

第十二章 同步序列埠控制器

序列傳輸的成本比較便宜，兩個裝置之間的連線只需要 2 條線或 3 條線即可，常應用在聲音及電信訊號傳輸。又分為同步和非同步兩種。同步時需要三個訊號即可(1) 序列位元傳輸率時脈(2) 訊框訊號(3)位元資料訊號。

本章說明同步序列埠控制器(SSPC)的訊號定義，及應用處理器 (PXA250 和 PXA210) 對 SSPC 操控方式。

12.1 概論

SSPC 是一個全雙工的同步序列介面。能連接到各種週邊裝置，包括類比數位(A/D)轉換器、聲音及電信編解碼器(Codec)、還有其他使用序列協定傳輸資料的裝置。SSPC 支援的協定有 (1) 國家半導體 Microwire*；(2) 德州儀器同步序列協定*(SSP)；(3) Motorola 序列週邊協定*(SPI)等三種。

SSPC 在 Master 模式下運作(週邊裝置在 Slave 模式運作)，序列位元傳輸率(serial bit rate)可以從 7.2KHz 到 1.84MHz。序列資料的寬度可從 4 到 16 個位元。SSPC 提供傳送 FIFO 和接收 FIFO，每個 FIFO 深 16 通道 x 寬 16 位元。

接收或傳送資料時，中央處理器(CPU)可用程式化 I/O 或是 DMA 突發傳輸(burst)兩種方式，從 FIFO 寫入或移出資料。突發傳輸一次般動 4 或 8 個 half-word 資料。

12.2 訊號說明

本節說明 SSPC 訊號格式。

12.2.1 SPP 與周邊裝置的連接介面

表 12-1 列出 SPP 和週邊裝置的連接訊號。

表 12-1 連接 SPP 和編碼/解碼器的介面

名稱	方向	說明
SSPSCLK	輸出	序列位元傳輸率時脈
SSPSFRM	輸出	訊框訊號

SSPTXD	輸出	傳送資料(輸出序列資料)
SSPRXD	輸入	接收資料(輸入序列資料)
SSPEXTCLK	輸入	選擇外部時脈來產生序列時脈(SSPSCLK)

SSPSCLK：位元傳輸率時脈腳位，此訊號從SSPC送到週邊裝置。只有在傳送及接收資料時，SSPSCLK才有高低電位的變化。

SSPSFRM：訊框訊號腳位，指明序列資料的開始及結束。

SSPTXD/SSPRXD：傳送/接收序列資料的腳位。

SSPEXTCLK：外部時脈腳位，如果不使用內部時脈時（SSPSCLK）時，可從GPIO 27輸入一個外部時脈（SSPEXTCLK）。外部時脈除以SSCR0[SCR]中的數值（降頻）後，便是序列位元傳輸時脈。

如果SSP停用時，其五個腳位可做GPIO用途。請參考第四章「系統整合單元」，會有設定腳位方向及中斷能力的細部說明。

12.3 功能說明

透過SSPC中的FIFO緩衝區，應用處理器和外部週邊裝置，彼此可以互傳序列資料。CPU使用程式化I/O或DMA，傳送資料到系統記憶體。運作方式是全雙工模式—因為傳送和接收的資料路徑及緩衝區各自獨立，可同時進行雙向傳輸。

程式化I/O直接在CPU、傳送/接收FIFO及週邊裝置之間傳送及接收資料。但DMA控制器在記憶體、FIFO、及週邊之間傳送及接收傳輸資料。有關DMA設定指南請參考第五章「DMA控制器」。

12.3.1 傳輸資料

傳送時，CPU或DMA對SSPC的FIFO寫入資料。寫入的方式有程式化I/O或DMA突發傳輸兩種，突發傳輸每次可寫入4或8個half-word到FIFO。接著SSPC取得FIFO中的資料，對資料封裝（serialize），透過SSPTXD訊號腳位，傳送資料到週邊裝置。接收時，SSP從SSPRXD接收週邊裝置的資料、轉換成並列字元並儲存在接收FIFO。讀取操作從接收FIFO讀取資料，而寫入操作寫入資料到傳送FIFO。傳送和接收FIFO的緩衝區都是深16通道x寬16位元。

當資料寫入接收FIFO時，透過門檻值設定，可以發出中斷請求給中斷控制

器。如果中斷致能，中斷服務程序能辨識中斷的來源，然後對內部(接收)FIFO緩衝區執行一個或多個讀取操作。

12.4 資料格式

SSPC 使用序列資料格式來傳送及儲存資料。本節將解釋資料格式。

12.4.1 週邊裝置傳送/接收的序列資料格式

應用處理器與外部編碼/解碼器或數據機之間傳輸資料，會用到四種訊號。雖然序列資料有三種協定，但基本結構並無差異。

SSPSCLK—從連接埠(port)傳送及接收時，序列資料的位元傳輸率。

SSPSFRM—依照選擇的傳輸協定，定義資料訊框的邊界或起點。

SSPTXD—傳送訊號，輸出資料到週邊設備。

SSPRXD—接收訊號，從週邊設備接收資料。

資料訊框長度可以從 4 位元到 16 位元。傳送順序從高位元到低位元。

SSPC 支援三種格式：(1) Motorola 序列週邊協定(SPI)；(2) 德州儀器同步序列協定(SSP)；(3) 國家半導體 Microwire。這三種格式有重大的差異如下：

SSPSFRM 隨著以下的通訊協定而有不同功能：

對 SPI 及 Microwire 格式而言，SSPSFRM 可做為外部裝置(傳送的目標)選擇訊號，並且在資料傳送過程中維持低電位。

對 SSP 格式而言，每個訊框開始傳送/接收時，SSPSFRM 切換到高電位並維持一個時脈週期長。

SSPSCLK 隨著以下的通訊協定而有不同功能：

對 Microwire 而言，傳送端在 SSPSCLK 負緣時，做位元資料變換。接收端在正緣時，做位元資料取樣。

對 SSP 而言，傳送端在 SSPSCLK 正緣時，做位元資料變換。接收端在負緣時，做位元資料取樣。

對 SPI 而言，可選擇 SSPSCLK 的觸發緣，做為對輸出的資料變換或是輸入資料取樣的依據。此外，可以移動 SSPSCLK 的相位，可以在訊框開始或結束時，提早或延後一個半週期進入有效狀態。

