

Chapter 3 元件製作與量測系統介紹

3.1 元件製作

我們在 GaAs/AlGaAs 二維電子氣系統樣品上，利用光微影技術製作微米級尺度的金屬閘極(線寬大小大於 5 微米)，再利用電子束微影技術製作次微米級尺度的金屬閘極(線寬約為 1~0.1 微米)，組成我們所設計的元件圖形。

3.1.1 光微影技術

1. 平台結構(mesa structure)

我們需要在 GaAs/AlGaAs 二維電子氣系統樣品上，阻絕每個元件之間的二維電子氣之間的導通，所以需要定義出二維電子氣所能存在的區域。圖 3.1 為光學顯微鏡下的平台結構，中間較寬長的部分為平台結構，旁邊方形的部分為接點平台，有側支連接到中間平台，之後將作為歐姆接點用。

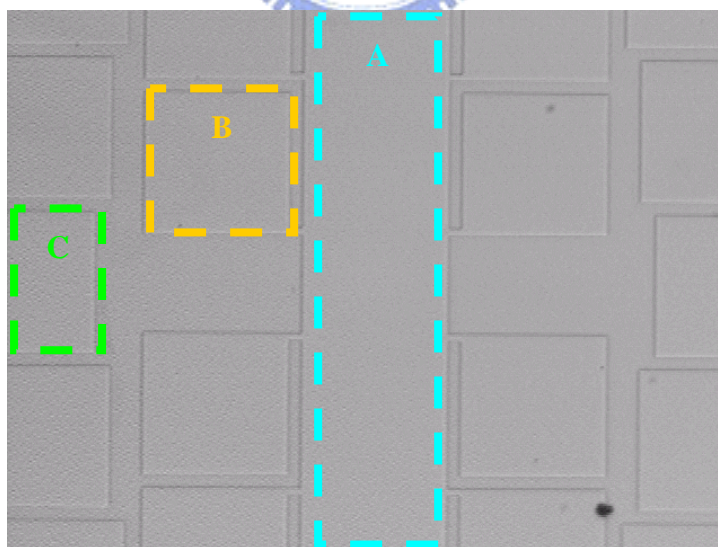


圖 3.1 光學顯微鏡下的平台結構。A 部分為平台結構(MESA)，B 部分為接點平台(ohmic contact)，C 部分為金屬閘極平台(gate)。

製作平台結構，主要為(1)光微影技術(photolithography)，(2)濕式蝕刻(wet etching)，流程如下：

(1)光微影技術(photolithography)

a. 標準清洗流程(standard cleaning process)清洗樣品表面。

b. 塗佈(spin coating):

我們使用的光阻液為 AZ5214，為正光阻。利用光阻塗佈機(spinner)塗佈光阻，在塗佈時要注意光阻在樣品表面上的均勻性，才能得到穩定的光阻厚度。光阻的塗佈條件為初轉速:1000 r.p.m.，10 秒，末轉速:5000 r.p.m.，40 秒。

c. 預烤(prebake):

光阻塗佈完後，將樣品放置在平台加熱板上，使光阻中殘留的揮發性溶劑揮發，增加光阻的硬度，並避免在後續的曝光時，因為光阻太軟或太黏，而附著在光罩上，這個步驟也稱為軟烤(soft bake)。平台加熱板(hotplate)在預烤的條件為溫度 90°C，90 秒。

d. 曝光(exposure):

我們使用接觸式曝光(contact printing)，將光罩上的圖形轉移到光阻上。接觸式曝光的優點是解析度高(~1 μ m)，且圖形在轉移的過程中較不易失真；缺點則是因為光罩與光阻接觸，光罩上面容易沾染上光阻或污染物，所以光罩必須不定時的清洗，且光罩的使用壽命比較短。

我們使用的曝光機為Karl Suss MJB-3，光波長為320nm，

曝光強度：5mW/cm²，曝光時間：65秒。

e. 反轉烤(reverse bake):

光阻在曝光後，有照到光的部分不會溶於顯影液，沒有照到光的部分會溶於顯影液。而反轉烤的作用為光阻加熱後，已曝光的光阻結構會改變，既使再次曝光也不會溶於顯影液。

反轉烤的條件為：平台加熱板溫度120°C，90秒。

f. 全曝光(flood exposure):

將整片樣品全面曝光，使原本未曝光的光阻接受曝光，可以溶於顯影液中。全曝光條件為：曝光強度：5mW/cm²，曝光時間：98 秒。

g. 顯影(development):

因為有接受曝光的光阻會溶於顯影液，而未接受曝光的光阻不會溶解，所以能有選擇性的移除光阻，留下需要的圖形。使用的顯影液為 AZ400K:DI water =1:3 的混合溶液，顯影時間為 35 秒，顯影溫度約 25°C。顯影完後將樣品浸入 DI water 數十秒，去除殘留在表面的顯影液，再用氮氣槍吹乾。

(2)濕式蝕刻(wet etching)

我們使用的蝕刻液配方為 H₂SO₄:H₂O₂:H₂O=1:8:160，通常在要蝕刻前再配製，因為雙氧水容易揮發，會影響樣品的蝕刻速率，所以在蝕刻時，同時也會蝕刻一片 GaAs 樣品，用以確定每次的蝕刻速率。蝕刻條件為：溫度 4°C，蝕刻時間 33~35 秒。蝕刻完後，將樣品浸入 DI water 數十秒，去除殘留在表面的蝕刻液，再用氮氣吹乾。

2.歐姆接點(ohmic contact)

製作歐姆接點的目的，是為了讓我們在樣品表面製作的金屬接點與樣品表面下的二維電子氣有電性導通，以利後續對二維電子氣的電性傳輸量測。並且作為樣品對外接線的區域，使樣品可以連接到量測系統。

我們用光微影技術，先在光阻上定義出歐姆接點的區域，再用熱蒸鍍(thermo-evaporating)系統，在樣品表面鍍上多層金屬，依序為鎳(100Å)、金(2000Å)、鍺(1000Å)、鎳(700Å)。再利用舉離技術(lift-off)，將不需要的金屬去除，只留下需要的歐姆接點區域。最後利用熱退火技術，讓歐姆接點的金屬滲透到二維電子氣，使樣品表面下的二維電子氣與樣品表面的歐姆接點有電性導通，即完

成歐姆接點。

3. 金屬閘極(metal gate)

我們利用金屬閘極加負偏壓，藉以對二維電子氣造成位障，侷限電子氣存在的區域，用以侷限二維電子氣形成如一維的量子線(quantum wire)、零維的量子點(quantum dot)等。我們製作金屬閘極分為兩部分：(a)微米級閘極：利用光微影技術製作微米級的金屬閘極，閘極約為 $5\mu\text{m}$ ，並往外延伸為大小與歐姆接點一樣的区域，如圖 3.2。(b)次微米閘極：此部分為利用電子束微影技術，製作尺寸為數百奈米到微米級的金屬閘極，電子束微影技術在 3.1.3 節會有清楚的說明。

