

文章编号: 1000-7032(2010)03-0369-04

# 条形叉指 n 阱和 p 衬底结的硅 LED 设计及分析

杨广华<sup>1,2</sup>, 毛陆虹<sup>1</sup>, 黄春红<sup>2</sup>, 王伟<sup>3</sup>, 郭维廉<sup>1</sup>

(1. 天津大学 电子信息工程学院, 天津 300072;

2. 天津工业大学 信息与通信工程学院, 天津 300161; 3. 中国科学院 半导体所, 北京 100083)

**摘要:** 采用  $0.35\ \mu\text{m}$  双栅标准 CMOS 工艺最新设计和制备了叉指型 Si LED 发光器件。器件结构采用 n 阱和 p 衬底结, n 阱为叉指结构, 嵌入到 p 衬底中而结合成 Si pn 结 LED。观察了 Si LED 发光显微图形及实际器件的版图, 并在对器件进行了正、反向  $I$ - $V$  特性测试、光功率及光谱特性的测量。Si LED 的正向偏置时开启电压为  $0.9\ \text{V}$ , 反向偏置时在  $15\ \text{V}$  左右可观察到发光。器件在室温下反向偏置时,  $10\ \text{V}$ ,  $100\ \text{mA}$  电流下所得输出光功率为  $12.6\ \text{nW}$ , 发光峰值在  $758\ \text{nm}$  处。

**关键词:** 硅; 发光器件; 标准 CMOS 工艺

中图分类号: O482.31; TN383.1

PACS: 78.60.Fi

PACC: 7860F

文献标识码: A

## 1 引言

目前, 集成电路多采用电互连方式。然而, 根据摩尔定律和按比例缩小定律, 半导体器件的集成度和速度不断提高, 而电互连线的传输速度并不能得到相应提高, 所以电互连延迟将会成为制约系统整体性能的主要瓶颈。采用电子工程的方法, 诸如铜互连、低  $K$  介质互连、高温超导线互连、三维互连、多层导线、补偿导线、多级采样、放置转发放大器的方法, 可以在一定程度上解决电互连的延迟问题<sup>[1,2]</sup>。但是, 这些方法无法解决电磁干扰、电压隔离、时钟分配不精确等问题, 并且增加了互连功耗、面积、复杂度, 使互连成本增加, 不能从根本上解决电互连遇到的问题。光互连是从根本上解决互连问题的方法之一<sup>[3,4]</sup>。

以 Si 材料成本低廉的特性, 和目前所具有的发展成熟的超大规模集成电路制备技术, 使得 Si 基光电集成电路 (OEIC) 成为当今研究的热点<sup>[5-8]</sup>。如果在硅片上可能集成光发射和光接收的光电器件, 就可以形成 OEIC。此项技术有助于使时钟信号以光速在芯片上传输, 从而可以解决时钟与数据线间的电磁干扰, 以及提高传输速度解决时钟歪斜等问题, 全硅光互连将会在大规模

系统芯片 SOC 中有用武之地<sup>[9,10]</sup>。

采用新加坡特许半导体制造有限公司的  $0.35\ \mu\text{m}$  双栅标准 CMOS 工艺, 研制出了叉指形状的 n 阱 (n-well) 和 p 衬底 (p-sub) 结的 Si LED 发光器件, 并测量器件的电学和光学性能。有关采用此项工艺制备的这种结构的硅发光器件还未有报道。

## 2 器件设计及制备

在设计过程中, 根据器件的特性设计出了如

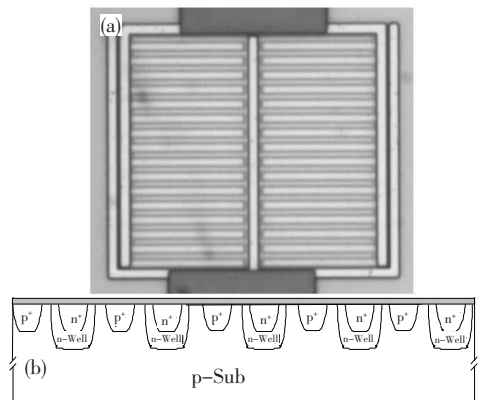


图1 条形叉指结构 Si-LED 芯片 (a) 实际制备照片; (b) 剖面示意图。

Fig. 1 The fork type of Si LED, (a) fabricated chip picture; (b) section sketch map.

