

非晶硅太阳电池的正向注入电流 检测磁共振研究*

傅济时 吴恩毛晋昌

北京大学物理系,北京 100871

朱美栋

北京大学无线电系,北京 100871

廖显伯

中国科学院半导体研究所, 北京 100083

(1993年5月10日收到)

本文首次报道 $p^+ - i - n^+$ a-Si : H 太阳电池的注入电流检测磁共振研究。实验研究了该自旋有关的注入电流效应与正向注入电流、辐照光强以及光电压检测磁共振(PDMR)的关系。结果表明该效应有比 PDMR 更高的灵敏度, 可用于非晶及晶体势垒器件的例行检测。

PACC: 0758, 6116N, 7670H

1. 引言

近年来随着大面积、高效率的氢化非晶硅(a-Si : H)太阳电池研制工作取得的巨大进展, 这种类型的电池已作为一种有效的能源器件投入了实际应用^[1]。但由于 a-Si : H 材料的光生亚稳缺陷, 电池的转换效率随光照时间的增加而有所下降。为解决这一问题, 进一步提高电池的性能, 对 a-Si : H 材料及其光生亚稳缺陷进行了广泛的研究^[2], 除发光及光电导测量外, 电子顺磁共振(EPR)是研究材料中顺磁缺陷的一种非常重要的工具。但对薄膜半导体, 由于样品中的总自旋量往往低于一般 EPR 所能测量的最低值, 所以传统的 EPR 测量是无法观察到信号的。近年发展了一些综合的磁共振技术, 例如自旋有关的光电导检测(SDPC)^[3]、光检测磁共振(ODMR)^[4]及光电压检测磁共振(PDMR)^[5]等。这些综合的磁共振检测既不是传统的 EPR 所进行的与载流子复合过程无关的测量, 也不是通常的光电导、光致发光或光生电压的测量, 而是利用磁共振跃迁时载流子复合率的变化所导致的光电导、光发光或光电压相应产生的变化, 从而把传统的磁共振技术与光电导、光发光或光电压测量相结合。这些综合技术均有较高的灵敏度, 可直接用于薄膜半导体的研究。上述综合技术, 其共同点在于研究的是自旋有关的光生载流子复合过程, 对 a-Si : H 材料而言, 该过程不仅与材料本身特性有关, 还与辐照光强、光照历史有关。而其主要差别则在于 ODMR 情况人们需考虑辐射复合及非辐射复合且仅对辐射复合敏感, 而在 SDPC 及 PDMR 情况则对上述二类复合均很灵敏。此外 ODMR 通常在液氦温区测量, 所需设备及技术较为复杂, 而 SDPC, PDMR 则可在室温下测量。本文则首次报道在 a-Si : H 太阳电池中 PDMR 测量基础上所发展的注入电流检测的磁共振技术, 与上述综合技术不同,

* 国家自然科学基金资助项目。

它可在无光照时工作,测量结果主要反映了材料本身的特性。本文详细报道了在 $p^+ - i - n^+$ a-Si : H 太阳电池中的自旋有关的注入电流效应的研究,即该效应与正向注入电流、辐照光强以及 PDMR 的关系。

2. 实验

实验所用 $p^+ - i - n^+$ 非晶硅太阳电池结构及其实验检测电路如图 1 所示。实验测试样品与 PDMR 的相同;均是从大块非晶硅太阳电池切割下来,尺寸为 $3 \times 5\text{mm}^2$ 。样品粘于直径 3mm 石英管一端,样品被插入微波腔中心,所有连线则从石英管中引出腔外。测试仪器是工作于 X 波段的 Bruker ER-200 波谱仪。在无光照正向注入电流时,太阳电池 PIN 结上电压降经自制增益为 10 的低噪声前置放大器嵌入波谱仪的锁定放大器,测量在室温下进行。测试条件是:调制频率 100kHz, 微波功率 200mW、微波频率 9.56GHz、调制宽度 $5 - 10 \times 10^{-4}\text{T}$, 扫场通过共振区时,由于磁共振饱和所致注入电流的变化就可通过波谱仪检测出来。