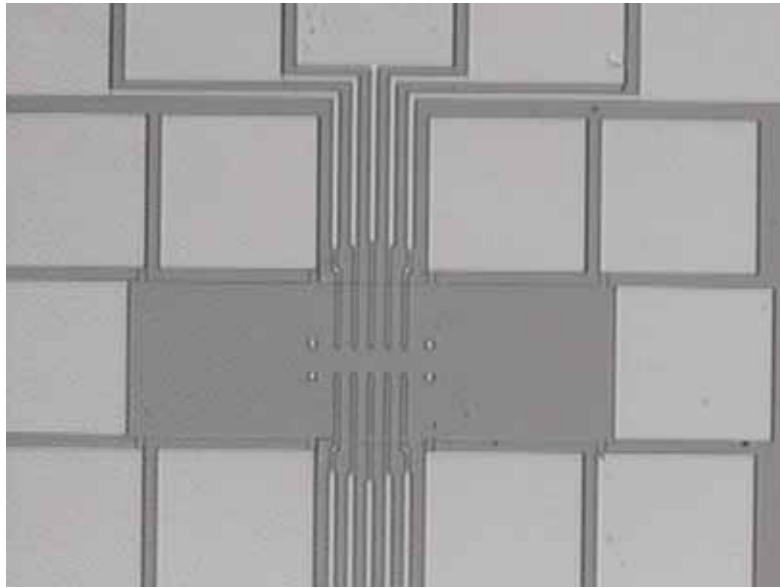


圖 3.2 光學顯微鏡下的金屬閘極。

同樣先利用光微影技術在光阻上定義出金屬閘極的區域，光微影製作的閘極線寬約 $5\mu\text{m}$ ，並用熱蒸鍍系統在表面上蒸鍍上鈦(Ti)、金(Au)兩種金屬，厚度分別為鈦(100 \AA)，金(500 \AA)，再用舉離技術將不需要的部分去除，即得到設計的金屬閘極圖形。金的導電性良好，所以用來製作金屬閘極，但因為金和樣品表面的附著性比較差，所以用鈦來增加兩者的附著性。

4. 熱蒸鍍系統(thermo-evaporating)

在樣品製作過程中，我們主要利用熱蒸鍍系統在樣品上蒸鍍不同的金屬薄膜，來製作需要的圖形。熱蒸鍍法為在高真空(10^{-6} torr)的環境中，將固體金屬加熱到熔化蒸發，變成氣相沉積到樣品表面。

熱蒸鍍機(thermal evaporator)主要為真空系統與蒸鍍系統所組成，圖3.3為蒸鍍系統的簡圖。真空系統包括真空腔、機械幫浦(mechanical pump)、渦輪幫浦(turbo pump)，在抽真空的過程中，先用機械幫浦將真空腔內的壓力抽到較低的真空度，壓力約 10^{-2} torr，稱為粗抽(rough evacuate)。再用渦輪幫浦讓真空腔壓力達到更高的真空度(壓力約 10^{-6} torr)。在蒸鍍金屬薄膜前，我們會在真空腔中放入適量的氧氣，外加高壓電(800V)將氧氣游離形成電漿(plasma)，利用電漿轟擊樣品，藉以清除仍附著在金屬薄膜區域的殘餘光阻，增加金屬薄膜和樣品之間的密合度。

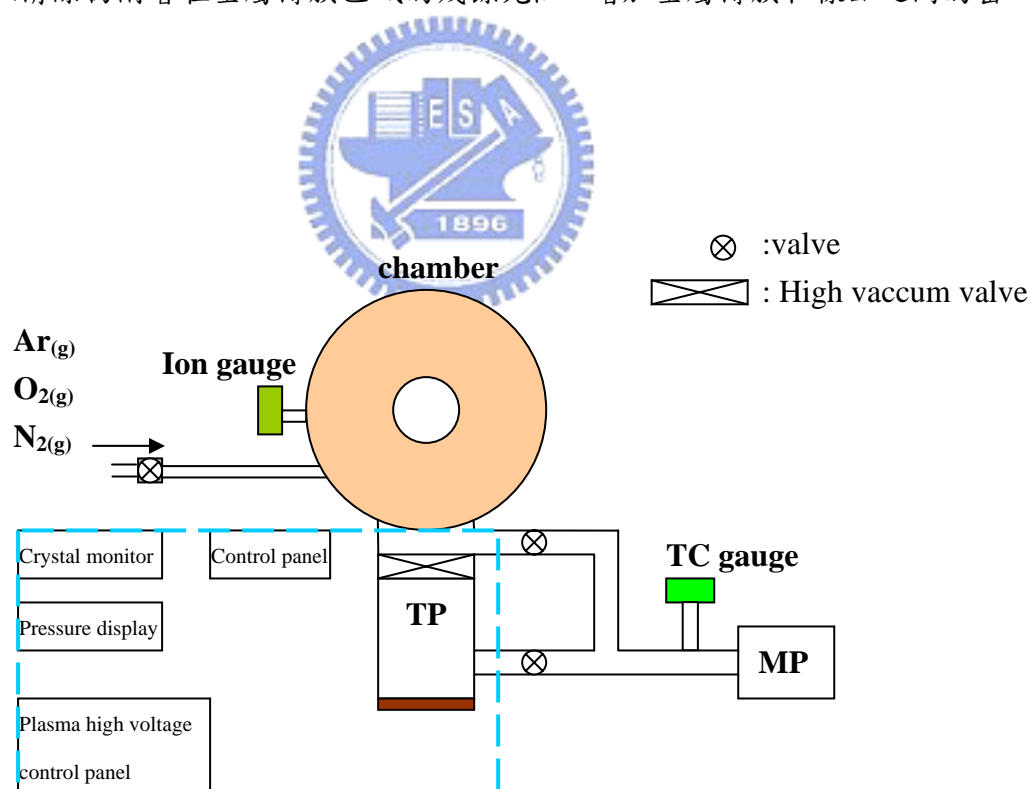


圖3.3 蒸鍍系統前視簡圖。

以下將簡述熱蒸鍍機的蒸鍍流程：

(a) 事先準備動作：

- a. 將欲蒸鍍的金屬塊材與鎢舟(boat)分別放入用丙酮、酒精內，用超音波震盪器震洗幾分鐘。並放入真空腔中。
- b. 將樣品用碳膠帶黏於樣品座上。再將樣品座放置於真空腔中，樣品要盡量位於蒸鍍塊材的正上方。
- c. 檢查石英震盪器的震盪頻率為正確。
- d. 將提供電漿蝕刻用的氧氣管線抽真空到約 10^{-2} torr，再將氧氣放入管線內，供電漿蝕刻用。

(b) 抽真空：

- a. 真空腔關閉後，先開啟機械幫浦，將真空腔的壓力抽到約 2×10^{-2} torr，再將高真空的氣動閥開啟，用渦輪幫浦將壓力抽到 5×10^{-6} torr以下。
- b. 等壓力小於 5×10^{-6} torr後，關閉高真空的氣動閥，在真空腔通入氧氣約 8×10^{-3} torr，外加高電壓800V，使氧氣游離化為電漿，開啟樣品下方的檔板，轟擊樣品一分鐘。完畢後將高電壓歸零，再開啟高真空的氣動閥，抽真空至 3×10^{-6} torr以下。

(c) 蒸鍍：

- a. 開啟膜厚計，選取欲蒸鍍金屬的參數。
- b. 緩慢的增加通過鎢舟的電流，直到膜厚計讀取到蒸鍍速率，使蒸鍍速率穩定後，開啟樣品下的檔板，開始在樣品上蒸鍍金屬薄膜到需要的厚度。
- c. 蒸鍍到需要的厚度之後，把檔板關上，將電流歸零，完成整個蒸鍍過程。

