

扩展长波红外探测的铌硅化物 硅肖特基势垒的研究*

郝建华 赵兴荣 丘思畴** 易新建

(华中理工大学光学工程系, 湖北, 武汉, 430074)

通过制备铌硅化物—硅肖特基势垒, 分析了衍射相, 讨论了铌硅化物成膜工艺及其与薄膜方块电阻的关系, 测量并分析了势垒高度, 红外光吸收率. 研究表明, 铌硅化物—硅是一种有希望扩展肖特基势垒红外探测范围的新型势垒结构.

关键词: 铌硅化物, 肖特基势垒, 红外探测.

1 引言

肖特基势垒红外探测器(SBIRD)由于均匀性很好, 动态范围宽, 能与硅集成工艺相容, 而受到国内外普遍重视. 但响应范围窄, 量子效率低. SBIRD对红外辐射响应范围主要取决于肖特基势垒结构. 降低势垒高度 ψ_m , 不仅可以扩展截止波长, 而且可提高更短波长的灵敏度, 改善目前低的量子效率. C. Y. Wei^[1]成功地尝试了利用离子注入技术降低硅化铂—硅势垒高度, 扩展了相应SBIRD截止波长. 本文主要通过改善势垒接触材料, 制备铌硅化物—硅肖特基势垒, 研究其特性, 扩展长波红外探测的范围.

2 实验

选用(100)晶向, 电阻率 $\rho=8\sim 12\Omega\cdot\text{cm}$ 的N型或P型抛光硅片, 衬底硅在淀积膜前经HF、HCL和 H_2O_2 严格的化学清洗. 由于金属铌的难熔性, 我们用电子束蒸发方法, 并采用IC 6000石英晶体振荡膜厚仪监测膜厚. 衬底温度为 250°C 左右, 蒸发后样品在氩气保护下进行热退火处理形成铌硅化物.

用 $D_{\text{max}}\text{-IIIIB X}$ 射线衍射仪进行了物相分析, 所用 FeK_α 靶的工作条件为 $40\text{kV}/30\text{mA}$. 用标准的四探针法测量了薄膜的方块电阻. 用C-V法测量了铌硅化物—硅势垒高度. 另外还用UV-360分光光度计测量分析了铌硅化物薄膜的红外吸收特性.

本文1990年10月29日收到, 修改稿1991年4月30日收到.

* 国家自然科学基金资助项目.

** 华中理工大学固体电子学系.

3 结果和讨论

3.1 电学特性及物相形成分析

图 1 是 100 nm Ir 膜在不同热退火温度下测得的方块电阻 R_{\square} 实验曲线

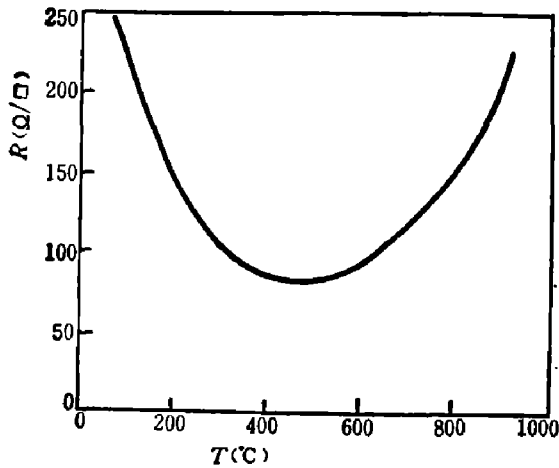


图 1 R_{\square} 随 T 变化实验曲线

Fig. 1 The experimental curve of R_{\square} versus T

在退火温度 $T < 350^{\circ}\text{C}$ 时, R_{\square} 有明显下降的趋势. 根据 Mayads-Shatzkes 晶界电子散射理论^[2], 晶粒的生长导致电阻率降低. 在我们实验中, 随着退火温度升高, 生成的物相更加强烈地择优取向, 这是造成 R_{\square} 下降原因之一.

在 $350^{\circ}\text{C} < T < 550^{\circ}\text{C}$ 时, R_{\square} 变化平缓, 说明晶粒增大到了饱和值, 薄膜生成稳定的成份物相, 使得薄膜电学特性也较稳定. 为了分析稳定物相, 对 100 nm Ir 膜在 450°C 热退火一小时后所得样品进行了 X 射线衍射研究结果如图 2 所示.

