

一种新型结构的 LB 膜化学场效应晶体管的灵敏特性研究

顾长志

孙良彦 张彤 文珂*

(吉林大学原子与分子物理研究所 长春 130023)

(吉林大学电子科学系 长春 130023)

摘要 合成了新型的有机半导体 LB 膜气敏材料 (CoTDMAPP), 其 LB 多层膜控制在场效应晶体管上, 形成了具有 LB-OSFET 结构的化学场效应晶体管 (ChemFET), 该器件置于 NO_2 , NH_3 , CO 和 H_2S 等有害气体中, 结果表明在 NO_2 气氛中元件漏电流 I_{DS} 发生变化, 并可检测到 2ppm 的 NO_2 . 这种器件的气敏特性在于 FET 的电流放大作用及 LB 膜的有序性的影响.

EEACC: 1130, 7230, 2560R

1 引言

LB 膜是有机高分子材料高度有序排列的超薄膜, 由于膜内分子的有序排列, 使得它具有许多特异的性质^[1]. 近年来, 人们对于 LB 膜作为敏感功能膜表现出了极大的兴趣, 进行了广泛的研究^[2,3]. 但是, 由于许多用作气敏材料的有机半导体 LB 膜电导率很低, 因此, 精确地测量其电导随气体浓度的变化比较困难^[4], 同时有机半导体 LB 膜的低电导给制作气体传感器时二次仪表的设置也带来很大的麻烦. 为克服上述的困难, 我们合成了一种新型的具有对称替代结构的钴卟啉 (CoTDMAPP) LB 膜气敏材料, 并设计了具有全新结构的 LB 膜化学场效应晶体管 (LB ChemFET), 它利用 FET 上的 CoTDMAPP 膜与 NO_2 间的化学反应原理改变 FET 的器件特性, 从而实现对 NO_2 气体的检测.

2 实验

首先, 我们参照文献[5]合成了一种新型的有机半导体 LB 膜材料: 四对二甲胺基苯卟啉季胺盐的钴络合物(简称为: Co TDMAPP). 该材料溶于氯仿等有机溶剂, 在水面上能形成稳定的单分子膜. 利用梳状微电极对 CoTDMAPP LB 膜的电导率进行测试, 测得其本征电导率为 $3 \times 10^{-8} (\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1})$.

其次, 我们在同一单晶硅芯片上制作两种器件, 一是通常 MOSFET, 另一为 OSFET

* 吉林大学化学系

本文 1992 年 6 月 15 日收到, 修改稿 1992 年 9 月 7 日收到

结构,即栅区无铝的 FET,它是为制作 LB ChemFET 而设计的,其结构尺寸见图 1. 这种拉长的栅区结构是为了便于只将 LB 膜转移到 FET 的栅区部位,形成 LB-OSFET 结

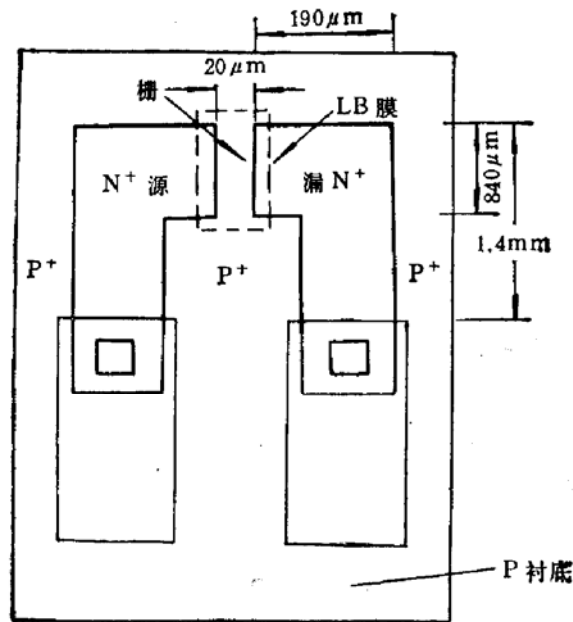


图1 LB ChemFET 的设计结构

构的悬浮栅器件。在 OSFET 器件旁对称设计了一个尺寸相同的 MOSFET 器件,以便比较两种不同结构器件的特性。

最后,在压力为 30 mN/m,亚相水温度为 20℃, pH = 7.2 的条件下, Co-TDMAPP 的 LB 膜以 Z 型形式转移到 OSFET 器件的栅区部位,形成 LB-OSFET 结构的 LB ChemFET。在实验中我们分别制备了 15 层, 25 层和 39 层的 LB 膜器件,在进行该器件的气敏性测量时,器件的漏源电压 V_{DS} 始终保持 3 V。

