



A Designer's Guide to Rapid Prototyping of Capacitive Sensors on any Surface

如何在平面上快速建置電容式感測器原型？

賽普拉斯半導體
資深應用工程師

By (Mark Lee, Senior Application Engineer, Cypress Semiconductor Corp.)

Executive Summary

This article will discuss how to replace the mechanical buttons on a product with a smooth and sleek touch-sensitive surface. It will present the concept of prototyping capacitive sensors on any nonconductive surface using silver-ink pens and copper tape. Topics included are capacitive sensor basics, silver-ink and copper tape, and construction technique. Measured results are presented for sensors applied to the back side of a simple acrylic sheet.

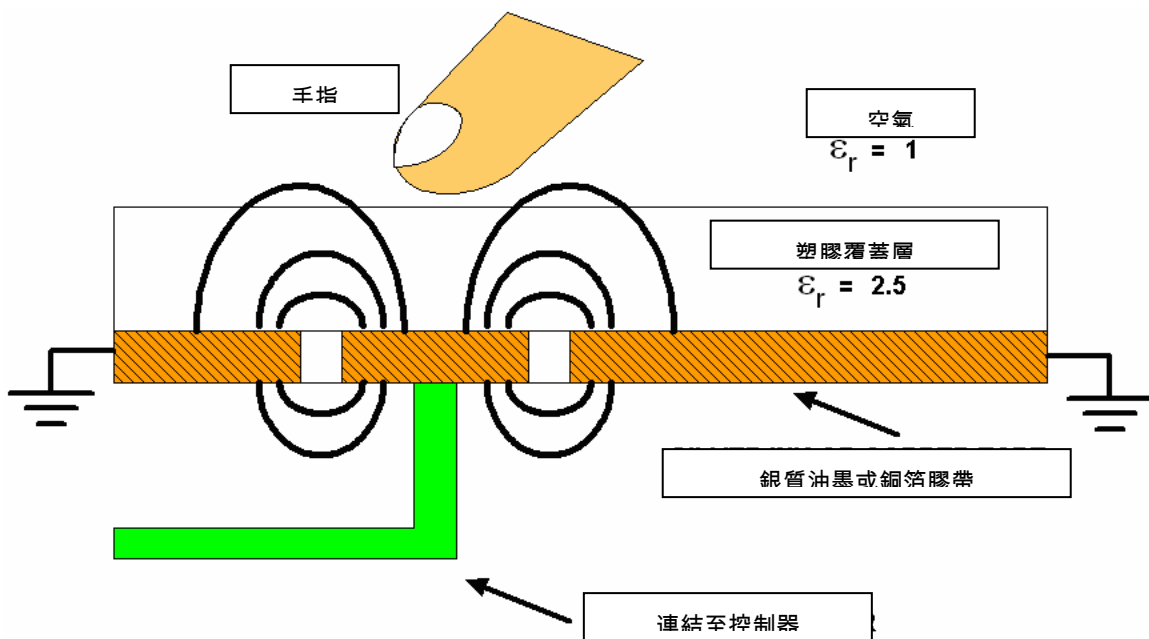
電容式感測技術 (capacitive sensing) 能讓 MP3 播放器或手機的使用方式顯得更酷炫。由於觸控感測器隱藏在表面之下，因此之前充滿機械式按鈕的表面，現在看起來既清爽又整齊；而且手指無需費力就可以輕鬆使用以往需由機械式按鈕來控制的產品功能。為了讓大家了解這項新技術所帶來的優勢，本文提供一個設計指南，讓設計業者知道如何在任何一種非導體的表面上，迅速建構電容式感測器原型。

PCB 與軟板(Flex Circuit)的替代方案

想像您有一個很棒的產品點子，其中含有一個塑膠射出成型的外殼或玻璃面板，而您想要了解用隱藏於表面之下的電容式感測器，來取代機械式按鈕的可行性。建置電容式感測系統的第一步就是在非導體表面上排列一套導體(註 1)。傳統建置電容式感測器的方式是用 PCB 或軟板，這方式不但耗時，而且也可能無法符合您為原型開發所編列的預算。然而，要如何才能避免傳統原型製作方式所需耗費的時間與成本，且又能開放設計程序，容許設計後期的調整呢？