3. 结果及讨论

典型的正向注入电流所检测的 a-Si : H 太阳电池的磁共振谱如图 2 插图所示,其 g 因子为 2.0055、线宽 $6 \times 10^{-4}\text{T}$, 与 a-Si : H 的 EPR 谱及 PDMR 检测的磁共振谱完全相同; 来自于太阳电池本征非晶硅层的顺磁性的硅悬挂键。该共振信号强度与 PIN 结上电压降及正向注入电流的关系则如图 2 所示。如在正向注入电流的同时再用 6328Å 的氦氖激光照射样品,则入射光强对信号的影响如图 3 所示,最大信号所相应的入射光强为

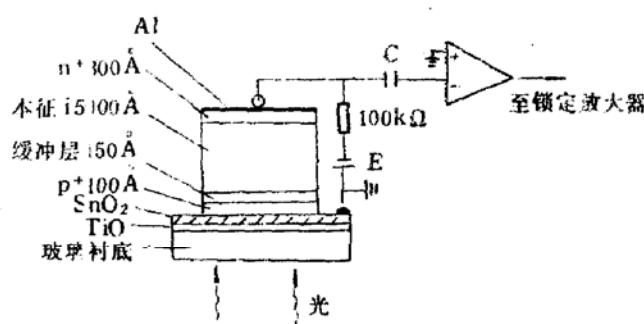


图 1 太阳电池结构及实验检测电路

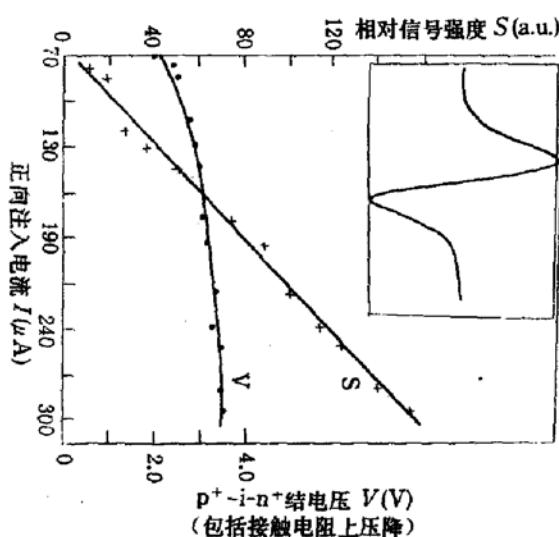


图 2 注入电流检测磁共振信号强度与注入电流的关系。测试条件: $P_{mw} = 200\text{mW}$, $m_F = 100\text{kHz}$, $MA = 10\text{G}$, $K = 2 \times 10^4$, $t = 200\text{ms}$, $T = 300\text{K}$ 无光照插图为典型的注入电流检测的磁共振谱

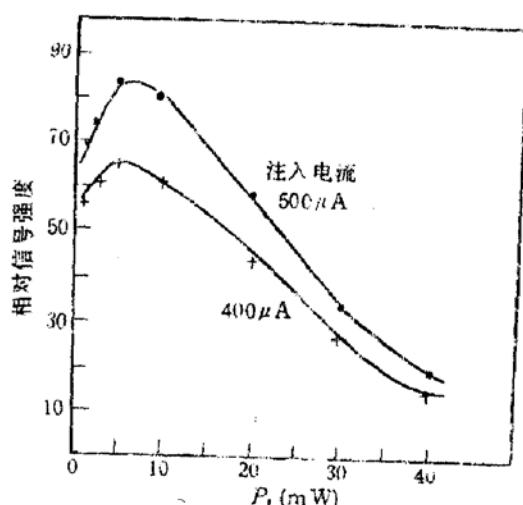


图 3 注入电流检测磁共振信号与入射光强的关系。测试条件同图 2, 其中分别给出了注入电流 $400\mu\text{A}$ 及 $500\mu\text{A}$ 的测试结果

5mW/cm², 该值同 PDMR 检测信号所相应的最佳光强相近^[6]. 而在同样光照条件下, 正向注入电流检测的信号强度及 PDMR 检测的信号强度与光照时间的关系则如图 4 所示. 随光照时间的增长, 太阳电池中光生亚稳缺陷的增多, 二信号强度近于线性地同时增大, 只是正向注入电流检测磁共振有比 PDMR 更高的灵敏度. 对不同的样品在最佳条件下正向注入电流检测磁共振的信号约为 PDMR 信号的 2—7 倍, 而正向注入电流检测的信号与样品温度、微波功率的关系也与 PDMR 相同^[7].

