

# 設計內容

## [1] 設計者姓名與連絡電話

學生姓名：陳明宏、吳倉永、劉維凱

聯絡電話：0925130679、0909257525、0976106716

Email: [b04901035@ntu.edu.tw](mailto:b04901035@ntu.edu.tw), [b04901074@ntu.edu.tw](mailto:b04901074@ntu.edu.tw), [b04901153@ntu.edu.tw](mailto:b04901153@ntu.edu.tw)

## [2] 專題名稱

中文專題名稱：LED 立方混合控制晶片

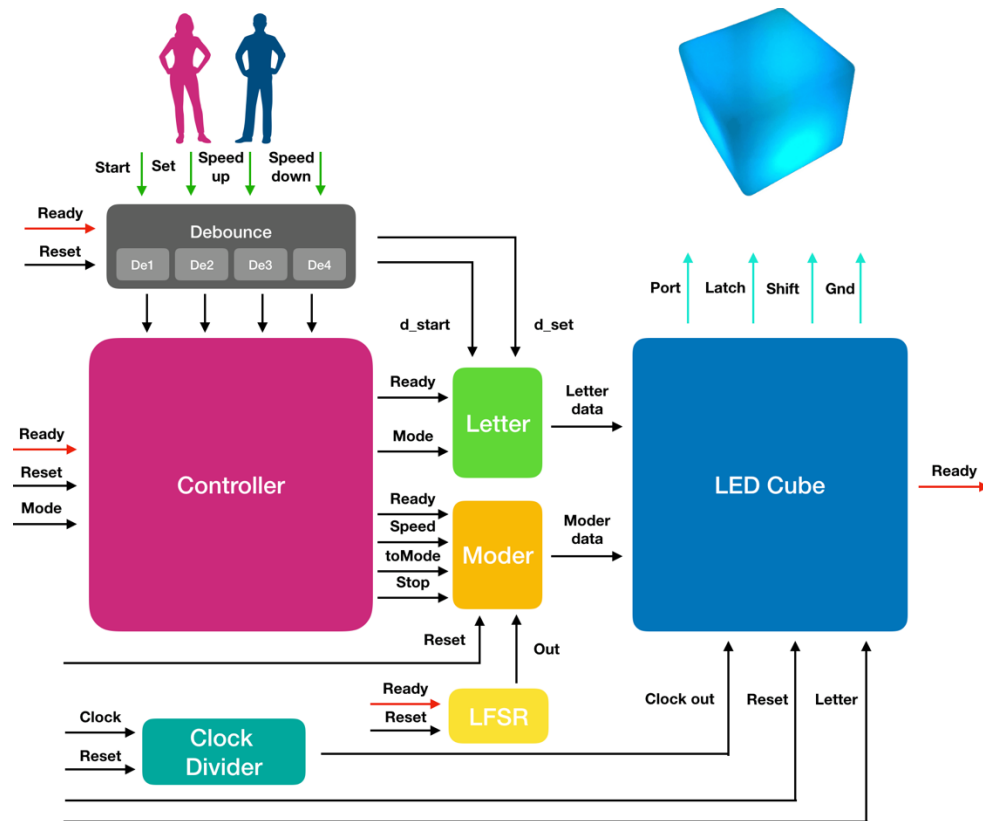
英文專題名稱：LED Cube Mixed-Controller Chip

## [3] 改版說明

此案件為改自網路上眾多製作 LED 立方的文章。我們參考他的硬體結構，製作出 8x8x8 LED 立方，而 Verilog 及 FSM 則是我們自己設計出來的架構，我們多了速度控制以及錄音的功能，達到更棒的使用者體驗。

## [4] 原理及架構說明

我們製作一個 8\*8\*8 的 LED CUBE，設計若干種圖案的設計，像是全部的英文字母和數字、紅綠燈的小綠人、箭頭、或是各種幾何圖形的變化，都是以 3D 立體的方式呈現。再來搭配不同的效果來產生更多的變化，從最簡易的一次性全亮、再來漸亮、閃爍，甚至是圖形的旋轉都能呈現出來。此外，整個模式的變化也可以做到加速以及放慢的效果。最後，我們能依照使用者喜好，把喜歡的模式變化，配合上述所有的功能，全部記憶在晶片中，便可以配合音樂或是其他的媒介給大家完美的視覺饗宴。



