

化學溼蝕刻高深寬比凸角矽結構光罩補償圖形設計

林宜良¹ 林煌堯² 余志成³

國立高雄第一科技大學 機械與自動化工程系

高雄市 811 楠梓區卓越路 2 號

u8914080@ccms.nkfust.edu.tw¹

u8914040@ccms.nkfust.edu.tw²

jcyu@ccms.nkfust.edu.tw³ (聯絡作者)

摘要

本文探討 KOH 非等向性蝕刻之矽基體型微細加工 (Bulk Micromachining)，於 (100) 矽晶圓上製作高深寬比凸角矽結構時，光罩補償圖形的設計。在凸形圖形如矩形島塊，在矽基材的非等向性化學蝕刻中，需在凸角的光罩設計設置補償圖形，以避免發生角落底切的問題。但凸角補償圖形的大小與蝕刻深度呈正比，當補償圖形空間不足、島塊太小或是蝕刻深度較深時，將使相鄰凸角補償圖形交疊，造成補償失敗。本文藉由蝕刻模擬程式 *Intellisuite*，找出較佳高深寬比島塊蝕刻的光罩補償圖形，並利用試誤法找出補償圖形中，補償幾何參數對補償結果角落底切的影響，並找出補償圖形參數的經驗公式，作為高深寬比振動島塊的光罩補償設計。

關鍵詞：矽基微加工、高深寬比島塊、非等向濕蝕刻、矽蝕刻、角落補償

ABSTRACT

This paper addresses the design of mask pattern for the convex corner compensation in anisotropic silicon etching. Corner compensation is often used in the mask design for the patterns with convex corners to prevent corner undercut. The size of the compensation pattern is in proportional to the etching depth. If the space for the corner compensation is limited, such as a small seismic mass with large etching depth, most compensations used in the literatures fail due to the overlap of neighboring compensation patterns. This paper proposes a simple compensation pattern for the fabrication of proof mass with high aspect-ratio. This study assumes KOH wet etching of (100) silicon wafer and uses the simulation program, *Intellisuite*, to find the optimum design. The effects of the geometrical parameters of the proposed pattern are investigated. At last, an empirical formula is proposed and verified using *Intellisuite*.

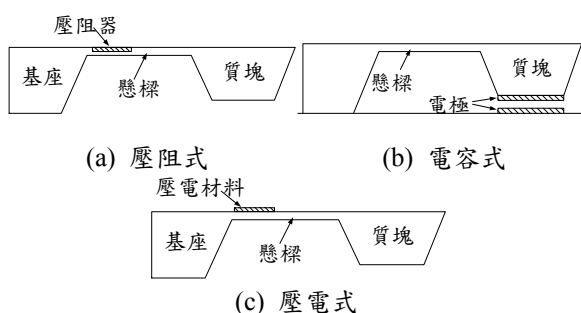
Keywords : Micromachining, High aspect ratio proof mass, Anisotropic Wet Etching, Silicon etching, Corner Compensation

一、研究背景

隨著科技的日益發展以及生物科技的興起，各類商品也逐漸朝向微小化且多功能化發展，因此促進了微機電系統 (Micro-Electro-Mechanical System, 簡稱 MEMS) 的相關研究。MEMS 在生醫、航太、汽車、環境、生物科技及消費性電子產品等方面有非常廣泛的應用[1]，其中又以微感測器的應用市場與技術最為成熟，如汽車安全氣囊中的微加速度計、引擎燃燒控制中的壓力計與生醫化學使用的微感測器等。

微機電元件的製造技術種類與複雜度比一般的半導體製造技術來的高，除薄膜成長、黃光微影罩幕、乾濕蝕刻成型外，還包括矽微加工技術如矽晶圓的非等向性蝕刻與電鑄、LIGA 等[2]。

微感測器是微機電系統中最早被商品化的元件之一，而其中加速度計在汽車應用領域有非常大的市場，因此各種加速度設計紛紛被提出。若以能量傳遞的方式來細分，加速度計可略分成壓阻式 (Piezoresistive) [3]、電容式 (Capacitive) [4][5] 及壓電式 (Piezoelectric) [6] 等三種。其基本結構多由一個振動島塊，加上彈性支撐結構所組成 (圖一)，藉由振動島塊將加速度轉換成島塊的位移，再以轉換元件 (transducer) 將位移量檢出。其中壓阻式微加速度計利用振動島塊因加速度造成的慣性力，致使懸樑彎曲變形，造成其上的壓阻材料的電阻值產生變化，來感知加速度 (圖一a)。壓電式則利用壓電材料的壓電效應來感測加速度 (圖一c)。而電容式微加速計則在振動島塊底面及基座面上，形成一個平行板式的電容器，利用電容之改變，感知振動島塊與基座間之間隙變化 (圖一b)。