3.1.2 電子束微影技術(electron-beam lithography process)

電子束微影是利用掃描式電子顯微鏡(scanning electron microscope, SEM)的電子束為曝光源，配合一套電腦介面控制軟體(Nanometer Pattern Generation System, NPGS)，來控制電子束的方向；一套繪圖軟體 Design CAD 來繪畫需要的微影圖形；以及一套屏蔽板(beam blaker)來開啟/關閉電子束到達樣品。讓電子束以掃描的方式在電子阻劑上直接寫上設計的圖形，簡稱 E-beam lithography(EBL)。掃描式電子顯微鏡是利用對鎢燈絲外加高電壓，使鎢燈絲放出熱電子，熱電子經過兩組電磁透鏡收束聚焦，形成一極細小的電子束到達電子顯微鏡的樣品台，電子束的面積大小稱為 spot size。電子阻劑接受到電子的曝光後，電子阻劑的化學結構會產生變化，在顯影步驟中，有接受曝光的電子阻劑會溶解，藉此區別出有曝光與沒有曝光的區域。電子束微影技術與光微影最大的不同，在於電子束微影的曝光源為電子，且不需要光罩，而是直接將設計圖形轉移到電子阻劑上，具有高解析度與設計圖形較彈性的優點。缺點則是因為電子束打到電子阻劑時，電子在阻劑中會有散射效應(scattering)，如果設計的圖形太靠近，會有近接效應(proximity effect)產生，限制電子束微影技術的最低解析度。我們所使用的電子阻劑(PMMA)具有小於 0.1 微米的圖形定義能力，很適合用於製作次微米部分的金屬閘極。

電子束微影的流程簡述如下：

(a)將樣品分別用丙酮、酒精清洗乾淨，再用氮氣(N₂)吹乾。

(b)塗佈電子阻劑(spin coating)：

我們使用的電子阻劑為 950MMA(A5)，為 MicroChem 公司所配置的固定濃度光阻劑，成分為聚甲基丙烯酸甲酯(polymethyl methacrylate，簡稱 PMMA)，不同濃度的 PMMA 會影響電子阻劑在塗佈時，厚度對轉速的曲線。我們用光阻塗佈機(spinner)在砷化鎵(GaAs)基版上塗佈 PMMA，塗佈條件為初轉速 1000r.p.m.，10 秒；末轉速 6000r.p.m.，30 秒。在砷化

鍍基版上的 PMMA 厚度約為 3200 Å。

(c) 烘烤(bake)：

在塗佈完後，將樣品用平台加熱器烘烤，讓電子阻劑內的有機溶劑揮發，使電子阻劑固化不再流動。烘烤條件為 180°C，5 分鐘。

(d) 曝光(exposure)：

將樣品放入掃描式電子顯微鏡的真空腔中，將電子束的條件先設定好(燈絲的加速電壓、電流大小、電子槍聚焦、色差校正)後，利用 NPGS 和 beam blanker 控制電子束，使電子束按照我們所設計的圖形，對電子阻劑曝光。

(e) 顯影(development)：

電子阻劑在顯影液中，有曝光的區域和沒有曝光的區域對顯影液的溶解速度會不同，所以可以選擇性移除或留下電子阻劑，而將設計的圖形轉移到電子阻劑上。我們使用的顯影液為 MIBK(methyl isobutyl ketone):IPA =1.3 比例配置的混和溶液，此比例具有高解析度和低敏感度的特性。電子阻劑的顯影條件為：先放入 MIBK:IPA 顯影液中，25°C，75 秒。再放入 IPA 溶液中，25 秒。最後用氮氣吹乾。

(f) 蒸鍍金屬：將樣品放入蒸鍍系統，蒸鍍上金屬薄膜(Ti(100 Å)/Au(500 Å))，並利用舉離技術，去除不要的金屬薄膜與電子阻劑，使設計的圖形轉移到樣品表面，作為次微米金屬閘極。

我們利用電子束微影技術製作約數百奈米的金屬閘極，在設計新的圖形時，會用 Design CAD 軟體畫出設計的圖形，並先在砷化鎵基板上測試合適的劑量(dose)，讓在 GaAs 基板上的金屬閘極盡量與設計圖形相吻合。在測試劑量時，通常使用劑量單位為 line dose (nC/cm，每單位面積所接收的電荷量)的方式去寫。

其他重要的參數為電子束點和點之間的距離(center-to-center distance，NPGS 軟體在定義一條線時，是控制電子束曝光的點，一點一點的排列所形成)與電子

束線和線之間的距離(line spacing, NPGS 定義出的線和線之間的距離)。對於 NPGS 單次掃描所形成的線, center-to-center distance 通常設定為設計線寬的 1/4~1/2, 而對較寬的線、圓弧形與多邊型的圖形, center-to-center distance 與 line spacing 通常設定為一樣。

圖 3.4(a)、(b)參數設定為 center-to-center distance : 19.49nm, line spacing : 50.67nm。可以看到圖形出現抖動的圖形, 在設計線寬為 0.2 μm 的區域, 可看到更明顯的抖動。圖 3.5(a)、(b)則是相同的設計圖形, 參數設定改為 center-to-center distance : 19.49nm, line spacing : 19.49nm, 可以看到圖形抖動的情況獲得改善。所以在接下來的電子束微影, center-to-center distance 與 line spacing 使用的參數皆為 19.49nm。

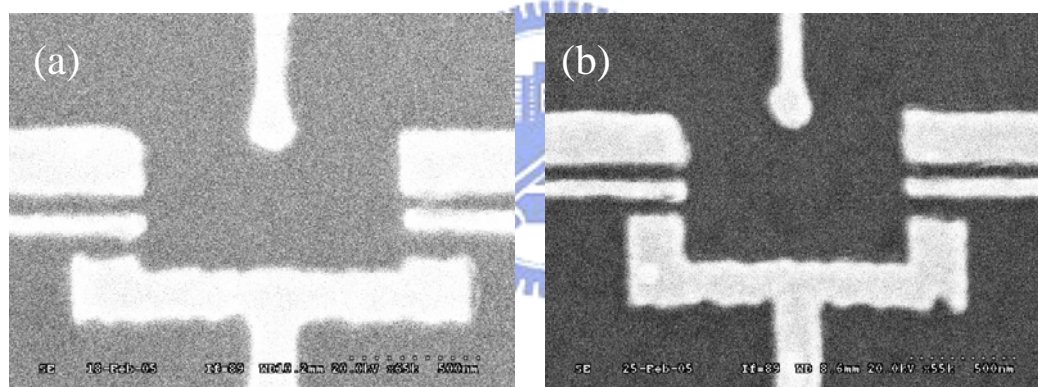


圖 3.4 金屬閘極在掃描式電子顯微鏡下的影像, 參數設定均為 center-to-center distance : 19.49nm, line spacing : 50.67nm。(a)量子點面積 1.0 \times 0.45 μm^2 。(b)量子點面積 1.0 \times 0.6 μm^2 。

