

低能离子束轰击碲镉汞制备 pn 结电学特性的研究

陆慧庆 赵军 李向阳* 周咏东 方家熊

(中国科学院上海技术物理研究所;中国科学院传感技术国家重点实验室,上海,200083)

TN213,06
TN304,26

摘要 用低能离子束轰击工艺制备了 3~5 μm 及 8~10 μm 碲镉汞 pn 结,研究了它们的电流-电压及电容-电压特性,发现该 pn 结为缓变结,与通常认为的关于低能离子束轰击 p 型碲镉汞造成表面转型的机制主要是汞扩散的假说相符合。

关键词 离子束, 碲镉汞, pn 结.

电学特性 红外材料

引言

在 p 型碲镉汞上利用低能离子束(1~2keV 以下)轰击产生 n-on-p 结制备红外光伏探测器的技术是在 70 年代末期由 Wotherspoon 等提出的^[1],之后 I. M. Baker 等将此技术应用于碲镉汞红外焦平面,发展成为所谓“环孔”工艺^[2]. 该技术相对于常用的汞扩散和离子注入等成结方法具有工艺上简便易行的优点. 对于其成结机理,一般认为,离子束轰击在刻蚀材料的同时,使表面部分汞离子沿着轰击产生的损伤迅速向体内扩散,填充了材料体内近表面层中的汞空位,使该层区域中作为补偿性施主而存在的原生杂质的作用表现出来,从而形成 n 型反型层^[2]. 但对此也存在一些疑问,例如与离子注入碲镉汞成结相比较,由于离子注入在不退火的情况下往往也能形成 pn 结,有可能这两种方法的成结机理均主要在于离子与材料相互作用产生的 n 型损伤而非扩散或掺杂. 但以上这些假设都缺乏明确的实验支持. 本文在以此工艺制备 2~5 μm 碲镉汞光伏器件的同时,采用常用的 I-V 及 C-V 测量手段对此种 pn 结作了一些初步的研究.

1 实验

样品分别采用截止波长 3.46 μm 和 9.4 μm 的 p 型体材料,衬底载流子浓度分别为 5.16 $\times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ 和 1.91 $\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$. 样品经机械研磨及化学腐蚀后光刻出大小为 500 \times 500 μm^2 的区域. 以能量小于 1keV 的氩离子束轰击样品表面,离子束流密度 0.4~0.6mA/cm²,轰击持续时间小于 10min. 然后经制备电极等常规工艺后进行电学测量. 测试均在液氮温度(77K)下进行,测试及数据采集均由计算机控制完成.

* 山东大学光学系,山东,济南,250100
稿件收到日期 1997-05-12,修改稿收到日期 1997-09-02

2 结果与讨论

2.1 器件的 C-V 特性

对于中波器件的 C-V 测试结果见图 1. 长波器件的阻抗小, 漏电流大, 不适合作 C-V 测试. 根据 pn 结电容理论, 若耗尽层假设成立, 存在下列关系^[3]:

$$N^* = \frac{C^3}{q\epsilon_0\epsilon_s A_j^2} \times \left(\frac{dC}{dV}\right)^{-1}, \quad (1)$$

$$W = A_j \times \epsilon_0\epsilon_s / C. \quad (2)$$

其中 N^* 为有效掺杂浓度, 其定义为 $N^* = \left[\frac{1}{P(W)} + \frac{1}{N(W)}\right]^{-1}$; W 为耗尽层宽度; A_j 为结区面积. 对于单边突变结和线性缓变结, 由式(1)可以分别得到

$$C = A_j \times \sqrt{\frac{q\epsilon_0\epsilon_s N_B}{2} (V_b \pm V - WkT/q)^{-1/2}}, \quad (\text{单边突变结}) \quad (3)$$

$$C = A_j \times \left[\frac{qa(\epsilon_s\epsilon_0)^2}{12(V_b \pm V)}\right]^{1/3}. \quad (\text{线性缓变结}) \quad (4)$$

其中 \pm 分别对应于反向和正向偏置状态, N^* 为轻掺杂一侧的电离本底杂质浓度, a 为杂质浓度梯度, V_b 为内建电场.

