

高深寬比化學濕蝕刻凸形角落補償尺寸之探討

何建龍 蕭志誠 余志成*

國立台灣科技大學 機械工程系

摘要

本文針對以 KOH 非等向性蝕刻液之體型微細加工 (Bulk Micromachining)，於 (100) 矽晶圓上製作高深寬比 (High Aspect Ratio) 之方形島塊 (Mesa) 時，在凸形角落 (Convex Corner) 結構處會因底切 (Under Cut) 效應造成凸角的四個尖點無法留存之現象，探討各種凸角圖形補償 (Convex Corner Compensation)，並利用田口品質工程法配合微機電模擬軟體 IntelliSuite 進行角落補償之圖形尺寸最佳化設計，將角落底切的現象減至最低。

關鍵詞：非等向性蝕刻、角落補償、田口品質工程法

1. 前言

微機電系統 (Micro Electro Mechanical System，簡稱 MEMS) 為目前相當具潛力之研究領域，其加工方式為應用半導體製造技術來微小化機械元件、機械系統及生化透析系統等 [1]。在微機電系統之元件中，微感測器 (Microsensor) 是最早被商品化的產品，也是發展最快速的技術之一。一般微感測器中的微感測元件係利用體微細加工技術在矽晶圓 (Silicon Wafer) 上製作出三次元的微結構，如：懸樑 (Cantilever Beam)、橋 (Bridge)、隔膜 (Diaphragm) 等，如圖 1 所示：

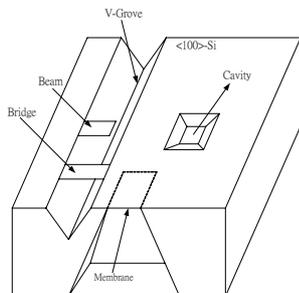


圖1 各種立體微細加工構造示意圖[2]

上述結構皆可藉由沿 $\langle 110 \rangle$ 方向之蝕刻遮罩 (Etching Mask) 保護，得到由 (111) 面所形成之凹形角落。但若是製作如圖 2 所示之懸樑型加速度微感測器之質量島塊 (Mesa) 時 [3]，則會因底切效應造成凸角的四個尖點無法留存，如圖 3 所示：

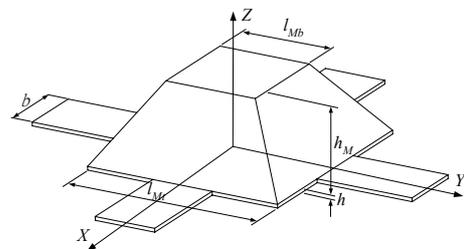


圖2 凸形島塊結構示意圖[3]

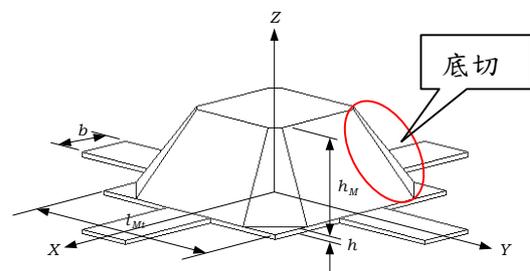


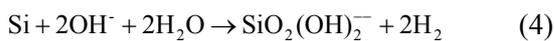
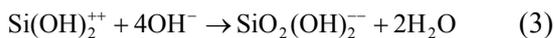
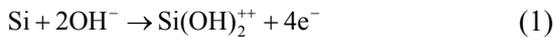
圖3 凸角底切示意圖

凸角無法留存，對不同應用造成不同影響：以加速度計 (Accelerometer) 而言，中央質塊若缺少四個缺角，有效質量 (Mass) 會減少；同時四根懸吊薄樑之長度會增加 (懸樑位於島塊四個角點之設計)，勁度 stiffness 之 k 值變差，所以自然頻率增減很難判定。又如製作微流道之 V 型槽溝 (V-groove)，進出口也各是一對凸角，未補償加工的結果，造成流道長小於當初設計長度，所以最後微流道內流體壓降到什麼程度，或是否仍未達完全發展 (Fully-Developed)，都變得充滿不確定性 [4]。

