

國立交通大學

機械工程研究所

碩士論文

溶液性質與噴墨設備對
衛星液滴的改善之影響

The effects of the solution properties and ink-jet printing
apparatus on the improvement of the satellite droplet

研究生：李悅慈

指導教授：陳仁浩 教授

中華民國九十五年六月

溶液性質與噴墨設備對衛星液滴的改善之影響

The effects of the solution properties and ink-jet printing
apparatus on the improvement of the satellite droplet

研究生：李悅慈

Student : Yueh-Tzu Lee

指導教授：陳仁浩

Advisor : Ren-Haw Chen

國立交通大學
機械工程學系
碩士論文



Submitted to Institute of Mechanical Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Mechanical Engineering

June 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年六月

溶液性質與噴墨設備對衛星液滴之影響

研究生：李悅慈

指導教授：陳仁浩 教授

國立交通大學機械工程學系

摘要

在現今工業製造技術越來越趨向自動化、微小化、減少成本、降低環境污染的趨勢下，噴墨列印技術佔有很大的優勢，所以對於現有工業製造的程序，成為很重要且極具吸引力的代替技術。噴墨技術製品品質的好壞可由本身材料與機器的精密度來決定，本研究藉由改良噴墨設備以減少衛星液滴的產生。

本研究實驗上所採取的噴墨頭其驅動方式為擠壓收縮管型，利用這個原理將墨滴噴出，之後在噴墨頭下方裝上一對擷取系統，當墨滴滴下時，電磁閥隨即驅動，利用擷取衛星液滴的方法，即可減少原本產生的零星液滴。

研究中我們使用高階數位攝影機來觀察液滴滴下的情形，並且讓控制系統來監控且連結噴墨系統與擷取系統。研究結果顯示，黏度小衛星液滴產生的數量越多；當改變驅動參數可以控制使黏度較高的溶液只產生主液滴，但是對於黏度太小的溶液，還是無法藉驅動參數之改變以避免衛星液滴顯示，此時，必須適當的擷取系統來隔絕衛星液滴。由實驗結果顯示，本研究設計的裝置可成功的擷取衛星液滴，對於噴墨的品質有一定程度的改善。


The Simulation of Temperature and Stress on the Micro Hot-Embossing Process

Student : Hsu-Chang Hsu

Advisor : Dr. Ren-Haw Chen

Institute of Mechanical Engineering
National Chiao Tung University

Abstract



Industrial manufacturing technology is tending towards automation, miniaturization, low cost and reduced environmental pollution these days. Inkjet printing offers several advantages over manufacturing technology, and thus has become a very important and attractive replacement technology. Product quality for inkjet printing can be determined by the materials themselves and instrument accuracy.

This thesis aims to reduce the satellite drop by improving the apparatus of the bend-mode inkjet printing experiment. The experiment conducted in this study used the piezoelectric principle to crimp the drop. Then, The cut-off system was then designed and placed beneath the inkjet printing system. When the drop fell the method of cutting the satellite drop was performed to decrease it.

The study employs high-speed CCD video camera to observe falling drops. Additionally the control system is allowed to monitor and link the inkjet printing and cut-off system. Experimental results demonstrate production of the satellite drop increase with reducing viscosity of the satellite drop. The driven parameter can control the increase of viscosity in the solution producing the main drop. However, in terms of the less-viscosity solution the satellite drop cannot be avoided by changing the parameter being driven. Under the circumstances, an appropriate

cut-off system can be used to cut off satellite drop. Experimental results show that the instrument designed in this study can successfully cut off satellite drop, thus significantly improving the quality of inkjet printing.



致謝

兩年的研究生生活首先要感謝指導教授陳仁浩老師在這兩年來的諄諄教誨，在研究方面對於學生許多不懂的事物提供許多建議與指導，使得學生對於實驗方面得以順利完成，更重要的是體認到對於如何解決一件事物該有的態度與看事情的方法，在此由衷的感謝指導教授耐心的指教與講解。

在實驗方面感謝交大機械研究所林振德實驗室商借高階數位攝影機以及李偉明學弟不辭辛勞的協助拍攝，感謝工研院的鄒淑貞技術員對於使用表面張力儀以及溶液配置上面提供許多寶貴的意見，感謝機械工廠的師傅對於儀器給予許多的幫助以及盧名初學長在儀器上面的幫忙，因為有了這些，本實驗才得以完成。

感謝實驗室裡的所有成員，特別感謝劉安誠學長在實驗上提供許多方向上的建議與改進，針對儀器設計上許多不懂的地方，給予指導以及寶貴的意見經驗，對於實驗遇到瓶頸，針對問題給予正確的方向，使得問題得以解決。也感謝實驗室的每個成員，振家、春貴同學，以及亞平、子敬、正剛、智翔學弟，謝謝他們陪伴我渡過研究所的二年，希望你們都可以順利的達成自己的目標。

最後還要謝謝交大材料所郭正次實驗室的學長姊以及崇獻學長、陳盈君與林宜學同學，雖然各自在不同的領域，但是卻不忘給予彼此關心問候，在偶有低潮之時總能從你們獲得情緒上的抒發，鼓起勇氣在出發。感謝我的朋友們，縱然大家都朝著不同的方向努力，但是總是可以互相關心近況，帶給彼此歡樂及多采多姿的生活。

僅以此篇論文獻給家裡的每一個成員，由衷的感謝你們辛苦的栽培與無怨無悔的包容，在我的求學過程中給予支持與鼓勵，使我能專注學業而無後顧之憂。

目錄

摘要.....	I
Abstract.....	II
致謝.....	IV
目錄.....	V
表目錄.....	VII
圖目錄.....	VIII
第一章 序論.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 文獻回顧.....	2
1.3 研究動機.....	3
1.4 研究方法.....	3
第二章 實驗原理與噴墨現象.....	9
2.1 噴墨技術種類.....	9
2.1.1 連續型噴墨.....	9
2.1.2 控制產生型噴墨.....	10
2.2 噴墨現象.....	12
2.2.1 液滴生成.....	12
2.2.2 主液滴分離.....	12
2.2.3 衛星液滴的生成.....	12
第三章 實驗儀器與步驟.....	21
3.1 噴頭及噴液選擇.....	21
3.1.1 噴頭.....	21
3.1.2 墨水.....	21
3.2 實驗儀器製備.....	25
3.3 實驗步驟.....	26
第四章 結果與討論.....	40
4.1 擷取液滴前.....	40

4.1.1 噴頭尺寸對噴墨特性之影響.....	40
4.1.2 墨水黏度對噴墨特性的影響.....	40
4.1.3 表面張力對噴墨特性的影響.....	41
4.2 擷取液滴.....	42
第五章 結論與建議	54
5.1 結論.....	54
5.2 未來展望.....	55
參考文獻.....	56



表目錄

表一 實驗用噴頭之規格	21
表二 實驗墨水材料之特性	23
表三 旋轉塗佈法與噴墨製程之比較	27



圖目錄

圖 1-1 dripping.....	5
圖 1-2 jetting.....	5
圖 1-3 no break up	6
圖 1-4 產生一個液滴	6
圖 1-5 產生衛星液滴	7
圖 1-6 連續產生多個液滴	7
圖 1-7 離心技術設備	7
圖 1-8 離心技術所產生三種不同形式液滴.....	8
圖 2-1 噴墨技術的分類.....	13
圖 2-2 雙向偏移噴墨系統.....	14
圖 2-3 多向偏移噴墨系統.....	14
圖 2-4 頂部熱氣泡噴墨技術.....	15
圖 2-5 側邊熱氣泡噴墨技術.....	15
圖 2-6 彎曲型壓電陶瓷噴墨技術.....	16
圖 2-7 推擠型壓電陶瓷噴墨技術.....	16
圖 2-8 剪切型壓電陶瓷噴墨技術.....	17
圖 2-9 液滴生成圖	18
圖 2-10 液滴生成圖(c)(d).....	19
圖 2-11 液滴生成圖(e)(f).....	20
圖 3-1 噴頭的剖面圖	27
圖 3-2 PLED 結構圖	28
圖 3-3 PLED 發光過程	28
圖 3-4 共軛高分子噴墨情形	29
圖 3-5 旋轉黏度計	29
圖 3-6 表面張力儀	30
圖 3-7 儀器設計圖(A).....	31
圖 3-8 儀器設計圖(B).....	31

圖 3-9 儀器設計圖(C).....	32
圖 3-10 儀器設計圖(D).....	32
圖 3-11 儀器設計圖(E).....	33
圖 3-12 儀器設計圖(F).....	33
圖 3-13 儀器設計圖(G).....	34
圖 3-14 儀器設計圖(H).....	34
圖 3-15 儀器設計圖(H).....	35
圖 3-16 儀器實物圖	36
圖 3-17 儀器示意圖	36
圖 3-18 擠壓噴管近照圖	37
圖 3-19 改善擠壓噴頭之形狀	37
圖 3-20 加裝擷取系統後的儀器	38
圖 3-21 電路示意圖	38
圖 3-22 Omron HC5X-A.....	39
圖 3-23 X-Stream XS-4.....	39
圖 4-1 溶液 D 噴頭一	44
圖 4-2 溶液 D 噴頭二	44
圖 4-3 溶液 D 噴頭三	45
圖 4-4 溶液 D 噴頭四	45
圖 4-5 溶液 D 噴頭二噴出主液滴	46
圖 4-6 溶液 D 噴頭三噴出主液滴	46
圖 4-7 溶液 D 噴頭四噴出主液滴	47
圖 4-8 溶液 C 噴頭一相同驅動參數	47
圖 4-9 溶液 B 噴頭一相同驅動參數	48
圖 4-10 溶液 A 噴頭一相同驅動參數	48
圖 4-11 溶液 C 噴頭一噴出主液滴	49
圖 4-12 溶液 B 噴頭一噴出一個主液滴一個衛星液滴	49
圖 4-13 溶液 A 噴頭一噴出衛星液滴	50
圖 4-14 溶液 E 噴頭一相同參數.....	50

圖 4-15 溶液 F 噴頭一相同參數.....	51
圖 4-16 溶液 G 噴頭一相同參數.....	51
圖 4-17 擷取裝置在頂端.....	52
圖 4-18 溶液 A 擷取液滴之後.....	52
圖 4-19 溶液 B 擷取液滴後.....	53



第一章 序論

1.1 研究背景

噴墨在製程上面有很多的好處，例如降低成本、減少列印的噪音、而且是一個更簡單、更輕的、更便宜的噴墨儀器[1]，所以被用來使用在工業方面的許多用途，例如：有機發光二極體(Organic Light Emitting Diodes ;OLED)[2, 3]、高分子發光二極體(Polymer Light Emitting Diodes ;PLED)[4, 5]、高分子電子設備[6, 7]，[8]、奈米探管的催化劑[9]、DNA 的分析[10, 11]和其他生物分子[12]以及其他應用等等[13, 14]。

噴墨製程現今最常被應用在製作平面顯示器，尤其最是 PLED 上。雖然 PLED 也可以使用傳統的旋轉塗佈的方法來製作，但是這只限於單一顏色的製作，我們若使用噴墨列印的技術可以直接將紅(R)、藍(B)、綠(G)噴在我們所需要的地方上，且製程上，噴墨列印的技術比傳統的旋轉塗佈更為方便且經濟[15, 16]。

目前在印刷電路板上製作配線的過程極為複雜，需要經過微影蝕刻製程[17]，最後才會在基板上出現我們想要的配線，且目前的微影技術已經到達線寬的極限，無法再提高。但若使用噴墨列印技術來噴金屬粒子將可以克服這個問題，而且不需要使用微影製程和蝕刻製程就可以形成配線的圖案，這樣即可以簡化製程的步驟。若使用之前傳統的技術來製作配線，當配線的形狀改變時則我們也必須改變微影製程所使用的光罩，這樣不止會增加光罩製作的時間和成本，連印刷電路板的種類或是生產線都必須要改變。相對之下，使用噴墨列印技術，不需做生產線的改變和元件的準備，只要將 CAD 資料輸入噴墨列印裝置，就可以達到改變配線圖案的目的[18]。

由以上的敘述可以知道噴墨製程具有自動化程度高、材料利用率高、製程步驟減少、成本降低及降低對環境的傷害等優點，且噴墨列印為非接觸式，更適合應用在非平面的基材。此外，若是要製作三維的微結構，更是噴墨列印技術的獨特應用領域[19]。

1.2 文獻回顧

對於噴墨液滴的理論與實驗研究上，最早是在 1878 年，Lord Rayleigh 在實驗上使用一個初始為靜止狀態的圓柱非黏滯性液體，給予施加週期性的微擾振動，圓柱液滴受到這微擾以及表面張力的作用下，變成許多微小液滴，而之後 Lord Rayleigh 便應用這個結果使噴嘴口噴出液滴[20]。Bruce(1976)在實驗方面以水或者其他高分子溶液來進行噴墨的實驗，探討不同溶液對於液滴的速度、分離長度與穩定性的影響，實驗結果發現高分子溶液的穩定性比較差，並且與高分子溶液的濃度成反比 [21]。

Pimbley 和 Lee(1977)利用實驗和理論來探討噴出的液滴所產生的衛星液滴的形成和噴墨的行為，在不同的實驗數據、條件操作之下，由閃頻觀測器(stroboscope)去觀察量測衛星液滴斷裂的距離，並且可以發現，當波長為 5 到 6.5 倍噴口直徑大小時，可以減少衛星液滴的形成 [22]。

Osman(2002)藉由細微觀察發現一開始液滴的形成，可以分成三個部分，分別為 dripping，一次只有產生一次的液滴，如圖 1-1;jetting，產生連續的液滴，如圖 1-2 和 no break，沒有液滴產生，如圖 1-3。而如果是形成一顆一顆液滴的話，又可分成三個不同的行為，分別為 (a)Main drop 如圖 1-4、(b)Main drop and satellite drop 如圖 1-5、(c) drops 如圖 1-6，而會影響這些行為的參數為 Reynolds number、capillary number 和 gravitational Bond number，而這些也都可以用數值計算去證明出來[23]。

Roy 和 Jeffrey(2004)利用在黏性液體裡加入懸浮的膠質粒子來做實驗，分別加入不同比例的粒子去觀察所噴出的液滴，且用不同的直徑的噴頭以調查噴出時所產生的變化。而由這裡可以觀察液滴從 dripping 到 jetting 轉變的過程，慢慢增加粒子的比例可以發現會有衛星液滴的產生[24]，[25]。

Heather 和 Graham 發現在黏彈性流體裡面加入高分子會產生很大的影響，並且很多研究者使用一維的的模組去研究液滴產生的動力

行為[26]，[27]，[28]，並且 Wilkes 和 Ambravaneswaran 也使用有限元素法去分析液滴形成與之後破裂的情形[29]，[30]，實驗發現因為加入高分子所以導致液體黏度變黏，所以驅動的電壓也要比較大，並且液滴會先斷裂之後再形成主液滴，高分子的含量越多，主液滴的速度越慢[31]。

Stefan Haeberle 等人開發了一個新的離心技術方法，如圖 1-7，可以再油質裡連續的產生一連串的液滴，藉由改變結構的幾何形狀、轉速、流體的特性可以影響其所流出的是單一分散的乳狀液或分割流、液滴的尺寸和所製造出來液滴的頻率，這裡做了三種不同的結構，可分成(a)isolated droplets、(b)squeezed droplets(c)segmented flow，如圖 1-8，這三種形式，最重要的就是可以得到連續流出的液滴，而且這裡也證實兩相流的可能性 [32]。

1.3 研究動機

現今無論在圖像列印、微機電製程、光學組件、平面顯示器等各方面應用的需求，由於噴墨製程具有許多優點和很大的發展性，將可能成為這些應用的新一代技術的關鍵，因此更加的改善噴墨的品質，以建構出完整的噴墨製程技術乃是相當重要的。而會影響噴墨的品質的因數有許多，包括了噴印速度、墨水品質、墨水大小、噴墨控制和衛星液滴的多寡等，其中衛星液滴佔了很重要的一部份，因此本研究特別針對衛星液滴的產生以及防止對策來進行探討。

1.4 研究方法

本研究擬發展一種瞬間擷取液滴的方法，其目的是要減少形成衛星液滴。此方法是利用電磁閥特殊的電學-機械特性，給予一偏電壓，則電磁閥會形成一瞬間的力，而噴管的另一面使用平板擋住，使得電磁閥擠壓噴管，即可產生液滴。液滴的產生可由電磁閥擠壓的體積與力的大小來控制，若產生衛星液滴，則使用加裝的兩個電磁閥，通電後，使電磁閥的驅動軸結合在一起，以擷取主液滴之後的殘餘液滴使

得衛星液滴減少。研究終將設計、架構一個噴墨實驗裝置，包括噴墨頭單元、噴液擷取單元、液滴行為觀察單元等。藉由精確的噴液觀察，以適當的調節噴液擷取單元的設計與動作，期能消除衛星液滴之形成。