SSP 和 SPI 是全雙工通訊協定，而 Microwire 則使用半雙工主從訊息通訊協定。訊框開始時，控制器先傳送 1 或 2 位元組命令訊息給週邊裝置。週邊並沒有傳送任何資料。週邊裝置解譯收到的命令訊息，如果是讀取(READ)要求，就會

在命令訊息最後一個位元結束後，間隔一個時脈週期回應要求的資料。同一個訊框，傳回的資料長度可以從 4 位元到 16 位元。訊框總長度介於 13 位元到 33 位元之間。

序列時脈(SSPSCLK)只有在傳送及接收資料時，才有高低電位的變化。在其他時間他會依照通訊協定的設定，處於無效或閒置狀態。

12.4.1.1 SSP 格式細節

SSP 控制器傳送資料到週邊設備時，首先 SSPSRM 切換到高電位並維持一個時脈週期長。接下來從高位元開始，每一個時脈週期，傳送一個位元，並把位元資料放置於 SSPTXD 輸出腳位。反之亦然，週邊設備把資料放置於 SSPRXD 輸入腳位。字組長度從 4 位元到 16 位元。在 SSPSCLK 正緣時，傳送端把資料呈現於 SSPTXD 或 SSPRXD；在 SSPSCLK 負緣時，接收端對資料取樣。傳送結束時，SSPTXD 保留最後一個位元(bit 0)電位，直到下一個閒置週期。如果 SSP 通訊埠關閉或重置，SSPTXD 就強迫設定為低電位。圖 12-1 是德州儀器的同步序列訊框*在 (1) 傳送單一訊框，及 (2) 傳送連續訊框時的時序圖。當傳送 FIFO 有資料時，SSPSRM 維持一個 SSPSCLK 週期的高電位，且同時會從傳送 FIFO 把資料取出送到“傳送邏輯序列移位暫存器”。在下一個 SSPSCLK 的正緣時，資料訊框 (4~16 位元) 的最高位元會移位到 SSPTXD 腳位。同樣的道理，接收資料時，週邊裝置會把接收資料的最高位元移到 SSPRXD 腳位上。SSP 和序列週邊裝置都在 SSPSCLK 的負緣階段對資料位元取樣，抓取(latch)到自己的序列移位器。抓取最後一個位元後，會在下一個 SSPSCLK 的正緣，從序列移位器傳遞資料到接收 FIFO。

Figure 8-1. Texas Instruments' Synchronous Serial Frame* Format

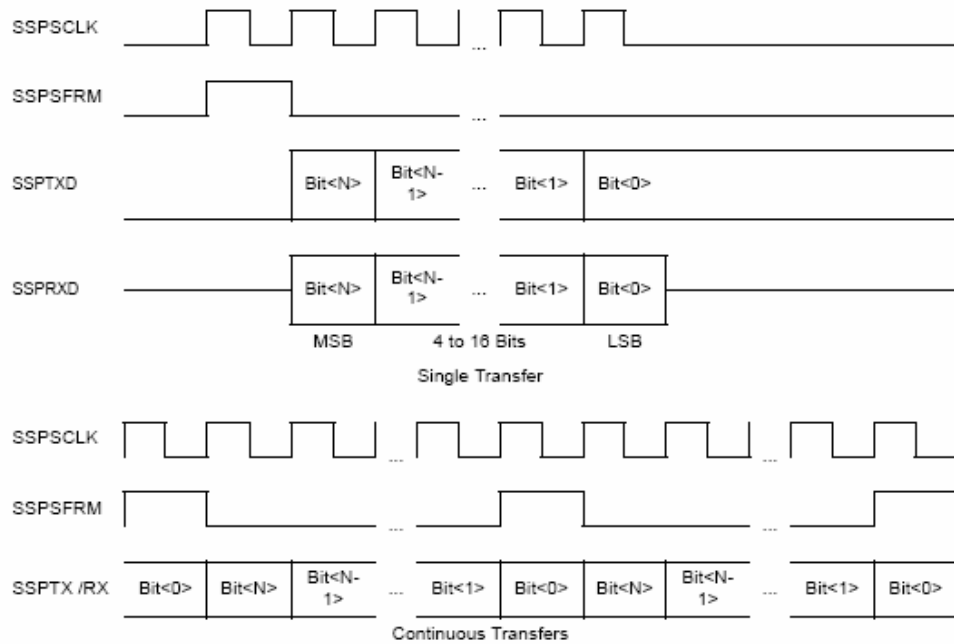


圖 12-1 德州儀器同步序列訊框*格式

12.4.1.2 SPI 格式細節

SPI 有四個分支模式(sub-mode)。分支模式分類依據是 (1) 資料變換及資料取樣時，SSPSCLK 觸發緣型態；(2) SSPSCLK 相位模式(參考 12.7.2 節有對每一個模式的說明)。

閒置模式或 SSP 關閉時，SSPSCLK 和 SSPTXD 為低電位，而 SSPSFRM 為高電位。當傳送輸出資料時，SSPSFRM 會轉變為低電位且訊框傳輸過程中繼續保持低電位。最高序列資料位元在半個週期後，放置於 SSPTXD 輸出腳位。在經過半個時脈週期，SSPSCLK 轉變為高電位。接下來，依據設定的 SSPSCLK 觸發邊緣，持續傳送剩下的資料位元。每個訊框可傳送 4 位元到 16 位元。

接收時，首先 SSPSFRM 從高電位到低電位，同時週邊裝置將最高位元開始，依序把資料放置在 SSPRXD 腳位上。可選擇 SSPSCLK 的邊緣做資料變換，並控制器在相對的觸發邊緣做取樣。在訊框的結尾，在抓取最後一個位元，經過一個時脈週期後，SSPSFRM 轉變為 High，並接收字元移位進入輸入 FIFO。在週邊裝置送完訊框的最後一個位元後，對 SSPRXD 保持三態(tristate)。當 SSP 控制器進入閒置模式時，除非 SSP 連接埠關閉或重置(強迫 SSPTXD 為 0)，否則 SSPTXD 將保留傳送後最後一個位元值。

對連續的傳送而言，開始及結束方式與單一訊框傳送過程類似，但是傳送資料字組交界處，SSPSFRM 並不會有變化。傳送端和接收端都知道字元長度，並且在內部記錄字元(訊框)的開始及結束。並沒有無效的位元存在。一個訊框的最高位元馬上緊接在前一個訊框的最低位元後面。

