

第一章 導論

1.1. 研究簡介

在邁向第三代無線行動通訊的時代，全球性的通訊產業正在蓬勃發展中，如個人行動通訊系統、衛星通訊系統及無線區域網路，為了符合使用者追求更快速且大量的資料傳輸，通訊模組朝向高頻段訊號頻率是不可避免的趨勢。另一方面，個人攜帶式通訊系統在追求輕薄短小的趨勢下，各通訊系統廠商除了力圖降低成本外，在手機外形和功能是朝向微小化、降低功率損耗及多功能模組發展。

在通訊系統中，射頻模組的被動元件，為達到高 Q 值(Quality factor)，傳統做法是採用分離式的元件設計。以通訊濾波器為例，目前全球主要的通訊濾波器包括表面聲波(Surface acoustic wave, SAW)共振濾波器、陶瓷濾波器、石英濾波器、積層 LC 濾波器、介質濾波器等五類，因為表面聲波濾波器具有低損耗及過濾雜訊效果佳的優點而被廣泛使用，然而其適用頻率為 10 MHz~3 GHz，無法應用未來 5 GHz 以上頻段使用，而且其製程無法與積體電路整合。

雖然分離式被動元件可以提供良好的 Q 值，但是佔用電路面積龐大，對於發展單晶片系統(SOC)設計架構卻是一大障礙。近年來，通訊微波電路是朝向 MMIC (Monolithic microwave integrated circuit)的概念設計，電路製程設計是利用積體電路製程技術，整合主動(Active)與被動(Passive)元件在同一晶片上，元件包括電阻、電容、電感和電晶體，藉由整合的製程技術可以減少組裝成本，因此可以降低微波電路晶片的製作成本。

一般而言，MMIC 晶片的被動元件設計是利用微帶線(Microstrip line)或是共面波導傳輸線(Coplanar-waveguide transmission line, CPW)設計，應用微帶線設計的被動元件和主動元件連接，製程必須有穿孔(via hole)的步驟，因此也就增加了製程的複雜度[1]。而共面波導傳輸線是由 C.P.Wen 在 1969 年提出[2]，此傳輸線路結構的特色是訊號線(signal strip)與接地線(ground plane)均在基板的同一平面上，因此對於串聯或是並聯的線路元件

結構可以省去穿孔的步驟，可以避免穿孔在高頻操作時帶來不可忽略的電感效應，也因此增加電路設計的自由度。理想共面波導的接地線分別在訊號線兩旁無限延伸，但在實際的製作，其接地線只要大約為訊號線的三到四倍即可近似無限大的接地線，因此應用共面波導傳輸線設計的微波電路是比微帶線具有製程簡單的優點。

一般而言，微機電製程技術可分為三類：(1)體型微加工(Bulk micromachining)、(2)面型微加工(Surface micromachining)和(3)微光刻電鍍模造技術(Litographie, Galvanoformung, Abformung, LIGA)。體型微加工主要是對<100>單晶矽晶片進行等向及非等向蝕刻，而單晶矽晶片的優點是機械性質穩定。面型微加工主要是在基板(substrate)上利用鍍膜、微影製程產生結構層(structure layer)和犧牲層(sacrificial layer)，最後再利用蝕刻技術將犧牲層去除完成微結構製作，例如 Cronos 發展的 MUMPs (Multi-user MEMS processes)製程技術。而 LIGA 技術主要是利用同步輻射 X 光進行厚膜光阻的曝光，並利用電鍍金屬如鎳、鎳鈷或鎳鎢金屬製作金屬母模，接著利用熱壓法進行大量複製。LIGA 技術的優點是可以製作厚度 1 mm 以上的高深寬比結構，光刻解析度為 0.2 μ m，光刻表面粗糙度 R_a 為 30 nm，然而 LIGA 技術的缺點是同步輻射光源取得不易且昂貴，因此才開始發展成本較低的 UV-LIGA 製程技術[3]。

