

用电子束感生电压方法研究碲镉汞光二极管

童斐明 陈伯良 张明*

(中国科学院上海技术物理研究所)

摘要——本文报道用电子束感生电压方法观察碲镉汞光二极管光敏区响应分布, 直接显示 $p-n$ 结耗尽区位置的实验结果。在 p 型碲镉汞上制成了肖特基势垒二极管。用它测量了碲镉汞的少数载流子扩散长度。

一、引言

电子束感生电流(EBIC)或电子束感生电压(EBIV)方法可有效地用于测量光敏二极管的光敏区响应分布^[1], 直接显示 $p-n$ 结耗尽区位置和测量半导体材料的少数载流子扩散长度^[2]。它已成为研究半导体器件和材料的重要手段。碲镉汞是一种三元半导体材料, 由于用它可制得高性能、响应各种波段的红外探测器, 而愈来愈被人们重视。因为受到低温的限制, 扫描电子显微镜中的 EBIC 和 EBIV 方法用于研究碲镉汞远不如锗、硅和砷化镓来得广泛, 但是近年来也逐渐在增多起来^[3~6]。

我们对用淬火-固态再结晶方法生长的碲镉汞材料和半熔法生长的碲镉汞晶体^[7], 用汞扩散或离子注入方法形成 $p-n$ 结, 制成光二极管, 或者做成肖特基势垒二极管。用 EBIV 方法观察了这些二极管的光敏区响应分布, 耗尽区位置。在肖特基势垒二极管上还测量了少数载流子扩散长度。本文简短报道我们的一些实验结果。

二、实验过程和结果

使淬火-固态再结晶方法生长的碲镉汞单晶通过热处理, 成为均匀的 p 型, 作为二极管的衬底, 然后用汞扩散方法在 p 型材料表面形成 n 型薄层, 再通过光刻、腐蚀、引电极等工艺制成 n 在 p 上台面二极管(图 1), 它可以是高性能的单元红外探测器^[8], 或多元探测器^[9]。但是也时常发现探测器表观量子效率过大以及有的多元探测器有串音现象。

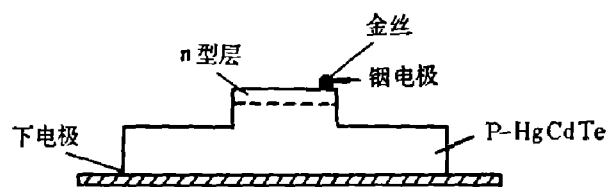


图 1 碲镉汞台面二极管

这是与光二极管存在光敏区扩大密切相关的。人们时常认为 p 型碲镉汞材料表面易于反型, 这反型层是光敏的, 认为它是造成光敏区扩大的重要原因^[4, 10]。

本文 1983 年 9 月 26 日收到。

* 上海科技大学物理系 1983 届毕业生。

我们对几个汞扩散二极管在 83K 作了 EBIV 测量, 实验原理及装置以前已作过详细报道^[1]。实验发现, 多数二极管的光敏区都存在不同程度的扩大, 而且常常是在电极周围扩大较多, 个别的甚至相当严重。图 2 示出了汞扩散二极管 D8036-9-4E 的二次电子像(图 2(a))和 EBIV 像(图 2(b))。图 2(b)中亮的区域代表感生信号强, 暗的区域代表感生信号弱, 完全黑的表示信号为零。由图看出, 此器件光敏区在钢电极附近扩大极为严重, 几乎是以钢电极为中心向四周呈圆形扩展。对于离子注入成结的器件也发现钢电极周围的响应大大超过光敏面上响应的现象。



图 2 汞扩散二极管 D8036-9-4E 的二次电子像(a)和 EBIV 像(b)

