

^{60}Co γ 射线对高铝组分 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ 基 p-i-n 日盲型光探测器理想因子的影响

张孝富¹⁾²⁾ 李豫东¹⁾²⁾ 郭旗^{1)2)†} 罗木昌³⁾ 何承发¹⁾²⁾ 于新¹⁾²⁾
申志辉³⁾ 张兴尧¹⁾²⁾ 邓伟¹⁾²⁾ 吴正新¹⁾²⁾

1) (中国科学院新疆理化技术研究所, 乌鲁木齐 830011)

2) (新疆电子信息材料与器件重点实验室, 乌鲁木齐 830011)

3) (重庆光电技术研究所, 重庆 400060)

(2012 年 11 月 14 日收到; 2012 年 12 月 5 日收到修改稿)

采用 ^{60}Co γ 射线源对高铝组分 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ 盲紫外 p-i-n 结构光探测器和 Si 基可见光 p-i-n 结构探测器进行了累计剂量分别为 0.1, 1, 10 Mrad(Si) 总剂量辐照实验. 实验发现, 随着辐照剂量的增加, AlGa_N 盲紫外 p-i-n 结构光探测器的理想因子显著增大, 辐照后理想因子 $n > 2$; 而 Si 基可见光 p-i-n 结构探测器的理想因子随辐照剂量的变化并不明显. AlGa_N 盲紫外 p-i-n 结构光探测器理想因子的退化可能主要是因为欧姆接触性能的退化, Si 基可见光 p-i-n 结构探测器的理想因子的变化则可能是由于敏感层的退化.

关键词: 高铝组分 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, γ 射线辐射效应, 理想因子, 欧姆接触

PACS: 61.80.-x, 71.55.Eq, 73.40.Ty, 73.40.Kp

DOI: 10.7498/aps.62.076106

1 引言

由于大气层中臭氧层的强吸收作用, 太阳辐射的位于 200—280 nm 波段紫外线几乎不能到达地面, 因而称此波段范围为所谓的“日盲区”, 探测该波段范围内的光探测器称为盲紫外光探测器^[1-4]. 然而工作于宇宙空间的器件会显著地受到高能射线粒子的影响, 包括 γ 射线、高能电子、质子以及其他重离子等^[5-7], 这些高能射线主要在半导体材料和器件中引起电离辐射效应和位移损伤效应. 一般而言, 对于 GaN 基的半导体器件主要考虑射线带来的位移效应的影响^[8,9].

实验上已经证实了半导体材料的抗辐射能力反比于晶格常数^[10,11], 由于 Ga 原子和 N 原子具有较强的结合能, 且 GaN 基半导体具有较小的原胞体积 (纤维锌矿的 GaN 的晶格常数为 $a = 3.189 \text{ \AA}$, $c = 5.186 \text{ \AA}$, 远小于 GaAs 的晶格常数

$a = 5.6533 \text{ \AA}$ 和 Si 的晶格常数 $a = 5.431 \text{ \AA}$)^[5,12,13], 一般而言 GaN 材料产生位移损伤所需要的原子位移阈能也比 GaAs 和 Si 基半导体材料要大 (GaN 中 Ga 原子的位移阈能达到 20.5 eV, 要远高于 GaAs 中 Ga 原子的 $\sim 9.8 \text{ eV}$ 和 Si 原子的 $\sim 15 \text{ eV}$)^[14-18], 因此具有较强抗辐射能力的 GaN 基半导体器件在航天及其他恶劣环境中拥有广泛的应用前景^[19].

为了实现器件在恶劣空间环境下的应用, 有必要对器件展开可靠性的研究, 分析器件的辐射损伤退化机理. 以前的研究中, 金豫浙等人对 GaN 基蓝光多量子阱 LED 进行的 γ 射线辐照实验表明发现器件在经过 7Mrad(Si) ($1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$) 辐照后, 其发光一致性和均匀性变差, 而峰值波长的红移则可能是因为 γ 射线使 In 原子位移, 造成局部富 In, 禁带宽度变小^[20]. 谷文萍等对 AlGa_N/GaN HEMT 器件开展的 γ 射线辐照实验表明经过 1 Mrad(Si) 辐照后辐射感生表面态负电荷的产生是导致 Al-

