图9a为相对于浆液A,添加剂浓度为0重量%的情况,图9b为相对于浆液A,添加剂浓度为0.2重量%时的情况,图9c为相对于浆液A,添加剂浓度为0.8重量%时的情况。图10a为相对于浆液B,添加剂浓度为0重量%时的情况,图10b为相对于浆液B,添加剂浓度为0.2重量%时的情况,图10c为相对于浆液B,添加剂浓度为0.8重量%时的情况。图11a为相对于浆液C,添加剂浓度为0重量%时的情况,图11b为相对于浆液C,添加剂浓度为0.2重量%时的情况,图11c为相对于浆液C,添加剂浓度为0.8重量%时的

情况。

本实施例中使用的所有晶片中,纳米形貌特性和尺寸可以极为相似。为了除去晶片的弯曲这样的晶片尺寸的要素的影响,通过具有20mm的截止长度的双重高斯型高通滤波器(double-Gaussian high-pass filter),将原始轮廓(raw-profile)过滤。

由图9a~图11c中所有的曲线图可知,晶片的纳米形貌高度的轮廓和OTD轮廓相当一致。另一方面,可知CMP工序后的OTD的尺寸,在抛光粒子的尺寸相对小时(浆液C),随着添加剂的浓度的增加而增加,抛光粒子的尺寸相对大时(浆液A),不太受添加剂的浓度的影响。

因此,可知本实施例中,在抛光粒子的尺寸相对大的浆液A的情况下,尽管添加剂的浓度变化,但仍能得到所有的纳米形貌效应的影响均被补偿的非常均匀且低的OTD,而与之相反,在浆液B和浆液C的情况下,添加剂的浓度为0.8重量%时(图10c、图11c),OTD变得非常大,不能补偿纳米形貌效应。因此可知,在本发明的浆液组合物中,添加剂的浓度和抛光粒子的尺寸与纳米形貌效应的补偿有着非常紧密的关系。

接着,对于具有相互不同的抛光粒子尺寸的浆液A、浆液B、浆液C,测定添加剂浓度变化下的OTD的标准偏差(Rms),分别如下述表2和图12所示。图12为对本发明的各实施例中不同的浆液的添加剂浓度下的OTD的Rms值进行比较的棒图。

【表2】

浆液	添加剂浓度(重量%)					
	0.00(重量%)	0.05	0.10	0.20	0.60	0.80
A	17.4(Å)	17.2	17.5	17.0	18.0	22.6
B	16.5	21.0	15.5	22.9	18.1	46.1
C	12.7	12.9	14.7	17.1	25.3	54.7

由表2和图12可知,浆液A的情况下,OTD的标准偏差几乎不受添加剂浓度的影响,浆液B的情况下,随着添加剂浓度的增加,会受到一些影响,浆液C的情况下,随着添加剂的浓度的增加,受到急剧的影响。由此可知,在小尺寸的抛光粒子的情况下,对于CMP

工序后的 OTD 的纳米形貌效应，添加剂的浓度有很大的影响。

图 13 是为了对本发明的实施例中抛光粒子的尺寸的影响进行说明而模式化的示意图。

参照图 13 可知，作为 CMP 工序的抛光对象物质的氧化物层 (30) 的表面，由于受到形成了氧化物层 (30) 的晶片（未给出图式）表面的纳米形貌的影响，而具有一定波长，形成了峰区域和谷区域。将包含抛光粒子 (36a、36b) 的浆液供给氧化物层 (30) 和抛光衬垫 (34) 之间，进行抛光工序。参照编号“32”，表示的是通过阴离子性添加剂在氧化物层 (30) 的表面形成的添加剂保护层 (32)。

由图 13 可知，在大抛光粒子 (36a) 的情况下，通过添加剂保护层 (32)，不仅在氧化物层 (30) 的峰区域，而且在谷区域，该抛光粒子也与氧化物层 (30) 的表面直接接触，而与此相对，小的抛光粒子 (36b) 的情况下，在谷区域内，该抛光粒子 (36b) 变得不能和氧化物层 (30) 的表面直接接触。因此，在具有相对大的抛光粒子的浆液的情况下，在峰区域和谷区域，所有的抛光工序均顺利进行，即使在 CMP 工序后 OTD 也能维持很小的值，而与此相反，在具有相对小的抛光粒子的浆液的情况下，在峰区域氧化物层 (30) 的抛光虽然良好地进行，但在谷区域，氧化物层 (30) 的抛光不能良好进行，因而 CMP 工序后的 OTD 维持在非常大的值上。