UV-LIGA 技術是利用波長小於 400 nm 的 DUV (Deep ultraviolet)曝光機台做為光阻曝光的光源，受限於繞射效應(diffraction effect)的影響，雖然 UV-LIGA 製程精度無法達到 LIGA 技術的次微米(sub-micron)精度，但對於製作微米(micron)精度的微波電路，UV-LIGA 技術是可以實現的。一般 UV-LIGA 技術可以選用的厚膜光阻有 SU-8 系列負型光阻、JSR THB-430N 負型光阻及 AZ 系列正型光阻，由於本文製作的光阻結構是做為電鍍的模仁結構，因此結構電鍍完成後，光阻結構必須要很容易的去除。

1.2. 研究動機

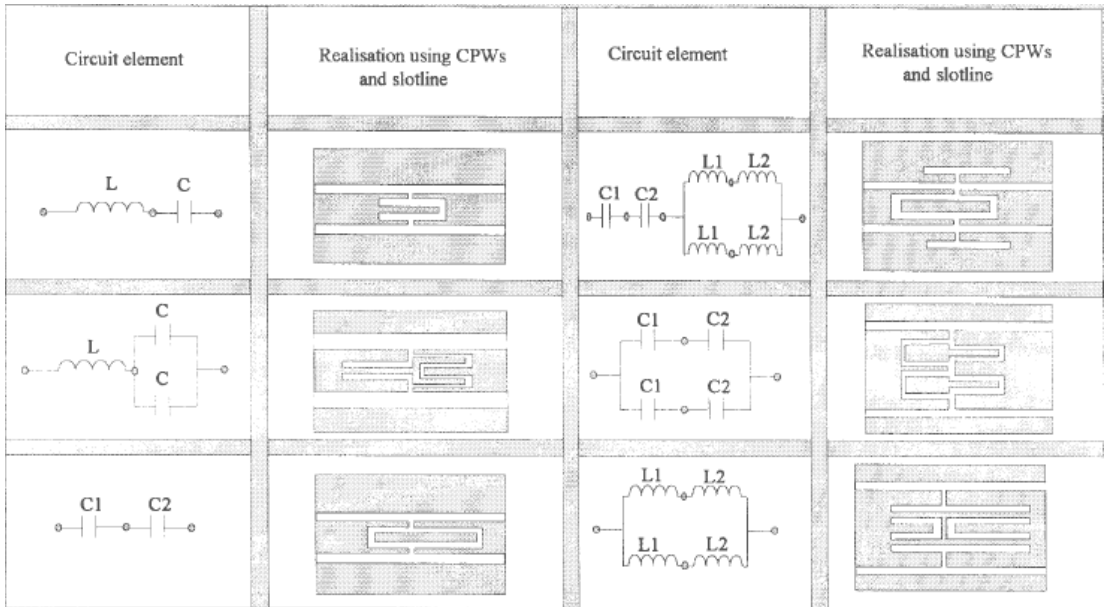
由於共面波導傳輸線具有發展微小化高頻濾波器的優勢，因此本文研究是利用共面波導傳輸線設計微小化低通濾波器，期望可以達到縮小濾波器的面積、具有低的插入損失與良好的止帶特性。因為共平面波導的不連續效應與等效電路模型理論並未完全建立，所以使用電磁軟體輔助驗證設計的濾波器是否符合設計規格，並且探討共面波導傳輸線在微米尺度下，濾波器散射參數(Scattering-parameter)與金屬厚度的關係。另一方面，因為傳統微波電路製作是使用溼式蝕刻製程，所以線路尺寸精度無法達到 $10\mu\text{m}$ 以下，因此選擇微機電技術製作微小化共面波導低通濾波器。