† 通讯作者. E-mail: guoqi@ms.xjb.ac.cn

GaN/GaN HEMT 器件电学特性退化的主要原因之一^[16]. Shmidt 等人针对 γ 射线对 GaN 载流子浓度和迁移率的影响展开了研究, 研究结果表明, 随着辐照剂量的增大, 轻掺杂和重掺杂的 GaN 的迁移率都明显降低, 至于载流子浓度, 结果表明辐照造成轻掺杂 GaN 载流子浓度降低, 但却引起重掺杂 GaN 中载流子浓度增大^[21]. 然而对于高铝组分的半导体材料和器件的辐射效应却研究较少. 随着 Al 组分的增大, 在器件的生长工艺中, 在金属电极一侧易于形成铝氧化物层 (AlO_x) 和铝氟化物层 (AlF_x), 这一化合物层会对欧姆接触产生一定的影响, GaN 基半导体器件在形成性能良好的欧姆接触上也存在问题^[22-25], 因而在极端环境下对器件的可靠性也提出了更高的要求. 我们在研究 ^{60}Co 射线辐照 AlGaIn 日盲型光探测器时发现, 器件的理想因子在辐照前小于 2, 符合 Sah-Noyce-Shockley 的理论, 然而辐照过后器件的理想因子却远大于 2, 为了研究这一现象的机理, 我们对具有成熟的接触工艺的 Si 基 p-i-n 二极管进行了相同的辐照试验, 对比了 γ 射线辐照对这两类器件的影响并分析了器件的退化机理.

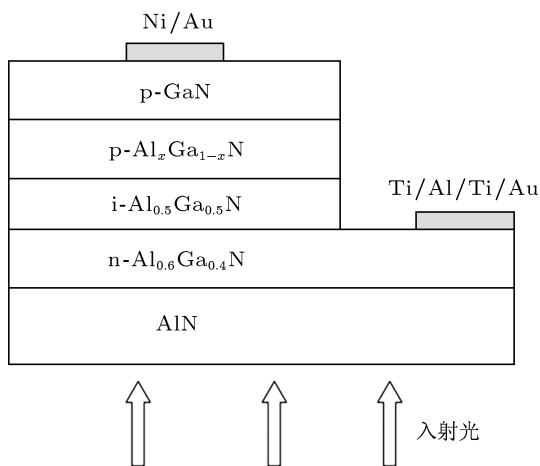


图1 AlGaIn p-i-n 盲紫外光探测器结构示意图

2 器件结构及辐照实验

实验所采用的 AlGaIn 盲紫外光探测器是应用 AIXTRON-200RF 型 MOCVD 进行外延生长的, 衬底为蓝宝石 α 平面, 生长方向沿 (0001). 所采用的 Al 源、Ga 源及 N 源分别为三甲基铝 (TMAl), 三甲基镓 (TMGa) 和氨气 (NH_3). 所采用的 n 型和 p 型掺杂杂质分别为 Si 和 Mg, 相应的载气分别为硅烷 (SiC_4) 和双环戊二烯基镁 ($(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Mg}$).

先在蓝宝石衬底上生长一层 AlN 缓冲层, 然后外延生长 n- $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{N}$, 再外延生长非有意掺杂的 i- $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ 层, 在此之上外延生长 p- $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 缓变层, 再生长一薄层 p-GaN, 刻蚀掉一个台阶裸露出 n- $\text{Al}_{0.6}\text{Ga}_{0.4}\text{N}$ 后生长接触电极. n 型欧姆接触采用 Ti/Al/Ti/Au, 而 p 型欧姆接触采用 Ni/Au, 器件的结构如图 1 所示. 实验所采用的 Si 基 p-i-n 二极管为商用可见光探测器, 型号为 BPW34.

辐照试验是在中国科学院新疆理化技术研究所辐照中心进行的, 整个实验过程中器件温度为室温, 射线源为 ^{60}Co 射线源, γ 光子平均能量为 1.25 MeV, 辐照剂量率为 139.14 rad(Si)/s, 累积剂量点选取为 0.1, 1 及 10 Mrad(Si). 辐照过程中器件的两个管脚短接并接地. 器件的测试在 Keithley 4200-SCS 半导体参数测试仪上进行, 辐照实验结束立即进行测试, 时间间隔在 5 min 以内.

