

# 硅基 MIS 隧道二极管的研究\*

俞建华 孙承休 刘柯林 高中林

(东南大学电子工程系, 南京 210096)

王启明

a)(中国科学院半导体研究所, 集成光电子国家重点实验室, 北京 100083)

**摘要** 硅基 MIS 隧道发光二极管为制造用于超大规模集成电路的硅基发光器件提供了可能性. 报道了 MIS 隧道发光二极管(MISLET D)的制作过程、电流-电压和发射光谱特性, 讨论了负阻现象和发光机理.

**关键词** 发光, MIS 隧道二极管, 表面等离子体激元

## 1 引 言

集成光电子学领域迫切需要能用于超大规模集成电路的硅基发光器件. 近年来开始研究的硅基 MIS 隧道发光二极管(Metal Insulator Silicon Light Emitting Tunnel Diode, 简称 MISLET D)为这种应用提供了可能性<sup>[1~3]</sup>. MISLET D的研究是在 MIM 隧道发光二极管(Metal Insulator Metal Light Emitting Tunnel Diode, 简称 MIMLET D)的基础上发展起来的, MIMLET D的发光最早是由 Lambe 和 McCarthy 在1976年发现的<sup>[4]</sup>. 作为一种全固态、平面型、宽谱带发光器件, 特别是其工艺简单、能与微电子工艺兼容, 引起了许多学者的兴趣<sup>[5]</sup>.

MIMLET D 一般先在玻璃基片上利用真空镀膜技术蒸发一层铝(Al)膜, 之后在空气中自然氧化成一层三氧化二铝( $Al_2O_3$ )作为绝缘层, 再蒸上一层 Al 或过渡元素 Cu、Ag 或 Au 便形成器件. 但是铝膜和氧化铝层在焦耳热、高电场作用下稳定性较差, 容易使器件失效. 另外氧化铝的厚度不易控制, 器件发光特性的一致性较差. 以硅代替铝, 以二氧化硅代替三氧化二铝形成的 MISLET D 与 MIMLET D 相比, 器件性能的稳定性和重复性和可靠性方面均大为改善, 并且二氧化硅层的厚度易于控制, 与高度成熟的硅集成电路工艺完全兼容.

## 2 实 验

实验中采用的硅(Si)基片为体掺杂, 掺入的杂质为锑(Sb), 浓度为 $2.5 \times 10^{25} m^{-3}$ , 在晶向为 111 的抛光面上制作 MISLET D. 具体步骤为:

- (1) 硅片挑选及清洗.
- (2) 硅烷热分解法定积一层 $80nm$ 左右的  $SiO_2$ .
- (3) 在  $SiO_2$ 上光刻一个直径 $1 \sim 3mm$ 的小孔.

\* 国家自然科学基金, 集成光电子国家重点实验室基金资助课题

1998年5月30日收到

- (4) 在小孔处用干氧热氧化法生长一层薄 SiO<sub>2</sub>, 厚度  $d < 10\text{nm}$ .
- (5) 在薄 SiO<sub>2</sub>上蒸发一层50nm 左右的 Au 膜, 真空度 $10^{-3}\text{Pa}$  量级.
- (6) 在背面蒸上一层 Al, 形成欧姆接触.
- (7) 最后引出上、下电极, 便形成了如图1所示的 MISLETD.

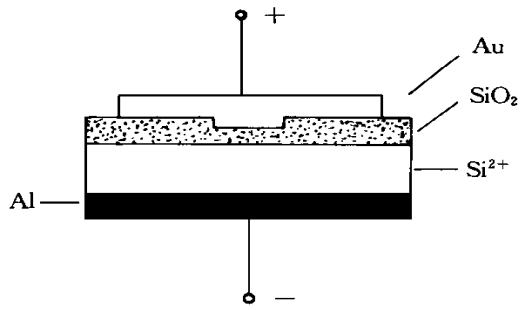


图1 MIS 的结构示意图  
Fig.1 The scheme of MIS.

### 3 测试结果及讨论

#### 3.1 电流-电压特性

样品置于室温大气中, 测量得到的  $I-V$  曲线如图2所示, 图中出现了负阻(Negative Differential Resistance, 简称 NDR) 现象, 实验中发现不同样品的 NDR 出现的电压的位置并不严格在一个点, 而是有一个小的范围. 这与附加电阻、测量过程较缓慢及样品温度有关. 分析表明, 与 MIMLETD 的 NDR 类似<sup>[6]</sup>, MISLETD 的 NDR 与各界面的表面等离子极化激元<sup>[7]</sup>(Surface Plasmon Polariton, 简称 SPP) 的产生及电子束缚于界面有关.