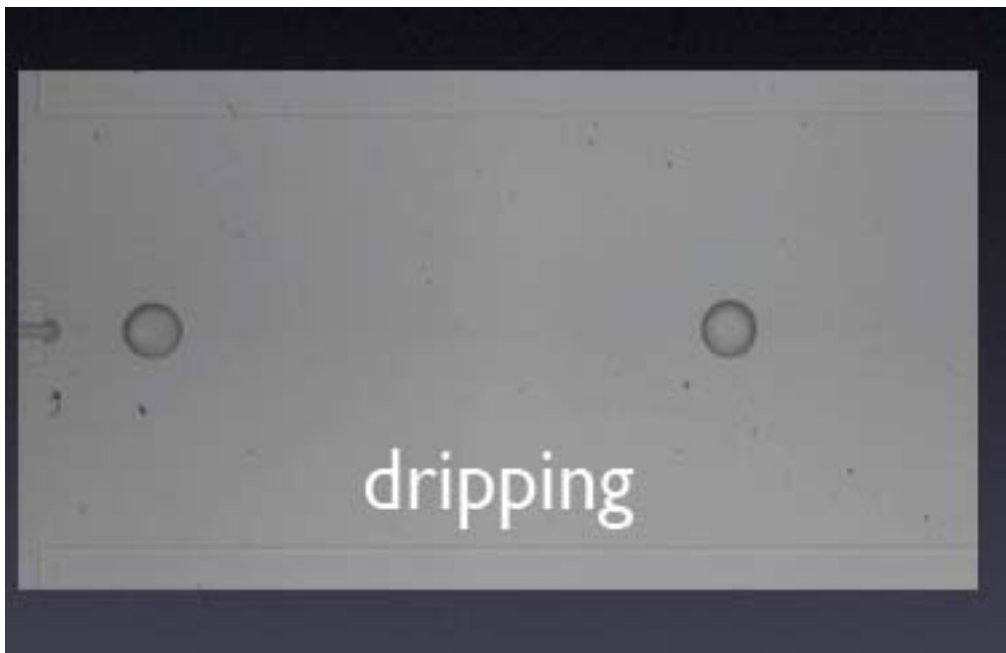


圖 1-1 dripping

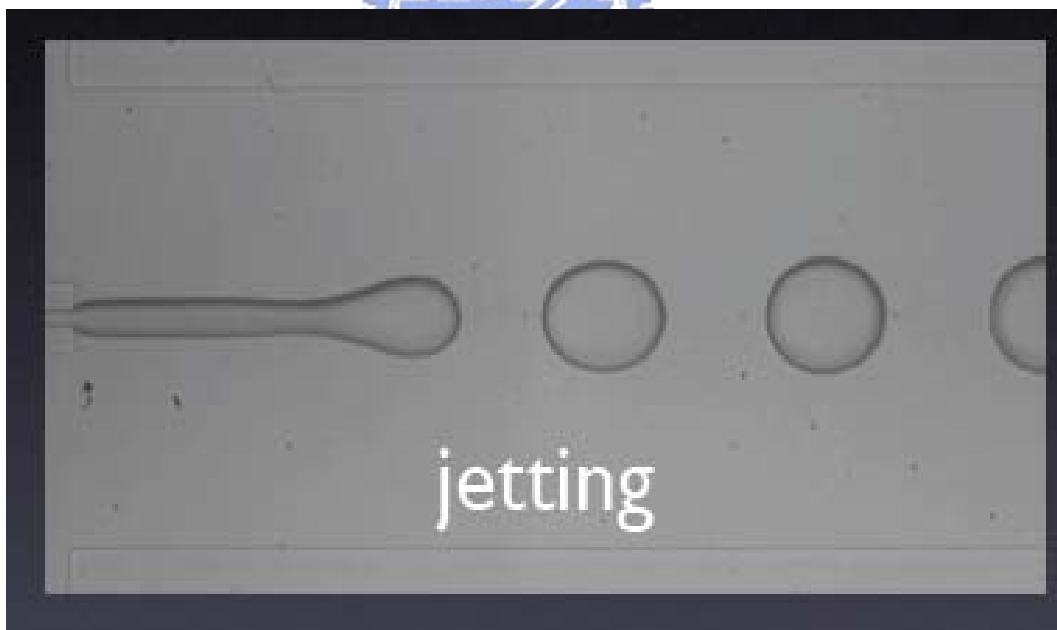


圖 1-2 jetting

no break up

圖 1-3 no break up

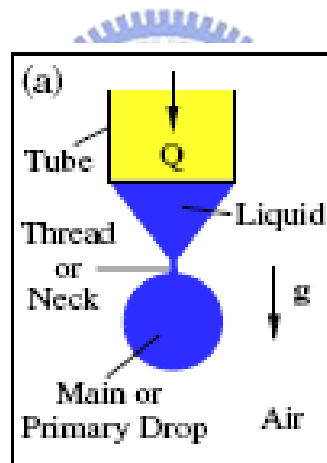


圖 1-4 產生一個液滴

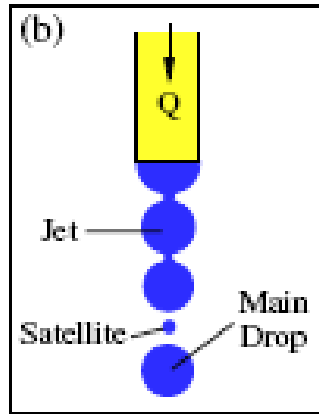


圖 1-5 產生衛星液滴

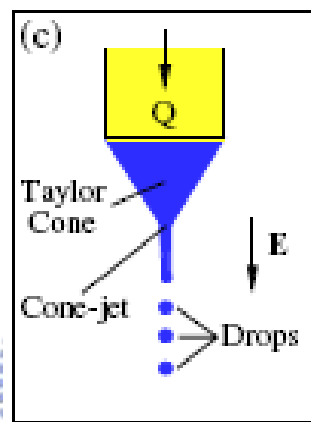


圖 1-6 連續產生多個液滴

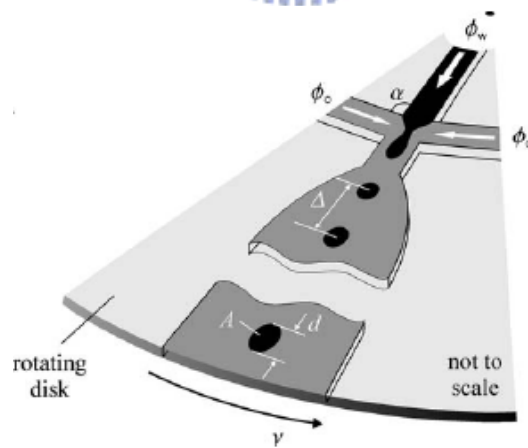


圖 1-7 離心技術設備

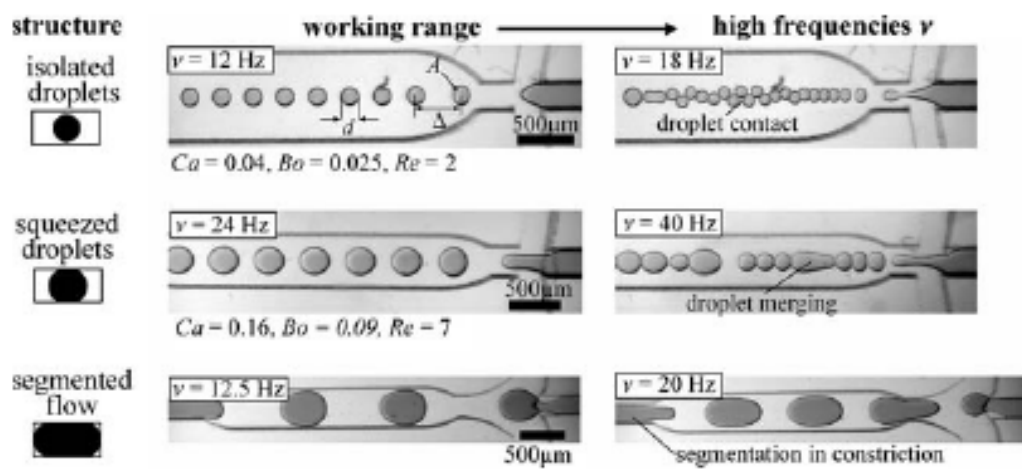


圖 1-8 離心技術所產生三種不同形式液滴



第二章 實驗原理與噴墨現象

2.1 噴墨技術種類

噴墨技術的分類如圖 2-1 所示，基本上可分為兩大類：(1)連續產生型(continuous)，(2)控制產生型(drop-on-demand)。如同字面上所示，連續產生型是以 50K~100KHz 的高頻率驅動，而墨滴則以每秒五萬到十萬個的速度不斷地從噴嘴噴出，就好像澆花的水管只有將水龍頭關掉，否則墨水會不斷的從噴嘴中流出，所以需要使用墨水回收盒回收墨水。而控制產生型則是當需要噴墨的時候利用壓力脈衝噴出墨滴。

2.1.1 連續型噴墨

連續式主要適用在工業方面,例如標籤、車票紙箱等粗糙的表面，以及金屬表面、塑膠表面上的文字或圖案之打印，它的優點是速度快，物質表面的平滑度不是很重要，噴頭和物質之間有相當大的距離，所以我們所需要印出來的材料厚度不受影響。缺點是解析度不高，通常用在粗糙，不很注重解析度的物質表面。目前發展出雙向偏移(Binary Deflection)和多向偏移(Multiple Deflection)兩種方法，都是利用電壓產生偏斜的原理。

兩向偏壓如圖 2-2 所示，墨滴不斷的產生，然後通過電極(electrode)將之帶電或不帶電。帶電的墨滴受到偏壓板作用可直直地朝紙張飛去，但是不帶電的墨滴則朝水槽(gutter)飛去。而水槽中的墨水可以回收再被使用。而多向偏壓則是當墨滴通過電極帶電或不帶電，帶電的墨滴飛經偏壓板，但有不同程度的偏壓，不再是有或沒有偏壓兩種形式，因此偏壓方向則因偏壓大小而有不同的改變，然後朝向紙張射出，而不帶電的墨滴則朝水槽飛去。如圖 2-3，同樣的墨水可以回收再利用。

2.1.2 控制產生型噴墨

控制產生型和連續產生型相反，噴印速度慢，但解析度非常好，噴頭跟被印物間的距離很短，所以被印材料的厚度就因此受到了限制，而且被印材料的表面必須很光滑，不然噴印的效果將會大打折扣。控制產生型噴墨又可依驅動方式的不同分為四種：(1) 熱氣泡式(thermal)、(2)壓電式(piezoelectric)、(3)靜電式(electro-static)、(4) 音波式(acoustic)；目前市場上則以熱氣泡式、壓電式為主流，我們在這裡分別介紹這兩種類型。

熱氣泡式，是利用加熱器瞬間將墨水燒開瞬間氣化形成氣泡，產生高壓並推擠氣泡周邊的墨水向噴孔噴出，之後加熱器快速冷卻，讓墨滴脫離飛出。而其噴頭又可依位置的不同而分成兩種形式：[A]roof-shooter mode：噴嘴(orifice)的位置在加熱器之上如圖 2-4；[B]side-shooter mode: 加熱器位置在噴嘴的側邊，如圖 2-5。

壓電式是利用電壓驅動壓電陶瓷 (piezo-ceramic) 元件使之變形，擠壓液體，當瞬間的壓力大於噴墨的表面張力，墨水即向噴孔射出，然後壓電陶瓷反方向的應力大於墨滴的內聚力，則導致液滴脫離。因此根據壓電產生的不同變形的機構情形可分為[A]彎曲型(bend mode)，[B]推擠型(push mode)，[C]剪切型(shear mode)，[D]收縮管型(squeeze tube mode)等。而整個機構包含了壓電陶瓷片(piezo-ceramic)、振膜(diaphragm)、壓力艙(pressure chamber)、入口管道(inlet&manifold)及噴嘴(orifice)等。以下介紹四種形式的壓電噴墨系統。

彎曲型是藉由 piezo-ceramic 產生瞬間收縮變形推擠，但受到振膜的牽制，因而形成側向彎曲以擠壓壓力艙之液體。在噴嘴處之液體因承受內外壓力差而加速運動，形成速度漸增的突出液面，然後不再對壓電陶瓷作用，則墨水壓力下降，但噴嘴處的墨滴因為慣性緣故，克服表面張力而脫離，可參考圖 2-6。

推擠型如圖 2-7，桿狀(rod)壓電陶瓷元件向噴嘴方向變形，由底部(foot)直接施力推擠，非常類似玩具水槍。此一方式可以降低墨滴的衛星現象(satellite)以及噴出不同的大小墨滴量，因此可以調變出 20pl 與 10pl 的墨滴量。

剪切型不像前面所說的壓電陶瓷變形方向與噴嘴一致，由噴嘴正後直接施力而得。而是變形方向與噴嘴成垂直，因此稱為“shear”，其缺點是比較佔空間，解析度為一半，參考圖 2-8。

我們若拿壓電式和熱氣泡式來做比較，則壓電式有下列優點：(1) 反應速度快，可以提升列印速度，熱氣泡式則因為熱傳導所以速度比較慢；(2) 可以控制液滴的大小，提升列印品質；(3) 不會因為高溫氣化而產生化學變化，影響液滴本質；(4) 因為沒有反覆的高熱應力，所以具有耐久性；而它的缺點：(1) 因為壓電陶瓷佔空間，比熱氣泡式面積大；(2) 因為沒有熱的效應所以比較容易阻塞噴頭；(3) 壓電式的驅動與熱氣泡的比起來較為複雜[33]。



2.2 噴墨現象

2.2.1 液滴生成

當噴嘴處的液滴因為擠壓或者使用其他方法使得液滴噴出時，液滴會先在噴嘴處形成一個突起的半圓形液滴，如圖 2-9(a)所示，之後因為受到表面張力的影響，會在前端凝聚成球型，即形成如圖 2-9(b)的圖形，而這段過程我們稱之“液滴生成”(drop formation)。

2.2.2 主液滴分離

當液滴噴出經過一段時間之後，圓柱狀的液滴最前面與液滴在噴頭快結束的那一端的速度不同，所以導致圓柱狀的液滴會被拉開，在圓柱狀液體被拉伸的過程中，圓柱狀液體的尾端會變的狹窄，一直到如絲狀的液滴在噴頭的前端斷裂，如圖 2-10(c)，前端所形成的球狀液滴稱為主液滴(main droplet)，後端被拉長的稱為尾液滴(tail droplet)。除了受到速度的影響之外，表面張力也是其中的一項主要的因素，表面張力的影響使得液滴凝聚成球狀。當主液滴與尾液滴因為速度的差異而使得整個液滴越拉越長時，液滴就有可能會斷裂成兩個部分或者產生更多的液滴，如圖 2-10(d)所示。在這裡，液滴只有斷裂成兩個部分，而這段過程稱為“主液滴分離”(droplet breaking)。

2.2.3 衛星液滴的生成

在液滴斷裂之後，前面的主液滴繼續以比較快的速度往前行進，而斷裂的尾液滴則會慢慢的由長條形，如圖 2-11(e)，同樣的因為表面張力的影響而形成一個球形的液滴，如圖 2-11(f)，且相比較之下，尾液滴較主液滴小。尾液滴如果斷裂成一顆一顆比較小的液滴，則這些由尾液滴分裂而成的小滴，我們稱為衛星液滴(satellite droplet)。