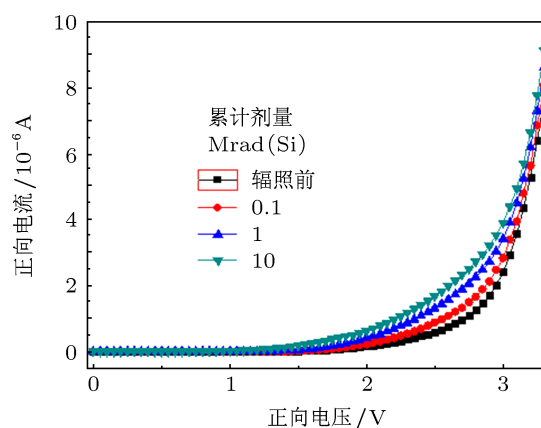


图2 AlGaIn p-i-n 二极管正向 I - V 特性与辐照剂量的关系

3 实验结果

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 盲紫外 p-i-n 光电二极管辐照后的正向 I - V 特性如图 2 所示, 随着辐照剂量的增大, 小注入下的正向电流随之增大. 按照 Shockley-Read-Hall 复合, 这个增大主要是因为复合电流的增大所引起的. 理想因子可以很好地刻画复合电流成分的大小. 根据 Sah-Noyce-Shockley 理论, 理想的 pn 结构, 器件的理想因子 n 为 1 (电流主要是中性区中的少数载流子的扩散所形成的), 当耗尽区中的复合电流占正向电流的主要成分时, 器件的理想因子约为 2. 器件的正向 I - V 特性可以用下式描述^[26]:

$$I = I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q(V - IR_s)}{kT} \right] - 1 \right\}, \quad (1)$$

式中 I_0 为反向饱和电流, q 为单位电荷, k 为玻尔兹曼常数, T 为绝对温度, n 为器件的理想因子, R_s 为

器件的串联电阻. 在正向电压下, 忽略反向的饱和电流并取对数得

$$\ln I = \ln I_0 + \frac{qV}{nkT} - \frac{IR_s}{nkT}, \quad (2)$$

在小注入条件下, 可以忽略 $\frac{IR_s}{nkT}$ 项, 故根据 $\ln I$ - V 曲线在小注入下的斜率即可得到器件的理想因子.

AlGaIn 型 p-i-n 二极管的理想因子如图 3 所示, 辐照前器件理想因子为 1.541 ± 0.003 , 随着辐照剂量的增大器件的理想因子显著增大, 经过 10 Mrad(Si) 辐照后器件的理想因子变为 4.062 ± 0.002 , 接近于原来的 3 倍.

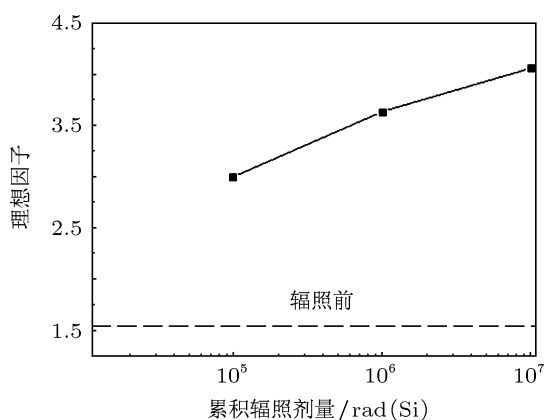


图3 AlGaIn p-i-n 二极管理想因子随辐照剂量的关系

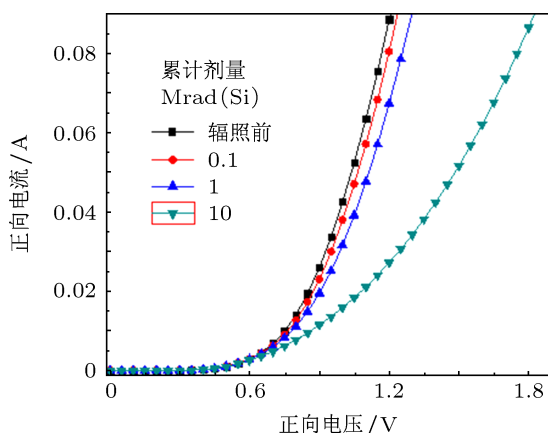


图4 Si p-i-n 二极管正向 I - V 特性与辐照剂量的关系

Si 基 p-i-n 结构的退化特征明显不同于 AlGaIn 型 p-i-n 二极管, 其正向 I - V 特性如图 4 所示, 在小注入条件下, 器件的特征没有明显变化, 然后在大注入下变化极为显著, 这主要是由于辐照所引起的串联电阻的增大造成的. 由正向 I - V 特性计算出来

