

PtSi 肖脱基势垒红外焦平面光腔结构的研究

冯志华 董建民 凌裕农 吴作良 沈重辉

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海)

摘要——重点介绍 PtSi 肖脱基势垒红外焦平面光腔的介质生长技术及介质的折射率和介质层厚度对 PtSi 肖脱基势垒探测器性能的影响, 发现适当的合金条件和减薄 PtSi 层厚度有利于提高探测器的量子效率, 背面增加抗反射层能减少红外辐射在入射界面的能量损失。

关键词——PtSi 肖脱基势垒, 焦平面, 光腔。

1. 引 言

本征红外探测器阵列、非本征硅红外探测器阵列、混成红外探测器阵列和硅肖脱基势垒红外探测器阵列是 4 种主要的红外焦平面结构, 硅肖脱基势垒红外焦平面良好的响应均匀性和与大规模集成电路工艺的高度相容性, 使其在长线阵和大面阵中得到迅速发展, 512×512 元的面阵现已问世^[1], 然而它的一个严重的弱点是量子效率十分低。近年来, 各国的科研工作者对提高硅肖脱基势垒红外探测器量子效率进行了大量的研究, 其中包括硅化物生长动力学、硅化物形成相和探测器结构, 本文介绍在研制带光腔结构的 PtSi 肖脱基势垒红外焦平面时所进行的一系列实验, 同时对这些实验结果展开一些讨论。

2. 光腔的结构和作用

光腔结构的提出^[2], 使一度徘徊不前的量子效率得到飞跃性的提高。现在几乎所有的硅肖脱基势垒探测器都采用光腔结构。图 1 表示带光腔结构的 PtSi 肖脱基势垒探测器,

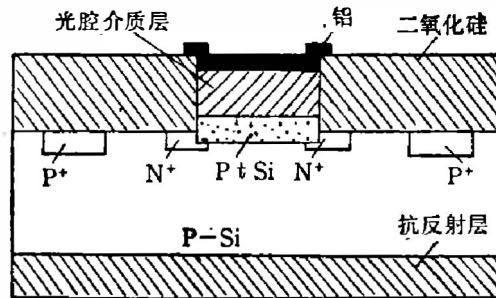


图 1 带光腔的 PtSi 肖脱基势垒探测器的结构示意图

Fig. 1 Schematic of PtSi Schottky barrier detector with optical cavity.

它由抗反射层、硅衬底、硅化铂层、铝反射镜及硅化铂与铝反射镜之间介质层 5 部分组成, 其中硅化铂、介质和铝反射镜是光腔的主要部分。

当红外辐射入射到硅化铂上时, 由于硅化铂的红外吸收系数很小, 大部分红外辐射未被吸收, 没有被吸收的红外辐射穿过硅化铂, 进入介质层后到达铝反射镜, 被反射镜反射回来, 再次进入硅化铂层被吸收, 使量子效率得以提高。从介质层反射回来的红外辐射与穿过硅化铂射向铝反射镜的红外辐射产生干涉。适当选择介质的折射率和介质层厚度, 可以使某一段红外辐射被硅化铂最大限度地吸收, 从而大大提高量子效率, 我们的实验证实了光腔的这一作用。表 1 列出了带光腔和不带光腔的 PtSi 肖脱基势垒探测器量子效率的比较, 表明带光腔结构的探测器的量子效率明显地高于不带光腔的探测器。

表 1 带光腔和不带光腔 PtSi 肖脱基势垒探测器量子效率的比较

Table 1 Comparison of quantum yield PtSi Schottky barrier detectors with and without optical cavity.

	器件编号	Pt 层厚度 (nm)	合金条件	介质折射率	光腔厚度 (nm)	3.3 μm	4.3 μm
						量子效率 (%)	量子效率 (%)
有光腔	603	20	高低温	1.5	750	8.60	1.72
	301	20	高低温	1.7	750	7.0	1.40
	803	20	高低温	2.0	100	12.5	1.88
无光腔	701	20	高低温	—	—	0.08	0.03

3. 光腔的介质层

光腔介质膜的厚度和折射率对探测器性能的影响很大。考虑到光腔介质层是在硅化物形成后淀积上去的, 淀积温度必须低于硅化物的形成温度, 我们利用等离子体增强化学气相淀积技术(PEOVD)淀积介质膜。图 2 是 PEOVD 反应室的示意图, 适当地调节硅烷(SiH_4)和笑气(N_2O)的流量可以连续改变介质膜的折射率。表 2 给出了实验样品的测试结果。

表 2 不同淀积条件下样品的折射率

Table 2 Refractive index of the dielectric deposited under different conditions.

