



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108875098 B

(45) 授权公告日 2022. 01. 04

(21) 申请号 201710325974.0

审查员 黄恒琪

(22) 申请日 2017.05.10

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108875098 A

(43) 申请公布日 2018.11.23

(73) 专利权人 中国科学院微电子研究所
地址 100029 北京市朝阳区北土城西路3号
中国科学院微电子研究所

(72) 发明人 徐勤志 陈岚 孙旭

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
代理人 赵秀芹 王宝筠

(51) Int. Cl.
G06F 30/20 (2020.01)
G06F 30/30 (2020.01)

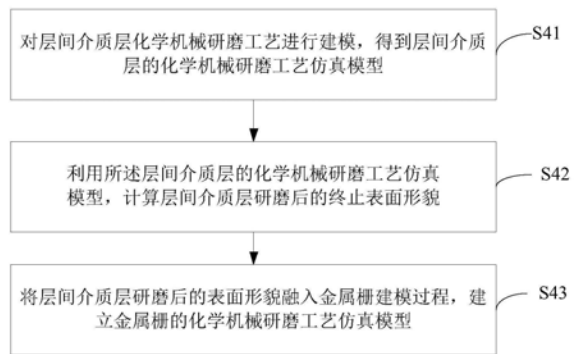
权利要求书3页 说明书11页 附图4页

(54) 发明名称

一种高k金属栅的化学机械研磨工艺建模方法和装置

(57) 摘要

本申请公开了一种高k金属栅的化学机械研磨工艺建模方法和装置。该建模方法和装置包括：将所述层间介质层研磨后的终止表面形貌融入金属栅建模过程，建立金属栅的化学机械研磨工艺仿真模型。如此，该建模方法考虑了高k金属栅器件的下层结构（即层间介质层）的表面形貌对上层结构（即金属栅）表面形貌的影响，从而更加准确可靠地模拟高k金属栅的化学机械研磨工艺，因此，该建模方法考虑了高k金属栅的表面形貌的叠层效应，由该建模方法得出的高k金属栅的化学机械研磨工艺的仿真模型能够更为准确地反映高k金属栅化学机械研磨的真实过程，能够更为准确地模拟芯片表面形貌的实时变化以及图形依赖的表面缺陷。



1. 一种高k金属栅化学机械研磨工艺的建模方法,其特征在于,所述高k金属栅的化学机械研磨工艺包括:层间介质层化学机械研磨工艺和金属栅化学机械研磨工艺;所述层间介质层化学机械研磨工艺包括第一研磨阶段和第二研磨阶段,所述第一研磨阶段研磨氧化物层和氮化硅层,所述第二研磨阶段研磨氧化物层、氮化硅层、阻挡层以及多晶硅层;

所述建模方法包括:

对所述第一研磨阶段的化学机械研磨工艺进行建模,得到第一研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型;

利用所述第一研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型计算第一研磨阶段的终止表面形貌;

以所述第一研磨阶段的终止表面形貌作为第二研磨阶段的初始表面形貌,建立第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型;

利用所述层间介质层的化学机械研磨工艺仿真模型,计算层间介质层研磨后的终止表面形貌;

将所述层间介质层研磨后的终止表面形貌融入金属栅建模过程,建立金属栅的化学机械研磨工艺仿真模型。

2. 根据权利要求1所述的建模方法,其特征在于,利用所述层间介质层化学机械研磨工艺仿真模型,计算层间介质层研磨后的终止表面形貌,具体包括:

利用所述第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型计算第二研磨阶段的终止表面形貌,所述第二研磨阶段的终止表面形貌为所述层间介质层研磨后的终止表面形貌。

3. 根据权利要求1所述的建模方法,其特征在于,以所述第一研磨阶段的终止表面形貌作为第二研磨阶段的初始表面形貌,建立第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型,具体包括:

将第二研磨阶段中研磨的氮化硅层、阻挡层以及多晶硅层作为同一材料层,第二研磨阶段中研磨的氧化物层作为另一材料层,以所述第一研磨阶段的终止表面形貌作为第二研磨阶段的初始表面形貌,建立第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型。

4. 根据权利要求2所述的建模方法,其特征在于,所述第一研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型和所述第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型均分别包括碟形模型和侵蚀模型。

5. 根据权利要求4所述的建模方法,其特征在于,所述第一研磨阶段的碟形模型,具体为:

$$ILD1_dishing(t) = \frac{K_{Ox} - K_{Ni}}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \cdot \frac{P_0}{k} + \left\{ (Y_{Ni}(0) - Y_{Ox}(0)) - \frac{K_{Ox} - K_{Ni}}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \cdot \frac{P_0}{k} \right\} \cdot \exp \left\{ - \left[K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) \right] vkt \right\}$$

所述第一研磨阶段的表面侵蚀模型具体为:

$$\begin{aligned}
 ILD1_ero(t) = & \frac{K_{Ni} \frac{P_0}{k} + K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) (Y_{Ni}(0) - Y_{Ox}(0)) - \frac{K_{Ni} K_{Ox} \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right) + K_{Ni} K_{Ox} v t P_0 \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \\
 & - \frac{K_{Ni} \frac{P_0}{k} + K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) (Y_{Ni}(0) - Y_{Ox}(0)) - \frac{K_{Ni} K_{Ox} \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)}{\exp \left\{ - \left[K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) \right] v k t \right\}}
 \end{aligned}$$

其中, K_{Ox} 为第一研磨阶段的氧化物层的普里斯顿因子, K_{Ni} 为第一研磨阶段的氮化硅层的普里斯顿因子, P_0 为第一研磨阶段开始时研磨垫对芯片的初始压力, k 为研磨垫的硬度, α 为研磨垫的形变因子, w 为第一研磨阶段的氧化物层对应的线宽, s 为第一研磨阶段的氮化硅层对应的间距, L 为第一研磨阶段的节距, $L = w + s$, $Y_{Ni}(0)$ 为第一研磨阶段的氮化硅层初始高度, $Y_{Ox}(0)$ 为第一研磨阶段的氧化物层初始高度, v 为研磨垫对芯片的相对滑动速率, t 为第一研磨阶段的研磨时间, $ILD1_dishing(t)$ 为第一研磨阶段的终止表面的碟形, $ILD1_ero(t)$ 为第一研磨阶段的终止表面的侵蚀。

6. 根据权利要求4所述的建模方法, 其特征在于, 所述利用所述第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型计算第二研磨阶段的终止表面形貌, 具体包括:

利用所述第二研磨阶段的表面碟形模型, 计算第二研磨阶段研磨后的终止表面碟形 $ILD2_{dishing}$;

利用所述第二研磨阶段的表面侵蚀模型, 计算第二研磨阶段研磨后的终止表面侵蚀 $ILD2_{ero}$;