的理想因子如图 5 所示, 与 AlGaIn 型 p-i-n 二极管不同, Si 基 p-i-n 二极管的理想因子几乎没有明显的变化. 辐照前器件的理想因子为 1.015 ± 0.003 , 经过 10 Mrad(Si) 辐照后变为 1.089 ± 0.002 . 器件的理想因子随着辐照剂量之间的变化关系呈对数曲线关系, 即在辐照剂量较小时有一个较为显著的增大, 但随着辐照剂量的增大, 理想因子的增长速度变缓.

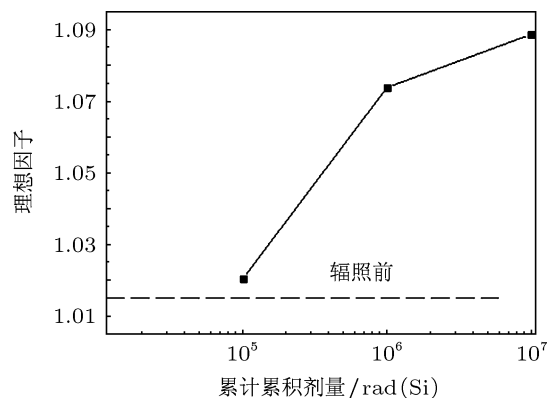


图5 Si p-i-n 二极管的理想因子随辐照剂量的关系

4 辐射损伤机理分析

理想情况下 AlGaIn 基 p-i-n 二极管的能带图如图 6 所示, p 区和 n 区都形成了良好的欧姆接触, p 区为一侧耗尽层为空穴堆积层, n 区一侧为电子的堆积层, 这两个欧姆接触没有压降, 外加电压几乎都落在 i-Al_{0.5}Ga_{0.5}N 敏感层上, 按照 Sah-Noyce-Shockley 理论正向 I - V 特性可以用下式描述:

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qV}{kT}\right), \quad (3)$$

上式忽略了串联电阻的影响, 并且理想因子为 1.

然而, Fan 等^[27]及谷文萍等^[14]的工作表明辐射感生界面陷阱电荷会对器件造成显著的影响; Umana-Membreno 等人的研究表明 γ 射线辐照不仅会引入深能级缺陷, 而且也会引起肖特基势垒高度的增加^[28]. Belyaev 研究射线对不同 AlGaIn 和 GaIn 肖特基接触的影响表明辐照后界面出现了大量的氧原子^[29]. 这些界面的退化都可以显著地影响欧姆接触的性能. 界面的缺陷可以引入额外的漏电流通道; 射线在界面上引入高密度的界面态使得欧姆接触失效, 界面上原来的载流子堆积层可能会变成载流子的耗尽层, 大量的载流子的占据了表面的缺陷态使得界面附近出现耗尽层, 导致势垒高度变得与接触金属层的功函数无关; 界面附近的氧原子可能形成一个薄层的 AlO_x 层, 这一氧化物层可以使

原来的欧姆接触的势垒高度增加 $\sim 0.3 \text{ eV}^{[30]}$. 综合考虑这些因素考虑, 辐照后器件的能带图应如图 7 所示.

