

一种国产 GaInP/GaAs/Ge 三结太阳电池的 电子辐照特性

牛振红^{1,2} 郭旗¹ 任迪远¹ 刘刚^{1,2} 高嵩^{1,2} 肖志斌³

1 (中国科学院新疆理化技术研究所 乌鲁木齐 830011)

2 (中国科学院研究生院 北京 100049)

3 (天津电源研究所 天津 300381)

摘要 对一种国产 GaInP/GaAs/Ge 三结太阳电池进行了 1 MeV 电子辐照损伤研究, 分析和讨论了不同注量电池电参数和光谱响应的衰降规律。实验结果表明, 这种电池不但有很高的初始效率, 而且有很好的抗辐射性, 电子注量达到 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 时, 最大输出功率为辐照前的 80.4%。辐照后 GaInP 顶电池几乎不发生退化, 而 GaAs 中间电池短路电流严重退化, 致使 GaInP 顶电池与 GaAs 中间电池电流失配, 是 GaInP/GaAs/Ge 电池性能退化的主要原因。

关键词 多结太阳电池, GaInP/GaAs/Ge, 电子辐照, 辐照效应, 光谱响应

中图分类号 TN304, TM914.4

随着空间科学技术的发展, 航天器的功率要求也越来越高。尤其是 90 年代以后微小卫星和长寿命卫星的发展, 对太阳电池的转换效率和抗辐射能力提出了更高的要求。由于多结太阳电池具有高的转换效率, 能满足空间应用的飞速发展, 成为近年来太阳电池研究的热点。其中 GaInP/GaAs 双结和 GaInP/GaAs/Ge 三结太阳电池均基于比较成熟的 GaAs 电池制作工艺, 而且 GaInP 与 GaAs 在晶格匹配、禁带宽度合理组合、材料性能稳定性等方面都是十分理想的材料系统, 所以是目前研究最活跃、最深入的多结太阳电池^[1-3]。

目前, 对 GaInP/GaAs/Ge 电池研究最成熟的是美国, 美国的 Spectrolab 和 Emcore 公司都已批量生产, 并供应空间市场。国外对这种电池的辐射效应也做了一定的研究。国内也已开始多结电池的研究, 目前国产 GaInP₂/GaAs/Ge 电池的转换效率可达 26% 以上。为了掌握国产 GaInP₂/GaAs/Ge 太阳电池在空间辐射环境中的衰变规律, 并为电池研制单位抗辐射加固提供依据, 尽快实现在空间的应用, 本文研究了国产 GaInP₂/GaAs/Ge 电池的电子辐照效应, 对结果进行了分析和讨论。

1 实验

1.1 实验样品

本文所用的样品为国内某生产线用金属有机物化学沉积 (MOCVD) 工艺制备的 GaInP/GaAs/Ge 太阳电池, 未加玻璃盖片。电池结构示意图如图 1 所示。电池结构为 pn 型, 尺寸为 30.6mm×40.3mm。

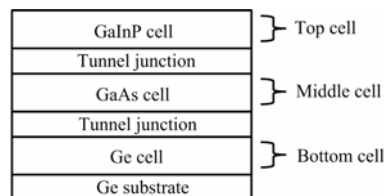


图 1 GaInP/GaAs/Ge 太阳电池结构简图
Fig.1 Schematic structure for GaInP/GaAs/Ge solar cell

1.2 实验条件和方法

实验样品置于 ELV-8 型电子加速器的电子辐照场中, 电子能量为 1 MeV, 垂直辐照样品。电子束通量为 $5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 此通量大小不会引起样品明显的升温。实验在室温和开路状态下进行。测试了样品辐照前和辐照注量达到 5×10^{13} 、 1×10^{14} 、 2×10^{14} 、 5×10^{14} 、 1×10^{15} 和 $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 时的电参数 (包括开路电压 V_{oc} 、短路电流 I_{sc} 、最大工作电压 V_m 、最大

第一作者: 牛振红, 男, 1979 年出生, 2003 年毕业于河北大学物理系, 现为中国科学院新疆理化技术研究所微电子学与固体电子学专业在读硕士研究生, 主要研究方向为电子元器件辐射效应及损伤机理研究

收稿日期: 2006-04-30, 修回日期: 2006-06-11

工作电流 I_m 、最大输出功率 P_m 、填充因子 FF 和光电转换效率 η)。同时还测试了辐照前和辐照后的光谱响应。

2 实验结果与分析

2.1 GaInP/GaAs/Ge 三结太阳电池电参数的辐照特性

为了直观地体现 GaInP/GaAs/Ge 太阳电池的电

能, 表 1 给出了国产常规 Si 电池(尺寸大小 20mm×20mm)、GaAs 单结电池(尺寸大小 20mm×20mm)及 GaInP/GaAs/Ge 电池 $2\times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$ 注量辐照后电参数的衰减值。图 2 给出 GaInP/GaAs/Ge 三结太阳电池电参数随 1 MeV 电子辐照注量增加的衰变特性。

