

开管充气扩散法制备 InSb $p-n$ 结

乐洪发 林先齐 张月琴

(中国科学院上海技术物理研究所)

本文报道用开管充气扩散法制备 InSb 的 $p-n$ 结, 使探测器的零偏压阻抗和探测率得到很大的提高。结合采用表面钝化技术后, 器件的反向击穿电压也大大提高, 单元器件的边缘效应和多元列阵的串音问题也得到较彻底的解决。现已用此工艺制造出高性能的单元、64 元 InSb 列阵器件及 10 元 TDI 和 20 元多路传输红外 CCD。

在 n 型 InSb 晶片上制备 $p-n$ 结, 国内外通常采用真空闭管扩散法^[1]。其方法是将 n 型 InSb 晶片和固态镉分别放进 10 cm 长的石英管的两端, 抽真空至 10^{-6} mm Hg 后密封, 然后在 $400^{\circ}\text{C}\sim 475^{\circ}\text{C}$ 温度下扩散 8 小时而获得 $p-n$ 结。在整个过程中, 由于石英管里的镉汽压处在饱和状态, 使 InSb 晶片表面形成了一层高浓度的 p 型层, 有时还形成严重的合金, 它影响了 InSb 器件的性能。另一方面, 由于在扩散过程中残余气体的挥发, 使 p 型层极易氧化, 因此在器件工艺中, 只有通过逐层腐蚀来消除高浓度的 p 型层和表面氧化层, 方能使器件达到较佳的性能^[2]。

而运用开管充气扩散法制备的 InSb $p-n$ 结, 就能克服上述问题。由于严格控制结深和表面浓度, 器件不必多次腐蚀便能处于较佳状态。从而大大提高器件的各项性能和成品率。现将实验结果报道如下:

1. $p-n$ 结结深变浅, 表面浓度变低

在相同的扩散时间和温度条件下, 开管充气扩散所制得的 $p-n$ 结结深较真空闭管扩散所制得的浅^[3], 浓度也较低。用扫描电镜测得开管扩散的 $p-n$ 结结深为 $1.3\ \mu\text{m}$, 比真空闭管扩散的浅 $0.2\sim 0.5\ \mu\text{m}$ 。用霍尔法测得 p 型层的平均浓度为 $1.76\times 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$ 。比闭管扩散的低 2.82 倍。我们认为这是由于充入到反应室内的氮气和镉的蒸汽形成了一种混合气体, 它减缓了镉的扩散速度, 同时也降低了 p 型层浓度。假若把充进到内反应室中的氮气作为一种残余气体, 而把镉蒸汽作为沉淀性气体, 那么充气扩散过程非常相似于 $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ 汽相输运模型^[4]。在此模型中, 输运速度是随着管里残余气体的增加而变慢的。用这一模型很容易解释在相同的扩散温度、扩散时间的条件下, 充气扩散制得的 $p-n$ 结比真空闭管扩散所制得的 $p-n$ 结浅且浓度低的原因。实际上, 在开管情况下 $p-n$ 结结深和表面浓度除了密切地依赖于扩散温度和扩散时间外, 它还与镉的蒸发速度有关。而蒸发速度又与它表面所承受的压力有关, 表面所受压力越大, 则蒸发速度越慢。并且由于 N_2 充入到内反应室, 内反应室里镉分子的密度也随着降低。从上面这一观点, 也易于解释 $p-n$ 结结深较浅, 表面浓

度较低的原因。

2. 元件性能显著提高

本工艺所制备的器件,其零偏压阻抗和探测率都得到很大的提高。直径为 $\phi 3\text{mm}$ 的元件,其 $R_0 \cdot A$ (零偏压阻抗与光敏元面积的乘积) 已超过 $1 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 。至于 $0.03 \times 0.03 \text{mm}^2$ 的元件,其零偏压阻抗由原来的数十、数百千欧(由真空闭管扩散法制得)提高到兆欧的数量级。在 64 元列阵探测器中,零偏压阻抗 R_0 最高达到 $7.8 \text{M}\Omega$ 。元件的探测率也已部分接近和达到背景辐射限。另一方面,由于对元件表面进行钝化,使元件的稳定性有了明显的提高,即使把元件暴露在大气中达一、二个星期之久,元件的性能也没有发生大的变化。由于钝化,元件的反向击穿电压也由原来的几百毫伏提高到九伏,达到了国际发表的较高水平。表 1、表 2 分别列出由开管充气扩散制得的单元和多元列阵器件的部分性能。表 3 为闭管扩散所制得的元件的性能。