1.3. 文獻回顧

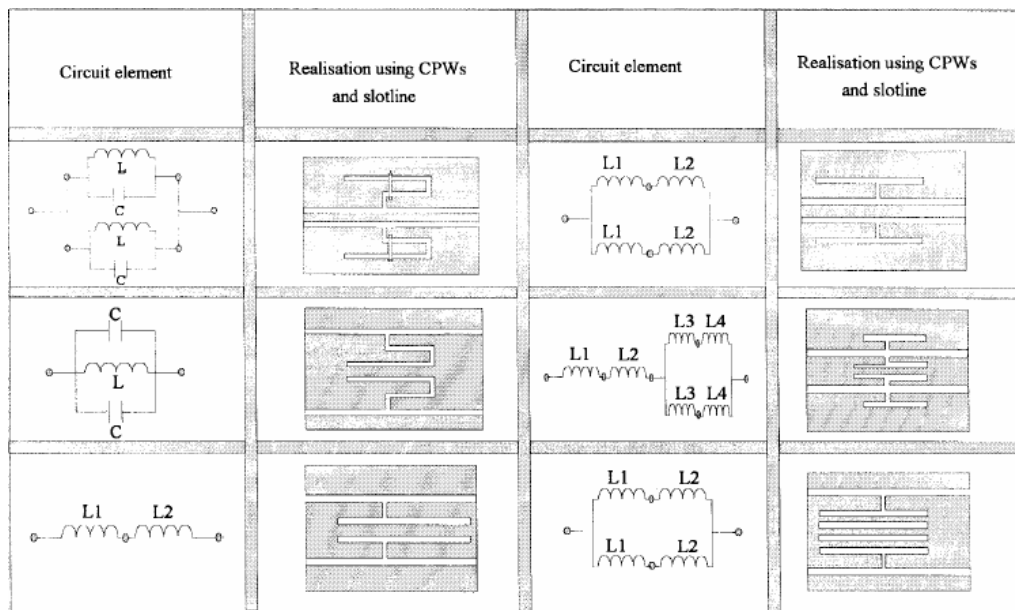
1.3.1. 共面波導濾波器



共面波導(Coplanar Waveguide, CPW)是 C.P. Wen [2]於 1969 年提出，1983 年 D.F. Williams [4]提出利用共面波導間隙(Gap)或交叉指間(Interdigital)電容作為導納反轉器，將其串接並聯共振器，設計成為間隙電容耦合濾波器，此種濾波器的缺點是具有很大的輻射損耗(radiation loss)。1993 年 J.K.A. Everard [5]提出利用共面波導並聯截線視為並聯電感，並將其作為阻抗反轉器串接上並聯共振器，設計成為電感耦合濾波器。1998 年 Khelifa Hettak [6]提出利用共面波導串聯式共振電路，經由適當的串聯或並聯共振電路，可以設計為低通(Lowpass)與帶通(Bandpass)濾波器，如圖 1.1 所示。



(a)



(b)

圖 1.1 共面波導串聯式共振電路[6]

1999 年 Khelifa Hettak [7]再提出共面波導並聯式共振電路，如圖 1.2 所示。此並聯式共振電路具有低的輻射損耗，線路結構更緊密(Compactness)，利用提出的共振電路可以設計為低通和帶通濾波器。

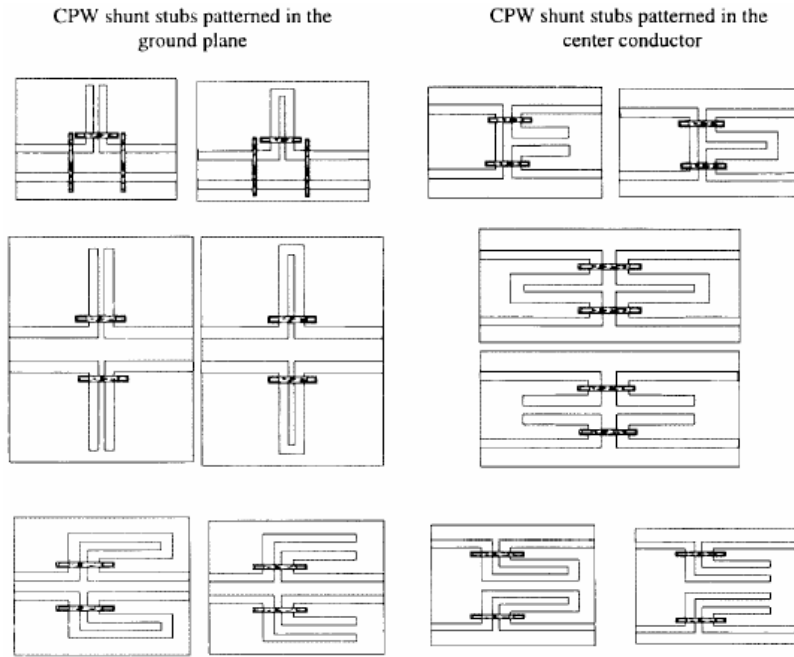


圖 1.2 共面波導並聯式共振電路[7]