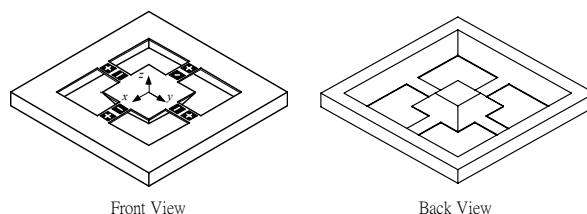


圖一 加速度微感測器的基本結構

振動島塊大多由矽基材加工而成，雖然島塊可以乾蝕刻如 ICP 的方式製作，但基於製作成本的考量，大多使用非等向性化學濕蝕刻 <100> 矽晶圓的方式來達成。而由於矽基材非等向蝕刻的特性，島狀質塊結構將形成類似截頂金字塔的形狀。振動島塊的質量直接影響加速度計的性能。

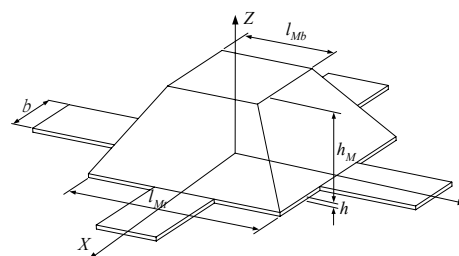
圖二 為一個懸樑型壓電微加速度計的設計

例，島塊的質量將影響感測器的共振頻率，因而決定感測器的使用頻寬，同時也會改變元件敏感度。非等向性蝕刻液可分為：(1) 有機溶液：TMAH、聯氨 (Hydrazine) 及 EDP，(2) 鹼液：KOH、NaOH、LiOH、CsOH、NH₄OH 等。因為 KOH 蝕刻的毒性低、成本低、蝕刻速率高及可得較佳的蝕刻面，所以常使用於矽結構的蝕刻。

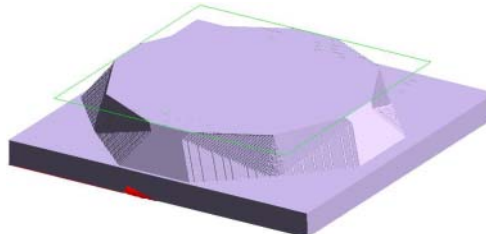


圖二 懸樑型加速度微感測器三維示意圖[15]

理想振動島塊的形狀將如圖三所示，但若島塊凸角的光罩圖形不做補償時，將會產生圖四的底切情形，底切蝕刻造成的結構尺寸誤差，將導致島塊質量難以估計，不僅影響元件的特性，同時也會改變相關幾何特徵的製作；如連接島塊的懸樑，因長度及端面的剛性改變，而影響到懸樑的彈簧常數。

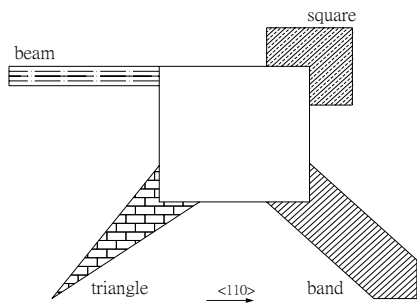


圖三 凸角島狀結構示意圖[14]

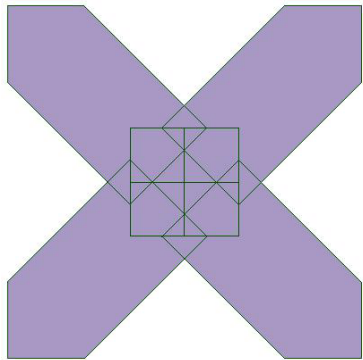


圖四 無角落補償的島塊蝕刻圖形

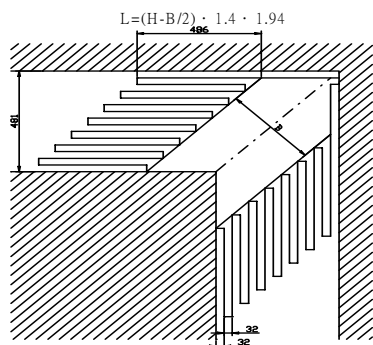
目前已有不少文獻探討角落補償原理，並提出各種不同補償圖形如圖五[7]，以減少凸角底切蝕刻的發生，其中以 <100> 的帶狀 (Band) 補償圖形最為簡單，且能得到近似理想的島狀結構。但因所需的各種補償圖形的長度尺寸與蝕刻深度成正比，當島塊的深寬比較高，即蝕刻深度大而島塊或是島塊周圍尺寸較小時，便可能發生相鄰補償圖形重疊而造成補償的失效如圖六。



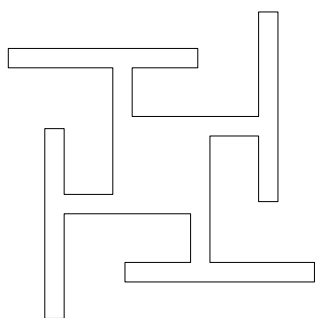
圖五 光罩補償圖形[7]



圖六 光罩補償圖形重疊



圖七 長帶形與長條形組合之補償圖形[8]