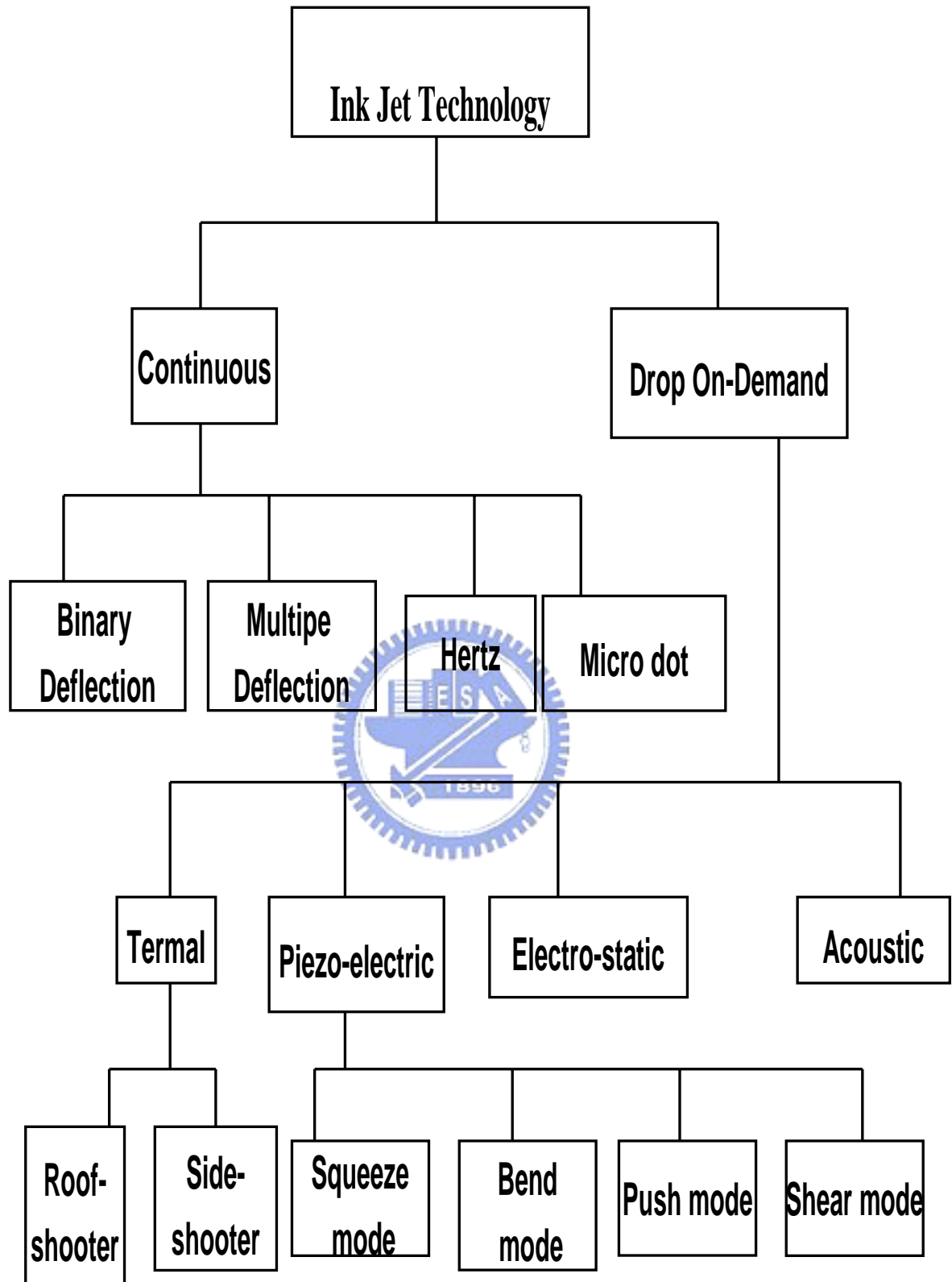


圖 2-1 噴墨技術的分類

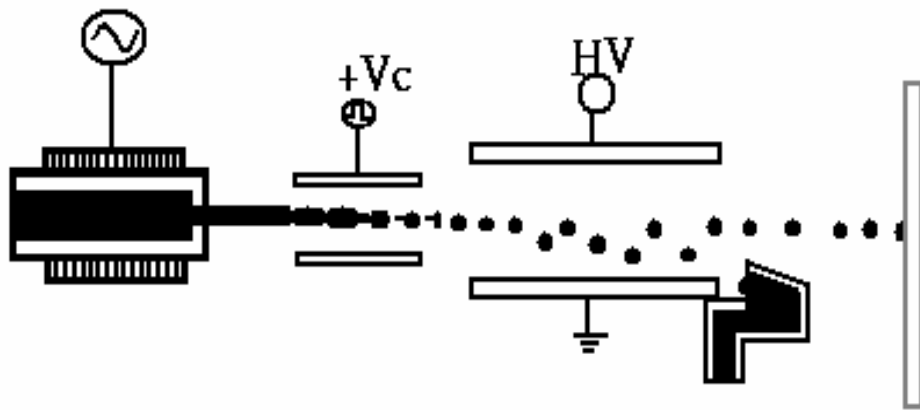


圖 2-2 雙向偏移噴墨系統

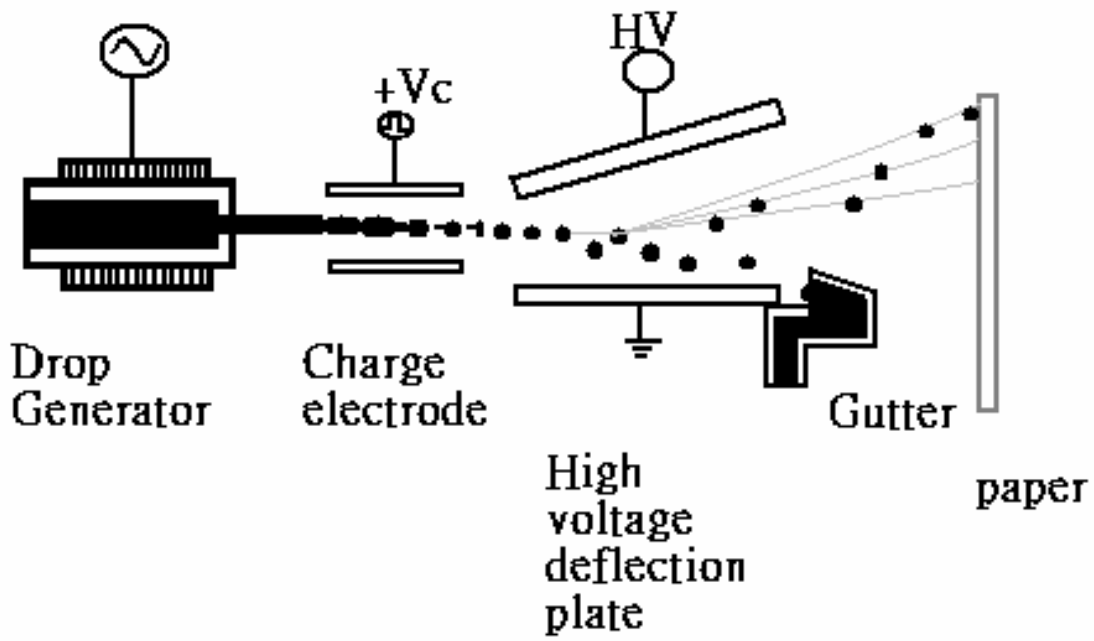


圖 2-3 多向偏移噴墨系統

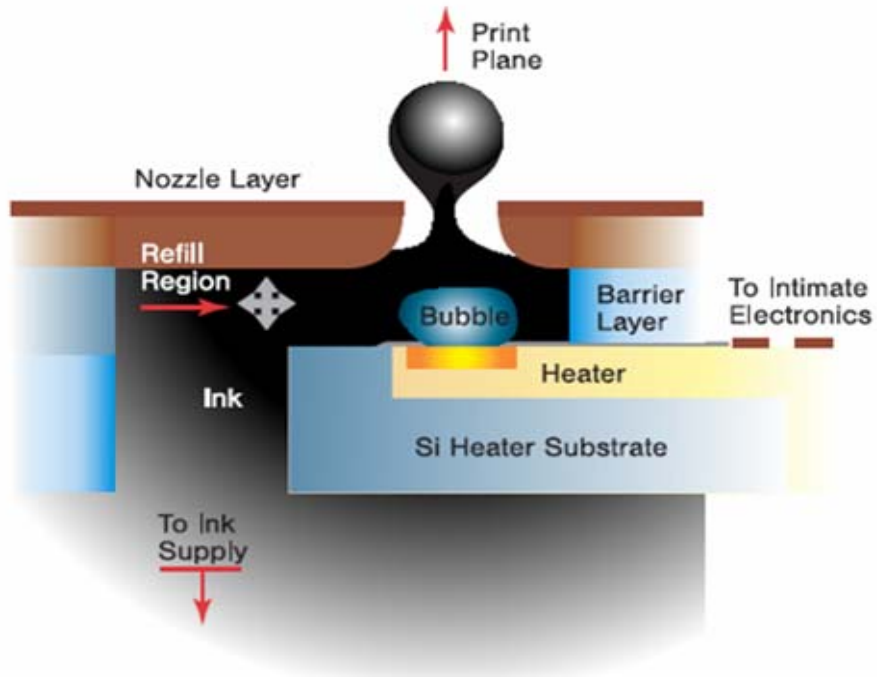


圖 2-4 頂部熱氣泡噴墨技術

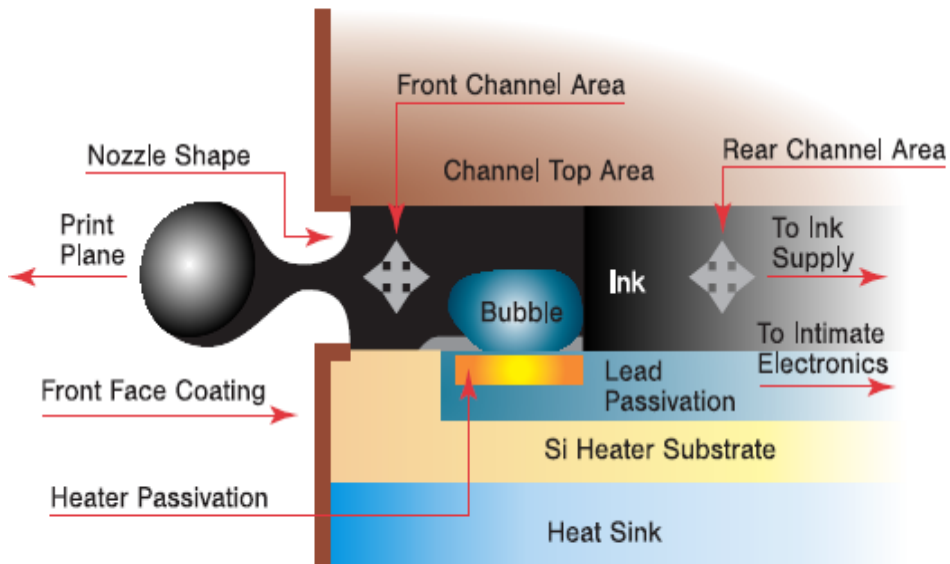


圖 2-5 側邊熱氣泡噴墨技術

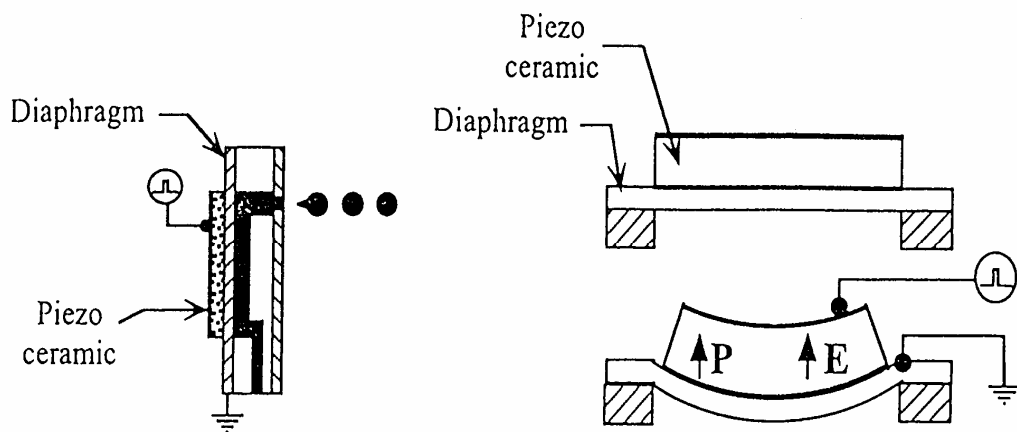


圖 2-6 彎曲型壓電陶瓷噴墨技術

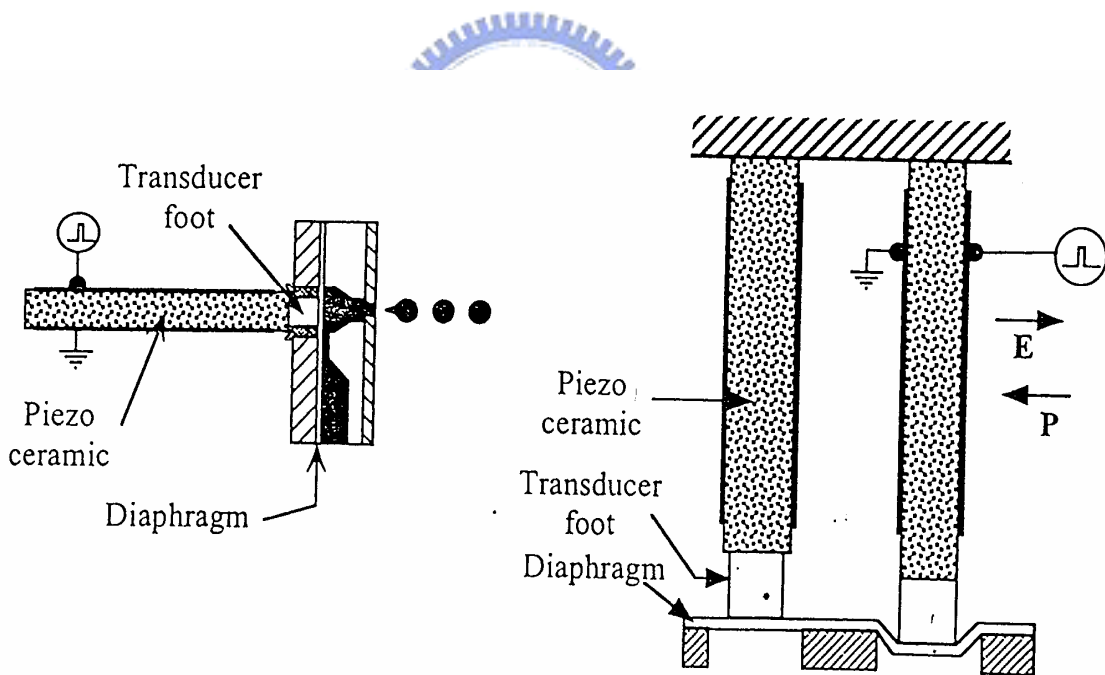


圖 2-7 推擠型壓電陶瓷噴墨技術

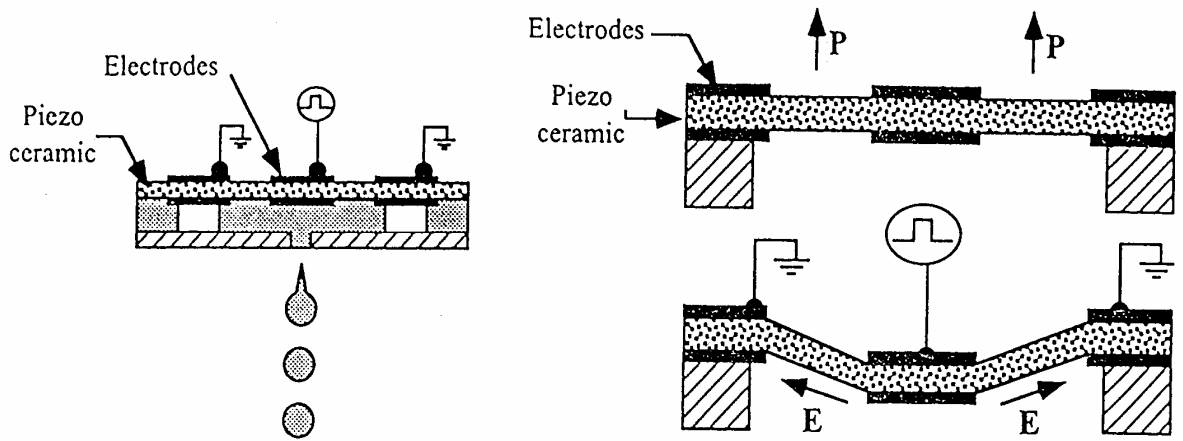


圖 2-8 剪切型壓電陶瓷噴墨技術



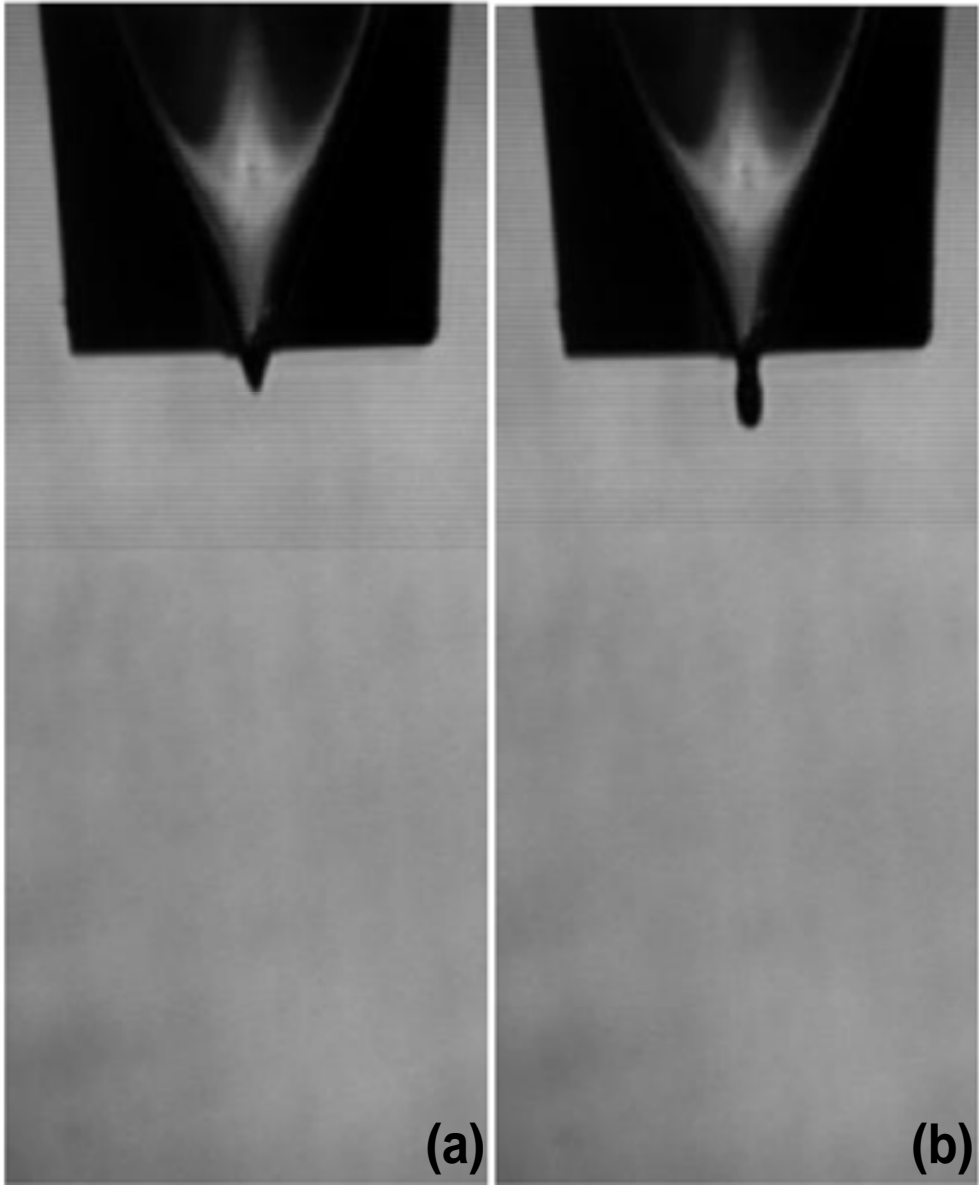


圖 2-9 液滴生成圖

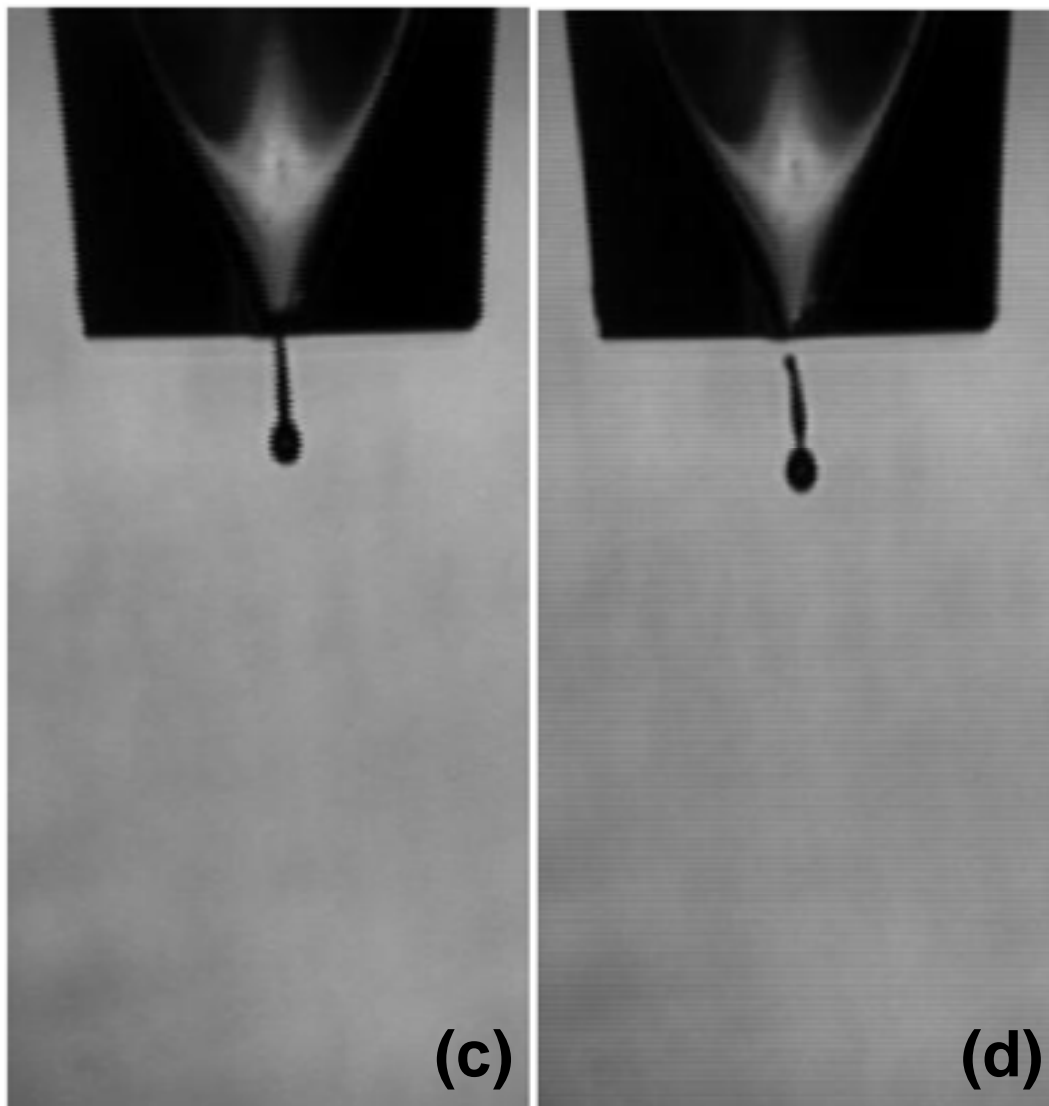


圖 2-10 液滴生成圖(c)(d)

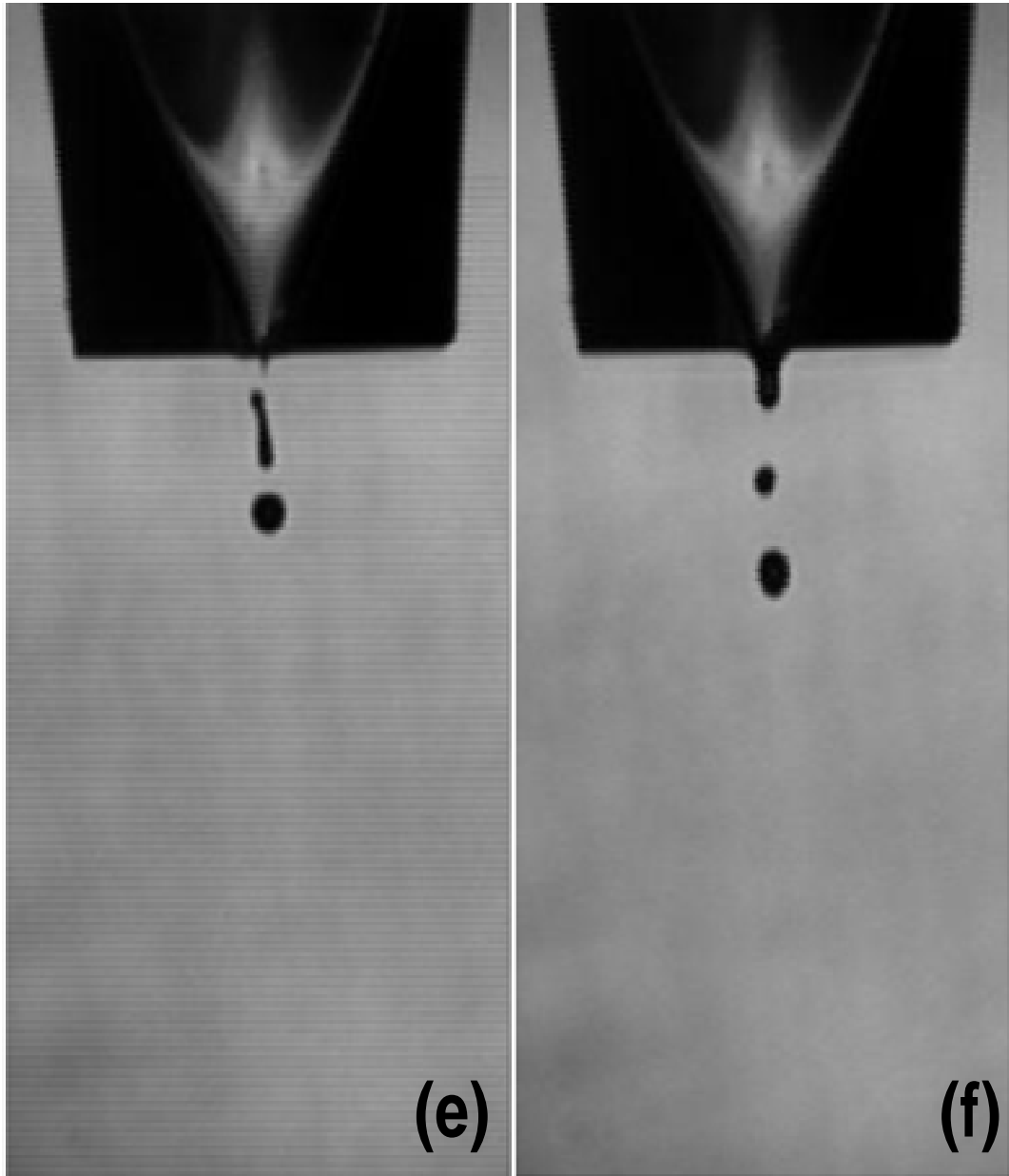


圖 2-11 液滴生成圖(e)(f)

第三章 實驗儀器與步驟

3.1 噴頭及噴液選擇

3.1.1 噴頭

本研究所使用的噴頭是使用鎳合金(nickel alloy)做成的中空管，規格如表一所示：

表一 實驗用噴頭之規格

	噴頭一	噴頭二	噴頭三	噴頭四
長度 (mm)	10.0	10.0	10.0	10.0
內徑 (mm)	0.08±0.005	0.10±0.005	0.20±0.005	0.30±0.005
外徑 (mm)	2.50±0.005	2.50±0.005	2.50±0.005	2.50±0.005

這裡使用不同內徑大小的噴頭分別用以觀察噴出液滴所產生的現象，而噴頭的形狀如圖 3-1。目前市面上應用的噴墨噴頭已經可以做到 30~100 μm 的噴口徑，所以我們這裡最後針對 80 μm 的噴頭，改變噴液參數來做探討，圖 3-1 為噴頭內部形狀。