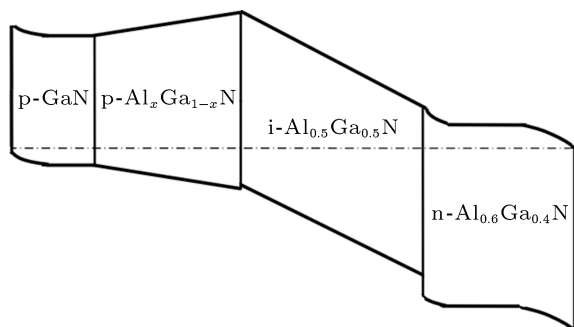


图 6 理想情况下 AlGaIn p-i-n 二极管热平衡状态下的能带图

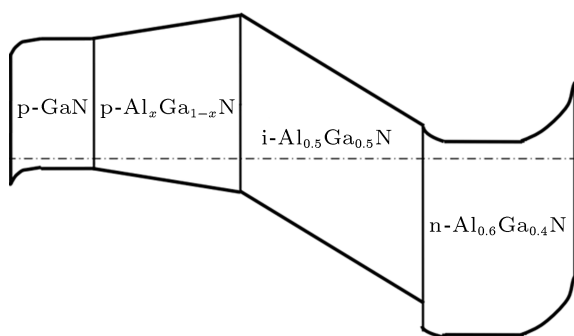


图 7 辐照后 AlGaIn p-i-n 二极管热平衡状态下的能带图

设在 p 型欧姆接触上的压降为 V_p , i 层上的压降为 V_i , 而 n 型接触层上的压降为 V_n , 外加电压为 V , 即 $^{[31]}$

$$V = V_p + V_n + V_i. \quad (4)$$

图 7 中 p 区所示的欧姆接触可以认为是一个反偏的肖特基结构, 其反向电流特性可以用下式描述:

$$I_p = I_{p0} \exp\left(\frac{qV_p}{n_p kT}\right), \quad (5)$$

当 $V_p > 3 kT/q$ 时这个等式成立, 式中 I_p 为肖特基结反向电流, 且相应的理想因子 n'_p 可以由下式给出 $^{[32]}$:

$$\frac{1}{n'_p} + \frac{1}{n_p} = 1. \quad (6)$$

同样 n 型肖特基接触的结果可以由下式给出:

$$I_n = I_{n0} \exp\left(\frac{qV_n}{n'_n kT}\right), \quad (7)$$

当 $V_p > 3 kT/q$ 时这个等式成立, 式中 I_{n0} 为 n 型欧姆接触反向电流. i 层的正向 I - V 特性由下式描述:

$$I_i = I_{i0} \left[\exp\left(\frac{qV_i}{n_i kT}\right) - 1 \right]. \quad (8)$$

这三个结为串联结构, 故总电压

$$V = \sum_i V_i = \sum_i \left[n_i \frac{kT}{q} \ln I - n_i \frac{kT}{q} \ln I_{i0} \right], \quad (9)$$

整理得

$$\ln I = \frac{q/kT}{\sum_i n_i} V + \frac{1}{\sum_i n_i} \left(\sum_i n_i \ln I_{i0} \right). \quad (10)$$

当考虑了界面退化之后, 此时的理想因子变为 $\sum_i n_i$, 是三个结理想因子之和, 故器件辐照之后理想因子可以远大于 Sah-Noyce-Shockley 理论所给出的最大理想因子 2. 而由于 Si 基半导体器件的欧姆接触工艺比较成熟, γ 射线并没有对 Si 基 p-i-n 结构的理想因子造成显著的影响, 但辐照过后器件的开启电压增大, 串联电阻也显著增大, 如图 4 所示, 这表明高剂量 γ 射线辐照后, Si 基 p-i-n 结构的退化主要是由于敏感层发生了退化.

5 结 论

上述实验表明经过 γ 射线辐照之后, AlGaIn 盲紫外 p-i-n 结构光探测器的理想因子显著增大, 约为辐照前的 3 倍; 而 Si 基可见光 p-i-n 结构的理想因子并没有显著的变化. 随着辐照剂量的增大, AlGaIn 盲紫外 p-i-n 结构光探测器的理想因子在较低的累积剂量下有显著的增加, 而当辐照剂量较大时, 增长速度变慢, 与界面态生长速度类似. 研究表明造成 AlGaIn 盲紫外 p-i-n 结构光探测器的理想因子增长的主要原因可能是欧姆接触性能的退化, 欧姆接触分压使得两个欧姆接触对总理想因子也有贡献, 最终导致辐照后器件的理想因子远大于 2, 而且当前高铝组分 AlGaIn 低接触电阻的欧姆接触仍是 GaN 基半导体应用的研究热点之一. Si 基半导体的欧姆接触工艺较成熟, 表现出了较好的抗辐射性能, 但高剂量下器件的 i 层发生了退化, 这与 AlGaIn 半导体不同, 表现出了 GaN 基半导体比 Si 基半导体具有更好的抗辐射性能.