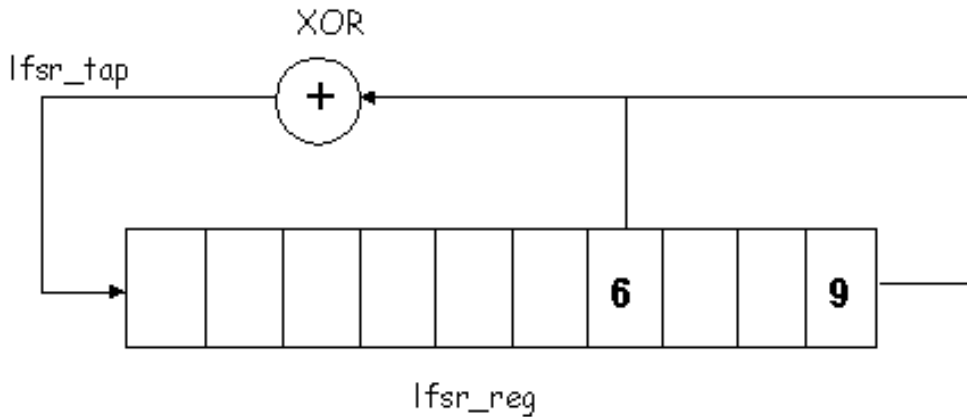
遊戲設計的架構由上圖中的7個模組構成，基本模型是參考網路上的架構，再加上一些我們自己額外的錄音功能及控制速度，由外面input經過 debounce 後給controller速度及模式，給letter設置開始信號及模式，再經由controller傳給MODER停止和準備訊號，經由lfsr傳給MODER亂數，再由letter及MODER傳給ledcube兩種data，再由ledcube選擇輸出控制訊號給74HC595，再由八個74HC595控制在137個cycle內給完512個led亮暗訊號。以下為個模塊介紹：

### ★Clk\_divider：

根據較高頻的clk(約50MHz)信號產生低頻的 clk\_out(約15kHz)，主要用來控制 LED 立方顯示畫面的速度。LED 陣列立方畫面是利用視覺暫留的方法，每次只亮一層LED，依次掃完整個立方。當掃完整個立方的頻率夠快時，人眼不會感覺到畫面閃爍，而是感覺看到整個圖案同時出現在LED立方上。低頻的 clk\_out用來控制每個圖案更新一次的速度，即frame rate。

### ★LFSR:

為一隨機產生 9 位數亂數的電路，利用 linear feedback shift register 的方法，在 reset 時給予其 initial seed，應用在需要亂數開始的圖案，例如: rain, saturate，雖然不是產生真正的亂數，但能使其短時間內產生不規則的圖案。



### ★Debounce:

因為按下button時，電壓不會瞬間從0伏特上升至Vdd，而是在0和Vdd震盪好幾次，最後才在Vdd穩定下來，為了不讓起始訊號彈跳，我們用counter電路計算按下去的時間，忽略了其他小震盪的訊號，只在訊號轉變時active，如此是一個兼具省空間及彈性的方法。

### ★Letter:

利用 d\_set 可以記錄長度為十位英數字的 sequence，開始播放只需要 d\_start 作為開始訊號，即可連續像是電影特效般的顯示各個 letter，因為其包含四十種 letter，電路龐大，特別獨立一個 module 給 ledcube 訊號，因為字母在電路上毫無規律，因此直接將各種不同情況 mux 起來，算是整個電路中最大的部分。

### ★Controller:

為接收 mode 訊號和 set, speed up/dn 訊號後，即時產生 record 及速度變化的訊號，傳給 MODER 讓其可以從速度訊號找到對應的 counter，使其能在 record 或 play 可以即時調控成各種速度，並且給其各種不同的指令，由 MODER 算出後送給 ledcube，可以算是整個立方的大腦，由其指派任務給 MODER。

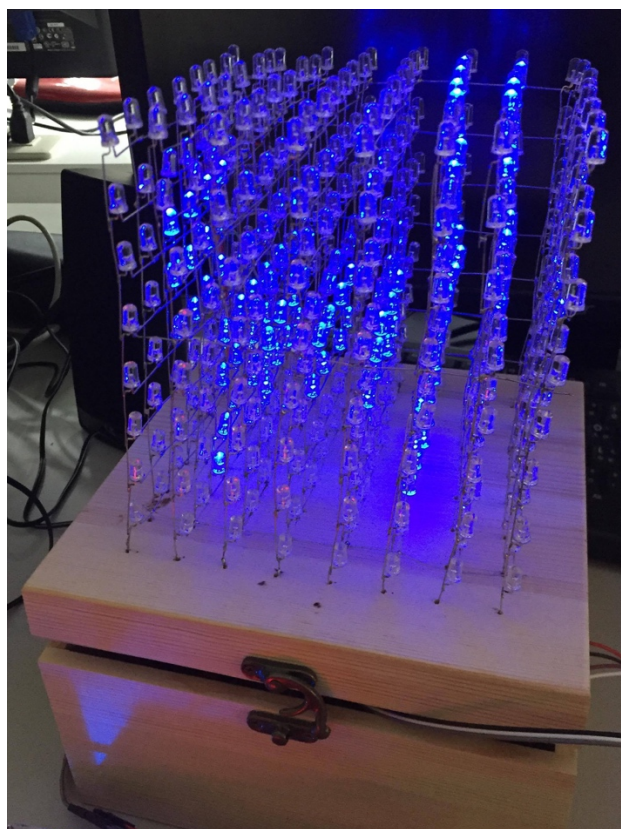
## ★MODER:

整個 CHIP 中計算量最多的模組，給定一個初始圖案，加上各種不同的效果，可以讓 LED 的立方效果展現出來，其中包含各種有規律可循的圖案，因為其大多為算出來的，故與 letter 相比，其面積小非常多，是整個 CHIP 的 critical path 發生點。

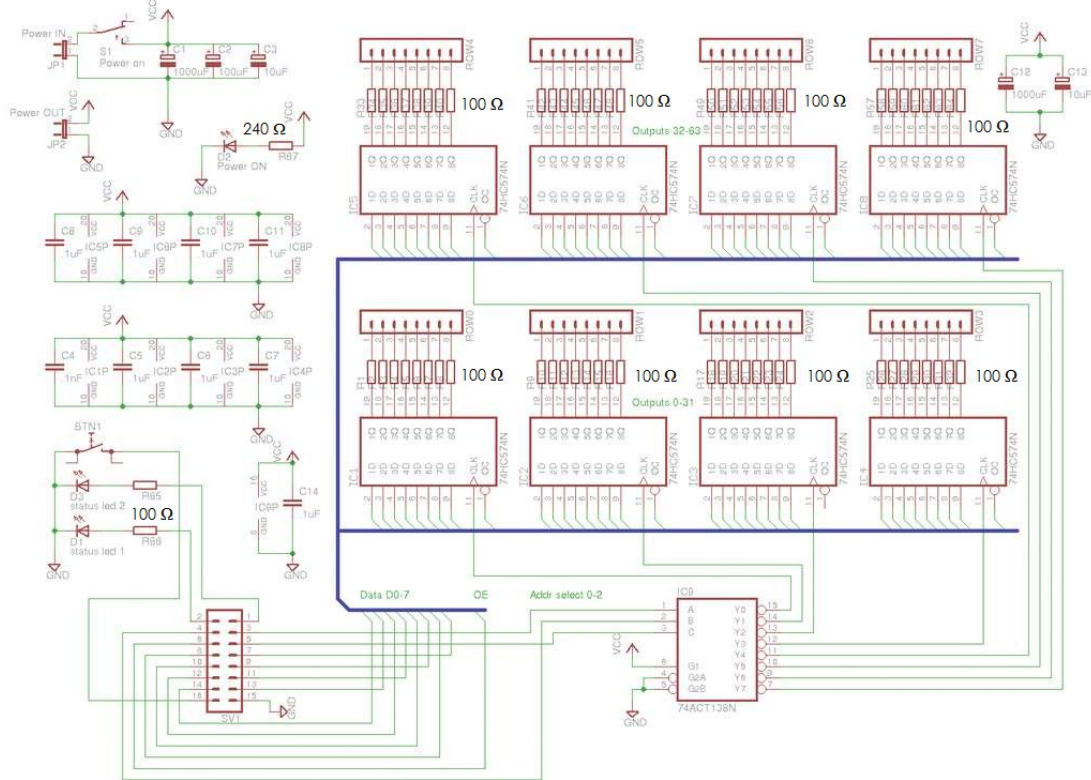
## ★Ledcube:

將一個 512 位數的訊號，分成  $8 \times 17 + 1$  個 cycle 完成信號，因為對於每個 layer，都需要 64bit 的值才能完成，而這恰恰就是 8 次 shift，1 次 latch 的時間，而在 shift 的過程中，想先等信號穩定再做位移，因此刻意多等一個 clock，這樣會使做完一個 layer 的時間大約為 17 個 cycle，而在不同的 layer 中，我們採取手動接 74HC138 的方式，給指定的 layer 亮暗的訊號，最後再產生 ready 訊號，告知其他模組可以寫入下一筆 512 位數訊號，如此一來，整個 ledcube 就以大約 220Hz 的 frame 更新率顯示我們的圖案。

