

大面积锗光电接收器的特性测量*

杨林宝 陈瑞璋 陈启珩

(中国科学院上海冶金研究所)

提 要

本文介绍了大面积锗光电接收器的光谱响应、量子效率、频率特性和I-V特性的测量方法。在波长为 $1.3\mu\text{m}$ 处,响应度为 0.47 A/W ,量子效率为45%,频率响应为 100 kHz 。在反向偏压为 5 V ,温度为 12°C 时,反向漏电流(以电流密度表示)为 $23 \times 10^{-6}\text{ A/cm}^2$ (直径为 7.5 mm)。在 $10-60^\circ\text{C}$ 变温范围内,测定了接收器的I-V温度特性和暗电流与温度的关系。最后对测试系统和实验现象进行了初步讨论。

一、引 言

近几年来,波长在 $1.3-1.55\mu\text{m}$ 范围内的光纤通信获得了迅速发展,开始进入实用化阶段。

我们在1980年开始研制 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ 四元系发光二极管(LED)的工作中^[1],为了解决长波长LED的功率特性测量,试制了锗光电二极管,并测定了它的光谱响应、量子效率、频率特性和I-V特性等参数。由于锗光电二极管的漏电流随温度升高而变大,所以测定了光电二极管的短路电流和暗电流与温度的依赖关系。

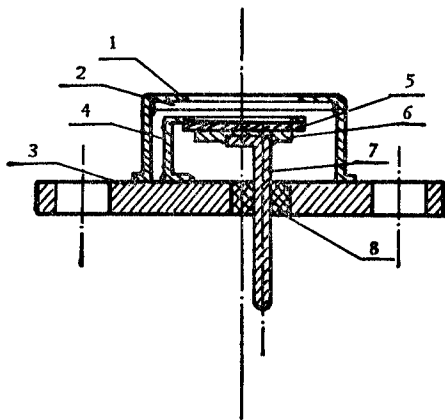


图1 光电二极管的剖面结构

1.管帽 2.玻璃窗口 3.底座(电极) 4.电极引线
5.n型锗片 6.合金球 7.电极 8.绝缘层

Fig. 1 Schematic cross-sectional sketch
of germanium photodiodes

二、光电二极管的制造

器件的结构剖面如图1所示。该器件采用3AD6的管壳作管壳。在管帽顶部开一个直径约为 9 mm 的窗口,并封上玻璃片。管芯的光敏面紧靠在窗口玻璃上。

器件这样制作的:采用电阻率为 $2-3\Omega\cdot\text{cm}$ 的锗单晶片,经减薄清洗后与合金球和电极装配好一道放在石墨中,经烧结,形成pn结,结深约 $50\mu\text{m}$ 便成为管芯;至后对管芯的I-V特性和光电特性进行初测;为了减少边缘效应,降低暗电流,以改善反向I-V特性,可采用脉冲

* 1982年5月24日收到。
1983年5月10日修改定稿。

电化学腐蚀方法,在 pn 结边缘形成隔离槽;接着将管芯进行光敏处理,以提高光电响应灵敏度和改善光谱响应曲线;最后将管芯装在底座上,封上管帽,便成为器件可进行性能测试。

三、测试方法和结果

(一) 光谱响应和量子效率测定 测试装置如图 2 所示。我们采用 500 W 卤钨灯作光源,测量波长范围为 $0.65\text{—}1.8\ \mu\text{m}$ 。采用美国 Photodyne Inc. 的功率计 #550-Ge 探头, #150-Si 探头和 Zeiss 的真空热电堆作为标准功率探头。