在 2001 年 James Sor [8] 提出利用傳輸線週期結構的概念，設計共面波導低通濾波器，其截止頻率為 10 GHz，此文獻共提出三種週期結構，如圖 1.3 所示。此串聯週期結構的低通濾波器與傳統步階阻抗濾波器的面積比較可以縮小 90% 的面積，如圖 1.4 所示。

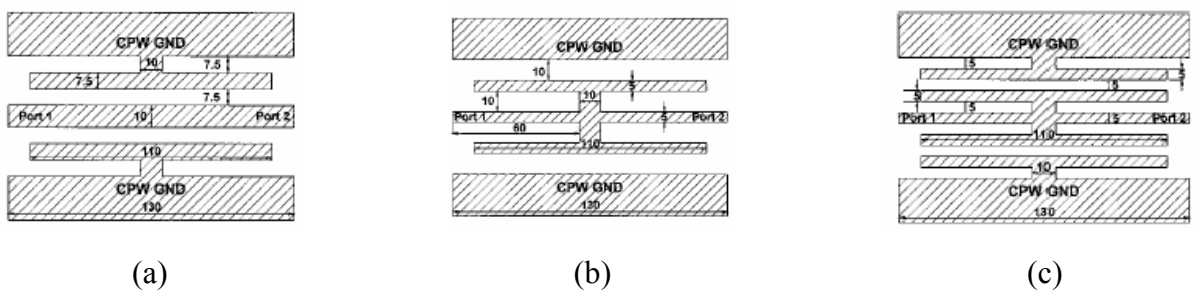


圖 1.3 單一週期傳輸線結構[8]

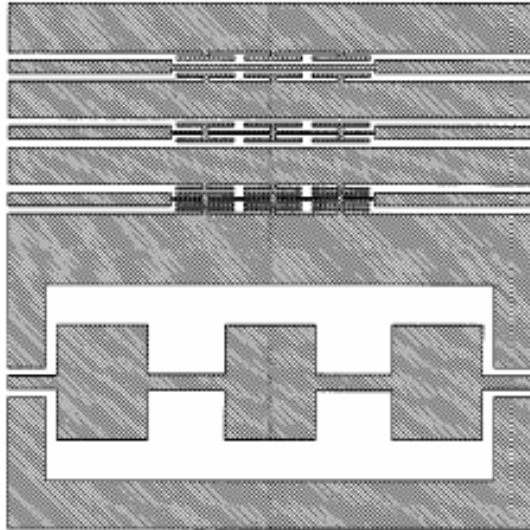
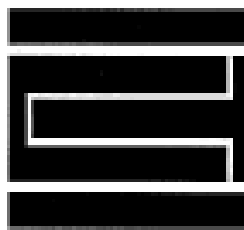
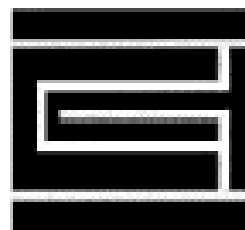


圖 1.4 週期結構濾波器與階梯阻抗濾波器面積比較[8]

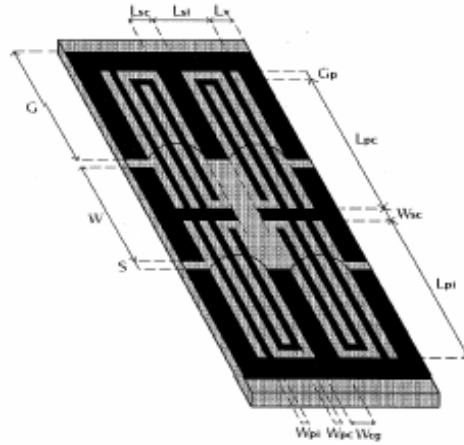
在 2002 年 Shry-Sann Liao [9]提出新式的四分之一波長折疊開路傳輸線，藉由四分之一波長折疊傳輸線設計共面波導帶通濾波器，其中心頻率為 2.4 GHz，如圖 1.5 所示。此文獻提出的帶通濾波器電路結構優點是藉由調整電路的幾何尺寸，可以增加止帶區 (stopband) 的斜率(roll-off)，降低倍頻效應的影響。此新式四分之一波長共面波導帶通濾波器可以縮小 50%的傳統四分之一波長帶通濾波器面積。