3.1.2 墨水

現今噴墨列印技術在工業上最常使用的地方是在顯示器上，尤其是 PLED，這是因為 PLED 具有下列優點：自發光視角廣達 165° 以上、反應時間快 (~1 μs)、高亮度 (100-14000 cd/m^2)、高流明效率 (16-38 lm/W)、低操作電壓 (3-9V DC)、面板厚度薄 (2 mm)、可製作大尺寸與可撓曲性面板、製程簡單，具有低成本的潛力 (30-40% of TFT-LCD)，

且 OLED 是朝高單價、高附加價值及大量資訊的產品發展，而 PLED 是朝量大、單價低及小量資訊的產品發展並且與 OLED 相比其熱穩定性質與機械性質較佳。在製程方面，PLED 驅動電壓較低；設備投資方面，PLED 比 OLED 便宜，所以 PLED 對於工業界還有很大的發展空間。

圖 3-2 是 PLED 的基本結構，其發光原理類似發光二極體，同樣利用材料的特性，將電子傳輸層(Electron Transportation Layer, ETL)、電洞傳輸層(Hole Transportation Layer, HTL)和發光材料(Emitting Material Layer, EML)結合。發光機制是施加電壓在導電共軛性高分子(conjugated polymer)可使高分子材料發光。當陰極提供的電子與陽極提供的電洞在高分子材料結合使材料由基態(ground state)提高到激態(exciting state)，當材料能量由激態跳回基態時，將多餘的能量以光波的形式釋出，因而達到不同波長發光元件的產生，如圖 3-3。我們從陽極注入電洞，陰極注入電子然後在發光層再結合即可依材料的發光特性發不同的光。一般為了增加電子與電洞的結合效率，會在陽極材料上在增加一層電洞傳導層。

為了滿足高解析度全彩顯示的需求，PLED 發光色層精確定位的成膜技術是 PLED 發展的關鍵，其中噴墨製程技術為 PLED 發展之最重要者，提供一個新的解決方案。噴墨製程利用裝有不同顏色的高分子發光材料，最普遍常見的就是紅綠藍(RGB)三種顏色，依序將各色高分子精確定位於所設計好的位置(圖 3-4)，其技術的挑戰在於是否能夠精確定位、噴墨與噴出滴狀材料的大小是否配合畫素的尺寸、能否控制噴出液滴的一致性，噴墨製程與現有 PLED 之旋轉塗佈製程的比較，請參考表二。

現今 PLED 最常使用的發光材料就是共軛導電高分子，利用他們的特性，經過部分的氧化或還原反應後，使得電子或電洞可以沿著分子鏈或跨分子鏈移動而導電，因此可以控制它的導電或絕緣。在此，電子的供、取及其所伴隨的導電度變化是一個完全可逆的過程。此外，共軛高分子可以應用在抗電磁波、抗靜電、控制釋放器、電致發

光電池、反充式電池、半導體元件(FET、LEDs、Photoconductors、Photovoltaic Cell.)、化學偵檢器、顯示器、太陽能電池、超導體上許多方面上，所以本研究就選用此材料來做為我們所研究的對象。

本研究所選用的導電高分子的材料是 PEDOT/PSS (Poly(2,3-dihydrothieno-1,4-dioxin)-poly(styrenesulfonate))，這是一個很普遍使用在以上所有提到可應用的材料，在很多方面也有很廣泛的研究，並且這是一個水溶性的化學用品，將其當作研究對象既方便又實際，故我們在此研究中，選取 PEDOT/PSS 來當作我們研究的對象。

在此研究當中，我們所調配的墨水黏度、表面張力、密度如下表三：

表二 實驗墨水材料之特性

	黏 度 (mPa-s)	表 面 張 力 (mN/m)	密 度 (g/ml)
A	3	72.28	0.9874
B	10	72.28	0.9876
C	15	72.28	0.9919
D	20	72.28	0.9949
E	20	45.57	0.9966
F	20	37.13	0.9952
G	20	30.20	0.9951

在這裡原本 PEDOT/PSS 的黏度是 77.33 mPa-s、表面張力 72.28 mN/m，實驗中使用 RO 水來調配所需黏度，並使用旋轉式黏度計(如圖 3-5)來測量黏度，運用在旋轉過程中作用於液體切應力的大小來完成測定並調整，即可得到所需黏度。

實驗中並使用表面活性劑 Surfynol-465 來改變墨水的表面張力，因為表面活性劑在水中溶解時，當水中表面活性劑的濃度很低的時

候，表面活性劑分子在水-空氣界面產生定向排列，親水基團會朝向溶液而親油基團朝向空氣。當溶液較稀時，表面活性劑幾乎完全集中在表面形成單分子層，溶液表面層的表面活性劑濃度會大大高於溶液中的濃度，表面活性劑在溶液表面層聚集的現象稱為正吸附，正吸附改變了溶液表面的性質，在最外層會呈現出碳氫鏈性質，而表現出較低的表面張力，即可達到需求。

至於表面張力的測量是使用圖 3-6 的表面張力儀器來進行，當白金片進入被測液體後，白金板周圍就會受到表面張力的作用，液體的表面張力會將白金板盡量的往下拉，當液體表面張力與其他相關的力與平衡力達到平衡時，感測白金板就會停止，此時，儀器裡的感測器就會測得其深度，進而轉換成表面張力數據。



3.2 實驗儀器製備

此研究利用壓電陶瓷電能與機械能互換的特性，使得壓電陶瓷互相擠壓軟管使得液滴噴出，而如今我們使用電磁閥來取代市面上一般的壓電陶瓷，因為電磁閥是利用通電時，電磁線圈產生電磁力驅使物件向前推進，這是一個瞬間的動作，與壓電陶瓷的效用相同，故我們藉以取代，這裡我們選用的電磁閥可供給 98N 的力擠壓噴管使得液滴噴出。

我們先設計一個機台，機台各個部分的設計圖如圖 3-7 到圖 3-15 所示，實物圖如圖 3-16，示意圖如圖 3-17，可以承載電磁閥，並且在另一端可以固定噴管，使得噴管因受到擠壓而噴出液滴，如圖 3-18。原本一開始電磁閥前端擠壓噴管的地方是類似弧狀的，一開始試驗時，發現擠壓出的液體過多，但是我們必須去控制出來的液滴只有一滴或者兩滴，我們也有試過控制電磁閥的遠近但是還是無法改善噴出液體過多的現象，所以我們另外設計擠壓的形狀與尺寸，如圖 3-19，經過這樣的測試後，可已經由控制電磁閥的遠近，不管噴頭與噴液在何種的狀態下，發現可以擠壓出一滴或兩滴的液滴，所以我們最終使用改善後的儀器設備來測試我們的實驗。

擷取系統與噴墨系統具有同樣的原理，使用電磁閥會瞬間前進的原理，產生衛星液滴時使用兩個電磁閥互相驅動，即可攔截之後的衛星液滴，所以必須設計製作機台可以放置兩個電磁閥，並且高度與前後距離可以依實驗需求而改變，如圖 3-20。

此設備包括了噴墨系統、擷取液滴系統與影像擷取系統，使用圖 3-21 的電路示意圖，來結合噴墨系統與擷取液滴系統，其中利用數位式的 Timer，如圖 3-22 來控制擠壓液滴的時間與擷取的時間，這樣即可結合此兩個系統並且達到我們的需求。

而影像擷取系統所使用的 CCD(Charge Couple Device)，如圖 3-23，一秒鐘可以擷取到 5000 張的影像，放大倍率為一倍，在拍攝時必須加裝雷射光，CCD 必須接受到光源時才可拍到液滴的景象，此時 CCD 所拍攝到的靜止影像，即為相同時間延遲下畫面重疊而

成，便可觀察整個噴墨過程液滴滴下的情形。

3.3 實驗步驟

首先經由開關開啟後，電磁閥隨即因為電磁效應驅動作動軸擠壓噴管，噴管經擠壓過後隨即產生液滴，記錄液滴產生以及破裂時間，並且觀察液滴落下之情形，以進行實驗。當液滴已經無法由噴墨系統去控制產生只有一顆液滴的情形下，此時，觀察噴墨狀態，取得最佳擷取時間，設定時間參數並使用擷取系統驅使兩個電磁閥互相靠近以擷取之後的衛星液滴，此時 CCD 會依照所設定之張數進行拍攝，即可觀察實驗之過程以利於研究之探討。



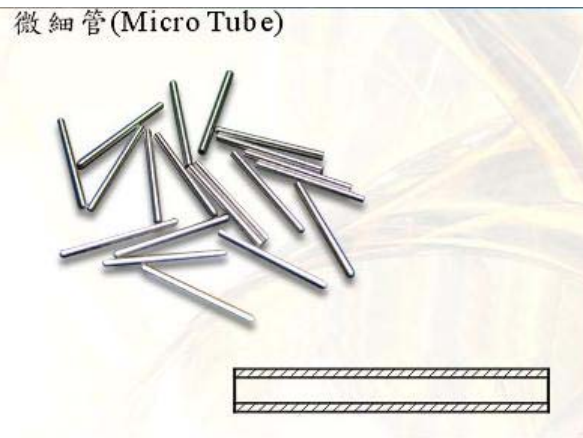
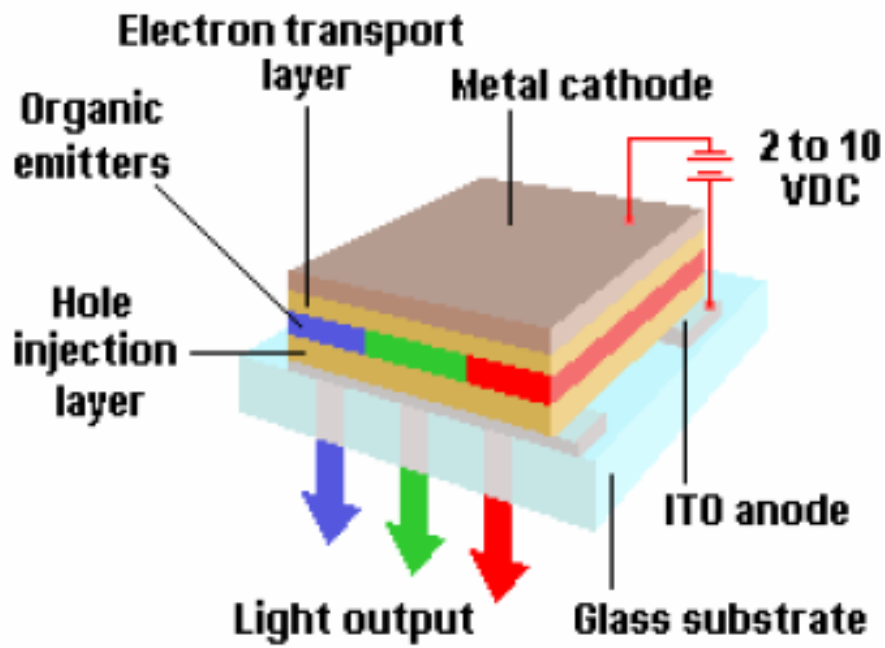


圖 3-1 噴頭的剖面圖

表三 旋轉塗佈法與噴墨製程之比較

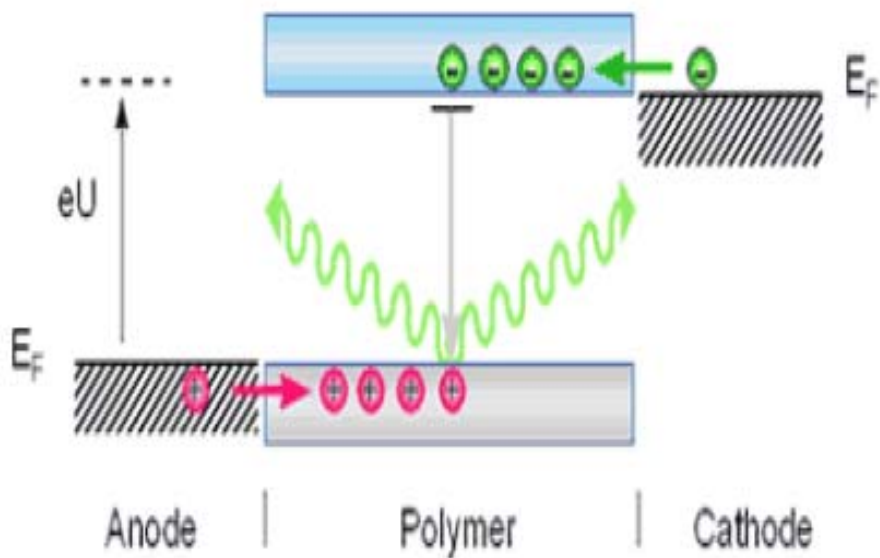
製程特性	Spin-Coating	Ink-Jet Printing
圖案化能力	無，是整個基板表面的塗佈	圖案化能力可至微米級
多彩顯示製程能力	無多彩圖案化能力	相當理想的多彩圖案化製程
大面積元件製程能力	對於基板缺陷和微粒相當敏感，不適合大面積製程	對於基板缺陷不敏感，擁有較佳的大面積元件製程能力
材料利用率	浪費超過 99% 的 Polymer 溶液	僅有少於 2% 的 Polymer 溶液被浪費
顏色亮度均勻性	EL 光譜會隨區域改變	每一畫素的 EL 光譜是一致的
封裝及接線	在邊緣的膜須被移除	不須移除的動作（少一步驟）
基板需求	玻璃基板	玻璃或塑膠基板



圖一、PLED 結構圖



圖 3-2 PLED 結構圖



圖二、PLED 發光過程

圖 3-3 PLED 發光過程

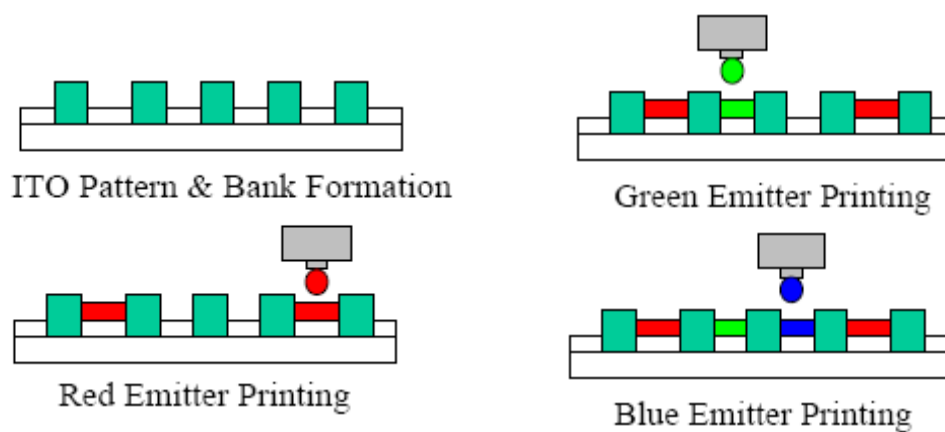


圖 3-4 共軛高分子噴墨情形



圖 3-5 旋轉黏度計



圖 3-6 表面張力儀

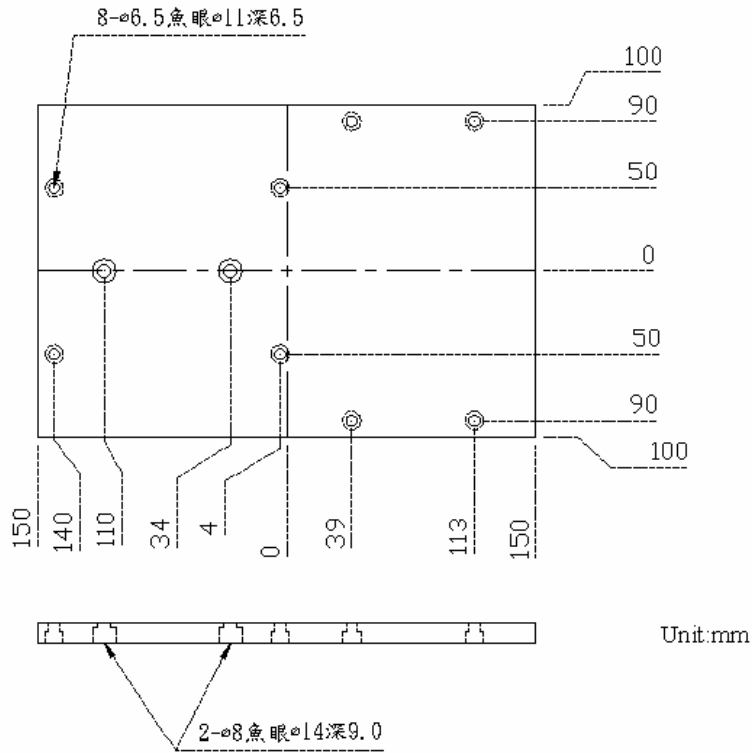


圖 3-7 儀器設計圖(A)

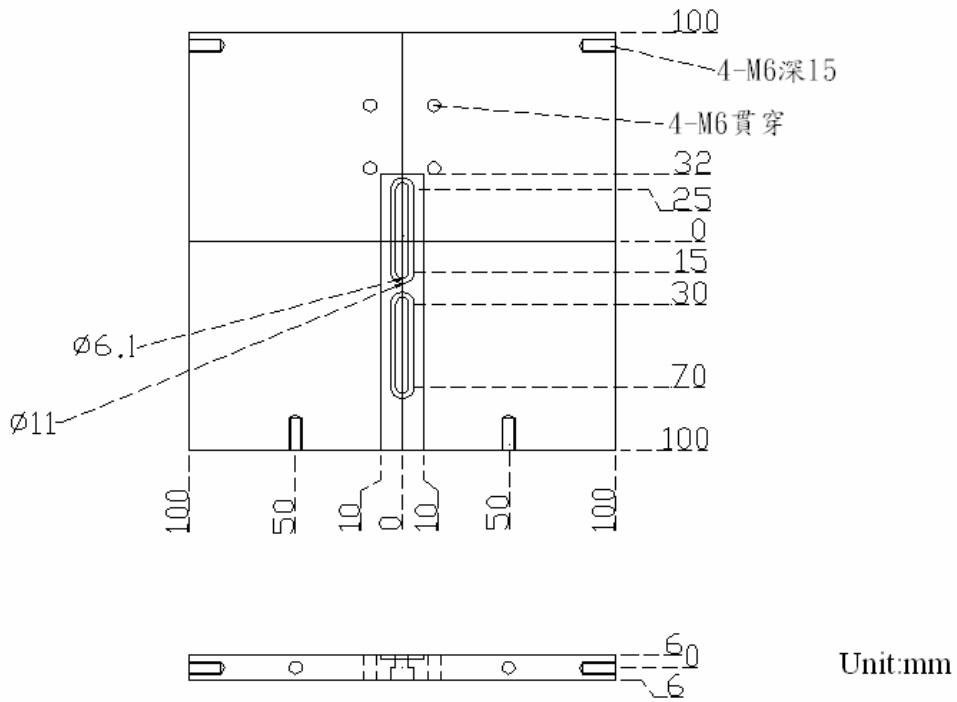
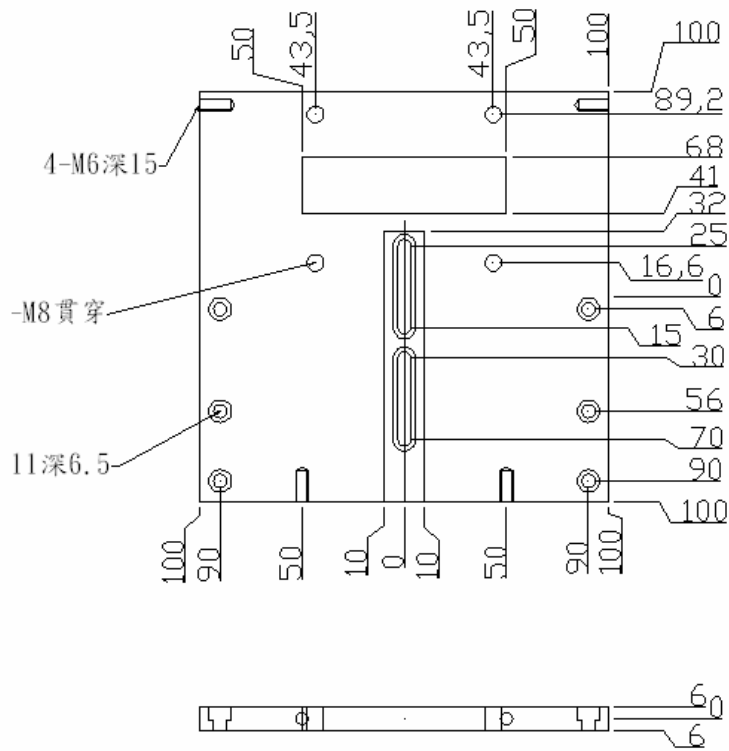
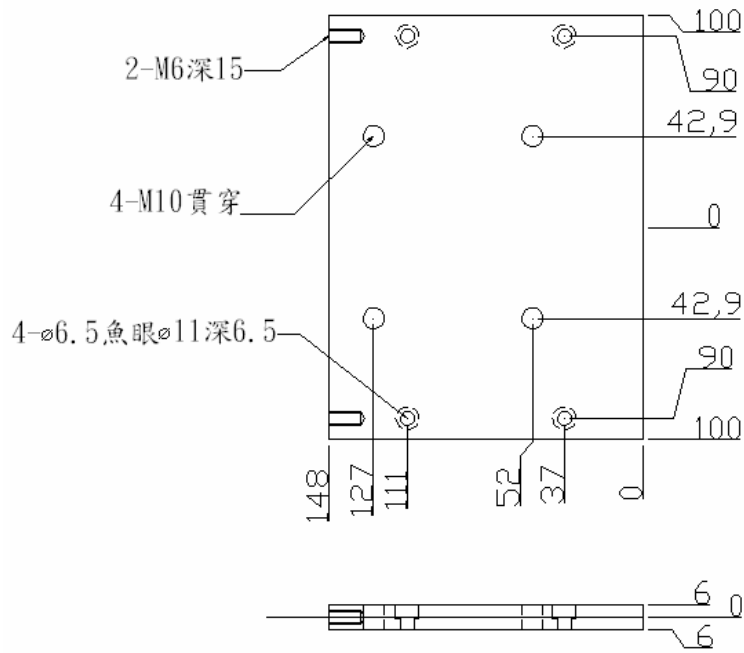