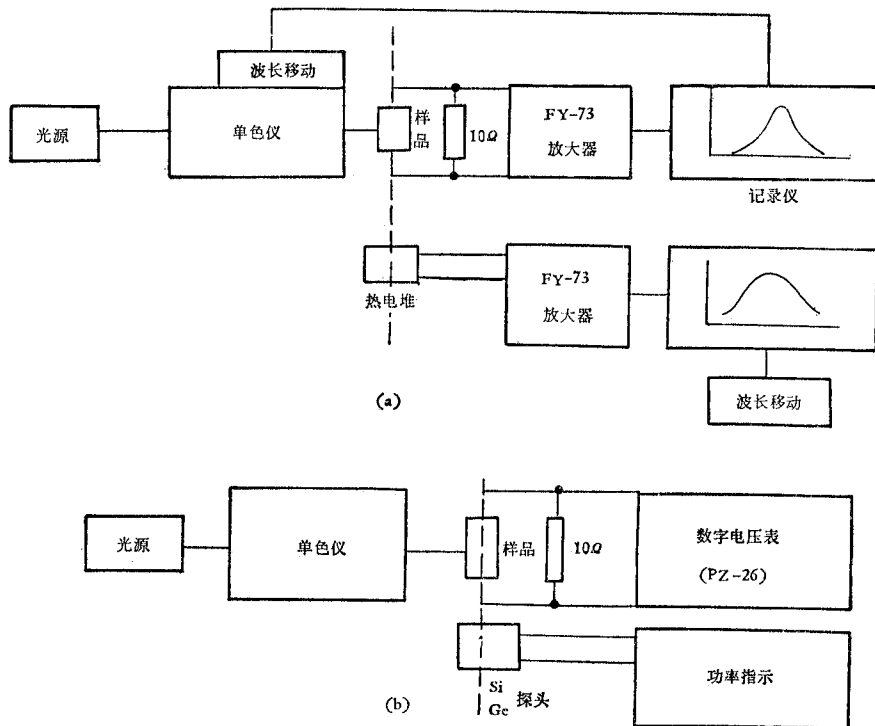


图 2 在室温下测量锗光电二极管的光谱响应的装置

(a) 测相对光谱响应装置 (b) 测响应度装置

Fig. 2 Experimental set-up for measuring spectral response of germanium photodiodes at room temperature

(a) relative spectral response set-up (b) responsibility set-up

首先在图 2(a) 的装置上测出锗光电二极管的相对光谱响应。然后在图 2(b) 的装置上用 #550-Ge 探头和 #150-Si 探头标定几个波长下光源的功率,再测出相应波长下器件的短路电流,从而算出器件的光谱响应曲线。根据上面得到的响应度 $R(\lambda)$,利用公式 $\eta_\lambda = \frac{R(\lambda)hc}{e\lambda}$,可计算出不同波长下所对应的量子效率 η_λ ,式中 h 为普朗克常数, c 为光速, e 为电子电荷。实验结果如图 3 所示。

