

文章编号:1001-9014(2007)05-0326-03

碲镉汞光伏型探测器的氢化处理研究

乔辉^{1,2}, 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:利用氢等离子体方法研究了氢化处理对碲镉汞光伏型红外探测器性能的影响,发现对 ZnS 介质层钝化的器件进行氢化处理后,器件的信噪比和零偏电阻有显著的改善.通过采取在氢化过程中进行光刻胶保护的方法,发现氢化作用主要发生在注入区域之外的 P 区一侧;通过 SIMS 测试分析发现氢化过程中 H 离子可以穿过 ZnS 层到达 ZnS 与碲镉汞的界面处.分析认为氢离子对 ZnS 和碲镉汞的界面产生钝化,降低了界面态密度,减弱了 P 型区的表面漏电,提高了 PN 结的击穿电压和结电阻,从而改善了器件的性能.

关键词:氢化;钝化;光伏探测器;碲镉汞

中图分类号:TN21 **文献标识码:**A

STUDY OF HYDROGENATION ON HgCdTe PHOTOVOLTAIC DETECTORS

QIAO Hui^{1,2}, 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: The hydrogenation of HgCdTe photovoltaic (PV) detectors by H-plasma was investigated. It was found that the ratio of signal to noise and resistance at zero bias of the detectors passivated with ZnS were obviously improved after hydrogenation. Via a comparative study that the P-type zone was protected by photoresist or not, it was inferred that hydrogenation effects mainly happened on the P-type zone of the detectors. By SIMS analysis H⁺ was found to penetrate through ZnS and reach the interface between ZnS and HgCdTe, and the improvement of performance after hydrogenation was due to the passivation of interface states by H ions, which resulted in a decrease of interface states and surface leakage current, thus the break-down voltage and resistance of the junction were increased.

Key words: hydrogenation; passivation; photovoltaic detector; HgCdTe

引言

氢化处理是利用氢离子对半导体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,目前在硅器件工艺中已经得到了广泛的应用.受此启发,许多研究人员在碲镉汞红外探测器的制备中进行了氢化处理的研究^[1-4],取得了一系列富有成效的结果,为进一步提高碲镉汞红外探测器的性能提供了新的方向.目前工艺中实现氢化处理的技术途径主要有两种^[5]:水煮和氢等离子体.前者操作简单但条件单一,且对于器件的可靠性有负面影响,因此主

要应用于材料的研究;后者则有大量可选的工艺条件,且与器件工艺过程可以兼容,因此是目前主要的氢化方法.可以实现氢等离子体氛围的方法有辉光放电、ECR(电子回旋共振)和 ICP(诱导耦合等离子体)等.本实验中我们采用 ICP 方法,通过选择合适的参数对 ZnS 介质层钝化的碲镉汞光伏器件进行了氢化处理.

1 实验

实验中氢化处理我们采用 Oxford 公司生产的 Plasmalab80Plus ICP 增强型 RIE 设备,每次氢化处

收稿日期:2006-12-05,修回日期:2007-07-21

Received date: 2006-12-05, revised date: 2007-07-21

基金项目:中国科学院知识创新工程资助项目(61501.06.03.02)

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器件的制备和相关工艺研究.

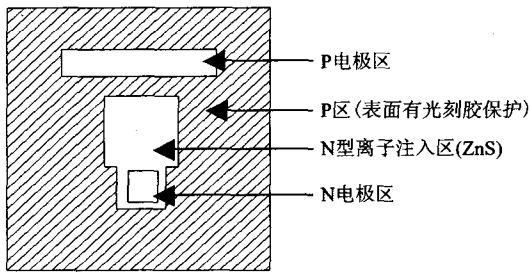


图1 光刻胶保护后进行氢化处理的B组器件
Fig.1 Schematic profile of B-group photovoltaic detectors used in the hydrogenation

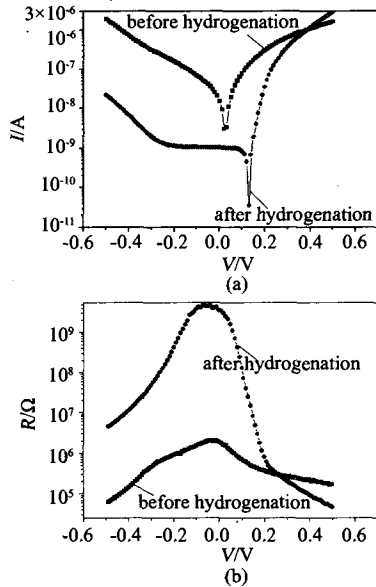


图2 氢化处理前后器件 I-V(图 2-a)和 R-V(图 2-b)特性
Fig.2 I-V(Fig.2-a) and R-V(Fig.2-b) curves of the detector before and after hydrogenation