圖 3-8 儀器設計圖(B)



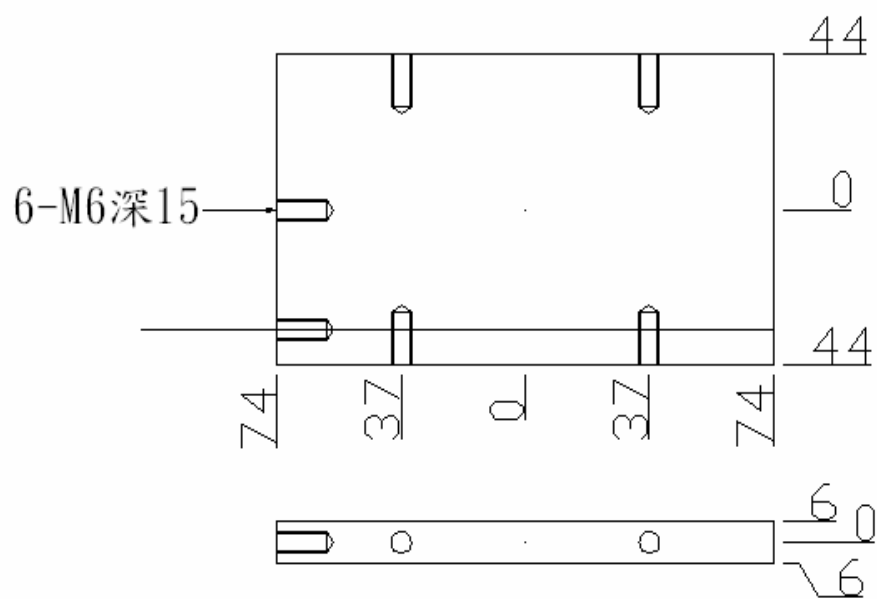
Unit:mm

圖 3-9 儀器設計圖(C)



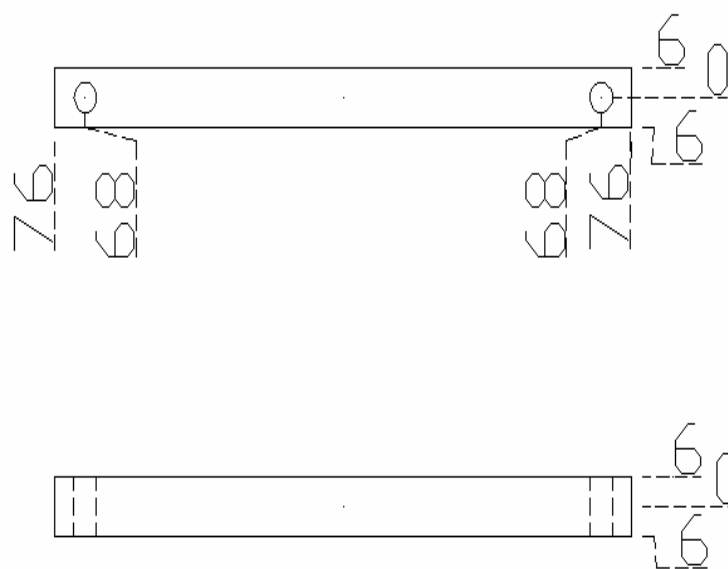
Unit:mm

圖 3-10 儀器設計圖(D)



Unit:mm

圖 3-11 儀器設計圖(E)



Unit:mm

圖 3-12 儀器設計圖(F)

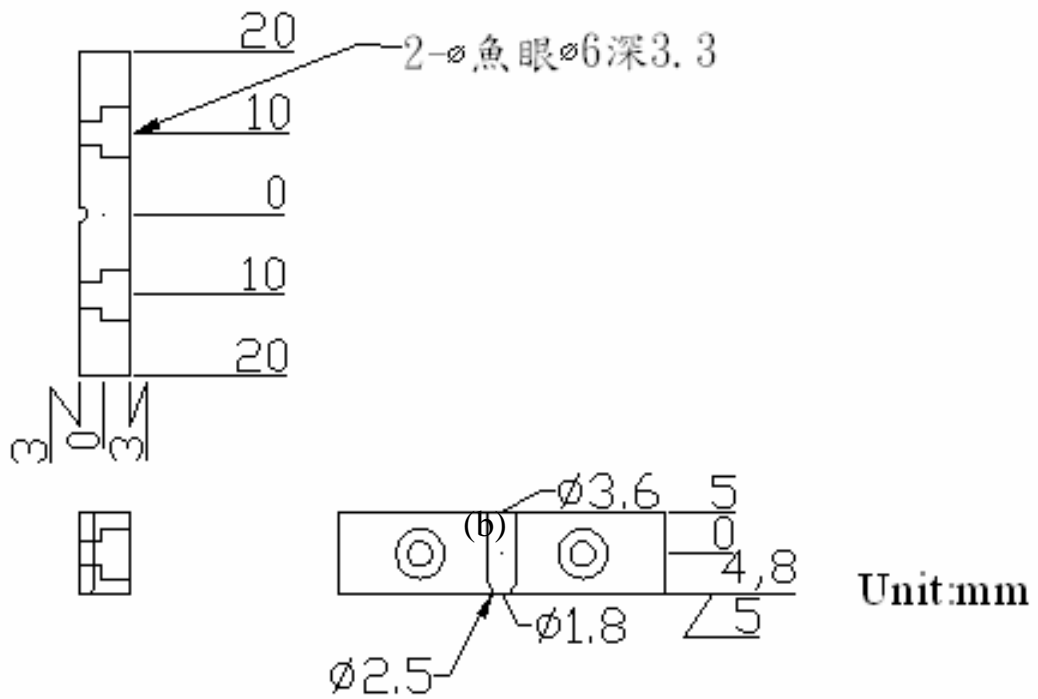


圖 3-13 儀器設計圖(G)

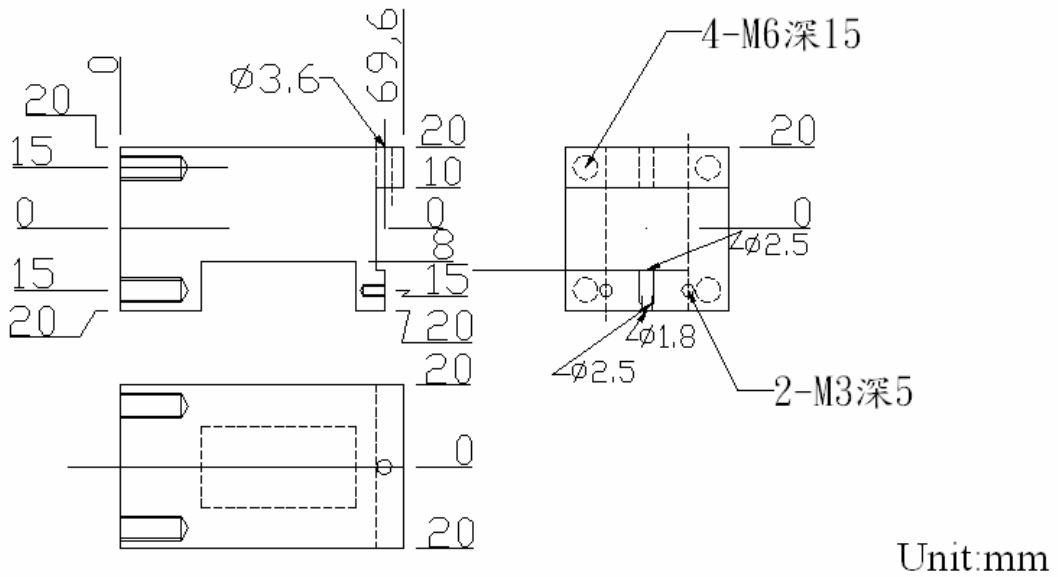
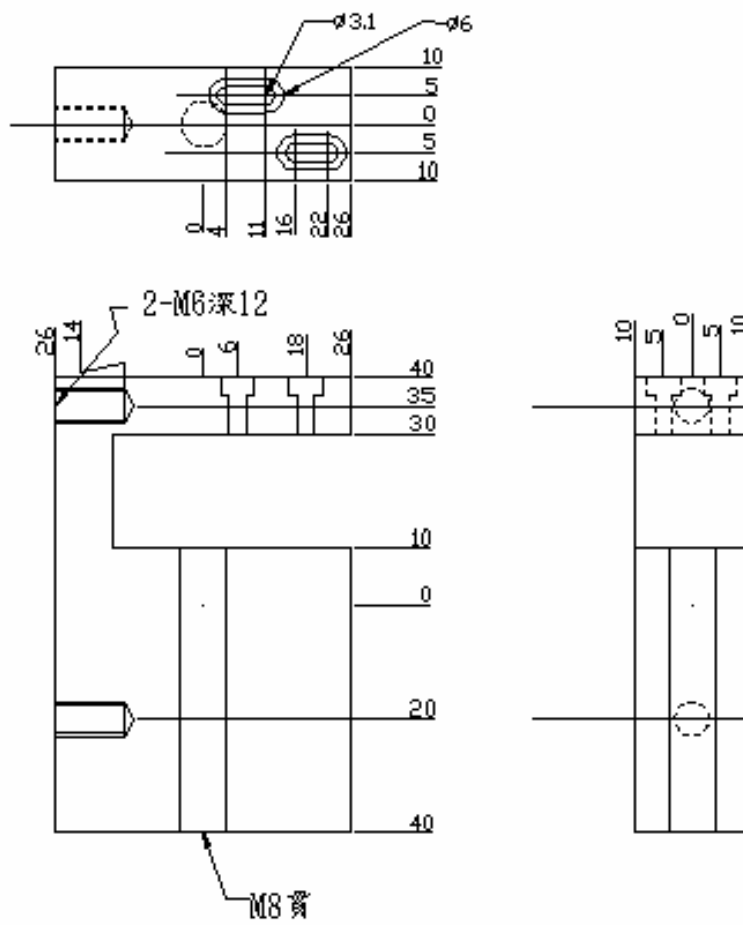


圖 3-14 儀器設計圖(H)



Unit:mm

圖 3-15 儀器設計圖(H)

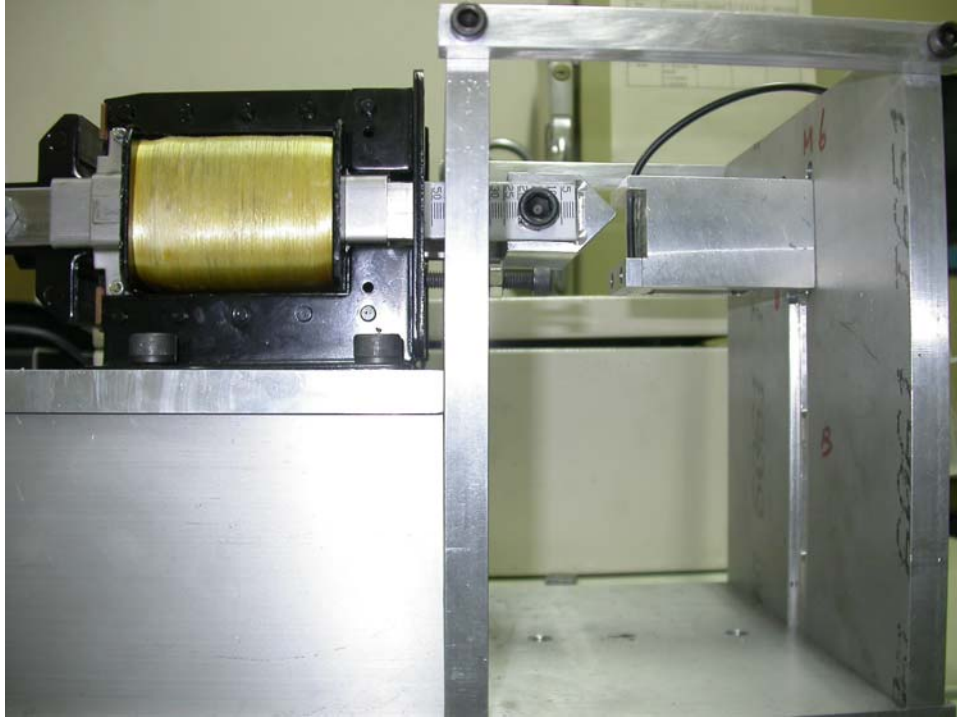


圖 3-16 儀器實物圖

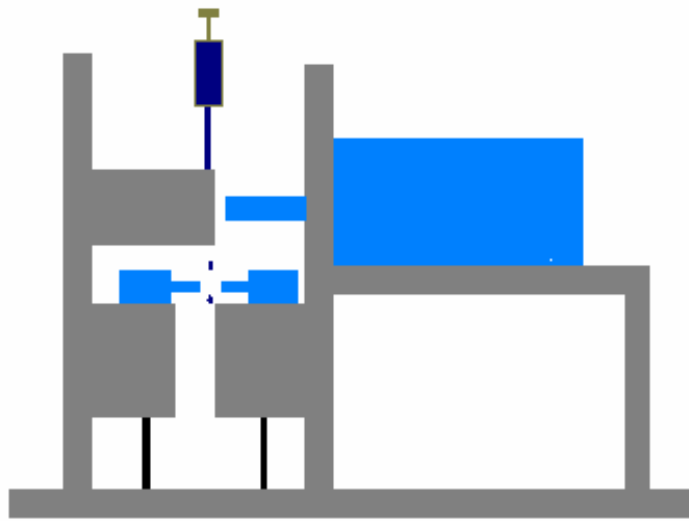


圖 3-17 儀器示意圖

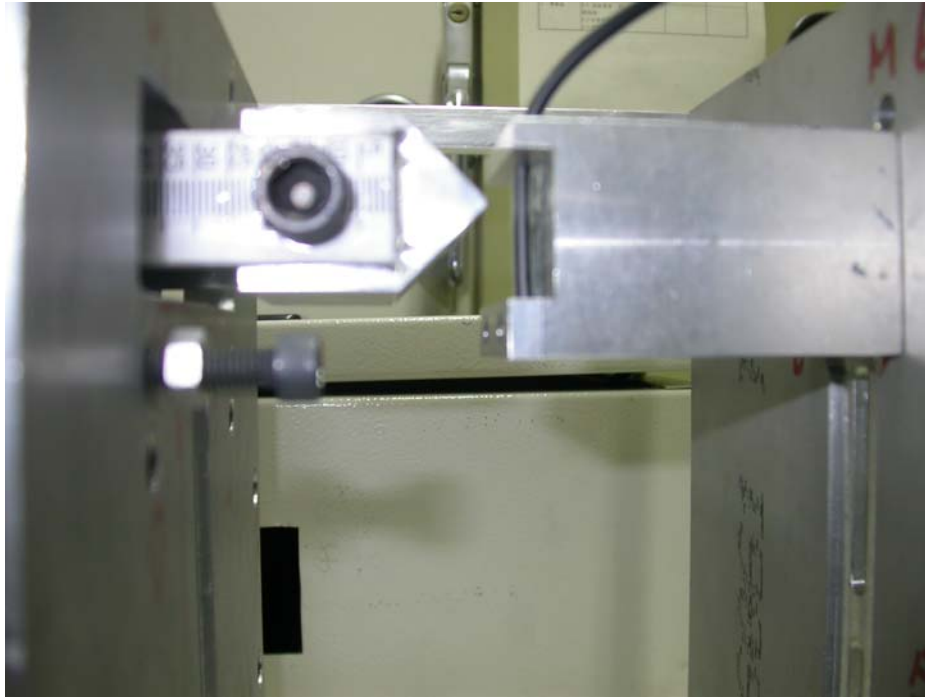


圖 3-18 擠壓噴管近照圖



圖 3-19 改善擠壓噴頭之形狀



圖 3-20 加裝擷取系統後的儀器

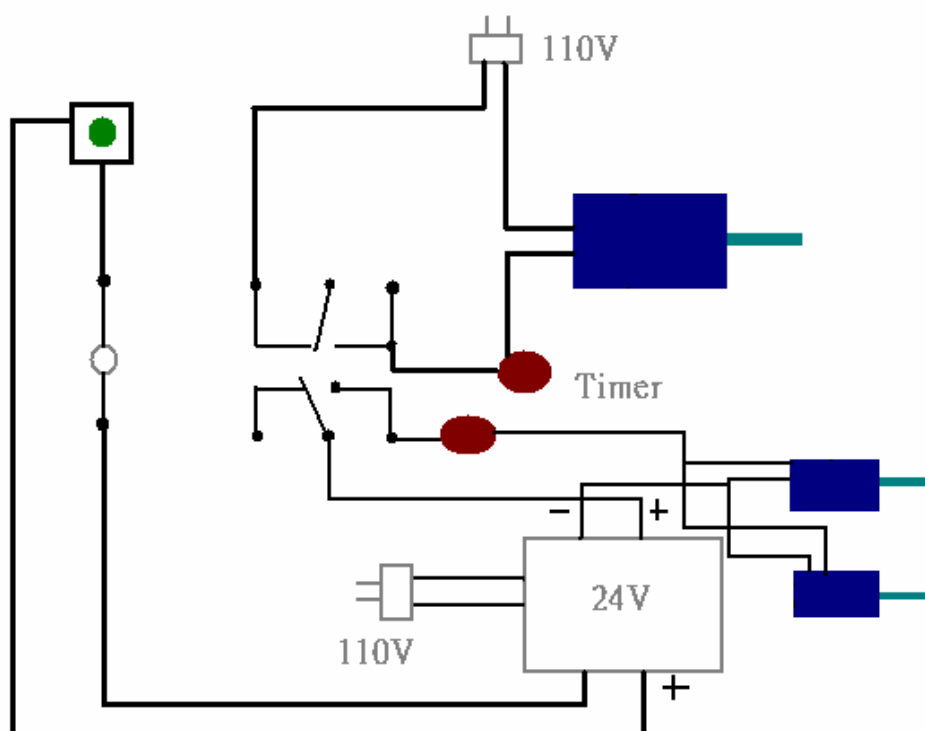


圖 3-21 電路示意圖



圖 3-22 Omron HC5X-A

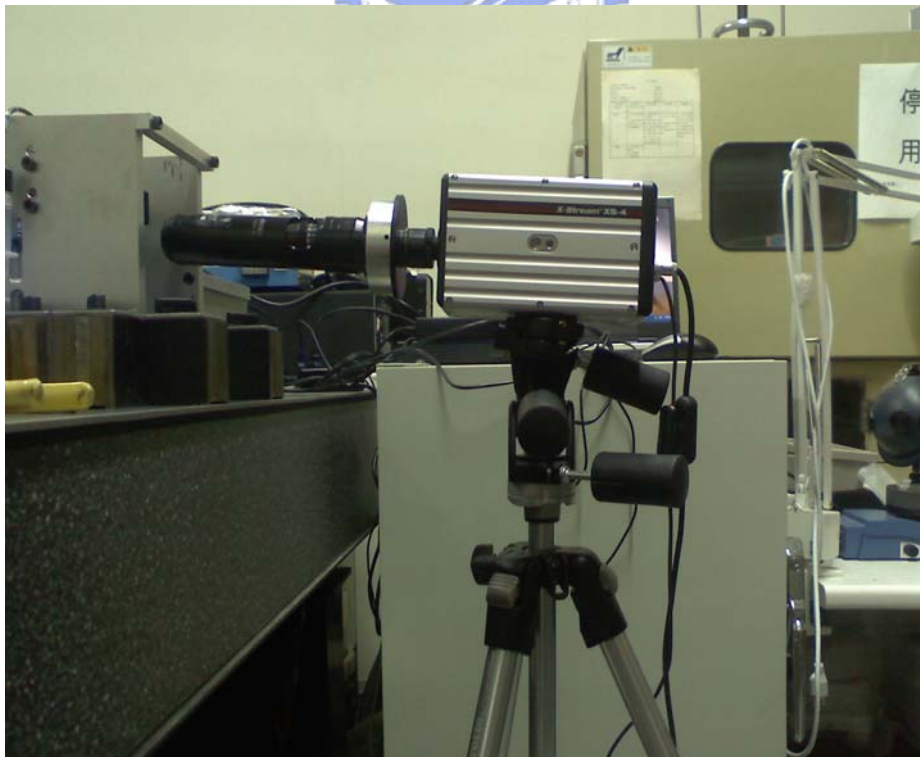


圖 3-23 X-Stream XS-4

第四章 結果與討論

4.1 擷取液滴前

4.1.1 噴頭尺寸對噴墨特性之影響

本研究建構裝置可以使用不同電磁閥的推桿行程來控制噴出液滴的多寡，所以先使用相同驅動參數，相同黏度 $\mu = 20$ ，表面張力 $\sigma = 72.28$ 的溶液 D 去測試不同噴頭尺寸的噴液特性，以探討不同的噴頭尺寸對液滴的產生有何相對關係。由圖 4-1 到圖 4-4 的實驗都是使用同一種噴液，使用 0.08mm 口徑的噴頭，控制噴出的液滴只有主液滴，作為一個基準，之後使用相同條件但是變更不同的噴頭尺寸來做實驗。發現噴頭尺寸越大，噴出的液體越多，形狀如圓柱狀墨水的直徑也越大。我們可從圖 4-2 觀察出噴液從產生液滴、液滴斷裂與產生衛星液滴的過程與情形。