我们把 Judson Infrared Inc. 和 Photodyne Inc. 同类产品的光谱响应度与波长的关系

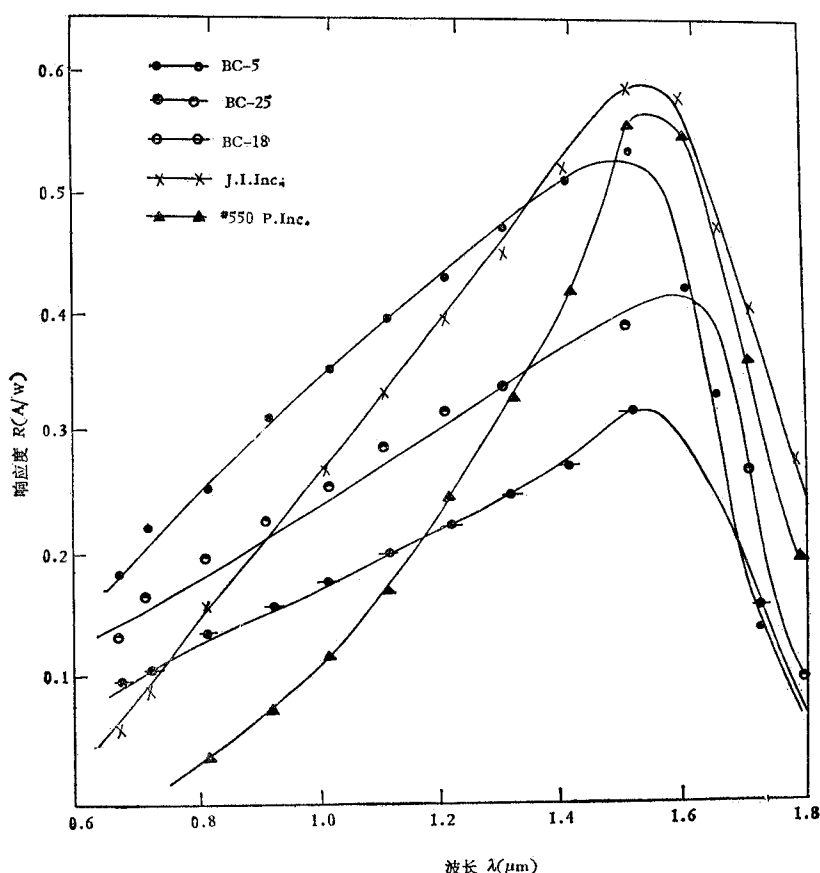


图 3 锗光电二极管的光谱响应度与波长的关系

Fig. 3 Responsibility dependence of wavelength for photodiodes

一并画在图 3 上。从图 3 可看出在波长较短的区域, BC-5 和 BC-25 优于 J. I. Inc. 和 P.

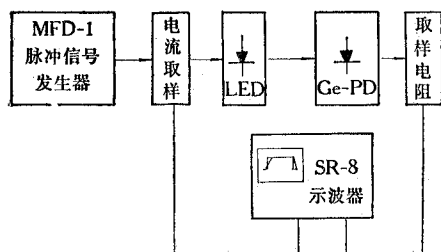


图 4 锗光电二极管的脉冲响应时间测试框图

Fig. 4 Experimental set-up for measuring pulsed response time

Inc. 的产品。在波长 1.3—1.5 μm 范围内, 除 BC-5 接近 J. I. Inc. 产品外, 其余均低于它。在 1.3 μm 处, BC-5 的 $R(\lambda)$ 为 0.47 A/W, J. I. Inc. 产品的 $R(\lambda)$ 为 0.45 A/W; BC-5 的量子效率为 45%, 而 J. I. Inc. 产品的为 43%, 比较接近。

(二) 频率响应的测量 测量锗光电二极管的频率特性时, 由于缺少在峰值波长处功率较大的发光元件, 所以采用我所研制的 GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs 面发光管^[2]作为光源, 其峰值波长

为 0.83 μm 。采用脉冲测试法进行测试, 测试装置如图 4 所示。

应用脉冲法测得所研制的锗光电二极管的上升和下降时间均 $\leq 3.5 \mu\text{s}$ 。据此推算, 频率响应为 100 kHz。

(三) 正反向伏安特性的测量 采用自制的 I-V 扫描仪^[3]进行了扫描测量, 测试结果

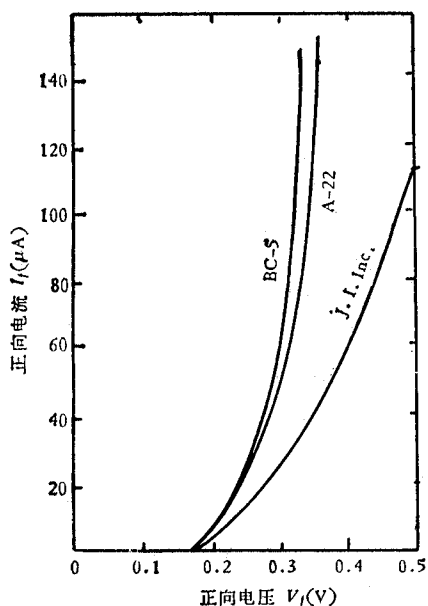


图5 BC-5, A-22 样品和 J. I. Inc. 的锗光电二极管的正向伏-安特性曲线

Fig. 5 V-I characteristics of photodiodes under forward bias condition (BC-5, A-22 and J. I. Inc. diode)