#### 3.2 发射光谱

在空气中测量到的 MISLETD 的发射光谱示于图3. 曲线包含了两个宽带可见光发射峰, 分别位于 $520 \sim 630\text{nm}$  和 $660 \sim 860\text{nm}$ . 主峰在 $610\text{nm}$  和 $740\text{nm}$  处, 另外出现了一个小峰, 位于 $475\text{nm}$ . 前两个宽带可见光辐射峰可以用 SPP 与粗糙度的耦合发光来解释<sup>[7]</sup>.  $475\text{nm}$  处的小峰起源于外电压在 Si 中靠近 SiO<sub>2</sub>界面的区域中激发起了等离子体振荡.

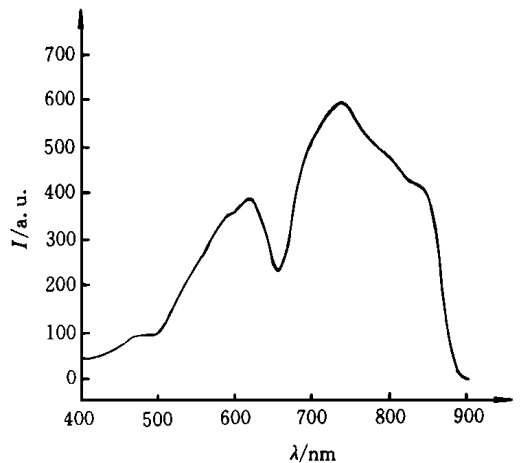
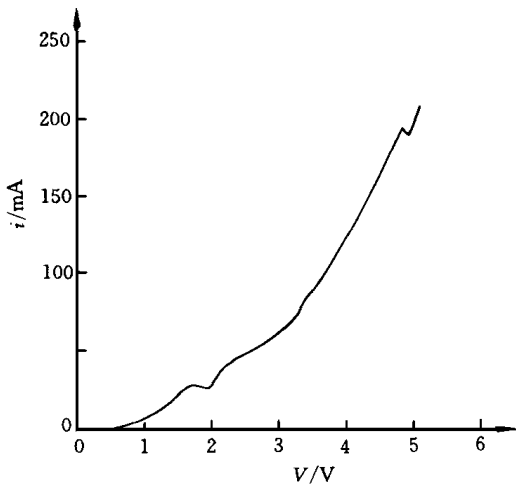


图2 MIS 隧道二极管的电流-电压特性曲线  
Fig.2  $I-V$  characteristic of MIS tunnel diode.

图3 MIS 隧道二极管的发射光谱  
Fig.3 Emitting spectra of MIS tunnel diode at  $6.80\text{V}$  and  $480\text{mA}$ .

## 4 结束语

MISLETD 作为一种有前途的适用于全硅集成的光源, 有望在集成光电子学的微光源、光开关、光耦合器等方面得到应用. 目前存在的主要问题是减少漏电流, 降低功耗和提高发光效率. 二氧化硅薄膜的厚度和致密性对器件性能的影响最大. 相信通过改善氧化层的质量、优化顶电极的厚度、加入功能层等途径, 可以得到较高亮度的硅基发光二极管.

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Watanabe J, Uchara Y, Murota J *et al*, Jpn. J. Appl. Phys., 1993, **32**(Part 1, No. 1A): 99.
- [ 2 ] Sun Chengxiu, Zheng Youwen, Gao Zhengli. Chinese Journal of Electronics, 1996, **5**(1): 44.
- [ 3 ] Cai Yimin, Sun Chengxiu, Gao Zhonglin. *Chin. J. Semicond.*, 1996, **17**(11): 817(in Chinese).
- [ 4 ] Lambe J, McCarthy S L. Phys. Rev. Lett., 1976, **37**: 923.
- [ 5 ] Szentirmay Z. Prog. Quant. Electr., 1991, **15**: 175.
- [ 6 ] Yu Jianhua, Sun Chengxiu, Wang Maoxiang *et al*, *Acta Physica Sinica*, 1998, **47**(2): 300(in Chinese).
- [ 7 ] Mills D L, Weber M, Laks B. Tunneling Spectroscopy, Edited by Hansma P K (Plenum, New York, 1982), p. 121.

# RESEARCH OF SILICON-BASED MIS TUNNEL DIODE

Yu Jianhua Sun Chengxiu Liu Kelin Gao Zhonglin

(*Department of Electronic Engineering, Southeast University, Nanjing 210096*)

Wang Qiming

(*Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences and  
National Integrated Optoelectronics Key Laboratory, Beijing 100083*)

## Abstract

Silicon-based MIS light emitting tunnel diode shows the possibility for making silicon-based light emitting devices that can be used in Very Large Scale Integrated (VLSI) circuits. In this paper, we report the fabrication technique, current-voltage ( $I-V$ ) characteristic and light emission spectra of MIS tunnel diode.

**Key words** light emission, MIS tunnel diode, surface plasmon