

LaFeO₃ 栅膜 FET 气体传感器的研究*

赵善麒 徐宝琨 赵慕愚† 彭作岩† 才 宏

(吉林大学电子工程系† 化学系 长春 130023)

邢 建 力

(机电部东北微电子研究所 沈阳 110032)

摘要 本文采用溶胶-凝胶技术制备 LaFeO₃ 纳米晶薄膜, 并摸索出该薄膜的光刻方法, 将这一成膜技术与集成电路平面工艺相结合, 首次研制出了纳米晶薄膜作为栅极的场效应晶体管气体传感器, 它对乙醇具有较高的灵敏度和良好的选择性。

EEACC: 0520, 2560S

1 引言

纳米晶材料是由粒径小于 100nm 的微晶颗粒聚集而成的块状或薄膜人工固体^[1], 它具有与传统材料极不相同的特殊性能^[2], 被视为二十一世纪最有发展前途的功能材料^[3], 有着广阔的应用前景。

用 ABO₃ 型固体材料制作乙醇气敏元件已有报道^[4-6], 但它们都属于旁热式电阻变化型的气敏元件, 其参数稳定性、一致性较差, 而且功耗较大。用 ABO₃ 型纳米晶薄膜作为 MOSFET 栅控制极的 FET 式乙醇敏感元件, 迄今尚未见报道。本文用溶胶-凝胶方法制备了 LaFeO₃ 纳米晶薄膜(Nanocrystalline film 缩写为 NCF), 并与集成电路平面工艺相结合, 首次研制出建立在 FET 上的 LaFeO₃ 纳米晶薄膜乙醇敏感元件——NCF-OSFET, 它是集气敏、加热、测温、检测为一体的一种先进的集成化气体传感器。

2 OSFET 衬底制备

在元件的结构设计上, 我们在一个单元中对称地设计了两种 FET 器件, 一种是用 LaFeO₃ 纳米晶薄膜作栅极的 NCF-OSFET, 作为气体敏感体; 另一种是用金属 Al 作栅极的 MOSFET, 用作参数检

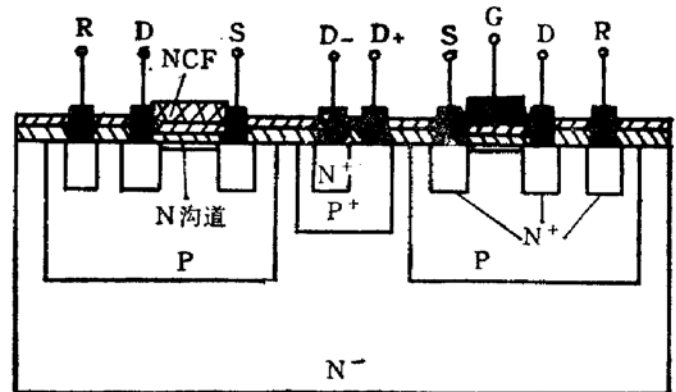


图 1 NCF-OSFET 气敏元件剖面结构示意图

* 高等学校博士学科点专项科研基金资助课题和集成光电子学国家重点联合实验室资助课题一部分
本文 1993 年 7 月 7 日收到, 修改稿 1993 年 9 月 28 日收到

测和比较,如图 1 所示。图中 R 是加热电阻,为检测在加热工作状态下硅片的温度,在两个 FET 之间设计了一个测温二极管。

OSFET 衬底的制备过程是:在电阻率为 $1-3\Omega\text{cm}$ 的 $\langle 100 \rangle$ N 型 Si 单晶片上,注入硼形成 P 阱区,在 P 阱内选择性注入高浓度的磷,形成 FET 的源区 (S 区) 和漏区 (D 区),再在 S、D 之间的栅区 (G 区) 注入少量的砷杂质,形成 N 型沟道,最后,在栅区上先后生长一层厚度为 50nm 的 SiO_2 和 75nm 的 Si_3N_4 , 形成了 OSFET 结构。为减小 SiO_2 中可动离子的数量,使器件能稳定工作,在氧化时,通入少量的三氯乙烯。

3 LaFeO_3 纳米晶薄膜的制备

选用分析纯的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 、 HNO_3 、柠檬酸、聚乙二醇 (PEG)、 La_2O_3 的纯度大于 99.9%。按一定化学计量比,用溶胶法可得到透明的胶体。

溶液配好后,用甩胶的方法将其涂到已制备好的 OSFET 衬底上。为使膜厚均匀和适中,匀胶机的转速一般控制在 $3000\sim 5000\text{rpm}$ 。液相膜的前烘温度为 $100\sim 120^\circ\text{C}$, 坚膜温度为 350°C 左右,恒温时间由溶液浓度和 PEG 含量决定。如果要增加薄膜的厚度,可重复上述过程,制备多层薄膜。为使薄膜形成一定图形,需先用 1450J 正性胶对 LaFeO_3 薄膜进行光刻,再用强酸腐蚀。最后,在 550°C 以上的温度下对薄膜进行烧结。

