

第二章 文獻探討

2.1 光電元件簡介

2.1.1 面射型雷射

面射型雷射二極體(Vertical-cavity surface-emitting laser, VCSEL)為一新型發光元件，自問世以來一直吸引全球各研究機構之注意。此元件與傳統雷射二極體基本的差別在於共振腔與磊晶層相對位置之不同；傳統雷射二極體的共振腔與磊晶層平行，反射面係利用晶體自然斷裂面形成而與磊晶層垂直，雷射光由側面發出，故又稱邊射型雷射(Edge-emitting laser)，如圖 2-1 所示；而此元件的共振腔與磊晶層垂直，反射面係由磊晶層或表層介電質薄膜組成，雷射光由正面發出，故稱為垂直共振腔面射型雷射。因此差異而可衍生出許多優、缺點，分述如下：

1. 發射光點由正面發出，呈圓形分佈、發散角小，光纖耦合對準容易且光耦合效率高，可節省許多光纖對準封裝成本。特別是其封裝方式與傳統上利用發光二極體(LED)作為光源之數據鏈路傳輸模組可完全相容，整個裝配線無須特別修改，而傳輸距離與速率可大幅提升，因此業界容易接受以面射型雷射取代發光二極體為傳輸光源之做法。

2. 邊射型雷射於晶片製程結束後須將晶片劈裂成晶條，並進行端面鍍膜，此製程複雜耗時且為影響製程良率之關鍵。面射型雷射因非利用晶體自然斷裂面作為反射面，故無須利用劈裂或進行端面鍍膜，可節省可觀之製程時間並避免因此而影響製程良率。另於晶片製程結束後即可於晶片上直接進行元件量測，可節省量測成本及時間。
3. 因共振腔極短、增益區體積小，起振電流較低而調變速率變高，另外若能有效控制側面電流侷限，面射型雷射為單頻、單模態發光，故極適合用於信號傳輸。
4. 因係正面發光，故可作為二維通信陣列使用，特別適合於板對板之數據鏈路傳輸或光纖到家(FTTH)網路中二維光纖束傳輸端等使用，而傳統邊射型雷射則無法用作二維通信陣列。
5. 因無須遷就晶體自然斷裂，故與其他半導體元件，如電晶體、IC、被動元件、調變器等，進行積體化之彈性較大，甚至與二次諧波產生(SHG)元件或微型元件(如 Microlens 等)均有積體化之潛力。
6. 上下反射層需要極高反射率，通常需要 99%以上，製作困難。特別是長波長面射型雷射，因須使用磷化銦系列材料作為發光層，而反射層則使用砷化鎵系列材料，兩者無法同時成長於一片相同

之基板，須利用晶片融合(Wafer bonding)技術，將增加製作之困難度。

面射型雷射二極體顧名思義其雷射光是由晶粒表面垂直發射出來，如圖 2-2 所示，主要特徵是利用上、下兩個 DBR(Distributed bragg reflector)鏡面去形成雷射共振腔；因此，它與傳統邊射型雷射不同之處是省略掉邊射型雷射所需要用的劈裂或乾式蝕刻法製作雷射鏡面之複雜製程，所以 VCSEL 具備下列優點：

1. 低發散之圓形雷射光束，易與光纖耦合。
2. 具有快速調變功能，利於高速光纖網路傳輸。
3. 元件製程技術與 Si IC 製程類似，適於量產晶粒。
4. 在元件尚未切割及封裝前，整個晶片可用 Wafer-level testing 做每個晶粒特性檢測，減低大量生產成本。
5. 可做成 1D 或 2D 雷射陣列，利於串接或並列式光纖傳輸。

以上(3)(4)兩項優點，都使 VCSEL 元件利於大量生產及低成本製程。另外，VCSEL 因為共振腔長度很短，臨限電流較低，故所需操作電流比邊射型雷射為低，且元件壽命長；由於 VCSEL 的特質使其增加了更多的基本研究及光電應用，應用領域涵蓋數據通訊、光連接器、光列印機、光資訊、掃瞄器及光感測等，目前最成功的例子是高速(Gigabit)乙太網路所用光傳接模組之 850nm VCSEL 元件。

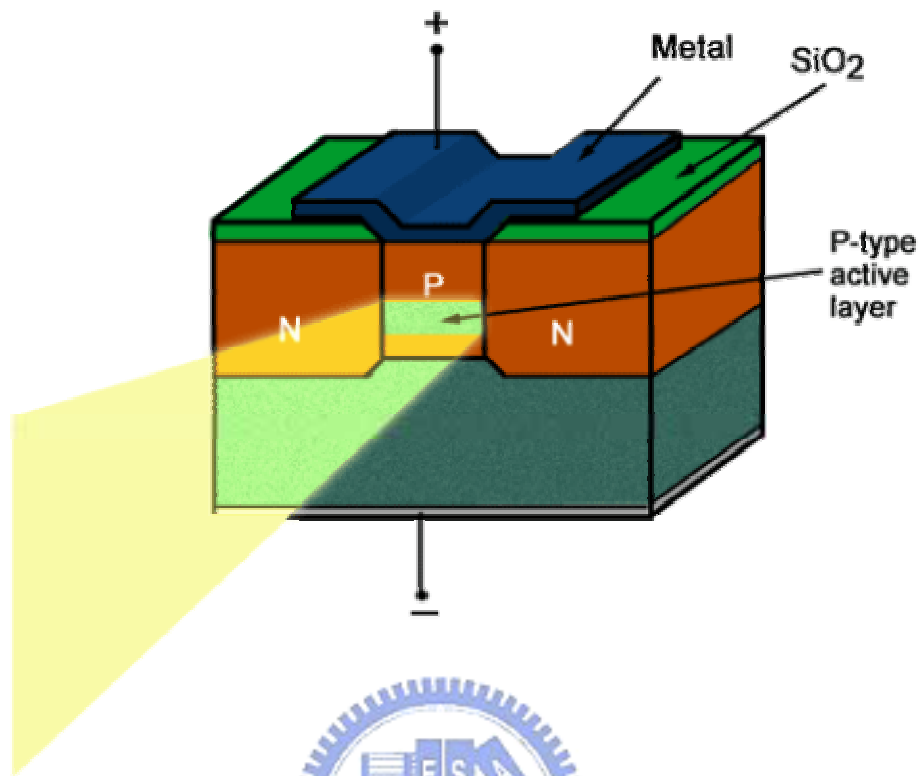


圖 2-1 邊射型雷射示意圖

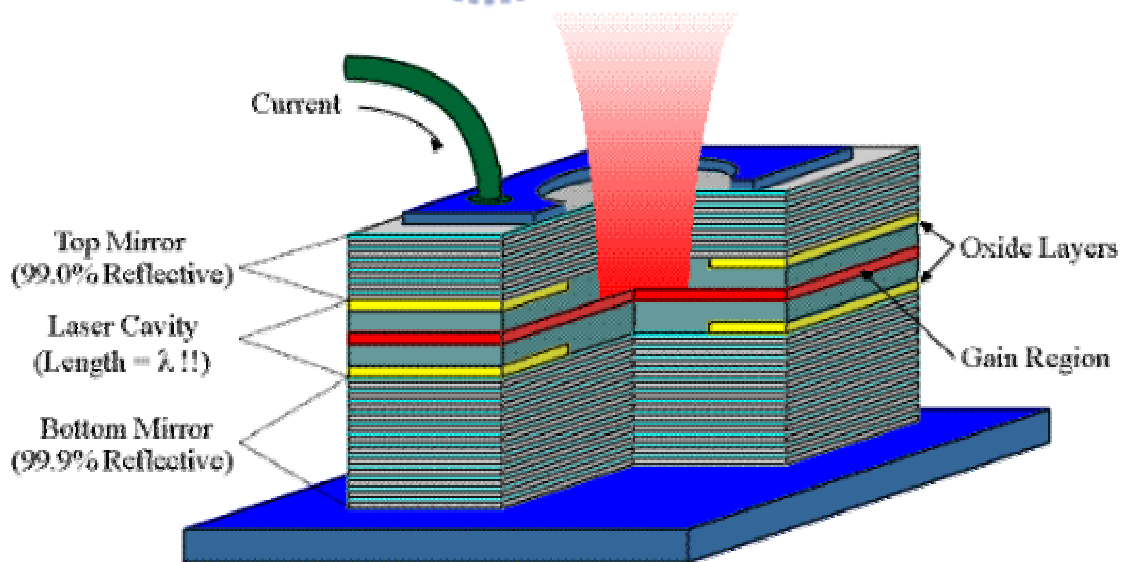


圖 2-2 面射型雷射示意圖

基本上面射型雷射可節省許多組裝成本，包括後段製程、量測、封裝等方面，而且就某些特性而言，如起振電流、圓形發光束、高速調變特性及單模態發光等均較傳統邊射型雷射優異，因此本元件極受各界高度重視。預期面射型雷射可能之應用方向有下列幾項：

1. 光數據鏈路傳輸(Serial optical data links)

目前已有 HP、Motorola、Honeywell、IBM 及 Vixel 等公司投入，可有效取代傳統上以發光二極體作為發光光源之傳輸模組。預期傳輸速率可提升至 Gb/s 之等級且傳輸距離倍增，大幅改善光數據鏈路傳輸性能。



2. 光纖通信網路(Optical fiber transmission)

目前有 UCSB、Cornell University 等機構投入研究長波長面射型雷射應用於光纖通信網路傳輸之可行性，已有 2.5Gb/s、60 公里傳輸實驗結果，於加入摻鉕光纖放大器(Erbium-Doped Fiber Amplifier, EDFA)後可延伸傳輸距離至 200 公里。

3. 並列式光互連(Parallel optical interconnection)

目前已有 Motorola、OETC、POLO、HP、Vixel 及 IBM 等公司及許多研究機構投入研究，其中 OETC 已研製出 32 通路之並列式光內連接模組，每一通路傳輸速率 500Mb/s、可傳輸 100 公尺，美日聯合光電計畫更已研製出 8×8 之二維通信陣列。

4.自由空間光傳輸(Infrared free space optical communication)

係利用本元件優異之圓形光輸出特點，發出雷射光於自由空間傳輸，目前已知有 HP 投入研究。

5.雷射列印(Laser printing)

傳統上雷射列印技術係利用單一雷射配合旋轉反射鏡掃描列印，目前則有人利用一維邊射型雷射取代旋轉反射鏡，但利用面射型雷射則可同時二維列印，加快列印時間，目前 Xerox 已投入此方面研究。

6.光儲存(Optical storage)

光儲存設備主要為 CD-ROM 或 DVD 等，應用面射型雷射可簡化讀寫頭之光學設計，並可節省產製成本，目前韓國 Samsung 公司已投入此方面研究。

以上所述為目前大概之應用及研究範圍，若面射型雷射之製程技

術更成熟後將可吸引更多廠商投入開發或應用。惟前述大部份為砷化鎵系列材料所製成之短波長(小於 1000nm)元件，長波長元件則發展較緩，但用於光纖訊號傳輸時仍以長波長元件較具優勢。

2.1.2 元件的工作原理

基本的面射型雷射結構主要包含兩個部份：(1)上下兩個高反射率之 DBR 鏡面與 (2)夾著中央發光區域(即雷射共振腔)，如圖 2-2 所示。面射型雷射有兩個布拉格反射鏡 (DBR mirrors)，每個 DBR 具有很多週期，而每一週期是一對擁有高低不同折射率的材料組合，因反射波從介面產生干涉現象，每層材料厚度須為 $\lambda/4$ (λ 為光在每層材料中之波長)，DBR 每層材料的選擇條件，必須是兩層材料折射率的差異大，而且能使雷射光穿透不吸收。介電材料可以選出折射率相差很大的組合做為 DBR 材料，例如 ZnSe 和 CaF_2 相差 1.7，所以只需少數週期對，即可獲得高反射率；但是半導體 DBR 材料能夠吸引全球的研究人員注意的最主要的原因，是此法可以用磊晶生長技術直接生長在基板上達成，並且元件的電流能通過 DBR 鏡面，獲得良好的傳導效果，可惜半導體 DBR 其折射率差不如像介電 DBR 大，例如 GaAs 和 AlAs 相差 1.2，因此需要更多週期配對，通常要多於 20 對 DBR 才可達到高反射率的要求；850nm 波長 VCSEL 之 DBR 材料為 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}-\text{AlAs}$ ，而 980nm VCSEL 之 DBR 通常選為 GaAs-AlAs