3 结果与讨论

Co TDMAPP LB ChemFET 的气敏性测试是在常温下进行的,结果表明只有 NO_2 气体对该器件的漏电流 I_{DS} 有明显的影响。利用该器件至少可检测到 2ppm 的 NO_2 , 而其它有害气体如 H_2S , NH_3 , CO 等即使在 1000 ppm 的高浓度下对 I_{DS} 也没有明显的影响,表明该器件对 NO_2 的选择性很强。图 2 是不同层数的 LB ChemFET 器件的漏电流与 NO_2 浓度的变化关系,对于 39 层 LB 膜器件,它表明在 NO_2 浓度低于 0.5 ppm 时, I_{DS} 没有变化,而当 NO_2 浓度为 2 ppm 时, I_{DS} 已明显发生变化,此时 I_{DS} 为 5×10^{-8} A。图 2 所给出的曲线十分类似 MOSFET 的转移特性,所以我们将它称为 LB

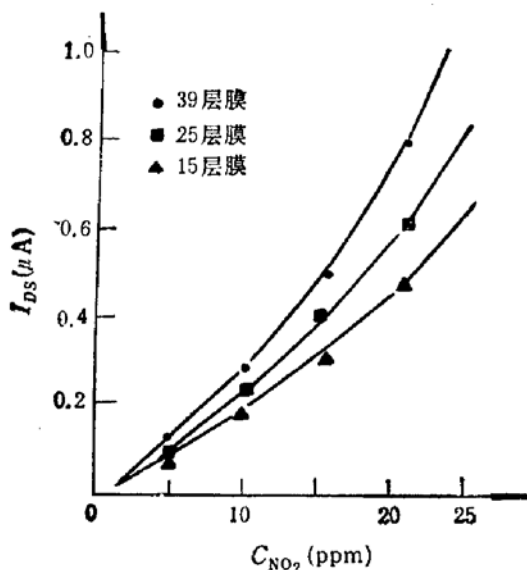


图2 LB ChemFET 的转移特性曲线

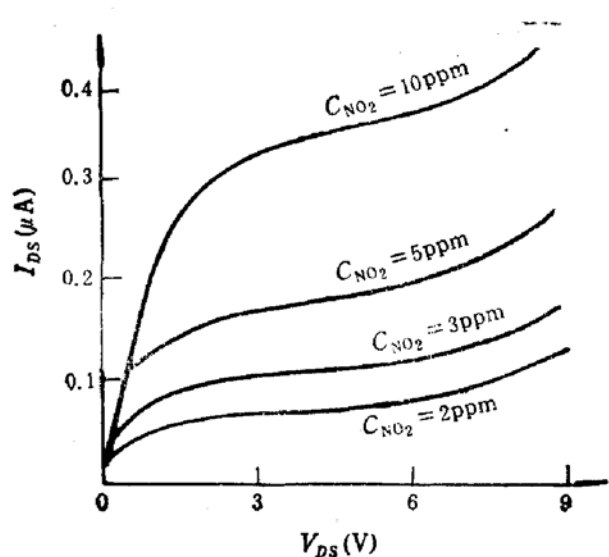


图3 LB ChemFET 的输出特性曲线

ChemFET 的转移特性曲线。从图 2 的曲线中我们还可以看出, 同一浓度的 NO_2 气氛中, 膜越薄则 I_{DS} 的变化越小; 同一厚度的 LB 膜器件, NO_2 的浓度越大则 I_{DS} 的变化越大。当保持 NO_2 浓度不变时, 改变漏源电压 V_{DS} , 图 3 给出了 LB ChemFET 的输出特性曲线, 它类似于 MOSFET 的输出特性曲线。

图 4 是 39 层 LB 膜元件在 200ppm NO_2 中及 15 层 LB 膜元件在 15ppm NO_2 中的响应与恢复特性, 它表明该器件的恢复时间较长, 这可能与 NO_2 同 CoTDMAPP LB 膜间较强的化学吸附过程有关。进一步的实验表明: 薄膜及高浓度 NO_2 对器件的响应与恢复时间的缩短是有利的, 而在 1.3 Pa 的真空系统中, 吸附了 NO_2 的该器件能迅速恢复 (恢复时间小于 10 秒), 适当地加热该器件 (加热功率小于 0.1 W) 也能有效地减少响应与恢复时间, 使其接近实用的水平。