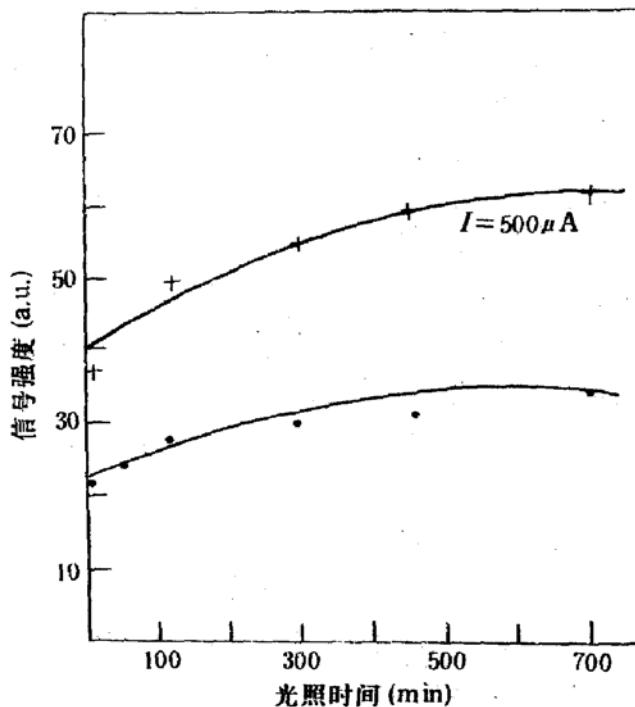


图 4 注入电流检测磁共振信号(+)表示)及 PDMR 信号强度(•表示)随光照时间的变化. 测试条件同图 2,
入射光强 40mW, $\lambda=6328\text{\AA}$

从上述实验结果及已知的 PDMR 结果易知, 上述正向注入电流检测的磁共振信号表明: 硅悬挂键对光生载流子及非光生的载流子均是一有效的复合中心, 室温下检测的是一种所谓猝灭共振^[7], 即磁共振导致注入电流的减小, 该信号在一定条件下直接同缺陷密度有关^[6], 不仅可用于非晶硅太阳电池本征层材料的研究, 也可用于其光生亚稳缺陷的研究以及作为一种太阳电池等势垒器件的日常例行检查手段.

参 考 文 献

- [1] M. Hack and M. Shur, *J. Appl. Phys.*, **59**, 2222(1986).
- [2] M. Stutzmann, W. B. Jackson and C. C. Tsai, *Phys. Rev.*, **B32**, 23(1985).
- [3] H. Dersch, L. Schweitzer, and J. Stuke, *Phys. Rev.*, **B28**, 4678(1983).
- [4] R. A. Street, *Phys. Rev.*, **B26**, 3588(1982).
- [5] K. P. Homewood, B. C. Cavenett, W. E. Spear and P. G. Le Comber, *J. Phys. C16*, L427(1983).
- [6] 傅济时等, 待发表.
- [7] K. P. Homewood, B. C. Cavenett and C. Von Berkel, A. I. P. Conference proceedings series 76, 48(1984).

Forward Injected Current Detection of Magnetic Resonance in a-Si : H Solar Cell

Fu Jishi, Wu En and Mao Jinchang

Dept. of physics, Peking University, Beijing 100871

Zhu Meidong

Dept. of Radioelectronics, Peking University, 100871

Liao Xianbo

Institute of Semiconductors, Academic Sinica, Beijing 100083

(Received 10 May 1993)

Abstract

An investigation of Spin-dependent recombination process in p⁺-i-n⁺ a-Si : H Solar cell by forward injected current detection of Magnetic resonance is reported, for the first time. The effects of injected current, illumination on magnetic resonance signal intensity detected by injected current were studied. The results show that the sensitivity of injected current detection of magnetic resonance is higher than PDMR and this method is suitable for routine assessment for both amorphous and crystalline photovoltaic junction and barrier devices.

PACC: 0758, 6116N, 7670H