配對，若對於某些半導體系統缺乏足夠的折射率差，導致要利用晶片黏著(Wafer bonding)方式，將兩片 DBR 晶片分別黏於另一種發光晶片上，如 1.3- μm 及 1.55- μm 波長雷射，此法非常複雜、良率低、成本高，量產是相當困難的。

電流經過 DBR 半導體材料，產生電阻，由於高折射率與低折射率界面有很大能帶差異(Energy band offset)，形成障壁阻礙電流通過，此效應在 P-DBR 尤為嚴重，故如何降低 DBR 之電阻成為製作 VCSEL 一個很重要的課題，一些有效的解決辦法陸續被提出，如在界面處讓組成逐漸改變(Alloy grading)，通常再伴隨變化摻雜(Doping)濃度的方法，像是在界面處增加摻雜濃度，或用瞬間摻雜(Delta doping)，或調變摻雜(Modulation doping)等方法降低電阻。

2.1.3 元件結構與晶體成長

為了使 VCSEL 元件達成光與電的橫向侷限(Transverse confinement)，一般從事 VCSEL 研究學者採用如圖 2-3 的四種結構，在研究初期最直接的構想是用圖 2-3 (a)的 Air-post 結構，用乾式蝕刻形成一個柱狀結構，製程較為容易。雖然雷射有低臨限電流值及強折光射導向特性，但由於蝕刻後之邊牆粗糙，造成雷射熱散差及光損失大，VCSEL 特性不佳。

第二種結構(圖 2-3 (b))是為了要達到平面化元件製程，利用離子

佈植法分別刻劃出發光區大小及晶粒邊緣之電流隔離，使電流呈漏斗狀流至發光區域，這種製程簡單易於量產，雖然無法使元件達到光侷限效果，但元件特性相當良好且可靠性極高，是目前商用產品生產所採用的結構。

第三種是目前各大研究機構極力研發的氧化侷限型結構，如圖 2-3 (c)所示在蝕刻平台(Mesa etch)完成後於高溫(350-500°C)通入 H₂O 氣體，使得埋入其中 AlGaAs 材料氧化，適當控制氧化速率可以獲得良好的光及電的侷限效果；一般而言，氧化侷限型 VCSEL 特性優於離子佈植型者，因為它可得到夠窄的發光區(Aperture~1μm)，所以可達到低臨限電流(<1mA)，高量子效率及低臨限電壓(1.33V)，某些著名的生產廠商業已經証實氧化侷限型元件壽命可媲美離子佈植型者，但其缺點是技術層次較高，尤其是氧化速率與 AlGaAs 組成息息相關，若 Al 組成有些許變化將會嚴重影響氧化結果，而且它是非平面的製程，更增加了生產的困難度。最後一種是如圖 2-3 (d)的埋入再成長型結構，目的類似於邊射型雷射常用的 BH 結構，可以獲得良好的橫向光及電的侷限，但是在含 Al 組成很高的 DBR 鏡面上做磊晶再成長，技術層次太高，須付相當的代價，所以此結構卻是叫好不叫座。

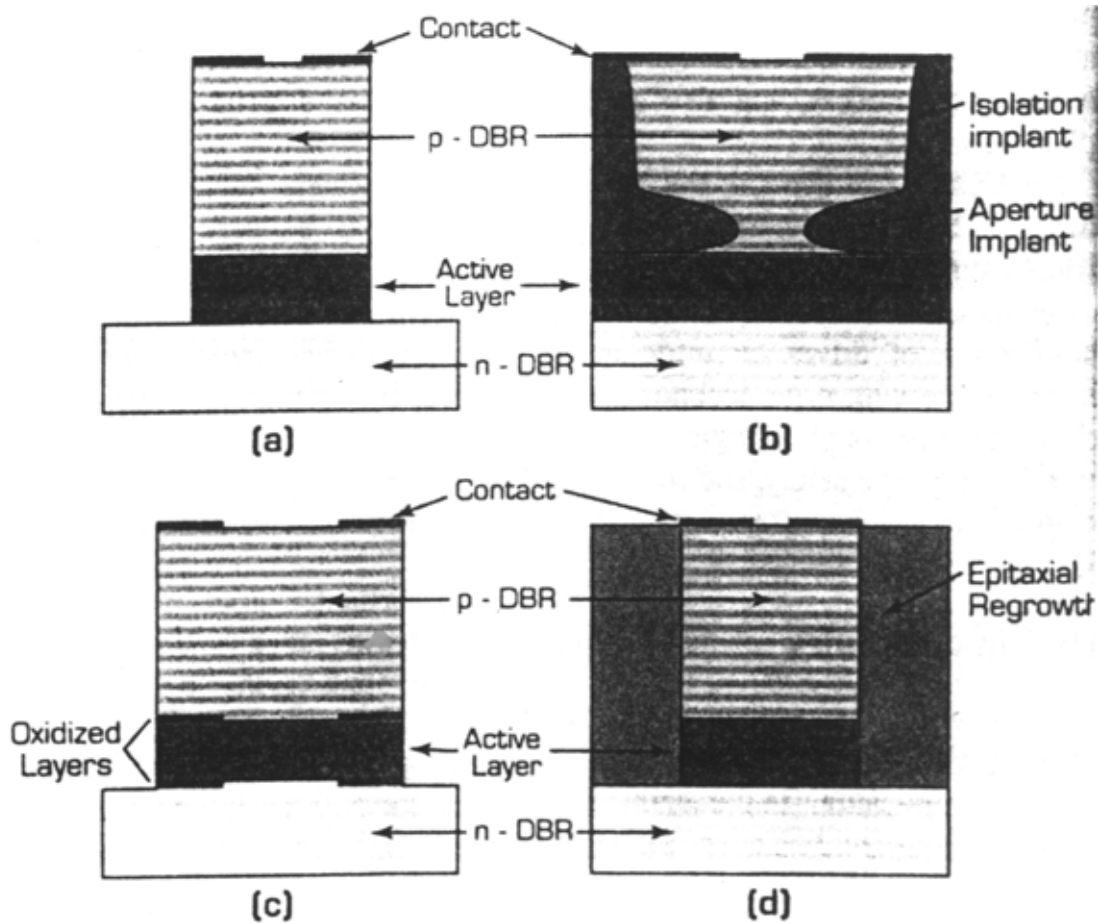


圖 2-3 幾種不同的 VCSEL 結構^[1]

如前所述，VCSEL 結構相當複雜，一個完整的 VCSEL 元件需要高達 100 層的磊晶生長，每層都需要精準的厚度控制，所以磊晶生長技術是深具挑戰性的，一般而言，VCSEL 的磊晶成長速率控制要求需優於 1%，這比傳統邊射型雷射 5~10% 厚度容許變化要更嚴格；因為 1% 的磊晶厚度改變，對傳統邊射型雷射發光波長會導致 0.5nm 的改變，但對一個 VCSEL 結構卻會引致近乎 8.5nm 的波長變化。為了有效控制成長速率，磊晶生長的工程人員必須要瞭解成長速率變化的原因及改變成長條件，或是在磊晶生長的過程中，裝置一個現場

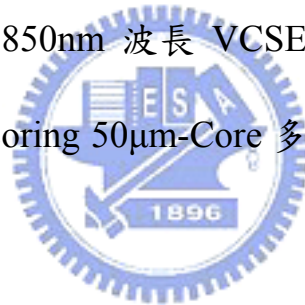
(In-situ)厚度監控設備，將成長厚度變化降至最低。有機金屬氣相磊晶(MOVPE)及分子束磊晶(MBE)是經常被採用的兩種半導體磊晶成長技術，MBE 雖然提供優異的厚度控制及現場監控系統，但 MOVPE 卻因利於大量生產，而被廣泛採用做為 VCSEL 磊晶生長技術，此外，MOVPE 也提供了高成長速率、高光學品質及低電阻之 DBR 鏡面，這些優點也讓它成為從業者所採用的原因。

2.1.4 VCSEL 元件的應用

自 1996 年開始，850nm 波長的 VCSEL 元件已悄悄地走入市場，目標乃設定於高速(Gigabit)、中距離(<500 米)的光纖數據傳輸網路，Motorola 和 HP 是最先提供模組(Module)封裝的產品，而 Honeywell 則提供 TO 封裝 VCSEL 元件，陸續有 Mitel Semiconductor、Vixel 及 MODE 等公司的產品加入市場，甚至一些磊晶片製造商如 Epitaxial Products International、Spire 及 MODE 也開始提供 850nm VCSEL 磊晶片，此外元件也須設計成具備長壽命、高調變速率及顧慮人眼的安全問題。前面提到面射型雷射的光電特性具有許多優點是邊射型雷射所欠缺的，如臨限電流很低(3~6mA 或更低)，近乎圓形的雷射輸出、單一波長、易於製成 2D 陣列與 Si 形成積體化及長壽命，這些都是系統使用者所希望追求的。

2.1.5 光纖網路傳輸(Data communications)

簡單、快速且可靠的面射型雷射是高速乙太網路的最佳選擇，波長 850nm VCSEL 封裝是使用標準的 TO-46 基殼上加平面或球面透鏡封蓋為成品，後者可直接耦合至 50/125 或 62.5/125 的多模光纖，有的產品附有監控功率的檢測器做為 APC 之用，甚至為人眼安全而做光學鍍膜以衰減雷射的輸出。目前 VCSEL 元件可應用於高速光纖網路系統有：1.25Gb/s Ethernet, 2.5 Gb/s SONET, 10Gb/s SONET 及 Fiber Channel，因 VCSEL 挾其固有優異特性，譬如單一縱向模態及多重橫向模態，可以降低色散差及多模光纖的雜訊，故使用於高速光纖網路傳輸時非常方便，當前 850nm 波長 VCSEL 商用產品表現最傑出的 W.L. Gore 公司，使用 Corning 50 μ m-Core 多模光纖，其特色為頻寬與長距離的傳輸。



面射型雷射可做為系統與系統間、電路與電路間，甚至是元件與元件間的連接(Interconnect)。VCSEL 用來做為光連接器的輸出除了可以提高頻寬外，也沒有阻抗匹配的問題；此外，VCSEL 雷射光具有高度同調性與對稱性，更可做為短距離高密度 2D 元件與元件間之傳輸，一個智慧型微元件(Smart pixels)，光訊號經由光檢測器輸入將訊號轉為電訊號，而電的訊號再依使用者的需求由矽積體電路做邏輯運算、放大、解調等處理，最後再將處理後之資料以面射型雷射光的形式輸出。這種元件最大的好處就是以雷射光做為輸出入訊號的來源，

沒有訊號互相干擾的問題；此外，邏輯運算、放大等光元件無法做到的由 Si 或 GaAs 積體電路來達成，加上面射型雷射陣列的高密度化，使得處理的資料量可達到 200Gb/s-cm^2 ，在不久將來，將可達到 1Tb/s-cm^2 。

2.1.6 光感測(Optical sensing)

面射型雷射雖與發光二極體(LED)同為表面發光元件，但因雷射光束更微小，可聚焦成幾個微米，運用在光資訊方面可提高資料儲存密度，資料儲存體積得以縮小，同時亦可運用於光編碼器(Optical encoder)、掃瞄器(Scanner)、印表機(Printer)，其解析度為 4000 lines/inch；此外，由於 VCSEL 耗電量低，相容於 3.3V 電源供應，對新一代產品將會扮演重要的關鍵。