- [1] Long J P, Varadarajan S, Matthews J, Schetzina J F 2002 *Opto-Electronics Review* **10** 251
- [2] Kolb C E, Ryali S B, Wormhoudt J C 1988 *Proc. SPIE* **0932** 2
- [3] Yan T J, Chong M, Zhao D G, Zhang S, Chen L H 2011 *Infrared and Laser Engineering* **40** 32 (in Chinese) [颜廷静, 种明, 赵德刚, 张爽, 陈良惠 2011 红外与激光工程 **40** 32]
- [4] Zhang L Q, Zhang C H, Yang Y T, Yao C F, Li B S, Sun Y M and Song S J 2009 *Chin. Phys. Lett.* **26** 036101
- [5] Claeys C, Simoen E (Translated by Liu Z L) 2008 *Radiation Effects in Advanced Semiconductor Materials and Devices* (Beijing: National Defence Industry Press) p20 (in Chinese) [Claeys C, Simoen E 著, 刘忠立译 2008 先进半导体材料及器件的辐射效应 (北京: 国防工业出版社) 第 20 页]
- [6] Lv L, Zhang J C, Li L, Ma X H, Cao Y R and Hao Y 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 057202 (in Chinese) [吕玲, 张进成, 李亮, 马晓华, 曹艳荣, 郝跃 2012 物理学报 **61** 057202]
- [7] Ohyama H, Takakura K, Hanada M, Nagano T, Yoshino K, Nakashima T, Kuboyama S, Simoen E, Claeys C 2010 *Materials Science and Engineering B* **173** 57
- [8] Aktas O, Kuliev A, Kumar V, Schwindt R, Toshkov S, Costescu D, Stubbins J, Adesida I 2004 *Solid-State Electronics* **48** 471
- [9] Fan L, Hao Y, Zhao Y F, Zhang J C, Gao Z Y, Li P X 2009 *Chin. Phys. B* **18** 2912
- [10] Hu X, Choi B K, Barnaby H J, Fleetwood D M, Schrimpf R D, Lee S, Shojah-Ardalan S, Wilkins R, Mishra U M, Dettmer R W 2004 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **51** 293
- [11] Nedelcescu A L, Carlone C, Houdayer A, Bardeleben H J, Cantin J L, Raymond S 2002 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **49** 2733
- [12] Hong-Yeol Kim, Travis Anderson, Michael A. Mastro, Jaime A. Freitas Jr, Soohwan Jang, Jennifer Hite, Charles R. Eddy Jr, Ji Hyun Kim 2011 *Journal of Crystal Growth* **326** 62
- [13] Hong-Yeol Kim, Fan Ren, Pearton S J, Ji Hyun Kim 2009 *Electrochemical and Solid-State Letters* **12** 173
- [14] Gu W P, Zhang J C, Wang C, Feng Q, Ma X H, Hao Y 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 1161 (in Chinese) [谷文萍, 张进城, 王冲, 冯倩, 马晓华, 郝跃 2009 物理学报 **58** 1161]
- [15] Khanna S M, Diego Estan, Erhardt L S, Alain Houdayer, Cosmo Carlone, Ionascut-Nedelcescu A, Messenger S R, Walters R J, Summers G P, Warner J H, Insoo Jun 2004 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **51** 2729
- [16] Khanna S M, Webb J, Tang H, Houdayer A J, Carlone C 2000 *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **47** 2322
- [17] Look D C, Reynolds D C, Hemsky J W, Sizelove J R, Jones R L, Molnar R J 1997 *Phys. Rev. Lett.* **79** 2273
- [18] Koike J, Parkin D M, Mitchell T E 1992 *Appl. Phys. Lett.* **60** 1450
- [19] Zhang M L, Wang X L, Xiao H L, Wang C M, Ran J X, Hu G X 2008 *Chin. Phys. Lett.* **25** 1045
- [20] Jin Y Z, Hu Y P, Zeng X H, Yang Y J 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 1258 (in Chinese) [金豫浙, 胡益培, 曾祥华, 杨义军 2010 物理学报 **59** 1258]
- [21] Shmidt N M, Davydov D V, Emtsev V V, Krestnikov I L, Lebedev A A, Lundin W V, Poloskin D S, Sakharov A V, Usikov A S, Osinsky A V 1999 *Phys. Stat. Sol. (b)* **216** 533
- [22] Feng F F, Liu J L, Qiu C, Wang G X and Jiang F Y 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 5706 (in Chinese) [封飞飞, 刘军林, 邱冲, 王光绪, 江凤益 2010 物理学报 **59** 5706]
- [23] Wang G X, Tao X X, Xiong C B, Liu J L, Feng F F, Zhang M, Jiang F Y 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 078503 (in Chinese) [王光绪, 陶喜霞, 熊传兵, 刘军林, 封飞飞, 张萌, 江凤益 2011 物理学报 **60** 078503]
- [24] Wang X Y, Chong M, Zhao D G, Su Y M 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 217302 (in Chinese) [王晓勇, 种明, 赵德刚, 苏艳梅 2012 物理学报 **61** 217302]
- [25] Ding Z B, Wang K, Chen T X, Chen D, Yao S D 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 2445 (in Chinese) [丁志博, 王坤, 陈田祥, 陈迪, 姚淑德 2008 物理学报 **57** 2445]
- [26] Charles Joseph Collins 2002 *Ph. D. Dissertation* (Austin: University of Texas)
- [27] Fan L, Zhang J C, Li P X, Hao Y 2003 *Chin. J. Semiconduct.* **24** 937 (in Chinese) [范隆, 张进城, 李培咸, 郝跃 2003 半导体学报 **24** 937]
- [28] Umana-Membreno G A, Dell J M, Parish G, Nener B D, Faraone L, Mishra U K 2003 *IEEE Transactions on Electronics Devices* **50** 2326
- [29] Belyaev A E, Boltovets N S, Ivanov V N, Kapitanchuk L M, Konakova R V, Kudryk Ya Ya, Lytvyn O S, Milenin V V, Sheremet V N, Sveshnikov Y N 2009 *Semiconductor Structures, Interfaces And Surfaces* **43** 904
- [30] Cheng C J, Si J J, Lu Z X, Zhao H Y, Zhao L, Ding J X, Sun W G, Chen Z Z, Zhang G Y 2006 *Infrared* **27** 20 (in Chinese) [成彩晶, 司俊杰, 鲁正雄, 赵鸿燕, 赵岚, 丁嘉欣, 孙维国, 陈志忠, 张国义 2006 红外 **27** 20]
- [31] Shah J M, Li Y L, Gessmann Th, Schubert E F 2003 *J. Appl. Phys.* **94** 2627
- [32] Rhoderick E H, Williams R H 1988 *Metal Semiconductor Contacts* (2nd Edn.) (Oxford: Oxford University Press) p129