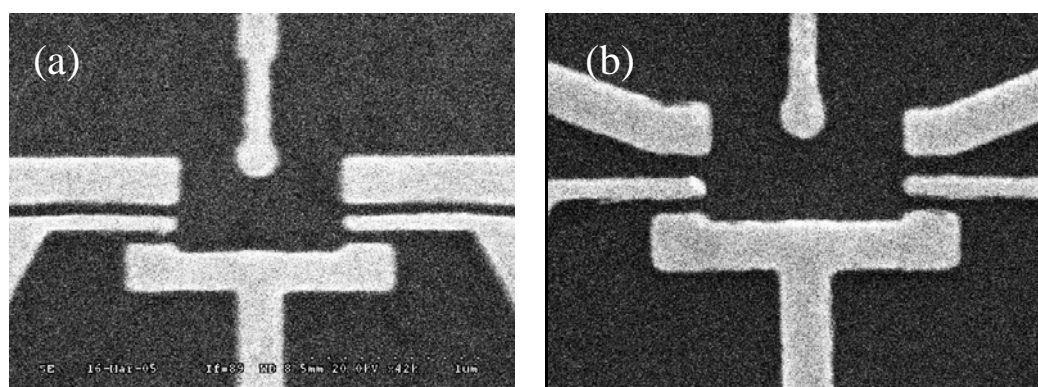


圖 3.5 金屬閘極在掃描式電子顯微鏡下的影像, 參數設定均為 center-to-center distance : 19.49nm, line spacing : 19.49nm。(a)量子點面積 1.0 \times 0.45 μm^2 。(b)量子點面積 1.0 \times 0.6 μm^2 。

圖 3.6 為設定相同的參數所製作的金屬閘極，用掃描式電子顯微鏡拍下的影像，接下來我們會用這些不同形狀的金屬閘極侷限二維電子氣，並量測不同維度之二維電子氣的電性傳輸特性。

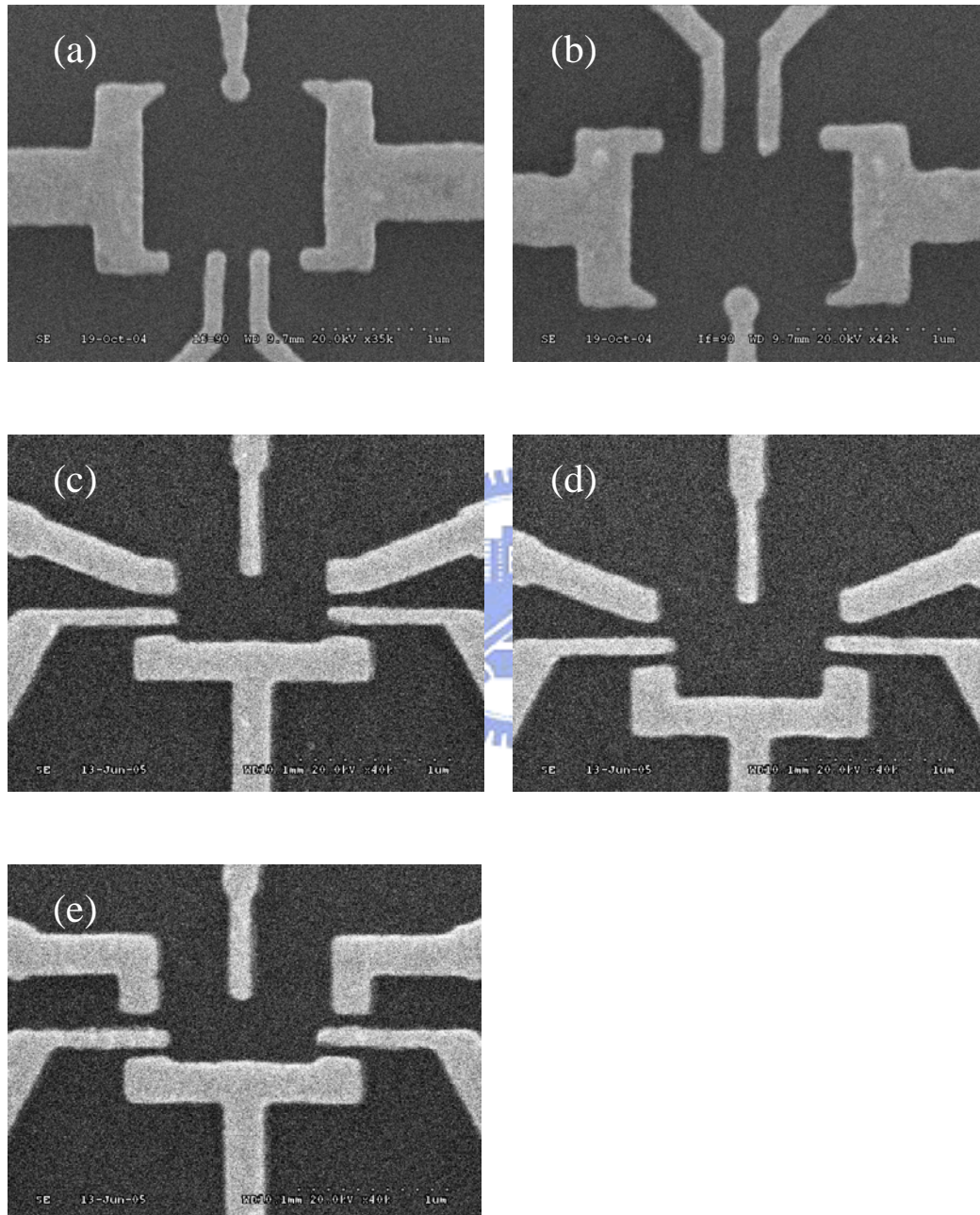


圖 3.6 金屬閘極在掃描式電子顯微鏡下的影像，每個圖形的局域區域的長寬分別為：(a) 量子點面積 $1.36 \times 1.7 \mu\text{m}^2$ ，(b) 量子點面積 $1.65 \times 0.8 \mu\text{m}^2$ ，(c) 量子點面積 $1.0 \times 0.45 \mu\text{m}^2$ ，(d) 量子點面積 $1.0 \times 0.6 \mu\text{m}^2$ ，(e) 量子點面積 $1.0 \times 0.45 \mu\text{m}^2$ 。

3.2 量測系統介紹

我們量測樣品的電阻主要有定電流量測與定電壓源量測兩種電路。為了避免熱效應影響想要量測的量子化效應，我們利用 ^3He 低溫系統使樣品的溫度降到 0.3K。在量測上分為初步量測與樣品量測，在初步量測上，利用兩點與四點電阻量測電路，檢查樣品的歐姆接點好壞與通過平台結構(MESA)的 I-V curve 是否線性，再利用漏電流電路檢查金屬閘極與平台結構(MESA)之間的漏電流是否小於樣品量測所加的訊號大小。確定樣品的初步量測為正常後，我們才會在 0.3K 下做樣品量測。我們通常使用定電流量測與定電壓量測兩種電路的樣品量測，測量樣品的電壓-電流曲線(I-V curve)。我們另外在 ^3He 低溫系統上架設兩條高頻同軸電纜線，可外加交流訊號在金屬閘極上，作為 pumping gate，觀察交流訊號對樣品的電性傳輸影響。以下將說明低溫系統與初步量測和樣品量測電路的電路圖。

3.2.1 低溫系統

我們主要是使用一套 ^3He 低溫系統(^3He cryostat system)，將樣品的溫度降到 0.3K，圖 3.7 為 ^3He 低溫系統的簡圖，以下將簡述 ^3He 低溫系統的工作原理。

