

14

397-400

# Au/Sn 与 p-HgCdTe 的欧姆接触

胡晓宁 赵军<sup>V</sup> 龚海梅 方家熊

(中国科学院上海技术物理研究所, 传感技术重点实验室, 上海, 200083)

3  
TN/214  
0475

**摘要** 研究了双层金属结构 Au/Sn 与 p-HgCdTe 上的接触电阻. 实验测得 Au/Sn 与 p-Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te (x=0.217, 0.41) 的比接触电阻  $\rho_c$  (295K, 77K) 为  $10^{-2} \sim 10^4 \Omega \cdot \text{cm}^2$ . 将这种电极接触应用于 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te (x=0.23) 光伏器件, 测得 pn 结 I-V 特性的正向斜率为 12.6 $\Omega$ , 即电极接触电阻小于 12.6 $\Omega$ .

**关键词** 欧姆接触, 碲镉汞, Au/Sn 结构, 比接触电阻.

金/锡结构

## 引言

目前, Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 仍是制作红外探测器的首选材料<sup>[1]</sup>, 但由于这种三元化合物半导体非常复杂、多变和脆弱, 所以在其 MS 接触方面的研究远不及对 Si 和 GaAs 研究得深入<sup>[2]</sup>. 如何制作接触电阻小、且稳定可靠的欧姆电极仍是 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 红外探测器制备中未完全解决的问题. 尤其是 p-Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te, 因功函数较高, 与金属接触后表面能带一般向下弯曲, 对多子空穴形成势垒, 难以形成低接触电阻的欧姆电极<sup>[3]</sup>. 而当今迅速发展的红外焦平面器件是以 pn 结为单元, 所以欧姆电极的制作成为制约器件性能的关键工艺之一.

本文分别用改进的四探针法和传输线模型(TLM)法测量了 Au/Sn 与 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 体材料及薄膜材料接触的比接触电阻  $\rho_c$  (295K, 77K), 得到 Au/Sn/p-Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 欧姆接触, 并把 Au/Sn 结构运用到器件上, 计算了器件 pn 结 I-V 特性的正向斜率.

## 1 比接触电阻的测试方法

比接触电阻  $\rho_c$  是表征欧姆接触特性的基本参量<sup>[4]</sup>, 即单位面积金属-半导体接触的微分电阻, 有

$$\rho_c = \left( \frac{\partial J}{\partial V} \right)^{-1} \Big|_{V=0} \quad (\Omega \cdot \text{cm}^2). \quad (1)$$

比接触电阻无法直接测量, 有多种测试方法获得. 对厚样品, 一般用改进的四探针方法, 对薄膜样品, 一般用传输线模型法(TLM)<sup>[5]</sup>.

### 1.1 改进的四探针法

样品结构如图 1, 其中  $a$  为接触直径,  $t$  为样品厚度,  $s$  为 4 个等间距接触电极的间距. 在 1、4 间通电流, 测 1、2 及 2、3 间电压, 用下面公式(1)叠代求解出  $\rho_c$ , 式中  $\rho$  为体材料的电阻

率,  $A$  为接触面积.

$$\left. \begin{aligned} \rho_c &= A \left\{ \frac{V_{13}}{I_{14}} - R_s - \frac{V_{23}}{I_{14}} \frac{\ln[(3s/a) - 1/2]}{2 \ln 2} \right\}, \\ R_s &= \frac{4\rho_c}{\pi a^2} \left\{ \frac{\sum_{m=0}^{\infty} Y^m / [2^{2m} (m!)^2]}{\sum_{m=0}^{\infty} Y^m / [(m+1) 2^{2m} (m!)^2]} \right\}^{-1}, \\ Y &= \frac{\rho a^2}{4\rho_c t}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