銀質油墨筆與銅箔膠帶皆可作為電容式感測原型的解決方案，因為兩者都不貴，亦可快速製作。如圖 1 的剖面圖所示，電容式感測的構想是用手當觸發物直接靠近非導體的覆蓋層 (overlay) 材料上。在原型設計時，微控制器與感測片之間用跳線連接，以取代傳統 PCB 導線。

圖 1. 電容式感測器原型技術之剖面圖。



將感測器貼在壓克力板上

為了展示此技術，此處示範的兩個電容式感測器都貼在一片 3mm 厚的壓克力板上，其中一個用銅箔膠帶，另一個則是用銀質油墨(如圖 2 與 3 所示)。只要花幾分鐘的時間就可以用手將這些導體材料黏著於壓克力板的背面。

圖 2. 兩個電容式感測器貼在一片 3mm 厚的壓克力板上，左邊的感測器為銀質油墨製成，右邊的則是銅箔膠帶。

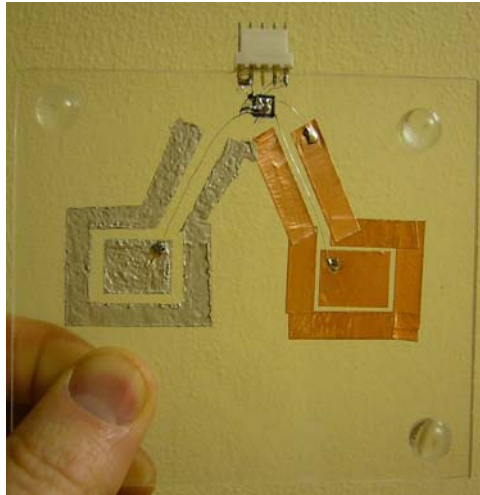
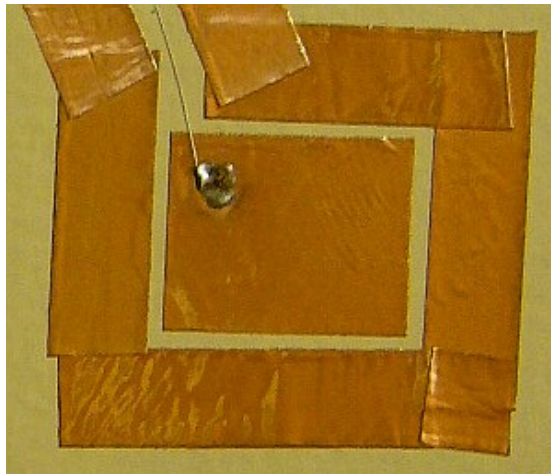


圖 3. 銅箔膠帶結構的放大照。外圈為接地，中間的方塊則是感測片，並以跳線連接至 PSoC。



整個製作程序約一個小時，大多數的時間是花在焊接與控制 IC 的連結。控制 IC 是以面朝下的方式黏著於壓克力板上。黏在壓克力板邊緣的連接頭則是用來連結 PSoC，以進程式編程，及資料紀錄與主機端 PC 的序列連結。



銀質油墨筆

銀質「油墨」筆常用來修補電路，例如修補窗戶除霧器中斷掉的加熱線。高導電性的銀分子會懸浮在壓克力環氧系統中，變乾之後則形成有彈性的導線。它與許多表層介面的結合性良好，包括玻璃與壓克力。不同製造商會生產不同型號的筆，此處所用的是由 Chemtronics 生產的 CircuitWorks Micro Tip 筆。

感測器導電的部分可以用銀質油墨筆直接畫在表面上，等待一至兩個鐘頭變乾後就可以用來作為感測器。本示範中的油墨是放在室溫下一整夜晾乾。該筆的使用說明也提到乾掉的油墨可用低溫烙鐵焊接。但根據之前的使用經驗，我們決定在跳線黏接感測片的部分以塗抹較多油墨的方式黏接，等油墨變乾時，跳線也一併黏接在感測片上。雖然導體樣式可完全以徒手畫出，但在圖 2 中的樣式是先用膠帶黏貼圍出感測器的樣式，接著塗上油墨等待變乾，然後再撕下膠帶，就可以得到平整的邊緣。