相較於邊射型雷射，VCSEL 之雷射光束不易發散，經過長距離之後仍維持很小的光點，可以增加測量的精密度，所以 VCSEL 可用作測距儀(Laser range finder)或定位儀之用，使用 VCSEL 不但省略了許多光學設計，且在 Low duty cycle 脈衝操作時可得高速的尖峰功率，增加感測元件的操作範圍；又由於 VCSEL 雷射光相當穩定，可將其射在物件的散射斑點，作為監測物件的擾動情況。另外，VCSEL 具有窄頻寬發射特性，使其適於偵測某特定材料如氧化光學染料在醫學的用途上。用面射型雷射之雷射光來偵測氣體含量，主要也是基於

面射型雷射的反應快、壽命長及單模、對溫度變化的高穩定性之特點，與一般用電化學的方式做成的偵測儀相比較時，電化學反應需要 10~20 秒的反應時間，而用面射型雷射只需要幾個毫秒。所以對於具有毒性氣體及高爆炸性氣體的存放安全而言，面射型雷射的氣體偵測儀則顯得非常重要。

2.1.7 矩陣元件應用(Array applications)

對快速且具有高解析度光學列印機需要像 VCSEL array 元件，將 1D 或 2D array 封裝成元件，具有對稱圓形光點、無散光及高密度等優點，符合於高解析度的列印機的需求。

VCSEL array 同時也是未來極具市場潛力的並列式矩陣模組 (Parallel array transceivers) 的最佳選擇，可使用在 Central office cross-connects、Terabit switches、Workstation clusters 及 Serial Gigabit Ethernet links 上，而 VCSEL array 將需要大量的 VCSEL 磊晶片，利用光蝕刻方法製成 1D 或 2D array chips，並可封裝成體積很小的元件，便於配合 Multifiber ribbons 使用。目前世界記錄以 Lucent Tech-Bell Labs 為最好，利用 Flip-chip bonding 技術將 970nm 16×16 array 黏固在 COMS 電路上，並對 16×5 array 元件量測，每個 VCSEL 元件功率在室溫達 4mW，速度達 1Gb/s，故總速度高達 77 Gb/s。

在高功率應用方面，VCSEL 尚在初期研發階段，德國 Ulm 大學

已做出單一元件功率超過 100mW，未來即將超過 300mW 及 VCSEL array 達 2W 功率元件，然光束品質尚需改進，而封裝技術則為重要的一環。^[1]

2.2 光電元件封裝技術

2.2.1 封裝目的

把經過組裝和電相連的光電元件晶片與相關的功能元件和電路等，共同封入一特製的金屬殼子內，並通過模組內部的光學系統與外部達成光連接，這一技術稱為光電元件封裝技術，其主要目的為：

- 1、使光次模組和電路與外界環境隔絕，避免外界有害環境的侵襲，並保證其表面清潔。
- 2、為元件提供一個合適的外接引線。
- 3、能更好地承受各種惡劣環的考驗，提高元件的機械強度。
- 4、元件藉助封裝來提高電、光學性能。對於大功率的高速元件，外殼結構要具有散熱和屏蔽作用。

因此，光收發模組的後部封裝是非常重要的程序，它不僅關係到元件的穩定性和可靠性，而且不同的管殼結構和封裝型式還會影響到元件的性能參數。對於光收發模組封裝技術的主要要求則為：

- 1、氣密性好。確保光次模組與外界隔絕。
- 2、足夠的機械強度。結構牢固可靠，能承受機械振動、變頻振

動、機械衝擊等各項試驗；外引線與管殼之間的連接、尾纖與殼體之間的固定要牢固，經過引出端強度試驗和抗度試驗後，不應出現斷裂或損耗，尾纖不應發生耦合對準位移。

3、熱性能好。要求外殼化學穩定性和散熱性能好，經過 85°C 和低溫-40°C 循環衝擊試驗後，要求性能穩定。

4、可銲性好。內引線容易壓銲，並有一定的拉力強度；外接引線易上錫。

5、元件外型尺寸符合國際標準，有利於產品的標準化、普及化和系統化。加工儘可能簡便、低成本與適合大量生產。

光收發器封裝根據不同性能、不同元件、不同用途要求，結構和方式也不同，並且由於技術的發展，封裝結構正趨向於小型化和多功能模組化。目前技術主要有同軸封裝、雙列直插式封裝、蝶形封裝以及正在發展中的各種微型封裝。^[2]

2.2.2 雷射二極體模組的簡介

目前光纖通訊中，常用之雷射二極體模組封裝型式，依外觀及傳輸速率，大致可分成三大類：分別為圓柱式(Transistor-outline, TO)、雙排線式(Dual-in-line package, DIP)，以及蝶式(Butterfly)。其主要結構如下：

(1) 圓柱式構裝(TO Package)：

TO 構裝件(如圖2-4 所示)一般在訊號傳輸速度比較慢(約100~200Mbps)，構件體積小，且無熱電冷卻裝置，無控制構件溫度能力，但因構裝成本低，構造簡單，適合量產，目前主要應用於數據通信(Data communication, Datacom)、區域網路(Local area network, LAN)、光時域反射儀(Optical time-domain reflectometer, OTDR)、Compact Disk (CD)等，訊號傳遞速率要求較不高的產品上。

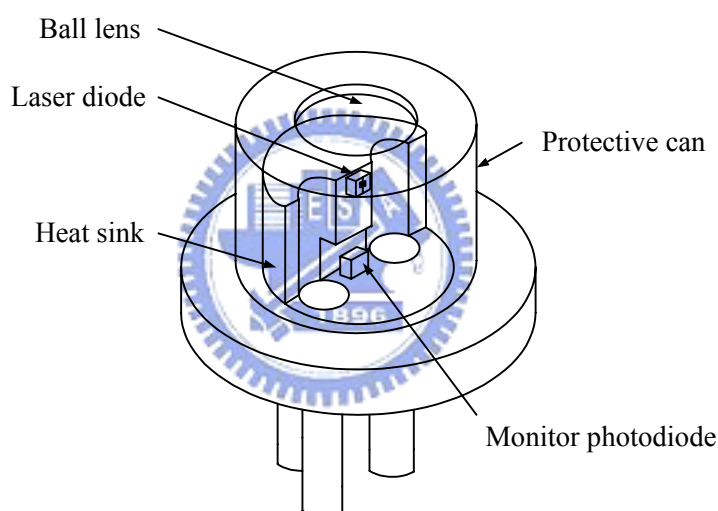


圖2-4 TO構裝結構示意圖

(2) 雙排線式構裝(DIP)：

DIP 構裝(內部結構如圖2-5 所示)一般其訊號傳輸速率較快(可達1.2Gbps)，適用於1Gbps 以下速率需求。外型上因其體積較大，散熱面積大，且可容納致冷器及監測器，可獲較佳之訊號輸出功率的穩定性，其構裝更可作氣密式封裝，減少環境影響並延長使用壽命。因成本較高，目前主要應用於通信(Telecommunication, Telecom)、有線

電視(Common-antenna television , CATV)、LAN、OTDR 等方面。

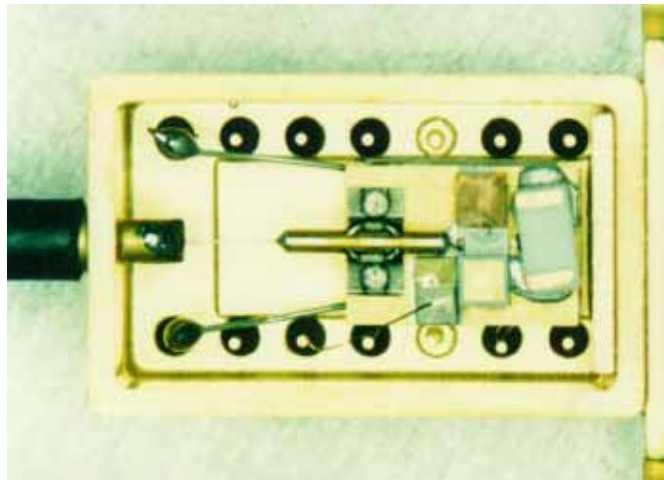


圖2-5 DIP內部結構圖

(3) 蝶式構裝(Butterfly Package)：

Butterfly 構裝(如圖 2-6 所示)基本上以 DIP 構裝方式為基礎，故除了擁有 DIP 構裝件的優點外，更因其接腳線較短，可達更快之訊號傳輸速率(2.5Gbps 到 10Gbps)。[3-5]

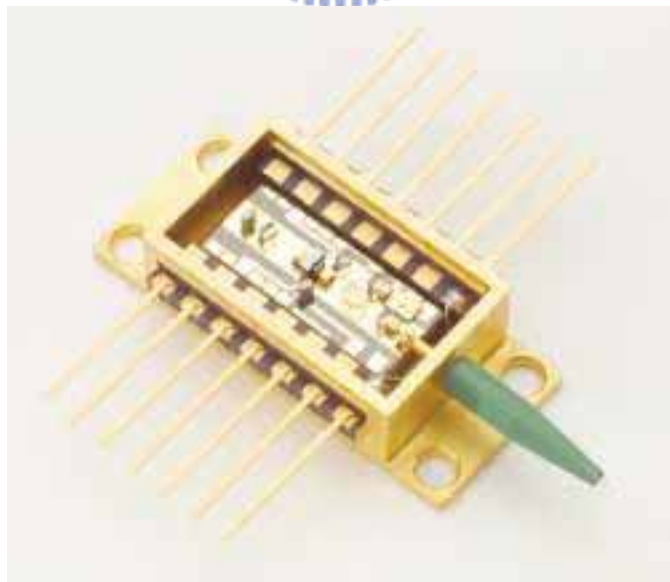


圖 2-6 蝶式構裝內部結構圖

2.3 電阻銲接技術

2.3.1 電阻銲接概況與應用

「電阻銲接」歷史相當悠久，早已於 1877 年「湯臣」(Elihu Thomson)在偶然機會中發明它，但直至 1920 年之前各式電阻銲接機獨佔之專利市場，並沒有實用化，亦沒有大的進展，1920 年以後才逐漸普及，然後自 1935 年開始增多。

在初期，主要被利用於對接，應用於電線接合，大者用到鋼軌的銲接。到本世紀中被實用於點銲或縫銲，也開發了對縫(Butt Seam)銲接裝置。接著於 1930 年陸續出現汽車車體用閃光銲接機。



2.3.2 電阻銲接之種類與特點

電阻銲接為高溫壓接合之一種，各種接法中被利用最多的代表性銲接法。所謂電阻銲，乃將於接合之部份直接通以大電流，利用電流導致電阻發熱使銲接部溫度升高，再經加壓之後，而進行銲接。因此可在極短時間內完成銲接，速度效率高，非常適合於大量生產；但相反的銲接機價格昂貴，且需要大電源容量，設備費鉅大，不適合於少量生產。

