

# $\gamma$ 辐照的半绝缘 GaAs:Cr 的电子顺磁共振研究\*

傅济时 朱美栋 毛晋昌 吴恩 秦国刚

(北京大学物理系 北京 100871)

魏根栓 张钰华

(北京大学技术物理系 北京 100871)

王永鸿 马碧春

(北京有色金属研究总院 北京 100088)

**摘要** 本文报道  $\gamma$  辐照的 GaAs:Cr 的光激发电子顺磁共振 (EPR) 研究结果。实验结果表明  $\gamma$  辐照不仅改变了其内硅谱线的光淬灭特性,同时还产生一条  $g$  值为 2.08、线宽约  $3 \times 10^{-2}$ T 无光淬灭特性的新谱线,初步分析表明它可能来自于砷空位 ( $V_{As}$ )。

**PACC:** 6180E, 7630M, 6170A

在半导体材料研究中,辐照技术有着十分广泛而重要的应用;它不仅直接用于材料的辐照损伤研究并获得辐照所致材料物性的变化,且同电子顺磁共振 (EPR) 技术相结合还可通过特定的辐照识别出其产生的缺陷及由该缺陷所致材料光、电、机械性质的变化。有关辐照硅的研究已取得了丰硕的成果,电子及中子辐照的半绝缘 GaAs 的 EPR 研究也已有不少报道<sup>[1-6]</sup>;  $\gamma$  辐照虽也成功地用于硅及非晶硅的研究(例如  $\gamma$  辐照可作为一种人为有意识地控制非晶硅中悬挂键浓度的工具以深入研究该缺陷对材料光电性质的影响<sup>[7]</sup>),但是关于  $\gamma$  辐照的半绝缘 GaAs 的 EPR 研究至今未见任何报道,本文第一次报道在  $\gamma$  射线辐照的半绝缘 GaAs:Cr 中,在液氮温度下所观察到的 EPR 谱。

实验所用的两块 LEC 半绝缘 GaAs:Cr 单晶样品(整锭电阻率高于  $1 \times 10^6 \Omega \text{cm}$ , Cr 与 GaAs 的重量比为  $4 \times 10^{-5}$ , 含 C 约  $1 \times 10^{16}$ )取自同一单晶锭的中间部位,样品均切为  $2.8 \times 3 \times 20 \text{mm}^3$  的长方体,端面为(110)。一块样品用于  $\gamma$  辐照,另一块留作参考。EPR 实验转动样品时,外磁场方向始终平行于(110)面。

实验是在 BRUKER 公司配有 Oxford ESR-900 低温系统的 ER 200 D-SRC 电子顺磁共振谱仪上进行,该谱仪工作于 X 波段。激发光源为经  $500 \mu\text{m}$  厚的硅片滤光的 1kW 的卤钨灯。

\* 国家自然科学基金资助项目

本文 1993 年 3 月 1 日收到,修改稿 1993 年 4 月 12 日收到

未经  $\gamma$  辐照的参照样品在液氮温度光照前后的部分 EPR 谱分别如图 1(a), (b) 所示; 图 1(a) 中的  $x_1, x_2, x_4$  三线即 GaAs 中四线谱在高场区的三条谱线 (另一低场线未画出), 而  $x_3$  为  $g = 2.07$ , 峰峰线宽  $\Delta H_{pp} = 1.7 \times 10^{-2} T$  的 Si 谱线<sup>[8]</sup>,  $x_2$  线还有待于进一步识别. 光照后四线谱及  $g = 2.07$  的硅线均为光淬灭, 但同时由光激发产生一条  $g = 1.997$ ,  $\Delta H_{pp} = 1.2 \times 10^{-2} T$  的  $Cr^{4+}$  谱线<sup>[9]</sup>, 如图 1(b) 所示.

经能量 1.25 MeV, 剂量  $3.7 \times 10^7 Gy$  的  $\gamma$  射线辐照后的一块样品, 在上述相同实验条件下, 光照前后所观察的部分 EPR 谱如图 2(a), (b) 所示. 把它同图 1 相对照, 不难发现:  $\gamma$  辐照不仅改变了  $g = 2.07$  的硅谱线的光淬灭特性, 且经  $\gamma$  辐照后还产生了一条各向同性的位于四线谱的第三谐振峰 ( $x_2$ ) 附近  $g = 2.08$ , 峰峰线宽约  $3 \times 10^{-2} T$  的新谱线, 且无光淬灭特性.

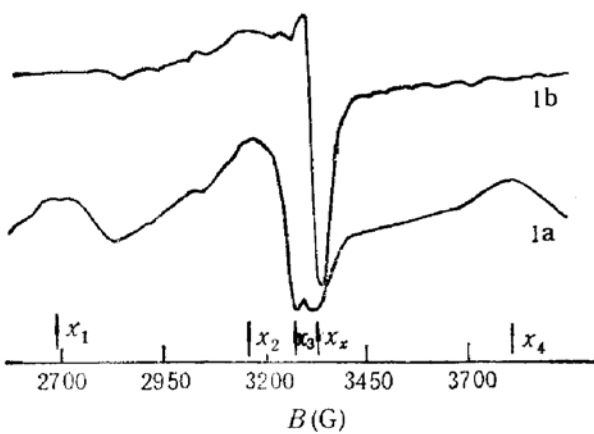


图 1 未经  $\gamma$  辐照的 GaAs:Cr 光照前后的部分 EPR 谱

测试条件:  $T = 10.4 K, \nu = 9.55 GHz, \nu_m = 100 kHz$   
 $MA = 4 \times 10^{-3} T, G = 8 \times 10^4, S_p = 15 dB$