圖 12-2 是 Motorola SPI 其中一個模式，傳輸單一訊框格式和連續訊框格式。

Figure 8-2. Motorola SPI* Frame Format

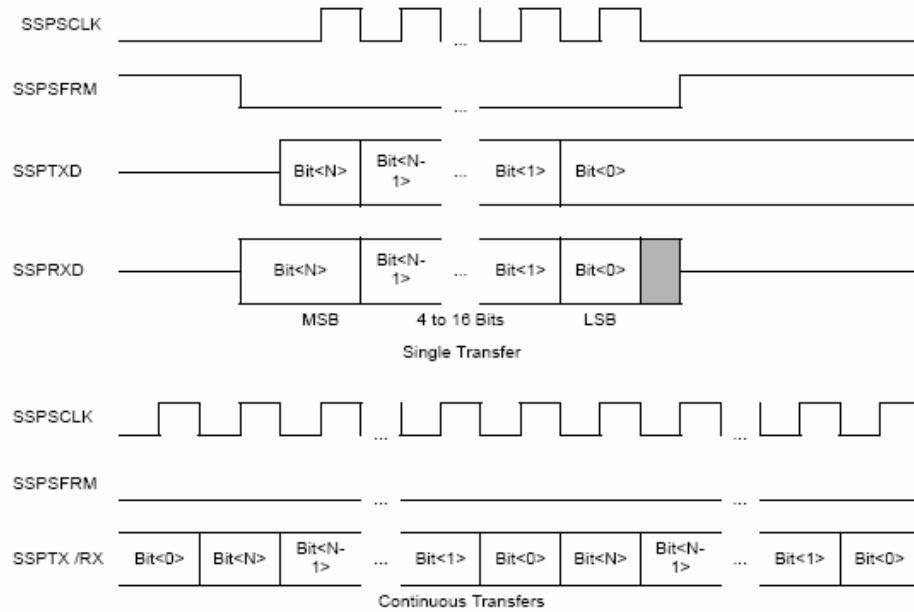


圖 12-2 Motorola SPI*訊框格式

注意：SSPSCLK 的相位及極性(polarity)可組成四種模式。這個範例只是其中一個模式。

12.4.1.3 Microwire 格式細節

Microwire 格式與 SPI 類似，使用半雙工主從訊息傳輸模式而取代全雙工模式。當閒置模式或 SSP 關閉，SSPSCLK 和 SSPTXD 為低電位，SSPSFRM 為高電位。

每次 Microwire 傳送時，SSPSFRM 由高電位切換到低電位，接著 SSP 控制器透過 SSPTXD，傳送 8(16)位元命令字元到週邊裝置。命令字組寬度可由 SSP 控制暫存器 0 中的 Microwire 傳送資料大小(MWDS)位元做設定。SSPRXD 由週邊裝置控制並且保持三態。SSPSCLK 在命令的最高位元傳送中途變成 High，並且以位元傳輸率為頻率，持續高低電位的變化。

命令字組結束後，間隔一個時脈週期，週邊裝置必須從最高位元開始，把資料置於 SSPRXD 腳位上，依序傳回序列資料。位元資料在 SSPSCLK 的負緣階段做轉換，並在正緣階段做取樣。如果是傳送最後一個字元時，SSPSCLK 的最後一個負緣與 SSPRXD 的最後一個資料位元同時結束，SSPSCLK 會繼續保持低電位。再一個半時脈週期後 SSPSRM 切換到高電位。

連續傳輸時，開始和結束與傳輸單一資料是類似的。但是 SSPSRM 在傳輸過程中都保持低電位。SSPRXD 的最低資料字元之後，接著 SSPTXD 是命令字組的最高位元。

圖 12-3 顯示 National Microwire 訊框格式，在 8 位元命令字元下對單一訊框及連續訊框傳輸的過程。

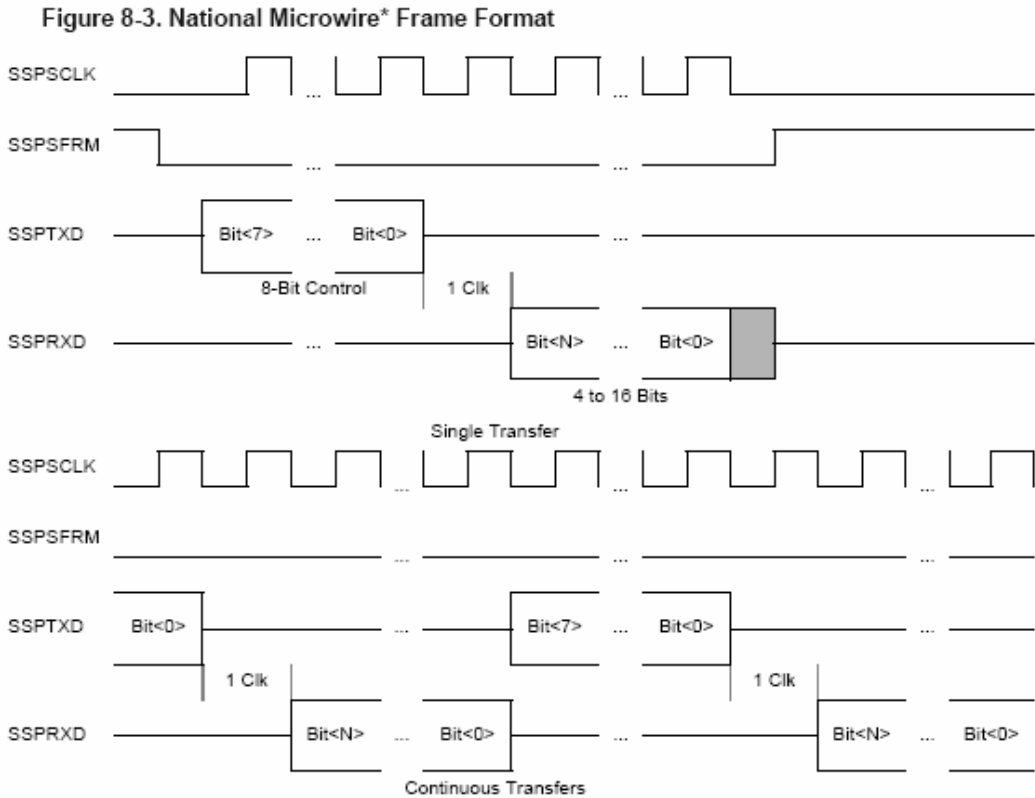


圖 12-3 National Microwire*訊框格式

12.4.2 FIFO 儲存器的並列資料格式

不論傳輸的資料長度，儲存在 FIFO 中的每一筆資料寬度一律是 16 位元。每筆 16 位元的欄位中，儲存資料是向右對齊的，資料字元的最低位元儲存在位

元 0，未使用的位元填入 0。在 SSPC 邏輯控制電路，自動將傳送 FIFO 中的資料向左對齊，因此取樣的資料能依照選定的訊框格式，傳送到 SSPTXD 腳位。

