

采用微分电导法(R_{\square})评估 POLY/SIS/Si 界面状况*

郑宜钧 贾永华

(信息产业部电子 58 所, 无锡 214035)

摘要: 提出一种采用微分电导法(R_{\square})分别检测实验样品和陪测样品的 R_{\square} , 同时引入 α 和 α_m 因子分别评估自掺杂多晶硅生长前 Si 表面清洗状况(SIS 层厚度)和自掺杂多晶硅生长后退火或后续高温多晶硅杂质载流子退火特性以及杂质在 POLY/SIS/Si 界面流动情况。通过实际检测发现这种方法可以定性判断 SIS 厚薄和了解自掺杂多晶硅生长后退火或后续高温多晶硅杂质载流子退火特性以及可以半定量估算出自掺杂多晶硅杂质流向 N⁻ 层或 N⁺ 层流向自掺杂多晶硅层的杂质总量。

关键词: 微分电导法; POLY/SIS/Si

EEACC: 2550; 2550B; 2560

中图分类号: TN321

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2001)06-0733-04

1 引言

自掺杂多晶硅发射极和以自掺杂多晶硅生长为基础的结构, 首先面临的是自掺杂多晶硅生长前 Si 表面清洗以及清洗后(总有一层称为 SIS 的薄 SiO₂ 层)的评估问题^[2]; 同时也需要了解自掺杂多晶硅生长后退火或后续高温多晶硅杂质进入 Si 衬底的浓度以及总量($R_{\square Si}$)。本文提出了一种简单而有效的方法, 即采用微分电导法(R_{\square}), 通过测试实验样品和陪测样品的 R_{\square} , 同时引入 α 和 α_m 因子可以分别评估自掺杂多晶硅生长前 Si 表面清洗情况(即 SIS 层厚度)和自掺杂多晶硅生长后退火或后续高温多晶硅杂质载流子退火特性, 以及半定量估算出自掺杂多晶硅杂质流向 N⁻ 层或从 N⁺ 层流向自掺杂多晶硅层的杂质总量。其中, 在定性判断 SIS 层厚薄基础上如采用高精度膜厚仪做标样, 可以相对定量判断 SIS 层厚度。这与采用高精度且费用昂贵的膜厚测试仪监测超薄 SiO₂ 或 SIS 方法相比, 显然是一种既经济又实用的方法; 在忽略或不考虑自掺杂多晶硅杂质的退火特性因素的情况下, 采用这种方法

可以解决自掺杂多晶硅发射极和以自掺杂多晶硅生长为基础的结构杂质流动的半定量分析问题。

2 实验与结果

2.1 实验图象模型

如图 1 所示, (a) 是被评估的 POLY/SIS/Si 实验样品示意图; (b) 是与(a)衬底完全相同且仅沉积

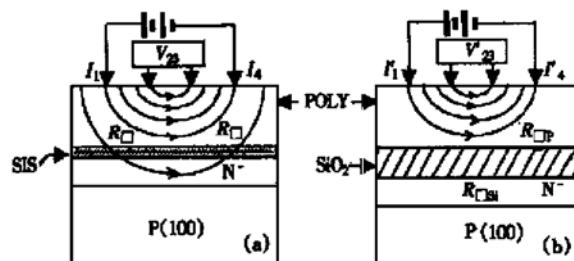


图 1 微分电导法示意图 (a) 实验样品示意图; (b) 陪测样品示意图

FIG. 1 Differential Conductance Sketch Map (a) Control Wafer(Experimental Sample); (b) Test Wafer (Accompanying Sample)

* 国防预研科技基金资助项目(批文号: 98G8.3.1.DZ 0601)。

郑宜钧 男, 高级工程师, 主要从事微电子技术以及新结构新器件研究开发工作。

贾永华 女, 工程师, 主要从事微电子 CVD 工艺技术和器件研究工作。

了一层厚 SiO_2 的陪测样品。在测试中, 假定 I_1, I_4 (或 I'_1, I'_4) 通以恒定电流所产生电场(电力线)未波及到陪测样品衬底(因有足够厚 SiO_2); 相反, 实验样品衬底被电场(电力线)波及, 这样就有:

$$1/R_\square = \alpha \times 1/R_{\square\text{Si}} + 1/R_{\square\text{P}} \quad (1)$$

$$\alpha = R_{\square\text{Si}} \times (R_{\square\text{P}} - R_\square) / R_{\square\text{P}} \times R_\square \quad (2)$$