根据所述第二研磨阶段研磨后的终止表面碟形 $ILD2_{dishing}$ 和所述第二研磨阶段研磨后的终止表面侵蚀 $ILD2_{ero}$ 以及预先建立的坐标系, 计算第二研磨阶段研磨后的表面碟形曲线 $R_{dishing}$; 所述第二研磨阶段研磨后的表面碟形曲线为第二研磨阶段的终止表面形貌;

所述预先建立的坐标系的X轴所在方向为量测氧化物层线宽的方向, Y轴所在方向为垂直于量测氧化物层线宽方向的方向。

7. 根据权利要求6所述的建模方法, 其特征在于, 所述根据所述第二研磨阶段研磨后的终止表面碟形 $ILD2_{dishing}$ 和所述第二研磨阶段研磨后的终止表面侵蚀 $ILD2_{ero}$ 以及预先建立的坐标系, 计算第二研磨阶段研磨后的表面碟形曲线 $R_{dishing}$, 具体为:

根据以下公式计算第二研磨阶段研磨后的表面碟形曲线 $R_{dishing}$:

$$R_{dishing} = \sqrt{\left(\frac{ILD2_{dishing}^2 + \left(\frac{w'}{2} \right)^2}{2ILD2_{dishing}} \right)^2 - (L'\rho/2 - x_0)^2 - ILD2_{ero}} - \sqrt{\left(\frac{ILD2_{dishing}^2 + \left(\frac{w'}{2} \right)^2}{2ILD2_{dishing}} \right)^2 - (x - x_0)^2};$$

其中, L' 为第二研磨阶段的节距, $L' = w' + s'$, w' 为第二研磨阶段的氧化物层对应的线宽, s' 为第二研磨阶段的氮化硅层对应的间距; x_0 为氧化物层线宽起始点横坐标, ρ 为图形密度。

8. 一种高k金属栅的化学机械研磨工艺建模装置, 其特征在于, 所述高k金属栅的化学机械研磨工艺包括: 层间介质层化学机械研磨工艺和金属栅化学机械研磨工艺; 所述层间介质层化学机械研磨工艺包括第一研磨阶段和第二研磨阶段, 所述第一研磨阶段研磨氧化

物层和氮化硅层,所述第二研磨阶段研磨氧化物层、氮化硅层、阻挡层以及多晶硅层;

所述建模装置包括:

第一建模子单元,用于对所述第一研磨阶段的化学机械研磨工艺进行建模,得到第一研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型;

计算子单元,用于利用所述第一研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型计算第一研磨阶段的终止表面形貌;

第二建模子单元,用于以所述第一研磨阶段的终止表面形貌作为第二研磨阶段的初始表面形貌,建立第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型;

计算单元,用于利用所述层间介质层的化学机械研磨工艺仿真模型,计算层间介质层研磨后的终止表面形貌;

金属栅建模单元,将所述层间介质层研磨后的终止表面形貌融入金属栅建模过程,建立金属栅的化学机械研磨工艺仿真模型。

一种高k金属栅的化学机械研磨工艺建模方法和装置

技术领域

[0001] 本申请涉及集成电路制造工艺技术领域,尤其涉及一种高k金属栅的化学机械研磨工艺建模方法和装置。

背景技术

[0002] 进入28纳米技术节点,高k金属栅(high-k metal gate, HKMG)作为主流工艺技术使摩尔定律继续延续。尽管14纳米节点业界广泛采用三维FinFET器件结构来降低功耗、面积,以此取代平面器件结构,但HKMG仍然在不同节点、不同阶段分别扮演不同角色。

[0003] 目前,业界主要采用“后栅极”工艺的HKMG器件结构,这主要是因为“后栅极”工艺不必经受高温步骤,可以更加自由地设置和调配栅电极材料的功函数值,使得芯片的稳定性和可靠性更高。然而,“后栅极”工艺面临更多的工艺难关和设计限制,金属表面的平坦性极难达标,化学机械研磨(Chemical Mechanical Planarization, CMP)步骤中的不完全研磨将导致金属没有去除干净,从而引起电路短路;而过度抛光会导致栅电极较薄,产生过高的栅电阻和潜在的接触过刻蚀。此外,严重的过度抛光会导致邻近源/漏区域暴露,使得在后续的哑栅刻蚀去除过程中被攻击。

[0004] 因此,在HKMG器件结构制作过程中,CMP的工艺控制至关重要,一个科学合理、准确可靠的CMP工艺模型,可以帮助工艺工程师严格控制工艺条件、降低参数优化难度,尽可能减少研磨后的碟形和侵蚀,使得金属栅表面平坦性达到光刻聚焦深度水平的要求。同时,不同图形结构的可制造性设计可以使版图设计人员提前预知设计版图在实际工艺制造过程中可能出现的热点区域,为设计者提供修改建议,从而降低流片风险,提高一次流片的成功率。

发明内容

[0005] 有鉴于此,本申请提供了一种高k金属栅的化学机械研磨工艺的建模方法和装置,以建立准确的高k金属栅CMP工艺仿真模型。

[0006] 为了达到上述发明目的,本申请采用了如下技术方案:

[0007] 一种高k金属栅化学机械研磨工艺的建模方法,其特征在于,所述高k金属栅的化学机械研磨工艺包括:层间介质层化学机械研磨工艺和金属栅化学机械研磨工艺;

[0008] 所述建模方法包括:

[0009] 对层间介质层化学机械研磨工艺进行建模,得到层间介质层的化学机械研磨工艺仿真模型;

[0010] 利用所述层间介质层的化学机械研磨工艺仿真模型,计算层间介质层研磨后的终止表面形貌;

[0011] 将所述层间介质层研磨后的终止表面形貌融入金属栅建模过程,建立金属栅的化学机械研磨工艺仿真模型。

[0012] 可选地,所述层间介质层研磨工艺包括第一研磨阶段和第二研磨阶段,所述第一

研磨阶段研磨氧化物层和氮化硅层,所述第二研磨阶段研磨氧化物层、氮化硅层、阻挡层以及多晶硅层;

[0013] 所述对层间介质层化学机械研磨工艺进行建模,得到层间介质层的化学机械研磨工艺仿真模型,具体包括:

[0014] 对所述第一研磨阶段的化学机械研磨工艺进行建模,得到第一研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型;

[0015] 利用所述第一研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型计算第一研磨阶段的终止表面形貌;

[0016] 以所述第一研磨阶段的终止表面形貌作为第二研磨阶段的初始表面形貌,建立第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型。

[0017] 可选地,利用所述层间介质层化学机械研磨工艺仿真模型,计算层间介质层研磨后的终止表面形貌,具体包括:

[0018] 利用所述第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型计算第二研磨阶段的终止表面形貌,所述第二研磨阶段的终止表面形貌为所述层间介质层研磨后的终止表面形貌。

[0019] 可选地,以所述第一研磨阶段的终止表面形貌作为第二研磨阶段的初始表面形貌,建立第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型,具体包括:

[0020] 将第二研磨阶段中研磨的氮化硅层、阻挡层以及多晶硅层作为同一材料层,第二研磨阶段中研磨的氧化物层作为另一材料层,以所述第一研磨阶段的终止表面形貌作为第二研磨阶段的初始表面形貌,建立第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型。

[0021] 可选地,所述第一研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型和所述第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型均分别包括碟形模型和侵蚀模型。

[0022] 可选地,所述第一研磨阶段的碟形模型,具体为:

$$[0023] \quad ILLD1_dishing(t) = \frac{K_{Ox} - K_{Ni}}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \cdot \frac{P_0}{k} \cdot \left\{ (Y_{Ni}(0) - Y_{Ox}(0)) - \frac{K_{Ox} - K_{Ni}}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \cdot \frac{P_0}{k} \right\} \cdot \exp \left\{ - \left[K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) \right] vkt \right\}$$

[0024] 所述第一研磨阶段的表面侵蚀模型具体为:

$$[0025] \quad ILLD1_ero(t) = \frac{K_{Ni} \frac{P_0}{k} + K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) (Y_{Ni}(0) - Y_{Ox}(0)) - \frac{K_{Ni} K_{Ox} \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} + K_{Ni} K_{Ox} v t \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} ;$$

$$- \frac{K_{Ni} \frac{P_0}{k} + K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) (Y_{Ni}(0) - Y_{Ox}(0)) - \frac{K_{Ni} K_{Ox} \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)}}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \cdot \exp \left\{ - \left[K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) \right] vkt \right\}$$

[0026] 其中, K_{Ox} 为第一研磨阶段的氧化物层的普里斯顿因子, K_{Ni} 为第一研磨阶段的氮化硅层的普里斯顿因子, P_0 为第一研磨阶段开始时研磨垫对芯片的初始压力, k 为研磨垫的硬度, α 为研磨垫的形变因子, w 为第一研磨阶段的氧化物层对应的线宽, s 为第一研磨阶段的氮化硅层对应的间距, L 为第一研磨阶段的节距, $L=w+s$, $Y_{Ni}(0)$ 为第一研磨阶段的氮化硅层

初始高度, $Y_{0x}(0)$ 为第一研磨阶段的氧化物层初始高度, v 为研磨垫对芯片的相对滑动速率, t 为第一研磨阶段的研磨时间。

[0027] 可选地, 所述利用所述第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型计算第二研磨阶段的终止表面形貌, 具体包括:

[0028] 利用所述第二研磨阶段的表面碟形模型, 计算第二研磨阶段研磨后的终止表面碟形 $ILD2_{dishing}$;

[0029] 利用所述第二研磨阶段的表面侵蚀模型, 计算第二研磨阶段研磨后的终止表面侵蚀 $ILD2_{ero}$;

[0030] 根据所述第二研磨阶段研磨后的终止表面碟形 $ILD2_{dishing}$ 和所述第二研磨阶段研磨后的终止表面侵蚀 $ILD2_{ero}$ 以及预先建立的坐标系, 计算第二研磨阶段研磨后的表面碟形曲线 $R_{dishing}$; 所述第二研磨阶段研磨后的表面碟形曲线为第二研磨阶段的终止表面形貌;

[0031] 所述预先建立的坐标系的 X 轴所在方向为量测氧化物层线宽的方向, Y 轴所在方向为垂直于量测氧化物层线宽方向的方向。

[0032] 可选地, 所述根据所述第二研磨阶段研磨后的终止表面碟形 $ILD2_{dishing}$ 和所述第二研磨阶段研磨后的终止表面侵蚀 $ILD2_{ero}$ 以及预先建立的坐标系, 计算第二研磨阶段研磨后的表面碟形曲线 $R_{dishing}$, 具体为:

[0033] 根据以下公式计算第二研磨阶段研磨后的表面碟形曲线 $R_{dishing}$:

$$R_{dishing} = \sqrt{\left(\frac{ILD2_{dishing}^2 + \left(\frac{w}{2}\right)^2}{2ILD2_{dishing}} \right)^2 - (L\rho/2 - x_0)^2} - ILD2_{ero} - \sqrt{\left(\frac{ILD2_{dishing}^2 + \left(\frac{w}{2}\right)^2}{2ILD2_{dishing}} \right)^2 - (x - x_0)^2};$$

[0035] 其中, L 为节距, $L = w + s$, w 为氧化物层对应的线宽, s 为氮化硅层对应的间距; x_0 为氧化物层线宽起始点横坐标, ρ 为图形密度。

[0036] 一种高 k 金属栅的化学机械研磨工艺建模装置, 所述高 k 金属栅的化学机械研磨工艺包括: 层间介质层化学机械研磨工艺和金属栅化学机械研磨工艺;

[0037] 所述建模装置包括:

[0038] 层间介质层建模单元, 用于对层间介质层化学机械研磨工艺进行建模, 得到层间介质层的化学机械研磨工艺仿真模型;

[0039] 计算单元, 用于利用所述层间介质层的化学机械研磨工艺仿真模型, 计算层间介质层研磨后的终止表面形貌;

[0040] 金属栅建模单元, 将所述层间介质层研磨后的终止表面形貌融入金属栅建模过程, 建立金属栅的化学机械研磨工艺仿真模型。

[0041] 可选地, 所述层间介质层研磨工艺包括第一研磨阶段和第二研磨阶段, 所述第一研磨阶段研磨氧化物层和氮化硅层, 所述第二研磨阶段研磨氧化物层、氮化硅层、阻挡层以及多晶硅层;

[0042] 所述层间介质层建模单元具体包括:

[0043] 第一建模子单元, 用于对所述第一研磨阶段的化学机械研磨工艺进行建模, 得到第一研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型;

[0044] 计算子单元, 用于利用所述第一研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型计算第一

研磨阶段的终止表面形貌；

[0045] 第二建模子单元,用于以所述第一研磨阶段的终止表面形貌作为第二研磨阶段的初始表面形貌,建立第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型。

[0046] 可选地,所述计算单元,具体包括:

[0047] 利用所述第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型计算第二研磨阶段的终止表面形貌,所述第二研磨阶段的终止表面形貌为所述层间介质层研磨后的终止表面形貌。

[0048] 相较于现有技术,本申请具有以下有益效果:

[0049] 本申请提供的高k金属栅的化学机械研磨工艺的建模方法中,将层间介质层研磨后的终止表面形貌融入金属栅建模过程,对金属栅的化学机械研磨工艺进行建模。如此,该建模方法考虑了高k金属栅器件的下层结构(即层间介质层)的表面形貌对上层结构(即金属栅)表面形貌的影响,从而更加准确可靠地模拟高k金属栅的化学机械研磨工艺,因此,该建模方法考虑了高k金属栅的表面形貌的叠层效应,由该建模方法得出的高k金属栅的化学机械研磨工艺的仿真模型能够更为准确地反映高k金属栅化学机械研磨的真实过程,能够更为准确地模拟芯片表面形貌的实时变化以及图形依赖的表面缺陷,对高k金属栅化学机械研磨工艺优化和版图设计优化具有指导意义。