将图 1 中 C-V 曲线计算 $C^{-3}-V$ 后示于图 2, 可以看到线性良好, 符合线性缓变结的条件, 说明此结是一个扩散结. 据此结果可以认为, 在引言中引用的关于在低能离子束轰击 p 型 MCT 造成表面转型的过程中, 汞的扩散是起主要作用的机制的假设是成立的. 但其扩散的速率等尚有待研究. 与赵军等的研究^[4]相比较, 离子注入形成的结是突变结, 说明两者的成结机理是有差别的, 虽然两者肯定都在材料表面及体内近表面造成大量损伤, 但对于此处的工艺来说, 至少表明损伤不是造成转型的直接或主要因素. 至于离子注入成结究竟是来源于掺杂抑或损伤, 则不在本文讨论范围内.

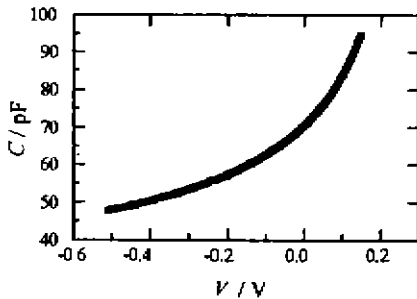


图 1 器件的典型 C-V 特性
Fig. 1 Typical C-V character of device

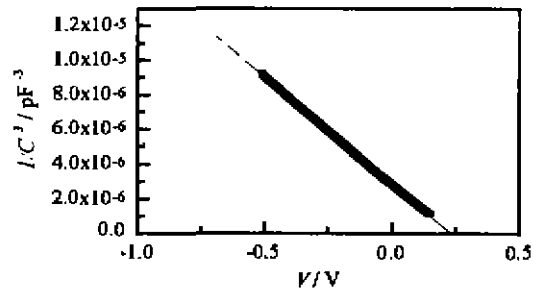


图 2 据图 1 计算的 $C^{-3}-V$ 曲线
(细线为计算值)
Fig. 2 Calculated $C^{-3}-V$ curve
based on Fig. 1

拟合中取 $\epsilon_s = 15.6$, 计算得到相应于 $W = 0.35 \sim 0.75 \mu\text{m}$ 的有效掺杂浓度 N^* 为 $2 \sim 6 \times$

10^{15}cm^{-3} , 杂质浓度梯度 a 为 $2.04 \times 10^{20}\text{cm}^{-4}$, 内建电场 V_m 为 0.233V .

2.2 器件的 I - V 特性

器件的典型 I - V 特性如图 3 所示, (a) 为中波器件, (b) 为长波器件. 前者的零偏阻抗均在 $500\text{k}\Omega \sim 2\text{M}\Omega$ 之间, 相应于 $R_0A \approx 10^4\Omega\text{cm}^2$, 后者 $R_0A \approx 5.6\Omega\text{cm}^2$.