样品编号	硅烷流量(ml/min)	笑气流量(ml/min)	工作压力(Pa)	折射率
1	85	65	226.61	1.5
2	160	36	373.24	1.7
3	290	30	639.84	2

图 3 是介质膜的俄歇微分能谱。由图 3 可以看出, 折射率高的样品, 其硅氧比也高。图 4 表示了折射率对探测器光谱响应曲线的影响。在介质层厚度均为 750 nm 情况下, 折射率不同, 光谱响应的谷值和峰值所对应的波长也不同。折射率大, 峰值往短波方向移动。图 5 表示不同介质层厚度对探测器光谱响应曲线的影响, $d=0$ 表示无光腔结构的探测器, 它的响应率很低; $d=100$ nm 的探测器响应曲线的峰、谷不明显; $d=750$ nm 的探测器在被测光谱区

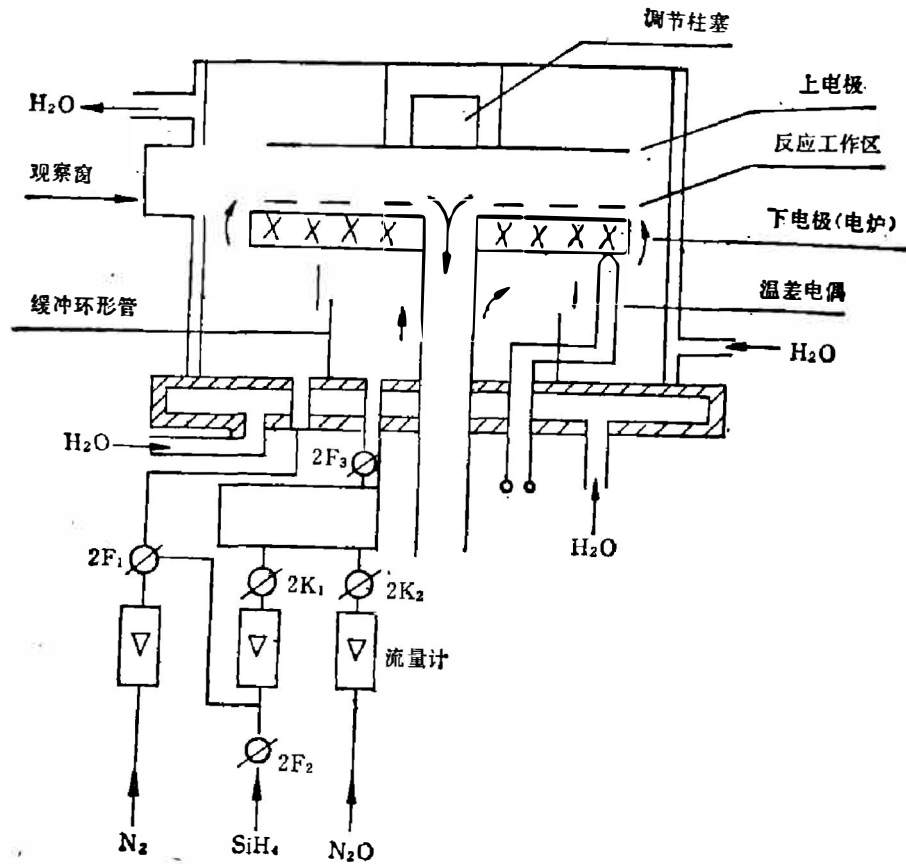


图 2 PECVD 反应室示意图

Fig. 2 Schematic of PECVD reactor chamber.