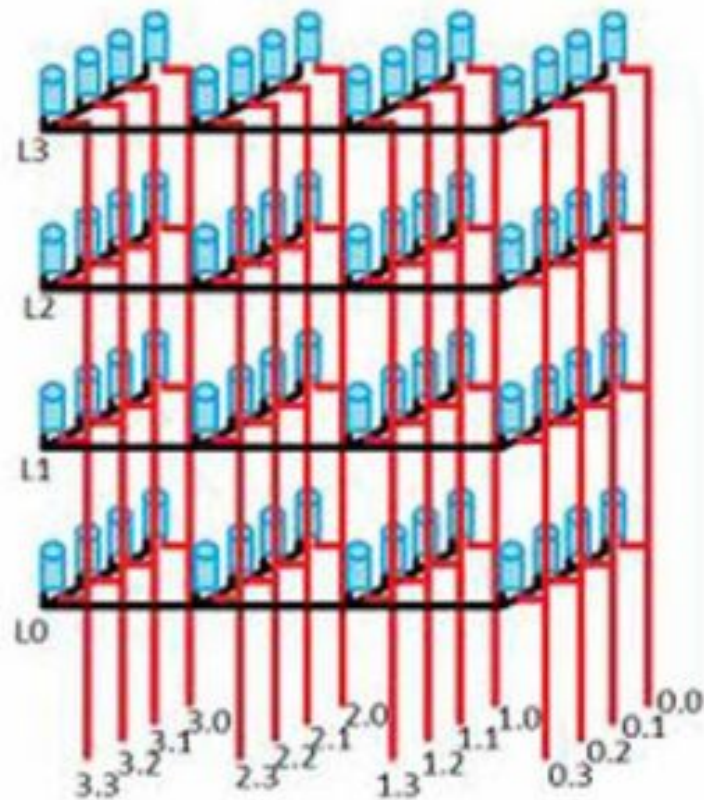
我們使用 512 個 5MM 藍色 LED，給定 64 個 anode 訊號，以及一個 layer 的 cathode 訊號，下圖為將 8 層  $8 \times 8$  的 LED 組起來後亮起來的效果。