12.5 FIFO 運作及資料傳輸

傳送及接收序列資料的 FIFO 是各自獨立。FIFO 由程式化 I/O 或 DMA（由 DMAC 啟動）突發傳輸，來填滿或清空 FIFO。突發傳輸一次可以搬動 4 個或 8 個 half-word。

12.5.1 程式化 I/O 資料傳輸

資料字元寬度為 32 位元，但只傳送 16 位元。32 位元中最低 2 位元組是有效資料。因最高 2 位元組是無效資料，必須丟棄。

FIFO 邏輯電路會出發中斷，此時應用處理器會對 FIFO 寫入或移出資料。每個 FIFO 有一個程式化中斷門檻（threshold）。當 FIFO 資料筆數超過門檻值並且設定中斷致能，會發出一個中斷通知 CPU，清空接收 FIFO 或是重新填滿傳送 FIFO。

詢問(poll)SSP 狀態暫存器(參考 12.7.4 節)，也可知道 FIFO 中資料筆數、或者決定 FIFO 是滿載或是清空狀態。

12.5.2 DMA 資料傳輸

DMA 控制器可以設定對 SSP 的 FIFO 寫入或移出資料。參考第五章「DMA 控制器」瞭解 DMA 更多設定細節。

DMA 設定模式的步驟為：

1. 設定傳送/接收位元數目(緩衝區長度)和突發傳輸長度。
2. 針對 SSP 的 DMA 請求，設定通道映射暫存器。
3. 設定 DMA 控制暫存器的執行位元(run bit)。
4. 設定 SSP 控制暫存器中的要求數值。
5. 藉由設定 SSP 控制暫存器 0 中的 SSE 位元來啟動 SSP(參考 12.7.1 節)。
6. 等待 DMA 傳送及接收中斷要求。

注意：如果傳送/接收位元組數目不是突發傳輸長度的倍數，必須檢查 SSP 狀態暫存器(參考 12.7.4)來判定是否有任何資料留在接收 FIFO 中。

12.6 傳輸速度產生器

鮑率(Baud, bit-rate clock)是由內部時脈(3.6864 MHz)降頻產生的。內部時脈先除以 2,再送給程式化除法器(設定值從 1 到 256),產生 7.2 kbps 到 1.8432 Mbps 的傳輸速度。若要外部時脈(SSPEXTCLK)取代 3.6864 MHz 內部時脈,可將外部時脈選擇位元(ECS, 參考 12.7.1.3 節)設為 1 時。外部時脈送給程式化除法器前除以 2。

12.7 SSP 序列通訊埠暫存器

SSPC 有五個暫存器。包含兩個控制暫存器、一個資料暫存器和一個狀態暫存器。

- SSPC 控制暫存器(SSCR0 和 SSCR1)用在設定傳輸速率、資料長度、訊框格式、資料傳輸機制及啟動通訊埠。也控制 FIFO 發出中斷請求時的滿載門檻。必須在 SSP 重置之後,致能之前,設定暫存器。並且只能當 SSP 禁能時才能改變。
- SSPC 資料暫存器(SSDR)包含兩個 16 位元暫存器,映射成一個 32 位元的位址。其中一個暫存器是負責寫入操作及傳送資料到傳送 FIFO。另一個暫存器負責讀取操作及從接收 FIFO 獲取資料。在寫入週期、或是突發(burst)寫入時,連續載入 half-word 到傳送 FIFO。寫入的資料佔用 32 位元字組中,較低的兩個位元組。在讀取週期,或是突發讀取時,用類似的方法從接收 FIFO 讀取資料。傳送和接收有各自獨立的 FIFO,容許全雙工的操作。
- SSPC 狀態暫存器(SSSR)紀錄 FIFO 緩衝區的狀態。是否超過設定的門檻值。傳送或接收 FIFO 服務請求是否有效。FIFO 中資料的筆數。SSPC 正在傳送或接收資料、傳送 FIFO 是否滿載和接收 FIFO 是否清空,會設定旗標位元表示這些狀態。接收 FIFO 的溢滿(overflow)時,設定錯誤位元。

當設定這些暫存器時,保留位元必須填入 0。讀取時,保留位元則未定義。

12.7.1 SSP 控制暫存器 0(SSCR0)

SSPC 控制暫存器 0(SSCR0)分為五個群組,分別控制 SSP 資料大小、訊框格式、選擇外部計時器、時脈除法器及 SSP 致能。表 12-2 是 SSCR0 中控制位元

		SSPEXTCLK / (2 * (SCR + 1))
31:16	—	保留

12.7.1.1 選擇資料大小(DSS)

DSS 欄位寬度為 4 位元，可指定 SSPC 傳送或接收的資料字組寬度。資料寬度可以從 4 位元到 16 位元。接收時，如果資料寬度少於 16 位元，進入接收 FIFO 的資料會自動向右對齊，接收邏輯電路把未用到的高位元自動補 0。資料進入傳送 FIFO 之前，不需要向左對齊。傳送邏輯依照 DSS 設定值，資料字組靠左對齊後，再做傳送。請勿使用保留值 1/2/3，避免產生不可預測的結果。

在 National Microwire 訊框格式中，DSS 設定接收資料及傳送資料的寬度為 8 位元或 16 位元。

12.7.1.2 訊框格式(FRF)

訊框格式(FRF)欄位寬度為 2 位元。用來選擇 Motorola SPI(FRF=00)、德州儀器同步序列(FRF=01)或 National Microwire(FRF=10)的訊框格式。

FRF=11 是保留值，使用這個數值則 SSPC 會產生不可預測的結果。

12.7.1.3 選擇外部時脈(ECS)

選擇外部時脈(ECS)位元決定 SSPC 是否使用晶片上(On-Chip)3.6864 MHz 時脈或由 SSPEXTCLK 提供的 off-chip 時脈。當 ECS 等於 0，SSPC 使用晶片上的 3.6864 MHz 時脈產生從 7.2 Kbps 到 1.8432 Mbps 的序列傳輸率。當 ECS 等於 1，SSP 使用 SSPEXTCLK 腳位取用外部時脈。外部時脈頻率可以為任何值，最高可達 3.6864 MHz。如不能由 3.6864 MHz 除頻得到和週邊裝置同步的頻率，這時外部時脈就可發揮作用。