- (a)將樣品座鎖在低溫系統上，套上無氧銅套，並將腔體抽真空後，放入氦氣作為交換氣體，供降溫時的熱對流媒介。
- (b)將 ^3He 低溫系統放入液態氮內預冷，使樣品座的溫度降到 77K。再將 ^3He 低溫系統放入液態氮內，使樣品座溫度降到 4.2K 左右。
- (c)利用減壓降溫的原理，我們將 1K pot 的閥門接到機械幫浦上，將液態氮抽取出來，此時樣品座的溫度會降到約 2K 以下。同時將位在 sorb 的溫控器(ITC503)溫度設定為 40K 以上，加熱 sorb，在低溫系統內形成一個溫度梯度，使位於系統上方的 ^3He 氣體經 1K pot 凝結(condense)到 ^3He pot。持續約 40~50 分鐘後，取消 sorb 的加熱，其溫度降低，在 ^3He pot 的 ^3He 液體會逆向揮發，使樣品座的溫度降到 0.3K。

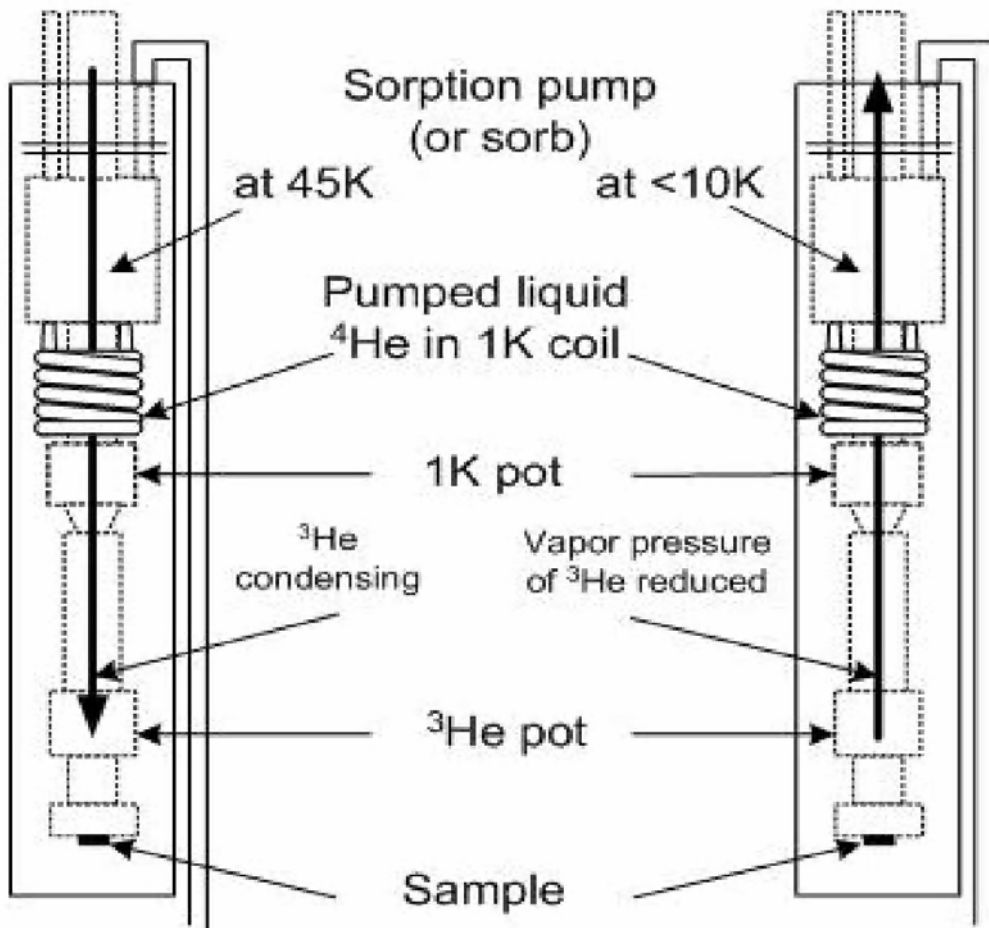


圖 3.7 為 ^3He cryostat system 的工作簡圖。左邊是 ^3He 在向下凝結(condense)於 ^3He pot 的情形。右邊的圖是將 sorb 溫度降低後， ^3He 開始蒸發向上，離開 ^3He pot，如此樣品座的溫度可降到 0.3K。

3.2.2 兩點與四點電阻量測

我們分別在室溫、77K、4.2K 的溫度下，使用兩點量測與四點量測的電路，來檢查樣品的歐姆接點好壞。我們使用 Keithley 220 提供直流電流，Keithley 182 測量電壓(voltage-meter)，來檢測樣品的歐姆接點。以下簡述兩點量測與四點量測的電路的工作原理。圖 3.8 為兩點電阻與四點電阻量測電路的示意圖。