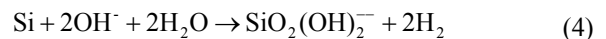
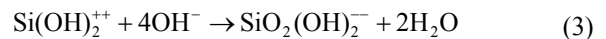
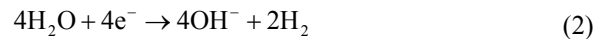
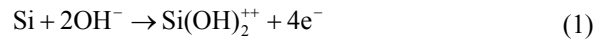
圖八 <110>方向不對稱長條補償圖形[9]

Mayer 等[8]與 Bao 等[9]為減少補償圖形的尺寸，提出如圖七與圖八的角落補償設計，但其設計較為複雜且文獻中也沒有定量的經驗公式可參考。因此本文將以化學蝕刻模擬軟體 *IntelliSuite* 進行各種文獻補償圖形的比較，並提出一種較為簡單的補償圖形

與其經驗公式，作為高深寬比島塊角落補償的設計參考。

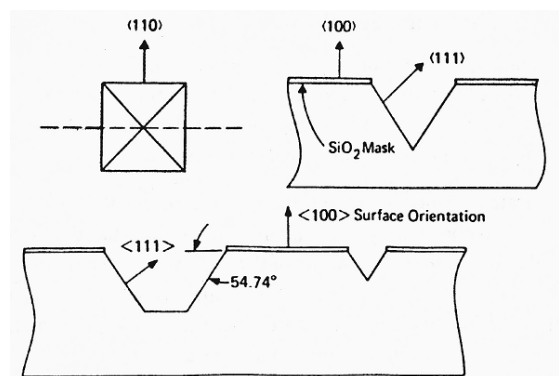
二、矽基材的化學蝕刻

在以鹼性蝕刻溶液進行矽基材的非等向性蝕刻時，蝕刻液中的氫氧離子與矽原子發生化學反應，如式(1)所示。當蝕刻反應發生時，矽的氧化會釋出 4 個電子分別送入導電帶，此時生成物與水形成錯合物，如式(2)及式(3)所示，最後藉著擴散離開並釋出氫氣[10]。



濕蝕刻是最普遍、也是設備成本最低的蝕刻方法，而 KOH 非等向性蝕刻是一種典型的鹼液濕蝕刻。由蝕刻的化學反應方程式可看出影響被蝕刻物之蝕刻速率 (etching rate) 的因素有三：蝕刻液濃度、蝕刻液溫度、及攪拌 (stirring) 之有無。定性而言，增加蝕刻溫度與加入攪拌，均能有效提高蝕刻速率，因提高溫度增加反應的速率，而攪拌可迅速的帶走反應面所產生的氫氣使蝕刻溶液能再與矽基材接觸反應；但濃度之影響則較不明確。

各晶格方向利用 KOH 濕蝕刻之蝕刻速率，其蝕刻速率不同，而蝕刻率大小一般為 $\langle 110 \rangle > \langle 100 \rangle > \langle 111 \rangle$ 。以 $\{100\}$ 面與 $\{111\}$ 面來比較，蝕刻速率比約為 $R\{111\}/R\{100\} = 1:80 \sim 1:120$ ，因此 $\{100\}$ 晶圓的蝕刻圖形將會沿著 $\{111\}$ 的面而定義，尤其是凹 (concave) 圖形，如圖九的 V 形槽與矩形孔。



圖九 $\{100\}$ 晶圓典型的凹角蝕刻圖形

但而若蝕刻圖形有凸角 (convex corner)，在非等向性蝕刻時，將會產生底切的蝕刻缺陷，主要是因為對在 $\langle 100 \rangle$ 矽晶圓上沿著主切邊 $\langle 110 \rangle$ 方向，所定義之方形島塊圖形，非等向性蝕刻液之後，不僅非島塊部份的 $\{100\}$ 矽晶面被腐蝕，而漸漸露出腐蝕率最

慢的{111}斜坡面。但方形島塊之四個尖點角也無法留存下來，這是歸因於兩個{111}平面相交之稜線所在，是所謂晶面不確定的位置，所以快速被 KOH 所蝕刻消失，如圖 十[8]所示。因此當結構圖形有凸角時，需在光罩上加上凸角補償設計。

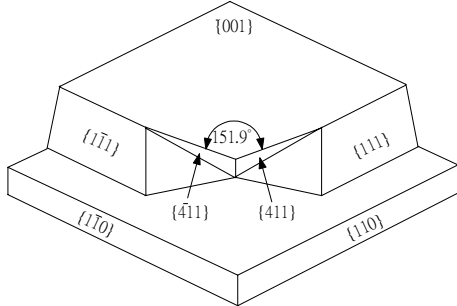


圖 十 KOH 蝕刻後各晶面底切情況[8]

三、各種角落補償方式的模擬

若要以非等向性化學蝕刻得到如圖 三 的理想振動島塊圖形，就並須設計光罩角落補償。凸角補償的基本精神是以「空間換取時間」，也就是說，預先在凸角“延伸出”特定的補償圖形，使島塊尚未蝕刻完成前，蝕刻液也只能先侵蝕補償延伸的部位，而無法直接侵蝕到凸角端之晶面不確定位置。所以一定要算準補償圖形究竟可以支撐多久，配合上{100}深度矽晶面的腐蝕時間，達成完美之凸角補償效果。

