

文章编号:1001-9014(2008)06-0425-04

碲镉汞光伏型探测器的变面积氢化研究

乔辉¹, 周文洪^{1,2}, 叶振华¹, 李向阳¹, 龚海梅¹

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

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:利用氢等离子体对碲镉汞光伏型探测器进行了变面积氢化处理研究,发现随着氢化面积的变大,器件的电流-电压(I - V)特性得到明显改善,表现在器件的暗电流变小,零偏电阻 R_0 变大,同时器件的电流噪声也随着氢化面积的扩大而逐渐降低.通过对比实验结果和数值拟合结果,认为氢化工艺对器件性能的改善机制与氢化区域有关,当氢化区域限于 N 型区时,氢化的效果主要表现在降低注入损伤导致的少子复合中心从而提高少子寿命;当氢化区域扩大到 P 型区时,氢化的效果主要表现在使表面耗尽区中的陷阱中心减少,主要通过降低间接隧道电流来改善器件性能,这说明了实验中注入成结的光伏器件为 N^+P 结.

关键词:氢化;变面积;钝化;光伏探测器;碲镉汞

中图分类号:TN21 **文献标识码:**A

STUDY ON VARIABLE-AREA HYDROGENATION OF HgCdTe PHOTOVOLTAIC DETECTORS

QIAO Hui¹, ZHOU Wen-Hong^{1,2}, YE Zhen-Hua¹, LI Xiang-Yang¹, GONG Hai-Mei¹

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

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Variable-area hydrogenation of HgCdTe photovoltaic (PV) detectors was studied. It was found that the current-voltage (I - V) characteristic was obviously improved after hydrogenation, wherein dark current was gradually decreased as the hydrogenation area enlarged, and the zero-biased resistance was increased, meanwhile the current noise was reduced. By the comparison of experimental results and numerical fitting results, it was found that the improvement of I - V curves was related to hydrogenation zone. When the hydrogenation process was focused on the N-type zone, hydrogenation effect was mainly due to the reduction of minority carrier recombination centers caused by implantation process, which could increase the minority carrier lifetime. When the hydrogenation was enlarged to P-type zone, the improvement was primarily the result of the oppression of trap density in the surface depletion region, which led to the decrease of trap-assisted tunneling current. So it was concluded that the junctions of PV detectors formed by ion implantation were N^+P type.

Key words: hydrogenation; variable-area; passivation; photovoltaic detector; HgCdTe

引言

碲镉汞红外器件包括光导型(photoconductive, PC)和光伏型(photovoltaic, PV),光伏型器件按照规模可分为单元、线列和面阵;由于具有高响应速度、小功耗、大面阵以及容易与读出电路集成等优点,碲镉汞光伏探测器尤其是面阵器件(Focal Plane Array, FPA)代表了碲镉汞器件大规模应用的方向.氢化处理作为对碲镉汞材料和器件的表面或界面态

进行钝化的一种新的钝化方法,将其用于碲镉汞红外探测器的研究已经有了许多研究报道^[1-6],由于氢化处理容易与器件制备工艺过程相兼容,这为提高碲镉汞红外探测器的性能提供了新的简便有效的途径.光伏器件的暗电流机制是影响光伏器件性能的关键.本实验中采用诱导耦合等离子体(ICP)方法产生氢等离子体,通过选择合适的工艺参数,采用针对性设计的光刻版对碲镉汞光伏器件进行了变面积氢化处理研究,通过分析暗电流机制随着氢化面

收稿日期:2007-11-03,修回日期:2008-05-12

Received date: 2007-11-03, revised date: 2008-05-12

基金项目:中国科学院知识创新工程青年人才领域前沿(C2-18)资助项目

作者简介:乔辉(1979-),男,山东莱阳人,助理研究员,硕士,主要从事碲镉汞红外探测器的制备和工艺研究.