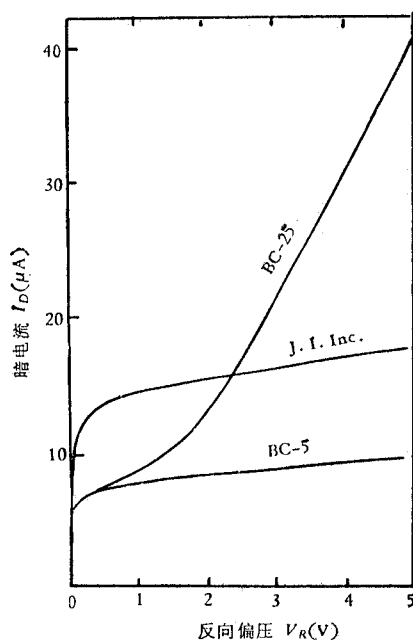


图6 BC-5, BC-25 样品和 J. I. Inc. 的锗光电二极管的反向伏-安特性曲线

Fig. 6 V-I characteristics of photodiodes under reverse bias condition (BC-5, BC-25 and J. I. Inc. diode)

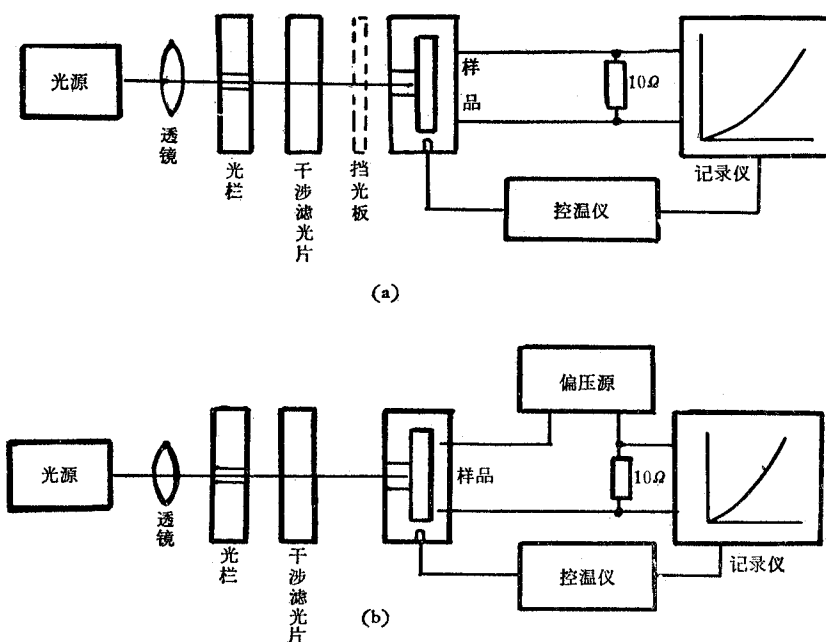


图7 锗光电二极管的温度特性测试装置框图

(a) 在零偏置条件下 (b) 在反向偏置条件下

Fig. 7 Experimental set-up for measuring temperature characteristics of photodiodes (a) under zero bias condition (b) under reverse bias condition

如图 5、图 6 所示. 由图可见, 低偏压时, BC-5 和 BC-25 的暗电流相差不大, 都低于 J. I.