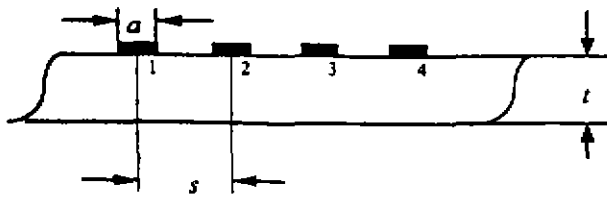


图1 样品结构剖面图  
Fig.1 Cross-section of the sample

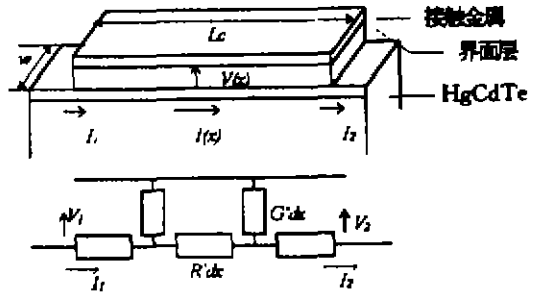


图2 薄膜样品的欧姆接触结构  
Fig.2 Construction of ohmic contact of the film sample

1.2 TLM 法

图2为薄层 HgCdTe 欧姆接触示意及在忽略金属层电阻情况下的等效电路图, 其中 HgCdTe 层中的电阻对应于线路中的串联电阻  $R'$ , 而界面电阻则对应并联电导  $G'$ . 在直流情况下,  $R' = R_x/w, G' = w/\rho_c$ <sup>[6]</sup>,  $R_x$  为接触下面的碲镉汞薄层电阻,  $\rho_c$  为比接触电阻. 由传输线理论可推出<sup>[6]</sup>沿  $x$  方向的电流和电压分布可分别表示为

$$\left. \begin{aligned} V(x) &= V_1 \cosh(\alpha \cdot x) - I_1 Z \sinh(\alpha \cdot x), \\ I(x) &= I_1 \cosh(\alpha \cdot x) - V_1 Z \sinh(\alpha \cdot x). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式(2)中,

$$\left. \begin{aligned} Z &= \sqrt{R'/G'} = \frac{1}{W} \sqrt{R_x \cdot \rho_c}, \\ \alpha &= \sqrt{R' \cdot G'} = \sqrt{R_x / \rho_c}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

在一定条件下, 接触电阻等于图2等效电路中的输入电阻, 即

$$R_c = \frac{V_1}{I_1} \Big|_{I_2=0} = Z \cdot \coth(\alpha \cdot L_c). \quad (4)$$

另外, 接触末端电阻

$$R_s = \frac{V_2}{I_1} \Big|_{I_2=0} = Z \sinh(\alpha \cdot L_c). \quad (5)$$

由式(4)和(5)可得

$$R_s/R_c = \cosh(\alpha \cdot L_c). \quad (6)$$

实验上设法测出  $R_c$  和  $R_s$ , 就可由式(3)~(6)求出

$$\rho_c = wZ/\alpha. \quad (7)$$

$R_c$  和  $R_s$  可用 Berger<sup>[6]</sup>方法测得.

## 2 实验结果

2.1 Au/Sn 在 p-HgCdTe 上的比接触电阻见表 1, 样品的  $I$ - $V$  特性曲线如图 3 所示, 均为欧姆接触.

表 1 电极的比接触电阻  $\rho_c$   
Table 1 Specific contact resistance  $\rho_c$  of the electrode

样品	组分 $x$	$\rho_c (\Omega \cdot \text{cm}^2)$	
		室温	77K
DH94-2	0.41	$1.0 \times 10^{-2}$	$6.0 \times 10^{-2}$
DH94-1	0.41	$5.5 \times 10^{-3}$	$7.2 \times 10^{-2}$
GaMCT514-2	0.217	$2.04 \times 10^{-4}$	$8.39 \times 10^{-4}$
GaMCT514-4	0.127	$3.98 \times 10^{-4}$	$5.2 \times 10^{-4}$

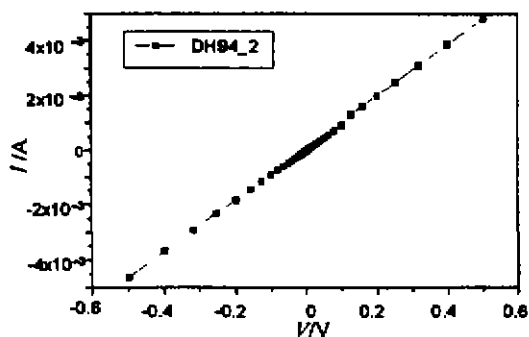


图 3 样品的  $I$ - $V$  特性  
Fig. 3  $I$ - $V$  characteristic of the sample

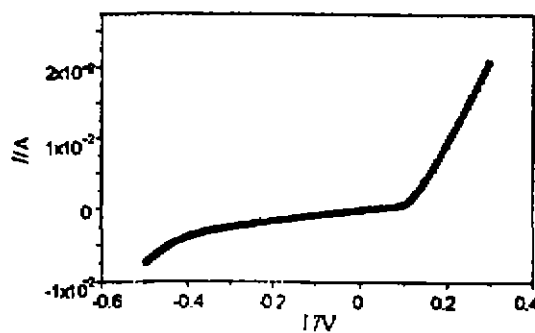


图 4 光伏器件  $I$ - $V$  特性  
Fig. 4  $I$ - $V$  characteristic of one element from a PV device