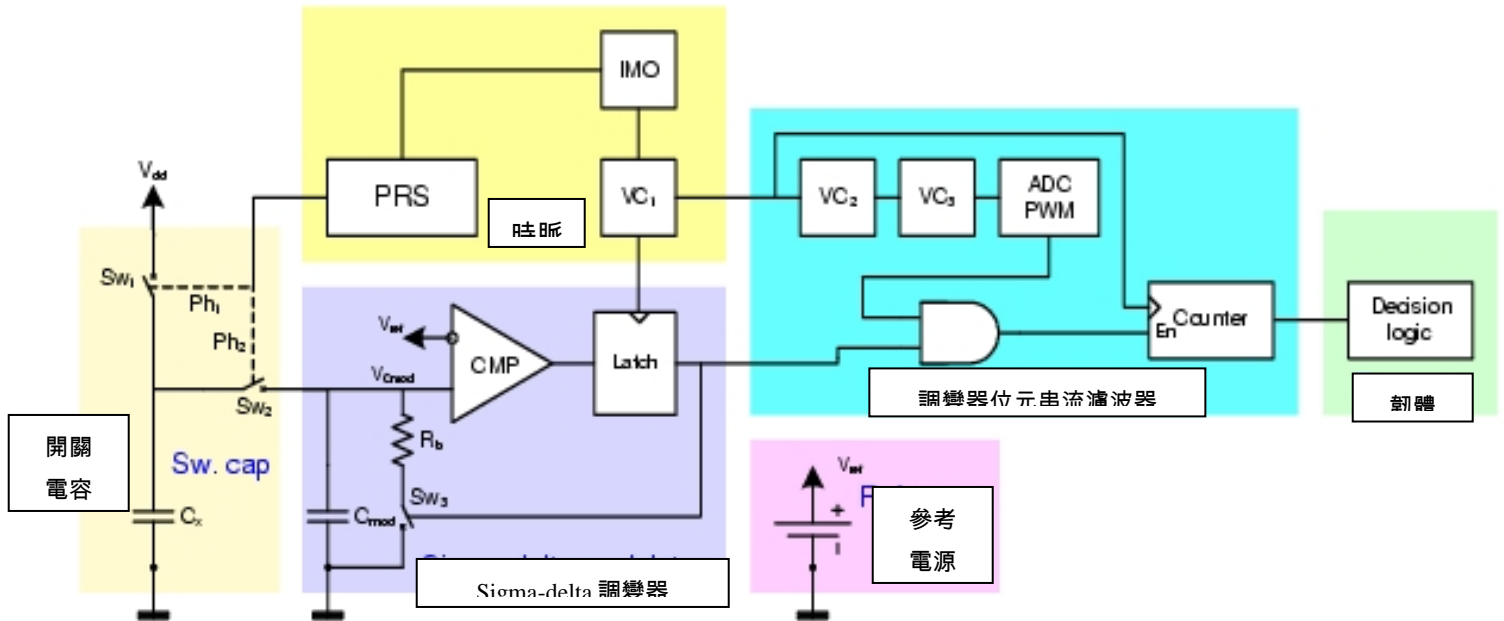
銅箔膠帶

銅箔膠帶是以銅箔製作而成的，最常拿來作為屏蔽之用。在這裡我們示範用的材料是編號為 1181 的 3M 產品，其具有特殊的導電黏膠，因此將膠帶重疊黏住就可以相互導電。而不像銀質油墨要等待乾燥，銅箔膠帶黏上後就可以立刻作為感測器使用。用此種導電膠帶將跳線焊接至感測器的傳導效果很好。除了本示範所選用的銅以外，還可使用例如鋁等其他材質的膠帶，所獲得效果也一樣好。