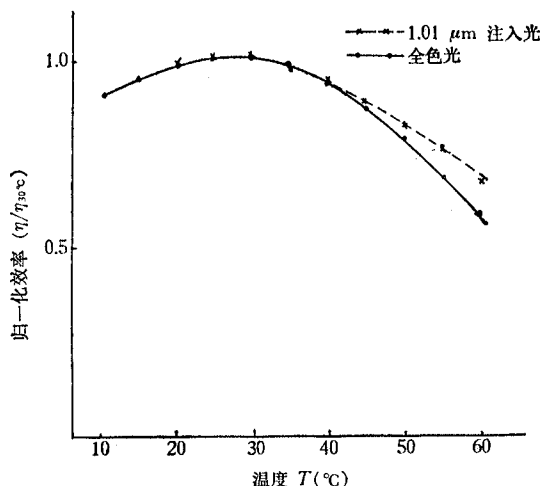


图 8 锗光电二极管归一化效率与温度的关系

Fig. 8 Normalized photodiode efficiencies as function of temperature

Inc. 产品. 正向伏-安特性基本相同. 在反向偏压为 5V 温度为 12°C 时, 测得 BC-5 的反向漏电流 (为了便于比较以电流密度表示) 最小为 $23 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ (直径为 7.5 mm), 一般为 $70-230 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$; J. I. Inc. 产品的为 $87 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ (直径为 5mm).

(四) 温度特性的测量 由于锗器件的漏电流远比硅器件大, 为此对锗器件进行了一系列温度特性的测量, 变温范围为 10—60°C, 采用 500W 卤钨灯为光源, 经 Zeiss Jena 的干涉滤光片滤光, 峰值波长为 $1.01 \mu\text{m}$, 半宽度为 $150 \text{ \AA}$. 实验装置图如图 7 所示.

测量锗光电二极管的量子效率与温

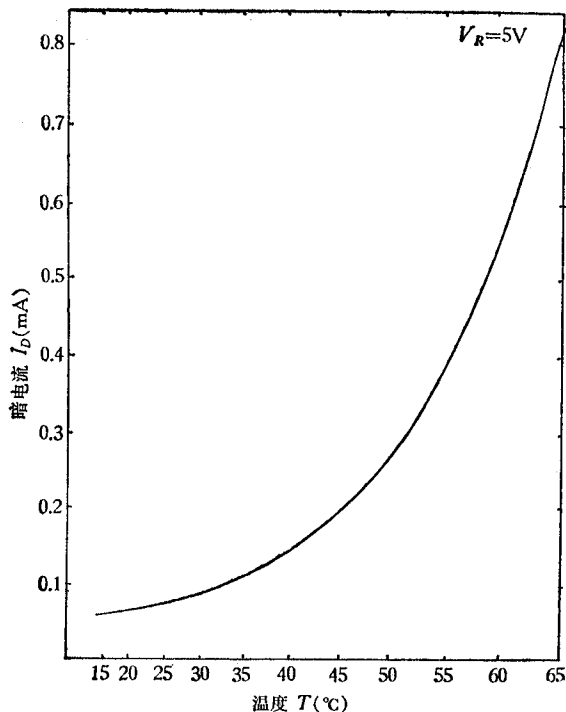


图 9 锗光电二极管的暗电流与温度的关系曲线

Fig. 9 The temperature dependence of dark current for photodiodes

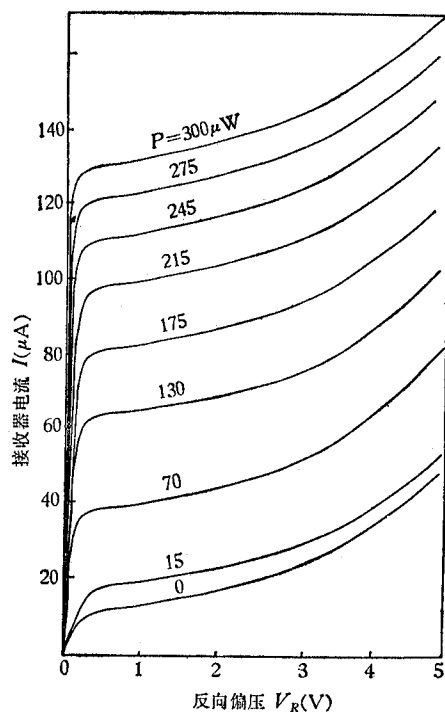


图 10 在 $T = 20^\circ\text{C}$ 时, BC-25 的以注入光功率为参变量的反向伏-安特性曲线

Fig. 10 V-I characteristics of photodiodes BC-25 under reverse bias condition with light power at 20°C as parameter