目前已有不少文獻探討角落補償原理及提出各種不同補償圖形[5-8]，但都限於尺寸較大的結構，對於尺寸較小之島塊則尚無合適之補償方法，因此本文針對 Sandmaier 等人[9-11]提出之正方形及 $\langle 100 \rangle$ 方向之長帶分別與 $\langle 110 \rangle$ 方向的細長條結合的補償方式，並利用田口品質工程法配合高速電腦中心之微機電模擬軟體 IntelliSuite 進行角落補償之圖形尺寸最佳化設計，期望將角落底切的現象減至最低。

2. 矽結構蝕刻缺陷

由於蝕刻反應的複雜行為，Seidel 等即利用能階的觀點來解釋蝕刻反應[12]。當蝕刻反應發生時，矽原子與氫氧離子發生化學反應，矽原子中的電子會由價電帶 (Valence band) 跳往導電帶 (Conduction band)，導致矽的氧化和水的還原，反應方程式為(1)式到(4)式。



為控制島狀幾何結構之完整，須先了解矽微結構被氫氧化鉀 (KOH) 蝕刻時所形成的缺陷。矽蝕刻缺陷主要可分為底部蝕刻 (underetch) 和底切 (undercut)。若為凹角結構，則其蝕刻缺陷稱為底部蝕刻，其主要原因為曝光時，因對準誤差所產生的缺陷；另一原因則是光罩底部的矽晶會因蝕刻時間太長，使蝕刻液侵入光罩底部，造成底部蝕刻，如圖 4 所示。而本文所需要的島狀結構為凸角 (convex corner)，所造成的蝕刻缺陷則稱為底切。

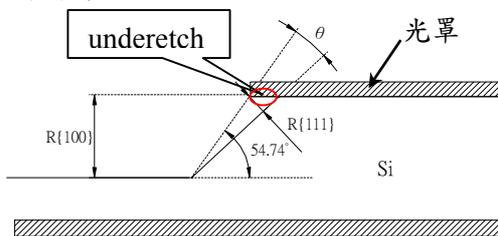


圖4 底部蝕刻示意圖[17]

發生底切主要原因是在(100)矽晶圓上沿著主切邊 $\langle 110 \rangle$ 方向所定義之方形島塊圖形，在滲入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，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，是

所謂晶面不確定的位置，快速被 KOH 所蝕刻消失，如圖 5 所示。

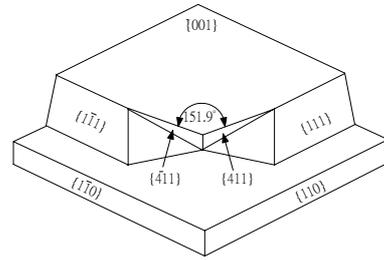


圖5 KOH 蝕刻後各晶面底切情況[9]

因此我們可知，凸形角落之蝕刻行為與凹形角落之不同點在於蝕刻凹形角落時，主要由蝕刻速率最慢的面形成結構 (通常為 $\{111\}$ 面)，而蝕刻凸形角落時，則是由蝕刻速率最快的面控制凸形角落蝕刻之結果。為了適當補償角落底切，必須先了解哪些面是蝕刻速率最快的面。

在蝕刻速率方面，主要受蝕刻液的種類、濃度、溫度、蝕刻液有無攪拌及晶圓 (Wafer) 的摻雜種類及摻雜濃度影響[6]。為了找到蝕刻速率最快的面，許多研究者將沒有補償圖形的島塊放入不同的蝕刻液中，並改變蝕刻液溫度及濃度進行蝕刻。接著用氬氫鐳射光照射蝕刻後的晶面，經由量測反射的角度以判斷該晶面的米勒指標[6,9]，結果是不同的研究者，其所發現蝕刻速率最快的面也不一樣，如表 1 所示。以 KOH 蝕刻液而言，Wu 和 Ko 使用 100g KOH+320g water+80g normal propanol 的蝕刻液，發現 $\{212\}$ 是蝕刻速率最快的面[5]。Puers 和 Sansen 則認為 $\{130\}$ 是蝕刻速率最快的面[7]，他們使用的是 80°C 的 KOH，濃度則未提及。Bean 使用 250g KOH+800g deionized water+200g normal propanol 在 80°C 的蝕刻溫度下得到 $\{331\}$ 的最快蝕刻面[13]。而 Offereins 等人則使用 15-50wt% 的純 KOH 蝕刻液，蝕刻溫度介於 60-100°C 之間，所得到的最快蝕刻面是 $\{411\}$ [9]。