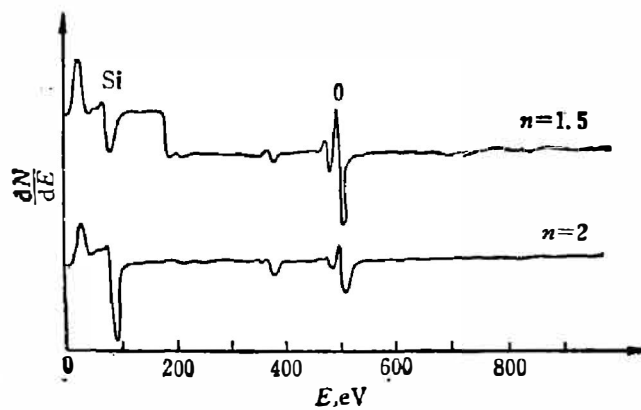


图 3 介质膜的俄歇微分能谱

Fig. 3 First derivative Auger spectra of dielectric layers.

内有多峰增强和吸收峰。上述实验结果表明光谱响应曲线具有明显的峰谷现象，如果需要探测某一较窄的红外波段，可以通过调节光腔介质膜的光学参数来实现。

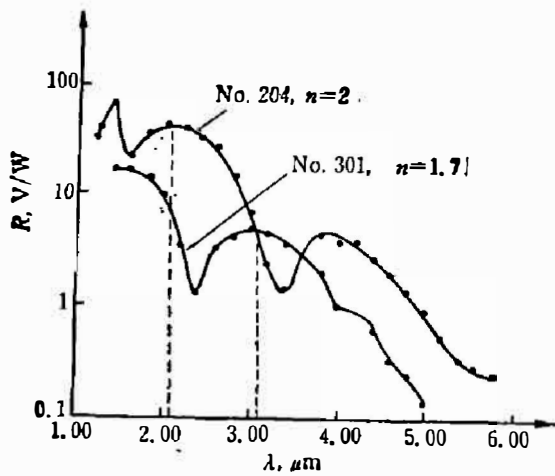


图 4 介质层折射率对光谱响应曲线的影响

Fig. 4 Effect of refractive index of the dielectric on the spectral responsivity

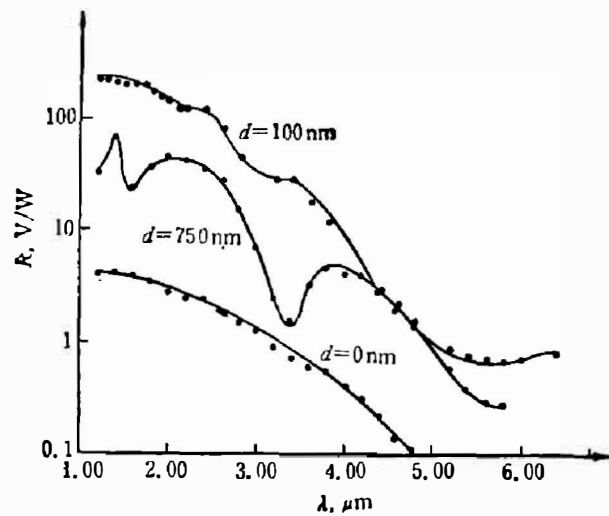


图 5 介质层厚度对光谱响应曲线的影响

Fig. 5 Effect of dielectric layer thickness on the spectral responsivity.

4. PtSi 层膜厚与合金条件的选择

Archer 和 Cohen^[3]在 1973 年率先提出薄 Pt-Si 膜探测器概念。随着 PtSi 膜厚的减薄,在硅化物-光腔介质层界面增加了热空穴散射次数,使空穴注入硅衬底的几率增加,从而提高了探测器的量子效率。目前 PtSi 的膜厚一般选择在 1~20 nm。用溅射技术淀积在硅表面上的 Pt 层,一般需要通过进一步的合金处理才能与硅反应形成 PtSi,合金温度、时间、气氛和程序对硅化物的形成有着密切的关系。表 3 给出不同合金条件下样品的实验结果。在 300°C 下经 2 h 合金的样品的量子效率仅为万分之一,这主要是由于在 300°C 这样低的温度下, Pt 与 Si 不能充分反应形成良好的 PtSi,留下未反应的 Pt 以及少量不稳定相 Pt₂Si, Pt 对红外辐射不透明,使光腔作用消失,所以量子效率很低。在 550°C 下经 2 h 合金的样品的量子效率有所提高,但仍然比较低,这可能是由于反应过快,使未反应的 Pt 和 Pt₂Si 陷在硅化物层中所致。而采用高低温合金方式能使 Pt 和 Si 的反应完全^[4],因此量子效率有显著提高。

表 3 不同合金条件下 PtSi 肖脱基势垒探测器量子效率的比较

Table 3 Comparison of quantum yield of PtSi Schottky barrier detectors under different heat treatment conditions.

