文章编号:1001-5078(2009)07-0746-03　　·红外材料与器件·

InSb 光导探测器量子效率研究

贾宝军,张新宇,王新宇
(华北光电技术研究所,北京 100015)

摘　要:在对 InSb 光导探测器量子效率理论分析的基础上,提出两种可有效提高量子效率的方法及其实现方法,并给出相关的应用结果。

关键词:锑化铟;量子效率;抗反射膜;湿法腐蚀
中图分类号:TN215　　**文献标识码**:A

Research on the quantum efficiency of InSb photoconductivity detector

JIA Bao-jun, ZHANG Xin-yu, WANG Xin-yu
(North China Reasearch Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: On the basic of analyzing in theory about the quantum efficiency of InSb detector, we put forword two kinds of method for improving it, and give out our research results.

Key words: InSb; quantum efficiency; anti-reflection film; wet etching

1　引　言

对于光导型 InSb 探测器,其信号电压[1]为:

$$V_s = \eta \cdot \frac{qp_\lambda}{hc} \cdot \mu\tau\rho\left(1+\frac{1}{b}\right) \cdot \frac{E}{wd} \tag{1}$$

式中,η 为量子效率;qp_λ/hc 因子同入射光辐射功率有关 $\mu\tau\rho\left(1+\frac{1}{b}\right)$ 因子同晶体电学性质有关;E/wd 因子同外电场及芯片尺寸有关。

由式(1)可以看出探测器输出信号与量子效率成正比,探测器设计者都想方设法提高其器件的量子效率,进而提高器件的性能。本文在对 InSb 探测器量子效率理论分析的基础上,提出两种可有效提高量子效率的方法及其实现方法,并给出相关的应用结果。

2　理论分析

量子效率表示器件把给定数目的可吸收光子所产生的电子-空穴对数目,它随辐射频率而变。为讨论问题方便,我们做出如下假定:①在辐射频率变化较小;②芯片前后表面复合速率相等;③只考虑前表面的反射。在上述条件下,目标辐射的量子效率[2]为:

$$\eta = \frac{(1-R)(1-e^{-\alpha d})}{1-Re^{-\alpha d}} \tag{2}$$

式中,α 为材料的吸收系数;d 为光敏区的厚度;R 为材料反射率。

对于 3~5 μm 范围内应用的 InSb 元件而言,吸收系数 α 约为 $10^3 \sim 10^4\ \mathrm{cm}^{-1}$,公式(2)简化为:

$$\eta \approx 1 - R \tag{3}$$

此处 R 为 InSb 晶体的表面反射率,同 InSb 晶体的折射率及目标辐射的入射角有关。

红外光经由空气入射到折射率为 n 的 InSb 晶体表面,其 p 光、s 光的反射系数为:

$$r_p = \frac{n_{op} - n_p}{n_{op+n_p}} = \frac{\frac{1}{\cos\theta_i} - \frac{n}{\cos\theta_t}}{\frac{1}{\cos\theta_i} + \frac{n}{\cos\theta_t}}$$
$$r_s = \frac{n_{os} - n_s}{n_{os} + n_s} = \frac{\cos\theta_i - n\cos\theta_t}{\cos\theta_i + n\cos\theta_t} \tag{4}$$

作者简介:贾宝军(1969-),男,硕士,高级工程师,研究方向光导型 InSb 红外探测器。
收稿日期:2009-01-06

反射率 R 为：

$$R=\frac{r_p^2+r_s^2}{2} \tag{5}$$

由上面的公式，取 InSb 晶体折射率 $n=4$，可计算出不同入射角时 InSb 晶体表面的反射率，如表 1 所示。

表 1　InSb 晶体表面反射率与入射角关系表

入射角 θ_i/(°)	0	15	30	45	60
反射率 R	0.3600	0.3599	0.3598	0.3588	0.3579

由计算可以看出，对 InSb 器件而言，如果不采取一定的措施，将有近 36% 的入射能量损失，且入射角度影响不大。因此，每个器件设计人员都想方设法弥补这些入射损失，提高量子效率以提高器件性能。

