

超薄的金属/LB 绝缘膜/半导体结构的 $C-V$ 和 $I-V$ 特性***

郑 茫 林 慈 孟江生 魏同立 韦 钰

(东南大学, 南京)

摘要 本文研究了超薄的金属/LB 绝缘膜/半导体 (MLS) 结构的 $C-V$ 和 $I-V$ 特性, 理论分析与实验结果相一致, 结论如下: (1) 超薄 MLS 结构具有正常的 $C-V$ 特性和 $I-V$ 特性; (2) 以 LB 薄膜作为绝缘层可调整肖特基器件势垒高度。

关键词 LB 绝缘薄膜, $C-V$ 特性, $I-V$ 特性

1. 引言

LB (Langmuir-Blodgett) 膜是一种单分子膜, 就是将羧基亲水性基团作为头, 烷基链等长的疏水性基团作为尾的分子, 在水面上以单分子层展开, 在分子间彼此相互作用下, 使之进行二维有规律排列(即二维晶体结构)之后, 移到固体基片上而形成的膜。LB 绝缘膜具有如下特点: (1) 能精确可控地排列每层分子, 因而可精确控制膜厚, 并可构成单分子膜, 且其均匀性致密性甚好; (2) 与半导体粘附性好, 并通过与半导体在界面处的互作用, 界面态密度较低; (3) 品种多, 可根据不同的使用要求进行适当的选择; (4) 制备简单, 成本低。LB 绝缘薄膜的这些优点是 SiO_2 膜不可比拟的, 所以将 LB 膜用于微电子器件和电路将有效地促进微电子技术的发展, 近年来已受到科研工作者的极大重视^[1-3]。本文研究了超薄的金属/LB 绝缘薄膜/半导体结构的 $C-V$ 特性和 $I-V$ 特性, 理论与实验相一致, 获得了满意的结果。

2. 超薄的 MLS 结构的 $C-V$ 特性

本文中所使用的半导体实验样品都是 $n\text{-InP}$ 片, 其载流子浓度在 10^{15} cm^{-3} 数量级, 迁移率在 $3500\text{--}4000 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 范围内, 晶向为 (100)。LB 绝缘薄膜则采用酞花菁硅 SiPc 、硬脂酸 $\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$ 和 CdSt_2 膜, 这三种膜的单分子层厚度分别为 $14 \text{ \AA}$ 、 $25 \text{ \AA}$ 和 $25 \text{ \AA}$ 。

图 1 示出了 $\text{Au/SiPc}/n\text{-InP}$ 结构的 $C-V$ 特性曲线, 由图中可知: 在 I 区内, 半导体内出现积累区, 总电容 C 即为绝缘层电容 C_1 , 即 $C = C_1$; 在 II 区内, 半导体内出现耗尽区, 外加电压越负, 耗尽区宽度越大, 电容值 C 愈小; 在 III 区内, 由图可知, 当外加电压更负时, $C-V$ 特性不表现有反型特性即有一恒定的最小电容, 这是因为当绝缘膜厚度很小时, 隧道效应加强, 等不到少子在表面上堆积就通过隧道效应漏泄到栅极, 所以有可能

* 1989 年 1 月 16 日收到, 同年 9 月定稿。

** 国家自然科学基金资助项目

反型层根本建立不起来,这时 $C-V$ 特性表现出耗尽特性。

金属与 n 型 InP 直接接触得到的肖特基势垒二极管,其势垒高度很低,约为 0.4 eV ,从而漏电流大,难以实用。由图 1 所得 $C-V$ 特性可知, Au/LB 绝缘薄膜/ $n\text{-InP}$ 结构具有稳定的良好的电学特性。由此,本文利用在金属和 InP 之间加上 LB 单分子膜来提高肖特基器件的势垒高度和改善肖特基器件的电学特性。

肖特基势垒宽度 W 和空间电荷 Q , 均随外加电压 V 而变,具有电容效应,电容电压关系式可表示为

$$\frac{1}{C^2} = \frac{1}{A^2 q N_D \epsilon_0 \epsilon_s} (V_D - V) \quad (1)$$

由 $1/C^2-V$ 曲线可得到内建电势 V_D , 势垒高度则可由下式确定:

$$\phi_b = qV_D + E_n \quad (2)$$

式中,

$$E_n = E_c - E_{Fn} = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_c}{N_D} \quad (3)$$

分别对硬脂酸 $\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$ 单分子膜和 CdSt_2 单分子膜作为绝缘薄膜的肖特基器件的势垒高度进行了测试,结果如表 1 所示,由表 1 可知,对于 $\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$ 膜和 CdSt_2 膜来说,势垒高度分别提高了 0.35 V 和 0.25 V 。