表1 不同蝕刻液所得到的最快蝕刻面

最快蝕刻面	蝕刻液成份及溫度	研究者
$\{212\}$	30wt% KOH+25wt% propanol	Wu 和 Ko
$\{130\}$	KOH 80°C	Puers
$\{331\}$	30wt% KOH+25wt% propanol at 80°C	Bean
$\{411\}$	KOH (15-50wt% , 60-100°C)	Offereins

3. 各種補償方式及其原理

針對以上不同的最快蝕刻面，各研究者發展出不同的補償方式，如圖 6、圖 7、圖 8。

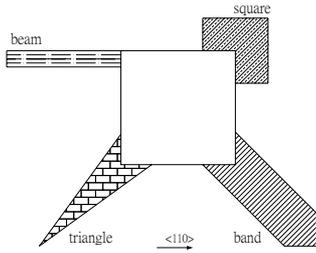


圖6 光罩補償圖形[17]

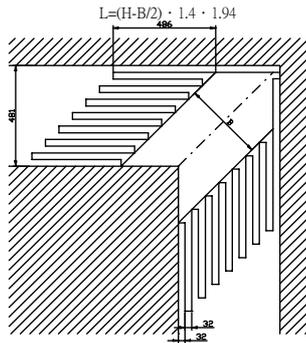


圖7 長帶形與長條形組合之補償圖形[9]

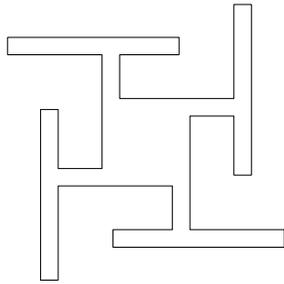


圖8 $\langle 110 \rangle$ 方向不對稱長條之補償圖形[14]

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 9 所示：(以 Wu 和 Ko 為例)

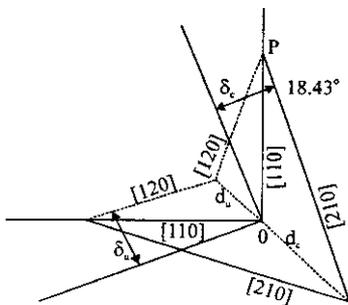


圖9 三角形補償原理[5]

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 提出矩形補償方式，他們的想法是在以 $[210]$ 方向所定義的三角形邊上畫出一個矩形補償圖形，如圖 10 所示：

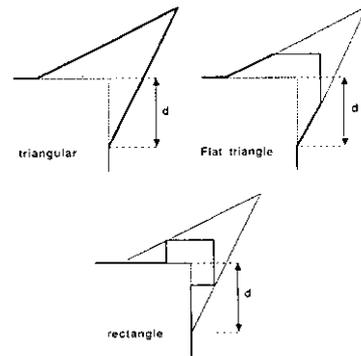


圖10 矩形補償原理 (d =relative dimension) [7]

而其補償尺寸之設計準則如式(9)所示：

$$\text{rectangle} : d = -10 + 1.33ed \quad (9)$$

其中： d =relative dimension

ed =etch depth

3.3 $\langle 110 \rangle$ 方向的細長條 (bean) 補償

直接在 $\langle 110 \rangle$ 方向加上細長條的補償圖形會有 2 個嚴重的問題：1. 當蝕刻深度很大時，所需的補償圖形相對也要很大，蝕刻深度與補償長條之長度關係如式(10)所示[14]。2. 角落底切情形仍很嚴重。

$$L_{\text{eff}} = 2.7 \times \text{etch depth} \quad (10)$$

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，在 $\langle 110 \rangle$ 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 8、圖 11 所示：