3　提高量子效率的方法及相关的应用结果

3.1　表面镀抗反射膜(增透膜)工艺

根据单层抗反射膜理论[3]，假定中心波长为 λ_0 光波的光波，垂直入射到折射率为 n 的物体表面，入射介质为空气，实现单层抗反射膜的两个充分必要条件：

(1)膜层折射率 n_1：$n_1=\sqrt{n}$；

(2)膜层光学厚度 d_1：$n_1 d_1=\lambda_0/4$。

对于 InSb 而言，其折射率 $n\approx4$，因此膜层材料的折射率一定要接近 2。实践中，我们选择 SiO(折射率 1.6～1.9)为膜层材料，取入射光波中心波长为 4 μm，SiO 折射率 $n_1=1.7$，可计算出膜层光学厚度 d_1 约为 5900 Å(1 Å $=10^{-10}$ m)。采用热蒸发镀膜方法制作单层抗反膜，晶振控制法精确控制膜层厚度。通过大量实验，较好地解决了 SiO 蒸发速率(决定了膜层的折射率)及膜层厚度控制漂移问题，得到了 SiO 抗反射膜的反射率近于 5% 的实验结果(用折射率接近 InSb 的 Ge 基片镀单层抗反膜，测试其透过率)。我们把单层抗反膜工艺应用于光导 InSb 探测器工艺中，获得了信号增加～20% 的结果，使器件性能得到提高。该方法目前已在某型号新品研制中得到应用。

虽然单层抗反膜在提高量子效率上具有较好的效果，但投入大，工艺复杂。下面我们再介绍一种工艺简单、投入低、效果好的方法。

3.2　新方法

众所周知，制作绝对黑体辐射源的原理是把入射光线经多次反射达到近于完全吸收的目的。我们在设计光敏部件时，应用这一原理，使光敏面对入射光充分吸收，进而提高器件的量子效率。如图 1 所示，该光敏部件主要由两部分组成：①光敏面设计成半圆柱形，利用入射光线多次反射以充分接受；②镀有高反射层的光阑。其作用有二：通光孔径；高反射层，把光敏面反射到其表面的入射光重新反射到光敏面进行再次吸收。

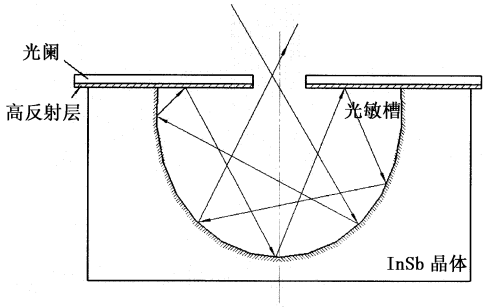
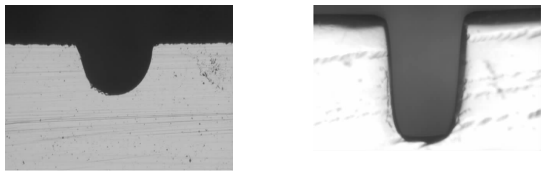


图 1　光敏部件模型剖面图

按理想情况，对于 InSb 晶体，一次吸收率为 64%，反射率为 36%，经过五次反射吸收，其吸收效率可达 99.4%，但实际中，光阑孔不能很小，入射光不可避免反射出光阑孔造成损失，但采用此种方法对增加光敏面对入射光的吸收，并进而提供量子效率还是切实可行。

从模型中可以看出，光阑孔的直径与光敏面深度之比越小，入射光反射的次数越多，量子效率越高。通常情况下，光阑孔的外形尺寸是给定的，该方法的关键是如何控制光敏槽的深度和表面形貌。