度的依从关系利用图 7 (a) 的装置. 在注入不同光功率时, 测量反向伏-安特性与温度的

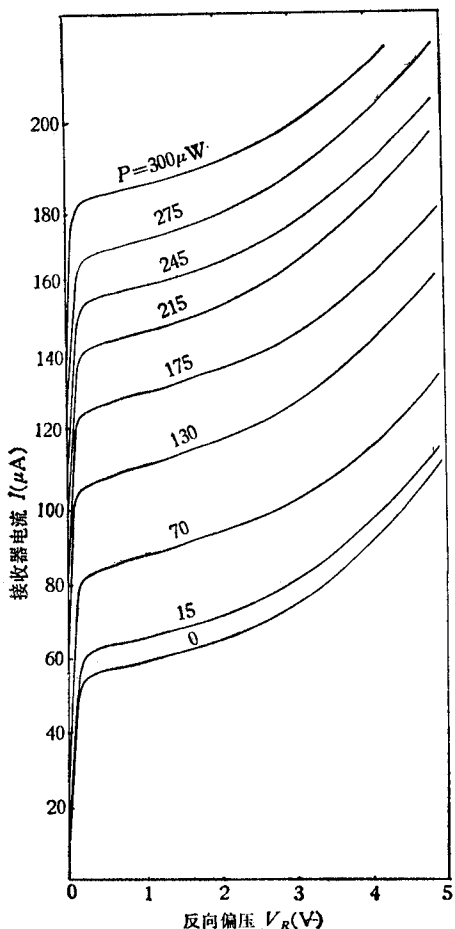


图 11 在 $T = 40^\circ\text{C}$ 时, BC-25 的以注入光功率为参变量的反向伏-安特性曲线

Fig. 11 V-I characteristics of photodiodes BC-25 under reverse bias condition with light power at 40°C as parameter

依从关系则利用图 7(b) 的装置. 注入恒定光功率(用全色光和 $\lambda = 1.01\mu\text{m}$ 的光)时, 锗光电二极管的归一化量子效率与温度的依从关系如图 8 所示. 图中量子效率是以 303 K (30°C) 的量子效率值进行归一化的. 量子效率与温度的这种函数关系是由少数载流子寿命、扩散长度、禁带宽度和锗

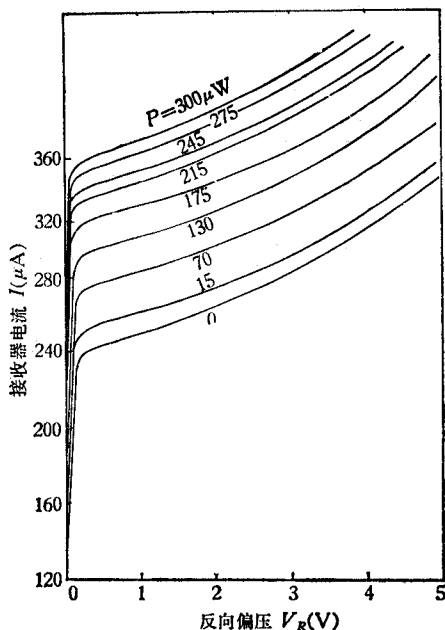


图 12 在 $T = 60^\circ\text{C}$ 时, BC-25 的以注入光功率为参变量的反向伏-安特性曲线

Fig. 12 V-I characteristics of photodiodes BC-25 under reverse bias condition with light power at 60°C as parameter

的吸收系数与温度的依赖关系引起的^[4,5].

图 9 示出了锗光电二极管的暗电流与温度的关系曲线, 从图 9 中可见, 锗光电二极管的漏电流与温度呈指数关系. 这是由扩散电流和传输区中的复合电流引起的^[6].

图 10, 图 11 和图 12 分别表示锗光电二极管在 $20-60^\circ\text{C}$ 的变温范围以注入光功率为参变量的反向伏-安特性曲线. 从图可以看出, 锗光电二极管的偏压、注入光功率和温度对反向伏-安特性的影响.