電阻銲接有數種如表所示，搭接(Lap)電阻銲接與對接(Butt)電阻銲接之間，不但接頭形狀大有差異，結構與銲接機器之應用方面也有顯著不同。

搭接電阻銲接是將板料重疊，接合部位成為點狀或線狀之方法，均利用於薄板上之技術，多半應用於汽車板金，家電產品及其他板金量產製品。

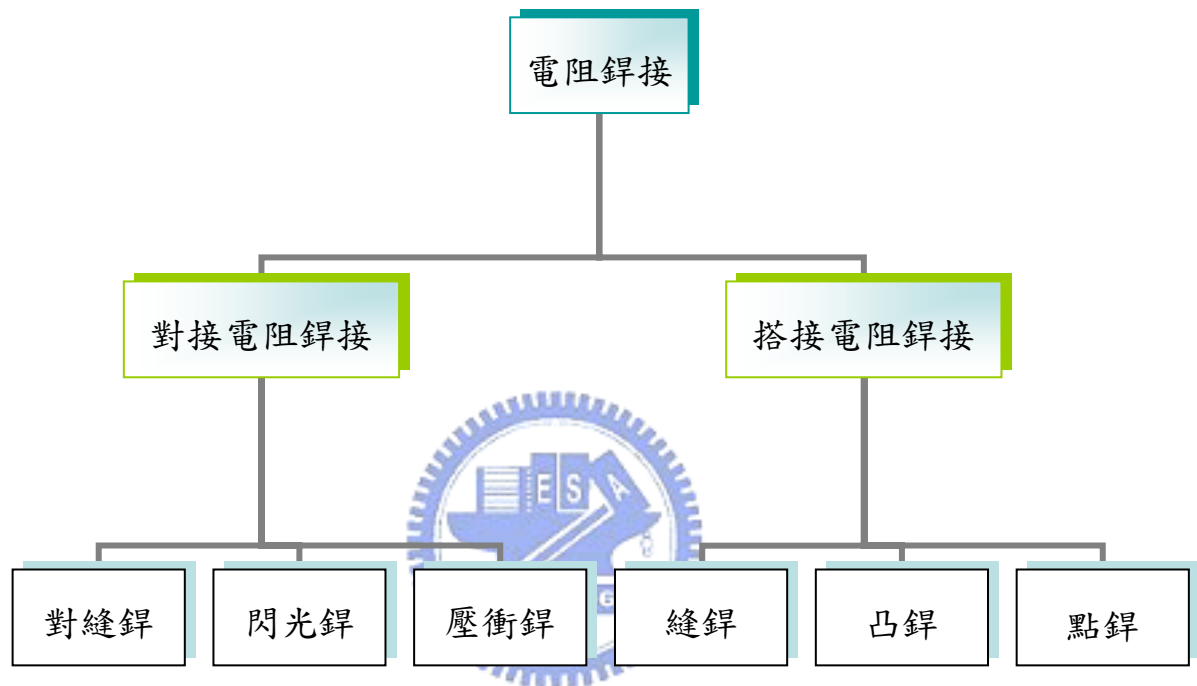


圖 2-7 電阻銲接之種類

2.3.3 電阻銲的優點

電阻銲有下列優點：

1. 銲核形成時，熔化金屬與空氣隔絕，冶金過程簡單。
2. 加熱時間短，熱量集中，故熱影響區小，變形與應力也小，通常在銲後不必安排校正和熱處理程序。
3. 不需要銲料、銲條等填金屬，以及氧、乙炔、氬等銲接材料，銲

接成本低。

4. 操作簡單，易於實現機械化和自動化，改善了勞動條件。
5. 生產效率高，且無噪音及有害氣體，在大批量生產中可以和其它製造程序一起編到組裝線上。

2.3.4 電阻點銲之原理與應用

1. 電阻點銲機之種類

電阻點銲機可分為定置式點銲機(Stationary spot welder)與吊掛式點銲機(Portable spot welder)兩類，後者以單點點銲作業為主，多應用於汽車廠車體組配生產線上之點銲作業，但汽車本體因結構體形較大之物件，若以人工方式操作點銲作業其效率不高，且品質又不穩定；因此，常利用點銲機器人按輸入電腦之設計程式，可達到自動化點銲作業之高效率、品質穩定及省力化之有效管理。

2. 點銲熔接

點銲熔接之原理係利用大的電流經電極通過兩塊板材時，在重疊接觸部位因電阻而發熱，使銲件熔融並利用電極加壓使銲件接合在一起。

就電阻銲接基本之電阻發熱來看，如圖 2-8 所示使電流 I (Amp) 通過斷面積 A (cm^2)、長度(cm)、固有電阻 ρ ($\Omega\text{-cm}$)、電阻 R (Ω)

之材料時於 $t(s)$ 時間內發生之焦耳(Joule)熱(電阻發熱量) Q 為：

$$\begin{aligned}
 Q &= 0.24 I^2 R t (\text{Cal}) \\
 &= 0.24 \rho \frac{L}{A} \\
 &= 0.24 \rho \delta^2 L A t
 \end{aligned}$$

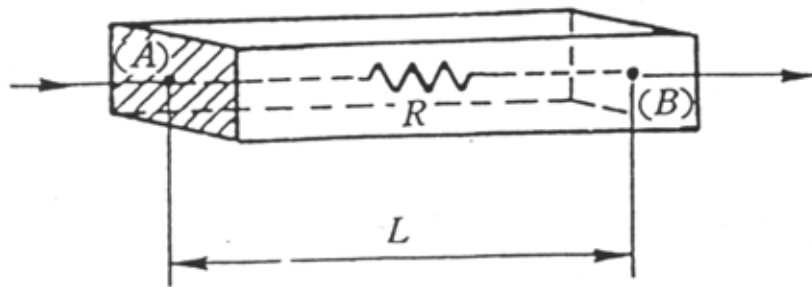


圖 2-8 電阻發熱^[7]

在此 δ ：電流密度 $I/A(A/cm^2)$ ，茲設此條之體積為 $V=LA(cm^2)$ ，則

上式成為：

$$Q = 0.24 \rho \delta^2 V t \dots \dots \dots (2.1)$$

亦即表示，每 1 cm^2 每秒能夠發熱 $0.24 \rho \delta^2$ 。

這表示固有電阻愈高，發熱量愈大；電流密度愈高，發熱量愈大。

尤其是後者，若設定通過電流相同，如果將斷面積改為 $1/K$ ，體積

即為 $1/K$ ，但單位面積發熱量變成 K^2 倍，於是總發熱量成為

$K^2 \times 1/K$ ，亦成為 K 倍。

這是電阻銲接重要原理之一，如圖 2-9 所示，通過 $10000A$ 處之各

部份發熱量，在支持部只有 $4.5\text{W}/\text{cm}^3$ 之發熱，隨著所面積之減少
 電流密度即增加發熱量；在電極尖端成為 $5\text{KW}/\text{cm}^3$ ，而在被點銲
 部份高達 $305\text{KW}/\text{cm}^3$ 。如將接觸面微視地觀察，其微小導電通路
 總面積更小， $\rho\delta^2$ 值應為鉅大。

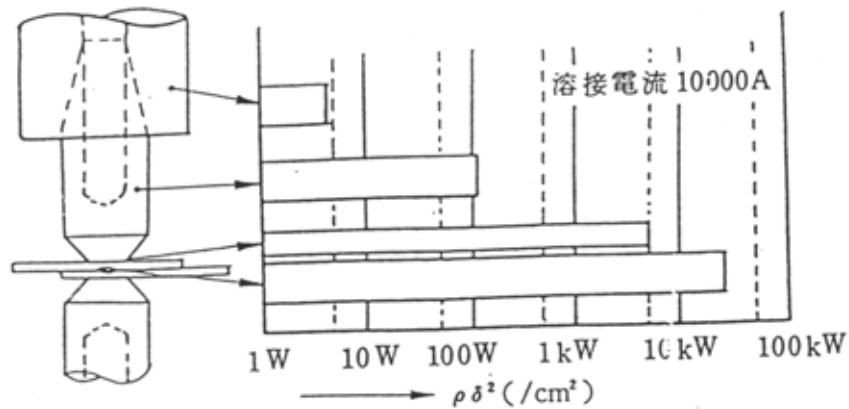


圖 2-9 點銲部附近之發熱情況^[7]

點銲即為利用此斷面積差距，因此應設法使點銲部位儘量提
 高電流密度以期有效發熱，點銲部以外則儘量降低電流密度，並
 採用低固有電阻材料(例如銅)以期減少發熱量，方能達到目的。

2.3.5 電阻 R 及影響 R 的因素

在(2.2)式中，電極間的電阻包括工件本身電阻 R_w 、兩工件間接觸
 電阻 R_c 與電極與工件間接觸電阻 R_{ew} 。

$$R = 2 R_w + R_c + 2R_{ew} \dots \dots \dots (2.2)$$

當工件和電極已定時，工件的電阻取決於它的電阻率。因此，電

阻率是被銲接材料的重要性能。電阻率高的金屬其導熱性差(如不銹鋼)，電阻率低的金屬其導熱性好(如鋁合金)。

因此，點銲不銹鋼時易產生熱而散熱難，點銲鋁合金時產熱難而散熱易。點銲時，前者可以用較小電流(幾千安培)，後者就必須用很大電流(幾萬安培)。

電阻率不僅取決於金屬種類，而且與金屬的熱處理狀態和加工方式有關。通常金屬中含合金元素越多，電阻率就越高。淬火狀態的又比退火狀態的高，例如退火狀態的鋁合金電阻率為 $4.3\text{m}\Omega \cdot \text{cm}$ ，淬火時效的則高達 $7.3\text{m}\Omega \cdot \text{cm}$ 。金屬經冷作加工後，其電阻率也增高。

各種金屬的電阻率還與溫度有關，如圖 2-10 所示；隨著溫度的升高電阻率增高，並且金屬熔化時的電阻率比熔化前高 1~2 倍。

隨著溫度升高，除電阻率增高使工件電阻增高外，同時金屬的抗壓強度降低，使工件與工件、工件與電極間的接觸面增大，因而引起工件電阻減小。點銲低碳鋼時，在兩種矛盾著的因素影響下，加熱開始時工件電阻逐漸增高，熔核形成時又逐漸降低。這一現象，給當前已開始應用於生產的動態電阻監控製程，提供了品質管制之重要依據。

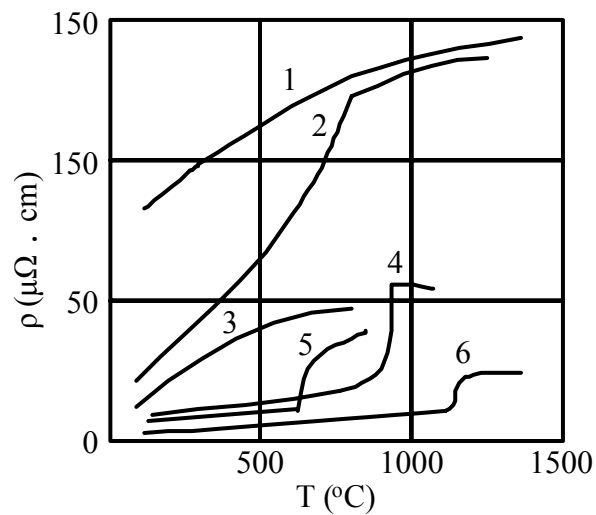


圖 2-10 各種金屬高溫時的電阻率^[7]

電極壓力變化將改變工件與工件、工件與電極間的接觸面積，從而也將影響電流線的分布(如圖 2-11)。隨著電極壓力的增大，電流線的分佈將較為分散，因而工件電阻將減小。

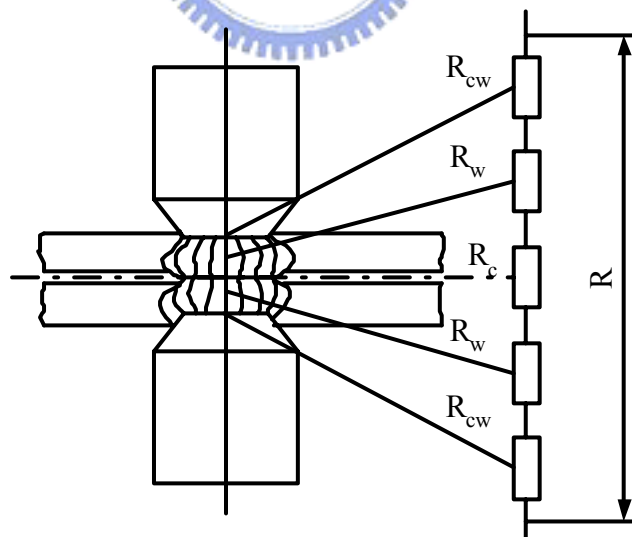


圖 2-11 點銲時的電阻分布和電流線^[7]

