

铝-硅和金-硅的接触电势差

陆 德 仁

(中国科学院上海冶金研究所)

1982年7月27日收到

提 要

用 $C-V$ 技术测量了铝膜和金球探针作为电极的 MOS 系统接触电势差, MOS 系统的衬底包括(100)和(111)两种取向的 n 型和 P 型硅单晶片, SiO_2 膜用热氧化工艺生长。测量结果表明, 用 $C-V$ 技术测到的铝-硅和金-硅接触电势差比用光发射方法测到的数据均大了 0.35 伏左右。作者认为, 在研究 MOS 系统不涉及光的电学现象, 需要接触电势差时, 最好采用 $C-V$ 技术测出的数据。

为制造超大规模集成电路, 人们正在发展薄的热生长 SiO_2 , 为制备性能优良的 MOS 结构, 发展了硅的 HCl 热氧化方法。在这一类实验中, 我们常遇到 MOS 结构的实际平带电压 V_{FB} 正于常被采用的数据^[1], 得出在氧化物中存在负电荷的结论。结论是否正确, 我们用 $C-V$ 方法进行了研究。同时, 我们测到了铝-硅和金-硅的接触电势差, 本文着重报道了这些数据。

用于确定 MOS 结构氧化物中电荷的符号和金属-半导体接触电势差的公式为

$$V_{FB} = \varphi_{ms} - \frac{Q_f}{C_{ox}} = \varphi_{ms} - \frac{Q_f}{\epsilon \epsilon_0} d_{ox} \quad (1)$$

式中 φ_{ms} 为 MOS 结构金属-半导体接触电势差, C_{ox} 为单位面积氧化物电容, d_{ox} 为氧化物厚度, ϵ 和 ϵ_0 分别为氧化物相对介电常数和真空介电常数, Q_f 为固定氧化物电荷。如果各 MOS 结构的 Q_f 相同, 那么 V_{FB} 与 d_{ox} 成线性关系, 在 $d_{ox}=0$ 的 V_{FB} 轴上的截距就是 φ_{ms} , 斜率决定 Q_f 的符号和数值。这方法已为许多作者应用^[2-5]。

我们的实验步骤如下: 硅片清洗后按表 1 列出的预定条件在石英管中热氧化, 氧化毕立即进行阶梯式腐蚀, 在同一片硅片上形成五至六种不同厚度 SiO_2 的区域, 随后用钨丝加热方法蒸上铝膜, 光刻制成 MOS 结构, 这就可以测量, 不再进

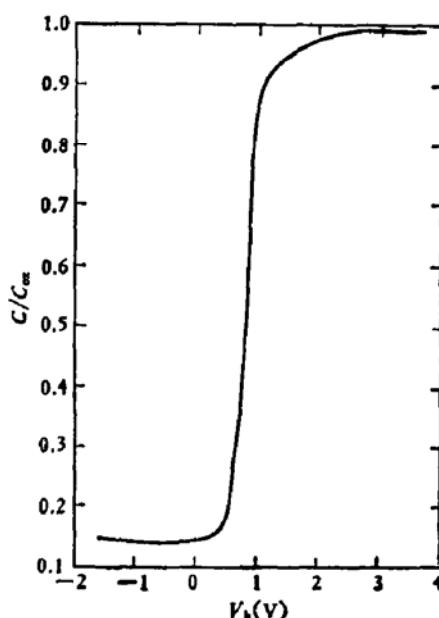


图 1 用金球探针在 n(111) 硅 75\AA 左右 SiO_2 上测到的高频 $C-V$ 曲线试样偏压 $V_B= \pm 2\text{V}$ 时, 漏电流 $I_t \leq 5 \times 10^{-10}\text{A}$, 室温 28°C

行 450°C 左右的氮气处理。测绘各类试样不同厚度区的“生成态”高频(1MC)C-V 曲线，查图表确定平带电压^[6]。试样厚度根据氧化物电容计算， $\epsilon\epsilon_0$ 取 $3.4 \times 10^{-13} F/cm$ 。部分试样的厚度用椭圆仪测量核对，实验结果表明氧化层厚度之值已经足够正确。铝 MOS 结构的 C-V 测试完成后，将铝膜去净，清洗后用金球探针测出各区的 C-V 曲线^[7]，或者另取相同试样，用金球探针测出逐次腐蚀 SiO₂ 后的平带电压对于残留 SiO₂ 所需腐蚀时间的关系曲线，两者结果一致。后者往往可测到残留 SiO₂ 仅为 100 Å 左右时的 C-V 曲线，如图 1 所示。

表 1 铝-硅和金-硅接触电势差 φ_{ms} 和固定氧化物电荷 Q_f

氧化方法	文 献	硅的型、取向、掺杂 (cm ⁻³)	测试方法	φ_{ms} (V) 铝膜	φ_{ms} (V) 金球	Q_f (q/cm ²)*
1160°C HCl 6% 35分钟	本 文	n(100) 2×10^{18}	C-V	0.10 ± 0.05	1.0 ± 0.1	3.2×10^{10}
		n(100) 4×10^{18}	C-V	0.10 ± 0.05	1.0 ± 0.1	1.3×10^{11}
		n(111) 3×10^{18}	C-V	0.00 ± 0.05	1.0 ± 0.1	3.4×10^{11}
		p(100) 8×10^{14}	C-V	-0.50 ± 0.05	0.3 ± 0.1	1.8×10^{11}
		p(100) 5×10^{18}	C-V	-0.60 ± 0.05	0.2 ± 0.1	2.7×10^{11}
		p(111) 1×10^{18}	C-V	-0.60 ± 0.05	0.25 ± 0.1	5.9×10^{11}
1200°C 6分钟干氧	[1]	n(100), n(111) 1×10^{18}	光发射	-0.25		
		p(100), p(111) 1×10^{18}	光发射	-0.96		
溅射淀积	[2]	n(100) 1.5×10^{18}	C-V	0.1		
		n(111) 5×10^{18}	C-V	-0.3		
1000°C 干氧不同时间 原炉内氮气退火 30 分钟	[3]	n(100) 2.5×10^{18}	C-V	0.1		
		p(100) 6×10^{18}	C-V	-0.62		