3.1 三角形 (Triangle) 補償

Wu 和 Ko、Puers 及 Offereins 等人根據所發現的最快蝕刻面發展出三角形補償方式。其補償原理如圖 十一所示：(以 Wu 和 Ko 為例[11])

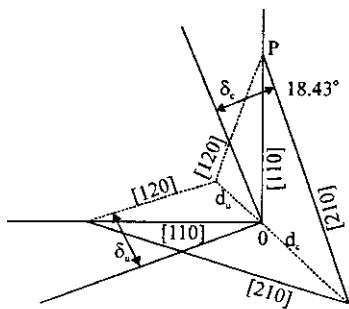


圖 十一 三角形補償原理

Wu 和 Ko 發現{212}是最快蝕刻面，因此，他們將三角形的兩邊固定在[210]方向，同理，Puers 及 Offereins 等人將其設計之三角形補償邊分別固定在[310]及[410]方向。而其補償尺寸之設計準則如式 (5)~(8)所示：

$$d_c = \sqrt{5} \cdot \delta_c \quad (5)$$

$$d_u = 1/2\sqrt{5} \cdot \delta_u \quad (6)$$

$$d_c = 2 \cdot d_u \quad (7)$$

$$op = \sqrt{2} \cdot d_c \quad (8)$$

其中， d_u 為未做補償時，蝕刻前後之角落長度， d_c 則為有做補償時，蝕刻前後之角落長度， p 點為底切線及補償邊在{110}面之交點。當蝕刻深度越深時， op 線段的長度就越長，因此，本法成功之先決條件為島塊之上部面邊長必須大於 2 倍的 op 線段。三角形補償方式最大的缺點是補償圖形很大，需要相當大的空間。

3.2 矩形(Rectangle)補償

Puers 和 Sansen[12]的矩形補償採用<120>或<130>方向的蝕刻速率做為角落補償的方向，有三種補償方式，利用四個不同的<120>方向來蝕刻島塊的補償角落蝕刻至 90°為止，如圖 十二所示：

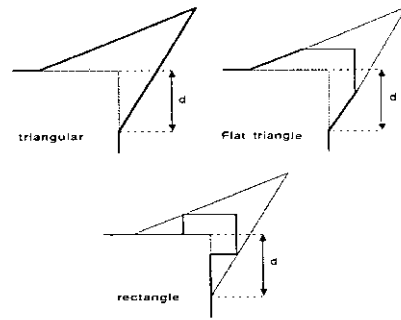


圖 十二 矩形補償原理[12]

而其補償尺寸之設計準則如式(9)~(11)所示， e 為蝕刻深度。

$$\text{Triangle} \quad d = 1.2 + 3.12 e \quad (9)$$

$$\text{Flat} \quad d = 3.5 + 3.42 e \quad (10)$$

$$\text{Rectangle} \quad d = 5.7 + 3.72 e \quad (11)$$

3.3 細長條(Beam)補償

在<110>方向直接加上細長條的補償圖形會有 2 個問題：1.當蝕刻深度很深時，補償圖形相對變大，2.角落底切情形仍很嚴重。為了解決上述兩個問題，Bao 及其研究夥伴提出一種不對稱長條之補償圖形[9]，在<110>方向延伸出的長條尾端兩邊各再加上 90 度轉彎之不等長度的長條，如圖 十三示：

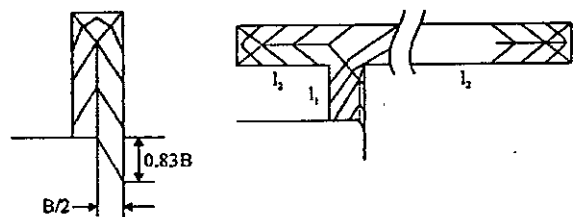


圖 十三 (左)無轉折蝕刻面 (右)有轉折蝕刻面[9]

不對稱轉折長條狀補償的短邊在蝕刻過程中會先到達轉折點，導致蝕刻圖形產生不對稱的蝕刻狀況，而這能降低角落底切的情形。根據 Bao 的建議，補償圖形的尺寸如式(12)所示：

$$L_{eff} = l_1 + l_2 + 2.83 \times B \quad (12)$$

L_{eff} ：補償圖形等效長度

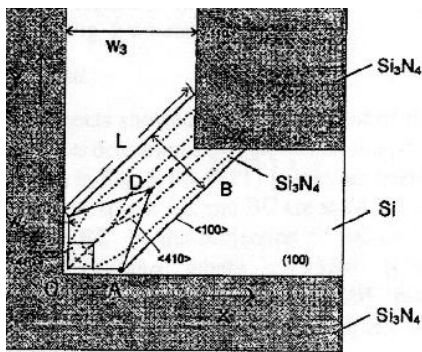
l_1 ：在 $\langle 110 \rangle$ 方向延伸出的長條的長度

l_2 ：在轉折方向延伸出的短邊長條的長度

B ：長條之寬度，建議值在 $40 \sim 80 \mu\text{m}$ 之間

3.4 $\langle 100 \rangle$ 方向的帶狀 (Band) 補償

在 $\langle 100 \rangle$ 方向加上長帶的補償方式，帶的兩邊是 $\{100\}$ 面，其蝕刻速率與深度方向的蝕刻速率相同，因此，若要達到完全補償的效果，帶的寬度必須等於蝕刻深度的兩倍，而且帶的長度必須夠長，使 $\langle 410 \rangle$ 方向的側邊及 $\langle 410 \rangle$ 方向側邊的交點的底切先停止，只剩 (100) 側面定義最後的底切，如圖十四所示，帶的長度 (L) 最少必須為帶寬 (B) 的 1.6 倍 [13]。