熔核開始形成時，由於熔化區的電阻增大，將迫使更大部分電流從其周圍的壓接區(塑性銲接環)流過。使該區再陸續熔化，熔核不斷

擴展，但熔核直徑受電極端面直徑的限制，一般不超過電極端面直徑的 20%；因熔核過分擴展，將使塑性銲接環因失壓而難以形成，而導致熔化金屬的濺出)。

此外，(2.2) 式中的接觸電阻 R_c 。由兩方面原因形成：

- a. 工件和電極表面有高電阻係數的氧化物或髒物層，使電流受到較大阻礙，過厚的氧化物和髒物層甚至會使電流不能導通。
- b. 在表面十分潔淨的條件下，由於在微觀狀態下表面是有些許的不平度，使得工件只在粗糙表面的局部形成接觸點(如圖 2-12)。在接觸點處形成電流線的靠攏。由於電流通道的縮小而增加了接觸處的電阻。

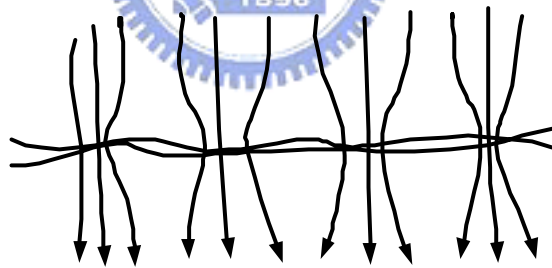


圖 2-12 電流流經微觀粗糙表面時的電流線^[7]

電極壓力增大時粗糙表面的凸點將被壓潰，凸點的接觸面增大且數量增多，表面上的氧化膜也更易被擠破。當溫度升高時，金屬的抗壓強度降低(低碳鋼 600°C 時，鋁合金 350°C 時，抗壓強度趨於 0)，即使電極壓力不變，也會有凸點接觸面增大、數量增多的結果。由此可

知，接觸電阻將隨電極壓力的增大和溫度的升高而顯著減小。因此，當表面清理十分潔淨時，接觸電阻僅在通電開始極短的時間內存在，隨後就會迅速減小以至消失。

接觸電阻儘管存在的時間極短，但在以很短的如熱時間點銲鋁合金薄件時，對熔核的形成和銲點強度的穩定性仍有非常顯著的影響。 R_{ew} 與 R_c 相比，由於銅合金的電阻率和硬度一般比工件低，因此 R_{ew} 比 R_c 更小，對熔核形成的影響也更小。

1. 銲接電流的影響

從(2.1)式可見，電流對產熱的影響比電阻和時間兩者都大。然在點銲過程中，它是一個必須嚴格控制的參數。引起電流變化的主要原因是電流電壓波動和交流銲機二次回路阻抗變化。阻抗變化是因回路的幾何形狀變化或在二次回路中引入了不同量的磁性金屬。對於直流銲機，二次回路阻抗變化，對電流無明顯影響。

除銲接電流總量外，電流密度也對加熱有顯著影響。通過已銲成銲點的分流，以及增大電極接觸面積或凸銲時的凸點尺寸，都會降低電流密度和銲接熱，從而使接頭強度顯著下降。

隨著電流的增大，熔核尺寸和接頭的抗剪強度將增大(如圖 2-13)。

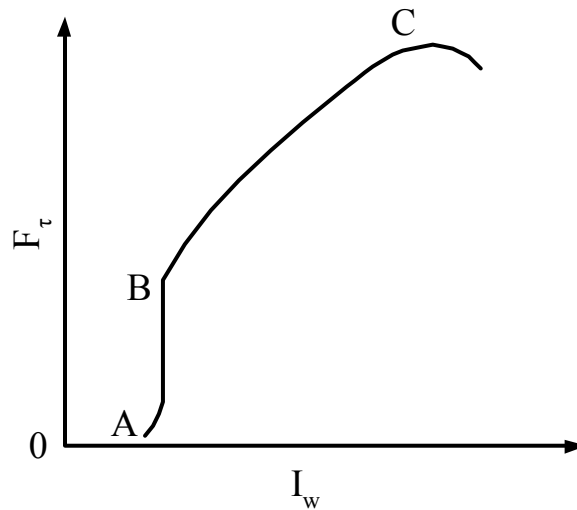


圖 2-13 鐸接電流 I_w 對鐸點抗剪強度 F_τ 的影響^[7]

圖 2-13 中曲線的陡峭段 AB，相當於未熔化鐸接，傾斜段 BC 相當於熔化鐸接。接近 C 點處，抗剪強度增加緩慢，說明電流的變化對抗剪強度影響小。因此，點鐸時應選用接近 C 點的電流。越過 C 點後，由於熔化金屬噴濺或工件表面壓痕過深，抗剪強度會明顯降低。

多年來已應用於生產的恆流閉環監控技術，能有效克服擠壓波動和二次回路阻抗變化的影響，分流影響也能以計算機自動調整相鄰各點的鐸接電流來解決，促進鐸點強度之穩定性具有較可靠的保證。

2. 鐸接時間的影響

為了保證熔核尺寸和鐸點強度，鐸接時間與鐸接電流在一定範圍內可以互為增減。譬如，為了獲得一定強度的鐸點，可以採用大電流和短時間，也可以採用小電流和長時間。選用前者還是後者，取決於

金屬的性能、厚度和銲接機的功率。但對於不同性能和厚度的金屬所需的電流和時間，仍有一個上、下限，超過此限，將無法形成合格的銲核。

3. 電極壓力的影響

電極壓力對兩電極間總電阻 R 有顯著影響，隨著電極壓力的增大， R 顯著減小，此時銲接電流雖略有增大，但不能影響因 R 減小而引起熱的減少。因此，銲點強度總是隨著電極壓力的增大而降低(如圖 2-13)。在增大電極壓力的同時，增大銲接電流或延長銲接時間，以彌補電阻減小的影響，可以保持銲點強度不變。採用這種銲接條件有利於提高銲點強度的穩定性。電極壓力過小，將引起噴濺，也會使銲點強度降低。

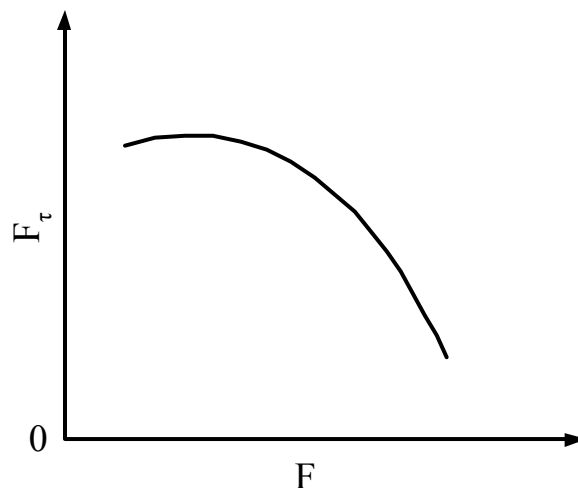


圖 2-14 電極壓力 F 對銲點抗剪度 F_{τ} 的影響^[7]

4. 電極形狀及材料性能的影響

由於電極的接觸面積決定著電流密度，電極材料的電阻率和導熱性關係著熱量的產生和消失，因而電極的形狀和材料對銲核的形成有顯著影響。隨著電極端頭的變形和磨損，接觸面積將增大，銲點強度則降低。電阻熔接上電極主要功能為：

- (1) 供給熔接電流於熔接部。
- (2) 施加高壓力於熔接部。
- (3) 冷卻熔接部表面。

由於電極表面電流密度高達 $100\sim 500\text{A}/\text{mm}^2$ ，壓力也到達 $5\sim 12\text{kgf}/\text{mm}^2$ ，同時它直接接觸於被銲接材料表面，在高溫下施加壓力，因此於使用中逐漸被壓潰而變形。有的被銲接材料與電極材料形成合金而變成污紋，這些對銲接品質與作業效率產生很大的影響。

為因應上列功能，電極材料應具備：

1. 高導電率。
2. 機械強度高、硬度，尤其於高溫之硬度高。
3. 熱傳導率高。

最好再具備不易受污染(不易生污紋，不易與被熔材料成合金)之性質。其中，高導電率這一項，事實上並非重要；電極尖端之溫度上昇主要導因於由母材之熱傳導，自己電阻所致之發熱實質上不多。例

如將板厚 1mm 軟鋼板以 PWMA 之 A 級條件施以熔接時，其電極尖端之發熱最多在 15Cal 左右，即使導電率降至一半等情況之下，也祇不過是 30Cal。相對地，若以增加銲接部之總熱量而言，其中 50~60% 傳導於電極尖端於 1mm 板之情況，約有 300Cal 之熱量傳達於電極尖端，如圖 2-15 所示。由此可知，電極尖端接受之熱量大於一位於本身電阻發熱之熱量。

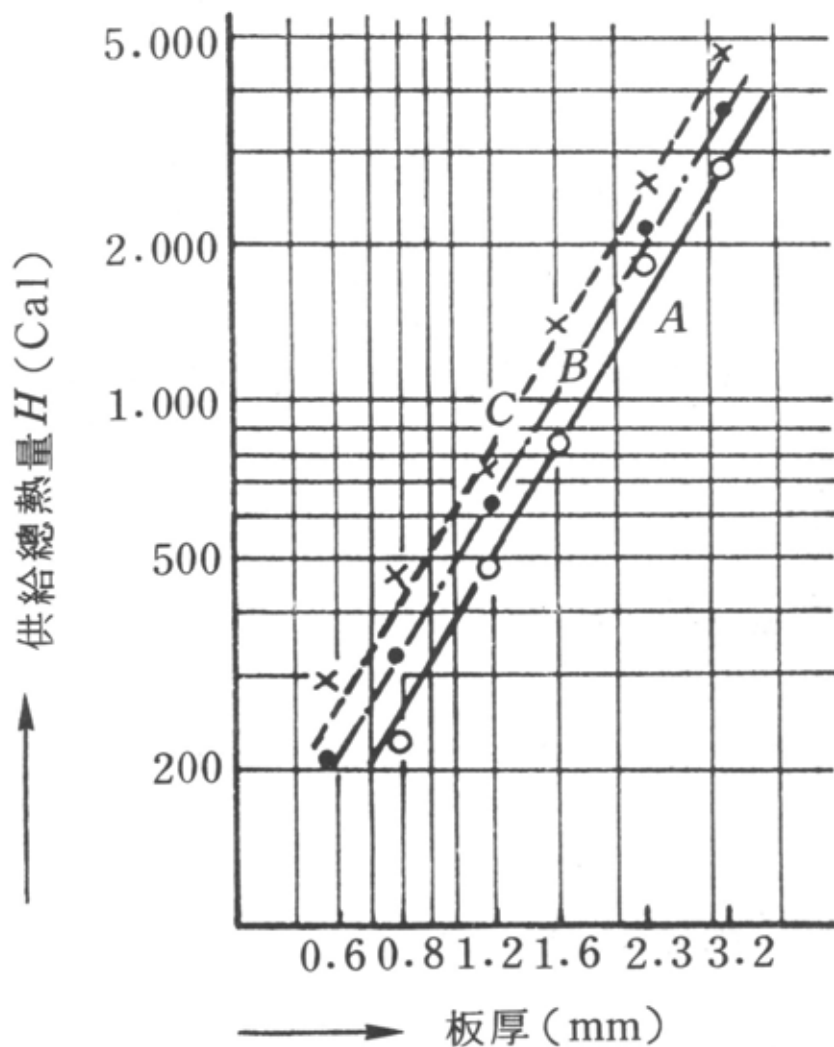


圖 2-15 加於點銲部之熱量^[6]

5. 工件表面狀況的影響

工件表面上的氧化物、污垢、油和其他雜質增大了接觸電阻。過厚的氧化物層甚至會使電流不能通過。局部接觸面積的導通，將造成電流密度過大，則會產生噴濺和表面燒損。氧化物層的不均勻性還會影響各個銲點加熱的不一致性，引起銲接質量的波動。因此，徹底清理工件表面是保證獲得優質接合的必要條件。電阻銲接乃利用存在於銲接物固有電阻、被銲接物間接觸電阻與被銲接物與電極間接觸電阻等等電阻發熱與被熔接物本身及電極之散熱間之差，如圖 2-16 所示；當熔接部溫度上昇，並於適當壓力之下進行壓接，圖 2-17 所示，為通電中之溫度分佈情形，與它有關之各因素均會影響銲接結果。這些因素，不但其影響強度有強弱，有時會增強強度，有時相抵消互相干涉，再者銲接方法之不同影響程度，由其組合而成複雜效果。難於逐一推測。

