

非晶硅 X-射线探测阵列的研究

郑怀德 廖显伯 孔光临 刁宏伟
万旭东 夏传钺 潘广勤 肖 君

(中国科学院半导体研究所 传感技术国家重点开放实验室 北京 100083)

摘要 研制出 a-Si:H pin 型 X-射线间接探测线阵,它探测的是 X-射线在闪光体(CsI)所激发的荧光,制备出单元面积分别为 $2.5 \times 2.5 \text{mm}^2$ 、 $1.6 \times 1.6 \text{mm}^2$ 和 $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ 的 16、25、320 单元的线阵.器件的暗电流达到 $1.0 \times 10^{-12} \text{A/mm}^2$ (-10mV),光灵敏度 $\sim 0.35 \mu\text{A}/\mu\text{W}$ (600nm). 本文报道了 X-射线探测阵列的制备及测试结果.

PACC: 7230, 7230G

1 引言

近年来,X-射线的实时探测在国防、工业、医疗等方面得到了广泛的应用.例如,工业探伤、安全检查、层析 X-射线扫描及 X-射线自动照相系统等等^[1,2].采用光电特性良好的非晶硅材料研制 a-Si:H X-射线传感器的工作在国际上开展得很多. a-Si:H X-射线传感器较之单晶硅 X-射线传感器具有很高的光电灵敏度.在较低温度下生长,可实现大面积的线阵及面阵等优点.

探测的方法可以是直接地吸收 X-射线,以收集由 X-射线在 a-Si:H 中激发的自由电子-空穴对,这种直接探测器要求 a-Si:H 具有 $20 \mu\text{m}$ 以上的厚度.另一种是 X-射线的间接探测法, a-Si:H 探测器所探测的是由 X-射线在闪光体(如 ZnS、CsI)上所激发的荧光.这种间接探测器所要求的 a-Si:H pin 结构的本征层的厚度只需要 $0.5-1.0 \mu\text{m}$ 左右^[3]. a-Si:H X-射线传感器可分为光导型和光生伏特型两种,我们研制了 a-Si:H pin 光生伏特型间接 X-射线探测器.它的主要特点是响应速度快.

a-Si:H pin 型 X-射线间接探测器与 a-Si:H pin 太阳电池尽管同是光伏器件,结构相似,但由于两者用途不同,因而在结构设计和工艺上是有一定差别的^[4].探测器是与被测波长的光谱相一致.对 X-射线,经过 CsI(Tl)的光波长范围是 $500-600 \text{nm}$.而太阳电池是要求整个可见光谱范围(即 $400-800 \text{nm}$)响应.同时,探测器要求有尽可能低的暗电流,以获

郑怀德 女,1942年生,高级工程师,从事非晶硅研究

廖显伯 男,1940年生,研究员,从事非晶硅研究

孔光临 女,1933年生,研究员,从事非晶硅研究

1993年12月20日收到初稿,1994年2月25日收到修改稿

得最佳的光谱响应度 R_λ 和光谱探测灵敏度 D^* 。

本文报道我们研制的 a-Si:H pin 型 X-射线间接探测器的结构、制备工艺以及测试结果。

2 器件的结构及制备

a-Si:H X-射线传感器的器件结构如图 1 所示。器件每个单元都具有如下结构：

CsI(T1)/玻璃/ITO/a-Si:H pin/Al-Si(1 atm. %)

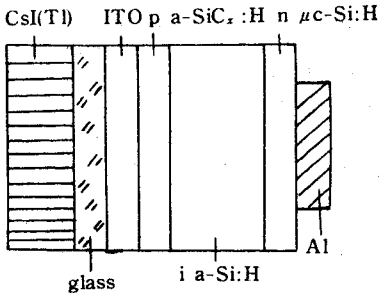


图 1 a-Si:H X-射线探测阵列结构示意图

ITO 层是用反应溅射法淀积到 Corning 7059 玻璃衬底上的，厚度为 150nm。P 层采用宽带隙的 a-SiC_x:H 合金层，其厚度约为 20nm，n 层采用高电导 n μc-Si:H 或宽带隙的 a-SiC_x:H 层，厚度约为 30nm。本征层厚度约 0.8—1.0 μm，因为非晶硅对 X-射线的吸收系数较小。在玻璃的前面耦合上 CsI(T1)，其厚度为 2mm。Al 是用磁控溅射法制备的。a-Si:H X-射线传感器线阵总长为 40.3mm。ITO 光刻成为 2.5×2.5mm²，间隔为 20 μm 的底电极，共 16 个单元。a-Si:H 采用等离子刻蚀成 2.6×40.3mm² 的条。Al 光刻成 2.5×40.3mm² 的公共电极作