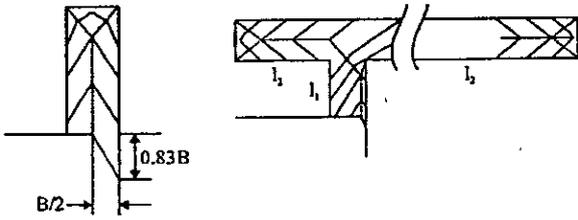


圖 11 (左)無轉折蝕刻面(右)有轉折蝕刻面[14]

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(11)所示：

$$L_{\text{eff}} = l_1 + l_2 + 2.83 \times B \quad (11)$$

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 12 所示。以 33wt% KOH 為例，帶的長度最少必須為帶寬的 1.6 倍[9]。

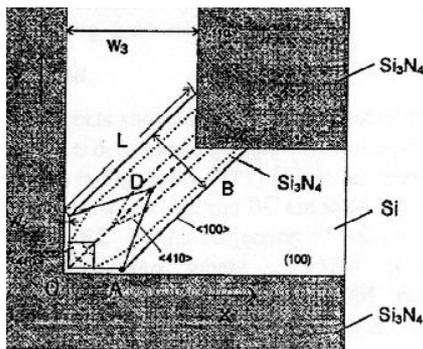


圖 12 帶狀補償蝕刻面示意圖[16]

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[4]。因此，Offereins 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，可有效解決空間不足的問題。其補償圖形及尺寸如圖 7、圖 13 及式(12)所示：

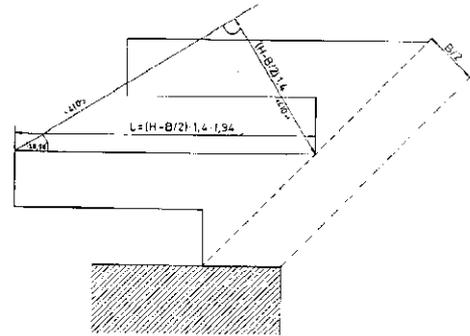


圖 13 補償尺寸示意圖[9]

$$L = (H - B/2) \cdot V \cdot 1.03 \cdot 1.94 \quad (12)$$

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

3.5 各種補償模擬蝕刻比較

若要以非等向性濕蝕刻得到島狀結構，必須從光罩圖形上來進行補償。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，故利用國家高速電腦中心的微機電 IntelliSuite 模擬軟體，針對各種補償方式進行模擬比較，最後決定哪一種補償方法適用於本文的設計。在模擬蝕刻過程中，必須固定以下所有參數：

1. 蝕刻形狀為島狀凸角 (convex corner)
2. 蝕刻液濃度為 20%wt KOH
3. 蝕刻液溫度為 70°C
4. 蝕刻深度需達 $270 \mu\text{m}$
5. 假設振動質塊尺寸皆為 $1000 \times 1000 \mu\text{m}^2$
6. $\{100\}$ 面矽晶圓厚度 $300 \mu\text{m}$
7. 蝕刻液沒有攪動

由圖 14 可以發現，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。Bean 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。Triangle 補償的模擬結果最差。band 的方式最符合島塊結構的角落補償，以蝕刻深度達 270 μm 時，也無發生底切現象。

各種光罩角落補償	Simulation

圖14 各種光罩角落補償之蝕刻模擬結果

3.6 適合高深寬比島塊結構之補償方式

雖然知道 band 的方式最符合島狀結構的角落補償，但其補償尺寸與振動質塊頂端的尺寸有關，而本文之島狀 (mesa) 結構之頂端面積為 $400 \times 400 \mu\text{m}^2$ ，若要達到 270 μm 的蝕刻深度，則其頂端面積至少要有 $764 \times 764 \mu\text{m}^2$ ，因此可知其頂端空間明顯不足，故不適用。為解決此一難題，我們另採用 Bao 提出的不對稱長條之補償圖形 (其原理如前所述)、Sandmaier 等人提出的矩形結合 $\langle 110 \rangle$ 方向兩邊的細長條補償圖形 (其原理為利用 $\langle 110 \rangle$ 方向兩邊的細長條延長矩形補償結構的保護時間，可有效解決空間及島狀結構太小的問題) 及我們另行設計的兩種補償圖形，如圖 15 左邊之 3、4 所示，其中 3 的原理與 Sandmaier 等人提出的方式相同，而 4 的原理則是 band 補償方式的改良版。我們的想法是利用 $\langle 110 \rangle$ 方向的細長條之間的凹形角落不會被快速蝕刻的特性，當作 band 補償所需尺寸不足的部分。經過再一次模擬，結果如圖 15 右邊所示。