上文对以上的各个实施例进行了详细描述，但本发明在后附的权利要求的技术构思的范围内，可进行多种变更实施。

例如，在本实施例中，记载了表面上没有形成任何图形的裸晶片，如图 3 所示，在形成了沟槽图形的半导体衬底的表面平坦化阶段、或者半导体集成电路的制造工序中进行的各种 CMP 工序，也同样能够适用。

另一方面，在本实施例中，使用了二氧化铈抛光粒子作为抛光粒子，但毋庸置疑，也可以使用二氧化硅类抛光粒子等多种抛光粒子，添加剂也是虽然使用了阴离子性添加剂，但不限于此，可使用阳离子性添加剂等多种添加剂。

另一方面，本实施例中，以相对浆液添加剂的浓度上限为 0.8 重量%进行了实施，但通过适当的最优化，即使到 10 重量%，也能够

实施。但是，添加剂的浓度到达 10 重量%以上的话，抛光除去速度显著降低，因而不优选。对 3 种抛光粒子的尺寸也进行了实验，但是通过适当的最优化，在 2nm~1000nm 的范围内均可实施。但是，抛光粒子的尺寸在 2nm 以下时，几乎无法进行抛光，而 1000nm 以上时，被抛光层的表面上会产生深刻的刮痕，因而不优选。

另一方面，氧化物层的抛光深度被设定为 3000Å 的本实施例中，将 OTD 标准偏差的容许范围控制在 25Å 以下时，由表 2 可知，当相对于浆液 B，添加剂浓度为 0.8 重量%时、相对于浆液 C 添加剂浓度为 0.6 重量%、0.8 重量%时，得到不理想的效果。

此外，除了本实施例种使用的添加剂外，也可以使用多种添加剂，可以通过改变 CMP 工序条件使其与本实施例不同，得到最优化的浆液组合物。

工业实用性

根据本发明，在化学机械抛光用浆液中，通过将浓度控制到一定范围内添加添加剂，将抛光粒子的尺寸控制到一定范围内而使其最优化，能够对半导体晶片的表面存在的纳米形貌效应进行补偿。因此，即使在 CMP 工序后也能得到具备均匀厚度的氧化物层，提高半导体元件的可靠性。