(a)



(b)



(c)

圖 1.5 (a)傳統 $\lambda/4$ 折疊開路, (b)新式 $\lambda/4$ 折疊開路, (c)微小化共面波導帶通濾波器[9]

在 2003 年 Shry-Sann Liao [10] 另外提出新式二分之一波長傳輸線折疊方法, 可將傳統二分之一波長共面波導帶通濾波器的面積縮小 60%, 如圖 1.6 所示, 其中心頻率分別為 900MHz、1.8GHz 與 2.45GHz。此設計觀念是利用並聯(shunt)的開路(open)與短路(short)傳輸線段, 其電路特性等效為並聯的電容與電感, 經由適當調整電路結構設計帶通濾波器。此設計方法的優點是改變開路傳輸線段之幾何尺寸, 可調整帶通濾波器的中心頻率, 並且擁有良好的止帶區斜率。

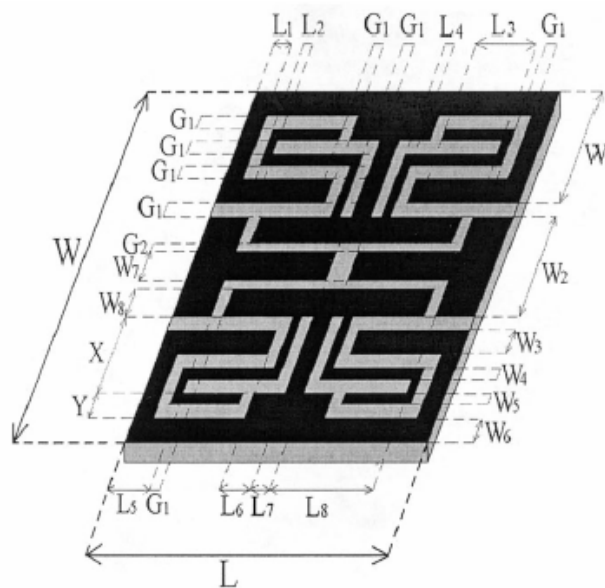


圖 1.6 微小化共面波導帶通濾波器[10]

Yo-Shen Lin [11]在 2004 年提出利用低通與高通(Highpass)共面波導濾波器串聯，設計共面波導帶通濾波器，如圖 1.7 所示。由於串聯的低通與高通濾波器並不會互相產生耦合效應，所以帶通濾波器的頻寬(Bandwidth)可分別由低通與高通濾波器的截止頻率決定，而且增加串聯的低通或高通濾波器數目，可增加止帶區的訊號衰減率，因此提高對訊號的選擇性。而且藉由調整低通或高通濾波器的幾何尺寸，可設計低通與高通濾波器的截止頻率，具有頻寬設計容易的優點。

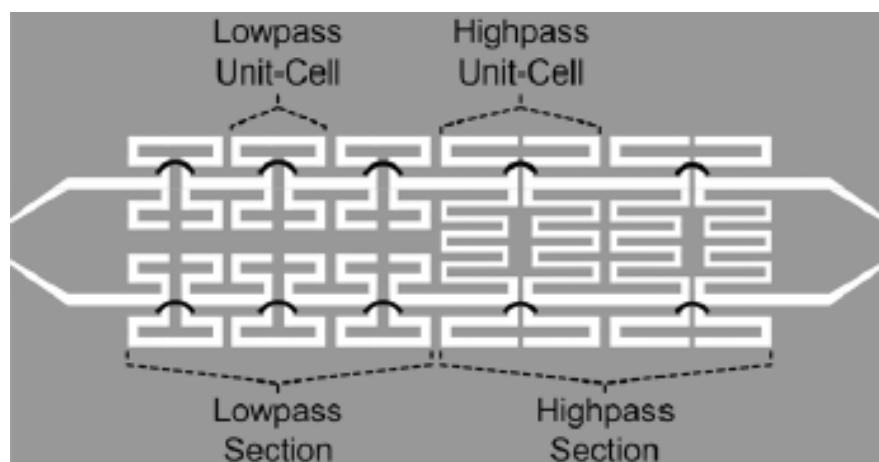


圖 1.7 共面波導帶通濾波器[11]