仔細觀察這四種補償方式可以發現，1 的補償方式會在島塊底部形成不對稱的殘留，可能會

使島塊在上下運動時產生扭轉。2 的補償方式會在角落處產生不規則的底切。3 的補償方式則會在島塊底部留下較大的殘留。而 4 的補償方式不僅在島塊頂部可形成尖點，在角落部分也能產生尖的斜邊，因此我們選擇圖 15 的第 4 種補償方式進行下一單元補償尺寸最佳化的設計。

高深寬比島塊之角落補償方式	Simulation

圖15 高深寬比島塊角落補償之蝕刻模擬結果

4. 島塊結構角落補償最佳化

田口方法是一種被廣為應用的穩健化方法，它主要是利用直交表來進行實驗規劃，以訊噪比 (Signal/Noise, S/N) 來量化參數設定對性能輸出之影響，並以線性加成法的觀念來選定最佳的參數水準組合，其最終之目的在獲得性能改善的同時，也能降低產品或製程對噪音因子之敏感度。

本文中的島塊是由 KOH 蝕刻而成，但易造成底切現象，所以利用田口品質工程法配合光罩角落補償進行最佳化設計，將角落底切的現象減至最低。

4.1 田口實驗及結果分析

田口方法的實驗計劃是將控制因子配置於一個直交表，稱之為內直交表，設定的水準範圍代表每一控制因子搜尋的設計空間，內直交表中每一組參數組合即為一組可行的設計情況。而本文這次所做的島狀結構角落補償最佳化，目的是使角落底切的體積愈小愈好，使蝕刻出來的質塊外型愈接近截頂的金字塔，如圖 2 所示，所以是屬於望小型 (Small-the-better) 的題目。若能精

確量測蝕刻模型即可估計出底切部分的體積，但是實際模擬結果如圖 16 所示，呈現不規則的底切結果，所以在估計底切體積時相對的估計誤差也變大。因此我們定義了質塊角落缺陷 U (U 的表示式如(13)所示)，以估計底切面積來代替體積。過度補償的面積以正值表示，如 A₃ 及 A₄；底切的部份以負值表示，如 A₁ 及 A₂；為了防止所有面積相加時產生抵消的情形，故估算出來的面積都取絕對值後再相加。而補償的最終目的是要使底切現象愈小愈好，換言之當 U=0 時，就是沒有底切或過度補償現象產生。

$$U = \sum_{j=1}^4 |A_j|, j=1 \sim 4 \quad (13)$$

本實驗具有 5 個三水準之控制因子 (如圖 17)，為了將補償圖形參數化，因此選擇配置於 L₁₈(2¹×3⁷) 直交表的第 2 至 6 行，將選定的控制因子各水準設定值分別代入，可得表 2。

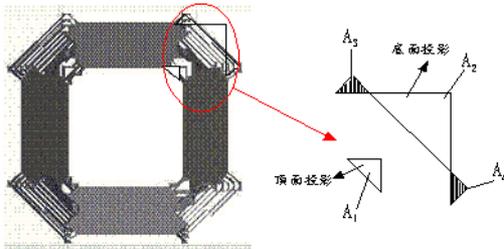


圖 16 IntelliSuite 模擬底切情形

表2 內直交表之實驗配置

	W	A	B	L	C	U	S/N
1	30	30	360	390	280	15240	-41.8
2	30	40	380	400	300	9530	-39.8
3	30	50	400	410	320	14520	-41.6
4	40	30	360	400	300	10330	-40.1
5	40	40	380	410	320	10450	-40.2
6	40	50	400	390	280	8340	-39.2
7	50	30	380	390	320	6650	-38.2
8	50	40	400	400	280	7060	-38.5
9	50	50	360	410	300	8650	-39.4
10	30	30	400	410	300	11070	-40.4
11	30	40	360	390	320	8670	-39.4
12	30	50	380	400	280	10990	-40.4
13	40	30	380	410	280	11200	-40.5
14	40	40	400	390	300	8710	-39.4
15	40	50	360	400	320	7810	-38.9
16	50	30	400	400	320	9810	-39.9
17	50	40	360	410	280	9910	-40.0
18	50	50	380	390	300	6740	-38.3