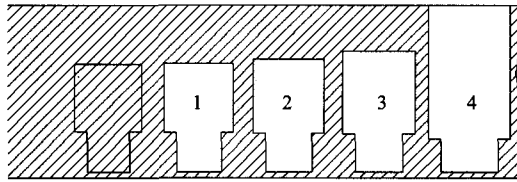


图1 光伏器件变面积氢化版图
Fig.1 Mask used for the hydrogenation of PV detectors

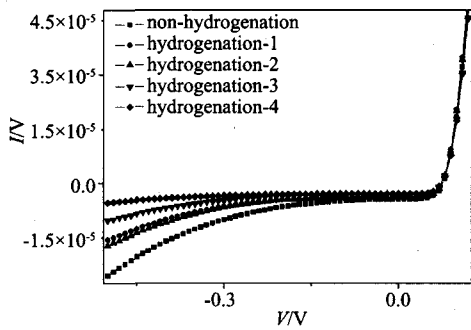


图2 器件 I-V 特性随氢化面积的变化
Fig.2 Variation of I-V curves with variable hydrogenation area

积的变化研究了氢化处理对碲镉汞光伏器件性能改善的影响机理。

1 实验

实验中使用的 N-on-P 型碲镉汞光伏器件按照常规工艺制备而成, P 型碲镉汞材料 x 组分为 0.3, 经过抛光、清洗、腐蚀、离子注入形成 N 型区后表面生长 200nm ZnS 薄膜作为钝化层, 然后通过光刻工艺对相同 N 型区面积的器件进行变面积表面氢化处理, 之后腐蚀电极孔生长电极进行测试。氢化处理采用 Oxford 公司生产的 Plasmalab80Plus ICP 增强型 RIE 设备, 时间为 1min。变面积氢化版图如图 1 所示, 图中的阴影部分为光刻胶保护的部分, 空白部分为氢化处理部分; 图 1 中 5 元器件具有相同的离子注入成结面积, 结面积大小即图中最左边的被光刻胶保护的器件; 器件 1~4 为氢化处理面积逐渐增大的 4 元器件。器件制备完成后封装于金属杜瓦内对其电流-电压 (I-V) 特性进行了测试, 测试设备为 Keithley236, 测试温度为 77K。

2 实验结果与讨论

图 2 给出了不同氢化面积器件的 I-V 特性曲线的变化, 对其进行微分后可以得到相应的电阻-电压 (R-V) 曲线, 如图 3 所示。从图 2 中看出, 随着氢化面积的变大, 器件的暗电流逐渐变小, 在较大反偏方

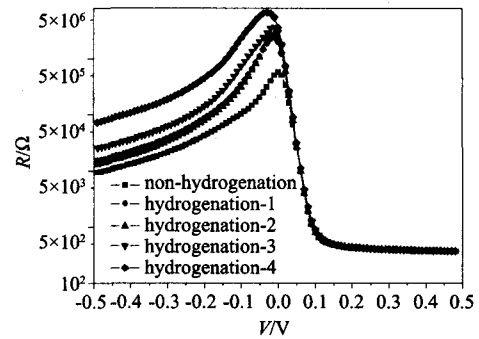


图3 器件 R-V 特性随氢化面积的变化
Fig.3 Variation of R-V curves with variable hydrogenation area

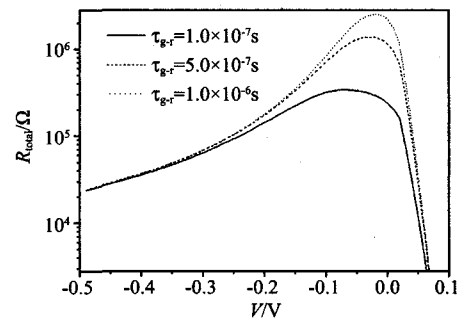


图4 不同产生-复合寿命 τ_{gr} 条件下数值拟合的 R_{total} -V 曲线
Fig.4 Simulated R_{total} -V curves with different τ_{gr}

向的变化尤其明显。为了分析这一变化的内在机理, 有必要对光伏器件的暗电流机制进行分析。光伏器件的暗电流机制主要包括: n 区和 p 区的扩散电流 I_{dif} , 势垒区的产生-复合 (g-r) 电流 I_{g-r} , 直接隧道电流 I_{tbb} , 以及通过陷阱中心的间接隧道电流 I_{tat} 。将各种机制的电流对电压进行微分后取倒数, 就可以得到各种电流机制决定的电阻值 R。根据扩散电流机制分析^[7], 扩散电流主要影响器件的正向电流, 从图 2 看出器件的正向电流基本不受氢化处理的影响。根据文献 [6], 氢化处理工艺过程中, 氢离子可以穿过 ZnS 层到达碲镉汞界面并且向内有一定扩散分布, 因此可以对表面耗尽区的产生-复合中心密度和界面陷阱中心密度进行钝化。数值拟合方法在碲镉汞光伏器件的暗电流机制研究中有重要的应用^[7], 为了确定究竟是哪种机制起主要作用, 分别对由产生-复合电流和间接隧道电流限制的暗电流进行了数值拟合。对于产生-复合电流, 计算采用 Gopal 提出的模型^[8], 通过改变其中的参数产生-复合少数子寿命 τ_{gr} , 得到由产生-复合电流限制的 R-V 曲线, 如图 4 所示; 同样, 通过改变陷阱中心密度参数 B ^[9], 可以得到由间接隧道电流限制的 R-V 曲线, 如图 5 所示。