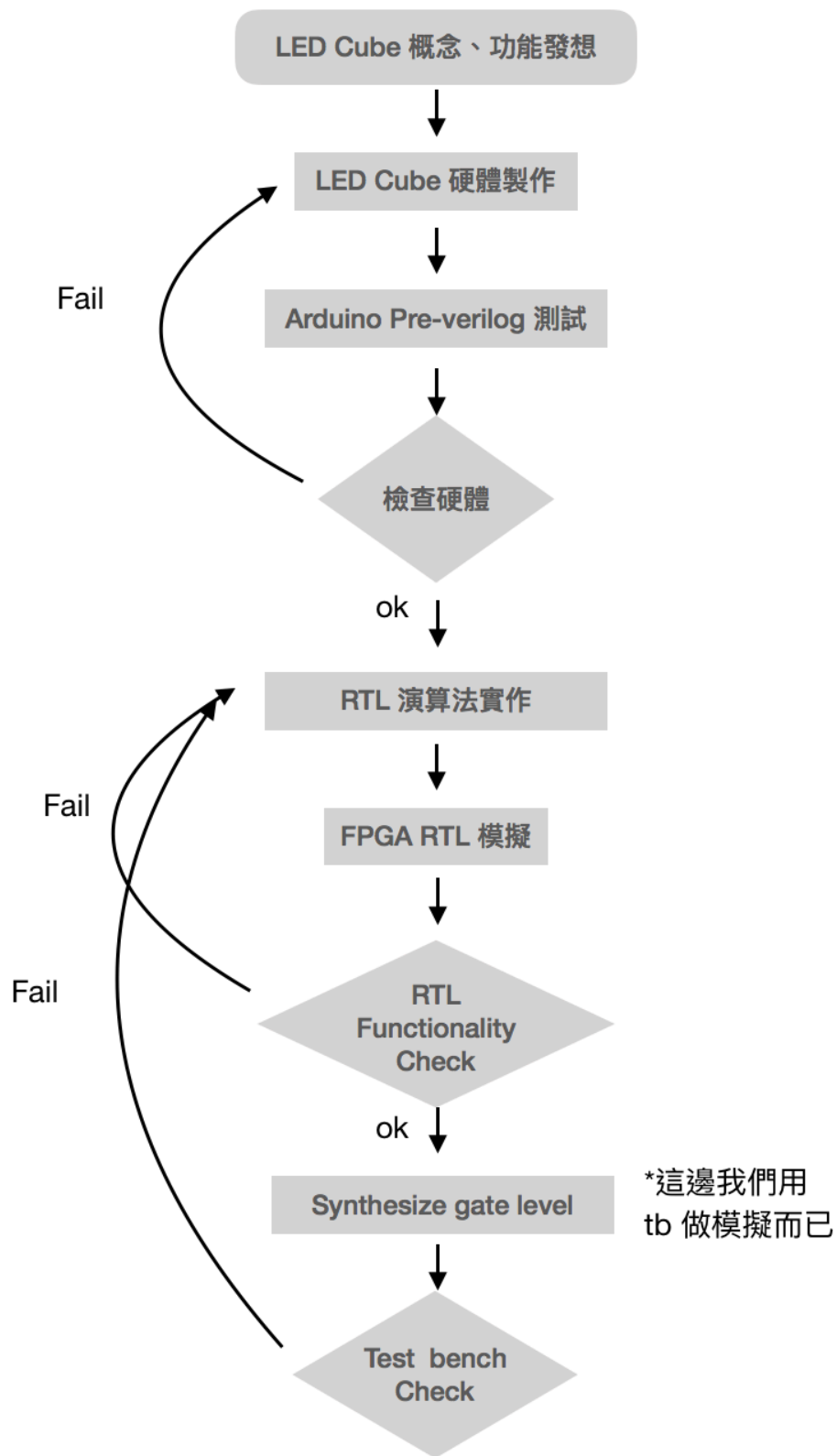
## 電路元件組裝

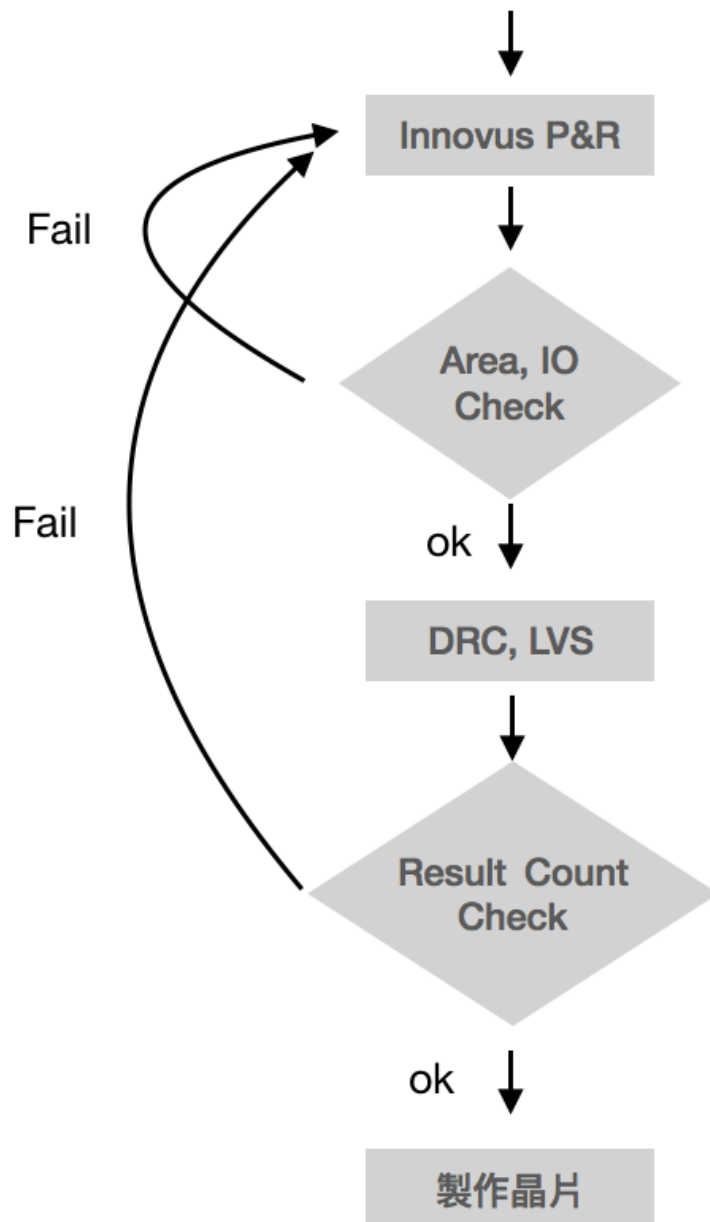


4x4x4LED 組裝 (8 個)