其中 $R_{\square\text{P}}$ 是单纯自掺杂多晶硅上的 R_\square (在陪测样品上测试获得); $R_{\square\text{Si}}$ 是 N^- 上的 R_\square (自掺杂多晶硅生长前测试获得); R_\square 是被评估的 POLY/SIS/Si 实验样品的 R_\square 。

(1) 式中 $\alpha \times 1/R_{\square\text{Si}}$ 项中 α 因子的物理意义是: 在四探针测试中, 通过 I_1, I_4 施以恒定电流所产生电场(图中以电力线表示)通过 SIS 对样品衬底载流子定向流动影响程度。或者说, 样品衬底杂质载流子在四探针测试中, 随着 I_1, I_4 恒定电流所产生电场通过 SIS 对四探针中的中间二根(收集电荷的电极) V_{23} 的贡献量;

评估重自掺杂 POLY/SIS/Si 形成后经退火或后续的高温过程, 其杂质通过界面的流动状况同样可以采用微分电导法(R_\square), 通过测试实验样品和陪测样品的 R_\square , 同时引入 α_n 因子。这样, 也有:

$$1/R_{\square n} = \alpha_n \times 1/R_{\square\text{Si}}(n-1) + 1/R_{\square\text{Pn}} \quad (3)$$

$$\alpha_n = R_{\square\text{Si}}(n-1) \times (R_{\square\text{Pn}} - R_{\square n}) / R_{\square\text{Pn}} \times R_{\square n} \quad (4)$$

其中 $R_{\square\text{Pn}}$ 是经退火或后续高温后陪测样品自掺杂多晶硅上的 R_\square ; $R_{\square\text{Si}}(n-1)$ 是 Si N^- 上一次退火或后续高温后的 R_\square ; $R_{\square n}$ 是经退火或后续高温后被评估实验样品的 R_\square 。在本文讨论重自掺杂(饱和)情况下, 多晶硅中杂质经退火或后续高温仅很少部分

(相对多晶硅中杂质)通过 SIS 进到 N^- 衬底。因此, 对多晶硅上 R_\square 影响可忽略不计。这样, (3) 式中 $R_{\square\text{Pn}}$ 与陪测样品自掺杂多晶硅上 $R_{\square\text{Pn}}$ 近似相等。 α_n 表达形式和 α 完全一样, 但其物理意义完全不同, α 大小反映 SIS 的厚薄; α_n 大小反映多晶硅退火特性和从多晶硅进到 N^- 衬底而获得载流子迁移率提高的杂质质量。

2.2 实验步骤和结果

为了提高 α 因子对自掺杂多晶硅与硅界面状况(SIS)灵敏度, 应提高 $R_{\square\text{Si}}$ 。即在 P(100) 上注入 As 或 P 形成 N^- ; 另外为了确保陪测样品 SiO_2 两边 POLY 和 N^- 的之间 R_\square 互不影响, SiO_2 厚度尽可能厚, 选 650nm。

本实验选择一般在实际自掺杂多晶硅生长前 Si 表面清洗所采用的方法, 即:

I. 2# 液 → 稀 HF 漂 → 去离子水冲洗 → 甩干 → 慢进炉(N_2 保护);

II. 稀 HF 漂 → 2# 液 → 去离子水冲洗 → 甩干 → 在炉口停 5min(N_2 保护)。

其中, 2# 液为 $\text{H}_2\text{SO}_4, \text{H}_2\text{O}_2$ 和 H_2O 溶液。实验结果如表 1、2 所示。

表 1 反映自掺杂多晶硅与硅界面状况的 α 因子($R_\square: \Omega/\square$)

Table 1 α Factor: Interface Status of Self-Doped Poly Si and Si($R_\square: \Omega/\square$)

参数 片号	类型	清洗方法	$R_{\square\text{Si}}$			R_\square			α	L116B(椭偏仪)
			$R_{\square\text{P}}$	R_\square	α	$R_{\square\text{P2}}$	$R_{\square\text{2}}$	α_2		
1- 4#		I	970	1030	565	0.775	0.4nm			
1- 5#		II	970	1030	605	0.662	0.6nm			

表 2 反映自掺杂多晶硅与硅中杂质在界面上流动状况的 α_n 因子($R_\square: \Omega/\square$)