从表 1 的数据可以看出, GaInP/GaAs/Ge 电池比 Si、GaAs 电池有更好的抗辐射能力。

表 1 Si、GaAs、GaInP/GaAs/Ge 太阳电池 1 MeV 电子辐照(注量 $2\times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$)后电参数衰减率
Table 1 Degradation of Si, GaAs and GaInP/GaAs/Ge solar cells irradiated by 1 MeV electrons at a fluence of $2\times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$

电池种类 Type of cell	V_{oc} 衰减率 Attenuation rate of $V_{oc}/\%$	I_{sc} 衰减率 Attenuation rate of $I_{sc}/\%$	效率 η 衰减率 Attenuation rate of efficiency $\eta/\%$
Si	9.66	31.82	39.35
GaAs	10.06	18.75	28.98
GaInP/GaAs/Ge	11.32	13.65	27.59

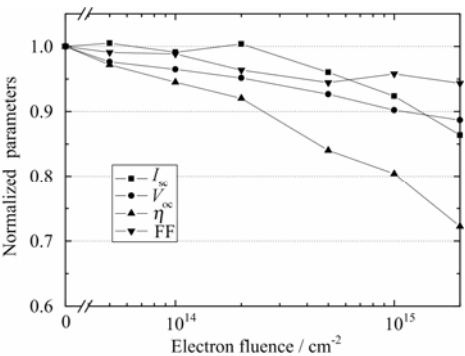


图 2 GaInP/GaAs/Ge 太阳电池电参数随电子注量的变化
Fig.2 The measured electric parameters of GaInP/GaAs/Ge solar cells versus electron fluence

从图 2 可以看出, 随着辐照注量的增大, GaInP/GaAs/Ge 电池的电参数都有不同程度的衰减, 衰减程度随着注量的不断增大而增大。当注量达到 $1\times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$ 时, V_{oc} 、 I_{sc} 分别衰减了 9.8%和 7.6%; 但在继续辐照后, I_{sc} 的衰减超过了 V_{oc} 的衰减: 当注量达到 $2\times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$ 时, V_{oc} 、 I_{sc} 分别衰减了 11.32%和 13.65%。由于 V_{oc} 和 I_{sc} 的衰减, 致使电池最大工作电压 V_m 和最到工作电流 I_m 也随着衰减, 从而使电池最大输出功率 P_m 和光电转换效率 η 也衰减。当注量到达 1×10^{15} 和 $2\times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$ 时, 转换效率分别衰减了 19.60%和 27.59%。填充因子 FF 的衰减相对少一点, 在注量 $2\times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$ 时, 衰减了约 5.6%。

2.2 GaInP/GaAs/Ge 三结太阳电池光谱响应的辐照损伤

图 3 所示的是 GaInP/GaAs/Ge 电池 GaInP 顶电池和 GaAs 中间电池辐照前和 1×10^{15} 、 $2\times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$

辐照后的光谱响应曲线。从图中可以看出, 辐照后 GaInP 顶电池的光谱响应几乎没有发生衰减, 而 GaAs 中间电池的光谱响应辐照后发生了明显的衰减。从图中可以看出在注量为 $1\times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$ 时, GaAs 中间电池在波长 400—500 nm 的响应已经消失; 在长波方向的响应也严重衰减, 当注量增加时, 光谱响应在继续衰减。

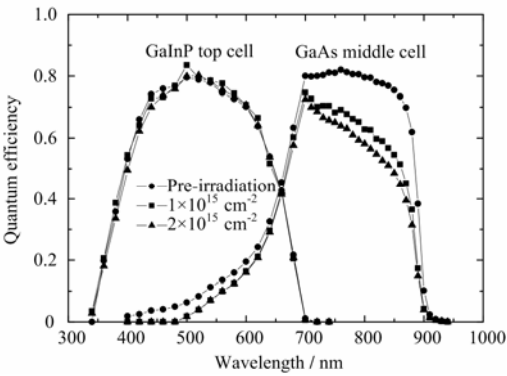


图 3 GaInP/GaAs/Ge 电池光谱响应随电子注量的变化
Fig.3 Spectral response of GaInP/GaAs/Ge cells versus electron fluence