四、讨 论

1. 为了测准锗光电二极管的光谱响应度, 我们用 P. Inc. 的两种类型的标准探头进行

标定,以便了解这两个探头的误差,结果如表 1 所示(测试系统如图 2)。

从表 1 可见本系统的光源和探头及安放位置等等因素所引起的误差约为 7%。然后再把 P. Inc. 的 Ge 探头 10288 A 样管进行测试,把其响应度的测试结果与出厂时标定结果一并列于表 2。

表 1 Tab. 1

波长 (μm)	#150-Si 探头 (μW)	#550-Ge 探头 (μW)
0.65	3.65	
0.70	4.64	
0.80	6.00	
0.90	8.50	9.18
1.20		11.20
1.50		6.98

表 2 Tab. 2

波 长 (μm)	响应度 $R(\text{A/W})$	响应度 $R_0^*(\text{A/W})$	$\Delta n^{**}(\%)$
1.10	0.170	0.174	2.0
1.20	0.249	0.248	0.4
1.30	0.320	0.331	3.0
1.40	0.420	0.423	0.7
1.50	0.550	0.557	1.3

R_0^* ——出厂时标定的值

$$\Delta n^{**} = \frac{|R_0^* - R|}{R} \times 100\%$$

从表 2 可见本系统的测试结果与出厂时标定结果误差不大于 3%。

2. 从图 3 可见,我们研制的锗光电二极管的光谱响应曲线,在波长短于 $1.5 \mu\text{m}$ 时,较 J. I. Inc. 的样管平坦,特别是比 #550-Ge 样管平坦得多,这对器件的测试是有利的。

3. 因为在波长短于 $1.5 \mu\text{m}$ 时,锗的吸收系数为 $10^{-4} \text{cm}^{-1[7]}$,所以在 $1-2 \mu\text{m}$ 波长范围内,所有的光载流子都产生在探测器表面。因此锗光电接收器的响应度受到表面复合效应和 n 层中少数载流子寿命的影响^[8-10]。在 n 层中产生的空穴到达耗尽层会对光电流作出贡献。对光电管的光敏面进行了处理,减少了表面复合速率,从而改善了短波长的光谱性能。

本项工作的整个测试中得到上海硅酸盐所邱梅玉和施庆霖同志的大力协助,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 水海龙等,半导体光电, 2(1981), 163.
- [2] 潘慧珍等,电子学通讯, 3(1981), 22.
- [3] 陈瑞璋等,光纤通讯, 2(1980), 89.
- [4] A. M. Sekela, D. I. Feucht and A. G. Milnes, *IEEE Trans. on ED*, ED-24(1977), 373.
- [5] J. H. Heinbockel and K. H. Hong, NASA, N79-22625.

- [6] H. Kanbe et al., *IEEE J. of QE*, **QE-17**(1981), 1534.
- [7] W. D. Dash and R. Newman, *Phys. Rev.*, **99**(1955), 1151.
- [8] H. Anao, et al., *IEEE J. of QE*, **QE-14**(1978), 804.
- [9] R. O. Bell and G. M. Freedman, 13th IEEE Photovoltaic Specialists Conference Record, IEEE, New York.
- [10] A. Agarwala and V. K. Tewary, *Solid State Electronics*, **23**(1980), 1021.

CHARACTERISTICS OF LARGE AREA GERMANIUM PHOTODIODE

Yang Linbao Chen Ruizhang Chen Qiyu

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

A fabrication procedure for large area germanium photodiodes has been demonstrated and the measuring methods on characteristics of spectral response, quantum efficiency, frequency response and I-V for this device have been described. At 1.3 μm wavelength, the responsibility and the quantum efficiency are 0.47 A/W and 45%, respectively. The frequency response of large area germanium photodiodes is about 100kHz. When bias voltage V_B is in the range of 5V at room temperature (12°C), the dark current density of the fabricated diodes is 23×10^{-6} A/cm² ($\phi = 7.5\text{mm}$). Typical dark current and I-V dependences on temperature were studied for the large area germanium photodiodes in the range of 20—26°C. We have also analysed and discussed these experimental results.