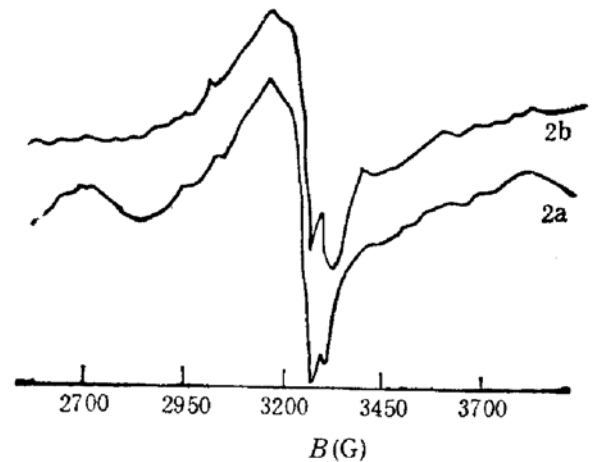


图 2 经  $\gamma$  辐照的 GaAs:Cr 光照前后的部分 EPR 谱

测试条件:  $T = 7.4 K, \nu = 9.55 GHz, \nu_m = 100 kHz$   
 $MA = 4 \times 10^{-3} T, G = 8 \times 10^4, S_p = 15 dB$

为判别上述  $\gamma$  辐照后所观察到的新谱线是否确仅由  $\gamma$  辐照引入, 是不同于电子辐照的本征缺陷, 我们还同时作了电子辐照的对比实验, 结果表明经能量 1.0 MeV, 剂量  $10^{18} e^-/cm^2$  的电子辐照仅使其四线谱强度及光淬灭特性有所变化, 未观察到类似于  $\gamma$  辐照后引入的单根 EPR 谱线, 所得结果与文献[6]报道的结果相符, 而相应中子辐照结果表明<sup>[9]</sup>: 中照可抑制  $Cr^{4+}$  的 EPR 信号, 但对  $Cr^{2+}$  的 EPR 信号基本无影响. 故可确认  $g = 2.08$ , 峰峰线宽  $3 \times 10^{-2} T$  的新谱线是由  $\gamma$  辐照引入的.

根据上述新产生谱线的  $g$  因子值及线宽与文献上已发表的 GaAs 中 EPR 谱比较<sup>[10]</sup>, 我们初步认为该谱来源于  $V_{As}$ . 本实验表明,  $\gamma$  辐照与中子、电子辐照所产生的 EPR 谱有很大的不同; 中照及电照通常产生的是四线谱, 而  $\gamma$  辐照则产生的单线谱, 这说明两种不同的辐照在 GaAs:Cr 中产生的本征缺陷是不同的.

## 参 考 文 献

- [1] N. K. Goswami, R. C. Newman, and J. E. Whitehouse, *Solid State Commun.*, 1981, **40**: 473.
- [2] R. B. Beall, R. C. Newman, *et al.*, *J. Phys.*, 1984, **C17**: 2653.
- [3] H. J. von Bardeleben and J. C. Bourgoin, *J. Appl. Phys.*, 1985, **58**: 1041.
- [4] J. Schneider and U. Kaufmann, *Solid State Commun.*, 1982, **44**: 285.

- [5] J. Wosik, M. Palczewska, *et al.*, Acta Phys. Pol., 1986, **A69**: 431  
[6] F. C. Rong, W. R. Buchwald, *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1991, **59**: 2281  
[7] J. Shirafuji, K. Shirakawa, *et al.*, Jap. Appl. Phys., 1986, **25**: 2634.  
[8] S. Haraldson, *et al.*, J. Phys. Chem. Solid, 1969, **30**: 2419.  
[9] 毛晋昌,傅济时等,半导体学报,1991,12: 125.  
[10] J. C. Bourgoin and H. J. von Bardeleben, J. Appl. Phys., 1988, **64**: R65.

## EPR Study of Gamma-Ray Irradiated Semi-Insulated GaAs:Cr

Fu Jishi, Zhu Meidong, Mao Jinchang, Wu En, Qin Guogang

(Department of Physics, Peking University Beijing 100871)

Wei Genshuan, Zhang Yuhua

(Department of Technical Physics, Peking University Beijing 100871)

Wang Yonghong and Ma Bichun

(Beijing General Research Institute of Non-Ferrous Metals Beijing 100088)

**Abstract** The EPR study of gamma-ray irradiated SI GaAs:Cr is reported. The experimental results show that gamma irradiations not only change the photo-quenching behavior of Si line but also induce a new spectrum of  $g = 2.08$  and linewidth  $3 \times 10^{-2}T$ . The new spectrum is isotropic and has no photo-quenching behavior. Our preliminary Study Shows that the new spectrum may be related to the  $V_{As}$ .

**PACC:** 6180E, 7630M, 6170A