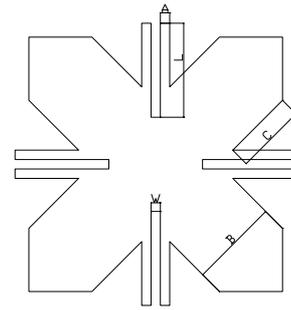


圖 17 以光罩尺寸為控制因子之示意圖

我們利用田口方法中望小型之公式(14)，可以計算出各組之 S/N。

$$S/N_i = -10 \cdot \log \left(\sum_{j=1}^4 |A_{ij}| \right); i=1 \sim 18 \quad (14)$$

其中 A_i 為直交表實驗中第 i 組實驗輸出量測值 (底切及過度補償面積絕對值之和：U)。由直交表實驗資料，各組統計資料如表 2 右邊兩行之 U 及 S/N 所示。

根據統計資料我們可以繪出各因子 S/N 之效應折線圖(effect plot)，如圖 18 所示：

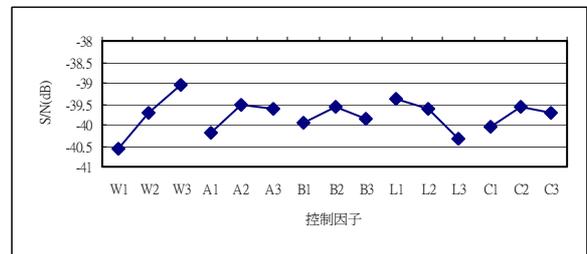


圖 18 訊噪比折線圖

由圖 18 決定出最佳水準組合為 W₃A₂B₂L₁C₂，將有最小的蝕刻缺陷。田口方法假設交互作用可以忽略，並以加法模式來預測各種水準組合下的輸出訊噪比。其加法模式為平均值加上各因子之主效應。因此，加法模式所估計的初始及穩健設計之 S/N 值如下：

以加法模式估計初始設計之 S/N 值：

$$S/N_{\text{initial}}(W_2A_2B_2L_2C_2) = m + W_2 + A_2 + B_2 + L_2 + C_2 = -38.88 \text{ (dB)}$$

以加法模式估計穩健設計之 S/N 值：

$$S/N_{\text{rob.}}(W_3A_2B_2L_1C_2) = m + W_3 + A_2 + B_2 + L_1 + C_2 = -37.97 \text{ (dB)}$$

4.2 驗證實驗

由表 3 訊噪比的數值來看，預測與驗證相差不大，可見到約 1.6dB 的改善程度，其質塊的誤差面積由 $8160\mu\text{m}^2$ 改善至 $5680\mu\text{m}^2$ ，但最佳化預測值與實驗之間存在明顯的差距，其原因可能來自因子間的交互作用，但因改善較預期高，因此仍驗證了穩健化設計應用於島狀結構角落光罩補償設計之可行性，圖 19 為光罩的最佳設計尺寸之模擬結果。

表3 穩健設計的驗證實驗

S/N(dB)	預測	驗證
初始設計	-38.9	-39.1
最佳設計	-38.0	-37.5
增益	0.9	1.6

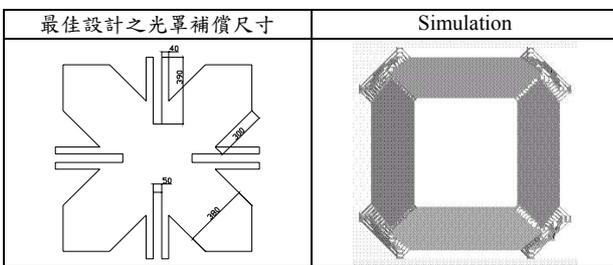


圖19 模擬結果(蝕刻 5 小時 17 分,深度 $270\mu\text{m}$)