收稿日期: 2009-06-25; 修订日期: 2009-08-24

基金项目: 国家自然科学基金 (60536030, 60676038); 天津市基础研究重点项目 (06YFJZJC00200, 08JCZDJC24100) 资助项目

作者简介: 杨广华 (1973-), 男, 河北承德人, 博士研究生, 主要从事硅基光互连、GaN LED 和集成电路设计的研究。

E-mail: ygh1818@sina.com

图 1 所示的叉指形器件结构。这种器件采用 n-well 叉指嵌入 p-sub 中构成 pn 结的结构。设计目的是期望通过增加 pn 结的接触面积来提高器件表面发光强度。这种结构工作原理是,由于有较大面积的 pn 结接触区,因而器件发光亮度会增加;另外,由于设计的器件为叉指结构,电场分布较为均匀,器件亮度也比较均匀。所制备的器件面积约为  $40.2 \mu\text{m}^2$ 。

### 3 测试及分析

我们采用了以下测试设备对所研制的硅 LED 器件进行了电学和光学特性的测试:(1)探针台,用于光纤和发光器件的微调对准;(2)一根多模光纤,传输光信号;(3)光谱仪,用于光谱的测量;(4)半导体图示仪用于测试器件  $I$ - $V$  特性;(5)奥林巴斯 IC 显微镜用于取像。在测试芯片之前,需要对芯片进行压焊。

图 2 为设计版图流片后的 Si LED 器件的实际发光测试图。其中器件的 pn 结为 p 衬底和 n 阱结,在反向偏压超过 15 V 后器件产生击穿,发出可见光。该器件的  $I$ - $V$  特性如图 3 所示,其中图(a)为 pn 结正偏特性,开启电压约为 0.9 V,图(b)为 pn 结反向  $I$ - $V$  特性,击穿电压约为 15 V。

从实验结果来看,此发光器件开启电压较高,器件发光较为均匀。器件反偏工作电压较高,主要原因是由于在所使用的 CMOS 工艺中,n 阱和 p 衬底掺杂浓度较小所致。而器件的发光均匀正说明了叉指形版图设计能够有利于形成均匀电场,同设计时所期望的目标是一致的。由于器件工作电压很高,可以得出结论是发光产生的机理是雪崩击穿工作模式。该器件在中国计量院进行了进一步测量,在 10 V、100 mA 的情况下测得的输出

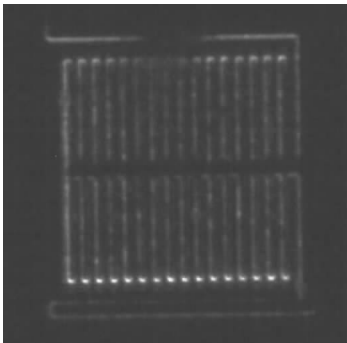


图 2 Si LED 芯片发光照片

Fig. 2 The Si LED's emitting light picture

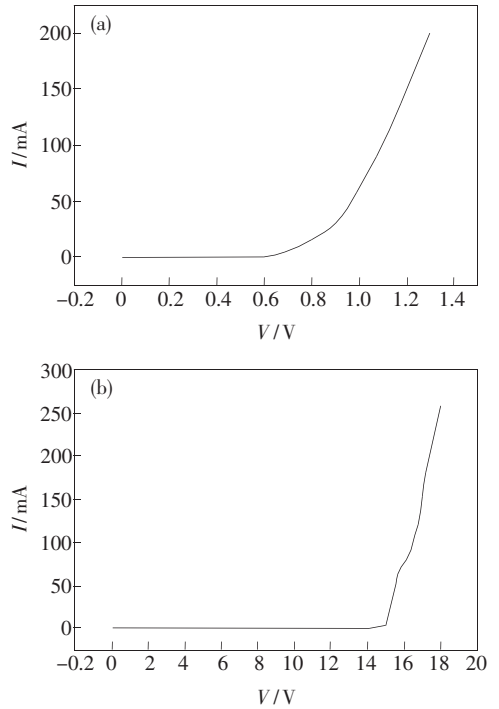


图 3 条形叉指 Si LED 的  $I$ - $V$  特性曲线,(a) 正向  $I$ - $V$  特性;(b) 反向  $I$ - $V$  特性。

Fig. 3 The forward (a) and backward (b)  $I$ - $V$  curve of the forked Si LED

光功率为 12.6 nW (即电-光转换效率为  $1.2 \times 10^{-8}$ ),光功率密度为  $0.3 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 。器件的发光光谱图如图 4 所示。