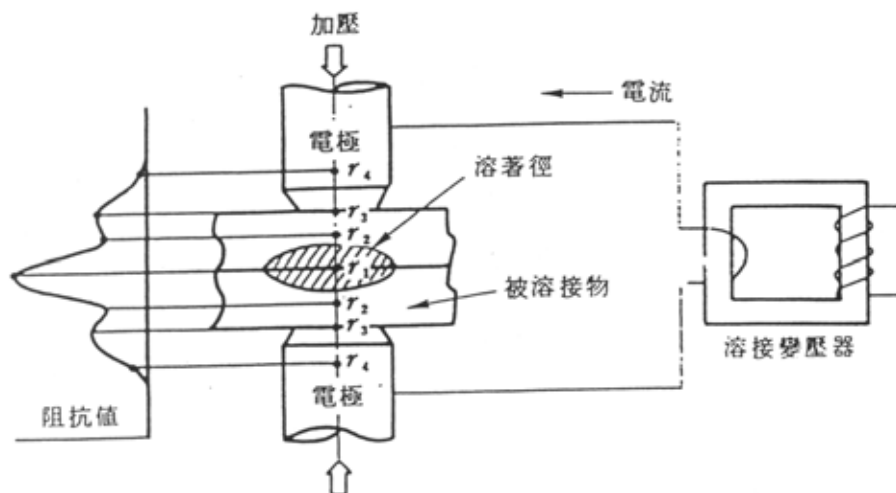


圖 2-16 電阻值之分佈情況^[6]

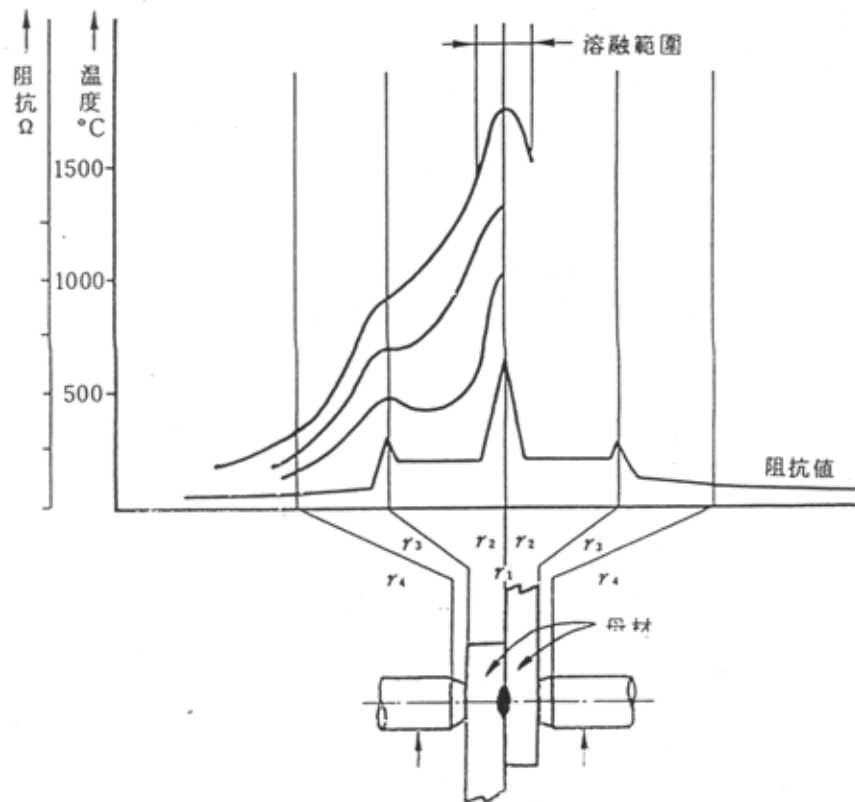


圖 2-17 通電中之溫度分佈情況^[6]

2.3.6 熱平衡、散熱及溫度分布

在點銲時，產生的熱量 Q 中只有較小部分用於形成熔核，較大部分因相鄰近物質的傳導和輻射而損失掉。其熱平衡方程式如下：

$$Q=Q_1+Q_2$$

式中 Q_1 =形成熔核的熱量；

Q_2 =散失的熱量。

有效熱量 Q_1 決定於金屬的熱物理性質及熔化金屬量，而與所用的銲接條件無關， $Q_1 \doteq (10\% \sim 30\%)Q$ 。電阻率低、導熱性好的金屬(鋁、

銅合金等)取低限值。電阻率高、導熱性差的金屬(不銹鋼、高溫合金等)取高限值。

損失的熱量 Q_2 主要包括通過電極傳導的熱量($Q_2 \doteq (30\% \sim 50\%)Q$)和通過工件傳導的熱量(20%)。輻射到大氣中的熱量只約佔 5%，可以忽略不計。通過電極傳導的熱量是主要的散熱損失，它與電極的材料、形狀、冷卻條件，以及所採用的銲接條件有關。例如採用大電流和短時間的熱損失，就要比採用小電流和長時間小得多。

由於損失的熱量隨銲接時間的延長和金屬溫度的升高而增加，因此，當銲接電流不足時，只延長銲接時間，會在某一時刻達到熱量的產生與散失之平衡性，而繼續延長銲接時間，將無助於熔核的增大。這說明了用小功率銲機不能銲接厚鋼板和鋁合金的原因。

在不同厚度工件的點銲中，還可以通過控制電極的散熱(改變電極的材料或接觸面積，採用附加墊片等)，以改善熔核的偏移、增加薄件一側的銲透率。

銲接區的溫度分佈是產熱與散熱的綜合結果。點銲加熱終了時的溫度分佈如圖 2-18 所示。最高溫度總是處於銲接區中心，超過被銲金屬熔點 T_m 的部分形成熔化核心。核內溫度可能大大超過 T_m (銲鋼時超出 $200 \sim 300^\circ\text{C}$)，但在電磁力的強烈攪動下，進一步升高是困難的。

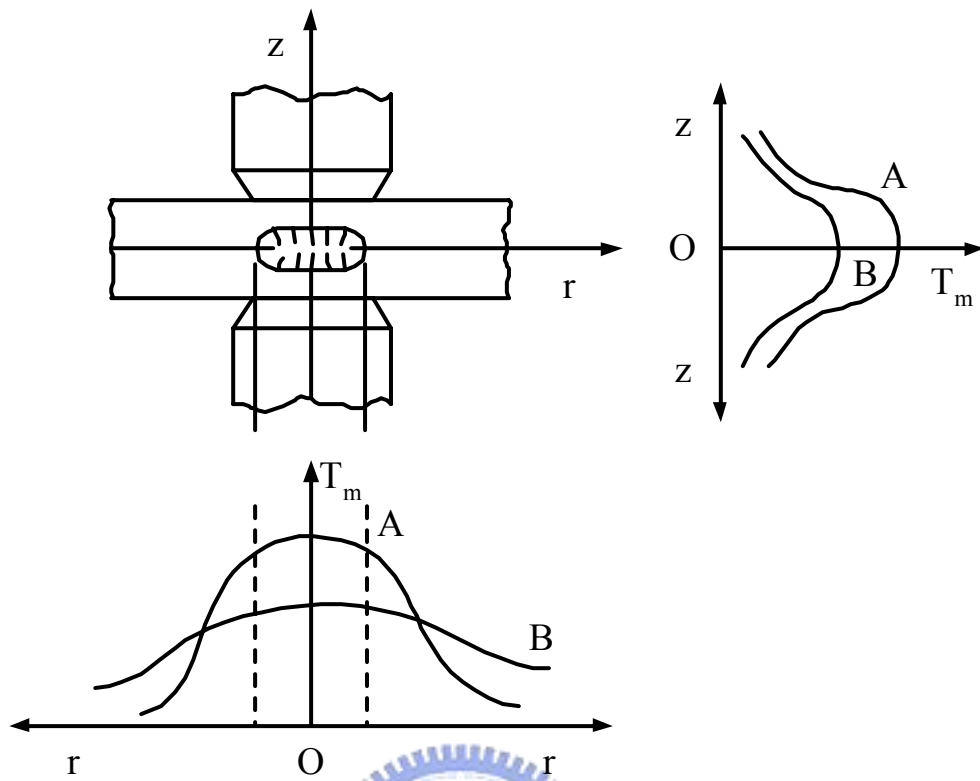


圖 2-18 點銲時的溫度分布^[7]

A-銲鋼時 B-銲鋁時

由於電極的強烈散熱，溫度從核界到工件外表面降低得很快。外表面上的溫度通常不超過 $(0.4\sim 0.6)T_m$ 。

溫度在徑向內也隨著離開核界的距離而迅速地降低。被銲金屬的導熱性越好，所採用小電流和長時間之條件，這種降低之趨勢就越平緩，溫度梯度也越小。

溫度分佈曲線越平坦，則接頭的熱影響區越大，工件表面越容易過熱，電極越容易磨損。因此，在銲機功率允許的條件下，宜採用圖 2-18 中 A 的條件來進行銲接。

2.3.7 銲接循環

點銲和浮凸銲的銲接循環由 4 個基本階段組成(如圖 2-19)。

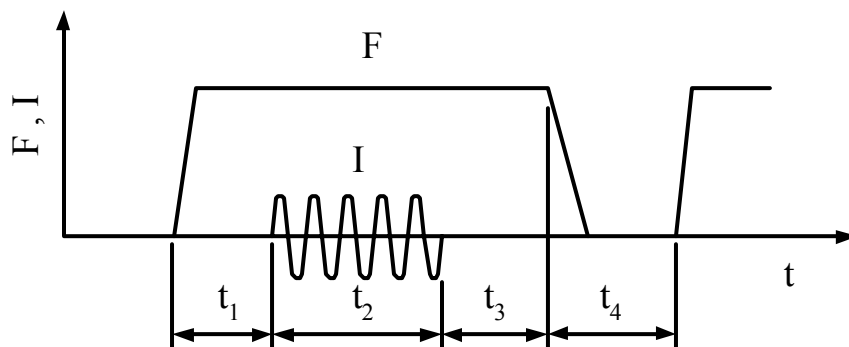


圖 2-19 點銲和凸銲的基本銲接循環^[7]

F-電極壓力 I-銲接電流 t1-預壓時間

t2-銲接時間 t3-維持時間 t4-休止時間^[7]

1. 預壓時間

由電極開始下降到銲接電流開始接通的時間。這一時間是為了確保在通電之前電極壓緊工件，使工件間有適當的壓力。

2. 銲接時間

銲接電流通過工件並產生熔核的時間。

3. 維持時間

銲接電流切斷後。電極壓力繼續保持的時間，在此時間內，熔核凝固並冷卻至具有足夠強度。

4. 休止時間

由電極開始提起到電極再次開始下降，準備在下一個待銲點

壓緊工件的時間。休止時間只適用於銲接循環重覆進行的場合。

通電銲接必須在電極壓力達到滿值後進行，否則可能因壓力過低而噴濺，或因壓力不一致而影響加熱，造成銲點強度的波動。

電極提起必須在電流全部切斷之後，否則電極工件間將引起火花，甚至燒穿工件。這一點在直流脈衝銲機上尤為重要。為了改善接頭的性能，有時需要將下列各項中的一個或多個加於基本循環。

- I. 加大預壓力以消除厚工件間的間隙，使之緊密貼合。
- II. 用預熱脈衝提高金屬的塑性，使工件易於緊密貼合、防止噴濺；凸銲時這樣做可使多個凸點在通電銲接前與平板均勻接觸，以保證各點加熱的一致性。
- III. 加大鍛壓力以壓實熔核，防止產生裂紋和縮孔。
- IV. 用回火或緩冷脈衝消除合金鋼的淬火組織，提高接頭的機械性能，或在不加大鍛壓力的條件下，防止裂紋和縮孔。