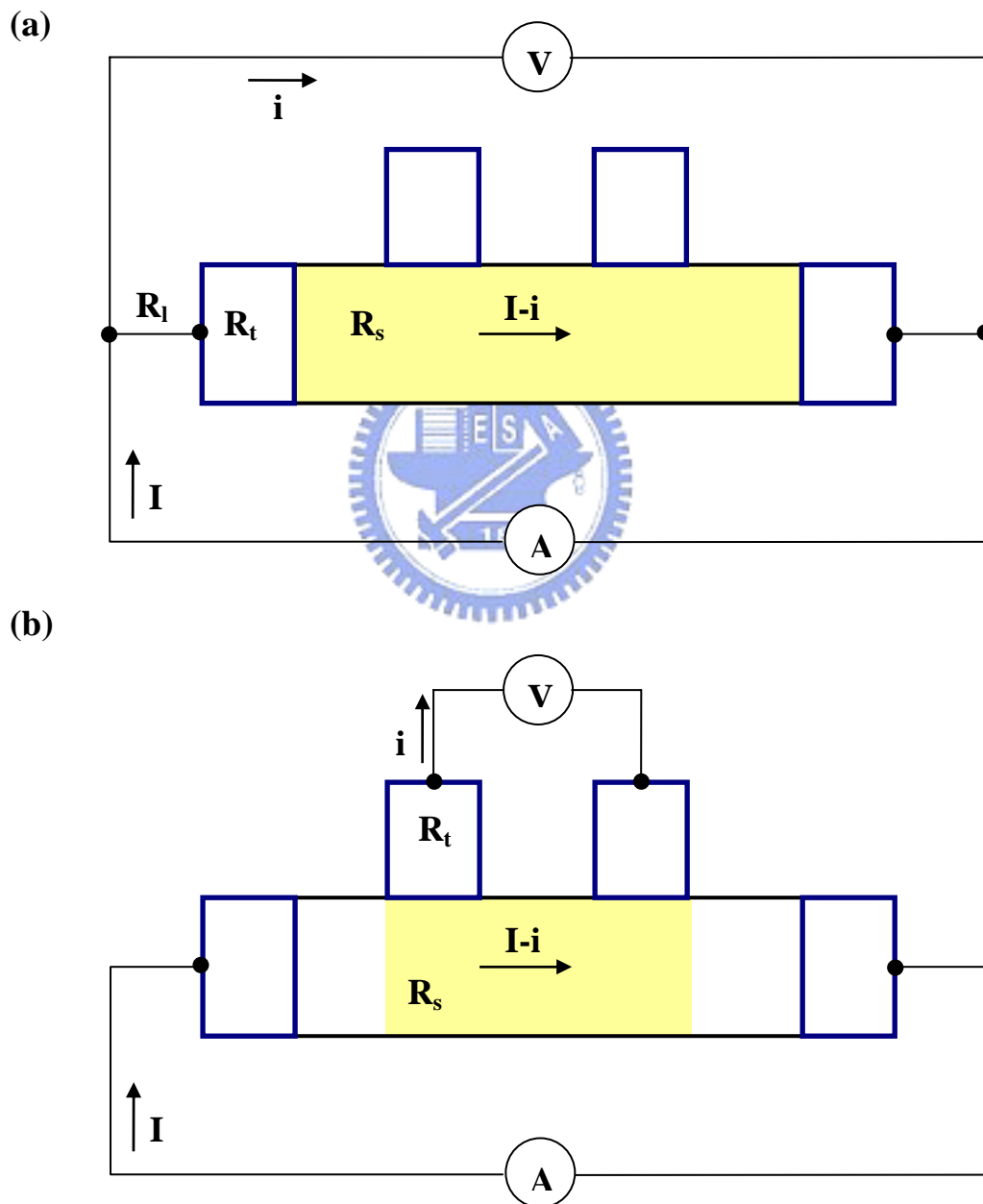


圖 3.8 (a)兩點(two terminal)量測電路圖，(b)四點(four terminal)量測電路圖。 R_s 代表黃色區域的電阻值。

(a)兩點(two terminal)量測

在量測中，我們定義以下參數：

- I：電流源提供的總電流
- i：流經電壓計的電流
- V：電壓計在樣品上測到的電位壓降
- I-i：流經樣品的電流
- R_t ：接點電阻
- R_l ：線電阻
- R_s ：樣品實際的電阻
- R：儀器量測到的樣品電阻

在兩點量測的電路中，電壓與電流的關係可以寫為 $V=(I-i)\times(R_s+2R_t+R_l)$ ，流經電壓計的電流 i 趨近於零，所以 $V=I\times(R_s+2R_t+R_l)$ ，測量得的 $R=V/I=R_s+2R_t+R_l$ 。

(b)四點(four terminal)量測

在四點量測中，電壓與電流的關係為 $V=(I-i)\times R_s+2i\times R_t+2i\times R_l$ ，流經電壓計的電流 i 趨近於零，所以 $V=I\times R_s$ ，測量得的 $R=V/I=R_s$ 。

利用兩點量測電路時，測到的電阻值會包括接點電阻與線電阻，我們可以利用這個特性來檢查歐姆接點的好壞，而四點量測電路亦可同步檢查樣品的片電阻(sheet resistance)是否為線性電阻。

在實驗上，我們所製作的良好歐姆接點，在 77K 的兩點電阻值約數千歐姆，四點量測電阻值約數百歐姆。在 4.2K 的兩點電阻值約數百到數千歐姆，四點量測電阻值約數十到數百歐姆。若歐姆接點的電阻值遠大於數千歐姆，或 IV 曲線展現非線性關係，可能來自不良的歐姆接點，將不利於之後的樣品量測。

3.2.3 漏電流測量(leakage current measurement)

因為我們在樣品表面用蝕刻技術製作平台結構，來定義 2DEG 存在的區域。而且會在金屬閘極上外加負偏壓，來侷限二維電子氣，所以不希望在量測時金屬閘極(metal gate)與平台結構(mesa)下的二維電子氣之間由蝕刻的介面有導通，產生漏電流(leakage current)。我們利用圖 3.9 的電路來檢查樣品的漏電流，將金屬閘極(metal gate)與平台結構(mesa)之間視為一個很大的電阻，外加可調變的電壓源(正偏壓/負偏壓)，用安培計測量通過樣品的電流，此安培計可將測量到的電流值放大並轉換為電壓輸出(ampere per voltage)，通常使用的電流放大倍率為 10^{-9} (10^{-9} amp 的電流訊號會放大為 1V)，我們在量測時，會分別在室溫、77K、4.2K 測量樣品的漏電流大小。

在正常的情況下，當外加正偏壓，正偏壓加到約 0.4V，樣品在 77K 與 4.2K 時的漏電流約為 0.01nA；當外加負偏壓，負電壓加到-1V，樣品在 77K 與 4.2K 時的漏電流為小於 0.01nA。若漏電流大於這個範圍，可能是金屬閘極(metal gate)與平台結構(mesa)下的二維電子氣之間有導通，造成漏電流。漏電流將影響之後的樣品量測，在我們的訊號上造成很大的雜訊，影響量測的準確度。

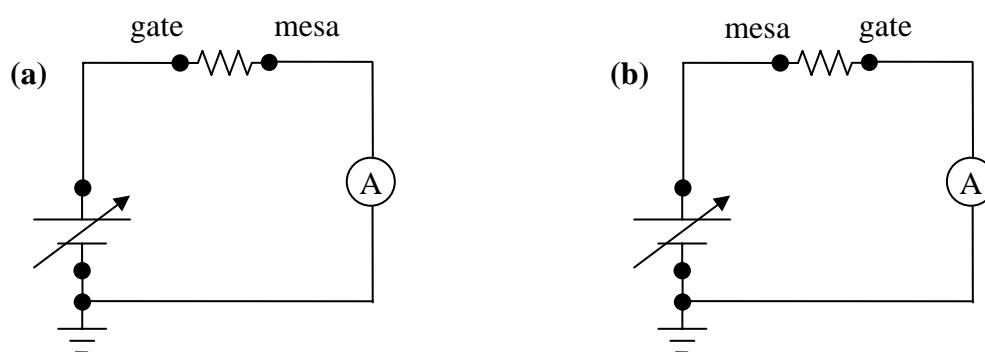


圖 3.9 (a)測量漏電流電路，金屬閘極加正偏壓。(b)測量漏電流電路，金屬閘極加負偏壓。

3.2.4 電性量測

我們利用交流鎖相放大技術(ac lock-in technique)和定電流與定電壓電路來測量樣品的相對的電壓電流關係，並換算為電導值 G ($G=dV/dI$)。定電流電路主要是來測量當測量的電阻值小於幾十 $k\Omega$ 時的電阻，我們可以給予一個 nA 大小的固定電流，測量跨過元件的電位壓降並換算為電阻。而當測量電阻值大於幾十 $k\Omega$ 時(例如在做封閉式量子點系統的電流電壓量測)，則利用定電壓電路來測量樣品的電阻。另外在儀器設置上，我們可以將一個高頻交流訊號利用同軸電纜線傳送到元件的金屬閘極上，作為 pumping gate，期望研究電子在交流電場中的行為。

1. 定電流源四點量測(common-current bias measurement)

使用 EG & G7265 鎖相放大器(lock-in amplifier)輸出一個交流電壓 ($V_{rms}=1V$)，經過串連一個 $200M\Omega$ 的電阻，轉變為 $I_{rms}=5nA$ 的交流電流，接到樣品上的源極(source)與汲極(drain)，作為四點量測的電流源。再將跨過金屬閘極的任兩個良好歐姆接點接到 SR560 電壓前置放大器(pre-amplifier)，測量並放大兩個歐姆接點之間的電位壓降訊號，再迴授到 EG & G7265 鎖相放大器讀取電壓值，並做鎖頻鎖相的動作。圖 3.10 為定電流源四點量測電路的簡圖。