附图说明

[0050] 为了清楚地理解本申请的具体实施方式,下面将描述本申请的具体实施方式时用到的附图做一简要说明。

[0051] 图1是层间介质层淀积工艺后需要研磨的芯片结构示意图;

[0052] 图2是理想情况下,层间介质层CMP后的芯片结构示意图;

[0053] 图3是金属栅CMP工艺研磨前的芯片结构示意图;

[0054] 图4是本申请实施例提供的HKMG化学机械研磨工艺建模方法流程示意图;

[0055] 图5是本申请实施例提供步骤S41的具体实施方式流程示意图;

[0056] 图6是本申请实施例提供的层间介质层的化学机械研磨工艺之后对应的碟形曲面示意图;

[0057] 图7是层间介质层研磨后的表面碟形曲线的计算方法流程示意图;

[0058] 图8是本申请实施例提供的HKMG化学机械研磨工艺建模装置的结构示意图。

具体实施方式

[0059] 下面结合附图对本申请的具体实施方式进行详细描述。

[0060] 在HKMG器件结构制作过程中,其包括两个CMP工艺过程,一个是层间介质层(interlevel dielectric,ILD)的CMP工艺过程,另外一个为金属栅的CMP工艺过程。

[0061] 其中,层间介质层CMP工艺需要研磨的芯片结构如图1所示。如图1所示,该芯片结构包括虚拟栅(虚拟栅的材料一般为多晶硅即polysilicon)11、氧化物层12以及氮化硅层13。

[0062] 在理想情况下,设定层间介质层CMP工艺没有产生表面碟形dishing和侵蚀erosion等缺陷,则层间介质层CMP工艺终止后的芯片结构如图2所示,其对应的芯片表面为平坦表面。

[0063] 然而,真实CMP工艺条件下,由于虚拟栅11、氧化物层12以及氮化硅层13材质不同,其对应的CMP研磨率也不同,因此,层间介质层CMP研磨产生的缺陷导致芯片表面形貌起伏较大。而且在层间介质层平坦化完成后,进行金属栅CMP工艺之前,需要刻蚀掉虚拟栅11,然后再在原虚拟栅11的位置淀积一薄层阻挡层14,接着在阻挡层14以及平坦化后的氧化物层12上淀积金属15(该金属15一般为金属铝),此时形成的芯片结构示意图如图3所示。图3所示的芯片结构即为金属栅CMP工艺研磨前的芯片结构。

[0064] 如图3所示,由于金属15会淀积在层间介质层CMP工艺后的表面上,因此,层间介质层的不平坦性会传递给金属15的淀积过程,同时,在金属栅的CMP过程中,氧化物层12上的金属15要完全研磨去除掉,因此,层间介质层CMP工艺后的表面的不平坦性也会影响金属栅的表面形貌,因此,层间介质层CMP研磨后的终止表面形貌对金属栅的淀积以及后续金属栅CMP过程均产生较大影响。

[0065] 因此,在金属栅CMP过程中,需要考虑层间介质层CMP后的芯片表面形貌对金属栅CMP后的芯片表面形貌的影响。基于此,本申请提供了一种HKMG化学机械研磨工艺的建模方法的具体实施方式。

[0066] 图4是本申请实施例提供的HKMG化学机械研磨工艺的建模方法流程示意图。如图4所示,该建模方法包括以下步骤:

[0067] S41、对层间介质层化学机械研磨工艺进行建模,得到层间介质层的化学机械研磨工艺仿真模型:

[0068] 如图1所示的芯片结构,层间介质层CMP工艺最先研磨的材料仅包括氧化物层12,随着CMP研磨的进行,氧化物层12的厚度逐渐减薄,直至位于氮化硅层13上方的氧化物层12全部被磨掉,露出氮化硅层13,此时,层间介质层CMP工艺不仅要研磨氧化物层12,还要研磨露出的氮化硅层13,然后,随着CMP研磨的进行,位于虚拟栅11上方的氮化硅层13全部被研磨掉,虚拟栅11露出,此时,层间介质层的CMP工艺不仅要研磨氧化物层12、氮化硅层13,还要研磨虚拟栅11,由于虚拟栅11是由多晶硅材料组成的,所以,在这个阶段还需要研磨多晶硅。

[0069] CMP后的表面不平坦性是由于不同研磨材质具有不同研磨率导致的。所以,为了提高层间介质层CMP工艺模型的精度,根据层间介质层CMP研磨过程中研磨的不同材料层,将层间介质层CMP研磨工艺划分为不同研磨阶段,然后对不同研磨阶段中的CMP工艺分别进行CMP建模。

[0070] 然而,当CMP研磨的表面仅包括一种材质时,其终止表面可以近似为平坦表面。而由于层间介质层CMP的最初阶段仅研磨氧化物层一种材质,其终止表面近视为平坦表面,该平坦表面对后续的CMP工艺的平坦化过程不存在叠层效应,所以,本申请实施例不对该阶段的CMP单独进行建模。为了提高CMP工艺模型的精度,考虑多层表面形貌不平坦性的层间叠层效应,根据层间介质层CMP研磨过程中研磨的不同材料层,将层间介质层CMP研磨工艺划分为第一研磨阶段和第二研磨阶段,所述第一研磨阶段研磨氧化物层和氮化硅层,所述第二研磨阶段研磨氧化物层、氮化硅层、阻挡层以及多晶硅层,并对这两个研磨阶段的CMP工艺分别进行建模,并且对第二研磨阶段的CMP工艺进行建模时,其初始表面形貌为第一研磨阶段CMP工艺后的终止表面形貌。

[0071] 根据上述构思,作为本申请的一具体实施例,如图5所示,上述步骤S41可以具体包

括:

[0072] S411、对所述第一研磨阶段的化学机械研磨工艺进行建模,得到第一研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型:

[0073] 需要说明,由于在第一研磨阶段之前的氧化物层的CMP研磨后的表面近似为平坦表面,其对后续表面不平坦性不存在影响,所以,在本申请实施例中,认为第一研磨阶段的化学机械研磨工艺的初始表面为平坦表面。

[0074] 本步骤可以具体为:结合该第一研磨阶段研磨材料(主要包括氧化物和氮化硅)的去除机理以及测试芯片设计与数据提取等经验,基于接触力学理论和实验验证等手段对层间介质层的第一研磨阶段的化学机械研磨工艺进行建模,得到第一研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型。

[0075] 需要说明,在本申请实施例中,第一研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型可以包括碟形模型、侵蚀模型、氮化硅层厚度模型以及氧化物层厚度模型。