2.3.8 銲接電流的種類和適用範圍

交流電和直流電都可以用來進行點銲、縫銲和浮凸銲。其適用範圍則有所不同。

1. 交流電

通常是單相 60Hz 交流電，由銲機的變壓器供給。常用的電壓範

圍為 1~25V，電流為 1~50kA。

交流電可以透過調幅使電流緩升、緩降，以達到預熱和緩冷的目的。這對於鋁合金的銲接是十分有利的。

交流電還可用於多脈衝點銲，即在兩個或多個脈衝之間留有冷卻時間，以控制加熱速度。這種方法主要用於厚鋼板的銲接。

2. 直流電

主要用於需要大電流的場合，因為直流銲機都由三相電源供電，可以避免單相交流銲機所造成的三相負荷不平衡。但中、小功率的直流銲機也有採用單相電源供電的。

隨著大功率整流管的開發和應用，用於鋁合金銲接的大功率直流銲機(三相二次整流)已在國內獲得廣泛應用。



2.3.9 金屬電阻銲時的銲接性

下列各項是評定電阻銲接性的主要指標:

1. 材料的導電性和導熱性

電阻率小而熱導率大的金屬需使用大功率銲機，其銲接性較差。

2. 材料的高溫強度

高溫(0.5~0.7T_m)屈服強度大的金屬，點銲時易產生噴濺、縮孔、裂紋等缺陷，需使用大的電極壓力，有時還需在斷電後施加大的鍛壓力，故其銲接性較差。

3. 材料的塑性溫度範圍

塑性溫度範圍較窄的金屬（如鋁合金），對銲接工程參數的波動非常敏感，常要求使用能精確控制工程參數的銲接機，並要求電極的隨動性好，因此其銲接性較差。

2.3.10 電阻點銲之種類

在實施電阻點銲時，因工件形狀之不同及熔接部份之差異，常被忽略而導致熔接電流之分散，因此點銲接頭之設計與點銲施工時之電流行走方向是一樣地重要，如圖 2-20 所示為各式點銲作業時之電流行走方向及施工中之產生電流之分流例。

實施點銲作業中，經常會發生同一排列之銲點中之銲接強度不均勻，雖除了點銲機之控制裝置設有定電流裝置能自動控制熔接電流之外，那就是工件之形狀及施工順序於點銲時所產生之分流現象引起銲點品質，如圖 2-21 所示為分流現象。

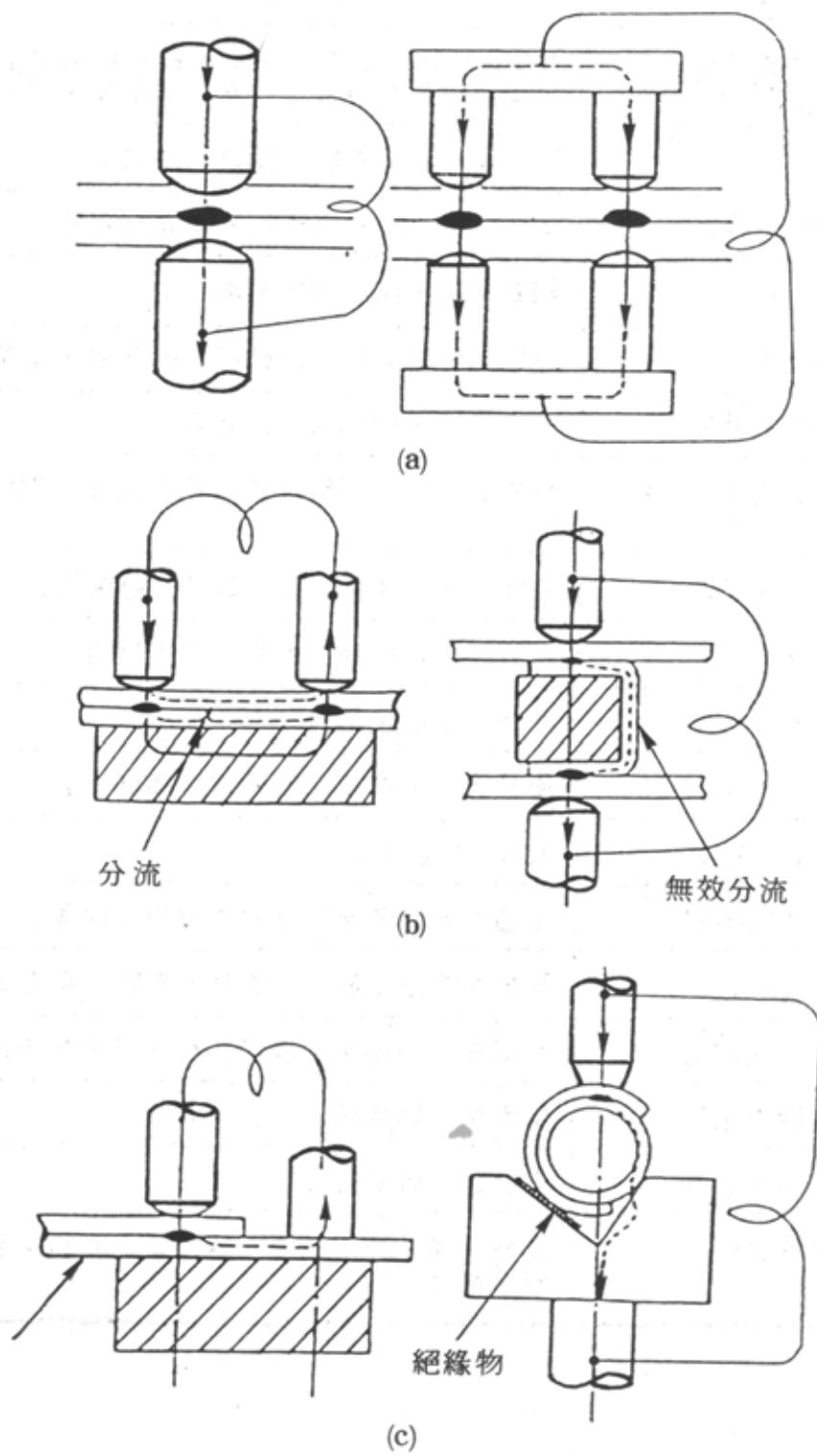


圖 2-20 電流行走方向例^[6]

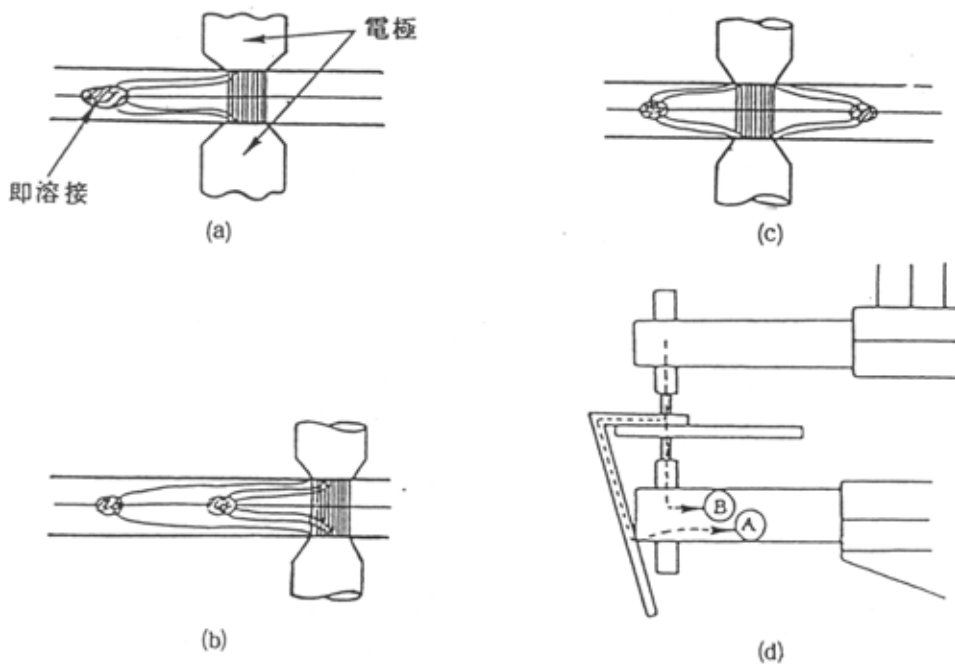


圖 2-21 熔接時之分流現象^[6]

圖 2-21(a)點銲部位之電流分散於左旁之銲點，因此該銲點之強度稍為轉弱，圖 2-21(b)又因前面連續銲點之關係，其原設定之熔接電流即分散在前兩個銲點上，所以該銲點之強度亦弱。圖 2-21(c)所示因銲點之距離不正確，必須於兩銲點中間增補一銲點所產生之分流現象。圖 2-21(d)所示由於作業工件之形狀與電極形式之選擇不當，導致工件直接與電極導體接觸，而產生分流之情形。

由於上例之分流現象之產生，因此在接合部位於通電時間內之熔接電流不足，溫度上昇將不易達到，甚至電極與被熔接材之接觸面之大電流而流失，故此部份之發熱量亦昇高導致使電極頭被熔著或發生飛濺之火花，致使點銲之效果無形中降低。為了避免此一現象，除了

選擇工件形狀來配合電極形式之外，亦可採用一次多點銲接方式，促使降低分流之不良損失。

2.4 電阻浮凸銲技術

2.4.1 浮凸銲

浮凸銲主要用於銲接低碳鋼和低合金鋼的衝壓件。浮凸銲的種類很多，除板件浮凸銲外，還有螺帽與螺釘類零件的浮凸銲、線材交叉浮凸銲、管子浮凸銲和板材T形浮凸銲等。

板件浮凸銲最適宜的厚度為0.5~4mm，銲接更薄的板件時，浮凸點設計要求嚴格，因此厚度小於0.25mm的板件更宜於採用點銲。

隨著我國汽車工業的發展，高生產率的浮凸銲在汽車零件生產中獲得大量應用，例如汽車真空助力器的螺釘和接管嘴與衝壓殼體的連接，汽車發電機風葉與爪極的連接，汽車座椅調角器凸輪與軸的連接，汽車空調電磁離合器皮帶輪與吸盤的連接等，都採用了浮凸銲結構。

浮凸銲與點銲相比還具有以下優點：

1. 在一個銲接循環中可同時銲接多個銲點，不僅生產率高，而且沒有分流影響；因此，可在窄小的部位上佈置銲點而不受點距的限制。

2. 由於電流密集於浮凸點，且電流密度大，故可用較小的電流進行鐸接，並能形成較小的熔核。若使用點鐸的方法時，對應於某一板厚，要形成小於某一尺寸的熔核是很困難的。
3. 浮凸點的位置準確、尺寸一致，各點的強度比較均勻。因此對於給定的強度，浮凸鐸鐸點的尺寸可以小於點鐸。
4. 由於採用大平面電極，且凸點設置在一個工件上，所以可以大幅度地減輕另一工件外露表面上的壓痕。同時大平面電極的電流密度小、散熱好，電極的磨損要比點鐸小得多，因而大大降低了電極的保養和維修費用。
5. 與點鐸相比，工件表面的油、銹、氧化層、鍍層和其他塗層對凸鐸的影響較小，但乾淨的表面仍能獲得較穩定的品質。

由於浮凸鐸具有上述多種優點因而獲得了極廣泛的應用。但是，浮凸鐸的缺點之處是需要衝製凸點的附加工程；電極比較復雜，由於一次要鐸多個鐸點，需要使用高電極壓力、高機械精度的大功率鐸機。

2.4.2 電極材料

浮凸鐸電極通常採用 2 類電極合金製造，因為這類電極合金在導電率、強度、硬度和耐熱性等方面具有最好的性能。然 3 類電極合金也能滿足要求。

2.4.3 電極設計

浮凸鐸電極有 3 種基本類型

1. 點鐸用的圓形平頭電極；
2. 大平頭棒狀電極
3. 具有一組局部接觸面的電極，即將電極在接觸部位加工出凸起接觸面，或將較硬的銅合金嵌塊用鐸或緊固方法固定於電極的接觸部位。