圖十四 帶狀補償蝕刻面示意圖 [13]

本方法成功的前提是：非等向性蝕刻液需保證在 $\langle 100 \rangle$ 方向的腐蝕速度，高於其他晶面方向。以 KOH 系列蝕刻液為例，便不得加入異丙醇 (IPA) 作為提高 $\{111\}$ 面對 $\{100\}$ 面選擇性 (腐蝕出來之平面較為平滑) 之用，因為 KOH + IPA 腐蝕液之 $\langle 110 \rangle$ 蝕刻速度略高於 $\langle 100 \rangle$ 方向。

本法另有一個限制：凸角補償圖形長短因與蝕深有關，所以若島塊太小，或者島塊外圍有框寬限制，都會因為圖形交疊，造成補償失敗。因此，Mayer 等人提出在 $\langle 100 \rangle$ 方向的長帶兩邊加上 $\langle 110 \rangle$ 方向的細長條補償方式 [8]，可有效解決空間不足的問題。其補償圖形及尺寸如圖十五及式(13)所示：

$$L = (H - B/2) \cdot V \cdot 1.03 \cdot 1.94 \quad (13)$$

其中： L = $\langle 110 \rangle$ 方向的細長條長度

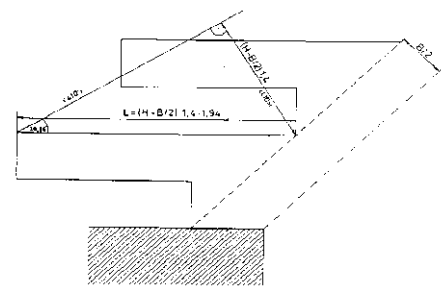
H = 蝕刻深度

B = $\langle 100 \rangle$ 方向的長帶寬度

V = $\{411\}$ 與 $\{100\}$ 面的蝕刻速率比

1.03 為 $\{411\}$ 面與垂直 $\langle 100 \rangle$ 方向的係數

1.94 為 $\langle 411 \rangle$ 與 $\langle 010 \rangle$ 方向間的係數



圖十五 補償尺寸示意圖

3.5 各種補償模擬蝕刻比較

根據以上所提的光罩補償方式，我們希望知道長條形 (Beam)、矩形 (Rectangle)、三角形 (Triangle) 及長帶形 (Band) 等四種補償方式的補償結果，故利用 IntelliSuite 矽基蝕刻模擬軟體，針對各種補償方式進行模擬比較，作為補償圖形設計的參考。在模擬蝕刻過程中，假設以下蝕刻參數：

1. 蝕刻液濃度為 30%wt KOH
2. 蝕刻液溫度為 80°C
3. 蝕刻深度需達 $300 \mu\text{m}$
4. 假設振動島塊尺寸皆為 $2000 \times 2000 \mu\text{m}^2$

光罩角落補償	Simulation

圖十六 各種光罩角落補償之蝕刻模擬結果

由圖十六可以發現，Triangle 補償的模擬結果最差。Rectangle 的補償方式在島塊角落上部雖可形成尖點，但在底部則仍會有底切情況。Beam 的補償方式不僅在島塊角落上部無法形成尖點，而且底部會有底切及殘留問題。Band 的方式最符合島塊結構的

角落補償，以蝕刻深度達 300 μm 時，也無發生底切現象。

四、高深寬比的角落補償

由各角落補償方式模擬的比較得到 Band 補償方式最理想，但在做高深寬比(R)島狀結構蝕刻時，會發生補償圖形重疊的現象，進而造成島塊在蝕刻後會變的比原先預期的島塊更大，且會發生底切的問題。為了改善此現象，我們將利用相同島塊（假設島塊面積為 300 * 300 μm²），以四種深度 150、200、250 及 300，其深寬比分別為 0.5、0.66、0.83 及 1，以 *Intellisuite* 蝕刻模擬，以找出最佳的經驗補償公式。