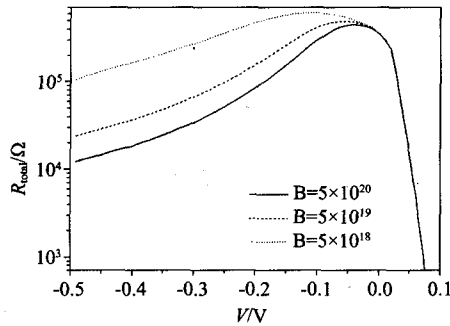


图5 不同陷阱中心密度 B 条件下数值拟合的 $R_{\text{total}}-V$ 曲线
Fig.5 Simulated $R_{\text{total}}-V$ curves with different trap density B

对比图4和图5可以看出,产生-复合电流决定的暗电流机制的影响主要表现在较小的偏压范围,而由间接隧道电流限制的暗电流机制的影响主要表现在较大的偏压范围.随着少子产生-复合寿命的提高,较小反偏范围的动态电阻明显增大,而随着陷阱中心密度的降低,器件整个反偏范围内的电阻都得到增加,其中以较大反偏范围的增大更为明显.观察图3中的结果,条件1氢化后,器件小反偏范围的电阻明显增大,条件2和3氢化后,在条件1的基础上,较大反偏范围的电阻也得到增大,当经过条件4氢化后,器件整个反偏范围内的电阻都得到增大.结合图4和图5对光伏器件暗电流机制的分析,可以认为氢化工艺改善碲镉汞光伏器件性能的主要机制与氢化处理区域有关.

实验中氢化条件1仅对器件的N型区域进行氢化处理.实验中所用的N-on-P型器件是通过在P型材料上进行离子注入形成N型区,离子注入过程必然会对N型区产生一定的注入损伤,这些注入损伤会成为载流子的复合中心,从而降低器件少子寿命,对该区域进行氢化后,氢离子对离子注入损伤进行了部分的填充修复,因此会降低少子复合中心密度提高少子寿命;根据图4的结果,少子寿命的提高主要表现在R-V曲线中较小反偏部分电阻的增加,图3中条件1曲线的结果即表现为这一特征.条件2和3的氢化区域比N型区略微增大,从图3中实验结果来看,在条件1结果的基础上器件较大反偏范围的电阻也有所增大,很明显这是对N型区之外的区域进行氢化处理的结果;当氢化区域进一步扩大时,器件整个反偏范围内的电阻都进一步增大,其中以较大反偏范围的增大较为显著,结合图5的分析结果,认为器件性能改善主要是暗电流机制中间接隧道电流降低所致.

根据上述分析,说明我们所制备的器件为N⁺P

结,耗尽区主要分布于P型区,当处理区域扩大至P型区外,氢化处理使得表面耗尽区陷阱中心密度被氢离子钝化而降低,从而导致间接隧道电流变小以及电阻的增大.孙涛等在文献[10]中也提到ZnS钝化的碲镉汞器件表面耗尽区中存在较大的间接隧道电流,他们提出以CdTe/ZnS双层钝化来代替ZnS单层钝化来降低器件中的陷阱中心密度从而降低其间接隧道电流并取得了较好的效果.

零偏电阻 R_0 是表征光伏器件性能的重要参数^[11].表1给出了实验中 R_0 的变化,可见随着氢化面积扩大 R_0 不断增大.根据零偏状态下光伏器件电流噪声的计算公式^[11]

$$\bar{i}_n^2 = \frac{4kT\Delta f}{R_0} + 2q^2\eta\Phi_B A \Delta f, \quad (1)$$

其中 η 为量子效率, q 为单位电荷, k 为 Boltzmann 常数, A 为光敏面积, T 为绝对温度, Φ_B 为背景辐射通量, Δf 为测量带宽,器件零偏电阻直接决定电流噪声的大小.表1给出未经氢化的器件和经过不同面积氢化的器件的电流噪声值,从表中结果可以看出,随着氢化区域的扩大,器件的电流噪声随零偏电阻增大而逐渐降低.