图 2 中标有八个 IrSi 衍射峰, 证实了在此工艺条件下所得到的主要铱硅化物是 IrSi, 为斜方晶系, 晶格参数 $a_0 = 0.556 \text{ nm}$, $b_0 = 0.321 \text{ nm}$, $c_0 = 0.627 \text{ nm}$, 晶体结构为 MnP 型, 每个原胞中含有 8 个原子. 当退火温度高于此温区时, R_{\square} 又有增大趋势. S. Petersson^[3] 发现这与在 600°C 左右 Ir/Si 相互反应可生成具有半导体性质相 IrSi_{1.75} 有关. 继续升温, 由于铱硅化物薄膜与衬底硅材料热膨胀系数不同产生内应力, 薄膜表面呈气泡状, 发皱导致 R_{\square} 值急剧上升直至薄膜脱落.

3.2 铱硅化物——硅势垒高度测量

在 C-V 测量中, 低势垒高度的样品并联电导很大, 所以必须加以冷却才能进行测量. 为

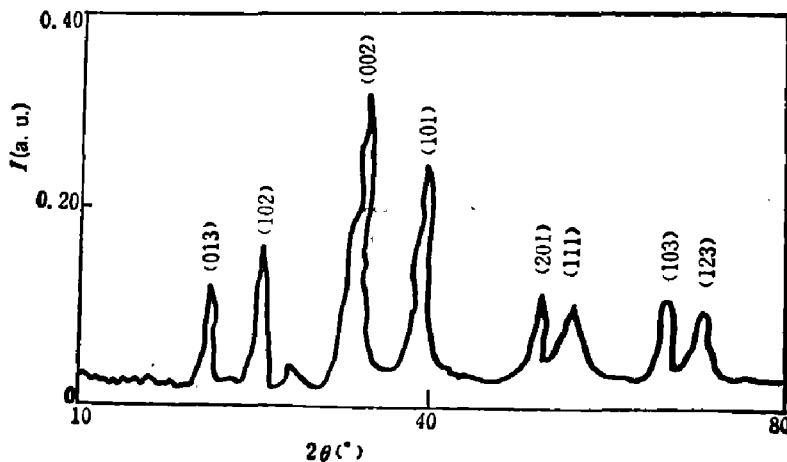


图 2 IrSi 的 X 射线衍射图

Fig. 2 X-ray diffraction spectrum of IrSi

了研究方便, 采用以下间接方法测量 IrSi-Si(P) 势垒高度. 根据单位面积势垒电容 C_0 与外加偏压 V_0 的理论关系式^[4]:

$$\frac{1}{C_0^2} = \pm \frac{8\pi}{N \cdot q \cdot \epsilon_s \cdot \epsilon_0} [(V_s)_0 + V_0], \quad (1)$$

式(1)中 N 为掺杂浓度, ϵ_s 为半导体的介电常数, ϵ_0 为真空介电常数; 当零偏压时, 截距 $(V_s)_0$ 约为肖特基势垒高度. 本实验采用 N 型硅作衬底, 取 $N_B = 3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $\epsilon_s = 11.6$, $\epsilon_0 = 8.86 \times 10^{-14} \text{ F/cm}$, 实测多组 $(C \cdot V)$ 值, 应用计算机获得最佳拟合线, 计算出截距并加以修正得到 ψ_{bn} 值, 对同一种金属与硅接触, 满足 $\psi_{bn} \approx 0.91 \sim 0.94 \text{ (eV)}$, 由此可以估算 IrSi-Si(P) 势垒高度. 我们将样品 IrSi-Si 特性实验结果与目前成熟的 PtSi-Si、Pd₂Si-Si 势垒结构性能参数进行了比较(见表 1), 结果表明, IrSi-Si(P) 势垒是一种能扩展目前 SBIRD 截止波长的新型势垒结构.

表 1 Pd₂Si-Si, PtSi-Si 和 IrSi-Si 势垒结构性能参数

Table 1 Parameters of Pd₂Si-Si, PtSi-Si and IrSi-Si barrier structures

势垒结构	ψ_{bn} (eV) (实测值)	ψ_{bp} (eV) (估算值)	λ_c (μm) (估算值)
IrSi	0.91~0.94	0.21~0.17	5.9~7.3
Pd ₂ Si	0.72~0.75	0.40~0.37	3.1~3.3
PtSi	0.85~0.88	0.27~0.24	4.6~5.2

3.3 铱硅化物红外吸收特性

合理的硅化物厚度将增加薄膜的红外吸收, 改善器件的量子效率. 为了获得 IrSi 薄膜红外吸收最佳值, 我们在 2.5~10 μm 红外光谱内测量了薄膜的反射率 R 和透射率 T , 薄膜吸收率由 $A = 1 - R - T$ 确定. 图 3 是 $\lambda = 2.5 \mu\text{m}$ 时红外吸收率与 IrSi 膜厚的关系曲线.