从光谱响应可以获得辐照前后 GaInP 顶电池和 GaAs 中间电池短路电流密度比值。在辐照前两者短路电流密度比值 J_{GaInP}/J_{GaAs} 为 0.97, 辐照注量为 $1\times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$ 时, 比值 J_{GaInP}/J_{GaAs} 为 1.22, 当辐照注量增加到 $2\times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$ 时, 比值 J_{GaInP}/J_{GaAs} 为 1.28。辐照后比值 J_{GaInP}/J_{GaAs} 远远大于 1, 并随注量增大而增大, 表明辐照后 GaAs 中间电池光生电流的减小, 使 GaInP/GaAs/Ge 电池各结电流失配, 从而成为 GaInP/GaAs/Ge 电池性能退化的主要原因。

由于底电池 Ge 材料的禁带宽度很窄, 太阳光

照射电池时短波部分被 GaInP 顶电池和 GaAs 中间电池吸收后,太阳光谱中仍然有很大部分光被 Ge 底电池吸收,产生较大的电流,即使辐照后仍然能具有很大的短路电流,不会限制 GaInP/GaAs/Ge 电池的电流^[2]。

从以上结果可以看出:GaInP 顶电池的抗辐射能力比 GaAs 中间电池好,辐照后 GaAs 中间电池在短波方向和长波方向都有明显衰减,即短波效应和长波效应。短波效应是由于辐照引起发射区光生载流子复合速度增加而导致;长波效应是由于辐照在电池的基区产生位移损伤,光生载流子的体复合增加所导致。这与单结 GaAs 电池的辐照结果相似^[4]。GaInP 顶电池没有明显的短波效应和长波效应。另外抗辐射能力还与 In-P 结合物在电池材料组分中的比例有关,这是因为 InP 中的迁移能 $V_{in}(0.26\text{ eV})$ 和 $V_p(1.2\text{ eV})$ 小于 GaAs 中的迁移能 $V_{Ga}(1.79\text{ eV})$ 和 $V_{As}(1.48\text{ eV})$ ^[3]。所以 GaInP 顶电池的抗辐射性能比 GaAs 中间电池好。

3 结论

以上实验结果表明,1 MeV 电子辐射会使 GaInP/GaAs/Ge 电池的电参数均有不同的衰减,尤

其是光电转化效率衰减更为严重。辐照剂量达到 $1\times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$ 时,光电转换效率衰减为辐照前的 80.4%。辐照后 GaInP 顶电池没有明显的退化,而 GaAs 中间电池的短路电流 I_{sc} 严重衰减,致使 GaInP 顶电池与 GaAs 中间电池电流失配,这是造成电池性能退化的主要原因。所以在设计 GaInP/GaAs/Ge 电池时,不仅要有高的光电转换效率,而且要使各结电池的光生电流密度匹配,尤其是辐照后光生电流密度匹配,可以提高 GaInP/GaAs/Ge 电池的抗辐射能力。

参考文献

- 1 Yamaguchi M. Physica E, 2002, **14**(1-2): 84—90
- 2 Cotal H, King R, Haddad M, *et al.* The effects of electron on triple-junction $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P/GaAs/Ge}$ solar cells, Proc IEEE 28th PVSC, 2000, 1316—1319
- 3 Dharmarasu N, Yamaguchi M, Khan A, *et al.* Appl Phys Lett, 2001, **79**(15): 2399—2401
- 4 艾尔肯,郭旗,任迪远,等.核技术,2003, **26**(9): 697—699
Erkin, GUO Qi, REN Diyu, *et al.* Nucl Tech, 2003, **26**(9): 697—699

Effects of electron irradiation on a home-made type of triple-junction GaInP/GaAs/Ge solar cell

NIU Zhenhong^{1,2} GUO Qi¹ REN Diyu¹ LIU Gang^{1,2} GAO Song^{1,2} XIAO Zhibin³

¹ (Xinjiang Technical Institute of Physics & Chemistry, the Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

² (Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

³ (Tianjin Institute of Power Sources, Tianjin 300381, China)

Abstract Radiation effects of 1 MeV electron on a home-made type of triple-junction GaInP/GaAs/Ge solar cell have been investigated. The results indicate that the GaInP/GaAs/Ge solar cell has high efficiency and high radiation hardness. The final-to-initial maximum power ratio (P/P_0) of the GaInP/GaAs/Ge cell was 80.4% at a fluence of $1\times 10^{15}\text{ cm}^{-2}$. The spectral response of the GaInP top subcell showed little degradation, and this was not a limitation for GaInP/GaAs/Ge cell performance. The GaAs middle subcell I_{sc} , however, presented serious degradation. The degradation of GaInP/GaAs/Ge solar cell is due primarily to the GaAs middle subcell.

Key words Multiple-junction solar cell, GaInP/GaAs/Ge, Electron irradiation, Radiation effect, Spectral response

CLC TN304, TM914.4