其後改變電磁閥的推桿行程，即改變驅動參數，最後發現不管何種溶液都可以改善噴液現象，如圖 4-5 到圖 4-7，使得原本會產生衛星液滴或者液滴過多的現象，調整到只產生一個主液滴，不會有衛星液滴的產生，即達到最佳狀態。

4.1.2 墨水黏度對噴墨特性的影響

同樣地，以圖 4-1 為一個基準，作為一個參考值，使用溶液 A、B、C 做為黏度不同的比較，使用相同噴頭，相同驅動參數去觀察不同黏度會有何差別。如圖 4-8 到 4-10，我們可以發現黏度越小，尾液滴拉的越長，所產生的衛星液滴越多，飛行速度比較快，液滴比較不穩定，而黏度大的則相反，所以對於噴墨的品質而言，黏度大的為較佳之噴液。

之後我們則針對噴出衛星液滴的情況加以改善，與上述相同，變更驅動參數以改變產生衛星液滴的情況。由實驗發現溶液 A 與溶液 B 最後僅能調整到產生一顆或兩顆的衛星液滴，無法完整的只產生主液滴，如圖 4-11 到 4-13，在這情況下，必須加上擷取裝置系統以改善衛星液滴產生之情形。

除此之外，在實驗中也有使用黏度較大的溶液，如黏度 40 mPa-s 者來做實驗，但是結果發現因為黏度大，所需驅動的力量較大，若要噴出一顆主液滴則需要很大的力，而實驗結果顯示，過大的力量導致噴管受到壓迫破裂，所以此實驗裝置在過大黏度的液體上不敷使用。

4.1.3 表面張力對噴墨特性的影響

我們使用溶液 D、E、F、G 來觀察，相同地，以圖 4-1 溶液 D 產生主液滴為基準，使用相同的驅動參數去觀察不同表面張力的影響。如圖 4-14 到 4-16，產生液滴的結果都可以直接產生一顆主液滴，因為影響液滴成形的因素有很多，包括噴頭形狀、噴頭尺寸、黏度、表面張力等等，而本研究裝置所設計的這些參數，恰好可以使我們所設計的溶液達到只產生一顆主液滴的目的。



4.2 擷取液滴

由於前面所做的實驗顯示出只有溶液 A 與溶液 B 在噴頭一的情形下，不論如何改變驅動參數都無法改善產生衛星液滴的情況，所以必須使用擷取系統以擷取在主液滴之後的衛星液滴，以改善噴墨品質。實驗時，首先改善驅動參數，控制電磁閥的推桿行程，使得溶液 A 與溶液 B 產生極少的衛星液滴，甚至除了主液滴外，只產生一顆衛星液滴，之後使用 CCD 拍攝，即可觀察液滴落下之情形以及計算適當的擷取時間。

在這過程當中，一開始原本的想法是直接噴頭最開端使用擷取系統攔截衛星液滴，但是最後所設計固定噴管的裝置，必須把噴頭固定，使得噴頭不會因為壓力過大而跑出，以致我們無法從一開始就切斷尾液滴，所以我們嘗試在噴液一噴出來的同時攔截衛星液滴。然而實驗結果顯示，如圖 4-17(B)，可以看出有一個衛星液滴因為擷取速度太慢所以導致衛星液滴落下，無法快速的擷取到。此乃因噴液現象是一個瞬間的行為，一開始出來的速度非常快，而這裡所使用的計時器的解析度不夠微細，同時電磁閥的致動速度也不夠快，所以此方法要實行起來有一定的難度，必須改善擷取系統的解析度與速度。

經由實驗觀察，溶液 A 與溶液 B 所產生的衛星液滴最後都會與主液滴分開一段距離，相對的速度較慢。我們嘗試著降低擷取裝置的高度，此時經由先前的實驗可取得最佳擷取液滴的時間，即可擷取到衛星液滴，以改善噴墨品質。

此實驗中，在擷取液滴時，我們設定驅動軸的時間參數為 0.001 秒，首先以溶液 A 做為研究對象，先不使用擷取系統，調整電磁閥之距離，使其衛星液滴降到最少。衛星液滴越少，越好控制擷取系統之時機。經由 CCD 拍攝下來的結果，我們可以知道主液滴大約在 0.280 秒時會經過擷取裝置，隨即設定好擷取系統之驅動時間即可試驗是否可以達到我們的需求。而溶液 A 的擷取過程如圖 4-18(A)到 (C)，經過驅動裝置噴出液滴後，等待主液滴經過擷取系統，隨即驅動擷取裝置，之後的衛星液滴得以成功的被攔截下來，以達到我們的

要求。而溶液 B 也是與上面溶液 A 的步驟相同，經由實驗觀察出來的結果，主液滴在 0.277 時會經過擷取裝置，設定好驅動軸與擷取裝置的時間參數，經由實驗，驅動裝置即可達到我們的需求，其擷取過程如圖 4-19。