1.3.2. 電鍍製程

傳統的電鍍製程是在金屬或非金屬表面上，鍍上一層緻密性良好的導體金屬，其目的在於表面性質改善，使具有美觀、防鏽、增加耐磨耗、提高電性和潤滑性等功能。IBM (International Business Machines Corporation)在 1965 年提出利用光阻圖案(Pattern)定義結構幾何形狀的試片置於陰極板上，利用電鍍製程沉積銅金屬製作微元件，電鍍完成後，去除光阻結構，即可得到要求的金屬結構。此技術需要考量的因素包括：(1)電鍍起始層(Seed layer)、(2)光阻(Photoresist)、(3)顯影液(Developing solution)、(4)電鍍起始層的前處理(Pre-treatment)、(5)電鍍液(Plating solution)和(6)電鍍起始層的去除方式。

在電鍍過程中，電鍍液的電流分佈(Current distribution)和離子質傳(Mass transport)

方式會影響電鍍結構的表面輪廓(Surface profile)。Romankiw[12]指出微電鍍結構的表面輪廓會受到電鍍液的電流分佈影響，而電流分佈會被下列因素影響：(1)結構圖案設計、(2)圖案密度、(3)圖案分佈位置、(4)結構深寬比及(5)電鍍液成份。圖 1.8(a)表示利用光阻定義的模仁結構，其幾何形狀會影響電鍍液的電流密度(Current density)分佈，在相同厚度的光阻結構條件下，在大截面積的電鍍區域，其光阻結構邊緣會產生電流聚集(crowding)的現象，因此電鍍結構邊緣的離子沉積速率是比結構中央的沉積速率大，所以產生鍍層厚度不均勻的現象，但是在小截面積的電鍍區域，其電鍍結構中央的離子沉積速率反而是比較大，圖 1.8(b)表示相同厚度的光阻結構，不同截面尺寸的電鍍表面輪廓示意圖。