现有工艺中，InSb 探测器光敏面成型主要采用湿法腐蚀工艺，较常用的腐蚀液有 CP4，114 等。CP4 腐蚀液腐蚀速率快，难以控制，114 液腐蚀速率合适，但纵向腐蚀速率与横向腐蚀速率接近 1∶1 腐蚀后光敏槽呈圆弧型，降低了反射次数。我们研制出一种专用腐蚀液，其纵向腐蚀速率与横向腐蚀速率接近 1∶2，通过光刻线条宽度和腐蚀时间的控制，可以制作出开口宽度和深度比接近 1∶2 芯片。图 2 对比了相同掩膜宽度条件下，114 液、专用腐蚀液不同的腐蚀结果剖面图。



(a)114 液腐蚀结果　　(b)专用腐蚀液腐蚀结果

图 2　不同腐蚀液腐蚀结果对比

光阑制作先在衬底上蒸镀一层高反射层 Cr,Au 金属层,厚度 ~1500 Å,然后通过光刻及腐蚀的方法制作出所需的通光孔径。

我们采用这种设计方法,已经制备高性能的低温(77 K)单元光导 InSb 探测器,其低温黑体性能如下:黑体响应率 $R_{bb}(500,1000,1)\geqslant 1.0\times 10^5$ V/W; $D^*_{bb}(500,1000,1)\geqslant 1.5\times 10^{10}$ cmHz$^{1/2}$/W。

本方法同传统的单层镀膜法相比,具有工艺简单、成本低等优点。

4 结 论

通过理论分析和实验验证,两种方法均能达到提高量子效率的目的,具体工作中应根据探测器类型、应用背景、成本控制等因素综合考虑,选择较合适的方法。

参考文献:

[1] R K 威拉得森,比尔. 红外探测器[M].《激光与红外》编辑组,译. 北京:国防工业出版社,1973:38.

[2] A Rogalski,J Piotronki. Intrinsic infrared detectors[J]. Prog. Quant. Electr. ,1988,12:98 - 111.

[3] 唐晋发,郑权. 应用薄膜光学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1984:116 - 117.

谨 防 激 光 笔 伤 眼

广泛用于会议、教学、宣传等场合的多数激光笔一般发出 0.5 ~ 1mW 耀眼的红色激光,即使照射在被阳光照亮的墙壁上也能清晰地显现出来。这种激光笔对眼睛有没有伤害,国际上有争议。一般认为,只要不直接照射人眼,是没有危害的。若从远处照射一下,也没有关系;但是如果近距离照射,就会造成伤害。

近来,市场上有一种 40 mW 绿光激光笔。它照射在投影仪屏幕(其反射率远高于一般漫反射屏幕)上会产生刺眼的绿光,使人感到十分难受,不敢连续观看。据说这种激光笔是在上海地摊上买的。笔杆上只有“绿光 40 mW”的一个小标签,没有生产厂家和型号,更没有激光安全标志,是一种不合格的危险产品。

我国 1987 年颁布的国家标准 GB7247 - 1987《激光产品的辐射安全、设备分类、要求和用户指南》规定:发射可见光(波长 400 ~ 700 nm)的低功率激光器,连续功率可达 1 mW,安全等级为 2 类,不是固有安全的。持续时间不大于 250 ms 时,照射无害,但不能长时间直视。1 mW 以下的红光激光笔就属于这一类。发射可见光功率不超过 5 mW 的连续激光器,安全等级为 3A 类,瞬时直观不会伤眼,但通过光学仪器直视激光束是有害的。前述 40 mW 绿光激光笔的输出功率已远远超出 3A 类标准,属入 3B 类。国标规定:3B 类激光产品,在仪器附近的光束内直视是有害的;观察漫反射未聚焦脉冲是无害的;在观察距离大于 13 cm 和观察时间小于 10 s 两个条件同时满足的情况下,通过漫反射观看连续激光是安全的。如果这两个条件有一个得不到满足,则必须认真计算潜在的漫反射危害。由此可见,这种绿光激光笔是非常不安全的。

为此,强烈呼吁技术安全部门和激光科研、生产单位都来关注此事,采取有效措施确保激光笔产品符合国家标准;同时建议广大使用激光笔的人员拒绝使用这种极不安全的高功率绿色激光笔!

(梅遂生 供稿)