

高效能透明有機薄膜電晶體

碩士研究生：林永昇

指導教授：陳方中

國立交通大學光電工程研究所碩士班

中文摘要

本論文是利用一種新穎的電極結構來製作透明有機薄膜電晶體，由於 indium-tin-oxide (ITO) 電極和pentacene的介面能位障較高，因而影響載子注入造成元件特性不佳。經由金屬氧化物 (MoO_2 或 V_2O_5) 的修飾，可以使得元件特性大幅的提升。利用這種新穎的電極結構，我們製作出在可見光波段穿透率達 60%以上的元件。

此外，實驗發現大部分的吸收來自於半導體層，因此可藉由降低半導體層的厚度來增加元件穿透度，當 pentacene 厚度降到 200\AA 時，發現元件特性並無變化太多，而元件穿透度已成功達到 70%以上。可以預期的是這種透明有機薄膜電晶體將會非常適於用來驅動液晶顯示器。

High Efficiency Transparent Organic Thin Film Transistors

Student : Yung-Sheng Lin

Advisor : Dr. Fang-Chung Chen

Electro-Optical Engineering
National Chiao Tung University

Abstract



One novel electrode-architecture has been adapted to fabricate transparent organic thin-film transistors (OTFTs). Due to the high injection barrier of the indium-tin-oxide (ITO)/pentacene interface, the device exhibited a non-ideal behavior. After the modification of the contact by inserting a thin-layer of one metal oxide (MoO_2 or V_2O_5), the device performance was improved dramatically. By using the novel electrode architecture, an OTFT with more than 60 % transmittance in the visible region has been demonstrated.

In addition, the transmittance was further improved by reducing the thickness of the semiconducting layer, which has been identified as the main component absorbing the visible light in the devices. Comparable device performance was still obtained, even though the thickness of pentacene was reduced to 200Å. As a result, one OTFT with over 70% transmittance has been demonstrated successfully. It is anticipated that the transparent OTFTs would be very suitable to be the driving circuits for liquid crystal displays (LCDs).

誌 謝

研究所這兩年讓我學習到很多東西，也讓我成長了不少，除了研究能力的提升外，在日常生活以及待人接物方面也有所成長，我相信碩士這兩年是目前我人生中改變最多的時期。

首先我要謝謝我的指導教授陳方中老師，對於一個剛成立的實驗室，很多東西都要從頭開始，在建立實驗流程時老師會親自帶我們去作實驗，並告訴我們一些關鍵的技術，就這樣一點一點慢慢建立起我們的實驗室。還有一起跟我奮鬥的伙伴文生、東賢、立仁、思芳、惠君，大家一起買儀器、摸索儀器、建立實驗流程，這都是第一屆學生才有的福利，也因此建立了革命的情感。

我還要感謝帶我的喬舜學長，感謝你從最基本的 pattern 玻璃開始，再到洗玻璃、spin coating 等等實驗製程上的教導，以及實驗方向的指導，也因此才有機會和你到日本參加 IDW 會議，拓展我的視野。

還有要感謝實驗室的文奎、志平、祖榮學長的指導以及映頻、瑞祥、尹婷、紓婷、泰元、浩偉、義凱、上傑和志力學弟妹的陪伴，特別是尹婷學妹在量測上的幫忙，謝謝實驗室的每個人，讓我度過一個充實的碩士生涯。

最後要感謝我的父母親，從小辛苦養育、培育我，才会有今天的我，由於碩士班實驗的繁忙而比較少回家，感謝父母的體諒以及精神上的支持，謝謝了！

目 錄

中文提要	i
英文提要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	v
圖目錄	vii
第一章 序論	1
1.1、前言	1
1.2、OTFT 半導體及相關元件特性	1
1.2.1、有機薄膜電晶體之結構	1
1.2.2、有機半導體材料簡介	8
1.2.2.1、高分子 (polymer)	8
1.2.2.2、小分子	9
1.2.2.3、Pentacene材料之簡介	10
1.2.3、有機材料的導電機制	11
1.2.3.1、Hopping	13
1.2.3.2、Multiple Trapping and Release	13
1.2.4、有機薄膜電晶體的載子移動率	14
1.2.5、有機薄膜電晶體的操作模式	15
1.2.6、接面電阻	16
1.2.7、元件透明度	19
1.2.8、各項重要參數	20
1.2.8.1、載子遷移率 (mobility)	20
1.2.8.2、Threshold voltage (V_T)	21
1.2.8.3、 I_{on}/I_{off} 比	22
1.2.8.4、次臨界擺幅 (Subthreshold swing (s.s.))	22
1.2.8.5、接面電阻 (contact resistance)	22
第二章 研究動機與目的	24
第三章 實驗架構	25
3.1、實驗流程	25
3.1.1、ITO 玻璃 pattern	25
3.1.2、基板清洗	25
3.1.3、PVP介電材料調配與塗佈製程參數	25
3.1.4、蒸鍍 pentacene、修飾電極層和源極、汲極	26
3.2、實驗儀器	27
第四章 實驗結果與討論	29

4、修飾電極.....	29
4.1、 V_2O_5+Al	30
4.2、 MoO_2+Al	34
4.3、 V_2O_5+ITO	38
4.4、 MoO_2+ITO	42
4.5、元件穿透度.....	49
4.6、不同 pentacene 厚度	53
第五章 結論	58
參考文獻.....	59