如果使用晶片外部時脈，根據對應的腳位，對 GPIO 交替功能及腳位方向暫存器，設定適當的位元。參考第 4 章「系統整合單元」有更多的細節是關於設定 GPIO 腳位達到交替功能。

注意：設定 ECS 位元為 1 之前，SSE 需先設為 0，關閉 SSPC。ECS 位元可在 SSE 設為 1 之前設為 1，或是兩者同時設為 1。

12.7.1.4 同步序列通訊埠致能(SSE)

SSCR0[SSE]位元用來致能或禁能 SSP 的操作。當 SSCR0[SSE]=0，則 SSP 禁能；當 SSCR0[SSE]=1，則 SSP 致能。當 SSP 禁能時，關閉所有的計時器以減少電源消耗。在重置之後，SSP 就進入禁能狀態。

當 SSP 正在運作時，清除 SSCR0[SSE]位元（設為 0），SSP 馬上禁能並且訊框傳輸立即終止。清除 SSCR0[SSE]會重置 SSP 的 FIFO 和 SSP 狀態位元，但是 SSP 的控制暫存器和 SSSR[ROR]位元並不會重置。

注意：在重置或是清除SSCR0[SSE]之後，使用SSCR0[SSE] 重新啟動SSP前，必須確認SSCR1和SSSR暫存器已經正確重新設定或是重置。並允許同時設定SSCR0中其他控制位元與SSCR0[SSE]。

當SSPC禁能時，其五個腳位可做GPIO用途。請參考第四章「系統整合單元」，會有控制暫存器設定腳位方向的細部說明。在睡眠模式時，針腳的狀態由GPIO睡眠暫存器控制。睡眠模式中SSPC暫存器對針腳做的設定是無效的。

12.7.1.5 序列時脈頻率(SCR)

序列時脈頻率(SCR)寬度為 8 位元。用來產生 SSPC 位元傳輸率。SSPC 有 256 種位元傳輸率：範圍從 7.2 Kbps 到 1.8432 Mbps。可由內部 3.6864 MHz 時脈或是 SSPEXTCLK 提供的外部時脈，做為序列時脈產生器的輸入時脈。輸入時脈除以 2，然後再除以 SCR 值加 1，來產生序列時脈(SSPSCLK)並由 SSPSCLK 腳位輸出。SSP 傳輸邏輯以 SSPSCLK 為依據，傳送資料放置於 SSPTXD 輸出腳位或從 SSPRXD 腳位抓取資料。依照選擇的訊框格式，傳送位元在 SSPSCLK 的正緣或負緣階段做資料變換，並在相反的時脈邊緣做資料取樣（抓取）。

12.7.2 SSP 控制暫存器 1(SSCR1)

SSP 控制暫存器 1(SSCR1)位元欄位可控制 SSP 各項功能，說明見表 12-3。

表 12-3 SSP 控制暫存器 1(SSCR1)各位元定義

0x4100 0004

SSP 控制暫存器 1(SSCR1)

Bit	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	Reserved											RFT		TFT		MWDS	SPH	SPO	LBM	TIE	RIE											
Reset	X											0x0		0x0		0	0	0	0	0	0											

位元	名稱	解釋
0	RIE	接收 FIFO 中斷致能 0 – 關閉接收 FIFO 中斷 1 – 啟動接收 FIFO 中斷
1	TIE	傳送 FIFO 中斷致能 0 – 關閉傳送 FIFO 中斷 1 – 啟動傳送 FIFO 中斷
2	LBM	回送模式 0 – 啟動正常的序列通訊埠操作 1 – 傳送序列移位器的輸出連接到接收序列移位器的輸入
3	SPO	Motorola SPI SSPSCLK 極性設定： 0 – 無效或閒置狀態，SSPSCLK 為 Low 1 – 無效或閒置狀態，SSPSCLK 為 High
4	SPH	Motorola SPI SSPSCLK 相位設定： 0 - SSPSCLK 在訊框開始後無效一個週期並在訊框結束前無效二分之一個週期 1 - SSPSCLK 在訊框開始後無效二分之一個週期並在訊框結束前無效一個週期
5	MWDS	Microwire 傳送資料寬度： 0 – 傳送 8 位元命令字元 1 – 傳送 16 位元命令字元
9:6	TFT (傳送 FIFO 門檻)	傳送 FIFO 產生中斷或 DMA 要求時，FIFO 門檻值。 This level must be set to the desired threshold minus 1
13:10	RFT (接收 FIFO 門檻)	接收 FIFO 產生中斷或 DMA 要求時，FIFO 門檻值。 This level must be set to the desired threshold minus 1
31:14	—	保留

12.7.2.1 接收 FIFO 中斷致能(RIE)

RIE 位元用來接受或遮蔽接收 FIFO 發出的中斷服務要求。當 RIE 設為 0(遮蔽中斷) 時，中斷控制器忽略 SSPC 狀態暫存器中的接收 FIFO 服務請求(RFS) 位元的狀態。當 RIE 設為 1 時，中斷致能，如果 RFS 位元也設為 1，會對中斷控制器產生一個中斷請求。如果 RIE 位元設為 0 時，RFS 位元目前的狀態或接收 FIFO 控制邏輯對設定和清除 RFS 的功能都不會受到影響。但是產生的中斷請求會被封鎖。

當 RFS 位元設為 1 時，RIE 位元的狀態並不影響接收 FIFO 發出 DMA 請求。

12.7.2.2 傳送 FIFO 中斷致能(TIE)

傳送 FIFO 中斷致能(TIE)位元用來接受或遮蔽傳送 FIFO 發出的中斷服務要求。當 TIE 位元設為 0 時會遮蔽中斷請求，中斷控制器忽略 SSPC 狀態暫存器中的傳送 FIFO 服務請求(TFS)位元的狀態。當 TIE 設為 1 時，中斷致能，如果 TFS 位元也設為 1，會對中斷控制器產生一個中斷請求。如果 TIE 位元設為 0 時，TFS 位元目前的狀態或傳送 FIFO 控制邏輯對設定和清除 RFS 的功能都不會受到影響。但是產生的中斷請求會被封鎖。