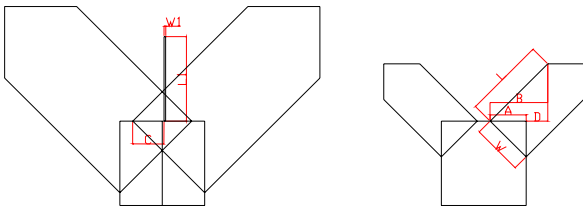
當島塊蝕刻的深寬比未到達 Band 角落補償之臨界深寬比時，以 3.4 節文獻中的 Band 角落補償公式設計補償圖形即可，由圖 十七(b)補償圖形的幾何關係，島塊蝕刻的最大的深寬比之臨界值如式(14)所示：

$$\langle 100 \rangle \text{Band 補償最大島塊深寬比} \quad (14)$$

$$H/W = \sqrt{2}/4 = 0.35$$

H 島塊蝕刻深度

W 島塊寬度



(a) 超過 Band 最大深寬比 (b) 未到達 Band 最大深寬比

- W*: Band 寬度 (μm)
- L*: Band 長度 (μm)
- W1*: 細長條寬度 10 (μm)
- L1*: 細長條長度 (μm)
- A*: $W/\sqrt{2}$ (μm)
- B*: $L/\sqrt{2}$ (μm)
- C*: Band 重疊長度+10 (μm)
- D*: $B-A$ (μm)

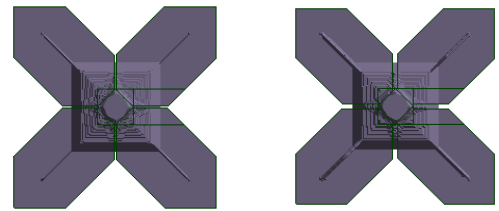
圖 十七 <100>帶狀補償的圖形參數

若超出 Band 補償之臨界深寬比以<100>帶狀方式補償，相鄰圖形將會產生一重疊量 *C* 值，如圖 十七 (a)所示，本文將分析一項簡單的圖角補償設計，與圖形重疊處開槽並加設<110>補償圖形[16]來解決這個問題，並探討影響蝕刻特性的尺寸，定義出模擬所需之參考變數，利用調整各別的參數值，測試各參數對蝕刻特性的影響。以下將分成三步驟來進行探討：(1)找出重疊 Band 之間的最小間隙(2) 細長條島塊頂角補償經驗公式(3)解決島塊底部過度補償問題。以固定之島塊寬度，變動蝕刻深度，來比較不同

深寬比下的補償效果，最後求得最佳經驗公式。

4.1 找出重疊 Band 之間的最小間隙

當蝕刻之深寬比超過臨界值 ($\sqrt{2}/4$) 時，相鄰帶狀補償圖形將會重疊，因此需於圖形交界處設置槽狀間隙，才能確保島塊的尺寸，但開槽將會使<100>補償在接近角落的部分會提早形成底切的現象(如圖十八)，因此需於開槽處再加上<110>方向的細長條做為補償。經比較發現不同間隙對蝕刻結果影響不大，但若太大將影響島塊結構的頂部面積，因此考慮製造可行性與蝕刻效果，所以建議重疊的間隙槽寬為 20 μm。



(a) 間隙 20 μm

(b) 間隙 40 μm

圖 十八 島塊 (300*300 μm²) 補償圖形重疊處開槽的蝕刻

深度 150 μm (<i>C</i> =70 μm) $L1*W1=141*10 \mu\text{m}$	深度 200 μm (<i>C</i> =133 μm) $L1*W1=279*10 \mu\text{m}$
深度 250 μm (<i>C</i> =182 μm) $L1*W1=416*10 \mu\text{m}$	深度 300 μm (<i>C</i> =284 μm) $L1*W1=554*10 \mu\text{m}$

圖 十九 細長條補償頂部角落被蝕刻的程度

4.2 影響島塊頂部角落補償經驗公式

當圖形重疊量越大時，<100>補償在接近角落的底切的現象越嚴重，因此以重疊量 *C* 為改變補償圖形參數的基準。本文以模擬程式改變<110>方向的細長條補償參數，測試對頂部角落蝕刻的改善程度，結果發現 *W1* 越小對改善頂部角落底切的效果越好，考量補償圖形的可製造性，本文建議採用 $W1=10 \mu\text{m}$ ，而

當 $L1=1.95C$ 時有較佳的頂角補償效果，如圖 十九所示。但 $\langle 110 \rangle$ 的長條補償會造成島塊蝕刻底部的過度補償。為了改善此現象，我們以一個固定質塊 ($300\mu\text{m}$) 在不同的深度試著找出各個深度下其最佳的補償圖形，以改善過度補償現象。

4.3 解決島塊底部過度補償問題

本研究利用不同的深寬比，試著改變各個參數值 (W 、 L 、 $L1$)，以找出在各種重疊量下最好的補償圖形，如圖 二十所示。在藉由最小均方差的迴歸方式，找出圖 二十一與式(15~17)的經驗公式。

$$Wn = 2 * ed - 0.0007C^2 - 0.02C \quad (15)$$

$$Ln = 3.2 * ed + 0.0101C^2 - 3.66C \quad (16)$$

$$Lln = L1C = 1.91C \quad (17)$$

Wn : 修正後之 Band 補償寬度值

Ln : 修正後之 Band 補償長度值

Lln : 修正後之 $\langle 110 \rangle$ 方向補償長度值

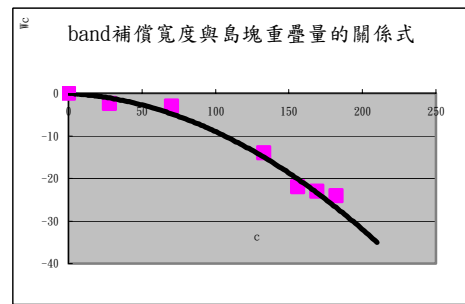
公式(15~18)是以重疊量值 (C) 作為設計探討的依據，但在研究的過程中發現，當相同重疊量值套用於不同島塊大小下時，所需的蝕刻深度會隨島塊大小而改變產生新的深寬比值，因而將重疊量值轉換成深寬比 (R) 式(18)，以便計算在相同深寬比下不同大小島塊所產生的重疊量值。