## [5]設計流程

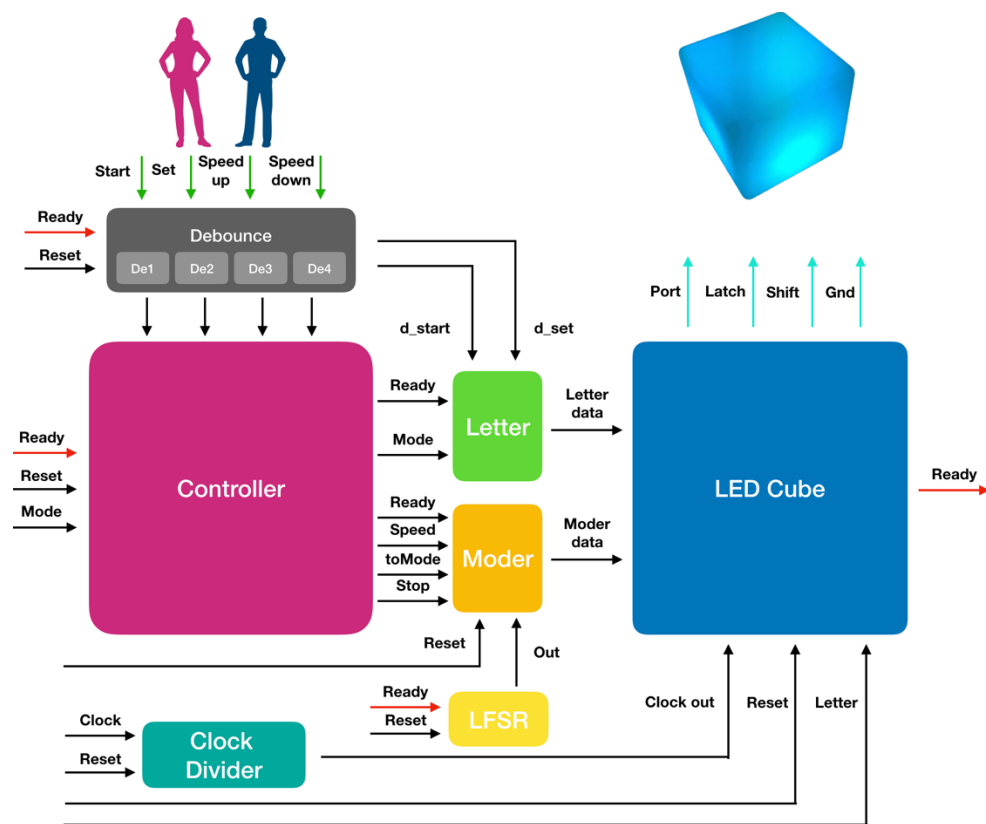




特別需要注意的是在合成沒過的時候，有可能錯的是 RTL 的地方有些 for 迴圈把變數帶了進去，或是 if 沒寫好造成線不知道怎麼接的情形。而 DRC 沒過的時候，要試著改 Innovus 的 core utilization，要比預設值（也就是點開 specify floorplan 那時的值）還小，在去慢慢增大，然後複製指令的時候小心，不要多一個空格讓指令爛掉。



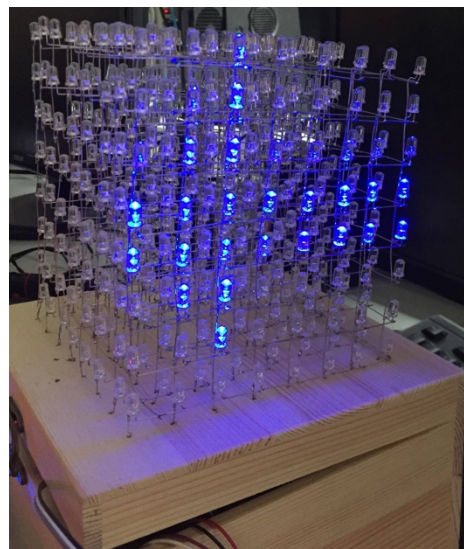
## [6]Block Diagram 詳圖



## [7]模擬結果

Pre-layout simulation: OK

Post-layout simulation: OK





## [8]量測方法

### 預計使用的量測儀器:

- (1) 電源供應器(power supply):提供 IO、core 的電源供應。
- (2) 訊號產生器(clock generator):輸入 clock 信號。
- (3) 按鈕(Button Push)5 個:分別輸入 reset、speed up/dn、設置訊號和開始訊號。
- (4) 開關(Button Switch)7 個:分別控制 Mode 和 letter 選擇訊號。
- (5) LED 立方(LED cube): 顯示畫面。