表 目 錄

表 4.1 整理不同 V_2O_5 厚度修飾電極Al的元件特性.....	34
表 4.2 整理不同 MoO_2 厚度修飾電極Al的元件特性.....	38
表 4.3 整理不同 V_2O_5 厚度修飾電極ITO的元件特性	42
表 4.4 整理不同 MoO_2 厚度修飾電極ITO的元件特性.....	46
表 4.5 比較照光與不照光下不同 MoO_2 厚度修飾電極ITO的元件特性變化	48
表 4.6 比較照光與不照光下不同 pentacene 厚度的元件特性變化	57



圖目錄

圖 2.1 傳統的 MOSFET 電晶體剖面圖	2
圖 2.2 傳統 P-MOS 的電流電壓，左圖為 $I_D - V_{GS}$ ，右圖為在不同的 V_{GS} 下的 $I_D - V_{DS}$ 圖	2
圖 2.3 無機薄膜電晶體的剖面圖，半導體材料使用最多的為 poly-Si 和 a- Si:H	3
圖 2.4 1983 年第一顆有機薄膜電晶體	5
圖 2.5 目前最高 Mobility OTFT	5
圖 2.6 有機薄膜電晶體結構圖，先鍍有機材料後鍍電極，稱為 Top Contact，相反則稱為 Bottom Contact	6
圖 2.7 用 rigiflex lithography 來形成電極	8
圖 2.8 有機半導體材料 (a) 高分子 (b) thiophene (c) 小分子	10
圖 2.9 pentacene 的化學結構圖，有五個苯環所組成，所以又稱五環素	10
圖 2.10 pentacene 之 X-ray 相關 peak	11
圖 2.11 (a) 和 (b) 為局部化的 π 鍵，(c) 為非局部化的 π 鍵	12
圖 2.12 Charge Hopping	13
圖 2.13 有機材料與 Si 材料的載子遷移率比較圖	15
圖 2.14 P-type OTFT 操作模式示意圖	16
圖 2.15 以 pentacene 為半導體材料的 OTFT，其接面電阻 (R_c) 與通道電阻 (R_{ch}) 與閘極電位的關係	17
圖 2.16 金與 pentacene 的接面能帶圖。(pentacene on Au)	18
圖 2.17 PEDT/PSS 與 pentacene 的接面能帶圖	19
圖 2.18 Transfer line method	23
圖 3.1 實驗流程示意圖	27
圖 4.1 電極、修飾電極與 pentacene 能階圖	29
圖 4.2 高穿透率有機薄膜電晶體示意圖	30
圖 4.3 實驗元件結構圖	30
圖 4.4 比較純 Al (a) 和經由 V_2O_5 (200 Å) (b) 修飾後的 $I_D - V_D$ 圖	31
圖 4.5 比較純 Al (a) 和經由 V_2O_5 (300 Å) (b) 修飾後的 $I_D - V_G$ 圖	32
圖 4.6 利用 transfer line method 得到 contact resistant 圖 (a) 純 Al (b) V_2O_5 (300 Å) + Al	33
圖 4.7 比較純 Al (a) 和經由 MoO_2 (400 Å) (b) 修飾後的 $I_D - V_D$ 圖	35
圖 4.8 比較純 Al (a) 和經由 MoO_2 (400 Å) (b) 修飾後的 $I_D - V_G$ 圖	36
圖 4.9 利用 transfer line method 得到 contact resistant 圖 (a) 純 Al (b) MoO_2 (400 Å) + Al	37
圖 4.10 比較純 ITO (a) 和經由 V_2O_5 (200 Å) (b) 修飾後的 $I_D - V_D$ 圖	39
圖 4.11 比較純 ITO (a) 和經由 V_2O_5 (200 Å) (b) 修飾後的 $I_D - V_G$ 圖	40
圖 4.12 利用 transfer line method 得到 contact resistant 圖 (a) 純 ITO (b) V_2O_5	

(200 Å) +ITO	41
圖 4.13 比較純ITO (a) 和經由MoO ₂ (100 Å) (b) 修飾後的I _D -V _D 圖.....	43
圖 4.14 比較純ITO (a) 和經由MoO ₂ (100 Å) (b) 修飾後的I _D -V _G 圖.....	44
圖 4.15 利用transfer line method 得到contact resistant圖 (a) 純ITO (b) MoO ₂ (100 Å) +ITO.....	45
圖 4.16 MoO ₂ +ITO照光和不照光的I _D -V _D 變化.....	47
圖 4.17 MoO ₂ +ITO照光和不照光的I _D -V _G 變化.....	47
圖 4.18 pentacene能障圖，價帶邊緣為晶粒邊界，E _B 為電洞傳輸所需克服的 活化能 (activation energy)	48
圖 4.19 ITO 玻璃和 ITO 電極的吸收光譜	50
圖 4.20 絕緣層 PVP 的吸收光譜	50
圖 4.21 不同厚度MoO ₂ 的吸收光譜.....	51
圖 4.22 不同厚度V ₂ O ₅ 的吸收光譜.....	51
圖 4.23 pentacene 600 Å 時的吸收光譜	52
圖 4.24 比較元件有無 pentacene 時的穿透度.....	52
圖 4.25 元件實體照 (pentacene 600 Å)	53
圖 4.26 不同 pentacene 厚度下的吸收光譜.....	54
圖 4.27 pentacene 厚度 200 Å 下的元件吸收光譜	54
圖 4.28 元件實體照 (pentacene 200 Å)	55
圖 4.29 pentacene 600 Å 時的表面形貌圖	55
圖 4.30 pentacene 400 Å 時的表面形貌圖	56
圖 4.31 pentacene 200 Å 時的表面形貌圖	56
圖 4.32 不同pentacene 厚度的I _D -V _G 圖.....	57