當 TFS 位元設為 1 時，TIE 位元的狀態並不影響傳送 FIFO 發出 DMA 請求。

12.7.2.3 回送模式

回送模式(LBM)位元用來啟動或關閉 SSP 的傳送及接收邏輯。當 LBM=0，SSP 正常地操作。傳送及接收的資料路徑是獨立的，他們藉由各自的腳位傳遞資料。當 LBM=1，傳送序列移位器的輸出端直接連接到接收序列移位器的輸入端。

注意：回送模式在 Microwire 訊框格式不適用。

12.7.2.4 序列時脈極性(SPO)

Motorola SPI 格式(FRF=00)中，序列時脈極性位元(SPO)選擇在閒置或關閉狀態時，SSPSCLK 的邏輯準位。當 SPO 位元設置為 0，若 SSP 沒有傳送/接收資料時，SSPSCLK 在無效或閒置狀態中保持為低電位。當 SPO 位元設置為 1，當處於無效或閒置狀態，SSPSCLK 保持高電位。只有 SPO 位元不能決定傳送及接收資料時，SSPSCLK 的觸發邊緣。SPO 位元與 SSPSCLK 相位位元(SPH)結合，決定 SSPSCLK 的觸發邊緣。

注意：除了 Motorola SPI 格式(FRF=00)，所有的資料訊框格式都忽略 SPO 位元。

12.7.2.5 序列時脈相位(SPH)

在 Motorola SPI 格式(FRF=00)，序列時脈(SSPSCLK)相位位元(SPH)決定 SSPSCLK 及 SSPSFRM 腳位之間的相位關係。當 SPH 等於 0，在訊框的起點 SSPSFRM 為低電位之後，SSPSCLK 持續無效/閒置狀態(由 SPO 設定值決定)一個週期。接下來，SSPSCLK 繼續傳送訊框的其他部分。當在訊框結束時，SSPSFRM 變為 High 之前的半個時脈週期，SSPSCLK 進入的無效狀態。當 SPH 等於 1，在訊框的起點 SSPSFRM 為低電位之後，SSPSCLK 持續無效/閒置狀態(由 SPO 設定值決定)半個週期。接下來，SSPSCLK 繼續傳送訊框的其他部分。當在訊框結束時，SSPSFRM 變為 High 之前的一個時脈週期，SSPSCLK 進入的無

效狀態。

結合 SPO 和 SPH 兩種設定，可以決定 SSPSRM 生效後(低電位)，SSPSCLK 進入運作狀態的時間。並決定 SSPTXD 和 SSPRXD 腳位傳送及接收資料時，SSPSCLK 的觸發邊緣。當 SPO 和 SPH 設定為相同的數值時，會在 SSPSCLK 負緣階段變換資料，並在 SSPSCLK 正緣階段抓取資料。當 SPO 和 SPH 設定為相反的數值(一個為 0 另一個為 1)，會在 SSPSCLK 正緣階段變換資料，並在 SSPSCLK 負緣階段抓取資料。

除了 Motorola SPI 格式(FRF=00)之外，其他資料訊框格式忽略 SPH 位元。圖 12-4 是 SPO 和 SPH 四種不同組合時，腳位的時序圖。SPO 反轉 SSPSCLK 訊號的極性，SPH 決定 SSPSCLK 和 SSPSRM 之間的相位關係，顯示 SSPSRM 生效後，SSPSCLK 訊號左移或右移半個時脈相位。

Figure 8-4. Motorola SPI* Frame Formats for SPO and SPH Programming

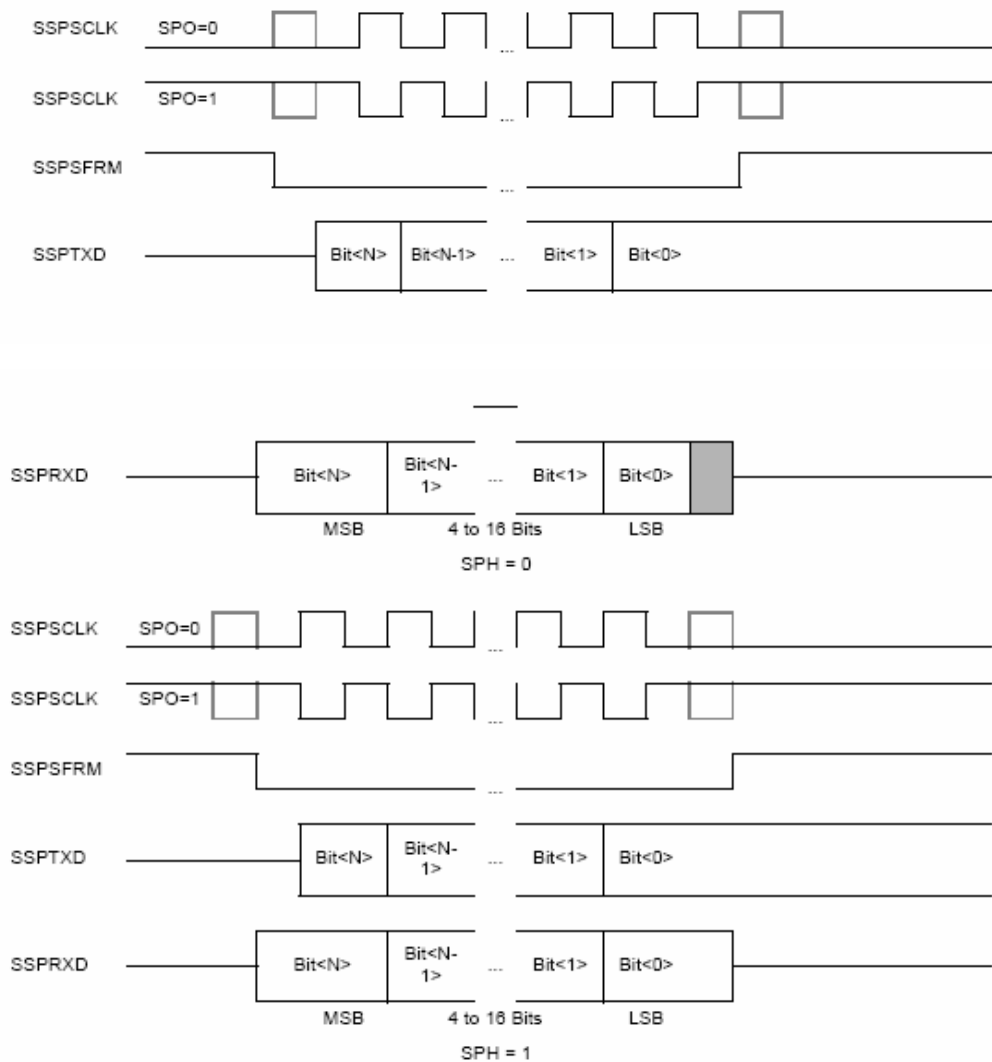


圖 12-4 Motorola SPI*訊框格式時，SPO 和 SPH 設定組合

12.7.2.6 Microwire 傳送資料大小(MWDS)

Microwire 傳送資料大小(MWDS)位元用來選擇 National Microwire 訊框格式中，命令字元寬度為 8 位元或 16 位元。當 MWDS 設為"0"，則傳送 8 位元的命令字元。當 MWDS 設為"1"，則傳送 16 位元的命令字元。其他的訊框格式忽略 MWDS 設定。