[0076] 此外,由于氮化硅的研磨率较低,氧化物的研磨率较高,作为示例,第一研磨阶段的碟形模型可以如下公式(1)所示:

$$[0077] \quad ILLD1_dishing(t) = \frac{K_{Ox} - K_{Ni}}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \cdot \frac{P_0}{k} + \left\{ (Y_{Ni}(0) - Y_{Ox}(0)) - \frac{K_{Ox} - K_{Ni}}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \cdot \frac{P_0}{k} \right\} \cdot \exp \left\{ - \left[K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) \right] vkt \right\} \quad (1)$$

[0078] 第一研磨阶段的侵蚀模型可以如公式(2)所示:

$$[0079] \quad ILLD1_ero(t) = \frac{K_{Ni} \frac{P_0}{k} + K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) (Y_{Ni}(0) - Y_{Ox}(0)) - \frac{K_{Ni} K_{Ox} \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) + K_{Ni} K_{Ox} v t \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \quad (2)$$

$$- \frac{K_{Ni} \frac{P_0}{k} + K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) (Y_{Ni}(0) - Y_{Ox}(0)) - \frac{K_{Ni} K_{Ox} \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \cdot \exp \left\{ - \left[K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) \right] vkt \right\}$$

[0080] 第一研磨阶段的氮化硅层厚度的计算公式可以如公式(3)所示:

$$[0081] \quad Y_{Ni}(t) = \frac{-K_{Ni} \frac{P_0}{k} + K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) Y_{Ox}(0) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) Y_{Ni}(0) + \frac{K_{Ni} K_{Ox} \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} - K_{Ni} K_{Ox} P_0 v t \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \quad (3)$$

$$+ \frac{K_{Ni} \frac{P_0}{k} + K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) (Y_{Ni}(0) - Y_{Ox}(0)) - \frac{K_{Ni} K_{Ox} \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \cdot \exp \left\{ - \left[K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) \right] vkt \right\}$$

[0082] 第一研磨阶段的氧化物层厚度的计算公式可以如公式(4)所示:

$$\begin{aligned}
 Y_{Ox}(t) = & \frac{-K_{Ox} \frac{P_0}{k} + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) Y_{Ni}(0) + K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) Y_{Ox}(0) + \frac{K_{Ni} K_{Ox} \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha L}{k ws} \right)}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} - K_{Ni} K_{Ox} P_0 v t \left(1 + \frac{\alpha L}{k ws} \right)}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \\
 [0083] \quad & + \frac{K_{Ox} \frac{P_0}{k} + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) (Y_{Ox}(0) - Y_{Ni}(0)) - \frac{K_{Ni} K_{Ox} \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha L}{k ws} \right)}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)}}{K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \cdot \exp \left\{ - \left[K_{Ni} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) \right] v k t \right\} \quad (4)
 \end{aligned}$$

[0084] 其中, K_{Ox} 为第一研磨阶段的氧化物层的普里斯顿 (Preston) 因子, K_{Ni} 为第一研磨阶段的氮化硅层的普里斯顿因子, P_0 为第一研磨阶段开始时研磨垫对芯片的初始压力, k 为研磨垫的硬度, α 为研磨垫的形变因子, w 为第一研磨阶段的氧化物层对应的线宽, s 为第一研磨阶段的氮化硅层对应的间距, L 为节距, $L = w + s$, $Y_{Ni}(0)$ 为氮化硅层在第一研磨阶段开始时的初始高度, $Y_{Ox}(0)$ 为氧化物层在第一研磨阶段开始时的初始高度, v 为研磨垫对芯片的相对滑动速率, t 为第一研磨阶段的研磨时间。

[0085] S412、利用所述第一研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型计算第一研磨阶段的终止表面形貌:

[0086] 作为示例,本步骤可以分别利用碟形模型、侵蚀模型、氮化硅层厚度模型以及氧化物层厚度模型计算第一研磨阶段的终止表面的碟形、侵蚀、氮化硅层厚度以及氧化物层厚度。

[0087] S413、以所述第一研磨阶段的终止表面形貌作为第二研磨阶段的初始表面形貌,建立第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型:

[0088] 在层间介质层的第二研磨阶段,其研磨的材料包括氧化物、氮化硅、阻挡层以及多晶硅,由于氮化硅、阻挡层以及多晶硅的研磨率与氧化物的研磨率相差较大,所以,为了简化第二研磨阶段的化学机械研磨工艺的建模过程,简化该阶段的化学机械研磨工艺仿真模型,在建立第二研磨阶段的化学机械研磨工艺模型时,可以将氧化物作为一种材质,另外三种材质氮化硅、阻挡层以及多晶硅作为另一种材质,为方便记,本申请实施例将这三种材料氮化硅、阻挡层以及多晶硅统一记为多晶硅。

[0089] 需要说明,由于第一研磨阶段研磨的材料为两种,因此,由于该两种材料的研磨率的不同,该第一研磨阶段的终止表面为不平坦表面,该不平坦表面对层间介质层的第二研磨阶段的平坦化有影响,因此,在建立第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型时,以第一研磨阶段的终止表面形貌作为第二研磨阶段的初始表面形貌。

[0090] 同第一研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型的建立过程类似,本步骤可以具体为:以所述第一研磨阶段的终止表面形貌作为第二研磨阶段的初始表面形貌,结合该阶段研磨的材料(主要包括氧化物、氮化硅、阻挡层和多晶硅)去除机理以及测试芯片设计与数据提取等经验,基于接触力学理论和实验验证等手段对层间介质层的第二研磨阶段的化学机械研磨工艺进行建模,得到第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型。

[0091] 需要说明,在本申请实施例中,第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型可以包括碟形模型、侵蚀模型、氮化硅层、阻挡层和多晶硅厚度模型以及氧化物层厚度模型。

[0092] 此外,作为示例,第二研磨阶段的碟形模型可以如下公式(5)所示:

[0093]
$$ILD2_dishing(t) = \frac{K_{Ox} - K_{Poly}}{K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \cdot \frac{P_0}{k} + \left\{ Y_{Poly}(0) - Y_{Ox}(0) - \frac{K_{Ox} - K_{Poly}}{K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \cdot \frac{P_0}{k} \right\} \cdot \exp \left\{ - \left[K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) \right] vkt \right\} \quad (5)$$

[0094] 第二研磨阶段的侵蚀模型可以如公式(6)所示:

[0095]
$$ILD2_ero(t) = \frac{K_{Poly} \frac{P_0}{k} + K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) (Y_{Poly}(0) - Y_{Ox}(0)) - \frac{K_{Poly} K_{Ox} \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} + K_{Poly} K_{Ox} v t \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \cdot \exp \left\{ - \left[K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) \right] vkt \right\} \quad (6)$$