標準點鐸電極用於單點浮凸鐸時，為了減輕工件表面壓痕，電極接觸面直徑應不小於凸點直徑的 2 倍。大平頭棒狀電極用於局部位置的多點浮凸鐸。例如加強墊圈的浮凸鐸，一次可鐸 4 至 6 點。

這種電極的接觸面必須足夠大，要超過全部浮凸點的邊界，超出量一般應相當於一個凸點的直徑。這種電極一般可裝在大功率點鐸機上。

2.4.4 鐸接模具和夾具

鐸接模具用於保持和夾緊工件於適當位置，同時也用作電極。夾具是不導電的輔助定位裝置。對於小工件，電極和定位夾具通常是合成一體的。

其他類型的待鐸工件也可用彈簧夾固定在上電極上，在條件許可時還可用真空吸附的方法使工件保持在上電極中，有時也可用一個移

動裝置將小工件夾住並送入待鐸部位。

大型凸鐸構件則需要較複雜的鐸接模具和夾具，以滿足定位、夾緊和導電的需要。

2.4.5 浮凸鐸的工程特點

浮凸鐸是點鐸的一種變形，通常是在兩板件之一上衝出凸點，然後進行鐸接，由於電流集中，克服了點鐸時熔核偏移的缺點，因此浮凸鐸時工件的厚度比可以超過 6:1。浮凸鐸時，電極必須隨著浮凸點的被壓潰而迅速下降，否則會因失壓而產生噴濺，所以應採用電極隨動性好的浮凸鐸機。多點浮凸鐸時，如果鐸接條件不適當，會引起浮凸點移位現象，並導致接頭強度降低。實驗證明，移位是由電流通過時的電磁力引起的。

圖 2-22 為兩點浮凸鐸時的電磁力方向和撕開後的浮凸點示意圖。圖中虛線小圓為鐸前的浮凸點位置。影響浮凸點移位的電磁力 F 與電流 I 的平方和浮凸點的高度 h 成正比，與點距 S_d 成反比，浮凸點移動向外偏斜是次級回路電磁力附加作用的結果。

在實際鐸接時，由於浮凸點高度不一致，上、下電極平行度差，一點固定另一點移動要比兩點同時移動的情況多。

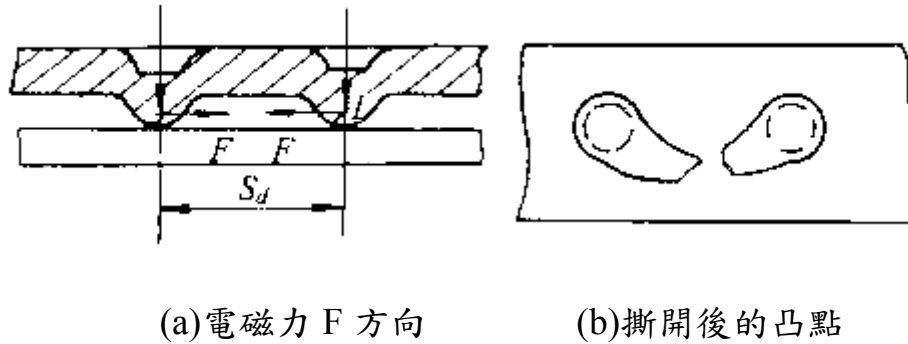


圖 2-22 兩點凸鉸時的移位示意圖^[7]

為了防止浮凸點移位，除在保證正常熔核的條件下，選用較大的電極壓力，較小的鉸接電流外，還應盡可能地提高加壓系統的隨動性。提高隨動性的方法主要是減小加壓系統可動部分的質量，以及在導向部分採用滾動摩擦。

多點浮凸鉸時，為克服各浮凸點間的壓力不均衡，可以採用附加預熱脈衝或採用可轉動電極的方法。圖 2-23 為可轉動電極的示意圖，特別適用於在同一個板件上鉸接兩個距離較大的零件，在上電極與上座板之間裝有由多層銅箔制成的銅分路，目的是防止樞軸過熱和兩側凸點電流不均衡。

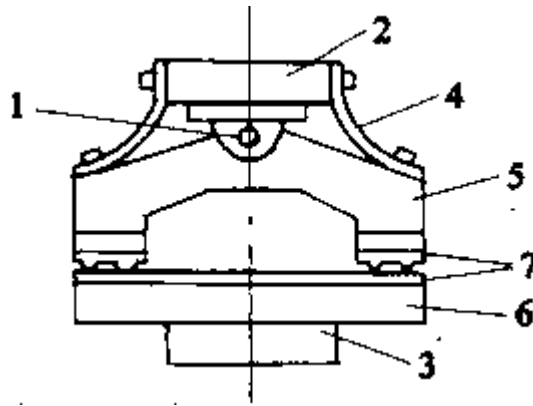


圖 2-23 可轉動的凸鐸電極^[7]

1-樞軸 2、3-上、下座板 4-銅分路 5、6-上下電極 7-工件

2.4.6 浮凸鐸的工程參數

浮凸鐸的主要工程參數是電極壓力、鐸接時間和鐸接電流。

1. 電極壓力



浮凸鐸的電極壓力取決於被鐸金屬的性能、凸點的尺寸和一次鐸成的凸點數量等。電極壓力應足以在凸點達到鐸接溫度時將其完全壓潰，並使兩工件緊密貼合。電極壓力過大會過早地壓潰凸點，失去凸鐸的作用，同時因電流密度減小而降低接頭強度，壓力過小又會引起嚴重噴濺。


2. 鐸接時間

對於給定的工件材料和厚度，鐸接時間由鐸接電流和凸點剛度決定。在凸鐸低碳鋼和低合金鋼時，與電極壓力和鐸接電流相比，鐸接

時間是次要的；在確定合適的電極壓力和銲接電流後，再調節銲接時間，以獲得滿意的銲點。如果想縮短銲接時間、就要相應增大銲接電流，但過分增大銲接電流可能引起金屬過熱和噴濺，通常凸銲的銲接時間比點銲長，而電流比點銲小。

多點凸銲的銲接時間稍長於單點凸銲，以減少因凸點高度不一致而引起各點加热的差異，採用預熱電流或電流斜率控制(通過調幅使電流逐漸增大到需要值)，效果會更好，從而可以提高銲點強度的均勻性並減少噴濺。

3. 銲接電流



凸銲一銲點所需的電流比點銲同樣一個銲點要小，但在凸點完全壓潰之前電流必須能使凸點溶化。合適的電流應該是在採用合適的電極壓力下不致於擠出過多金屬的最大電流。對於一定尺寸的凸點，擠出的金屬量隨電流的增加而增加，採用遞增的調幅電流可以減小擠出金屬。和點銲一樣，被銲金屬的性能和厚度仍然是選擇銲接電流的主要依據。

多點凸銲時，總銲接電流大約為每個凸點所需電流乘以凸點數，但考慮到凸點的公差、工件形狀，以及銲機次級回路的阻抗等因素，可能需要做一些調整。

凸銲時還應做到被銲兩板間的熱平衡，否則在平板未達到銲接溫

度以前，凸點便已熔化。因此，銲接同種金屬時，應將浮凸點衝在較厚的工件上；銲接異種金屬時，應將凸點衝在電導率較高的工件上。但當在厚板上衝出浮凸點有困難時，也可在薄板上衝凸點。在汽車發電機爪極（厚 10mm）與風葉，（厚 1mm）的浮凸銲中，浮凸點就衝在薄件風葉上，而且一次銲成 12~16 個浮凸點，也能獲得強度滿意的接頭，就是二個典型的例證。

電極材料也影響兩工件上的熱平衡，在銲接厚度小於 0.5mm 的薄板時，為了減少平板一側的散熱，常用 W-Cu 燒結材料或 W 做電極的嵌塊。



2.4.7 浮凸銲接頭和凸點設計

1. 浮凸銲接頭

浮凸銲搭接接頭的設計與點銲相似。通常浮凸銲接頭的搭接量比點銲的小，浮凸點間的間距沒有嚴格限制。

當一個工件的表面質量要求較高時，浮凸點應衝在另一工件上。在衝壓件上浮凸銲螺母、螺栓等緊固件時，浮凸點的數量必須足以承受設計載荷。

2. 浮凸點設計

浮凸點的作用是将電流和壓力局限在工件的特定位置上，其形狀和尺寸取決於應用的場合和需要的鐸點強度。一般情況下建議採用表 2-1 所規定的凸點尺寸。以衝有凸點的板厚為基準，當平板較薄時採用小凸點，較厚時採用大凸點。

為了減少鐸接電流，也可以採用比表 2-1 更小的凸點尺寸，但過小的凸點有可能造成只有凸點熔化而平板不熔化的現象，同時也會縮短加工凸點所用衝頭的壽命。

表 2-1 浮凸鐸的凸點尺寸(單位 mm)^[7]

凸點所在板厚	平板厚	凸點尺寸	
		直徑 d	高度 h
0.5	0.5	1.8	0.5
	2.0	2.3	0.6
1.0	1.0	1.8	0.5
	3.2	2.8	0.8
2.0	1.0	2.8	0.7
	4.0	4.0	1.0
3.2	1.0	3.5	0.9
	5.0	4.5	1.1
4.0	2.0	6.0	1.2
	6.0	7.0	1.5
6.0	3.0	7.0	1.5
	6.0	9.0	2.0

凸點形狀有圓球型和圓錐型兩種 (圖 2-24)。後者可以提高凸點剛度，在電極壓力較高時不致於過早壓潰；也可以減少因電流密度過大而產生噴濺。但常採用圓球型凸點時，為防止擠出金屬殘留在凸點

周圍而形成板間間隙，有時也採用帶環形溢出槽型凸點。多點凸鉚時，凸點高度不一致將引起各點電流不平衡，使接頭強度不穩定。因此，凸點高度誤差應不超過 $\pm 0.12\text{mm}$ 。如果採用預熱電流，則誤差範圍可以增大。

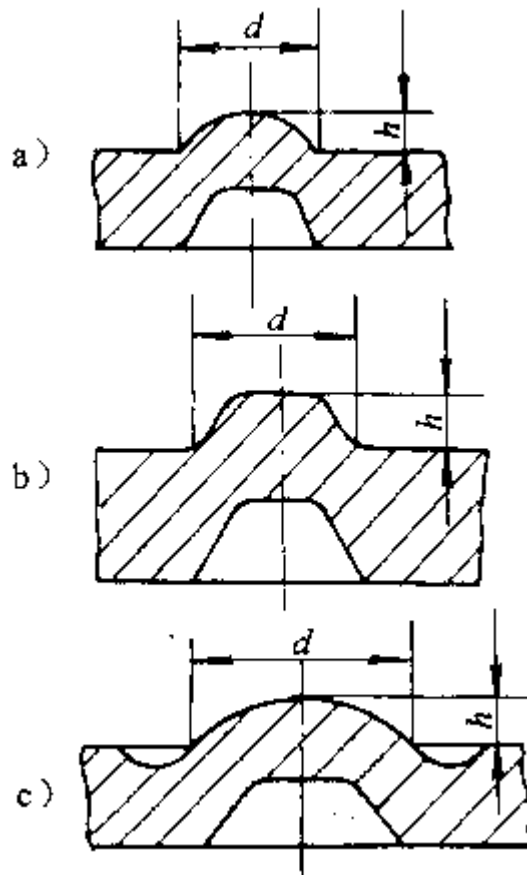


圖 2-24 凸點形狀

(a)圓球型 (b)圓錐型 (c)帶環形溢出槽型^[7]

浮凸點也可以做成長形的(近似橢圓形)，以增加熔核尺寸、提高鉚點強度，此時凸點與平板將為線接觸。浮凸鉚時，除利用上述幾種形式的浮凸點形成接頭外，根據浮凸鉚工件種類不同，還有多種接頭形式。