電路細節

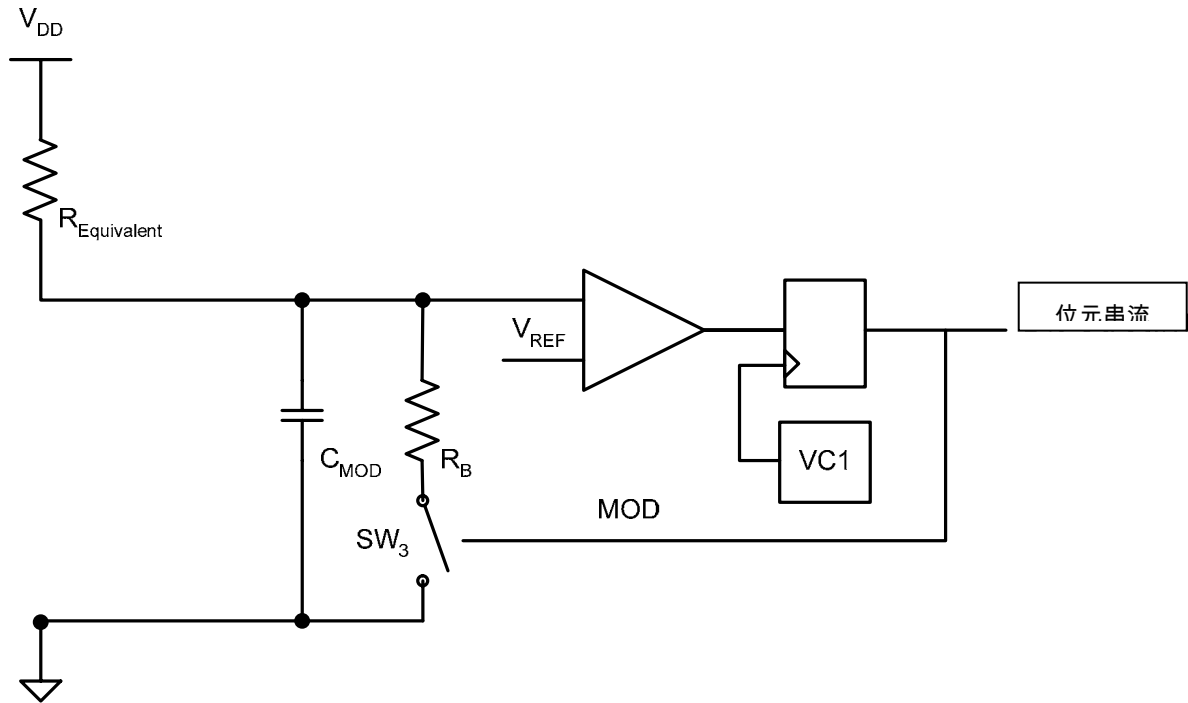
手工製作的導電電路效能當然不如 PCB 或軟板來得好。為了彌補這一點，感測方法就會要求較高的訊雜比 (Signal-to-Noise Ratio ; SNR)。在本示範中，我們選用 Cypress Semiconductor 的 PSoC 中 CSD 組態(註 2)。此處“CSD”之中的“SD”代表 Sigma-Delta。此種感測方法可用在 CY8C21x34 及 CY8C24x94 的 PSoC 版本。CSD 功能方塊如圖 4 所示。

圖 4. CY8C21x34 元件中 PSoC CapSense 的 CSD 組態。



CSD 的等效電路如圖 5 所示。電路前端的開關將指觸時的感測器電容值轉變
成一個等效電阻值。而電阻值的改變會導致 sigma-delta 調變器輸出端位元串流產
生變動。

