

# Field effect transistor

物理系二年級甲班 林英豪 41041118S

2022 年 10 月 31 日修訂

[Abstract]: A field effect transistor (FET) is a type of transistor that uses an electric field to control the flow of current. FETs are used in a variety of electronic devices, including amplifiers, switches, and sensors. The purpose of the field effect transistor is to control the flow of current in an electronic device. Additionally, the current through the field effect transistor (FET) is given by  $I = V_{GS} - V_t$  where  $V_{GS}$  is the gate-to-source voltage and  $V_t$  is the threshold voltage. The voltage across the field effect transistor is given by  $V_{DS} = V_{GS} - V_t - I_d$  where  $V_{DS}$  is the drain-to-source voltage, and  $I_d$  is the drain current. And the purpose for us to do research for (FETs), there are many reasons to do so. Some reasons include understanding how they work, improving their performance, and learning and thinking how to develop new applications for them. FETs are used in a wide variety of electronic devices, so research on them can have a significant impact on many different fields.

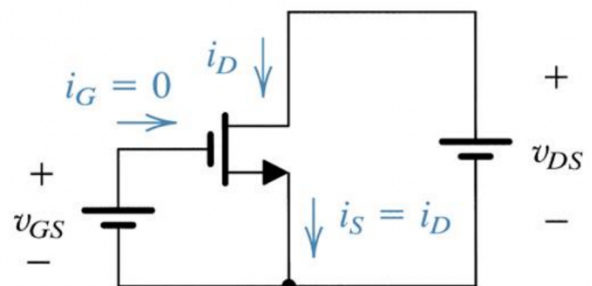
## I. 實驗目的

藉由實驗的實作以了解場效電晶體的作用原理以及量測在不同的源極與汲極間的電壓  $V_{DS}$  的轉換特性曲線  $I_{DS} - V_{GS}$ ，之後再討論  $V_{GS}$  改變下， $I_{DS} - V_{DS}$  的關係。此外，利用轉換特性曲線的關係找出臨界電壓  $V_{TH}$  以及載子遷移率  $\gamma$ 。最後作  $\log(I_{DS}) - V_{GS}$  找出次臨界擺幅 (S.S)，其斜率的倒數為 S.S。下圖為電晶體的簡圖：



## II. 實驗步驟

首先我們先如下圖進行電路組裝，但所使用的電源供應器以兩組 3V 的電池組所代替。



<示意圖一>

組裝完畢之後，我們先改變  $V_{GS}$  (-1.5V~1.5V)，以六組間隔為 0.5V 的  $V_{GS}$  固定，分別取  $I_{DS}$  和  $V_{DS}$  數據進行分析並繪製  $I_{DS} - V_{DS}$  圖。

以下是我們取的六點  $V_{GS}$ ：

$V_{GS}$	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
數值	0	0.508	-0.508	-0.999	-1.503	-1.002

再來就是進行以六組間隔為 0.5V 的  $V_{DS}$  固定，分別取  $I_{DS}$  和  $V_{GS}$  數據進行分析並繪製  $I_{DS} - V_{GS}$  圖。