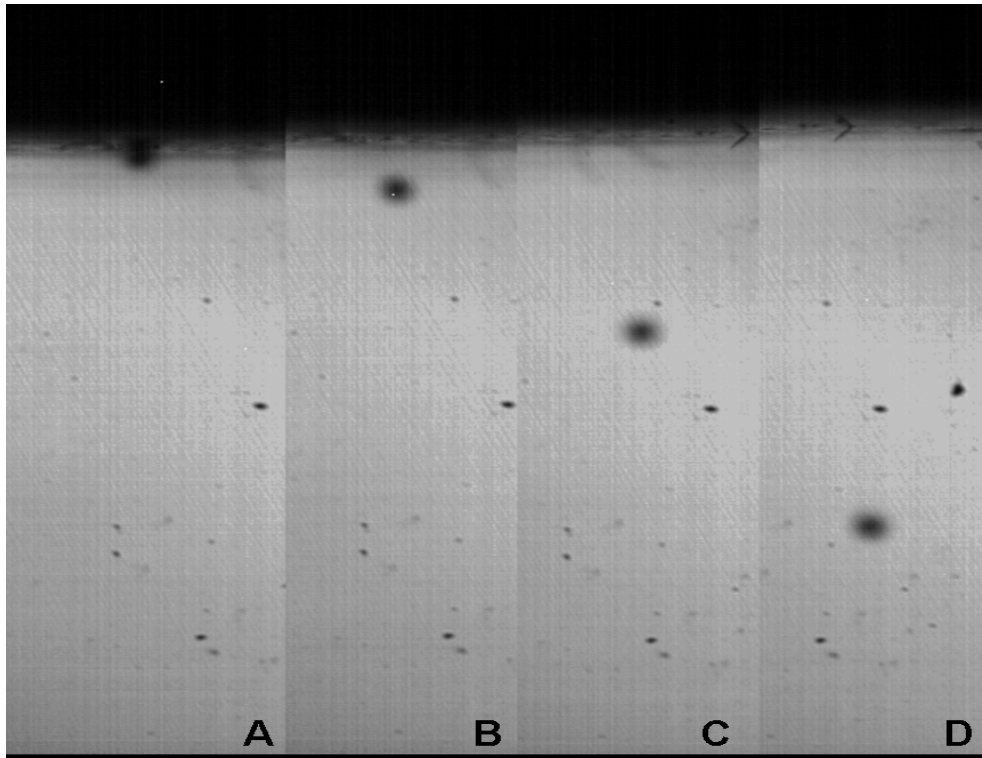


圖 4-1 溶液 D 噴頭一

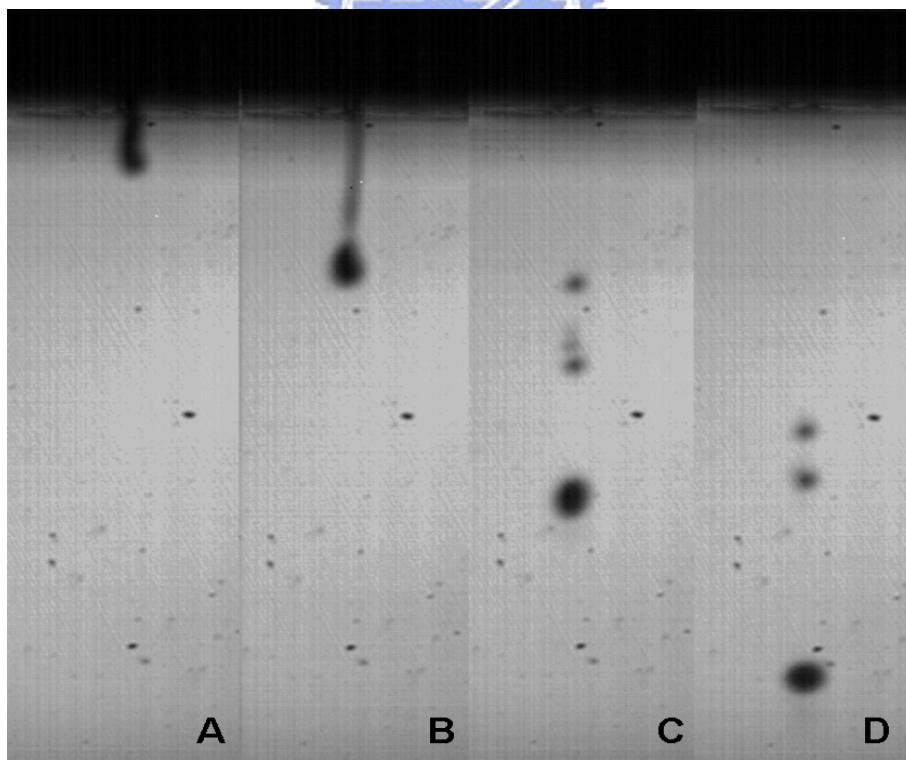


圖 4-2 溶液 D 噴頭二

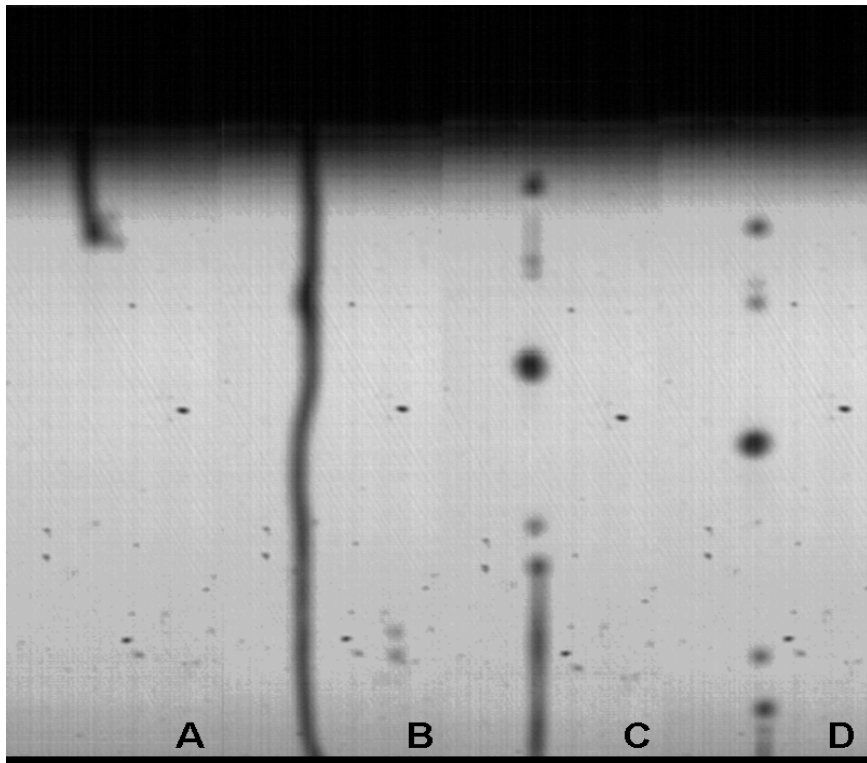


圖 4-3 溶液 D 噴頭三

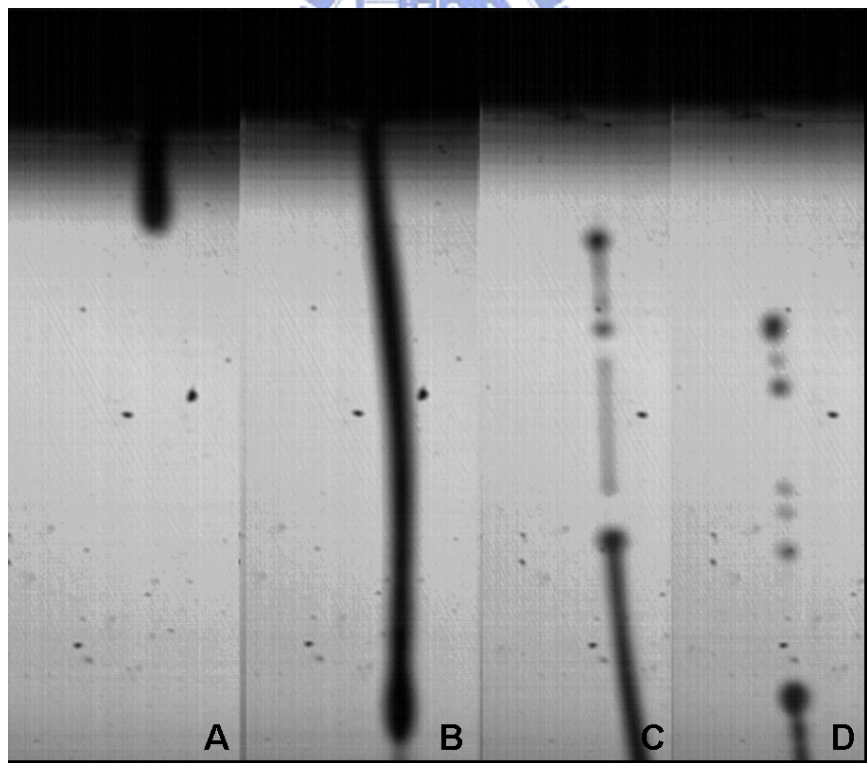


圖 4-4 溶液 D 噴頭四

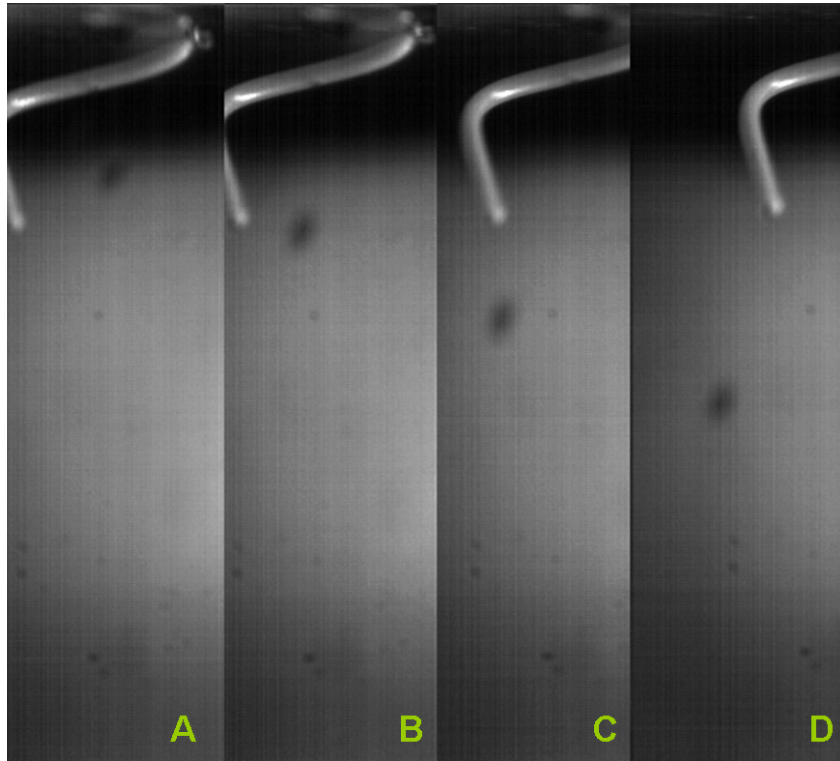


圖 4-5 溶液 D 噴頭二噴出主液滴

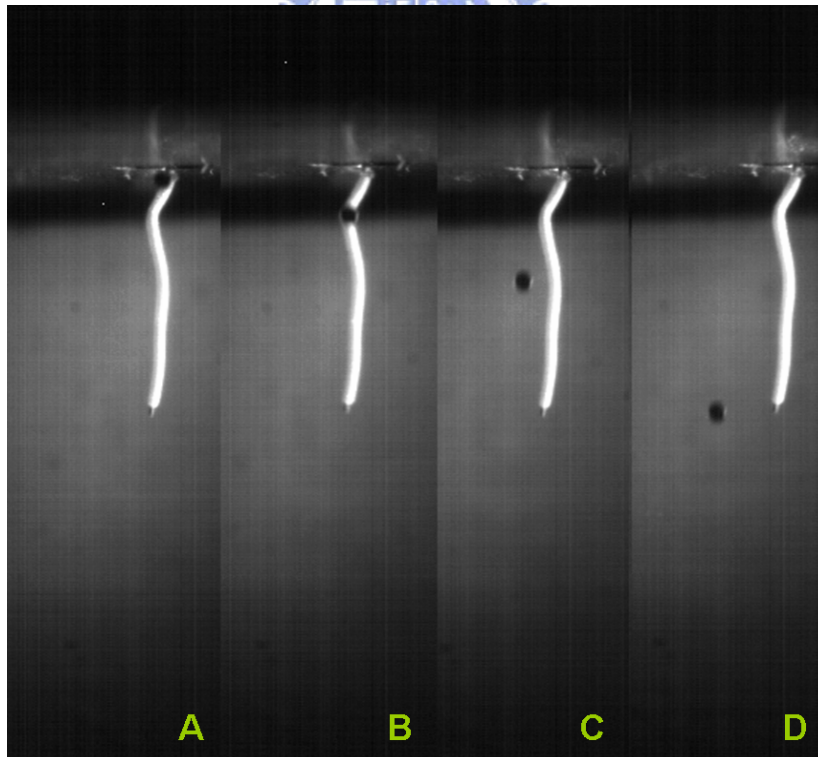


圖 4-6 溶液 D 噴頭三噴出主液滴

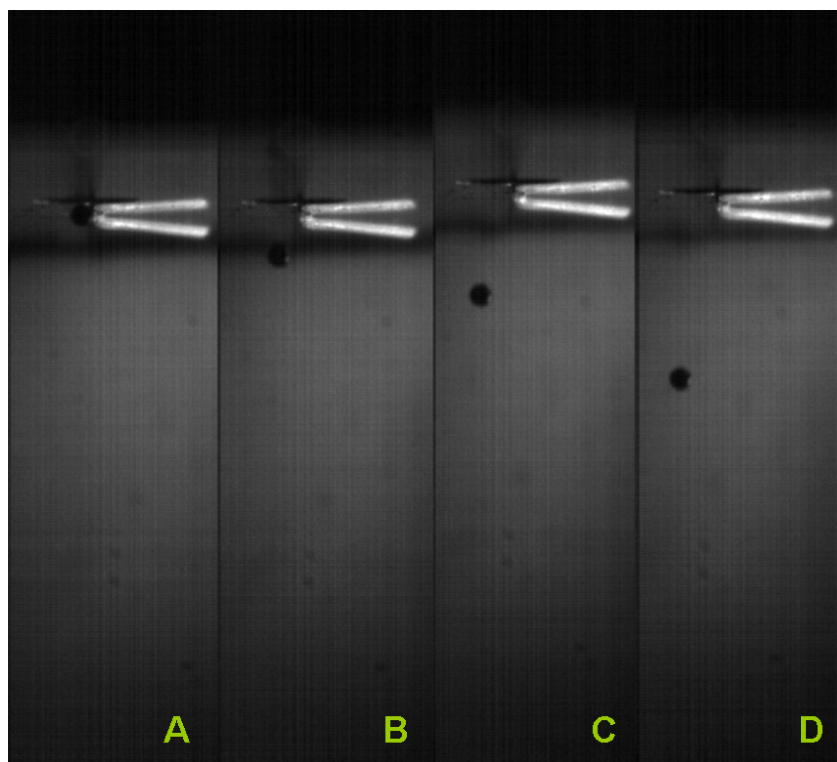


圖 4-7 溶液 D 噴頭四噴出主液滴

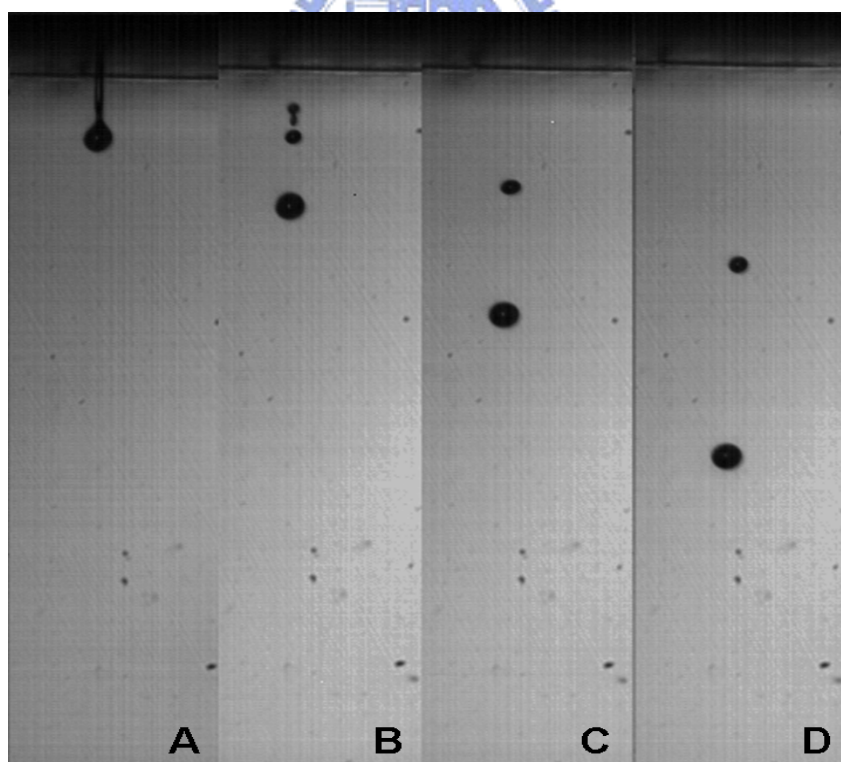


圖 4-8 溶液 C 噴頭一相同驅動參數

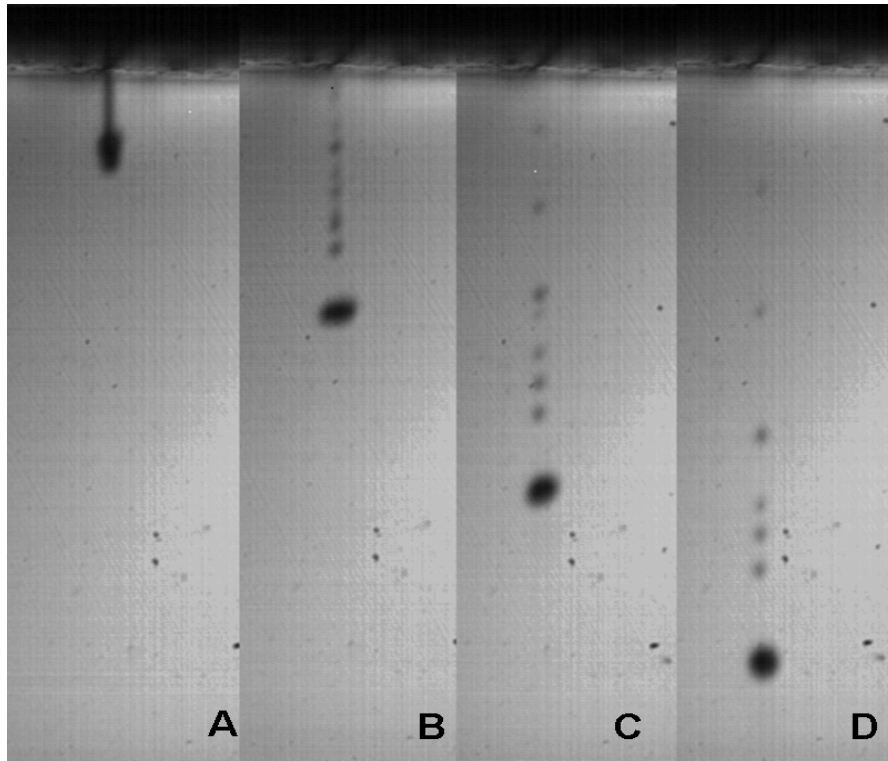


圖 4-9 溶液 B 噴頭一相同驅動參數

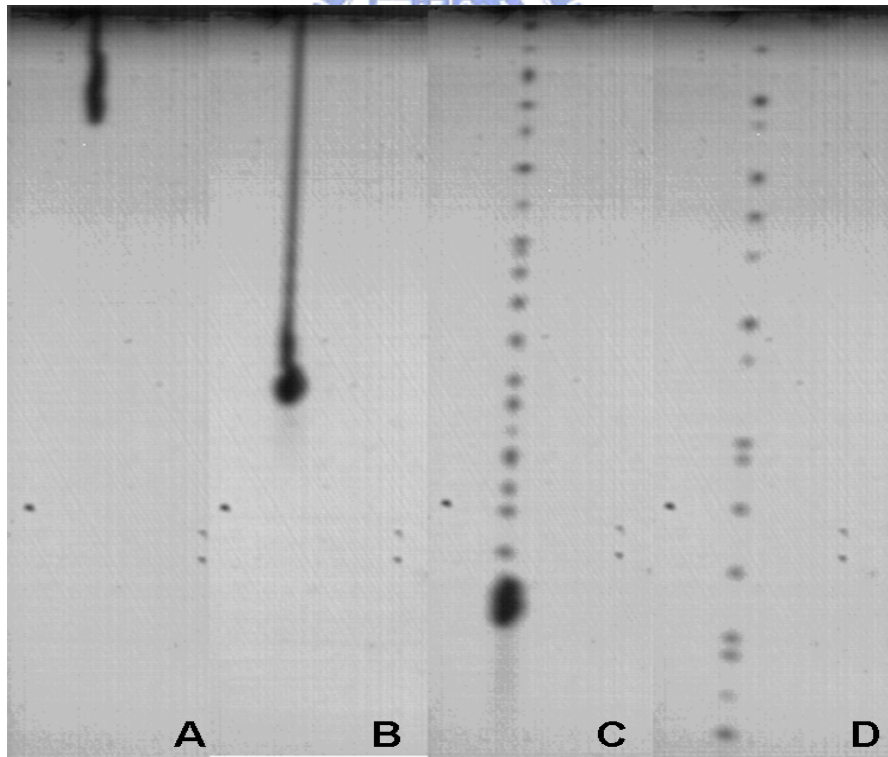


圖 4-10 溶液 A 噴頭一相同驅動參數

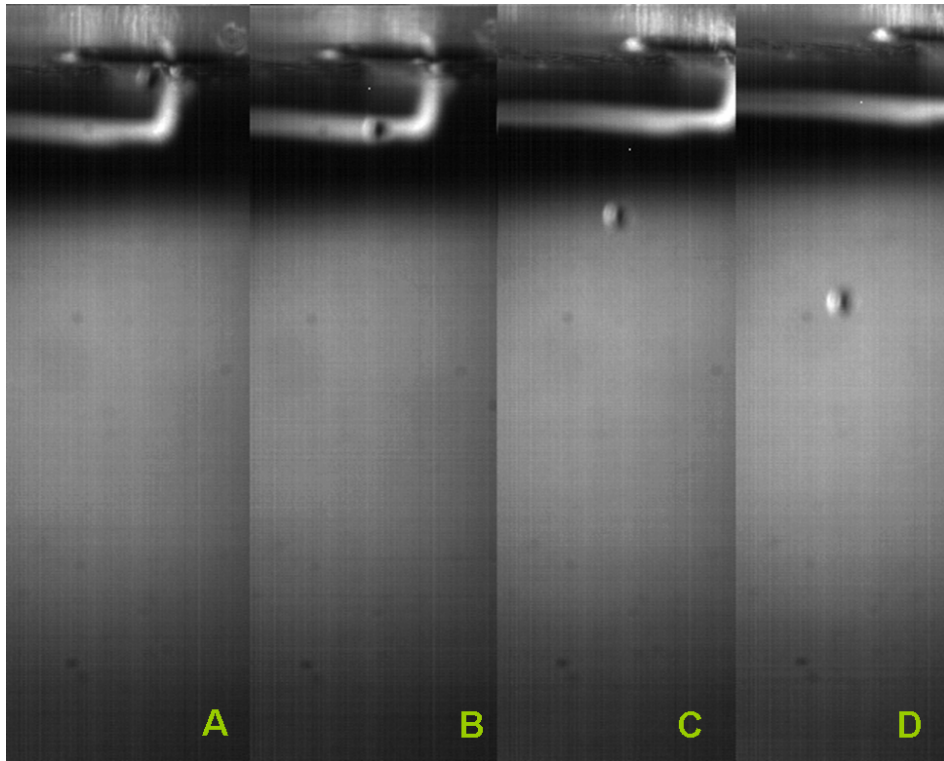


圖 4-11 溶液 C 噴頭一噴出主液滴

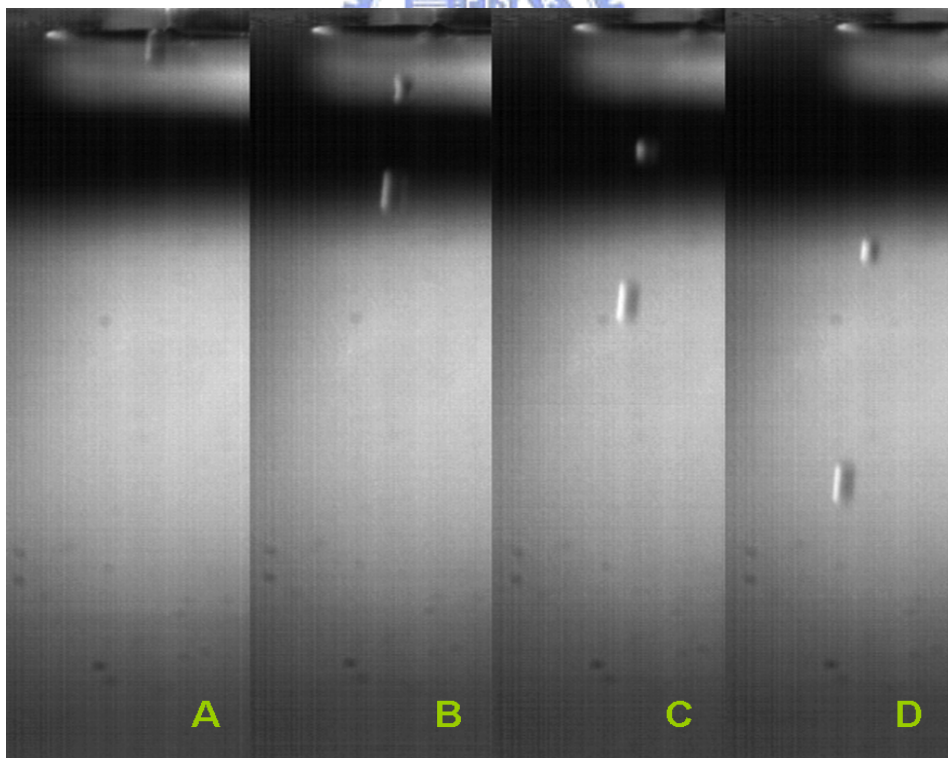


圖 4-12 溶液 B 噴頭一噴出一個主液滴一個衛星液滴

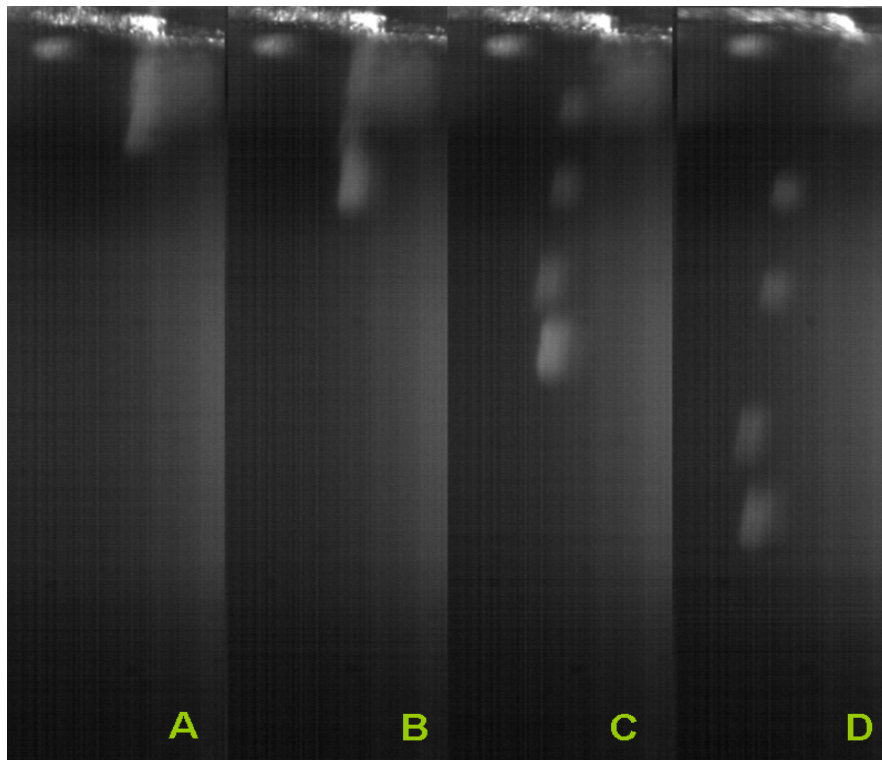


圖 4-13 溶液 A 噴頭一噴出衛星液滴

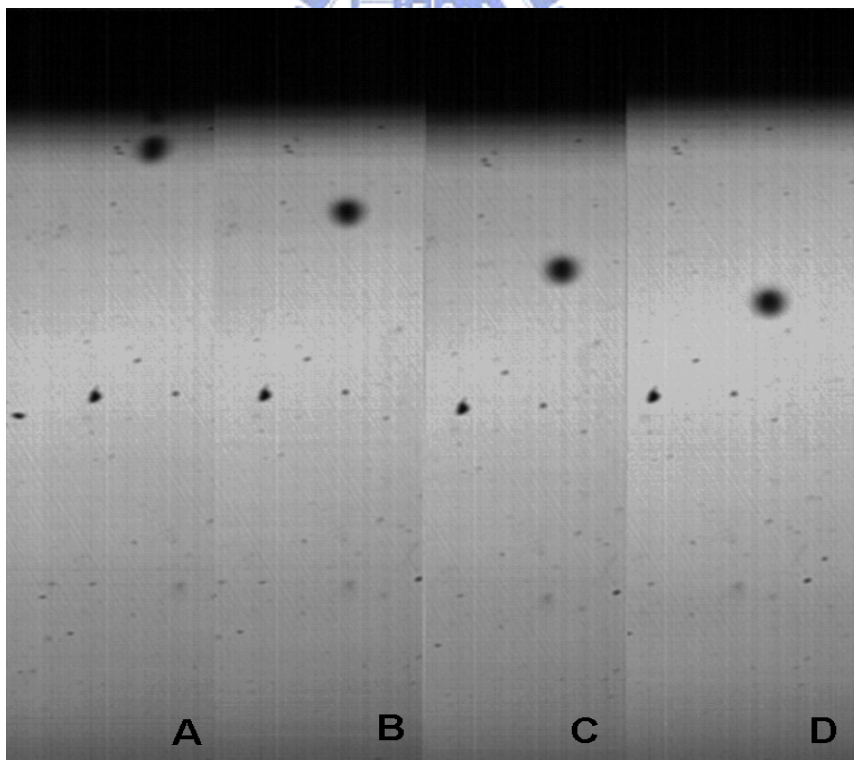


圖 4-14 溶液 E 噴頭一相同參數

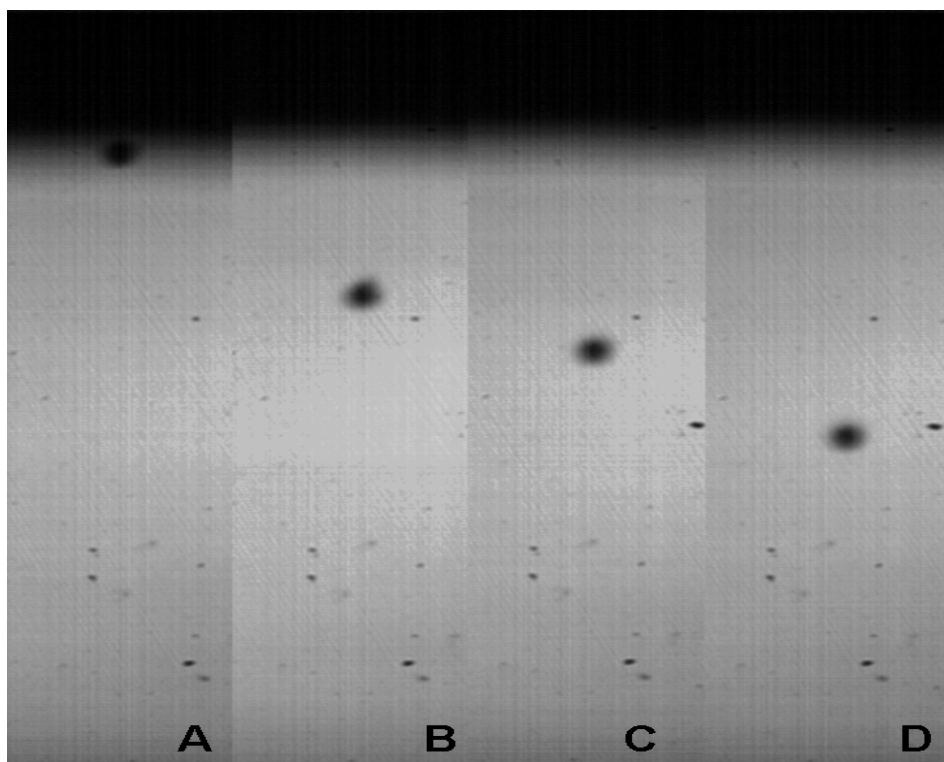


圖 4-15 溶液 F 噴頭一相同參數

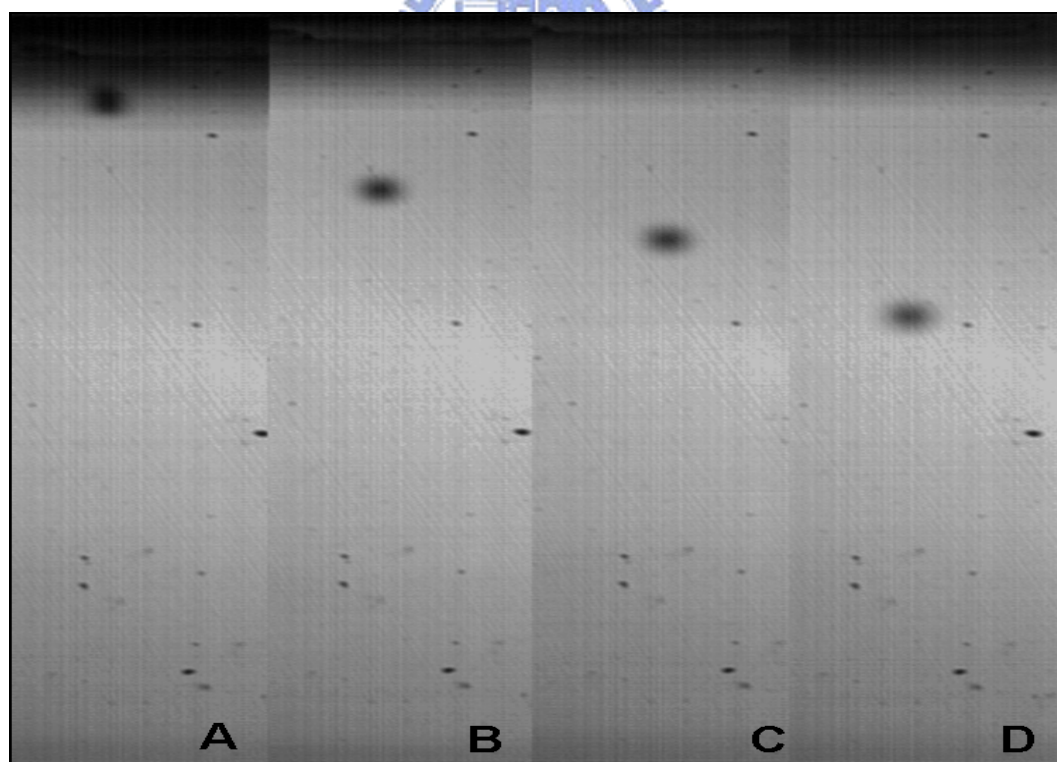


圖 4-16 溶液 G 噴頭一相同參數

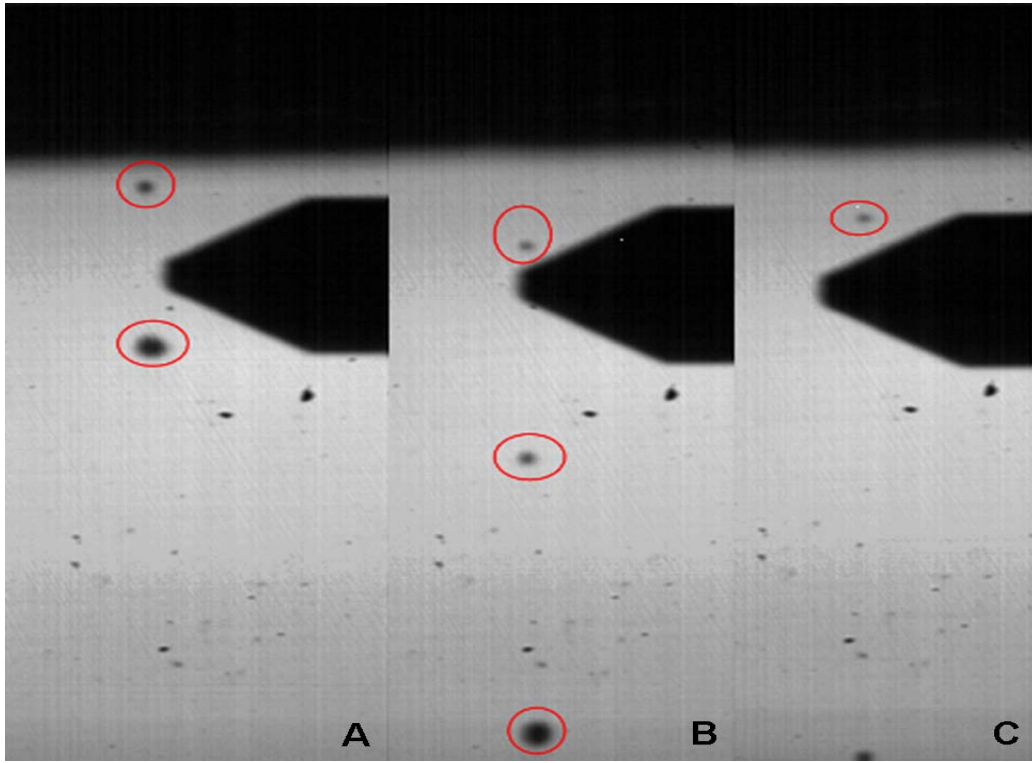


圖 4-17 擷取裝置在頂端

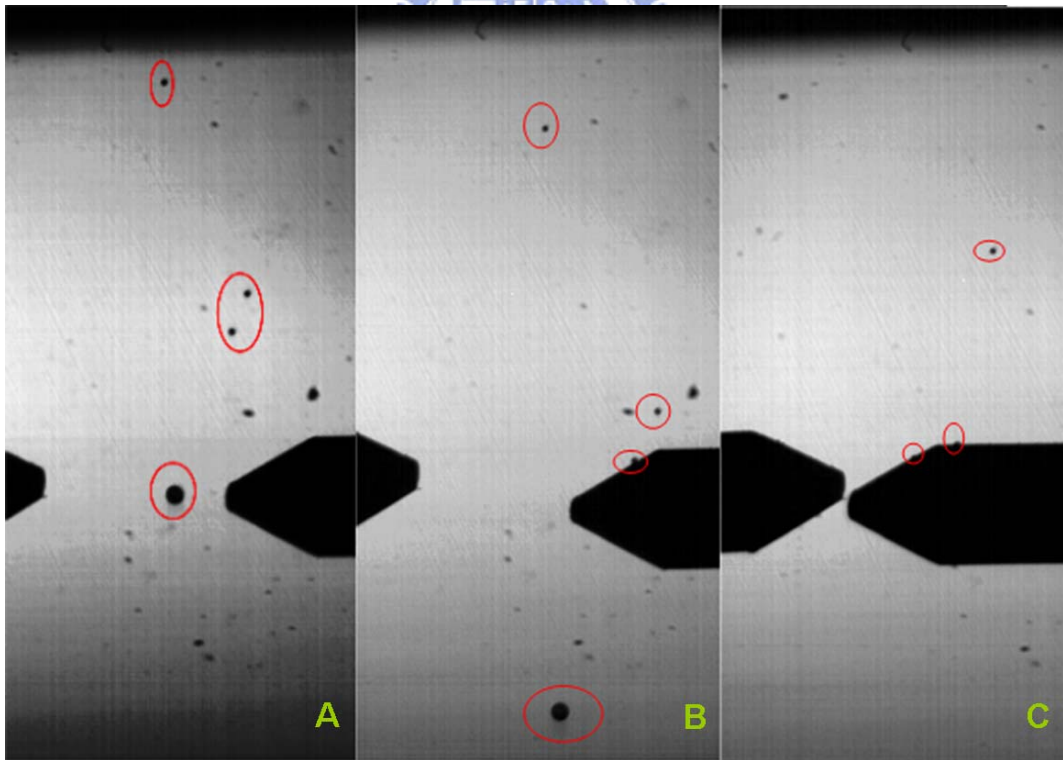


圖 4-18 溶液 A 擷取液滴之後

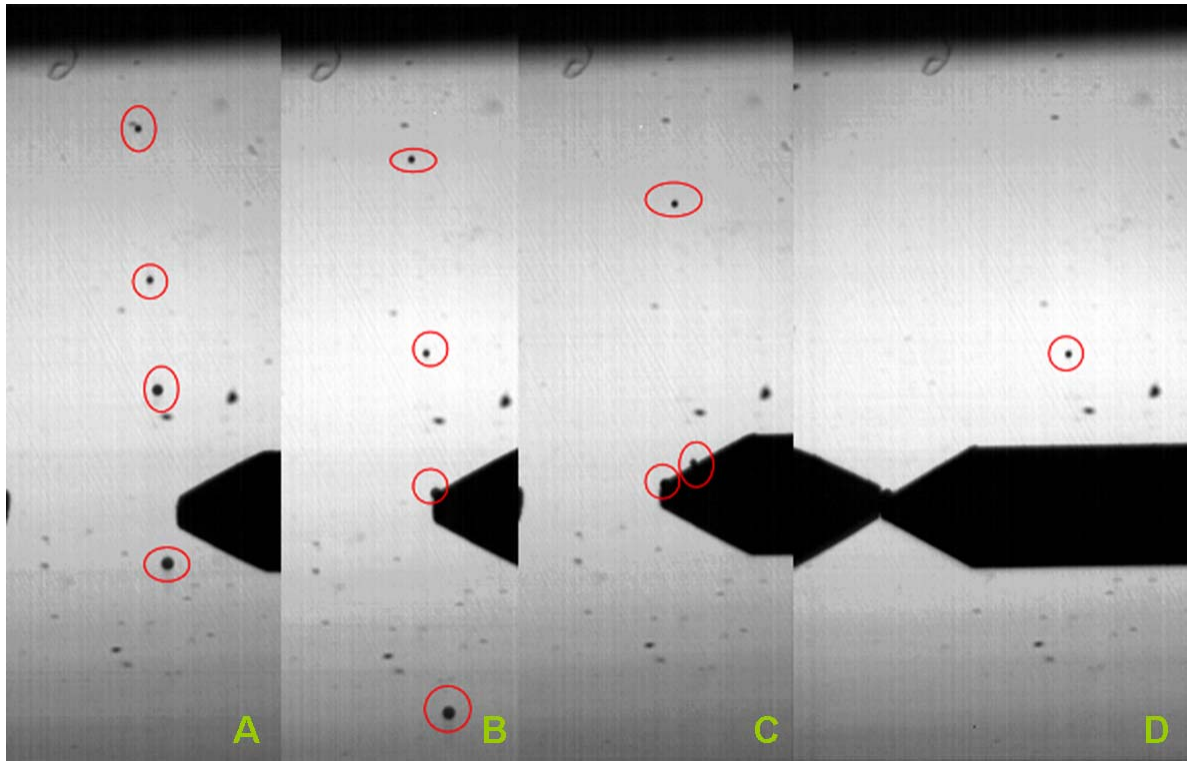


圖 4-19 溶液 B 擷取液滴後



第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究設計、製作一個包括有液滴擷取機構的噴墨實驗裝置，初步探討了噴嘴口徑，墨水黏度，表面張力等對衛星液滴形成的影響，以及液滴擷取機構對攔截衛星液滴的有效性，其結果歸納如下：

- (1)在相同的驅動下，黏度越小，產生的尾液滴越長，相對而言，產生的衛星液滴也越多，而黏度大的則相反，在這也可觀察到產生液滴，液滴斷裂與產生衛星液滴之過程，在此，因為影響液滴生成的因素很多，包括黏度，表面張力，噴孔尺寸等等，而此研究中，使用不同表面張力所觀察的結果並沒有特別明顯。
- (2)藉由控制電磁閥的推桿行程，盡量使得每一種不同的溶液只產生主液滴，而實驗結果顯示，只有溶液 A 與溶液 B 不管如何調整電磁閥的推桿行程，都會有衛星液滴的產生，而其他溶液皆可調整到只有主液滴的出現，此時，無法再藉由改變驅動參數來控制液滴的產生，隨即使用設計的擷取裝置，藉由電壓驅動使得一對電磁閥互相靠近，已得以擷取液滴，而實驗證明，在主液滴經過擷取系統後，隨即驅動電壓，即可擷取到所不需要的衛星液滴，以達到改善噴墨性質之目的，所以這項裝置確實可以幫助我們改善衛星液滴產生之情形。

5.2 未來展望

本研究設計這項噴墨裝置是使用電磁閥在瞬間產生很大的力量，擠壓噴管導致噴液噴擠出液滴，因為驅動為很大的力量，所以導致液滴會因為震動而偏向一邊，雖然在這對於我們的實驗沒有太大的影響，但是若要運用在工業或商業上，液滴必須要有很穩定的彈道，才不至於導致液滴的偏移。

加裝擷取裝置後，經由實驗觀察可以發現，擷取裝置電磁閥驅動的速度太慢，導致若沒有很精準抓到主液滴經過的時間，就會無法擷取衛星液滴；再者，研究中所使用控制驅動計時器時間的範圍只可到 0.001 秒，經由 CCD 觀察，對於溶液 B 而言，很多主液滴與衛星液滴之間的時間差的範圍介於 0.0004 到 0.0006 之間，若沒有控制得精準，就會增加實驗失敗的機率。

期望以後能夠改善儀器震動的現象、擷取裝置的擷取速度以及控制時間的精密度，則會使得這項裝置更為精確、穩定，更可以達到我們的需求。



參考文獻

- [1] Jingkuang Chen and Kensall D. Wise ,”A High-Resolution Silicon Monolithic Nozzle Array for Inkjet Printing”, IEEE Transactions on electron devices, Vol. 44, No. 9, September 1997.
- [2] J.Bharathan and Y. Yang, “Polymer electroluminescent devices processed by inkjet printing: I .Polymer light-emitting logo,” Appl.Phys.Lett.,vol.72,pp.2660-2662,1998.
- [3] T.R.Hebner, C.C.Wu,D.Marcy,H.Lu,and J.C.Sturm, “ Ink-jet printing of doped polymers for organic light emitting devices,” Appl.Phys.Lett.,vol.72,pp519-521,1998.
- [4] Shun-chi Chang,Jayesh Bharathan,and Yang Yang, “Dual-color polymer light-emitting pixels processed by hybrid inkjet printing,” Appl.Phys.Lett.,vol.73,pp2561-2563,1998.
- [5] Eliv I.Haskal,Michael Buchel,Paul C.Duineveld,Aad Sempel,and Peter van de Weijer, “Passive-Matrix Polymer Light-Emitting Displays,” Mrs Bulletin,pp864-869,2002.
- [6] H.Sirringhaus,T.Kawase,R.H.Friend,T.Shimoda,M.Inbasekaran,W. Wu,E.P.Woo,Science 2000,290,2123.
- [7] T.Kawase,H.Sirringhaus,R.H.Friend,T.Shimoda,Adv.Macter.2001,13,1601.
- [8] B.Chen,TCui,Y.Liu,K.Varahramyan,Solid-State Electron.2003,47,841.
- [9] S.K.Hwang,K.D.Lee,K.H.Lee,Jpn.J.Appl.Phys.2001,40,L580.
- [10] P.Cooley,D.Hinson,H.-J.Trost,B.Antohe,D.Wallace,in:Methods in Molecular Biology,Vol.170:DNA Arrays:Methods and Protocols,J.B.Rampal,Ed.,Humana Press,Totowa 2001,chapt.7.

- [11] Torsten Goldmann, Juan S. Gonzalez “DNA-printing: utilization of a standard inkjet printer for the transfer of nucleic acids to solid supports,” J. Biochem. Biophys. Methods, vol.42, pp105-110, 2000.