^{60}Co γ -radiation effects on the ideality factor of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ p-i-n solar-blind detector with high content of aluminum

Zhang Xiao-Fu¹⁾²⁾ Li Yu-Dong¹⁾²⁾ Guo Qi¹⁾²⁾† Luo Mu-Chang³⁾

He Cheng-Fa¹⁾²⁾ Yu Xin¹⁾²⁾ Shen Zhi-Hui³⁾ Zhang Xing-Yao¹⁾²⁾

Deng Wei¹⁾²⁾ Wu Zheng-Xin¹⁾²⁾

1) (Xinjiang technical institute of Physics and Chemistry, University of Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

2) (Xinjiang Key Laboratory of Electronic information materials and devices, Urumqi 830011, China)

3) (Chongqing Optoelectronics Research Institute, Chongqing 400060, China)

(Received 14 November 2012; revised manuscript received 5 December 2012)

Abstract

High Al content $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ solar-blind photodetector and Si p-i-n visible light detector were irradiated with ^{60}Co γ -rays up to 0.1, 1, 10 Mrad(Si). With the increase of total radiation dose, the ideality factor of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ p-i-n diode saw a significant rise and the ideality factor n is grater than 2 with a total dose up to 10 Mrad(Si); the ideality factor of Si p-i-n diode, however, changed only slightly even up to 10 Mrad(Si). The degradation of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ p-i-n diode might be attributed to the deterioration of Ohmic contacts, however, to some extent, the slight increase of the Si p-i-n diode might be due to the degradation of the insensitive layer.

Keywords: high Al content $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, γ -ray radiation effects, ideality factor, Ohmic contact

PACS: 61.80.-x, 71.55.Eq, 73.40.Ty, 73.40.Kp

DOI: 10.7498/aps.62.076106

† Corresponding author. E-mail: guoqi@ms.xjb.ac.cn