$V_{DS}$	1st	2nd	3rd	4th	5th
數值	0.5	1.0	1.5	1.25	0.75

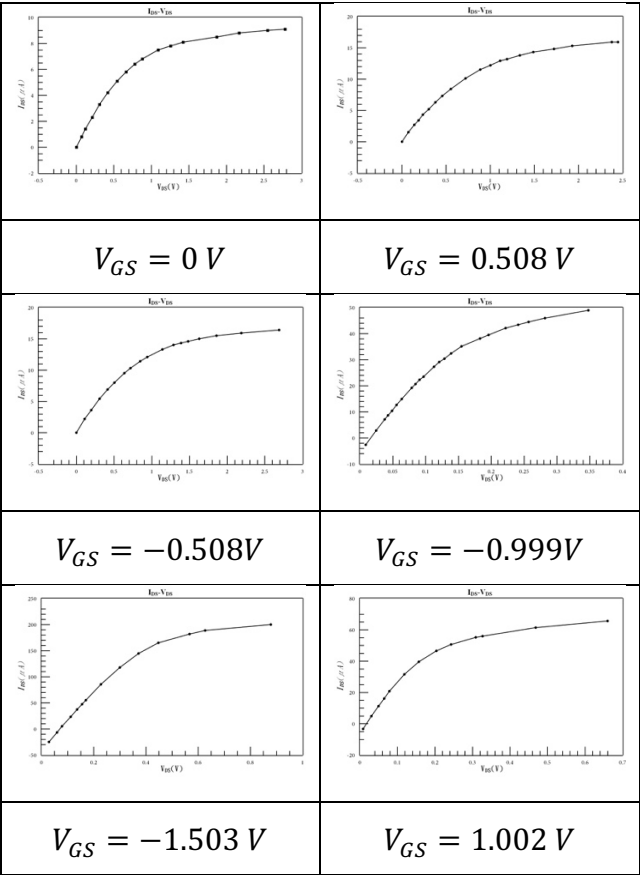
最終則將  $I_{DS}$  和  $V_{GS}$  繪製成  $\log(I_{DS}) - V_{GS}$  找出次臨界擺幅  $S.S$ 。  
 假設圖的斜率為  $S$ ，則

$$S = \frac{\partial V_G}{\partial(\log(I_{DS}))}$$

$$S.S = \frac{1}{S}$$

## II. 實驗數據

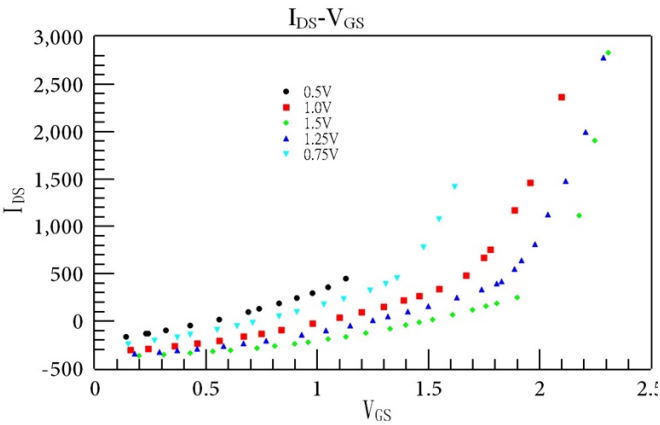
### 一、改變 $V_{GS}$ ，探討 $I_{DS} - V_{DS}$



<表一>

實驗採  $V_{GS}$  介於 -1.5~1.5V 之間進行實驗。我們從實驗所得到的數據中進行對比與探討可知  $V_{GS}$  值越大，則曲線在圖中的表示越上方（亦即  $V_{GS}$  越大，則飽和電流  $I_{DS}$  也就越大）。此外，我們由圖可以發現  $I_{DS}$  會隨著  $V_{DS}$  上升而上升，當  $V_{DS}$  達到 1.5~2.0 V 時達到飽和。

### 二、改變 $V_{DS}$ ，探討 $I_{DS} - V_{GS}$



<圖一>

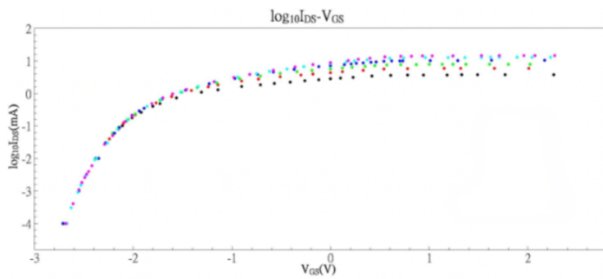
我們從圖一可以看出，當我們逐漸加大  $V_{GS}$  至某一特定值時，會在轉換特定曲線中觀察到  $I_{DS}$  急遽上升，此時的  $V_{GS} = V_{TH}$ ，其中  $V_{TH}$  稱之為臨限電壓。