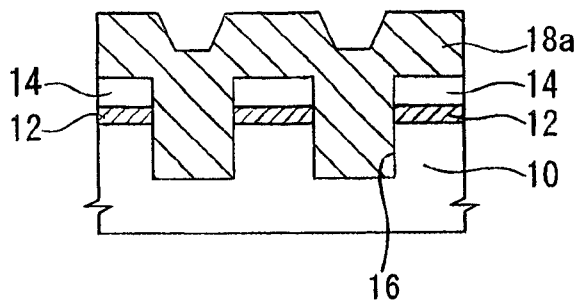


图 1

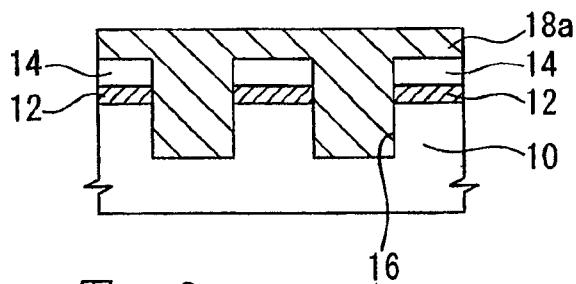


图 2

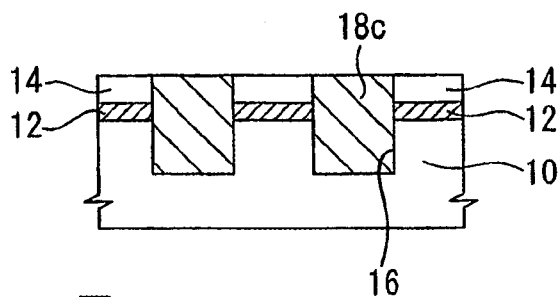


图 3

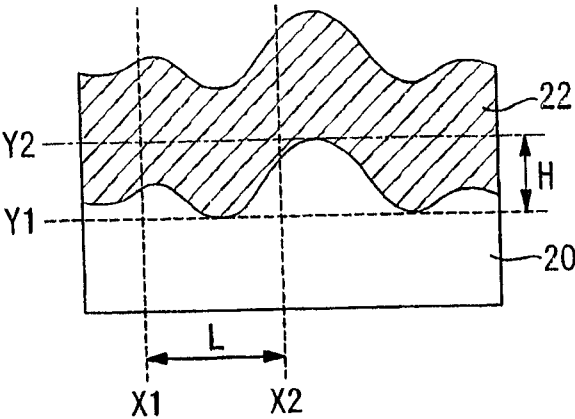


图 4a