图 3 是汞扩散台面多元器件 D8105-26-1 中的两个元件的 EBIV 像。此图示出台面周围一圈的响应大于台面上的响应值。我们将其侧面用细 Al_2O_3 粉抛光, 使暴露其 $p-n$ 结侧面, 然后用 5% 溴-乙醇溶液稍稍腐蚀或甚至不腐蚀直接装入扫描电子显微镜进行侧面观察, 图 4 是这样制作的 $p-n$ 结侧面 EBIV 像, 其中亮区对应耗尽区位置, 由此图看出 $p-n$ 结位置极深, 位于台面以下约 $100\mu m$ 处, 以致光刻腐蚀台面时, 并没有能把元件之间的 n 型层全部腐蚀掉。由此也可解释图 3 中台面上光响应比台面下弱, 这是由于此 $p-n$ 结位置很深, n 型区厚度已远远大于空穴扩散长度致使台面部份电荷收集效率很低, EBIV 响应很弱。图 5 是汞扩散多元器件 DW36-21-6-1 中某一个元件的 $p-n$ 结侧面 EBIV 图。由这照片可以看出耗尽区弯曲不直, 汞扩散前沿极不平整, 宽窄不一致。



图 3 汞扩散台面多元器件 D8105-26-1 中的两个元件的 EBIV 像

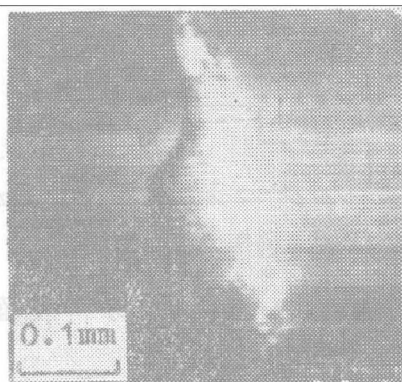


图 4 与图 3 同一器件的 $p-n$ 结侧面 EBIV 像

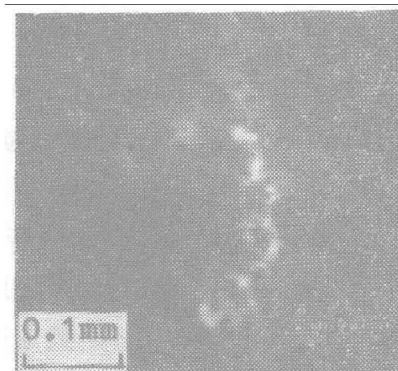


图 5 汞扩散多元器件 DW36-21-6-1 中某一个元件的 $p-n$ 结侧面 EBIV 图

对 p 型的 $x=0.2$ 固态再结晶材料和 $x=0.34$ 半熔法生长的 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 单晶, 用真空蒸发铬的方法制成了肖特基势垒二极管。图 6 是肖特基势垒二极管的二次电子像和 EBIV 像, 二极管边缘不整齐是由于蒸发金属掩模不完美所造成。自图 6(b) 看出, 只在金属-半导体接触边缘一周、在电子扩散长度 L_e 距离内能收集到电荷, 有清晰的 EBIV 信号, 没有扩大现象。中间部分暗区是由于蒸发金属层较厚, 电子束未能透过, 故而没有响应。D. E Ioannou 和 C.A. Dimitriadis 提出, 当电子束垂直入射二极管平面时, 电子束感应电流与电子束到二极管距离 d 有如下关系^[11]:

$$I(d) \propto d^{-\frac{3}{2}} \exp(-d/L)。 \quad (1)$$

其中 L 是扩散长度。我们对 $x=0.20$ 肖特基势垒二极管作了测量, 并利用公式(1)算得少数载流子扩散长度 $L_e=34 \mu\text{m}$ 。对 $x=0.34$ 半熔法生长的碲镉汞测得 $L_e \approx 190 \mu\text{m}$ 。