12.7.2.7 傳送 FIFO 中斷/DMA 門檻(TFT)

TFT 的寬度為 4 位元。傳送 FIFO 資料筆數小於或等於 TFT 數值，FIFO 控制器會發出 DMA 服務請求，如果中斷致能，也會發出中斷請求。參考表 12-4 是 DMA 服務對應的 TFT 建議數值。

12.7.2.8 接收 FIFO 中斷/DMA 門檻(RFT)

RFT 的寬度為 4 位元。接收 FIFO 資料筆數大於或等於 RFT 數值，FIFO 控制器會發出 DMA 服務請求，如果中斷致能，也會發出中斷請求。參考表 12-4 是 DMA 服務對應的 RFT 建議數值。

注意不要對系統設定太高的 RFT 數值，否則會因為其他內部及外部週邊設備引起匯流排延遲，造成 FIFO 溢滿。特別是需要較長服務時間的中斷及趨前詢問模式 (polled mode)。

表 12-4 DMA 服務的 TFT 和 RFT 數值

DMA 突發傳 輸大小	TFT 數值		RFT 數值	
	Min	Max	Min	Max
8 Bytes	0	11	3	15
16 Bytes	0	7	7	15

12.7.3 SSP 資料暫存器(SSDR)

SSP 資料暫存器(SSDR)是單一位址，可以用來讀取/寫入資料。傳輸方式有單一傳輸、4 half-word 突發傳輸、或 8 half-word 突發傳輸。

當系統讀寫暫存器時，FIFO 控制邏輯自動在暫存器和 FIFO 之間傳輸資料，傳輸速度就跟系統移動資料的速度一樣快。SSDR 的狀態位元表達 FIFO 處於滿載、超過/低於設定的門檻值、或是清空狀態。

當 SSPC 對 SSP 週邊傳輸時，如果傳送 FIFO 低於門檻值標準，CPU 使用程式化 I/O 把資料寫入暫存器。

當資料寬度少於 16 位元時，不要將寫入到傳送 FIFO 的資料向左對齊。傳送控制邏輯會對資料靠左對齊並忽略未使用的位元。接收的資料少於 16 位元時，會在接收 FIFO 中自動做向右對齊。

當 SSPC 設定為 National Microwire 訊框格式，而且傳送資料的寬度為 8 位元時（可由 SSCR1 的 MWDS 設定），會忽略最高位元組。

SSCR0[DSS]控制接收資料的寬度。

注意：當 SSPC 重置或是寫入 0 到 SSCR0[SSE]位元時，會清除兩個 FIFO。

表 12-5 SSP 資料暫存器(SSDR) 位元對應圖及各位元定義表

0x4100 0010 SSP 資料暫存器(SSDR)

Bit	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	Reserved																Transmit/Receive Data															
Reset	X																0x0000															

位元	名稱	解釋
15:0	Data (Low Word)	從傳送/接收 FIFO 寫入/讀取的資料字元
31:16	—	保留

12.7.4 SSP狀態暫存器(SSSR)

SSP 狀態暫存器(SSSR)包含溢滿錯誤、傳送和接收 FIFO 服務請求的狀態位元。由硬體偵測的事件對中斷控制器發出中斷請求訊號。由狀態暫存器的旗標也可得到，當傳送 FIFO 不是滿載且接收 FIFO 不是清空時，SSP 正在傳輸或接收資料。

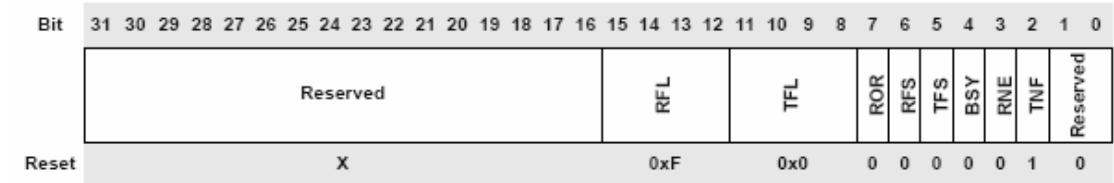
設定狀態暫存器某些位元，就會發出中斷請求訊號。當清除這些位元時，中斷也隨之清除。讀取/寫入位元稱做狀態位元，唯讀位元稱做旗標。狀態位元也稱為sticky(一旦由硬體設置後，他們必須由軟體清除)。清除sticky位元需寫入1，寫入0並沒有效果。唯讀旗標需由硬體設置和清除，無法寫入資料。一些引起中斷的位元在控制暫存器中有對應的遮罩位元，接下來會有相關說明。

表12-6是SSP狀態暫存器中狀態和旗標位元的對應位置。除了ROR是可以讀

寫之外，其他位元都是唯讀的。ROR的重置狀態為0。寫入TNF、RNE、BSY、TFS、和RFS沒有任何影響。寫入保留位元會被忽略，讀取這些位元得到的是未確定的值。

表 12-6 SSP 狀態暫存器(SSSR) 位元對應圖及各位元定義表

0x4100 0008 SSP 狀態暫存器(SSSR)