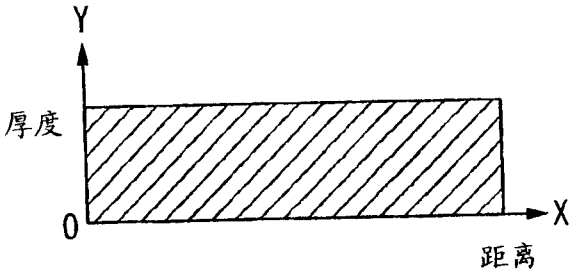


图 4b

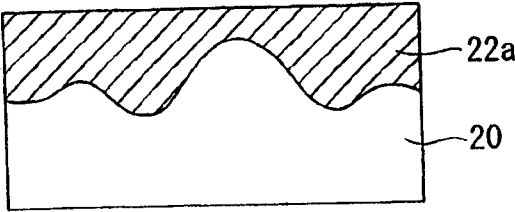


图 5a

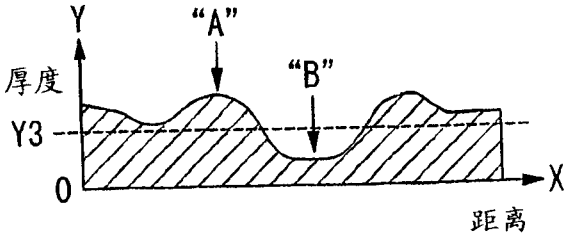


图 5b

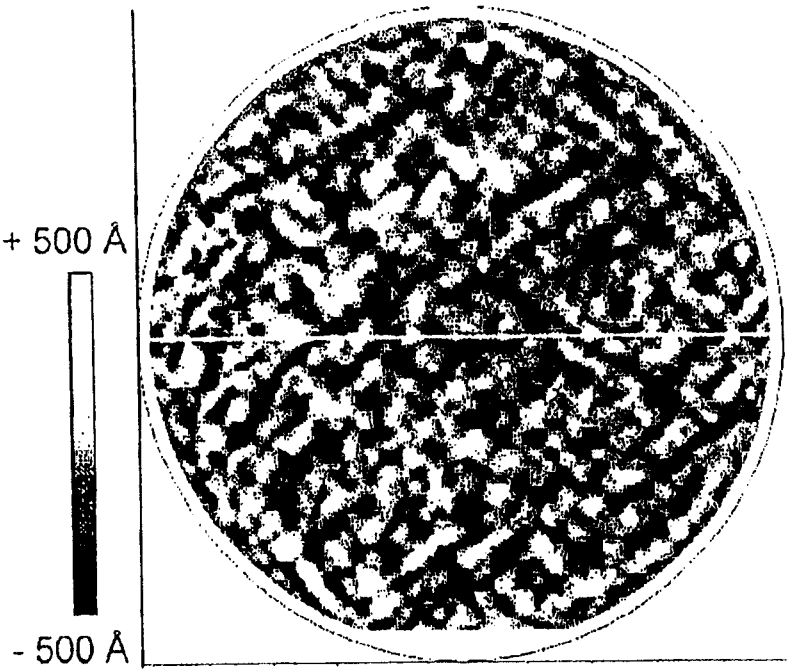


图 6

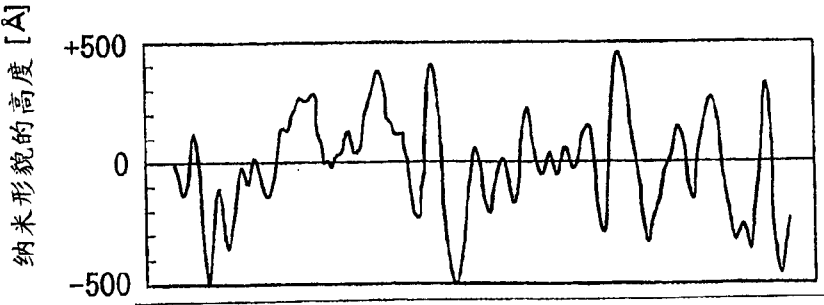