[0096] 第二研磨阶段的氮化硅层、阻挡层和多晶硅厚度的计算公式可以如公式(7)所示:

[0097]
$$Y_{Poly}(t) = \frac{-K_{Poly} \frac{P_0}{k} + K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) Y_{Ox}(0) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) Y_{Poly}(0) + \frac{K_{Poly} K_{Ox} \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} - K_{Poly} K_{Ox} v t \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} + \frac{K_{Poly} \frac{P_0}{k} + K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) (Y_{Poly}(0) - Y_{Ox}(0)) - \frac{K_{Poly} K_{Ox} \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)}}{K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \cdot \exp \left\{ - \left[K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) \right] vkt \right\} \quad (7)$$

[0098] 第二研磨阶段的氧化物层厚度的计算公式可以如公式(8)所示:

[0099]
$$Y_{Ox}(t) = \frac{-K_{Ox} \frac{P_0}{k} + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) Y_{Poly}(0) + K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) Y_{Ox}(0) + \frac{K_{Poly} K_{Ox} \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} - K_{Poly} K_{Ox} v t \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} + \frac{K_{Ox} \frac{P_0}{k} + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) (Y_{Ox}(0) - Y_{Poly}(0)) - \frac{K_{Poly} K_{Ox} \frac{P_0}{k} \left(1 + \frac{\alpha}{k} \frac{L}{ws} \right)}{K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)}}{K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right)} \cdot \exp \left\{ - \left[K_{Poly} \left(\frac{w}{L} + \frac{\alpha}{ks} \right) + K_{Ox} \left(\frac{s}{L} + \frac{\alpha}{kw} \right) \right] vkt \right\} \quad (8)$$

[0100] 其中, K_{Ox} 为第二研磨阶段的氧化物层的普里斯顿因子, K_{Poly} 为第二研磨阶段的多晶硅层(此处所述的多晶硅为氮化硅层、阻挡层和多晶硅的统称)的普里斯顿因子, P_0 为第二研磨阶段开始时研磨垫对芯片的初始压力, k 为研磨垫的硬度, α 为研磨垫的形变因子, w 为第二研磨阶段的氧化物层对应的线宽, s 为第二研磨阶段的多晶硅层(此处所述的多晶硅为氮化硅层、阻挡层和多晶硅的统称)对应的间距, L 为节距, $L = w + s$, $Y_{Poly}(0)$ 为多晶硅层(此处所述的多晶硅为氮化硅层、阻挡层和多晶硅的统称)在第二研磨阶段开始时的初始高度, $Y_{Ox}(0)$ 为氧化物层在第二研磨阶段开始时的初始高度, v 为研磨垫对芯片的相对滑动速率, t 为第二研磨阶段的研磨时间。

[0101] 需要说明, 在本申请实施例中, 第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型与第一研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型基本相同, 将第一研磨阶段各个模型中的氮化硅替换为多晶硅就变成了第二研磨阶段的对应的各个模型。

[0102] 需要说明, 在第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型中, 其研磨时间 t 需要重

新开始计算,而不是将第一研磨阶段的研磨时间累计到第二研磨阶段。

[0103] S42、利用所述层间介质层的化学机械研磨工艺仿真模型,计算层间介质层研磨后的终止表面形貌:

[0104] 由于在步骤S41中,在建立第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型时,将第一研磨阶段的终止表面形貌作为第二研磨阶段的初始表面形貌,也就是说,第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型考虑了第一研磨阶段的CMP后的表面形貌不平坦性因素对第二研磨阶段的表面平坦性的影响,因此,作为示例,步骤S42可以具体为:利用第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型,计算第二研磨阶段的化学机械研磨后的终止表面形貌。

[0105] 作为示例,该第二研磨阶段的化学机械研磨后的终止表面形貌可以包括碟形、侵蚀、氧化物层厚度、氮化硅层厚度、阻挡层厚度和多晶硅层厚度中的至少一种。

[0106] 作为本申请的一具体实施例,由于HKMG器件结构线宽、间距一般都很小,层间介质层的化学机械研磨工艺之后的碟形曲面特征非常突出,为简便记,本申请实施例,假定碟形表面为垂直于纸面的圆柱表面,图6示出了层间介质层的化学机械研磨工艺之后对应的碟形曲面示意图。因此,为了描述层间介质层研磨后的终止表面形貌,可以用该终止表面的碟形曲线 R_{dishing} 来描述。

[0107] 作为示例,如图7所示,该终止表面的碟形曲线 R_{dishing} 的计算方法可以包括以下步骤:

[0108] S421、利用所述第二研磨阶段的表面碟形模型,计算第二研磨阶段研磨后的终止表面碟形 $ILD2_{\text{dishing}}$;

[0109] S422、利用所述第二研磨阶段的表面侵蚀模型,计算第二研磨阶段研磨后的终止表面侵蚀 $ILD2_{\text{ero}}$;

[0110] S423、根据所述第二研磨阶段研磨后的终止表面形碟形 $ILD2_{\text{dishing}}$ 和所述第二研磨阶段研磨后的终止表面侵蚀 $ILD2_{\text{ero}}$ 以及预先建立的坐标系,计算第二研磨阶段研磨后的表面碟形曲线 R_{dishing} ,所述第二研磨阶段研磨后的表面碟形曲线 R_{dishing} 为第二研磨阶段的终止表面形貌:

[0111] 如图6所示,预先建立的坐标系X轴所在方向为量测氧化物层线宽的方向,Y轴所在方向为垂直于量测氧化物层线宽方向的方向。

[0112] 作为示例,可以根据以下公式(9)计算第二研磨阶段研磨后的表面碟形曲线 R_{dishing} :

$$R_{\text{dishing}} = \sqrt{\left(\frac{ILD2_{\text{dishing}}^2 + \left(\frac{w}{2}\right)^2}{2ILD2_{\text{dishing}}} \right)^2 - (L\rho/2 - x_0)^2} - ILD2_{\text{ero}} - \sqrt{\left(\frac{ILD2_{\text{dishing}}^2 + \left(\frac{w}{2}\right)^2}{2ILD2_{\text{dishing}}} \right)^2 - (x - x_0)^2} \quad (9)$$

[0114] 其中,L为节距, $L=w+s$,w为氧化物层对应的线宽,s为氮化硅层对应的间距; x_0 为氧化物层线宽起始点横坐标, ρ 为图形密度。

[0115] S43、将层间介质层研磨后的表面形貌融入金属栅建模过程,建立金属栅的化学机械研磨工艺仿真模型。

[0116] 由于下层表面的不平坦性会传递到上层表面,在本申请实施例中,为了使得建立的金属栅的化学机械研磨工艺的模型更加准确、可靠,本申请将层间介质层研磨后的表面形貌融入金属栅建模过程,建立金属栅的化学机械研磨工艺仿真模型。