位元	名稱	解釋
1:0	—	保留
2	TNF (傳送 FIFO 未滿載)	(唯讀) 0 – 傳送 FIFO 滿載 1 – 傳送 FIFO 未滿載
3	RNE (接收 FIFO 未清空)	(唯讀) 0 – 接收 FIFO 清空 1 – 接收 FIFO 未清空
4	BSY (SSP Busy)	(唯讀) 0 – SSP 閒置或關閉 1 – SSP 正在傳送或接收訊框
5	TFS (傳送 FIFO 服務請求)	(唯讀) 0 – 傳送 FIFO 資料筆數超過 TFT 門檻值，或 SSP 禁能 1 – 傳送 FIFO 資料筆數等於或低於 TFT 門檻值，產生中斷或 DMA 請求
6	RFS (接收 FIFO 服務請求)	(唯讀) 0 – 接收 FIFO 標準超過 TFT 門檻值，或關閉 SSP 1 – 接收 FIFO 標準處於或高於 TFT 門檻值，產生中斷或 DMA 請求
7	ROR (接收 FIFO 溢滿)	(讀/寫) 0 – 接收 FIFO 沒有溢滿 1 – 企圖寫入資料到滿載的接收 FIFO，發出中斷請求
11:8	TFL (傳送 FIFO 標準)	(唯讀) 傳送 FIFO 的通道數目。注意：當讀取到 0x0，FIFO 不是清空就是滿載，且軟體必須參考 TNF 位元
15:12	RFL (接收 FIFO 標準)	(唯讀) 接收 FIFO 中通道數目減 1。注意：當讀取到 0xF，FIFO 不是清空就是滿載，且軟體必須參考 RNE 位元

31:16	—	保留
-------	---	----

12.7.4.1 傳送 FIFO 未滿載旗標(TNF)(唯讀，不可中斷)

傳送 FIFO 未滿載旗標(TNF)是唯讀位元。在傳送 FIFO 未滿載時，TNF 會設為 1；FIFO 滿載時，TNF 會設為 0。當程式化 I/O 傳送資料，且傳送 FIFO 超過門檻值標準，會設置 TNF 位元。這個位元不能發出中斷請求。

12.7.4.2 接收 FIFO 未清空旗標(RNE)(唯讀，不可中斷)

接收 FIFO 未清空旗標(RNE)是唯讀位元。在接收 FIFO 包含一筆資料以上時，RNE 設為 1；接收 FIFO 沒有資料時，RNE 設為 0。因為只有在等於或超過接收 FIFO 門檻值，引起 CPU 中斷請求，當程式化 I/O 移除接收 FIFO 剩下的資料時，可以設置 RNE 位元。這個位元不能發出中斷請求。

12.7.4.3 SSP忙碌旗標(BSY) (唯讀，不可中斷)

SSP 忙碌旗標(BSY)是一個唯讀位元。當 SSP 正在傳送和 (或) 接收資料時，BSY 設為 1；當 SSP 閒置或關閉(SSE=0)時，BSY 設為 0。這個位元不能發出中斷請求。因為軟體可以在 SSP 開始傳送資料前讀取這個位元，軟體必須確定這個位元在 poll 前被設置，並且等待清除。

12.7.4.4 傳送 FIFO 服務請求旗標(TFS)(唯讀，可遮蔽的中斷)

傳送 FIFO 服務請求旗標(TFS)是唯讀位元。當傳送 FIFO 接近清空並且需要服務以避免不足(underrun)時就會被設置。當傳送 FIFO 與傳送 FIFO 門檻值比較出有相同或較少有效資料通道時，就會設置 TFS。當他有效資料通道比門檻值還多時就會被清除。設置 TFS 位元後，除非傳送 FIFO 中斷請求致能(TIE)位元被清除，否則就會產生中斷請求。TFS 位元設定指示 DMA 控制器是否有請求 DMA 服務。DMA 請求不能被 TIE 位元遮罩。在 CPU 或 DMA 填滿 FIFO 讓他超過門檻值後，TFS 旗標(和服務請求和/或中斷)會自動被清除。

12.7.4.5 接收 FIFO 服務請求旗標(RFS)(唯讀，可遮蔽的中斷)

接收 FIFO 服務請求旗標(RFS)是唯讀位元。當接收 FIFO 接近滿載並且需要服務以避免溢滿時，就會設置 RFS。當接收 FIFO 與接收 FIFO 門檻值比較出有相同或較多有效資料通道時，就會設置 RFS。當他有效資料通道比門檻值還少時就會被清除。設置 RFS 位元後，除非接收 FIFO 中斷請求致能(RIE)位元被清除，否

則就會產生中斷請求。RFS 位元設定指示 DMA 控制器是否有請求 DMA 服務。DMA 請求不能被 RIE 位元遮罩。在 CPU 或 DMA 讀取 FIFO 讓他有較少的通道低於門檻值後，RFS 旗標(和服務請求和/或中斷)會自動被清除。

12.7.4.6 接收溢滿狀態(ROR)(讀/寫，不可遮蔽中斷)

接收溢滿狀態位元(ROR)是一個讀/寫位元。當接收 FIFO 已經滿載，但 SSP 接收邏輯電路接收新資料時，ROR 會為 1。每當接收到新的資料時，就會設定 ROR 位元，且拋棄新接收的資料。當接收到新的資料時，這個程序會持續進行，直接接收 FIFO 至少騰出一個空位。當設置 ROR 位元時，不能被任何 SSPC 暫存器位元局部的遮罩的中斷請求會傳給 CPU。ROR 位元的設定不能產生任何的 DMA 服務請求。寫入 1 到這個位元會重置 ROR 狀態和中斷請求。寫入 0 並不會影響到 ROR 狀態。

12.7.4.7 傳送 FIFO 資料數量

寬度為 4 位元，表示目前傳送 FIFO 中資料的數量。

12.7.4.8 接收 FIFO 資料數量

寬度為 4 位元，表示目前接收 FIFO 標準位元指示在接收 FIFO 中低於通道數量的數。

12.7.5 SSP 暫存器位址

表 12-7 列出 SSP 相關的暫存器的實體位址。

表 12-7 SSP 暫存器位址對應表

位址	符號	全名
0x4100 0000	SSCR0	SSP 控制暫存器 0
0x4100 0004	SSCR1	SSP 控制暫存器 1
0x4100 0008	SSSR	SSP 狀態暫存器
0x4100 000C	—	保留
0x4100 0010	SSDR(Write/Read)	SSP 資料暫存器 (寫入/讀取)

問題：

1. 請說明國家半導體 Microwire 通訊協定及運作方式。
2. 請說明德州儀器同步序列協定(SSP)及運作方式。

3. 請說明 Motorola 序列週邊協定*(SPI)及運作方式。
4. 請說明如何設定傳輸速度。
5. 請說明 SSPC 會用到的訊號腳位。
6. 請說明如何使用外部時脈。
7. 何謂同步序列。
8. 何謂同步序列中 FIFO 的運作。
9. 試述同步序列中 DMA 資料傳輸。
10. 試述程式 I/O 與 DMA 的差異。