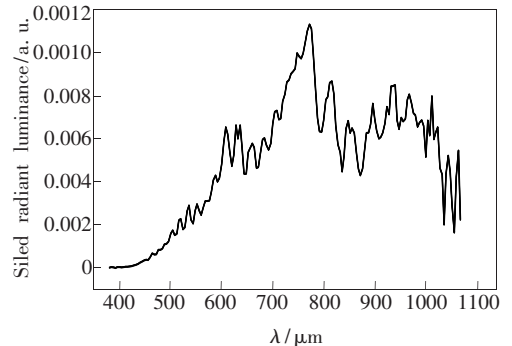


图 4 Si LED 器件的发光光谱图

Fig. 4 The emission spectrum of n-well and p-sub junction's Si LED

### 4 结 论

采用  $0.35 \mu\text{m}$  双栅标准 CMOS 工艺制备的条形叉指 n-wel 和 p-sub 结的硅发光器件,正偏开启电压为 0.9 V,反向雪崩击穿电压约为 15 V。所设计的 n 阱 p 衬底结 Si LED 器件在反向偏置时可产生光发射的现象,且光发射强度与

Si LED 中的电流成正比。10 V, 100 mA 下器件表面发光输出光功率为 12.6 nW。器件的正向偏置时开启电压及反向工作电压较高,主要原因在于 p 衬底和 n 阱的掺杂浓度较低。器件采

用了在 p 衬底中嵌入 n-well 的叉指结构,期望通过增加 pn 结的接触面积及均匀电场提高器件的发光,通过实验结果测试可以看到已达到了相应的设计目的。

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] Kobrinsky M J, Block B A, Zheng J, *et al.* On-chip optical interconnects [J]. *Intel. Technology Journal*, 2004, **8**(2): 129-142.
- [ 2 ] Newman R. Visible light from a silicon p-n junction [J]. *Phys. Rev.*, 1955, **100**(2):700-703.
- [ 3 ] Akil N, Kerns S E, Kerns D V, *et al.* A multi-mechanism model for photon generation by silicon junctions in avalanche breakdown [J]. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 1999, **46**(5):1022-1028.
- [ 4 ] Claps R, Raghunathan V, Dimitropoulos D, *et al.* Influence of nonlinear absorption on Raman amplification in silicon waveguides [J]. *Optics Express*, 2004, **12**(12):2774-2780.
- [ 5 ] Wu Keyue, Huang Weiqi, Xu Li. Preparation of porous SiGe and emission enhancement in near-infrared area [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2007, **28**(4):585-588 (in Chinese).
- [ 6 ] Li Hongliang, Zhai Jiang, Wan Yong, *et al.* Preparation of the oxidized porous silicon with stable surface composition and intense photoluminescence [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2008, **29**(6):1045-1049 (in Chinese).
- [ 7 ] Chen Qingyun, Duan Manyu, Zhou Haiping, *et al.* Photoluminescence of Si/SiN<sub>x</sub>/SiO<sub>2</sub> multilayers [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2008, **29**(3):363-370 (in Chinese).
- [ 8 ] Shen Jiwei, Guo Hengqun, Lu Peng, *et al.* Nonlinear properties of Si/SiN<sub>x</sub> superlattice [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2008, **29**(6):1045-1049 (in Chinese).
- [ 9 ] Dimitropoulos D, Jhaveri R, Claps R, *et al.* Lifetime of photo generated carriers in silicon-on-insulator rib waveguides [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2005, **86**(7):2745-2747.
- [ 10 ] Snyman L W, Aharoni H, Plessis M du, *et al.* Increased efficiency of silicon light emitting diodes in a standard 1.2 micron complementary metal oxide semiconductor technology [J]. *Opt. Eng.*, 1998, **37**(7):2133-2141.