3 结语

通过对碲镉汞光伏器件的变面积氢化研究,发现随着氢化面积的扩大,器件的暗电流逐渐降低,零偏电阻逐渐增大,噪声测试表明其电流噪声逐渐降低.通过对光伏器件暗电流机制的分析和数值拟合,认为氢化工艺对器件性能改善的机制与氢化区域有关并直接影响最终的氢化效果.当氢化区域集中于N型区时,氢化作用主要表现在降低离子注入过程引起的少子复合中心密度从而提高少子寿命,从R-V曲线上主要表现在小反偏下电阻的增大;当氢化区域扩大到P型区域时,氢化作用则主要表现在通过降低表面耗尽区内的陷阱中心密度而改善器件性能,陷阱中心密度的降低使得间接隧道电流降低,从R-V曲线上则表现为器件整个反偏范围内电阻的增

表1 不同氢化面积下器件的零偏电阻和电流噪声
Table 1 Zero-biased resistance and current noise of detectors with variable hydrogenation area

器件状态	零偏电阻 R_0 (Ω)	电流噪声 (10^{-12} A/Hz)
non-hydrogenation	5.71×10^5	169
hydrogenation-1	1.94×10^6	156
hydrogenation-2	2.35×10^6	151
hydrogenation-3	2.94×10^6	132
hydrogenation-4	3.57×10^6	121

大,其中以较大反偏下电阻的增大更为明显.

REFERENCES

- [1] Chen Y F, Chen W S. Influence of hydrogen passivation on the infrared spectra of $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$ [J]. *Applied Physics Letter*, 1991, **59**(6):703—705.
- [2] Young-Ho Kim, Tae-Sik Kim, Redfern D A, et al. Characteristics of gradually doped LWIR diodes by hydrogenation [J]. *Journal of Electronic Material*, 2000, **29**(6):859—864.
- [3] White J K, Musca C A, Lee H C, et al. Hydrogenation of ZnS passivation on narrow-band gap HgCdTe [J]. *Applied Physics Letter*, 2000, **76**(17):2448—2450.
- [4] Sitharaman S, Raman R, Durai L, et al. Effect of hydrogenation on the electrical and optical properties of CdZnTe substrates and HgCdTe epitaxial layers [J]. *Journal of Crystal Growth*, 2005, **285**:318—326.
- [5] Boieriu P, Grein C H, Velicu S, et al. Effects of hydrogen on majority carrier transport and minority carrier lifetimes in long wavelength infrared HgCdTe on Si [J]. *Applied Physics Letter*, 2006, **88**:062106-1-062106-3.
- [6] QIAO Hui, ZHOU Wen-Hong, YE Zhen-Hua, et al. Study of hydrogenation on HgCdTe photovoltaic detectors [J]. *J. Infrared Millm. Waves* (乔辉, 周文洪, 叶振华, 等. 碲镉汞光伏型探测器的氢化处理研究. *红外与毫米波学报*) 2007, **26**(5):326—328.
- [7] XU Xiang-Yan, LU Wei, CHEN Xiao-Shuang, et al. Numerical simulation of long wavelength photovoltaic HgCdTe photodiodes [J]. *J. Infrared Millm. Waves* (徐向晏, 陆卫, 陈效双, 等. 光伏型长波 HgCdTe 红外探测器的数值模拟研究. *红外与毫米波学报*), 2006, **25**(4):251—256.
- [8] Gopal V, Gupta S, Bhan R K, et al. Modeling of dark characteristics of mercury cadmium telluride $n^+ - p$ junctions [J]. *Infrared Physics & Technology*, 2003, **44**:143—152.
- [9] Rais M H, Musca C A, Antoszewski J, et al. Characterization of dark current in novel HgCdTe mid-wavelength infrared photovoltaic detectors based on n-on-p junctions formed by plasma-induced type conversion [J]. *J. Crystal Growth*, 2000, **214/215**:1106—1110.
- [10] SUN Tao, LIANG Jin-Sui, CHEN Xing-Guo, et al. Low-frequency noise of HgCdTe long-wave photovoltaic detector [J]. *J. Infrared Millm. Waves* (孙涛, 梁晋穗, 陈兴国等. HgCdTe 长波光伏探测器的低频噪声研究. *红外与毫米波学报*), 2005, **24**(4):273—276.
- [11] TANG Ding-Yuan. *Introduction of Photoelectric Device* [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Literature Press (汤定元. 光电器件概论. 上海: 上海科技文献出版社), 1989.