4 结果与讨论

图 2 是 LaFeO_3 薄膜的 X 光衍射图,样品在 550°C 已形成具有良好热稳定性的钙钛

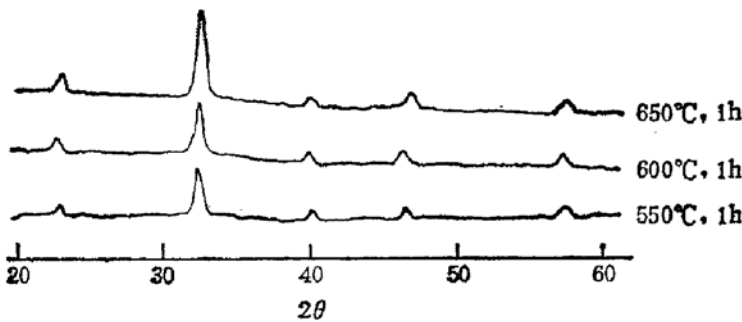


图 2 LaFeO_3 纳米晶薄膜 X 光衍射图谱

矿型单相 LaFeO_3 纳米晶薄膜 (经由 JCPDS 标准卡 15-148 确定)。根据 X 衍射谱中 (111) 峰半高宽度,利用 Scherrer 公式,计算得到薄膜的平均晶粒尺寸为 $40\sim 45\text{nm}$ 。

用室温下测量 NCF-OSFET 气敏元件,发现乙醇对该器件的漏电流 I_{DS} 有明显的影响,而其它气体,如汽油、异丁烷、 CO 、 H_2S , 即

即使在较高的浓度下 (2000ppm) 对 I_{DS} 也没有明显的影响,元件具有很好的选择性。图 3

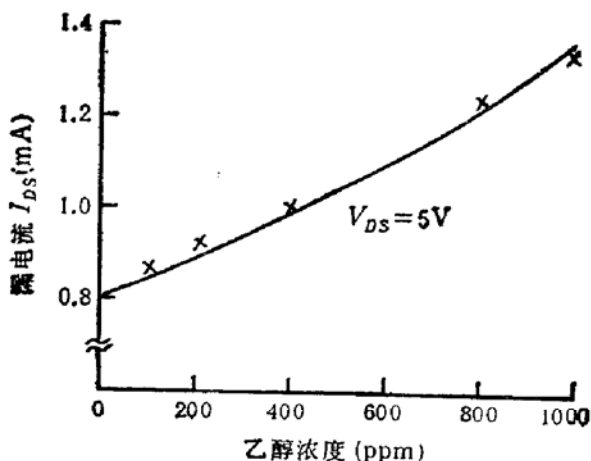


图 3 室温下 NCF-OSFET 的漏电流随乙醇浓度变化曲线

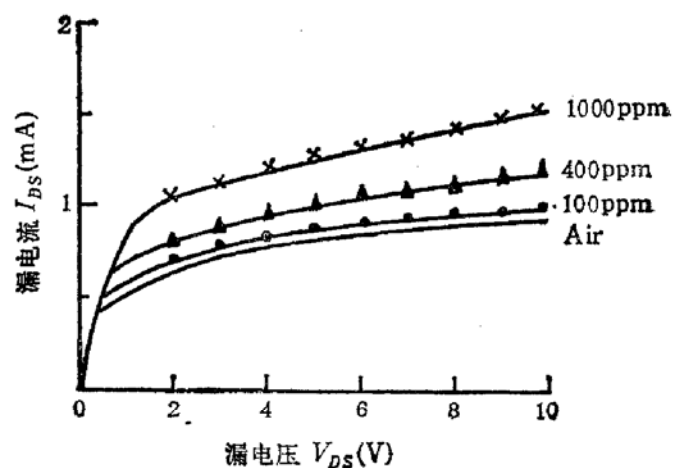


图 4 室温下 NCF-OSFET 的漏电流与漏电压的关系曲线

是 NCF-OSFET 在漏电压 V_{DS} 一定的条件下, I_{DS} 随乙醇浓度变化的曲线. 图 4 是元件在不同的乙醇浓度下, I_{DS} 与 V_{DS} 之间的关系曲线. 这两条曲线分别类似于 MOSFET 的转移特性曲线和输出特性曲线, 只是用乙醇浓度的变化来代替栅电压 V_G 的变化. 随着气体浓度的增大, 漏电流变大, 且灵敏度较高. NCF-OSFET 在室温下的响应时间为 10~20 秒, 恢复时间很长, 约为 20~30 分钟, 但在加热状态下, 恢复时间将明显缩短, 如在 80°C 温度下, 恢复时间约为 5~8 分钟. 若把吸附了乙醇的器件置于 1.3Pa 的真空系统中, 它能够迅速地恢复.