Table 2 α_n Factor: Flowing Status of Impurities in Self-Doped Poly Si and Si on Interface($R_\square: \Omega/\square$)

参数 片号	类型	自掺杂多晶硅后的参数 (多晶硅厚度 700nm)				950°C 10s, RTA			750°C 30min, N_2 常规炉中退火			920°C 30min, N_2 常规炉中退火		
		$R_{\square\text{Si}}$	$R_{\square\text{P}}$	R_\square	α	$R_{\square\text{P}}$	R_\square	α_1	$R_{\square\text{P2}}$	$R_{\square\text{2}}$	α_2	$R_{\square\text{P3}}$	$R_{\square\text{3}}$	α_3
2- 6#		100	274	108	0.56	50.76	29	1.45	77.8	34	1.65	68.44	38	1.17

3 结果与讨论

结合图 1 和表 1、表 2, 不难看出清洗方法 I 的界面比 II 的界面 SIS 应该更薄。因此, 反映出 α 因子更大, 这与 L116B 椭偏仪测试结果是一致的(陪测样品可以认为 α 因子为 0 的特例); 自掺杂多晶硅在

经 RTA 后 α_n 因子即 α_1 由 0.56 提高到 1.45, $R_{\square\text{P}}$ 由 $274\Omega/\square$ 降到 $50.76\Omega/\square$, 反映出 α_n 因子提高主要是自掺杂多晶硅杂质的 RTA 效果明显(SIS 不变)带来的结果; 在后续 750°C, N_2 气氛退火 30min, α_n 因子即 α_2 提高到 1.65。由于 $R_{\square\text{P2}}$ 大于 $R_{\square\text{P1}}$, 说明 α_2 因子提高不是多晶硅杂质进一步退火效果的贡献, 而是反映出自掺杂多晶硅中杂质向 N^- Si 流动的结

果。具体说,因为流向 N⁻ Si 的 As(本实验)杂质载流子比其在多晶硅中迁移率更高而提高了微分电导,即提高了 α_n 因子的缘故;最后在 920℃, N₂ 气氛退火 30min, α_n 因子即 α_3 却降到 1.17,这是因为在高温测量后 N⁻ 层中施主杂质被衬底受主杂质补偿所损失电导大于从多晶硅流向 N⁻ 层的施主杂质所提供的电导。结合(3)、(4)式和陪测样品自掺杂多晶硅上 $R_{\square_{\text{Pn}}}$ 的变化,可以大致了解自掺杂多晶硅杂质的退火特性和半定量了解自掺杂多晶硅杂质流向 N⁻ 层的杂质总量。如果进一步分析并建立 α_n 因子改变量与 $R_{\square_{\text{SIn}}}$ 改变量及相关参数之间(如自掺杂多晶硅杂质的退火特性、施主杂质与受主杂质补偿等)关系就可以定量计算出杂质在 POLY/SIS/Si 界面流动情况。如忽略或不考虑自掺杂多晶硅杂质的退火特性的因素,而简单地结合(1)、(3)、(4)式和微分电导物理含义,可半定量建立:

$$\alpha_n \times 1/R_{\square_{\text{Si}}} (n - 1) = \alpha \times 1/R_{\square_{\text{SIn}}} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \delta_n &= 1/q\mu \times (1/R_{\square_{\text{SIn}}} \pm 1/R_{\square_{\text{Si}}} (n - 1)) \\ &= 1/q\mu \times 1/R_{\square_{\text{Si}}} (n - 1) (\alpha_n/\alpha \pm 1) \end{aligned} \quad (6)$$

其中 δ_n 是某一次后续高温后自掺杂多晶硅杂质流向 N⁻ Si 衬底层的总量(为正值)或 Si N⁺ 杂质流向自掺杂多晶硅层的总量(为负值); $q\mu$ 是电子电荷与载流子迁移率乘积; $R_{\square_{\text{SIn}}}$ 是某一次后续高温后 N⁻ Si 衬底层 R_{\square} ; $+ 1/R_{\square_{\text{Si}}} (n - 1)$ 表示上一次后续高温后 Si 衬底反型杂质层 $1/R_{\square}$ (作用深度为补偿形成后结的深度), $- 1/R_{\square_{\text{Si}}} (n - 1)$ 表示上一次后续高温 Si 衬底同型杂质层 $1/R_{\square}$ (作用深度为原结深)。