表 1 开管充气扩散法制得的单元器件性能

扩散编号	探测器 编 号	A_D (cm^2)	V_0 (mV)	I_{sc} (μA)	R_0 ($\text{k}\Omega$)	$R_0 \cdot A$ ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	$(D^*500, 800, 1)$ ($\text{cmHz}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{W}^{-1}$)	$D^*(\lambda_p, 800, 1)$ ($\text{cmHz}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{W}^{-1}$)
	试 10-2	7×10^{-4}	102.4	3.8	1.2 M Ω	8.4×10^2	9.3×10^9	4.65×10^{10}
OT-1		2.8×10^{-3}	77.7	4.2	1.5 M Ω	5.2×10^3	9.8×10^9	4.90×10^{10}
OT-2	S 35-82	7.85×10^{-3}	86.0	16.6	560	4.4×10^3	1×10^{10}	5.00×10^{10}
OT-19		3.14×10^{-2}	110.4	23.9	186	5.8×10^3	1.58×10^{10}	7.93×10^{10}
OT-2		7.85×10^{-3}	97.7	9.8	2 M Ω	1.6×10^4	1.10×10^{10}	5.50×10^{10}

表 2 开管充气扩散法制得的多元器件性能

列阵元件 次 序	A_0 (cm^2)	间 距 (μm)	V_0 (mV)	I_{sc} (μA)	R_0 (Ω)	$D_{66}^*(500, 800, 1)$ ($\text{cmHz}^{\frac{1}{2}} \text{W}^{-1}$)	$D_{\lambda}^*(\lambda_p, 800, 1)$ ($\text{cmHz}^{\frac{1}{2}} \text{W}^{-1}$)
1	7×10^{-4}	60	98.2	1.6	2.8×10^6	0.93×10^{10}	4.65×10^{10}
2	7×10^{-4}	60	100.2	1.4	4.7×10^5	1.13×10^{10}	5.65×10^{10}
3	7×10^{-4}	60	92.4	1.6	1.9×10^5	0.90×10^{10}	4.50×10^{10}
4	7×10^{-4}	60	101.6	2.6	1.4×10^6	0.85×10^{10}	4.25×10^{10}
5	7×10^{-4}	60	104.6	1.5	4.1×10^6	1.44×10^{10}	7.20×10^{10}
6	7×10^{-4}	60	101.6	2.8	1.5×10^6	1.38×10^{10}	6.90×10^{10}
7	7×10^{-4}	60	94.8	1.8	8.1×10^5	0.78×10^{10}	3.90×10^{10}
8	7×10^{-4}	60	99.2	1.9	7.9×10^5	1.63×10^{10}	8.15×10^{10}
9	7×10^{-4}	60	97.8	1.8	1.3×10^6	1.44×10^{10}	7.20×10^{10}
10	7×10^{-4}	60	81.8	1.8	3.1×10^5	0.65×10^{10}	3.25×10^{10}

表3 闭管扩散法制得的元件的性能

编 号	面 积 (cm ²)	$D^*(500, 800, 1)$ (cm Hz ^{1/2} /W)	$D^*(\lambda_p, 800, 1)$ (cm Hz ^{1/2} /W)	R_0 (k Ω)	$R_0 \cdot A$ ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	备 注
74-1	0.03	1.72×10^{10}	8.6×10^{10}	5.5	1.6×10^3	
74-2	0.03	2.28×10^{10}	1.14×10^{11}	3.35	1×10^3	
78-11	0.03	8.4×10^9	4.2×10^{10}	42	1×10^3	SiO 钝化
78-12	0.0016	1×10^{10}	5×10^{10}	10	16	SiO 钝化
78-6	0.0030	3.22×10^{10}	1.6×10^{11}	3.3	9.9	