理条件相同,处理时间为 1 分钟.按照常规工艺,通过对 P 型中波碲镉汞材料进行 B⁺ 离子注入形成 N-on-P 平面光伏器件,注入区面积为 400μm × 400μm,器件平面结构如图 1 所示. B⁺ 离子注入能量为 100KeV,注入剂量为 1 × 10¹⁴ cm⁻²;钝化层为 ZnS,厚度为 150nm.实验过程中所使用的器件分为 A 和 B 两组:A 组器件为没有任何光刻胶保护的器件;B 组器件为在器件工艺结束后按图 1 进行光刻胶保护的器件.器件的氢化处理是将固定好器件的宝石电极板置于 ICP 设备腔体内进行.器件测试时将器件电极引出后固定于宝石电极板上,然后封装在低温真空杜瓦内进行测量.测试时采用正入射,即光穿过 ZnS 层入射到碲镉汞上.

2 实验结果与讨论

A 组器件(无光刻胶保护)氢化前后的性能变

化如表 1 所示:

表 1 A 组器件氢化处理前后性能变化(Is 为信号,In 为噪声,Is/In 为信噪比,D* 为黑体探测率)

Table 1 Performance of A-group detectors before and after hydrogenation. (Is: signal; In: noise; Is/In: ratio of signal to noise; D*: detectivity)

| | Is/mV | In/μV | Is/In | D*/cmHz ^{1/2} W ⁻¹ |
|----------------------|------------------------|-----------------------|-------|--|
| Before hydrogenation | 1.4 × 10 ⁻⁴ | 65 × 10 ⁻⁴ | 21.5 | 2.78 × 10 ⁸ |
| After hydrogenation | 1.5 × 10 ⁻⁴ | 15 × 10 ⁻⁴ | 100 | 1.29 × 10 ⁹ |

图 2 中给出了该器件氢化前后的 I-V(电流-电压)和 R-V(电阻-电压)曲线:

B 组器件(有光刻胶保护)经过氢化处理后的结果如表 2 所示:

表 2 B 组器件氢化处理前后性能变化(Is 为信号,In 为噪声,Is/In 为信噪比,D* 为黑体探测率)

Table 2 Performance of the detectors protected with photoresist before and after hydrogenation. (Is: signal; In: noise; Is/In: ratio of signal to noise; D*: detectivity)

| | Is/mV | In/μV | Is/In | D*/cmHz ^{1/2} W ⁻¹ |
|----------------------|------------------------|-----------------------|-------|--|
| Before hydrogenation | 9.1 × 10 ⁻⁴ | 39 × 10 ⁻⁴ | 233 | 3.01 × 10 ⁹ |
| After hydrogenation | 7.4 × 10 ⁻⁴ | 13 × 10 ⁻⁴ | 569 | 7.34 × 10 ⁹ |

图 3 下面给出了该器件氢化前后的 I-V 和 R-V 特性曲线:

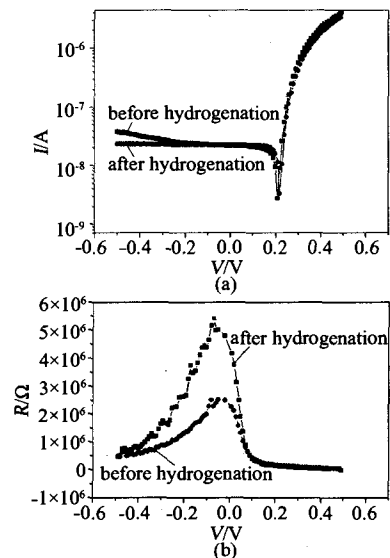


图 3 B 组器件在氢化处理前后的 I-V(图 3-a)和 R-V(图 3-b)特性典型曲线

Fig.3 Typical I-V(Fig.3-a) and R-V(Fig.3-b) curves of B-group detectors before and after hydrogenation