[0117] 作为示例,将碟形曲线公式(9)引入金属栅A1的CMP建模中,研究碟形曲面影响的金属栅CMP过程,严格分析真实表面接触与受力变形,运用流体力学和化学动力学机制,考虑纳米尺寸和表面效应,建立精确的高k金属栅CMP工艺仿真模型。通过考察多种研磨液成分参与的化学反应过程,可以将化学与机械的协同作用融入模型,综合考察设计图形(等效线宽、等效密度)、工艺过程(空片研磨率、外部压力、相对滑动速率、研磨时间等)及化学物理参数(化学反应参数,研磨液参数-研磨液组分浓度,材料属性-弹性模量、泊松比,平坦化长度等)对CMP模型精度的影响。

[0118] 以上为本申请实施例提供的HKMG的化学机械研磨工艺的建模方法的具体实施方式。在该具体实施方式中,将层间介质层研磨后的表面形貌融入金属栅建模过程,对金属栅的化学机械研磨工艺进行建模。如此,该建模方法考虑了高k金属栅器件的下层结构(即层间介质层)的表面形貌对上层结构(即金属栅)表面形貌的影响,从而更加准确地模拟高k金属栅的化学机械研磨工艺,因此,该建模方法考虑了高k金属栅的表面形貌的叠层效应,由该建模方法得出的高k金属栅的化学机械研磨工艺仿真模型能够准确地反映高k金属栅化学机械研磨的真实过程,准确快速地模拟芯片表面形貌的实时变化以及图形依赖的表面缺陷,对高k金属栅的化学机械研磨工艺优化和版图设计优化具有指导意义。

[0119] 通过该建模方法得出的HKMG的CMP工艺模型能够辅助工艺工程师严格控制工艺条件、降低参数优化难度,尽可能减少研磨后的碟形和侵蚀,使得金属栅表面平坦性达到光刻聚焦深度水平的要求。同时,不同图形结构的研磨设计可以使版图设计人员提前预知设计版图在实际工艺制造过程中可能出现的热点区域,为设计者提供修改建议,从而降低流片风险,提高一次流片的成功率。

[0120] 基于上述实施例提供的HKMG的化学机械研磨建模方法的具体实施方式,本申请实施例还提供了HKMG化学机械研磨建模装置的具体实施方式,具体参见以下实施例。

[0121] 图8是本申请实施例提供的HKMG化学机械研磨建模装置的结构示意图。如图8所示,该建模装置包括以下单元:

[0122] 层间介质层建模单元81,用于对层间介质层化学机械研磨工艺进行建模,得到层间介质层的化学机械研磨工艺仿真模型;

[0123] 计算单元82,用于利用所述层间介质层的化学机械研磨工艺仿真模型,计算层间介质层研磨后的终止表面形貌;

[0124] 金属栅建模单元83,将层间介质层研磨后的表面形貌融入金属栅建模过程,建立金属栅的化学机械研磨工艺仿真模型。

[0125] 作为本申请的一具体实施例,为了提高层间介质层CMP工艺仿真模型的精度,根据所述层间介质层研磨过程中研磨材料层的不同,所述层间介质层研磨工艺包括第一研磨阶段和第二研磨阶段,所述第一研磨阶段研磨氧化物层和氮化硅层,所述第二研磨阶段研磨氧化物层、氮化硅层、阻挡层以及多晶硅层;

[0126] 所述层间介质层建模单元81可以具体包括:

[0127] 第一建模子单元811,用于对所述第一研磨阶段的化学机械研磨工艺进行建模,得到第一研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型;

[0128] 计算子单元812,用于利用所述第一研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型计算第一研磨阶段的终止表面形貌;

[0129] 第二建模子单元813,用于以所述第一研磨阶段的终止表面形貌作为第二研磨阶段的初始表面形貌,建立第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型。

[0130] 作为本申请的一具体实施例,由于在对层间介质层的第二研磨阶段的CMP工艺建模时,已将第一研磨阶段的表面不平坦性因素充分考虑,所以所述计算单元82可以具体包括:利用所述第二研磨阶段的化学机械研磨工艺仿真模型计算第二研磨阶段的终止表面形貌,所述第二研磨阶段的终止表面形貌为所述层间介质层研磨后的终止表面形貌。

[0131] 以上为本申请实施例提供的HKMG化学机械研磨工艺的建模装置的具体实施方式。在该具体实施方式中,考虑了高k金属栅的表面形貌的叠层效应,由该建模方法得出的高k金属栅的化学机械研磨工艺仿真模型能够准确地反映高k金属栅化学机械研磨的真实过程,准确快速地模拟芯片表面形貌的实时变化以及图形依赖的表面缺陷,对高k金属栅化学机械研磨工艺优化和版图设计优化具有指导意义。