圖 5. 具有開關感測電容器等效電阻的 CSD 區塊圖。

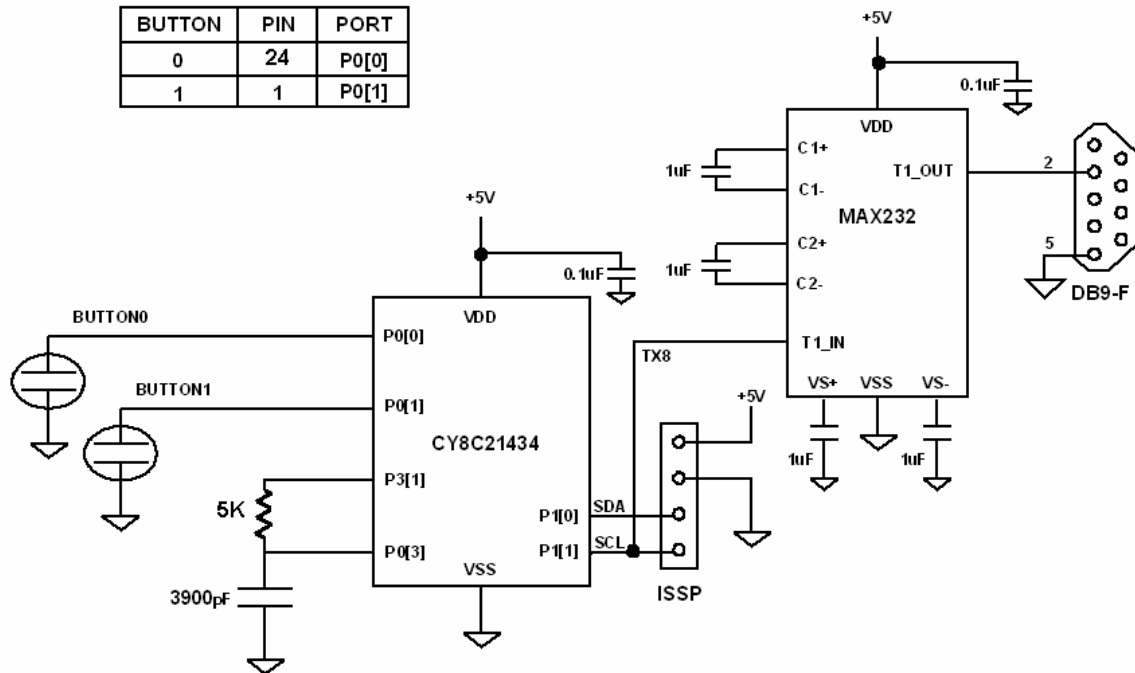


CSD 使用者模組是 PSoC Designer 函式庫中的標準功能區塊，其中所含的 API 常式可符合建置實際電容式感測系統所需的所有低階與高階功能。PSoC 則用來將函式庫中 CSD 使用者模組進行拖放。而感測器在系統層級的運作定義為 C 等級。

另外在這裡還外加了一個功能區塊，提供連接至主機 PC 的通訊。TX8 使用者模組內含一組僅有傳送功能的區塊，其序列傳輸速率可達 115,200 baud。這也將電容式感測系統變成可編程的資料記錄器。

圖 6 為此次示範的電路關係圖。電路僅包含電容式感測及序列通訊所用的 PSoC 晶片，以及 RS232 位準轉移用的晶片。此外，圖 6 亦顯示兩個 CapSense 按鈕的針腳設定。PSoC 的編程則是透過 ISSP header 進行，其中包含電源、接地、以及編程針腳 SCL 與 SDA。主機 PC 則透過 DB9 連接頭連結至電容式感測機板。

圖 6. 具備 CSD 使用者模組的電容式感測電路組態之電路圖。



量測效能

圖 7 與 8 顯示電容式感測系統之量測效能。主機 PC 透過終端模擬程式擷取感測器的感應次數，並且利用試算表進行處理作業。

藉由手指觸碰壓克力板，來進行效能量測。碰觸的表面與導體感測器線路之間隔著 3mm 的非導電性壓克力板。手指先置於銀質油墨製作的感測器電路上方，接著換到銅箔膠帶製作的感測器上方。此測試程序會重複第二次。圖 7 顯示未處理的感測器資料。而感測器 ON/OFF 狀態則如圖 8 所示。系統在不需要 debounce 時可以很明確地反應兩個狀態之間的轉換。