### 量測流程:

- (1) 調整電源供應器輸出電壓 3.3V(DC), 接上晶片的電源腳位。
- (2) LED cube 接到麵包板, 按順序接到晶片上的對應腳位。
- (3) 調整訊號產生器, 輸出頻率 100MHz, 振幅 3.3V 方波, 輸入晶片上對應的 clock 信號腳位
- (4) Button Push 兩個接到麵包板, 兩個 pin 腳接到 3V 電壓和 GND, 另外一頭連接到晶片上對應的速度控制信號輸入腳位。
- (5) 另外三個也接到 VCC 和 GND, 再分別接到晶片上的 reset, 設置訊號和開始信號輸入 pin 腳。
- (6) Button Switch 六個接到麵包板, 兩個 pin 腳接到 3V 電壓和 GND, 另外一頭連接到晶片上對應的 Mode 信號輸入腳位。
- (7) 另外一個也接到 VCC 和 GND, 再分別接到晶片上的 letter 選擇訊號。
- (8) 開始畫面, 觀察 LED 立方上顯示圖案是否正常, 對比模擬圖案是否一致。

## [9]佈局驗證結果錯誤說明

### (A) DRC 驗證結果

共找到錯誤如下，且皆為允許之 DRC 假錯

RULECHECK RECOMMEND_4.14L .....	TOTAL Result Count = 11 (3355)
RULECHECK 4.29NOTICE .....	TOTAL Result Count = 1 (1)
RULECHECK 4.26G .....	TOTAL Result Count = 1 (1)
RULECHECK 4.28G .....	TOTAL Result Count = 1 (1)
RULECHECK 4.24G .....	TOTAL Result Count = 1 (1)
RULECHECK 4.31F .....	TOTAL Result Count = 1 (1)
RULECHECK 4.14Z.NO_IND_PO1 .....	TOTAL Result Count = 1 (1)
RULECHECK 4.20F.NO_IND_M1 .....	TOTAL Result Count = 1 (1)
RULECHECK 4.20G .....	TOTAL Result Count = 2 (2)
RULECHECK 4.22F.NO_IND_M2 .....	TOTAL Result Count = 1 (1)
RULECHECK 4.22G .....	TOTAL Result Count = 1 (1)
RULECHECK sanity_1 .....	TOTAL Result Count = 16 (416)
RULECHECK IO5.1.W2 .....	TOTAL Result Count = 2 (52)
RULECHECK IO5.1.R1 .....	TOTAL Result Count = 32 (832)
RULECHECK IO5.2.2.L1.a ...	TOTAL Result Count = 16 (416)
RULECHECK IO5.2.2.L1.c ...	TOTAL Result Count = 16 (416)
---	---
RULECHECK Latch.4.1 .....	TOTAL Result Count = 18 (276)
RULECHECK Latch.4.2 .....	TOTAL Result Count = 34 (308)
RULECHECK Latch.4.4.pick .....	TOTAL Result Count = 5 (67)
RULECHECK Latch.4.5 .....	TOTAL Result Count = 6 (67)
RULECHECK Latch.4.5.pick .....	TOTAL Result Count = 25 (495)
RULECHECK Latch.4.6.guard .....	TOTAL Result Count = 19 (426)
RULECHECK Latch.4.7 .....	TOTAL Result Count = 53 (549)
RULECHECK Latch.4.7.guard .....	TOTAL Result Count = 5 (67)
RULECHECK Latch.4.8__Latch.4.9__Latch.5.2 ...	TOTAL Result Count = 850 (96381)
RULECHECK Latch.4.10 .....	TOTAL Result Count = 8 (36)
RULECHECK Latch.5.1 .....	TOTAL Result Count = 4 (52)
RULECHECK Latch.5.5 .....	TOTAL Result Count = 186 (862)
RULECHECK Latch.5.6 .....	TOTAL Result Count = 95 (1155)

## (B) LVS 驗證結果: OK

```
#####
##          CALIBRE SYSTEM          ##
##          LVS REPORT              ##
#####

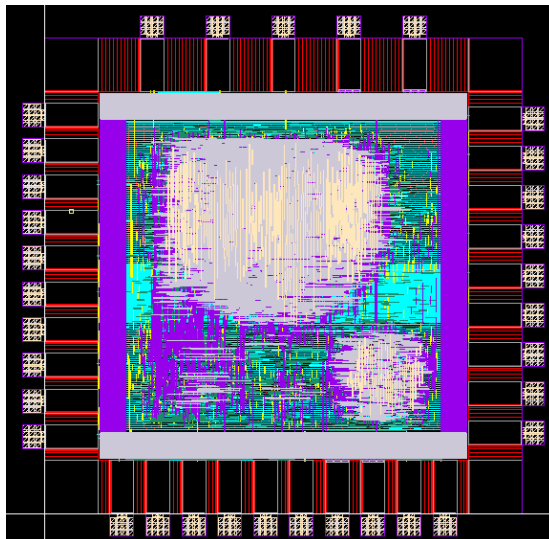
REPORT FILE NAME:    lvs_test.rep
LAYOUT NAME:         svdb/CHIP.sp ('CHIP')
SOURCE NAME:         CHIP.spi ('CHIP')
RULE FILE:           G-DF-MIXED_MODE_RFCMOS18-1.8V_3.3V-1P6M-MMC_CALIBRE-LVS-2.1-P8.txt
RULE FILE TITLE:     LVS of UMC 0.18um 1.8V/3.3V 1P6M MMC Mixed Mode/RFCMOS Process
HCELL FILE:          (-automatch)
CREATION TIME:       Sat Jun 30 05:16:48 2018
CURRENT DIRECTORY:   /home/raid7_2/userb04/b04035/Lab5/Lab5_LVS
USER NAME:           b04035
CALIBRE VERSION:     v2013.1_14.11   Thu Feb 7 13:01:09 PST 2013

OVERALL COMPARISON RESULTS

#          #####          *  *
#          # CORRECT      #  |
#          #              #  \
#          #####          #

Warning: Ambiguity points were found and resolved arbitrarily.
```