为顶电极。同样制备出 25 单元和 320 单元的线阵。

a-Si:H 膜是在一套三室等离子增强化学气相淀积(PECVD)系统中生长的。

3 测试结果和讨论

当高速 X 射线光子射到闪光体上，如 CsI(t1), CsI(Na), ZnS 等，晶体的原子处于激发态，电子从价带跃迁到导带，产生电子-空穴对。当这些电子-空穴对在晶体中复合时发出荧光，荧光光子的数量为：

$$r = \beta E_x / W_1$$

其中， E_x 是 X-射线光子的能量； W_1 是形成一个电子-空穴对所需要的能量； β 为荧光转换率。

不同的闪光体将发出不同波长范围的光，CsI(T1)发出的光是在 500—600nm 的波长范围。我们测量 a-Si:H 传感器的光谱响应如图 2 所示，其峰值正在 500—600nm。所以，用 CsI(T1)耦合的 a-Si:H X-射线传感器，可以得到的光谱响应度 R_λ 为 0.35 μA/μW(600nm)。

图 3 表示了 a-Si:H 传感器的光电流输出特性。显然，随着 X-射线强度的增加，器件的光电流呈线性增加。

我们研究了 p 层 a-SiC_x:H 的带宽 E_g 对 a-Si:H 传感器的光谱探测灵敏度 ($\lambda=600\text{nm}$) 的影响。

光学带隙 E_g 是由透过率分布，从 Tauc 曲线推出来的。p 层的带隙的变化范围为 1.9—2.2eV。测量暗电导和光学带隙的关系得到图 4，由此可见，随着光学带隙的增大，材料暗电

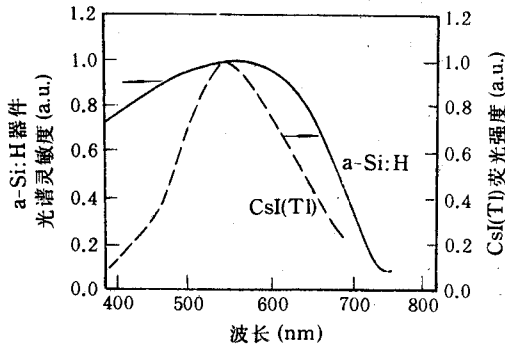


图 2 a-Si:H 器件的光谱响应和 CsI(Tl) 的荧光谱

导减小. 我们测试了器件的 $I-V$ 特性, 如图 5 所示. 从图中可以看出, 暗电流为 10^{-12} A 量级 (-10 mV), 光电流和暗电流之比为 10^5 量级. 实验结果表明, 传感器的光探测度 (即信噪比) D^* 随 p 层带宽的增加而增加. 这是由于宽带隙的 p 层减小了对 600 nm 光的吸收, 同时也是因为它作为阻挡层, 有效地抑制来自 ITO 电极的空穴的注入, 从而抑制了暗电流.

我们还比较了 n a-SiC_x:H 层的 n μ C-Si:H 层的结果. 发现采用 n a-SiC_x:H 层具有抑制传感器暗电流的作用, 特别是置于反向偏压时, 使暗流易趋于饱和.