5 结论

用 LaFeO₃ 纳米晶薄膜作为栅控制极而研制出的 NCF-OSFET 气体传感器, 具有灵敏度高, 选择性好. 性能稳定和易于集成等优点, 是一种接近于实用水平的新型器件.

致谢 李熙博士, 孙良彦教授, 张东庄和李婉高级工程师, 对本实验工作提出了许多宝贵的意见, 在此表示感谢.

参 考 文 献

- [1] J. A. Cowen *et al.* J. Appl. Phys. 1987, **67**: 3317.
- [2] R. F. Andres *et al.* J. Mater. Res., 1989, **4**(3): 104.
- [3] T. Venkatesan. Thin Solid Films, 1992, **216**: 52.
- [4] H. Obayashi *et al.* J. Solid State Chem., 1976, **17**: 299.
- [5] 吴家琨等. 传感技术学报, 1986, No.1: 1.
- [6] 卢革宇等. 吉林大学自然科学学报, 1992, No. 2:78.

Study on a FET Gas Sensor Using LaFeO₃ Thin Film as a Gate Sensitive Film

Zhao Shanqi, Xu Baokun, +Zhao Muyu, +Peng Zuoyan, Cai Hong
(Department of Electronic Engineering, +Chemistry, Jilin University, Changchun 130023)

Xing Jianli
(Northeast Microelectronics Institute, Shenyang 110032)

Abstract The LaFeO₃ nanocrystalline films(NCF) were obtained by a sol-gel method, and the photoetching method for these films was found. Combining this thin film technology with planar technique of a integrated circuit, we have developed a NCF-OSFET gas sensor for the first time. This device not only has good sensitivity to ethanol, but also has excellent selectivity.

EEACC: 0520, 2560S

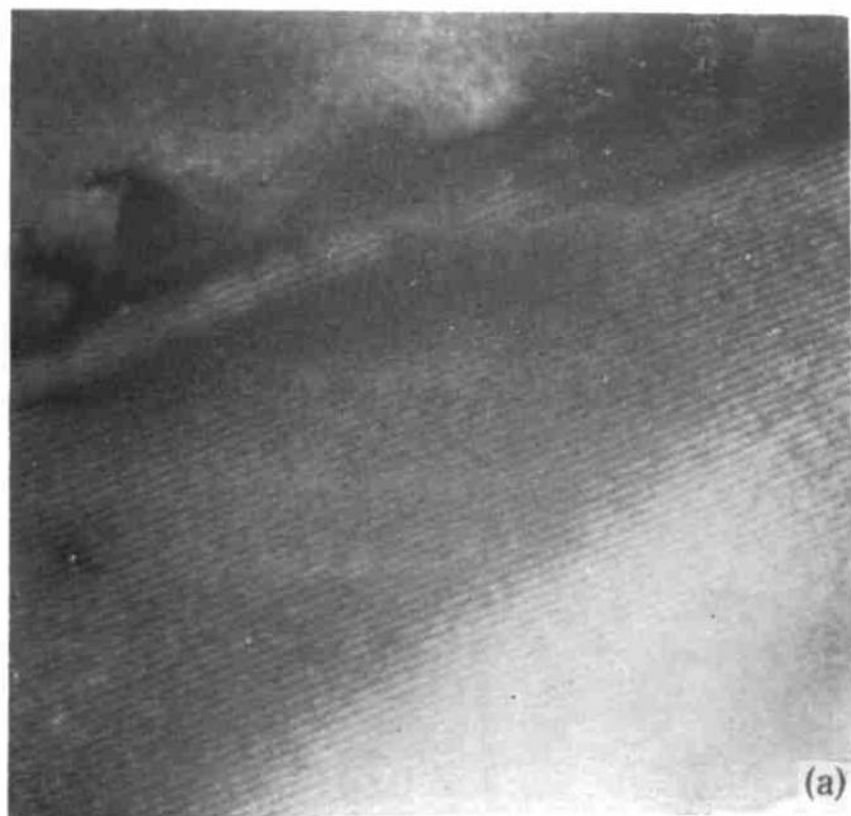


图 6 (a) InGaAs/GaAs 超晶格缓冲层与超晶格区的 TEM 像 ($\times 135k$)
(b) InGaAs/GaAs 超晶格覆盖层与超晶格区的 TEM 像 ($\times 135k$)