### 2.2 p-on-n 器件的电极接触电阻

Au/Sn 作为光伏器件上 p-on-n 的 p 区电极, 镀膜条件同前. 最终器件  $I$ - $V$  测试结果如图 4. 从  $I$ - $V$  测试结果算得正向电阻(见表 2)平均为  $12.6 \Omega$ , 而正向电阻值包含电极接触电阻、pn 结正向电阻及基区的薄层电阻, 所以表 2 的数据表明电极接触电阻平均小于  $12.6 \Omega$ .

表 2 PV 器件中抽测 10 元的正向电阻  
Table 2 Forward-bias resistance of 10 elements from PV device

元件号	IV10-1	IV12-1	IV20-1	IV21-1	IV22-1	IV23-1	IV24-1	IV4-1	IV5-1	IV8-1	平均
正向电阻 $\Omega$	11.85	8.41	12.63	11.91	12.0	13.3	12.5	12.36	12.51	14.35	12.6

## 3 结论与分析

实验测得 Au/Sn 与 p-Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 的比接触电阻和器件电极接触电阻. 结果表明, Au/Sn 与 p-Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 可以形成欧姆接触.

Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 的  $\Phi_s = E_0 - E_v$  ( $E_0$  为真空能级,  $E_v$  为价带顶) =  $4.5 \sim 5.6 \text{ eV}$  ( $x = 0 \sim 1$ )<sup>[7]</sup>,

p-Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 的费密能级靠近价带顶,故 p-Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 的功函数也在这一范围.而 Sn 的功函数为 4.43eV<sup>[8]</sup>,小于 p-Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 的功函数,所以 Sn 与 p 型 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 一般不会形成无势垒的本征欧姆接触. H. Zimmermann 等<sup>[9]</sup>的研究结果表明: Sn 与 Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 的界面会发生化学变化,Sn 置换 Hg 生成 SnTe.所以,本实验中 Au/Sn/p-Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te 接触不是纯粹的物理接触,界面的能带结构分析也非常复杂,接触界面物化特性的变化如何影响电学性质的变化等一系列有关接触本质的工作还需进一步深入展开.

**致谢** 本实验在材料方面得到刘激鸣、肖继荣、何力老师的支持,在样品电极焊接方向得到叶丽萍、靳秀芳的帮助,在此一并表示衷心感谢.

## REFERENCES

- 1 TANG D Y. *Infrared Physics And Technology* (汤定元,红外物理与技术), 1974, 3(6): 345
- 2 Davis G D, Byer N E, Daniels R R, et al. *J. Vac. Sci Technol*, 1983, A1: 1726
- 3 Spicer W E, Friedman D J, Carey G P. *J. Vac. Sci. Technol*, 1988, A6: 2746
- 4 XU Z J(C C Hsu), DING S H. *Vacuum Science And Technology* (许振嘉,丁孙安.真空科学与技术), 1994, 14(2): 71
- 5 Kuphal E. *Solid State Electronics*, 1981, 24: 69
- 6 Berger H H. *State-State Electron*, 1972, 15: 145
- 7 Casselman T N, Sher A, Silbermam J, et al. *J. Vac. Sci. Technol*, 1983, A1(3): 1692
- 8 Rhoderick E H. *Metal-Semiconductor Contacts*, London: Clarndon Press, Oxford, 1980, 54
- 9 Zimmermann H, Keller Robert C, Meisen P, et al. *Journal of Electronic Materials*, 1996, 25(8): 1293

## OHMIC CONTACT OF Au/Sn ON p-HgCdTe

HU Xiao-Ning ZHAO Jun GONG Hai-Mei FANG Jia-Xiong

(State Key Laboratories of Transducer Technology, Shanghai Institute of Technical Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

**Abstract** The contact resistance between Au/Sn and p-HgCdTe was investigated. The specific contact resistance  $\rho_c$  (295K, 77K) of Au/Sn/p-HgCdTe was measured, being  $10^{-2} \sim 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$ . By applying the Au/Sn on p-HgCdTe contact to PV devices of Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te ( $x=0, 23$ ), the current-voltage characteristics of the p-n junction were measured, and the results show that the contact resistance is less than 12.6 $\Omega$ .

**Key words** ohmic contact, HgCdTe, Au/Sn structure, specific contact resistance.