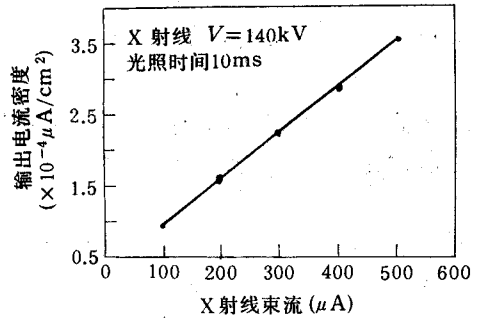


图 3 a-Si:H 传感器的光电流输出特性

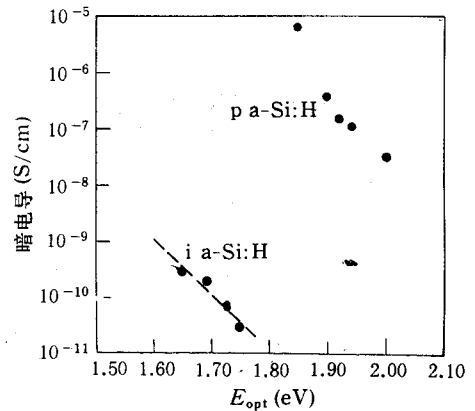


图 4 暗电导和光学带隙的关系

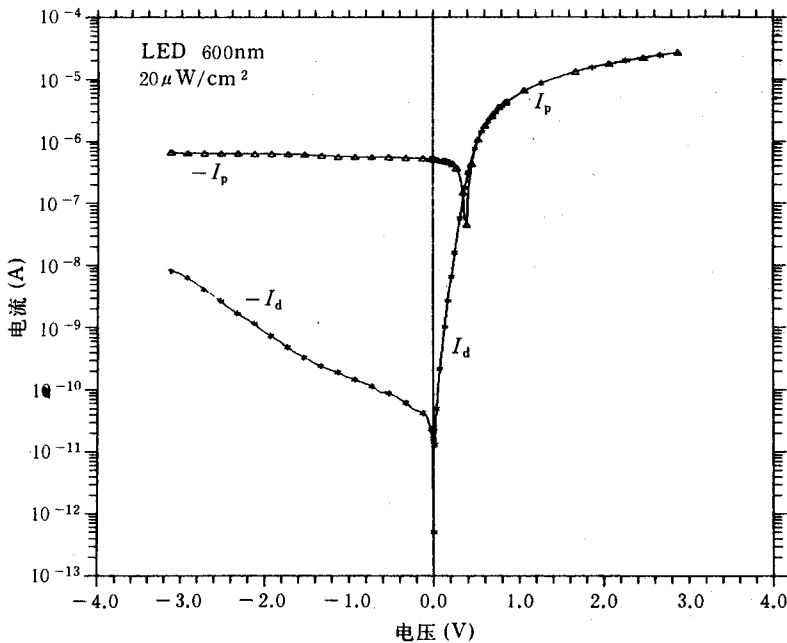


图 5 a-Si:H 器件的 $I-V$ 特性

在这些实验的基础上,我们研制了a-Si:H X-射线传感器的线阵,其暗电流为 1×10^{-12} A,光灵敏度优于 $0.35 \mu\text{A}/\mu\text{W}$ ($\lambda=600\text{nm}$),可用于X-射线扫描检查仪器上.

致谢 光刻、刻蚀工艺由周帆实验师和程美乔高级工程师完成,压焊、封装由高级工程师王森完成,在此表示衷心地感谢.

参 考 文 献

- [1] R. A. Street, MRS Bull., 1992, 17(11): 70.
- [2] R. Miyagawa *et al.*, J. Non-Cryst. Solids, 1991, 137&138: 1317.
- [3] V. Perezmendez *et al.*, J. Non-cryst. Solids 1991, 137&138: 1291.
- [4] 齐丕智,光敏感器件及其应用,北京:科学出版社(1987).

Investigation of Amorphous Silicon X-Ray Linear Detector Array

Zheng Huaide, Liao Xianbo, Kong Guanglin, Diao Hongwei,
Wan Xudong, Xia Chuanyue, Pan Guangqin and Xiao Jun

(Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences,
National Laboratory of Transducer Technology, Beijing 100083)

Received 20 December 1993, revised manuscript received 25 February 1994

Abstract An a-Si:H pin type linear array for detecting X-ray with real time has been developed. This array is combined with a phosphor scintillation layer(CsI) used to absorbed X-ray and the excited light from the scintillator is detected by array. Several arrays with different dimensions have been fabricated. This array consists of 16, 25 and 320 elements with an overall length of 40mm, and each element has dimensions of $2.5\text{mm} \times 2.5\text{mm}$, $1.6\text{mm} \times 1.6\text{mm}$ and $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$, respectively. The dark current density is about $1.0 \times 10^{-12}\text{A}/\text{mm}^2$ (-10mV), and the spectral sensitivity is about $0.35\mu\text{A}/\mu\text{W}$ (600nm). The main fabrication technology and some basic characteristics of the detector array have been described.

EEACC: 7230, 7230G