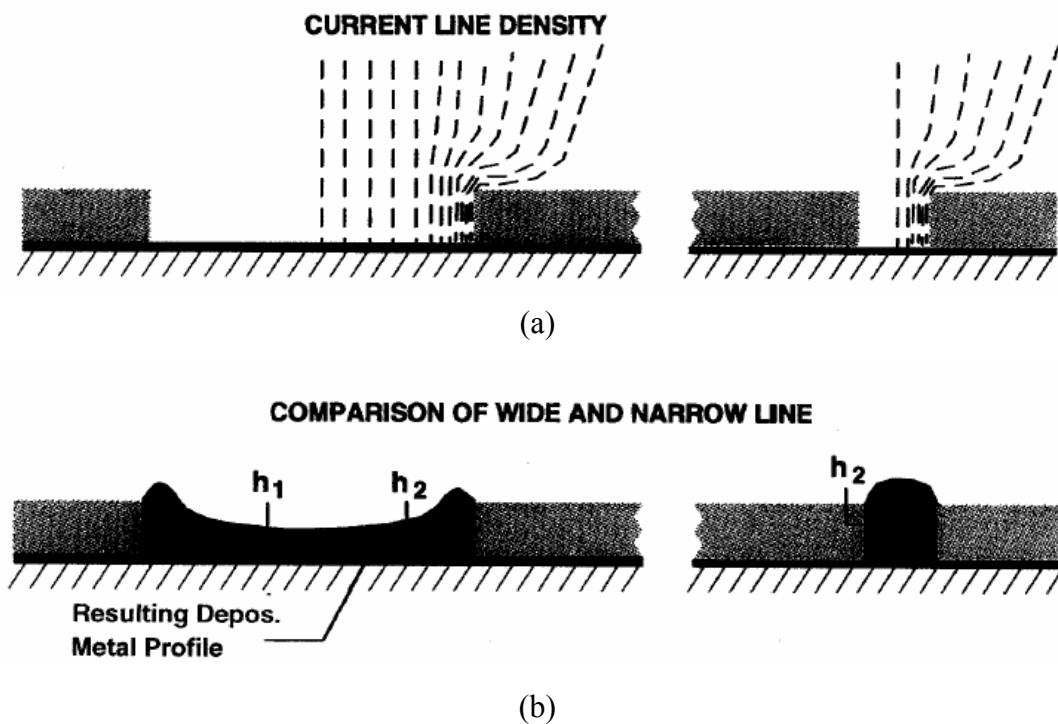


圖 1.8 (a)電流密度在光阻邊緣產生聚集現象，(b)相同厚度的光阻結構，在不同截面尺寸的電鍍表面輪廓[12]

另一方面，結構的深寬比(Aspect ratio)對於電鍍表面輪廓的平整度是有影響的，圖 1.9(a)表示低深寬比的電鍍結構，表面輪廓曲線與厚度變化造成的差異。在低深寬比的

電鍍結構，其受到光阻邊緣電流密度聚集現象，與金屬離子的質傳方式是靠對流(Convection)和擴散(Diffusion)的因素影響，因此鍍層表面沉積速率不均勻，造成表面輪廓不平整。圖 1.9(b)表示高深寬比的光阻模仁結構，表面輪廓曲線與厚度變化造成的差異。由於高深寬比結構底部的金屬離子質傳方式只有靠擴散(Diffusion)方式，而且鍍層底部的電流密度分佈較均勻，光阻邊緣的電流密度聚集現象不明顯，所以在相同電鍍厚度下，高深寬比結構的鍍層表面輪廓是比較平整。