G. D. Mahan 和 D. T. F. Marple 曾根据 Drude 模型计算了膜厚为 d 的 PtSi ($n_m = n + ik$) 的红外吸收率^[5]为

$$A(d) = A(\infty) + 8|t|^2 n_i \left(\frac{n}{k^2} \right) \left(1 + \frac{2k\omega d}{c} \right) + O(t^4); \quad (2)$$

式(2)中 $A(\infty) = 1 - R(\infty) = 1 - |(n_i - n_m)/(n_i + n_m)|^2$, $|t| = \exp(-\omega k d/c)$; $n_i = n_{si} = 3.45$. 式(2)的一级近似式为

$$A(d) = A(\infty) + 8n_i \left(\frac{n}{k^2} \right) \left(1 - \frac{4\omega^2 k^2}{c^2} d^2 \right), \quad (3)$$

式(3)表明当入射光从硅一侧入射时, n_i 因子增加了红外吸收, 而且薄膜红外吸收率随薄膜

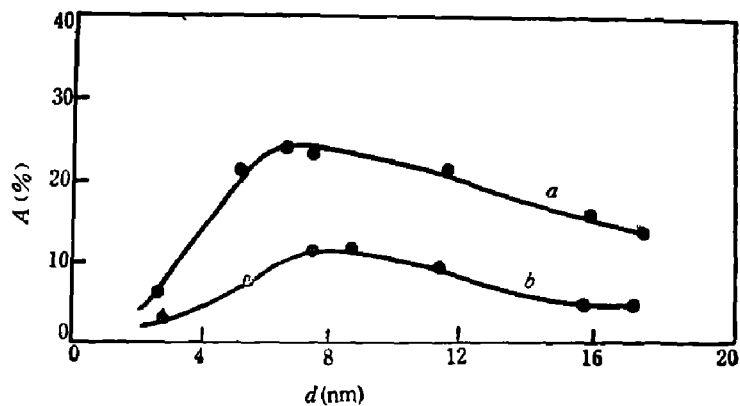


图 3 IrSi 薄膜膜厚与吸收率的关系

(a) 红外辐射从硅一侧入射 (b) 红外辐射从 IrSi 一侧入射

Fig. 3 Dependence of absorption on thickness of IrSi films

厚度 d 的降低呈抛物线规律增长, 蒸发铱膜厚约 7nm 时吸收有极值是在我们实验条件下得到的结果。可以推测, 若改善工艺条件, 吸收极值向更薄的硅化物层方向移动。

4 结 论

- (1) 用电子束蒸发及热退火工艺可以制备性能稳定的铱硅化物——硅肖特基势垒。
- (2) C-V 测量结果表明, IrSi-Si(P) 是一种能扩展 SBIRD 截止波长的势垒结构。
- (3) 较薄的铱硅化物当红外辐射从硅衬底一侧入射时, 红外吸收率呈现极值。

参 考 文 献

- 1 Wei C Y et al. *Thin Solid Films*, 1982; **89**: 407
- 2 Kikuchi A, Hinode K. *Jpn. J. of Appl. Phys.*, 1985; **24**(11): L867
- 3 Petersson S et al. *J. Appl. Phys.*, 1982; **53**(4): 3342
- 4 黄昆, 谢希德. 半导体物理学, 北京: 科学出版社, 1958: 296
- 5 Mahan G D, Marple D T F. *Appl. Phys. Lett.*, 1983; **42**(3): 219

STUDY ON IRIDIUM SILICIDE - SILICON SCHOTTKY BARRIER USED FOR DETECTION OF INFRARED RADIATION EXTENDED TO LONGER WAVELENGTHS*

HAO JIANHUA, ZHAO XINGRONG, QIU SICHOU** YI XINJIAN

(Department of Optical Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan,
Hubei 430074, China)

The iridium silicide-silicon Schottky barrier has been fabricated and the diffraction spectra of samples are analyzed. The formation process of iridium silicide and the relation between the process and square resistance of the film are discussed. Schottky barrier height and infrared absorptivity are measured and analyzed. The results show that the iridium silicide-silicon barrier is a new type of structure expected to be used in detecting infrared radiation extended to longer wavelengths.

Key words: iridium silicide, Schottky barrier, infrared radiation detection.

* The project supported by the National Natural Science Foundation of China.

** Department of Solid State Electronics, Huazhong Univ. of Sci. & Technol., Wuhan, Hubei, China.