图 7

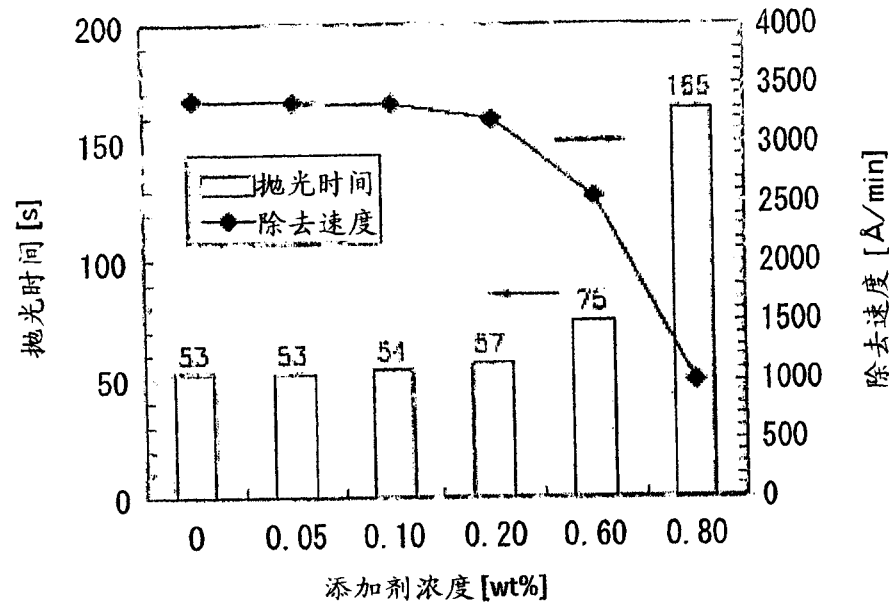


图 8

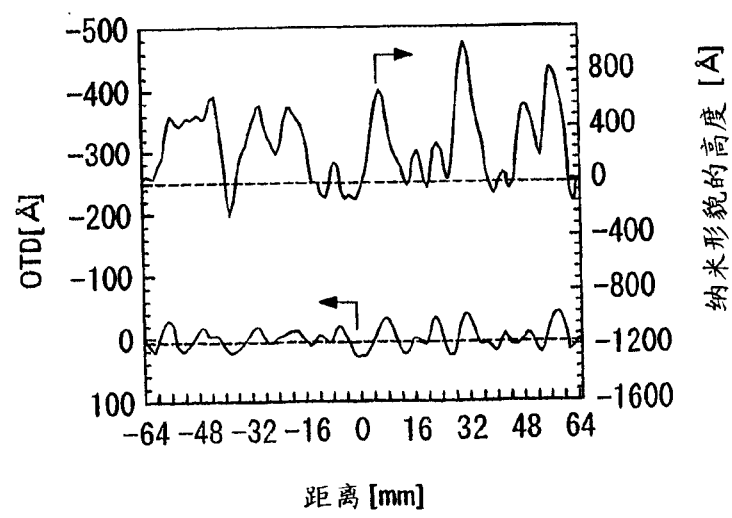


图 9a

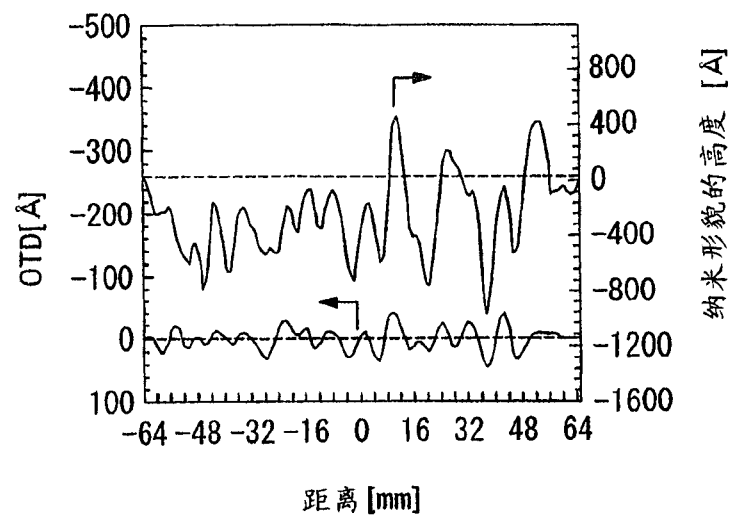


图 9b

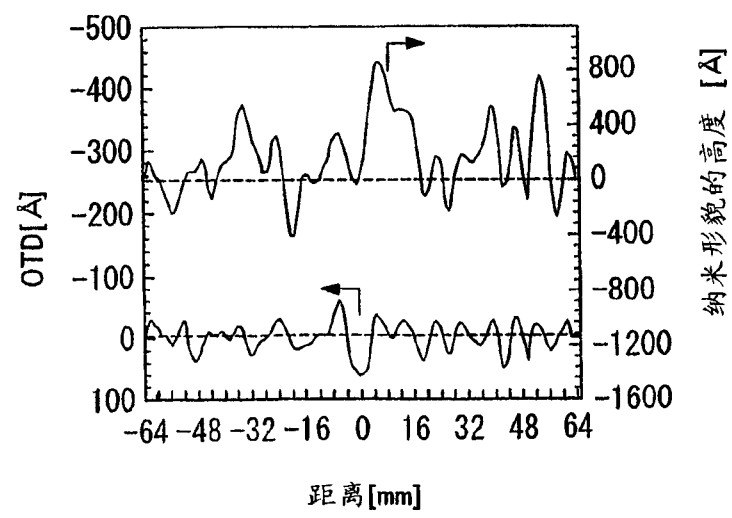