器件编号	Pt层厚度 (nm)	合金条件 (°C, h)	介质折射率	光腔厚度 (nm)	3.3 μm 量子效率(%)	4.3 μm 量子效率(%)
901	20	300, 2	2.0	750	—	0.01
301	20	550, 2	2.0	750	0.57	0.15
204	20	高低温	2.0	750	0.55	0.94
003	20	高低温	1.5	750	8.6	1.72

5. 抗反射介质膜的选择

硅肖脱基势垒红外焦平面的量子效率与硅化铂层对红外辐射的吸收系数有关。为了获得高的量子效率,必须设法提高硅化铂的吸收系数,还必须提高入射光在 Si 衬底的透过率,淀积一层抗反射膜层是常用的提高透射率的方法。图 6 给出不同抗反射膜样品(SiO 层和 SiO₂ 层的厚度均为 800 nm)的透射曲线,由图 6 可知, SiO 层的抗反射性能优于 SiO₂ 层。

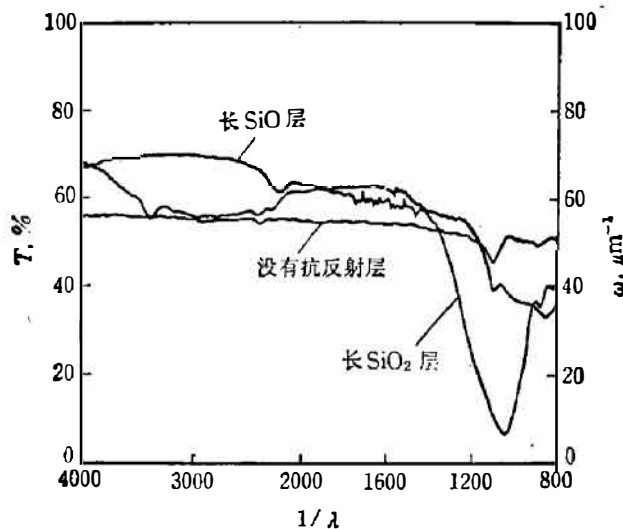


图 6 不同抗反射膜样品的透射曲线

Fig. 6 Transmittance curves of the samples with different anti-reflective coating films.

6. 结 论

带光腔结构肖脱基势垒探测器的性能优化取决于各组成部分的优化及它们之间相互匹配的优化,溅射前严格的化学清洗和溅射后适当的合金工艺是获取优质 Pt-Si 层的重要手段;合理调节光腔介质层的折射率和膜厚可以使光谱响应在感兴趣的波段增强;抗反射层的存在可以使红外辐射在入射界面处的能量损失减小。

致谢——作者对吴汝佳等同志在溅射技术方面给予的大力协助表示感谢。

参 考 文 献

- 【1】 木股雅章,佐田匡彦,坪内夏朗,イレクトロニクス, (1987)9: 51~55.
- 【2】 Elabd H. and Kosonocky W. F., *ECA Review*, **43**(1982), 569~589.
- 【3】 Archer R. J. and Cohen J., *U. S. Patent*, 3 757 123, Sept. 4, 1973.
- 【4】 Chang Chin-An, et al., *J. Vac. Sci. Technol.* **B4** (3) (1986), 745~754.

INVESTIGATION OF OPTICAL CAVITY STRUCTURE IN PtSi SCHOTTKY BARRIER FOCAL PLANE ARRAYS

FENG ZYIHUA, DONG JIANMIN, LING YUNONG, WU ZUOLIANG, SHEN CHONGHUI

(Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica, Shanghai, China)

ABSTRACT

Some experiments on optimization of the optical cavity in PtSi Schottky barrier FPA have been carried out with emphasis on the growth technique of the dielectric layers and effects of the refractive index and layer thickness on the performances of the PtSi Schottky barrier detectors. It is found that proper heat treatment and reduction of PtSi layer thickness will favour the quantum yield of the detectors. Moreover, adding an antireflective layer to the back side of the detector will reduce the radiation energy loss on the incident interface.