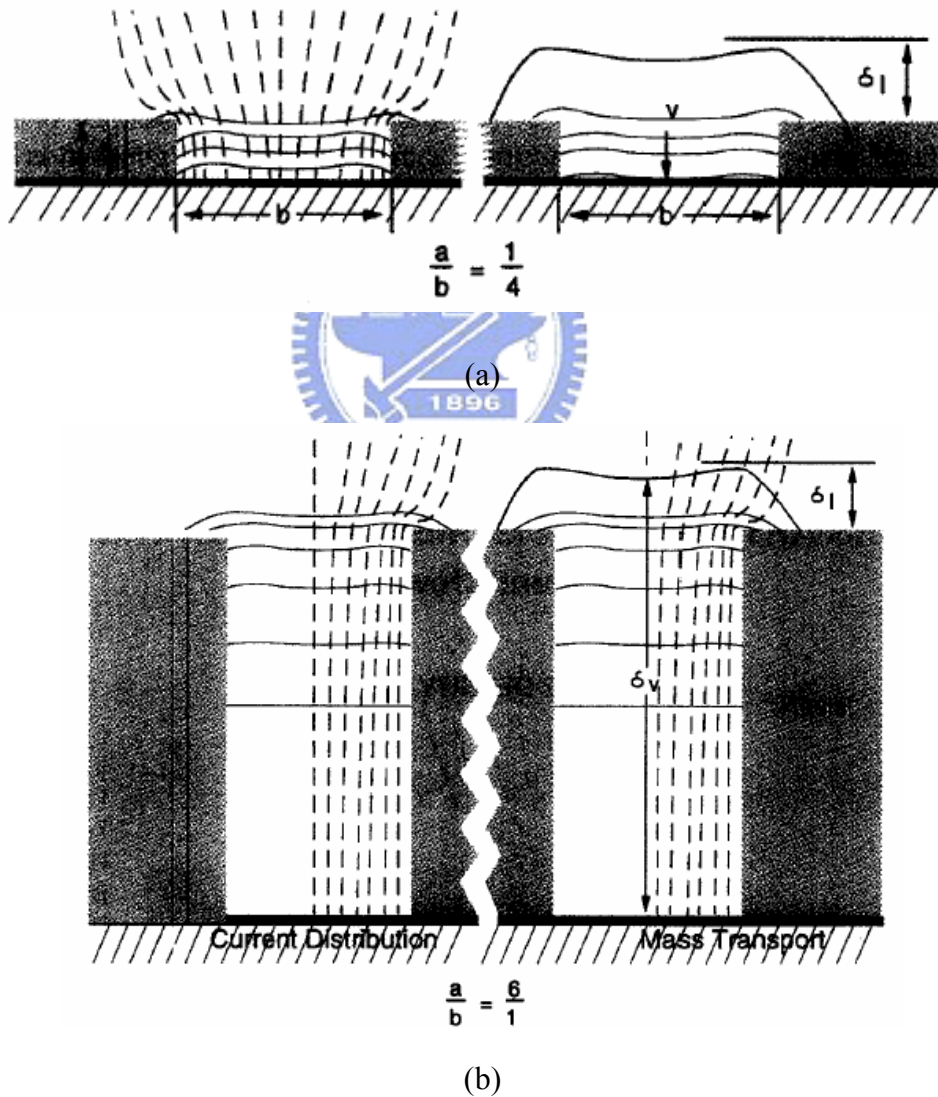


圖 1.9 (a)低深寬比結構表面輪廓曲線示意圖，(b)高深寬比結構表面輪廓曲線示意圖[12]

文獻[13]研究指出硫酸銅鍍液中的硫酸銅、硫酸與氯離子濃度會對電鍍銅的材料性質造成影響：

- (a)在固定的電流密度條件，當硫酸銅濃度增加時，銅晶粒會隨著硫酸銅濃度增加而變大。
- (b)在固定的電鍍銅溶液濃度條件，銅晶粒會隨著使用電流密度的提高而變小，因為提高電流密度會增加電極的極化作用，而極化作用的增加可以增加晶粒的成核點，因此得到較細緻的晶粒。
- (c)在固定的電流密度條件，硫酸含量對銅晶粒的大小影響不如硫酸銅濃度變化來的大，因為硫酸的作用是提高溶液的導電性，並且防止氫氧化銅的沉澱產生，但是硫酸濃度太高會造成電鍍銅的電阻係數變大。
- (d)氯離子的濃度變化對於銅晶粒大小無明顯影響，但是對於銅的電阻係數是有明顯影響，氯離子可以防止電鍍溶液的一價銅與空氣中的氧反應形成氧化銅，因此電鍍溶液中添加適當的氯離子，可以降低電鍍銅的電阻係數，增加金屬導電率。

1.3. 研究目的

本文研究目的是設計微小化共面波導低通濾波器，設計方法是利用慢波(Slow-wave)週期結構縮小共面波導濾波器的面積，濾波器的規格是5階 Butterworth 低通濾波器，截止頻率為4 GHz。另一方面，本文也將探討濾波器的幾何尺寸變化對於截止頻率的影響，並且使用 Ansoft HFSS 和 Sonnet 高頻電磁軟體模擬濾波器在不同金屬厚度的散射參數特性，探討線路結構尺寸在微米尺度下，金屬厚度對於微波濾波器的特性影響。另一方面，本文將利用 UV-LIGA 製程和微電鍍技術製作微小化共面波導濾波器，製作完成的濾波器進行高頻特性量測，驗證低通濾波器的特性。

1.4. 論文架構

本文共分為六個章節，第一章介紹本論文的研究動機、相關文獻回顧及研究目的。第二章介紹集總式元件與分散式傳輸線的微波濾波器設計原理，並介紹共面波導傳輸線的特性。第三章介紹本文提出的微小化共面波導低通濾波器，以及使用高頻電磁模擬軟體，模擬共面波導濾波器的散射參數結果，藉以驗證低通濾波器的特性。第四章介紹利用 UV-LIGA 製程和微電鍍技術製作共面波導濾波器的流程。第五章介紹微波濾波器的量測設備，並將低通濾波器的量測結果與模擬結果作比較。第六章為討論目前研究成果與結論。