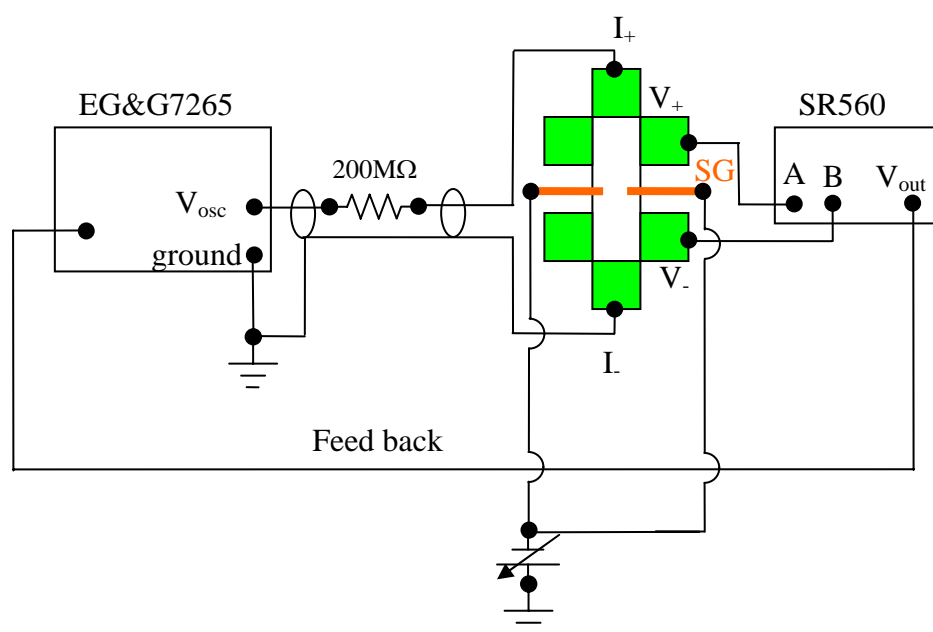


圖 3.10 定電流源四點量測電路圖。

2. 定電壓源量測(common-voltage bias measurement)

我們在實驗上要測量 Coulomb Blockade Oscillation，是使用定電壓電路來做測量，而不是使用定電流電路，主要是因為在 CB regime 中，當電子進出封閉式量子點時，才会有電流通過，當電子沒有進出封閉式量子點時，是沒有電流通過的。所以在量測上不適合使用定電流電路去測量 CB Oscillation，

同樣利用 EG&G7265 鎖相放大器(lock-in amplifier)輸出一個交流電壓(V_{rms})作為電壓源，並串連一 DL1211 電流前置放大器來測量通過樣品的電流，將測量到的電流值放大並轉換為電壓輸出(ampere per voltage)，再迴授到 EG&G7265 鎖相放大器用來做頻率與相位鎖定的動作。圖 3.11 為定電壓源量測電路的簡圖。

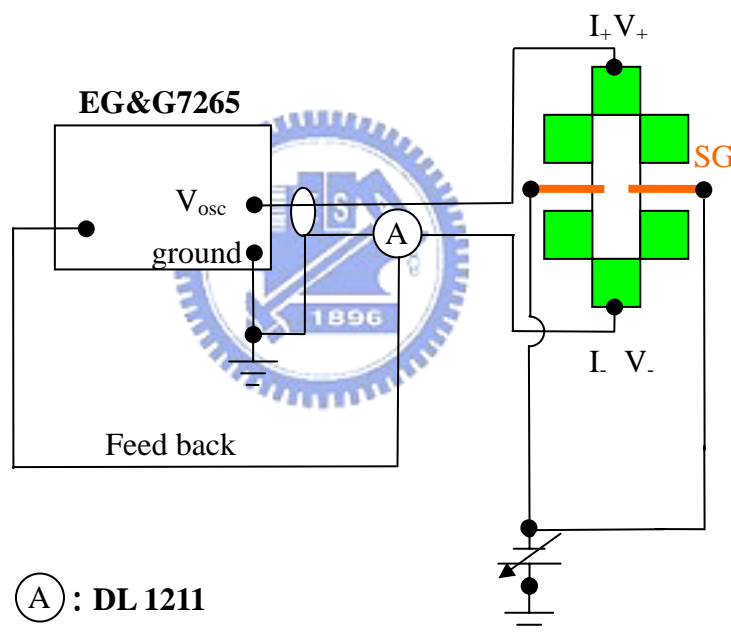


圖 3.11 定電壓源量測電路的簡圖。

3. 抽運閘極(pumping gate)之作用

在製作的元件中，有兩支金屬閘極，標示在圖 3.12 中，我們將這兩支稱為抽運閘極(pumping gate)。除了可外加偏壓造成量子點的位能障，也可外加 DC 直流或 AC 交流訊號，作為抽運閘極(pumping gate)的作用。目前在量測電路中，pumping gate 可用於以下兩種作用：

- (1) 測量庫侖阻絕效應(Coulomb Blockade Oscillation)時，可外加 DC 直流電壓訊號，當作調變量子點內之電位能的閘極。
- (2) 測量 AC 抽運電流量測的電路中，作為抽運閘極(pumping gate)，我們可以將 AC 訊號外加到閘極上，觀察電子在一個隨時變的電場中的傳輸現象。

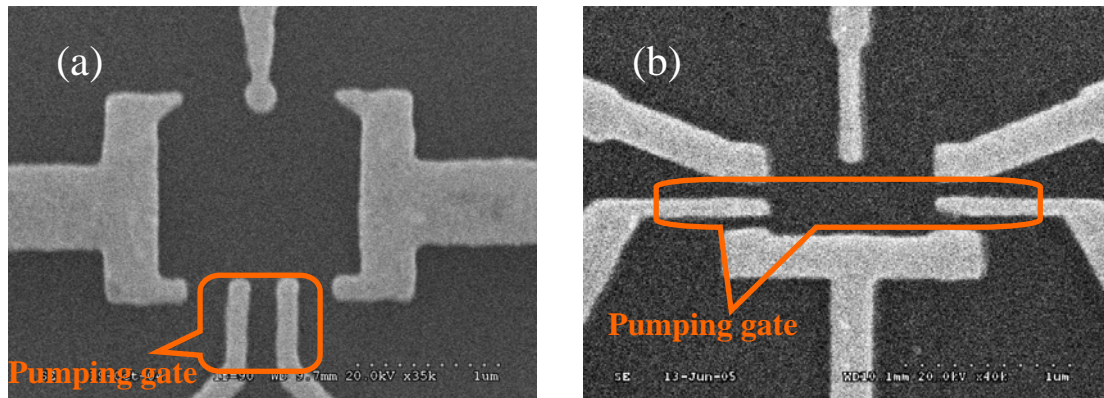


圖 3.12 抽運閘極(pumping gate)的標示圖。圖(a)和(b)分別為不同幾何形狀的量子點結構。

4. 同軸電纜線(Semi-Rigid Coaxial Cable)的設置

我們希望在測量樣品時，可以外加 AC 交流電壓訊號，所以在低溫系統上另外設置了兩條同軸電纜線，為 Micro-coax 公司生產，型號為 UT-020-SS-SS，直徑 0.020 inch 的 Semi-Rigid Coaxial Cable。在裝置同軸電纜線時，我們在上面做了幾個散熱裝置(heat sink)，避免外界的熱源(300K)直接藉由它熱傳導到達低溫系統內，而使樣品座的溫度無法下降。