5. 結論

本文針對微小島狀結構蝕刻之底切缺陷，研究各種可能的補償方式及原理後發現由圖 15 的第 4 種補償方式，即利用 $\langle 110 \rangle$ 方向的細長條之間的凹形角落不會被快速蝕刻的特性，當作 band 補償所需尺寸不足的部分，可得到較佳的角落結構，並可有效解決空間及島狀結構太小的問題。另外，本文也利用田口品質工程法進行補償尺寸最佳化設計，配合微機電 IntelliSuite 軟體進行模擬及驗證後，目前已初步找出最佳補償尺寸，未來可以再嘗試不同的補償方式，或考慮加入 IPA，以獲得更完美的島塊結構。

誌謝

本研究承蒙國家高速電腦中心提供微機電模擬軟體 IntelliSuite 之計算機資源，特誌謝意。

參考文獻

- [1]. Baltes H., "COMS as sensor technology", *Sensors and Actuators A*, Vol. 37-38, 1993, pp. 51-56.
- [2]. Howe, R., "Silicon Micromechanics: Sensors and Actuators on a Chip", *IEEE Spectrum*, July 1990, pp. 29-35.
- [3]. 賴富信、余志成 (2000), "壓電薄膜微加速度計之設計系統模擬與頻率響應穩健化", *中國機械工程學會第十七屆全國學術研討會, 新興工程技術論文集*, Dec. 8-9, 2000, 高雄第一科技大學(NSC 89-2210-E-011-027)
- [4]. 楊龍杰, *認識微機電* (台中市: 滄海書局, 民國 90 年), 頁 72-74.
- [5]. Xian-Ping Wu, Wen H. Ko, "Compensating Corner Undercutting in Anisotropic Etching of (100) Silicon", *Sensors and Actuators*, 18, 1989, pp.207-215.
- [6]. Yiva Backlund and Lars Rosengren, "New shapes in (100) Si Using KOH and EDP etches", *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 2, 1992, pp. 75-79.
- [7]. B. Puers and W. Sansen, "Compensation Structures for Convex Corner Micromachining in Silicon", *Sensors and Actuators*, A21-A23, 1990, pp.1036-1041.
- [8]. M.M.Abu-Zeid, "Corner Undercutting in Anisotropically Etched Isolation Contours", *J.Electrochem.Soc.*, 131, 1984, pp2138-2142.
- [9]. G. K. Mayer, H. L. Offereins, H. Sandmaier, and K. Kuhl, "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.
- [10]. H. L. Offereins, K. Kuhl and H. Sandmaier, "Methods for the Fabrication of Convex Corners in Anisotropic Etching of (100) Silicon in Aqueous KOH", *Sensors and Actuators*, A25-A27, 1991, pp.9-13.
- [11]. H. Sandmaier, H.L. Offereins, K. Kuhl, W. Lang, "Corner Compensation Techniques in Anisotropic Etching of (100)-Silicon Using Aqueous KOH", *Tech. Digest, 7th Int. Conf. Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '91)*, San Francisco, CA, USA, 24-28 June, 1991, pp.456-459.
- [12]. 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.
- [13]. K. E. Bean, *IEEE Trans. Electron. Devices* ED-25, 1978, pp.1185.
- [14]. M. Bao, Chr. Burrer, J. Esteve, J. Bausells

and S. Marco, "Etching front control of $\langle 110 \rangle$ strips for corner compensation", *Sensors and Actuators*, A37-A38, 1993, pp727-732.

- [15]. H.L. Offereins, H. Sandmaier, K. Maruscryk, K. Kuhl and A. Plettner, "Compensating Corner Undercutting of (100) Silicon in KOH", *Sensors and Materials*, vol. 3, 1992, pp.127-144.
- [16]. Qingxin Zhang, Litian Liu, Zhijian Li, "A new approach to convex corner compensation for anisotropic etching of (100) Si in KOH", *Sensors and Actuators*, A 56, 1996, pp.251-254.
- [17]. Lang, Walter, "Silicon Microstructuring Technology", *Materials Science and Engineering*, R17, 1996, pp. 1-55.