图 9c

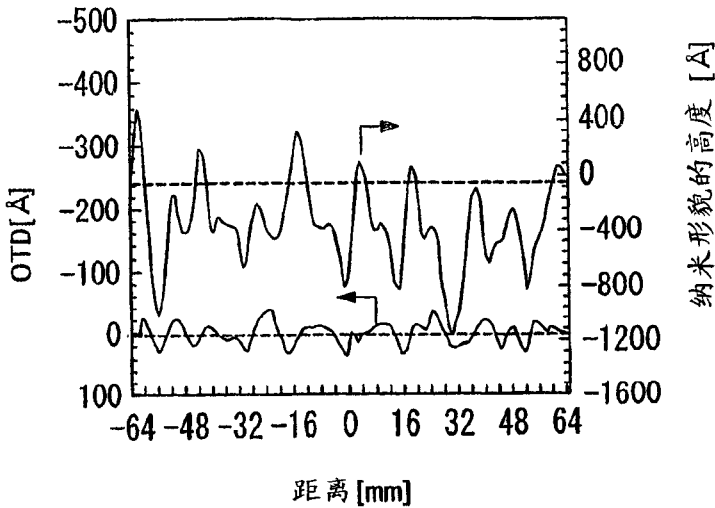


图 10a

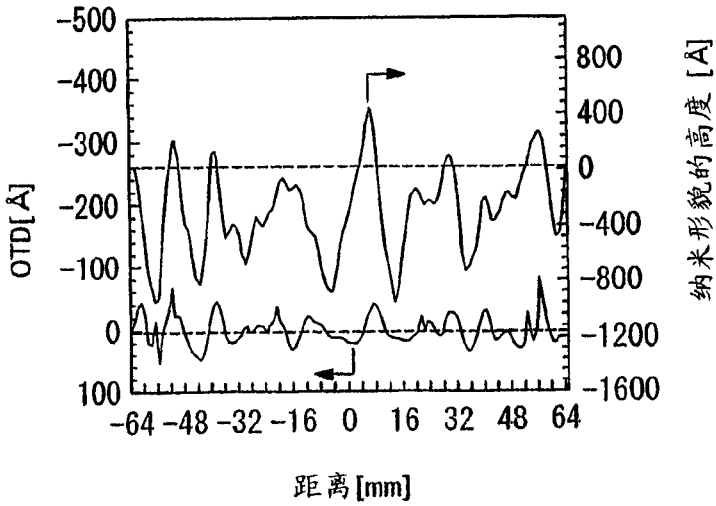


图 10b

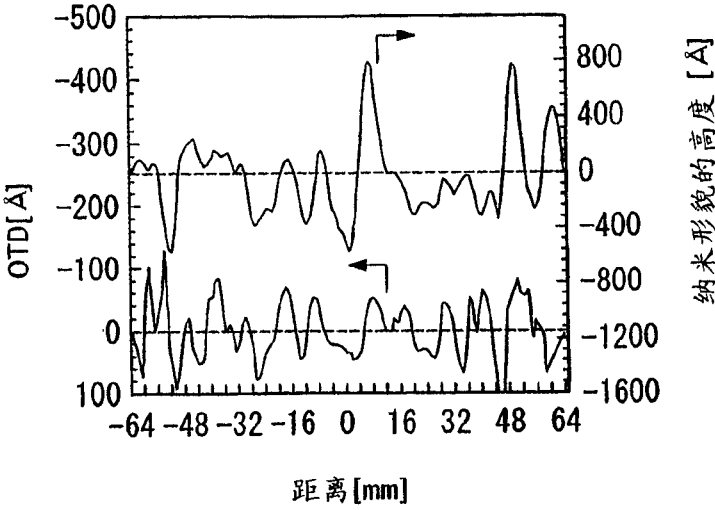


图 10c

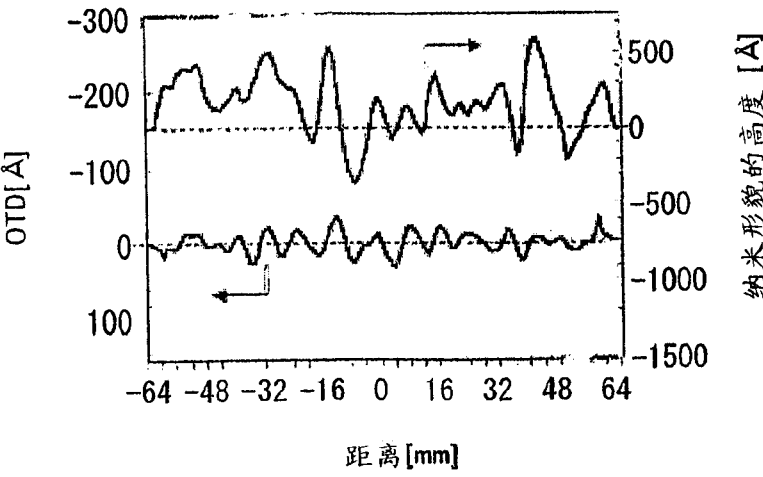