* 根据铝电极试样测到的曲线计算。在氧化层较厚时，金球探针测量到的平带电压，误差大。

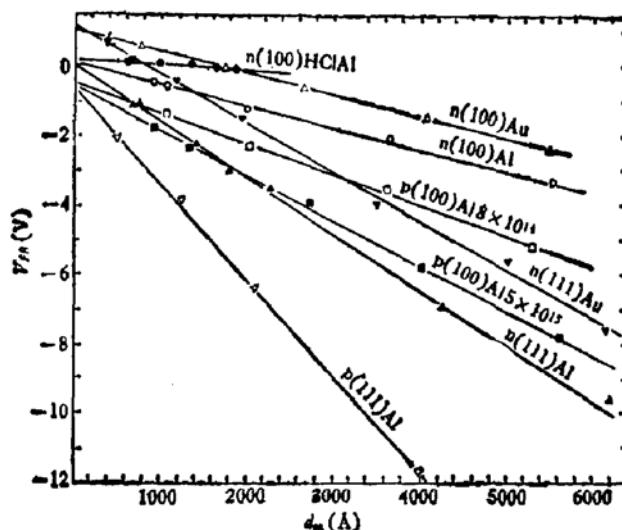


图 2 MOS 结构平带电压随氧化层厚度的变化。试样的导电类型、掺杂浓度、取向和氧化物生长方法列于表 1，直线旁注明了硅的导电类型、取向、铝膜或金球作电极

图2是实验测得的平带电压与氧化物厚度的关系曲线，试样的导电类型、掺杂浓度、取向和热氧化条件，以及由截距和斜率得出的接触电势差的平均值和固定氧化物电荷，列于表1。表2列出了用金球探针在100 Å左右残留SiO₂上测到的平带电压，它们都大于Deal等^[1]报道的金-硅接触电势差值。

实验结果表明，接触电势差与硅的两种取向无关，铝-硅的接触电势差比Deal等的数据大0.3至0.4V，金球的比铝的大0.8至1.0V，这与Deal等相一致。对于同一种金属

表2 金球探针在薄SiO₂上确定的平带电压

硅片(取向)	n(100)	n(111)	p(100)	p(111)
<i>d_{ox}</i> (Å)	125	75	80	120
<i>V_{FB}</i> (V)	0.92	0.80	0.15	-0.10

电极，n型和p型两种电势差之间的关系，在实验的误差范围内仍然满足下列关系式

$$\varphi_{mn} - \varphi_{mp} = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_D N_A}{n_i^2} \quad (2)$$

式中 φ_{mn} 和 φ_{mp} 分别为金属与n型和p型硅之间的接触电势差，k为波尔兹曼常数，T为绝对温度，q为电子电荷， n_i 为本征载流子浓度。从图2的n(100)HClAl直线的斜率可知，HCl氧化物的固定电荷是正的，原先得到负电荷的原因是计算时采用了Deal等给的较负的铝-硅接触电势差值。

从表1可见，除了文献[2]中用C-V方法确定的铝与n(111)硅的接触电势差跟文献[1]报道的光发射方法测得的数据相符合外，表中列出的其它C-V法确定的铝硅接触电势差，不管硅的取向是(100)还是(111)，彼此比较一致，比用光发射方法测得的数据正0.35V左右。对于这一差别，Werner^[3]、Harberle和Fröschle^[2]没有给出解释，我们也没有找到这些不一致的原因，这是尚待研究的课题。作者认为，在研究MOS结构时，对于一些不涉及与光有关的电现象，采用C-V测得的数据较为妥当。

参 考 文 献

- [1] B. E. Deal, E. H. Snow and C. A. Mead, *J. Phys. Chem. Solids*, **27**, 1873(1966).
- [2] K. Harberle and E. Fröschle, *J. Electrochem. Soc.*, **126**, 878(1979).
- [3] W. M. Werner, *Solid-State Electronics*, **17**, 769(1974).
- [4] J. S. Multani and J. S. Sandhu, *J. Electrochem. Soc.*, **126**, 1084(1979).
- [5] 徐至中，梁励芬，半导体学报，**3**, 141(1982).
- [6] A. Goetzberger, *Bell Syst. Tech. J.*, **45**, 1097(1966).
- [7] M. H. Badawi and K. V. Anand, *Thin Solid Films*, **37**, 149(1976).

On the Contact Potential Differences in Al-SiO₂-Si and Au-SiO₂-Si Structures

Lu Deren

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

Abstract

The contact potential difference of the MOS-system with aluminium field-plates and gold probe electrode is measured by the MOS-capacitance-voltage technique for (100) and (111) oriented n-type as well as p-type silicon slices with thermal SiO₂. It can be seen that the contact potential differences measured in this work are about 0.35 V more positive than the values measured by the photoemission technique. It is suggested that the value measured by the MOS-capacitance-voltage technique should be used when the electrical phenomena without light in MOS-system are investigated.