$$R = \frac{C - 20 + B}{\sqrt{2}B} \quad (18)$$

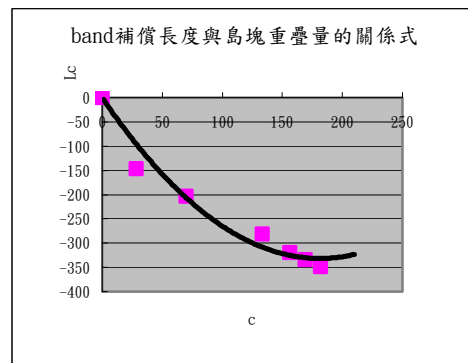
R : 深寬比值 C : 重疊量值 B : 島塊寬度

深度 $120\mu\text{m}$ ($C = 28\mu\text{m}$) $W=1.98ed$ $L=1W$ $L1=1.95C$	深度 $150\mu\text{m}$ ($C = 70\mu\text{m}$) $W=1.98ed$ $L=0.93W$ $L1=1.95C$
深度 $200\mu\text{m}$ ($C = 156\mu\text{m}$) $W=1.93ed$ $L=0.93W$ $L1=1.95C$	深度 $240\mu\text{m}$ ($C = 182\mu\text{m}$) $W=1.9ed$ $L=0.92W$ $L1=1.9C$

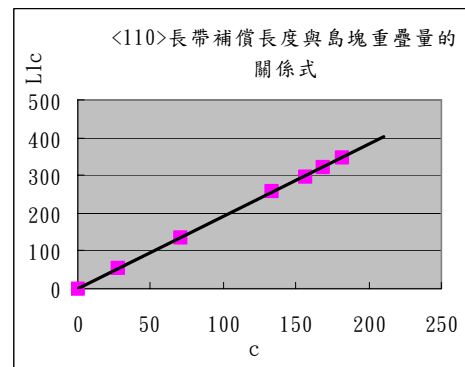
圖 二十 各重疊量(C)下的最佳蝕刻圖形



(a)



(b)



(c)

圖 二十一 修正式 $\langle 100 \rangle$ 補償圖形經驗公式

最後由此經驗公式設計補償圖形測試，當深寬比在 0.5、0.8 (島塊寬度 $300\mu\text{m}$)、及 0.38、0.625 (島塊寬度 $400\mu\text{m}$) 的補償效果，如圖 二十二所示。當深寬比小於 0.625 時，島塊補償結果非常接近理想圖形，但當深寬比增加，介於 0.625~1 之間時所模擬的結果有底切及過度補償的問題，較不穩定。圖 二十三為不同深寬比，但當圖形重疊量 C 相同時的補償模擬，由圖形可看出補償效果有相當大的差異，代表補償圖形不應只是圖形重疊量 C 的函式，蝕刻深度或島塊大小也會影響補償圖形設計。

五、結 論

本文提出一種高深寬比島塊凸角補償圖形的設計，並藉由 Intellisuite 蝕刻模擬軟體，分析補償圖形參數對補償結果的影響，並找出粗略的經驗補償公

式。由模擬驗證的結果發現，該補償圖形公式確能解決島塊深寬比增加所造成補償圖形重疊的問題，但當深寬比越大時，本文所推導之補償公式誤差會越大，當深寬比小於0.625時，島塊補償結果非常接近理想圖形，但當深寬比增加，公式所建議的圖形會產生底切及過度補償的現象，造成蝕刻結果不穩定。未來將持續改善經驗公式，以增加島塊深寬比適用的範圍。