图 11a

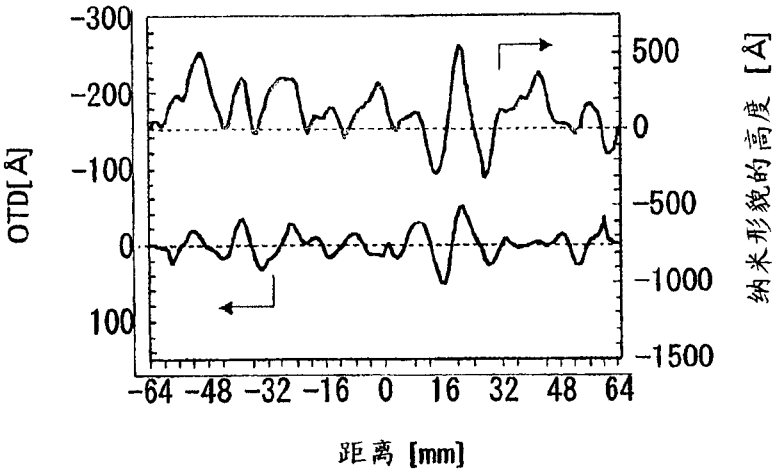


图 11b

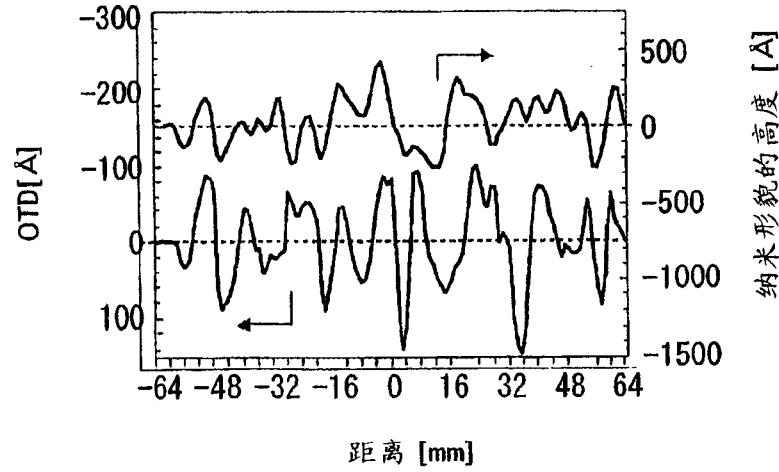


图 11c

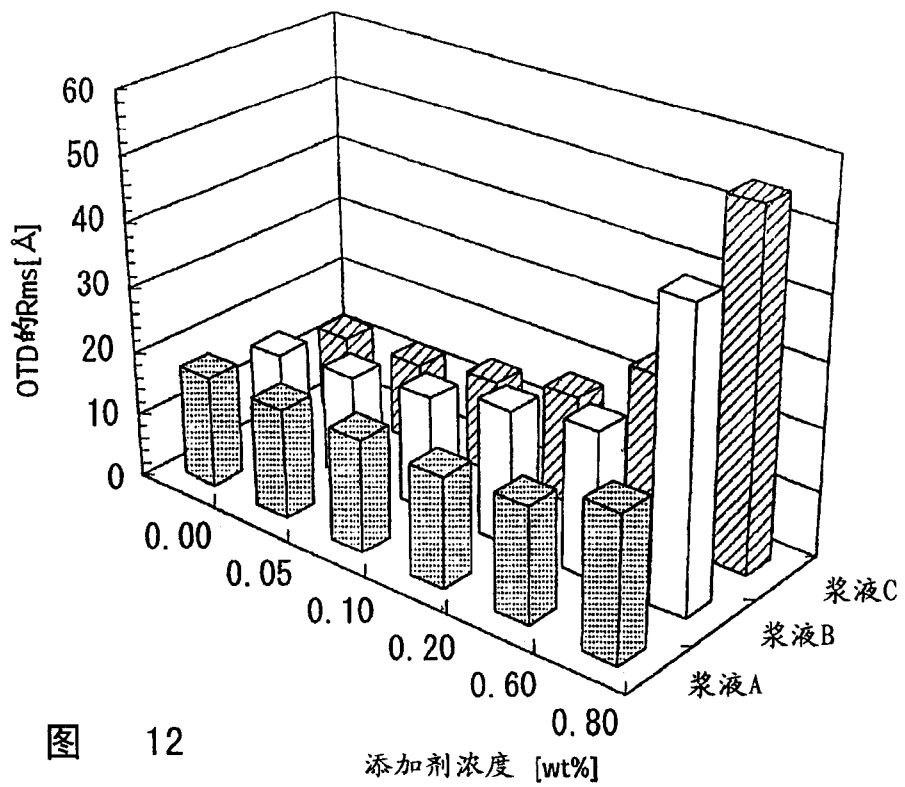


图 12

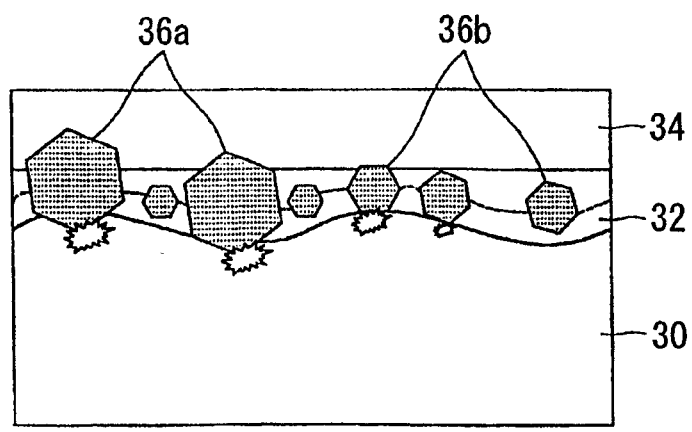


图 13