

第一章 緒論

介觀系統的電性傳輸研究，已有一段時間的發展，從早期的單對量子尖端結構來觀察量子化電導，隨著實驗技術以及理論探討上的成熟，對於介觀系統上的量子傳輸研究，更是多了一些有趣且實驗上可以達成的課題。

在介觀系統的彈道傳輸範疇中，電子傳輸有一重要特性，便是電導量子化— $G = N(2e^2/h)$ ，即電導是以 $2e^2/h$ 的整數倍在增減，量子尖端接觸(quantum point contact, QPC)是在實驗上觀察電導量子化最清楚也最明顯的方式。早期在 1988 年，Van Wees 與 Wharam 等人就首先利用微影技術在 GaAs/AlGaAs 的異質界面結構樣品上製作一對分離閘極 (split gate)，在閘極上加負偏壓使樣品底下的二維電子氣形成 QPC，改變閘極負偏壓可控制 QPC 的寬度，進而調變在寬度中被 E_F 所佔據的次能帶數多寡，在低溫下量測 QPC 的電導，發現了量子化電導現象【1】。

1989 年，L.P.Kouwenhoven 以及 B.J.Van Wees 等研究團隊探討串聯量子尖端接觸的電性傳輸形式【2】，其串聯量子尖端接觸的傳輸形式可分為絕熱傳輸範疇 (adiabatic transport regime) 以及歐姆傳輸範疇 (Ohmic transport regime)，是古典電阻串聯形式所不能解釋的。在 90 年初期，關於串聯形式的 QPC 已被認為研究完整【3】【4】【5】，但我們對於串聯 QPC 的量測，又得到了一些之前所未有的新發現。實驗上，我們利用電子束微影去製作不同結構的金屬閘極，一為串聯形式的量子尖端接觸 (quantum point contact in series)，各對 QPC 相距不同的距離，探討不同距離下，各對在不同偏域下展現的整體傳輸變化；實驗上，其中一對 QPC 固定在某寬度 (某個特定的子能帶上) 下，連續改變另外一對 QPC 的寬度，觀察量子化電導的對應改變。我們發現，隨著距離的改變，電子的傳輸特性也會改變，當兩對 QPC 距離很近時 ($<1.0\mu m$)，電子表現出的傳輸特性是屬於絕熱傳輸，且會出現共振結構；隨著兩者間距離漸拉大，電子傳輸特性漸偏向於歐姆傳輸，串聯的 QPC 可視為兩對獨立的 QPC 而不互相影響。除此之外，我們亦發現，當 QPC 距離近且其中一對的 n 值限制在 <1 的地方，此時量子化電導便不存在。

除了串聯量子尖端接觸結構之外，量子抽運傳輸 (quantum pumping) 的研究也是

一門有趣的課題，早期，Thouless 認為在一維系統即使不加偏壓下控制一隨時緩變的電位障，將產生電子傳輸的抽運機制，形成電流【6】。1999 年 Marcus 的實驗小組藉由金屬閘極侷域出量子點，並藉由鄰近一對金屬閘極加入有相位差的交流高頻（1~16MHz）訊號，使得電子進出的位障產生週期性的振盪，始觀察到抽運電流（pumping current）【7】。

量測抽運電流，我們所使用的樣品結構為雙層閘極結構，這結構的初始構想是希望可以以此結構產生抽運電流，並與 Dr.C.S.Chu 的理論預測作比較【8】【9】【10】。雙層閘極結構第一層做一對分離閘極（split gate），分離閘極上另有一對指狀閘極（finger gate），兩結構中間隔著用電子阻劑形成的絕緣層，使分離閘極跟指狀閘極可以獨立控制所加的偏壓大小。在量測抽運電流之前，亦有做一些基本的量測，在單一對分離閘極上，我們觀察到了量子化平台，並且存在 0.7 結構（0.7structure）【11】，我們也做了溫度變化量測，觀察溫度對量子化平台的影響且發現 0.7 結構隨著溫度增加而更趨明顯。再來我們固定分離閘極上的窄通道寬度，並對指狀閘極加以 DC 負偏壓，觀察指狀閘極對窄通道寬度的影響，與 Dr.C.T.Liang 等人發表的結果做比較【12】。

至於抽運電流量測，我們先固定分離閘極在某一特定的寬度上，在兩支指狀閘極上加一同步且有一相位差的高頻（MHz 以上）訊號。我們採用低頻 AC 量測來量樣品兩邊的電位壓降，其量測主要原理是在外加的高頻訊號中耦合（couple）一低頻交流訊號（91Hz），因此原高頻所產生的 DC 抽運電流也耦合此低頻 AC 訊號，而形成穩定 AC 訊號，再以鎖相放大器擷取此訊號，用 AC 量測的好處是可以避免在量測中造成額外的訊號摻雜，以致難以解析真正所量得的訊號。

在抽運電流量測上，我們發現了 V_{DC} 震盪跟兩高頻相位差成似正弦曲線的關係，隨著頻率越高， V_{DC} 震盪的幅度越大。未來，我們可往更高頻的 AC 訊號去做量測，並做一些量測上的改變，觀察電子在窄通道傳輸的影響，並且也可利用指狀閘極形成量子點，量測 Coulomb charging oscillation。

本論文的架構如下：

第一章 緒論

簡單介紹本論文的架構。

第二章 GaAs/AlGaAs 二維電子氣系統&理論介紹

介紹二維電子氣系統，二維電子氣的特徵物理量 (n_s 、 μ)。量子化電導的形成以及串聯 QPC 跟抽運電流 (pumping current) 的原理介紹。

第三章 元件製作

說明元件的製作流程，製作的技術介紹，以及低溫系統的量測架構。

第四章 實驗數據分析

介紹量測樣品的特徵物理量 (n_s 、 μ)，並分析量測結果：

1. 窄通道寬度跟平台數目多寡的關係。
2. 溫度效應對量子化平台結構的影響。
3. 串聯量子尖端接觸的電性傳輸。
4. 量子抽運電流。



第五章 結論與展望

總結目前所做的成果，並提出一些未來的研究方向。