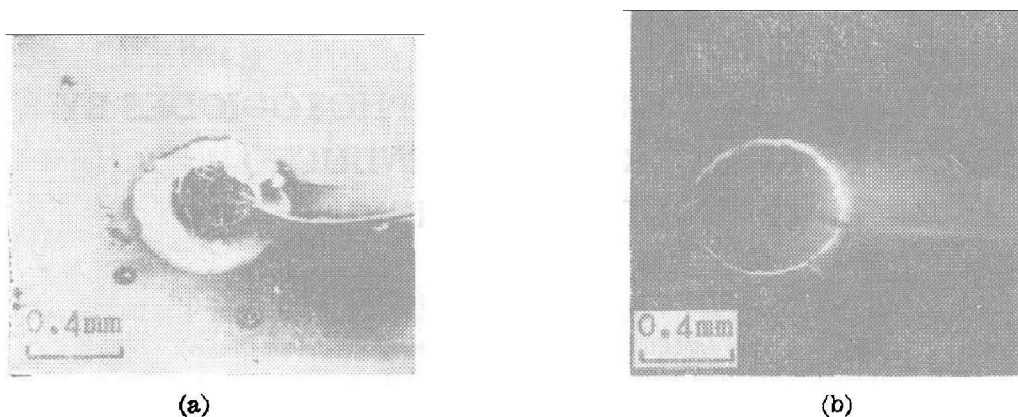


图 6 肖特基势垒二极管的二次电子像(a)和 EBIV 像

三、讨 论

从以上的汞扩散及离子注入 $p-n$ 结的实验中可看到光敏区扩大现象。在钢电极周围扩展尤其明显。我们认为这与电极制作有关。它可能是电极附近局部沾污, 也可能是电极工艺过程中样品经受加热, 引起钢在碲镉汞中扩散。因为钢在碲镉汞中呈施主杂质, 而且它的扩散是相当快的^[12]。如果电极工艺中样品曾经受热, 那么就可能造成严重的扩散。而对图 3 正视样品的光敏面扩大现象, 可从图 4 的侧面照片上清楚地看到, 主要是由于 $p-n$ 结太深, 光刻后的腐蚀不够彻底所致。

利用 EBIV 方法观察了汞扩散和离子注入碲镉汞光二极管的光敏区扩大现象, 讨论了产生这现象的可能原因。我们认为侧面抛光直接观察耗尽区位置、形状是研究扩散过程、测量 $p-n$ 结深度的一个有效的方法。在 p 型碲镉汞上制成了肖特基势垒二极管, 并测量了少数载流子扩散长度。

致谢——沈杰同志提供了半熔法生长的碲镉汞晶片, 胡文军同志协助制作了肖特基势垒二极管, 特致以谢意。

参 考 文 献

[1] 陈伯良、俞锦陞等, “用电子束感生电压技术检测碲化钢红外探测器”, 应用科学学报, 待发表。

- [2] Piekoszewski J. et al., *J. Appl. Phys.*, **51**(1980), 10:5375.
- [3] Tregilgas J. H., *J. Vac. Sci. Technol*, **21**(1982), 1: 208.
- [4] Iverson, R. B., *Minority carrier Diffusion Lengths Using EBIC*, B. S. Thesis, M.I. T., Cambridge, Massachusetts, 1979.
- [5] Lanir M., et al., *J. of Electronic Materials*, **8** (1979), 2:175.
- [6] 陈伯良, 童斐明, 俞锦陞, 中国科学院上海技术物理研究所 1982 年研究工作报告, 1983.
- [7] 沈杰, 陈建中, 任金龙, 中国科学院上海技术物理研究所 1980 年研究工作报告(一) 1981.
- [8] 童斐明, 杨秀珍等, *红外物理与技术*, (1976), 4~5: 36.
- [9] 王戎兴, 杨秀珍, 冯瑾, 中国科学院上海技术物理研究所 1981 年研究工作报告(一) 1982.
- [10] Timberlake A. B., Soderman D. A., **AD-741840** (1972).
- [11] Ioannou D. E. and Dimitriadis O. A., *IEEE trans. on ED.*, **ED-29** (1982), 3:445.
- [12] M. B. Reine, A. K. Sood, and T. J. Tredwell, in *Semiconductors and Semimetals*, Vol. 18, Ed. R. K. Willardson and A. C. Beer, New York: Academic press, 1981, 273.

INVESTIGATION OF HgCdTe PHOTODIODES BY ELECTRON-BEAM INDUCED VOLTAGE TECHNIQUE

TONG FEIMING, CHEN BOLIAN, ZHANG MING*
(Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

Experimental results of observing photodiodes responsivity profile and $p-n$ junction depletion region by electron-beam induced voltage technique are presented. Measurements of minority-carrier diffusion length have been made on Schottky barrier diodes formed on p -type HgCdTe.

* Graduate of Shanghai University of Science and Technology. 1983.