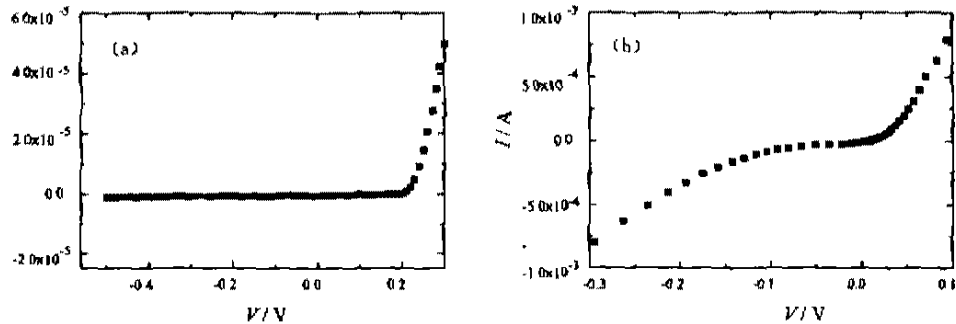


图 3 器件的 I - V 特性
Fig. 3 I - V character of devices

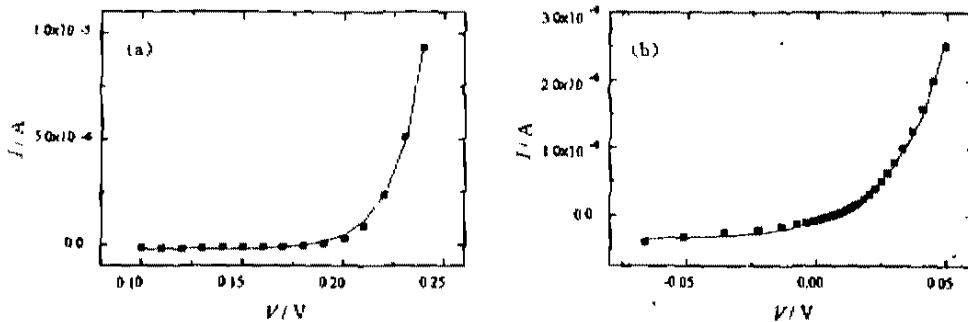


图 4 实验值与计算值的比较(图中实线为计算值)
Fig. 4 Calculated curves (solid line) compared with experimental results (points)

根据 pn 结的一般理论, 在小注入的条件下, pn 结 I - V 特性满足

$$I \propto I_0 \exp(eV/nkT), \quad (5)$$

$n=1$ 时为理想的 pn 结扩散电流, $n=2$ 时为空间电荷区产生-复合电流.

据式(5)对图 3(a)、(b)中曲线的小偏压部分进行拟合, 拟合结果见图 4, (a)中 $n=2.2$; (b)中 $n=3$, 可认为均近似符合产生-复合电流模型.

从反向特性看, 中波器件在直到 $V=0.5\text{V}$ 下未出现击穿, 而在长波器件中则出现软击穿现象. 考虑到两种材料的禁带宽度分别为 330meV 和 199meV , 后者在较大反向电压下的带间隧穿机率大大高于前者, 故其软击穿可能主要来自隧穿电流.

3 结论

电学特性的研究确认了用低能离子束轰击工艺制备的碲镉汞 n-on-p 结为线性缓变结, 支持了此成结机理为汞扩散的假说, 对于进一步研究这种技术及其相关工艺在碲镉汞光伏

器件中的应用具有一定的意义. 对于汞扩散的途径及其速率等的研究尚有待深入.

REFERENCES

- 1 Mclean J T, Wotherspoon. *UK Patent Application GB2095898*, 1981
- 2 Baker I M, Crimes G J, et al. *SPIE*, **510**:78
- 3 Sze S M. *Physics of Semiconductor Devices*, 2nd edition, New York: John Wiley & Sons Inc., 1984, **14**
- 4 ZHAO J, FANG J X. *Journal of Infrared and Millimeter Waves* (赵军, 方家熊, 红外与毫米波学报), 1995, **14**(2):139

STUDY OF ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF HgCdTe pn JUNCTION FORMED BY LOW ENERGY ION BEAM MILLING

LU Hui-Qing ZHAO Jun LI Xiang-Yang* ZHOU Yong-Dong FANG Jia-Xiong

(Shanghai Institute of Technical Physics, Laboratory of Sensing Technology,

Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract PN junctions were formed on HgCdTe bulk material with cutoff wavelength of 3 ~ 5 μm and 8 ~ 10 μm , respectively. Their *I-V* and *C-V* characteristics were studied and it was found that these junctions are of the type of diffusion junctions, which is coincident with the current hypothesis that the main mechanism of surface conversion on p type HgCdTe by ion beam milling is due to mercury diffusion.

Key words ion beam, HgCdTe, pn junction

* Department of Optics, Shandong University, Jinan, Shandong 250100, China
Received 1997-05-12, revised 1997-09-02