3. 消除了单元器件的边缘效应和多元列阵的串音

单元器件的边缘效应和多元列阵的串音的存在严重地影响了探测灵敏度。质子轰击^[5]和BF^[6]法在解决串音问题上已取得较满意的结果。我们用开管扩散再加上表面钝化工艺得到了更为满意的结果。以往用闭管扩散法制取的p-n结,单元器件的边缘效应相当严重,即台面中央的相对响应低于边缘的相对响应,多元列阵的串音也相当严重。矩阵(1)为用闭管扩散法制备的多元列阵器件的串音率^[7]。

	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8
D_1	100%	62%	48%	38%	31%	24%	19%	16%
D_2	53%	100%	70%	55%	44%	34%	30%	20%
D_3	37%	64%	100%	75%	58%	45%	38%	27%
D_4	29%	49%	70%	100%	73%	58%	46%	33%
D_5	22%	37%	54%	75%	100%	74%	53%	44%
D_6	17%	29%	42%	54%	73%	100%	76%	53%
D_7	13%	22%	30%	39%	32%	67%	100%	66%
D_8	9.4%	15%	20%	26%	34%	42%	60%	100%

(1)

光敏元扩大和边缘响应突起的主要原因是由于所制备的p-n结较深和需经过多次腐蚀的结果。我们采用了开管扩散,由于制备的结深较浅,又不用逐次腐蚀,表面又进行了钝化,所以克服了边缘相对响应高的现象,也较彻底消除了多元列阵的串音现象。矩阵(2)为用此新工艺所制备的多元列阵的串音率。

	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8
D_1	100%	0	0	0	0	0	0	0
D_2	0	100%	0	0	0	0	0	0
D_3	0	0	100%	0	0	0	0	0
D_4	0	0	0	100%	0	0	0	0
D_5	0	0	0	0	100%	0	0	0
D_6	0	0	0	0	0	100%	2%	0
D_7	0	0	0	0	0	0	100%	0
D_8	0	0	0	0	0	0	0	100%

(2)

4. 本工艺还具备下列优点

由于不用封管,减少了石英封装时对InSb晶片的沾污和表面的氧化,并节约了大量的石英管。另一方面,由于不用逐次腐蚀,工艺流程得到简化,成品率也较闭管扩散的高,为批量生产创造了条件。

致谢——本工作多次得到袁诗鑫、俞振中、陈泉森、马可军等同志的关心和支持,在此谨致以谢意。

参 考 文 献

- [1] Orth R. W. and Watt L. A. K., *J. Phys, Chem, Solid.*, **26**(1965), 197~201.
- [2] 赵文琴, 红外物理与技术, (1979), 3: 19~27.
- [3] 杨植震等, 红外物理与技术, (1979), 3: 34~40.
- [4] 袁诗鑫, 谢钦熙等, 半导体学报, **3**(1982), 290~295
- [5] 赵文琴, 半导体学报, **2**(1981), 1: 14~21.
- [6] 张月琴等, 红外研究, **1** (1982), 310~311.
- [7] 王新德, 红外研究, **1** (1982), 203~208.

P-N JUNCTION OF INSB FABRICATED BY OPEN TUBE DIFFUSION UNDER N₂

LE HONGFA, LIN XIANQI, ZHANG YUEQIN
(*Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica*)

ABSTRACT

The *p-n* junction of InSb made by open tube diffusion under N₂ is reported. By this process the zero bias resistance of the detector increases remarkably. When both this process and that of surface passivation are adopted, the crosstalk between the neighbouring sensitive elements, and the rise-effect of responsivity which happens at the edge of the mesa are eliminated entirely. The results are: for 64-element detector array, the zero bias resistance is 10⁶ Ω; the crosstalk factor between the neighbouring sensitive elements (with 0.05 mm interspace) is optimally zero; the reverse breakdown voltage is 9 V.