$V_{DS}$	0.5V	0.75V	1.0V	1.25V	1.5V
$V_{TH}$	1.15V	1.38V	1.68V	1.83V	1.92V

<表二>

此外，我們也發現當  $V_{DS}$  值越大時，其圖的呈現越下方，但此時的  $V_{TH}$  也越大（由表二中的關係可以看出）。

### 三、作 $\log(I_{DS}) - V_{GS}$ 圖求出 $S.S$



<圖二>

求次臨限擺幅  $S.S$  而將 <圖一> 中的  $I_{DS}$  取以 10 為底的對數後得到 <圖二>，為了方便計算，直接將

$$S = \frac{\partial V_G}{\partial(\log(I_{DS}))}$$

取倒數即可。因此圖二的斜率即為  $S.S$

$$S.S = \frac{1}{S}$$

分析後所得到的數據如下：

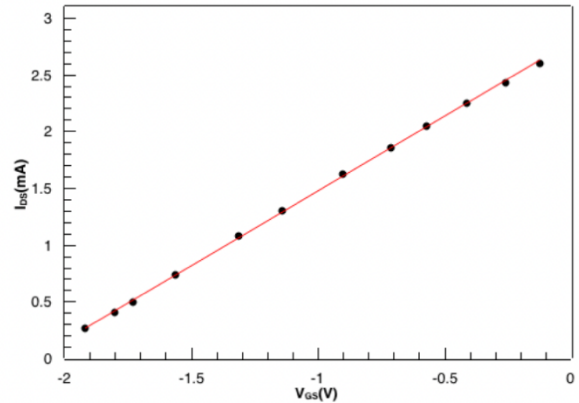
$V_{GS} (V)$	$slope \left( \frac{V}{dec} \right)$	$S.S \left( \frac{mV}{dec} \right)$
0.5	1.187	1187
0.75	1.0105	1010.5
1.0	1.0972	1097.2
1.25	1.0902	1090.2
1.5	1.0817	1081.7

<表三 平均值：1093.32 mV/dec>

從實驗數據探討中，發現  $S.S$  的數值都偏大，而  $S.S$  在定義上是表示閘極對於次臨限電流的控制能力，其數值越小，表示能力越佳。而我們所測得的數據偏大，這可能是因為  $S.S$  會受到閘極絕緣層的缺陷數目多寡而改變亦或是元件本身的缺陷所造成的誤差。

#### 四、載子遷移率 $\mu$ 的探討

利用圖一中  $V_{DS} = 0.5V$  的曲線取線性遞增區間的數據點 ( $V_{GS} = -1.5 \sim 0.5V$ ) 擬合出下圖：



<圖三>

分析所得到的數據：

$$m = 1.312 \pm 0.0074$$

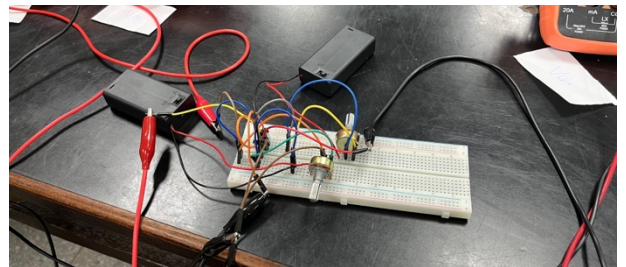
代入下方公式：

$$\frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{GS}} = m = A\mu V_{DS}$$