表 1 LB 膜势垒高度值

LB 膜类型	$\phi_b (\text{V})$
无膜	0.43
$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$	0.78
CdSt_2	0.68

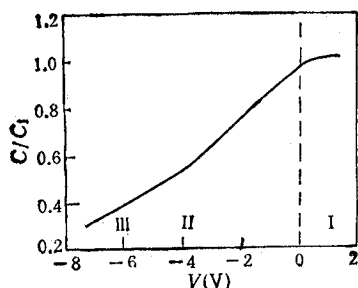


图 1 Au/SiPc/InP 结构的 $C-V$ 特性曲线

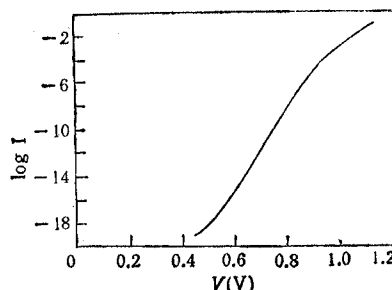


图 2 实测 MLS 结构 $I-V$ 特性曲线

3. 超薄的 MLS 结构的 $I-V$ 特性

图 2 给出了实测的 MLS 结构的正向伏安特性曲线。下面将曲线分为三段进行讨论: (1) 小电流下,理想因子 n 较大,这表明为复合-产生电流占主要成份; (2) 大电流下呈现一个电阻特性, $I-V$ 关系由指数性趋变为线性,这表明由于隧穿系数为一常数,因而大电流下的电阻也近似为常数,且大电流下这一隧穿电阻限制了器件的电流; (3) 在中电流段,电流应在半导体限制区内,即电流由半导体内的电流机理来限定。

在半导体限制区,器件的 $I-V$ 方程可表示为:

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (4)$$

与理想的 PN 结方程相比差一个大于 1 的理想因子 n 。

表 2 给出了分别在 3 层 $C_{20}H_{40}O_2$ 膜和 $CdSt_2$ 膜时的理想因子 n 的值。

当 LB 绝缘薄膜仅为单分子膜时,MLS 结构的 $I-V$ 特性将趋向于肖特基势垒的 $I-V$ 特性。表 2 同时给出了单层 $C_{20}H_{40}O_2$ 膜和 $CdSt_2$ 膜时的 n 值。由表 2 可知,单层膜 n 的值小于多层膜的 n 值。

此外,经推导可得到理想因子 n 与界面态密度 D_i 的关系式如下:

$$n = 1 + \frac{d}{\epsilon_i} \left(\frac{\epsilon_s}{W} + \frac{q}{2} D_i \right) \quad (5)$$

式中, d 为绝缘层厚度, W 为耗尽区宽度, ϵ_i 和 ϵ_s 分别为 LB 绝缘薄膜和半导体的介电常数。由 (5) 式可知,若 n 值已知,则可通过计算获得界面态密度 D_i 的值。表 2 给出了不同膜与 n -InP 相接触时的界面态密度值。

表 2 不同 MLS 结构的 n 和 D_i 值

LB 膜类型	三层膜 n 值	单层膜 n 值	D_i ($cm^{-1}eV^{-1}$)
$C_{20}H_{40}O_2$	1.6	1.36	10^{12}
$CdSt_2$	1.3	1.1	10^{12}

4. 结论

本文介绍了超薄 MLS 结构的电学特性的研究结果,得出如下结论: LB 绝缘薄膜可作为半导体的介质膜,其超薄的 MLS 结构具有正常的 $C-V$ 特性和 $I-V$ 特性,并且利用 LB 单分子膜可提高肖特基器件的势垒高度。

参 考 文 献

- [1] 专集,日本科学与技术,2(1987), 1—72.
- [2] 任云珠等,固体电子学研究进展,6(1986)4, 337—341.
- [3] 舒占永等,采用 Langmuir-Blodgett 技术制备 MOCVD-InP MIS 结构,1988 年全国 LB 膜学术讨论会文集,河南,开封.

$C-V$ AND $I-V$ CHARACTERISTICS OF ULTRATHIN METAL/LB INSULATING FILMS/SEMICONDUCTOR STRUCTURE

Zheng Jiang Lin Ci Men Jiangshen Wei Tongli Wei Yu

(Southeast University, Nanjing)

Abstract $C-V$ and $I-V$ characteristics of ultrathin metal/LB insulating films/semiconductor structure are studied. Theoretical analysis are well in accord with experimental results. The results indicate that: (1) Ultrathin MLS structure has normal $C-V$ and $I-V$ characteristics; (2) It is possible to modify the barrier height of Schottky devices by using LB thin films as insulators.

Key words LB insulating thin films; $C-V$ characteristics; $I-V$ characteristics