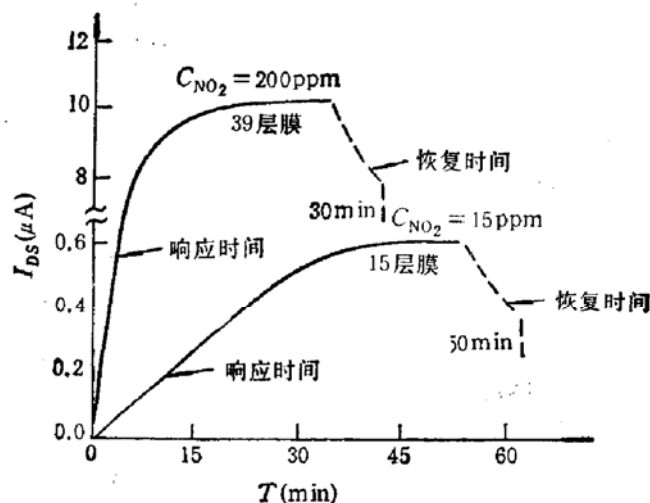


图 4 LB ChemFET 的响应与恢复特性曲线

从上述 LB Chem FET 的气敏性实验中, 我们可以看出: LB ChemFET 对 NO_2 的特性十分类似于 MOSFET 对栅电压的特性。我们认为, 虽然 LB ChemFET 表现为其漏电流 I_{DS} 随 NO_2 的不同浓度而变化的特性, 但实际上这种器件仍是场致开启的晶体管。同 MOSFET 相比, LB ChemFET 具有 LB-OSFET 的结构, LB 膜代替了金属栅电极。栅区部位的 CoTDMAPP LB 膜吸附 NO_2 气体并发生如下的电子交换过程^[6]:



从而在 LB 膜内形成电子空穴对, 并导致电偶极子的形成, 由于 LB 膜的有序性, 因此电偶极子的排布也是有序的, 这必将改变栅区部位半导体的表面电位, 引起源漏沟道导通, 产生漏电流。由于 NO_2 与 CoTDMAPP LB 膜间的化学吸附较强, 使得 LB ChemFET 对 NO_2 的恢复时间较长, 但外界的影响 (如将器件置于真空系统或适当加热) 将有可能有利于 NO_2 从 CoTDMAPP LB 膜内的脱附。

4 结论

对一种新型的具有 LB-OSFET 结构的 ChemFET 的气敏特性作了较详细的研究。该器件在常温下可检测到 2 ppm 的 NO_2 , 具有灵敏度高, 选择性强, 便于集成化等优点, FET 的利用使该气敏元件便于二次仪表的配置, 是一种比较接近于实用水平的新型器件。

参 考 文 献

- [1] 槐山千里. «膜科学与技术», 1989, 9: 41.

- [2] T. Moriizumi. *Thin Solid Films*, 1988, **160**:413.
- [3] L. Henrion, G. Derost and A. Barraud. 1989, *Sensor and Actuator*, **17**:493.
- [4] H. Wohltjen, W. Barger, A. W. Snow and L. Jarvis. *IEEE Trans. Electron Devices*, 1983, **7**: 1170.
- [5] A. Ruandel-Teixier. *Thin Solid Films*, 1983, **99**: 33.
- [6] L. VanEwyk. *J. Chem. Soc. Faraday Trans. I*, 1980, **76**: 2194.

Study on Vapor-Sensitivity of LB Film ChemFET with New Structure

Gu Changzhi

(*Institute of Atomic and Molecular Physics, Jilin University, Changchun 130023*)

Sun Liangyan, Zhang Tong and Wen Ke*

(*Department of Electronic Science, Jilin University, Changchun 130023*)

Abstract Cobalt tetra-(N,N-dimethylhexadecyl p-aminophenyl) porphyrins (Co-TDMAPP) Langmuir-Blodgett (LB) films were deposited on field-effect transistor (FET) and forming a chemical FET (ChemFET) having the structure of LB-OSFET. The process of the interaction between the ChemFET and ambient gas was studied. Results are presented showing the extreme sensitivity of their drain current (I_D s) only to ambient gas such as nitrogen dioxide (NO_2) when exposed to the toxic gases NO_2 , NH_3 , CO and H_2S . The ChemFET consisting of CoTDMAPP LB film and FET can detect NO_2 gas down to 2ppm in air; the qualities are attributed to amplification by the FET and the ordered nature of LB film.

EEACC: 1130, 7230, 2560R

* Department of Chemistry, Jilin University

Received 15 June 1992, revised manuscript received 7 September 1992