## Design and Analysis of a Forked n-Well and p-Sub Junction Si LED Based on Standard CMOS Technology

YANG Guang-hua<sup>1,2</sup>, MAO Lu-hong<sup>1</sup>, HUANG Chun-hong<sup>2</sup>, WANG Wei<sup>3</sup>, GUO Wei-lian<sup>1</sup>

(1. Electronics and Information School, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Information and Communication Institute, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300160, China;

3. Institute of Semiconductors CAS, Beijing 100083, China)

**Abstract:** As the surprising development of fiber telecommunication and microelectronics technology, optoelectronic integrated circuit (OEIC) has become the focus of advanced research in the world recently. At present, there have been many new technologies that are applied to silicon-based light emission, such as porous silicon, nano crystals, SiGe, and so on, because Si material is low cost and the manufacture technology is mature. However, these techniques realize optical interconnection difficultly, which can not be compatible with the mature very large scale integrated circuits (VLSI) technology. One of the key works is to realize a practical light source to satisfy the requirement of optical interconnection. To obtain a Si LED (light-emitting diode) which can transmit optical signal in a chip, it was considered to improve the light intense and decrease cost by using new manufacture technology.

In this paper, a forked type of Si LED is designed and manufactured with Singapore Charter's 0.35  $\mu\text{m}$  double-grid standard CMOS technology. The device structure adopts n-well and p-sub junction, which n-well is a forked type and is embedded in p-sub. The idea of layout design is to achieve even light of Si LED, because the contact area of n-well and p-sub is large, and the electric field is symmetrical and uniform. At room temperature, the Si LED is reverse biased. The Si LED's emitting micrographs and real layouts are captured by an Olympus IC microscope, and the  $I$ - $V$  characteristics and emission spectra of Si LED are presented. With forward bias, the threshold voltage is 0.9 V. And the Si LED can emit an visible light when the reverse bias is 15 V. Its radiant intensity is 10 nW at 50 mA current and the emitting peak value is located at 758 nm. As it is known, Si is an indirect band gap material, the emission intense of Si LED would be low. But the emission of our Si LED can meet the detect requirement of Si detectors.

**Key words:** silicon; LED; standard CMOS technology

**CLC number:** O482.31; TN383.1

**PACS:** 78.60.Fi

**PACC:** 7860F

**Document code:** A

Received date: 2009-06-25

## 《发光学报》编委会召开在长编委会议

《发光学报》编委会于 2010 年 4 月 29 日,在长春召开了在长春的编委会议。会议由主编申德振研究员主持,名誉主编范希武研究员、信息中心主任刘文武、编辑部相关人员以及中国物理学会发光分会的相关人员参加了会议。申德振主编对编辑部工作人员的工作给予肯定,同时宣布了《发光学报》正式成为 EI 源期刊的消息,并向各位编委对《发光学报》的帮助和支持表示感谢。

会议听取了常务副主编张继森对《发光学报》近年来的工作,包括:稿源、来稿处理、刊登发表论文等情况;主要评价指标的统计数据;对外交流及被 EI 收录等情况所做的总结报告。报告全面概括了《发光学报》在编委会、所领导、信息中心主任的指导、帮助、支持下,学报所取得的成绩、今后的设想、发展方向和存在的问题,提出了今后工作的重点和努力方向。

与会的各位编委在讨论中,对《发光学报》所取得的成绩给予充分的肯定。对《发光学报》的今后工作提出了很多具体建设性的意见。特别就如何进一步加快出版速度、缩短出版周期、出版网络化等问题,给出了良好的建议和可行方案。编委们鼓励编辑部要在已取得的成绩基础上,进一步提高学术质量和出版质量,加强与广大作者和读者的联系。真正做到促进学科的发展和学术交流,发挥传播和纽带的作用。

编辑部的工作人员表示,今后在编委会的指导下,为完成编委会提出的各项目标和任务,进一步努力工作,使发光学会的学术刊物《发光学报》取得更大的成绩。

《发光学报》编辑部