本文专做 N⁻ Si 衬底层是为了提高 α 因子对 SIS 层的灵敏度和便于说明问题,实际 POLY/SIS/Si 结构的 Si 衬底(N⁺)施主杂质浓度很高(早期多晶硅发射极结构就是这样^[1,2]),或者 Si 衬底是与自掺杂多晶硅杂质反型的(P)(近期超自对准多晶硅发射极结构就是这样^[3])。不论是哪一种,通过以上分析和半定量计算,都可以采用微分电导法(R_{\square})分别适时检测实验样品和陪测样品的 R_{\square} 并引入 α 和 α_n 因子来评估自掺杂多晶硅生长前 Si 表面清洗情

况以及在后续退火或高温中自掺杂多晶硅中杂质在界面上流动情况。这样,不需要纵向解剖分析(非常麻烦),就能了解到自掺杂多晶硅生长后退火或后续高温多晶硅杂质进入 Si 衬底的浓度以及总量($R_{\square_{\text{SIn}}}$),为研究开放自掺杂多晶硅发射极和以自掺杂多晶硅生长为基础的结构提供了方便。本文提出的仅仅是一种方法和对方法所用概念的阐述,还不能详细提供整套经严格修正核实可查用的工程曲线;另外,SIS 层有多晶硅覆盖且在高温下是否会有变化,这就需要更深入探讨。

4 结论

通过采用微分电导法(R_{\square})对实验样品和陪测样品 R_{\square} 的检测,和引入 α 和 α_n 因子进行评估自掺杂多晶硅生长前 Si 表面清洗情况,以及在后续退火(或高温)中自掺杂多晶硅中杂质在界面上流动情况。其中,在定性判断 SIS 层厚薄基础上如采用高精度膜厚仪做标样,可以相对定量判断 SIS 层厚度。这与采用高精度、费用昂贵膜厚测试仪监测超薄 SiO₂ 和 SIS 方法相比,显然是一种既经济又实用的方法。在忽略或不考虑自掺杂多晶硅杂质的退火特性情况下,可以半定量估算出自掺杂多晶硅杂质流向 N⁻ 层或 N⁺ 层流向自掺杂多晶硅层的杂质总量。为研究自掺杂多晶硅发射极和以自掺杂多晶硅生长为基础的结构提供了方便。因此,这是一种既经济简单而又实用有效的评估 POLY/SIS/Si 方法。

参考文献

- [1] Liu Ying-kun, Zhang Da-li et al., Chiness Journal of Semiconductor Technology, 1999, **24**(1): 28[刘英坤, 张大立, 等, 半导体技术, 1999, **24**(1): 28].
- [2] M. Takagi et al., J. J. Soc. Appl. Phys. (Suppl.), 1972, **42**: 101.
- [3] T. C. Chen, E. Janin, H. Stork, B. Meyerson et al., IEEE Trans. Electron Devices, 1981, **38**(4): 941—943.

POLY/SIS/Si Interface Evaluation by Differential Conductance(R_{\square})^{*}

ZHENG Yi-jun and JIA Yong-hua

(The Electron 58th Research Institute, The Ministry of Information Industry, Wuxi 214035, China)

Abstract: A differential conductance (R_{\square}) method is proposed to analyze the control wafer (experimental sample) and the test wafer (accompanying sample), and the α and α_0 factors are introduced to evaluate the Si surface cleaning effect (thickness of SIS) before the growth of self-doped poly-Si, anneal or subsequent high temperature characteristic of impurity carriers in selfdoped poly-Si after the growth and the flowing status of impurities on the surface of Poly/SIS/Si. The results indicate that, with this method, SIS thickness can be qualitatively determined and the amount of the impurities flowing the self-doped poly-Si to N⁻ layer and those from N⁻ layer to the self-doped poly-Si can be obtained.

Key words: differential conductance; POLY/SIS/Si

EEACC: 2550; 2550B; 2560

Article ID: 0253-4177(2001)06-0733-04

* Project Supported by Advanced Research Foundation for National Defence of China (No. 98G8.3.1. DZ0601).

ZHENG Yi-Jun male, engineer, is engaged in the research on GeSi/Si-HBT/IC and compatible technique with Si.

JIA Yong-hua female, engineer, is engaged in the research on GeSi/Si-HBT/IC and compatible technique with Si.

Received 5 June 2000, revised manuscript received 4 September 2000

© 2001 The Chinese Institute of Electronics