## [10]佈局圖



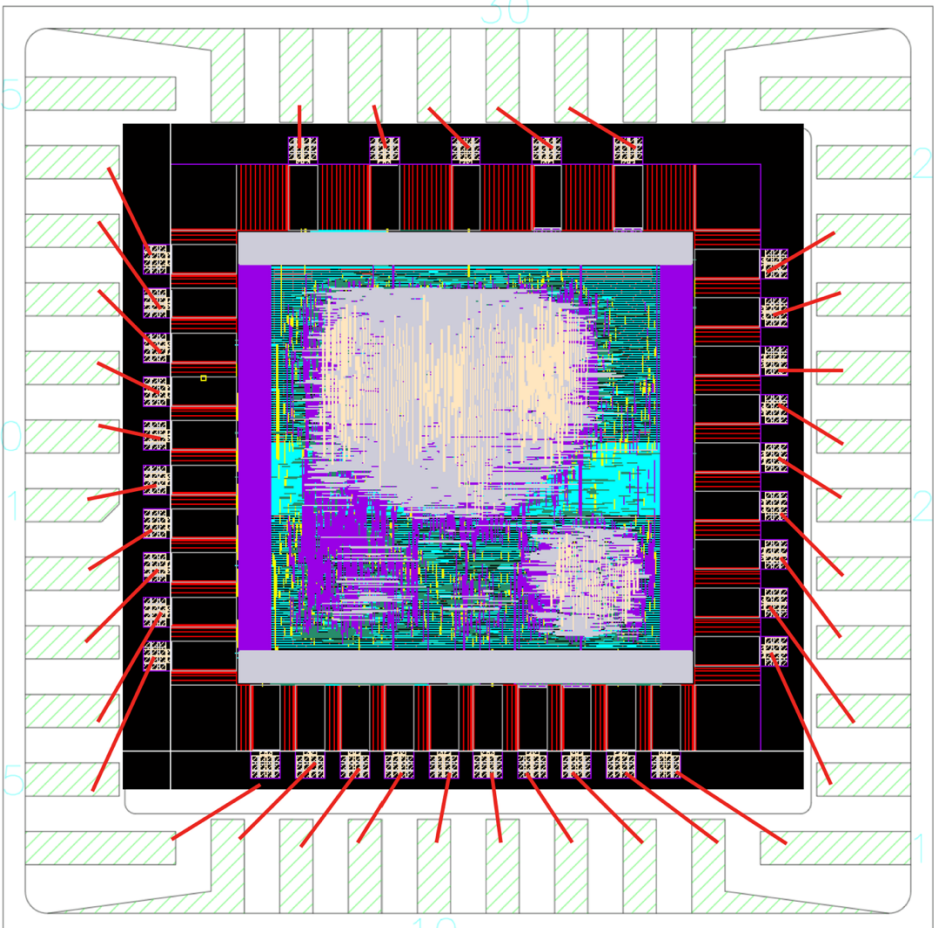
Chip Size Transistors: 1368.10 um x 1361.08 um

Gate Count: 31930

Power Dissipation: 5.707 mW

Max Frequency: 50 MHz

[11]打線圖



[12] 預計規格列表

Description			
Process	UMC 0.18um Mixed-Mode and RFCMOS 1.8V/3.3V		
Power Supply	3.3V		
	Spec.	Pre-Sim	Post-Sim
Frequency	50 MHz	100 MHz	50 MHz
Chip size	< 2.25 mm <sup>2</sup>	0.327654 mm <sup>2</sup>	1.8620936 mm <sup>2</sup>
Power	-	0.7794 mW	5.707 mW
PADs	34	34	34

## [13] 參考文獻

[1] LED CUBE 8x8x8 <http://www.instructables.com/id/Led-Cube-8x8x8/>