另外為了檢查輸入的 AC 交流訊號，在經過同軸電纜線到達樣品台後，輸入訊號的衰減值。我們利用 E8257C 高頻訊號產生器輸出不同頻率的 AC 交流訊號，讓訊號經過低溫系統內的同軸電纜線後，再由頻譜分析儀(spectrum analyzer, SA)測量交流訊號大小。圖 3.13 為測量輸入訊號衰減值電路的簡圖。而測量的衰減值數據列於表 3.1 與表 3.2，並將高頻訊號產生器的輸出頻率對測量的衰減值做圖，為圖 4.14。其中我們在 E8257C 高頻訊號產生器與頻譜分析儀所使用的單位是 dBm (dBm 為功率的單位，定義為：

$$1dBm = 10 \times \log\left(\frac{P_{out}}{1mW}\right)。$$

從測量的數據，可以看到當 AC 交流訊號的頻率小於約 600MHz 的時候，樣品台位置的訊號衰減值均小於 20dBm。所以我們所設置的同軸電纜線在交流訊號的頻率小於 600MHz 時，不同頻率的訊號衰減值相差不大。當交流訊號的頻率開始大於 600MHz，訊號衰減值也會跟著衰減越多。

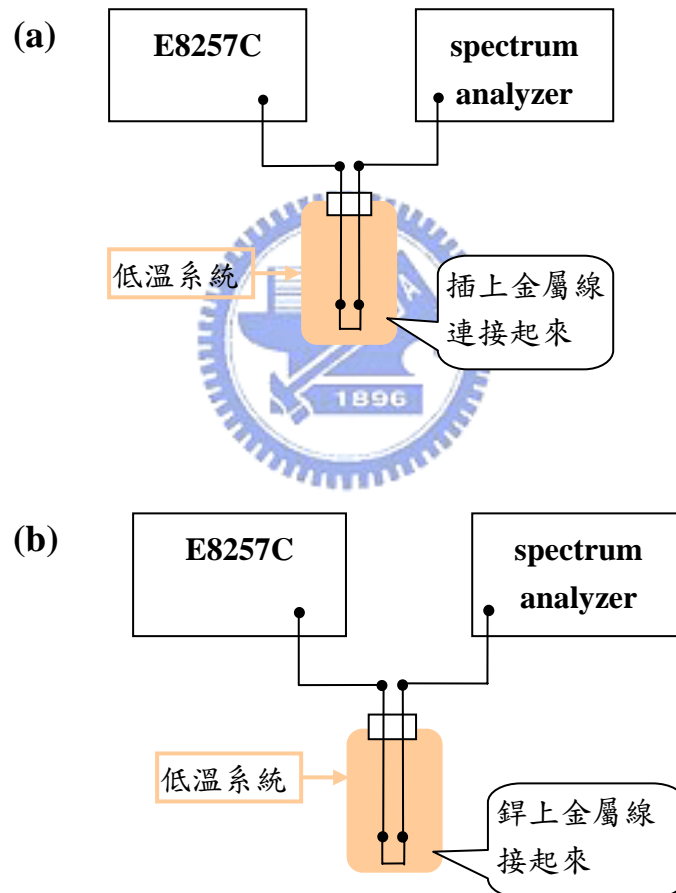


圖 3.13 (a)在樣品座插上金屬線連接起來，測量交流訊號經過整個低溫系統的衰減值。
 (b)在樣品座銲上金屬線連接起來，測量交流訊號經過整個低溫系統的衰減值。
 低溫系統內同軸電纜線的長度約為 3 米。

Frequency(MHz)	spectrum analyzer (dBm)	Lose(dBm)	At Holder(dBm)	At Holder(Volt)
100	-33	-43	-21.5	0.018814
200	-33	-43	-21.5	0.018814
300	-32	-42	-21	0.019929
400	-30	-40	-20	0.022361
500	-28	-38	-19	0.018814
600	-33	-43	-21.5	0.018814
700	-40	-50	-25	0.012574
800	-45	-55	-27.5	0.009429
900	-48	-58	-29	0.007934
950	-49	-59	-29.5	0.00749
1000	-52	-62	-31	0.006302
1100	-63	-73	-36.5	0.003346

表 3.1 頻譜分析儀測量圖 3.13(a)電路的訊號衰減值。在 50Ω 匹配的系統內，Source 端輸出(-10dBm) 相對於電壓 Vrms 約 0.071volt。

Frequency(MHz)	spectrum analyzer (dBm)	Lose(dBm)	At Holder(dBm)	At Holder(Volt)
100	-21	-31	-15.5	0.037539
200	-20	-30	-15	0.039764
300	-23	-33	-16.5	0.033457
400	-31	-41	-20.5	0.02111
500	-35	-45	-22.5	0.016768
600	-39	-49	-24.5	0.013319
700	-42	-52	-26	0.011207
800	-45	-55	-27.5	0.009429
900	-49	-59	-29.5	0.00749
1000	-64	-74	-37	0.003159
1100	-64	-89	-44.5	0.001332

表 3.2 頻譜分析儀測量圖 3.13(b)電路的訊號衰減值。

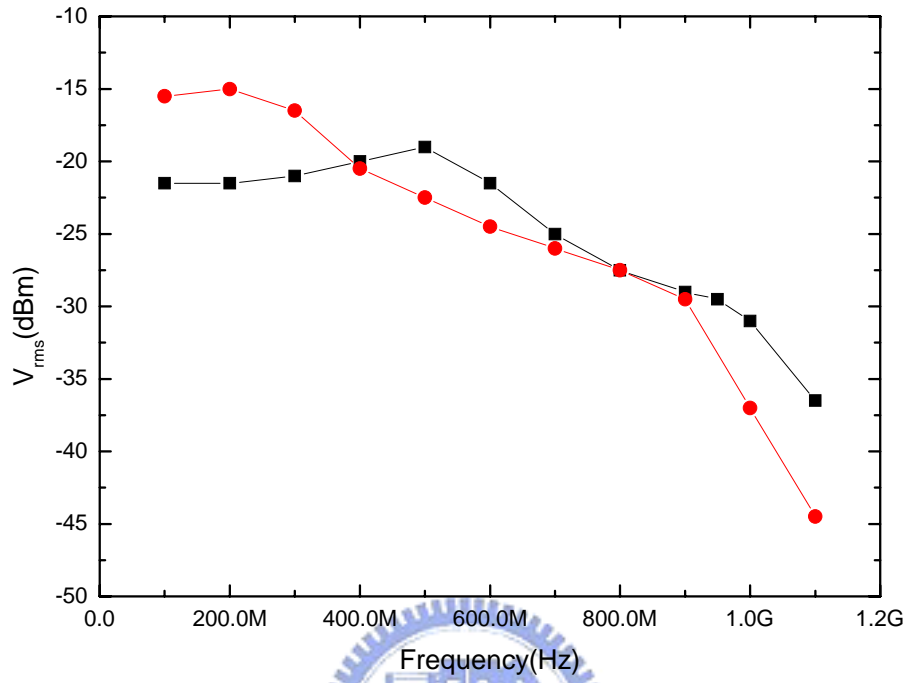


圖 3.14 E8257C 訊號產生器的輸出頻率對頻譜分析儀所測量的訊號衰減值之關係圖。Y 軸為 Spectrum analyzer 所測量的數據(圖中方形符號曲線為表 3.1 的數據, 圓形符號曲線為表 3.2 的數據), 單位為 dBm。