- [12] D. Wallace, H.-J. Trost and U. Eichenlaub, “Multi-fluid Ink-jet Array for Manufacturing of Chip-Based Microarray Systems” , Second International Conference on Microreaction Technology, March, 1998.
- [13] W. Voit, W. Zapka, L. Belova and K. V. Rao “Application of inkjet technology for the deposition of magnetic nanoparticles to form micro-scale structures,” IEE Proc.-Sci. Meas. Technol, Vol.150, No.5, 2003.
- [14] Yuichi Sakai, Tomoaki Futakuchi, Takashi Iijima and Masatoshi Adachi “Preparation of (Ba,Sr)TiO₃ Thick Film on ZrO₂ Substrates by Inkjet Printing,” Japanese Journal of Applied Physics, Vol.45, No.2A, pp.846-849, 2006.
- [15] Berend-Jan de Gans, Paul C. Duineveld, and Ulrich S. Schubert, “Inkjet Printing of Polymers: State of the Art and Future Developments”, Ads. Mater, 16, No. 3, February 3, 2004.
- [16] M. Grove, D. Hayes, R. Cox, D. Wallace, “Color Flat Manufacturing Using Ink Jet Technology”, MicroFab Technologies, Inc.
- [17] Sawyer Fuller and Joseph Jacobson, “Ink fabricated Nano Particle MEMS,” IEEE Microelectromech. Syst. Conf, 2000, pp138-141.
- [18] Sawyer B. Fuller, Eric J. Wilhelm, and Joseph M. Jacobson, “Ink-jet Printed Nanoparticle Microelectromechanical Systems,” Journal of Microelectromechanical Systems, vol.11, No.1, 2002.
- [19] Hsuan-Chung Wu, Huey-Jiuan Lin and Weng-Sing Hwang, “A numerical study of the effect of operating parameters on drop formation in a squeeze mode inkjet device”, Modelling Simul. Mater. Sci. Eng. 13(2005) 17-34.

- [20] L. Rayleigh, "On the Instability of a Cylinder of Viscous Liquid under Capillary Force", *Philosophical Magazine*, Vol. 34, p. 145, 1892.
- [21] C.A. Bruce, "Dependence of Ink Jet Dynamics on Fluid Characteristics", *IBM Journal of Research and Development*, Vol.20, pp.258~270, 1976.
- [22] W.T. Pimbley, H.C. Lee, "Satellite Droplet Formation in a Liquid Jet" *IBM. J. Res., Develop.*, pp.21-30, January 1977.
- [23] Osman A. Basaran, "Small-Scale Free Surface Flows with Breakup: Drop Formation and Emerging Applications", *AIChE Journal*, Vol. 48, No. 9, September 2002.
- [24] Roy J. Furbank and Jeffrey F. Morris, "An experimental study of particle effects on drop formation", *PHYSICS OF FLUIDS*, Vol.16, No.5, May 2004.
- [25] W.W.Carr and J.F.Morris Georgia Institute of Technology J.Zhu, "Textile ink jet: drop formation and surface interaction," *National Textile Center Annual Report*, 2003.
- [26] J.Eggers and T. F. Dupont, "Drop formation in a one-dimensional approximation of the Navier-Stokes equation," *J. Fluid Mech.* 262, 205, 1994.
- [27] M.P.Brenner, J. Eggers, K. Joseph, S.R.Nagel, and X.D.Shi, "Break-down of scaling in droplet fission at high Reynolds numbers," *Phys. Fluids* 9, 1573, 1997.
- [28] D. T. Papageorgiou, "On the break-up of viscous liquid thread," *Phys. Fluids* 7, 1529, 1995.
- [29] F. D. Wilkes, S. D. Phillips, and O. A. Basaran, "Computational and Experimental analysis of drop formation," *Phys. Fluids* 11, 3577, 1999.

- [30] B.Ambravaneswaran, E. D. Wilkes, and O. A. Basaran, “Drop formation from a capillary tube: Comparison of one-dimensional and two-dimensional analyses and occurrence of satellite drops,” Phys. Fluids 14,2606,2002.
- [31] Heather J.Shore and Graham M. Harrison, “The effect of added polymers on the formation of drops ejected from a nozzle,” Phys. Of fluids 17,033104,2005.
- [32] Roy J. Furbank and Jeffrey F. Morris, ”An experimental study of particle effects on drop formation”, PHYSICS OF FLUIDS, Vol.16,No.5,May 2004.
- [33] 殷夢雲，”噴墨印表機設計原理”， pp.2-3，2001.