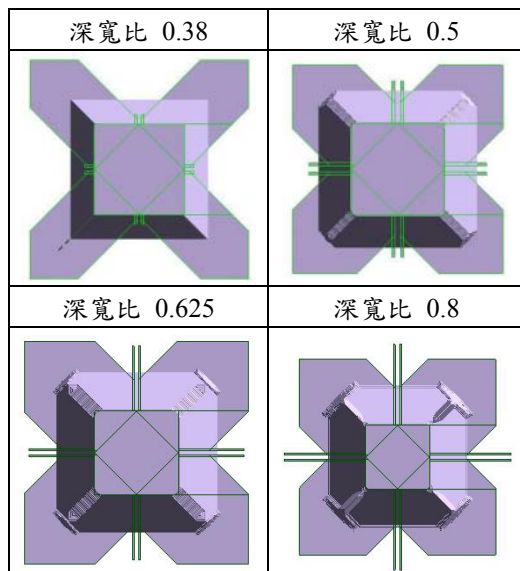


圖 二十二 以公式設計補償圖形的驗證模擬

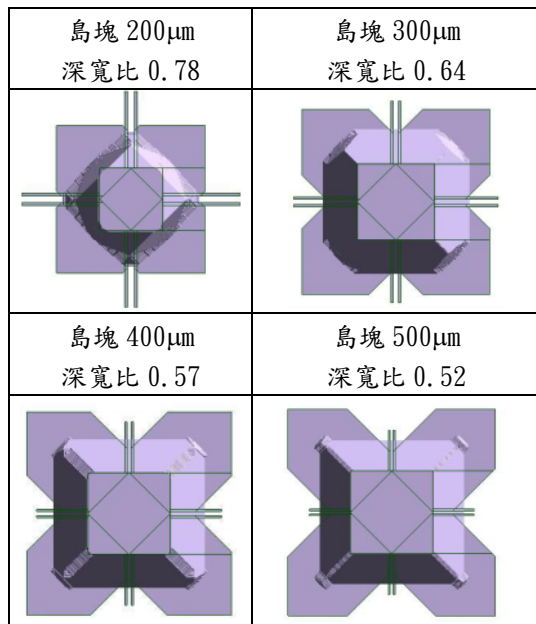


圖 二十三相同重疊量 C 使用於不同深寬比時的補償模擬

誌 謝

本研究承蒙國科會支持，計畫編號 NSC 92-2815-C-327-008-E，特誌謝意。

參考文獻

- [1]. Baltés, H., "COMS as sensor technology", *Sensors and Actuators A.*, Vol. 37-38, 1993, pp. 51-56.
- [2]. Marc, J. Madou., *Fundamentals of microfabrication: the science of miniaturization*, 2nd Ed., (2002)
- [3]. Chen, H., Shen, S., and Bao, M., "Over-range capacity of a piezoresistive microaccelerometer", *Sensor and Actuator A.*, Vol.58, No. 3, pp. 197-201 (1997)
- [4]. Berther, T., Gautschi, G. H. and Kubler, J., "Capacitive Accelerometer for Static & Low-Frequency Measurements", *Sound and Vibration.*, pp.28-30 (1996)
- [5]. Matsumoto, Y., and Esashi, M., "Integrated Silicon Capacitive Accelerometer with PLL Servo Technique", *Sensor and Actuator A.*, Vol. 39, pp 209-217 (1993)
- [6]. Blow, B. A., Harjain, R., Polla, D. L., Tamagaqa, T., "Dual Frequency Range Integrated Circuit Accelerometer Using Capacitive and Piezoelectric Sensing Technique" *IEEE International Symposium on Circuits and System.*, Vol. 2, pp.1120-1123(1993)
- [7]. Lang, Walter., "Silicon Microstructuring Technology", *Materials Science and Engineering*, R17, 1996, pp. 1-55.
- [8]. Mayer, G. K., Offereins, H. L., Sandmaier, H., and Kuhl, K., "Fabrication of Non- Underetched Convex Corners in Anisotropic Etching of (100)-Silicon in Aqueous KOH with Respect to Novel Micromechanic Elements", *J.Electrochem.Soc.*, Vol. 137, No. 12, December 1990, pp3947-3951.
- [9]. Bao, M., Chr. Burrer, Esteve, J., Bausells, J., and Marco, S., "Etching front control of <110> strips for corner compensation", *Sensors and Actuators*, A37-A38, 1993, pp727-732.
- [10]. Seidel, H., Csepregi, L., Heuberger, A., and Baumgatel, H., "Anisotropic Etching of Crystalline Silicon in Alkaline Solutions-Part I . Orientation Dependence and Behavior of Passivation Layers", *Journal of the Electrochemical Society*, Vol. 137, No.11, 1990, pp. 3612-3626.
- [11]. Xian-Ping Wu, Wen H. Ko., "Compensating Corner Undercutting in Anisotropic Etching of (100) Silicon", *Sensors and Actuators*, 18, 1989, pp.207-215.
- [12]. Puers, B., and Sansen, W., "Compensation Structures for Convex Corner Micromachining in Silicon", *Sensors and Actuators.*, A21-A23, 1990, pp.1036-1041.
- [13]. Zhang, Qingxin., Liu, Litian., Li, Zhijian., "A new approach to convex corner compensation for anisotropic etching of (100) Si in KOH", *Sensors and Actuators.*, A 56, 1996, pp.251-254.
- [14]. Yu, J. and Lan, C. (2001), "System Modeling of Microaccelerometer Using Piezoelectric Thin Films", *Sensors and Actuators A* 88, 178-186.
- [15]. Yu, J. and Lai., F.H. (2001), "Design And Fabrication Of Microaccelerometers Using Piezoelectric Thin Films", *Ferroelectrics.*, Vol.263, pp.101-106.
- [16]. 何建龍、蕭志誠、余志成 (2002) "高深寬比化學濕蝕刻凸形角落補償尺寸之探討"，中國機械工程學會第十九屆全國學術研討會，2002/11/29-30，虎尾技術學院。