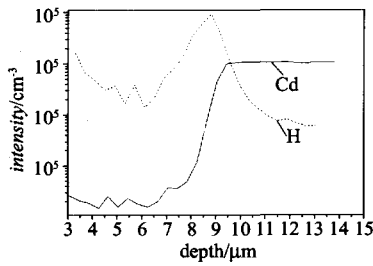


图4 氢化之后 SIMS 分析得到的 H 分布

Fig. 4 H distribution obtained by SIMS analysis after hydrogenation

对比表 1、表 2 以及图 2、图 3 的结果, 我们可以看到, 氢化处理可以明显提高器件的性能. 对于 A 组器件, 氢化后器件的信噪比提高了 5 倍左右 (从 21.5 到 100), 暗电流下降了 2 个量级 (从 10^{-6} A 到 10^{-8} A), 动态零偏电阻 R_0 则提高了 3 个量级 (从 $10^6 \Omega$ 到 $10^9 \Omega$), PN 结击穿电压增大; 相比之下, B 组器件性能虽然也有所提高, 但提高幅度不如 A 组器件, 其信噪比提高了 2.4 倍左右 (从 233 到 569), 暗电流几乎不变, 在反偏较大的方向略有下降, 动态零偏电阻 R_0 仅提高了 2.5 倍 (从 $2 \times 10^6 \Omega$ 到 $5 \times 10^6 \Omega$), PN 结击穿电压基本不变; 这说明 B 组器件的氢化效果不如 A 组器件. 两组器件的区别仅在于 B 组器件进行了部分区域的光刻胶保护, 如图 1 所示, 由于对 N 型注入区之外的 P 型区域进行了光刻胶保护, 这样在氢化过程中该区域不会受到氢化作用影响, 结合两组器件氢化前后的性能变化, 我们认为发生在 P 型区域的氢化作用才会大幅改善器件的性能.

为了确定氢化过程中氢离子的分布, 我们进行了 SIMS 分析, 如图 4 所示, 分析结果表明氢化之后, 氢离子可以穿过 ZnS 到达 ZnS 与碲镉汞的界面, 并向碲镉汞内有所延伸. 对于 N-on-P 结构, 由于注入区面积相对较小, 光吸收主要发生在 P 区, P 区少数载流子 (电子) 寿命的长短就对器件非常重要^[6]. ZnS 与碲镉汞的界面存在大量的界面态, 可以成为少子的产生复合中心, 降低少子寿命从而影响器件性能; 根据 SIMS 分析的结果, 氢化后氢离子会对产生复合中心进行钝化从而降低界面态密度, 结果就改善了少子寿命和器件性能; 文献^[7]指出, 单层 ZnS 钝化的光伏器件具有较大的表面隧道电流, 表面隧道电流的产生是由于 P 区表面发生空穴堆积而在表面处感应产生一隧道结, 这时的 PN 结在小偏压

甚至零偏压附近就会产生表面隧道击穿, 降低了 PN 结的击穿电压, 产生了表面隧道电流, 降低了光伏器件的结电阻. 通过氢化作用中氢离子对界面态进行钝化, 大大改善了 ZnS 与碲镉汞界面的状态, 减弱了 P 区的感应隧道结效应, 这样就降低了表面隧道电流, 提高了器件的击穿电压和结电阻, 如图 2 所示.

3 结论

通过使用光刻胶保护部分区域的方法, 发现氢化作用主要发生在 N 型注入区之外的 P 型区域, 对 P 型区域进行氢化处理可以达到期望的效果, 即信号增大的同时降低噪声, 大幅提高结电阻; 相比之下, 若仅对 N 型注入区进行氢化处理, $I-V$ 测试表明其优值因子变化幅度有限, 暗电流也较 A 组器件下降幅度小得多. SIMS 分析发现氢化处理过程中氢离子可以穿过 ZnS 到达 ZnS 与碲镉汞的界面处, 通过氢离子对界面态的钝化大大降低了界面态密度, 从而降低了表面漏电流, 提高了结电阻, 改善了光伏器件的性能.

REFERENCES

- [1] 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.
- [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] 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.
- [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] Chen Y F, Chen W S. Influence of hydrogen passivation on the infrared spectra of $Hg_{0.8}Cd_{0.2}Te$ [J]. *Applied Physics Letter*, 1991, **59**(6): 703—705.
- [6] XU Xiang-Yan, LU Wei, CHEN Xiao-Shuang, et al. Numerical simulation of long wavelength photovoltaic HgCdTe photodiodes [J]. *J. Infrared Millim. 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.
- [7] SUN Tao, LIANG Jin-Sui, CHEN Xing-Guo, et al. Low frequency analysis of HgCdTe long wave photovoltaic detectors [J]. *J. Infrared Millim. 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): 272—276.