[0132] 以上为本申请的具体实施方式。这些具体实施方式仅是本申请具体实施方式的示例,对上述具体实施方式的变型、替换得到的技术方案均在本申请的保护范围之列。

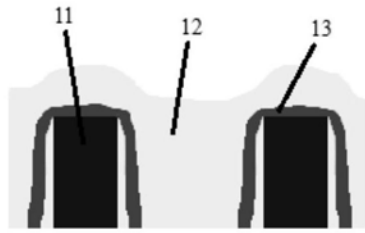


图1

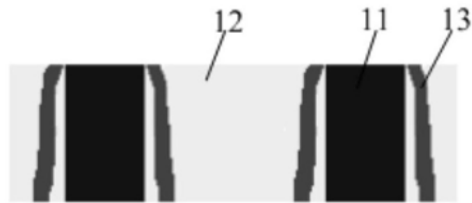


图2

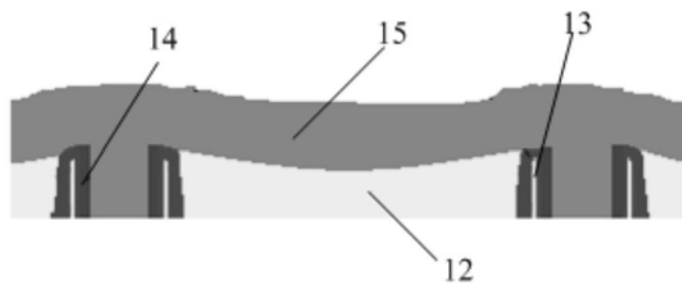


图3

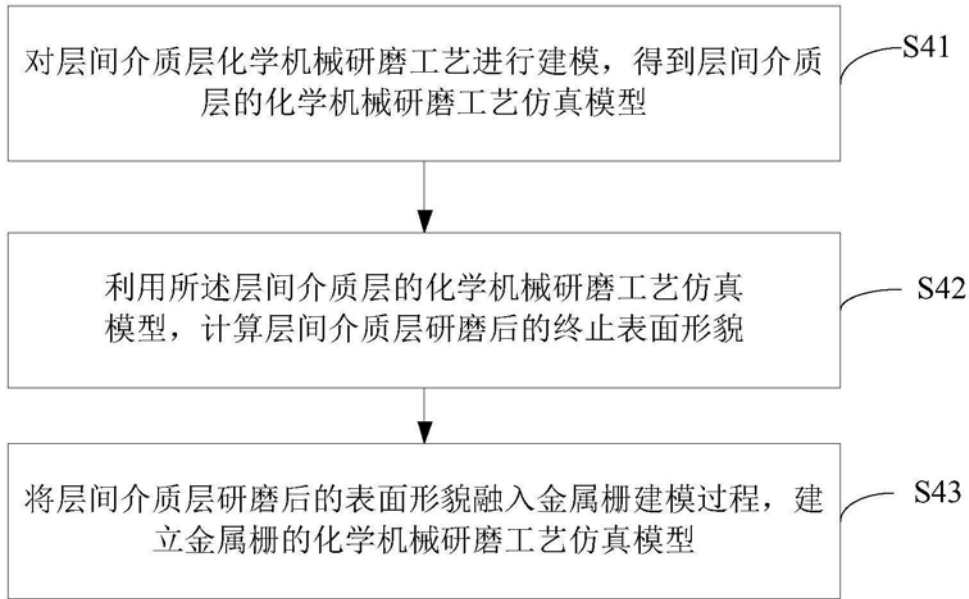


图4

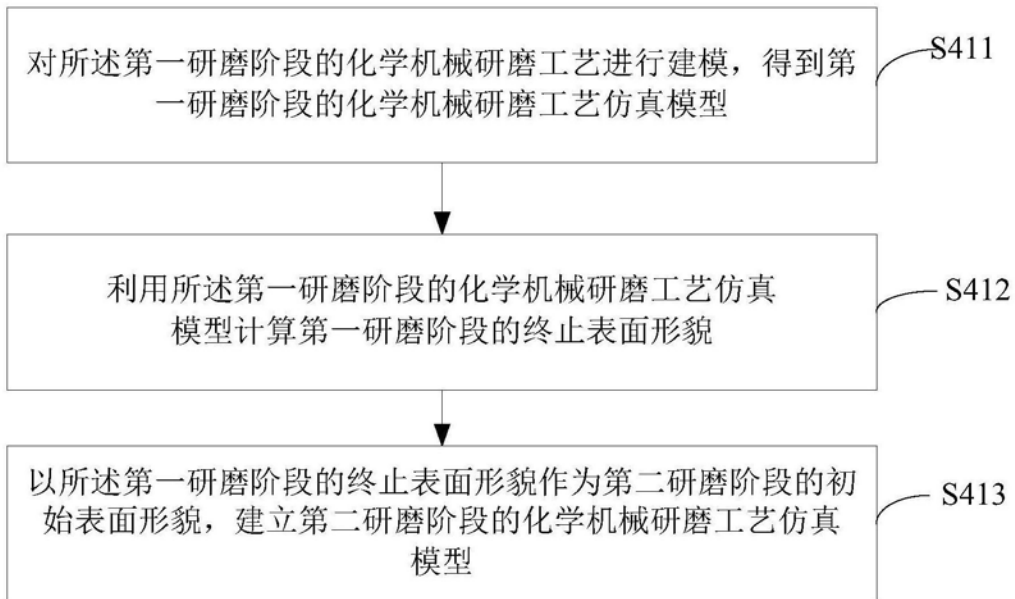


图5

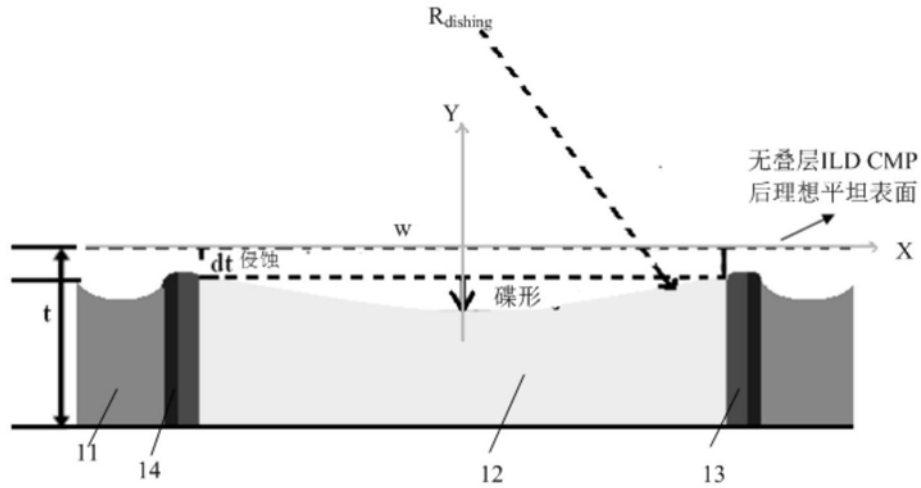


图6

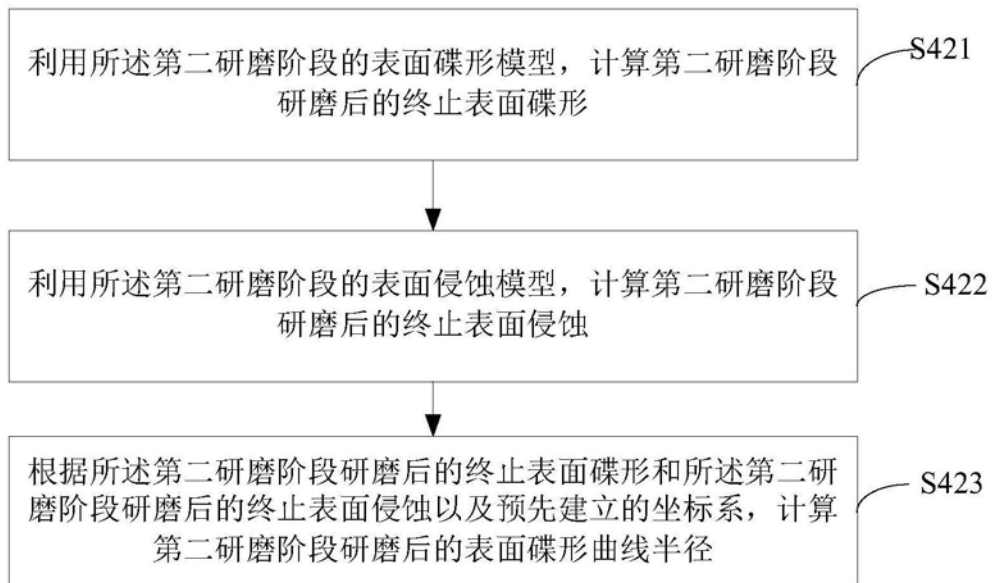


图7



图8