即可求出

$$\mu = 273.33 \pm 1.54 \text{ cm}^2 / V \cdot s$$

### III. 實際操作電路圖



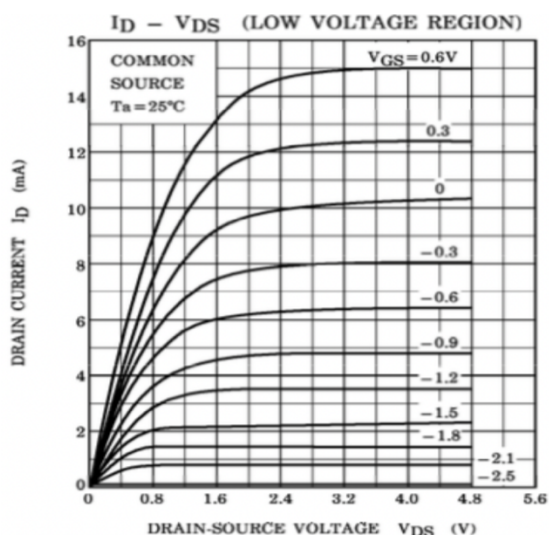
[圖一]:實驗電路實際圖

圖一是起初進行改變  $V_{GS}$ ，探討  $I_{DS} - V_{DS}$  時，利用電阻和電池組代替電源供應器的替代接法。

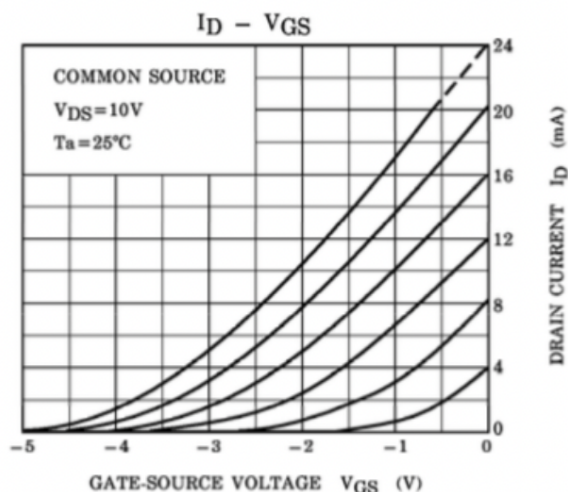
之後的實驗則回歸以電路圖(如示意圖一)的方式進行。

## V. 相關文獻

### 一、 $I_{DS} - V_{DS}$ 的理論圖(趨勢圖)



### 二、 $I_{DS} - V_{GS}$ 的理論圖(趨勢圖)



由上方兩張理論圖與本次實驗數據對照後,可知數據與理論相符合,故所獲得的數據趨勢是符合場效電晶體在實作時的情境。

## VI. 結論

1. 由實驗一可知  $I_{DS}$  會隨著  $V_{DS}$  上升而上升, 當  $V_{DS}$  達到 1.5~2.0 V 時達到飽和。
2. 由實驗二可知當我們逐漸加大  $V_{GS}$  至某一特定值時, 會在轉換特定曲線中觀察到  $I_{DS}$  急遽上升, 此時的  $V_{GS} = V_{TH}$ , 其中  $V_{TH}$  稱之為臨限電壓。
3. 從實驗數據探討中, 發現  $S.S$  的數值都偏大, 而  $S.S$  在定義上是表示閘極對於次臨限電流的控制能力, 其數值越小, 表示能力越佳。而我們所測得的數據偏大, 這可能是因為  $S.S$  會受到閘極絕緣層的缺陷數目多寡而改變亦或是元件本身的缺陷所造成的誤差。
4. 可改進之處:
  - (1) 因電晶體受本身溫度影響而不同, 對於環境的風和會造成散熱效果的因素有強烈的關係, 故可在電晶體周遭圍上一層隔板, 以避免環境所造成的影響。
  - (2) 電路的串接穩定與否也會使測得的數據在某一範圍中持續跳動, 雖然都是在千分位的誤差, 但若為使數據更為精準, 對於接線部分的穩定和整齊性也是一大考量與可優化之處。
  - (3) 數據點的取值可更加密集以增加數據點的取樣, 這可以使數據更為精確, 以減少當下環境所造成的影響, 並且當環境影響時, 可以由下一密集點得知當前數據已被影響, 可儘速刪除該點重測, 確保實驗精準度。
  - (4) 因實驗分成兩天進行, 所使用的實驗器材不同, 可在器材上標可拆卸式標記。

## 參考資料

1. 場效電晶體簡介 (2021/09/30 藍彥文 (Yann-Wen Lan) 編製)