圖 7. 在 3mm 壓克力覆蓋層下兩個感測器所得的未處理資料。藍線為銀質油墨所得數據，紅線則為銅箔膠帶所得數據。

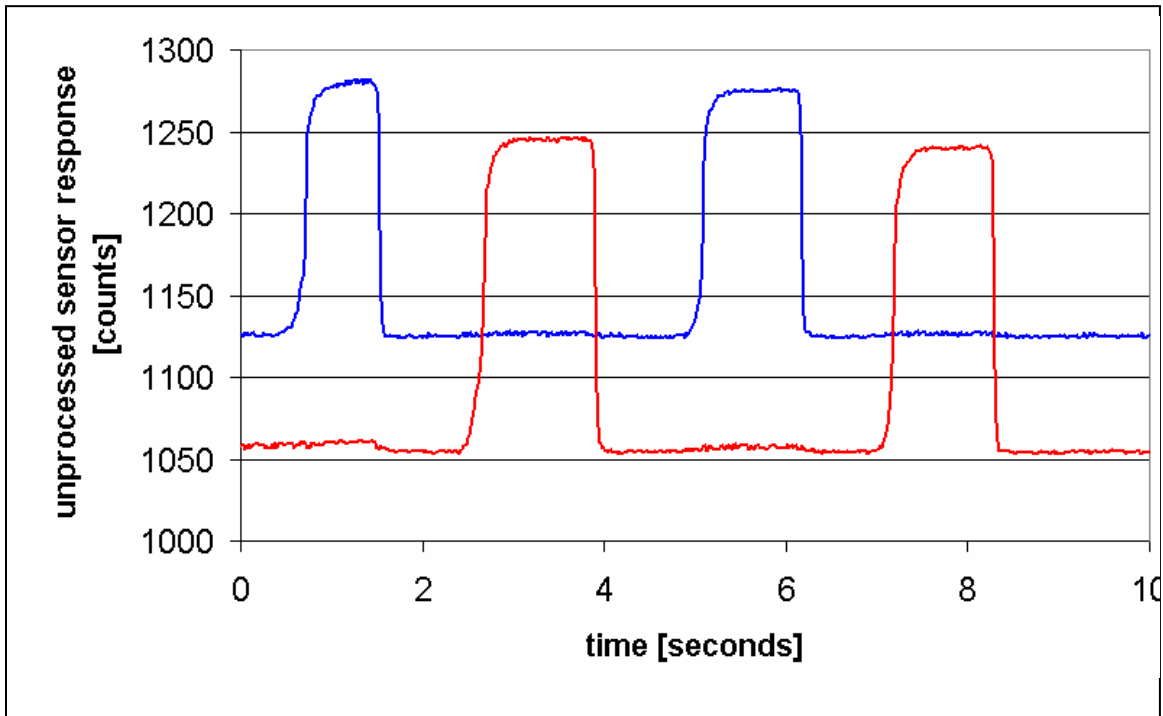
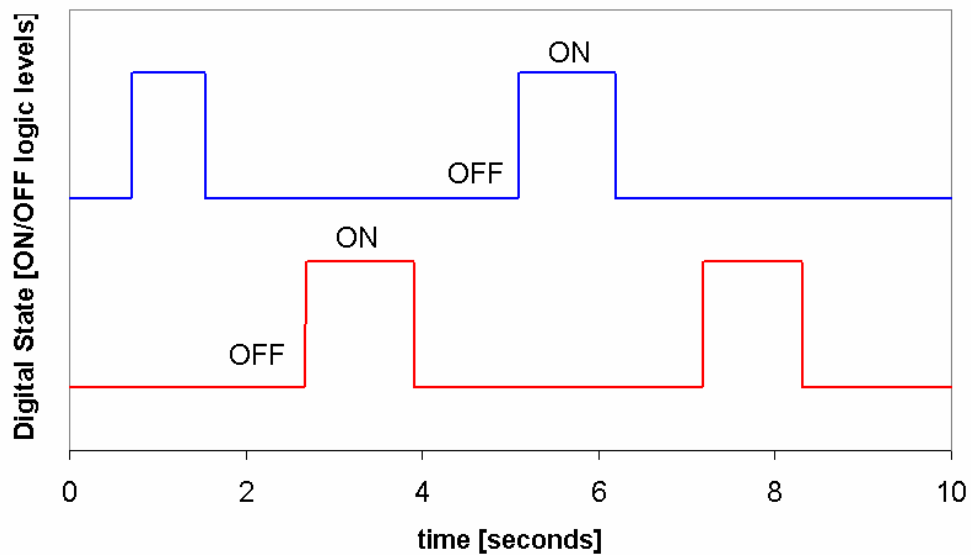


圖 8. 在 3mm 壓克力板覆蓋層下兩個感測器所得的數位狀態結果。藍線為銀質油墨所得數據，紅線則為銅箔膠帶所得數據。





無論是銀質油墨或是銅箔膠帶的材質，在此原型中都具備良好的效能。此感測系統之所以能達到高 SNR 都得歸功於 CSD 使用者模組的優異效能表現。如果您想改變感測器的位置或大小，任何變更都能迅速而簡單地完成。只要清除想改變的膠帶或油墨，然後再重做新的導體樣式即可。這項在表面黏貼感測器的技術也相當適合產品開發初期常會需要的概念驗證 (proof-of-concept) 裝置的建置。

附註(參考資料)

註 1：參考資料為—Mark Lee, "The art of capacitive touch sensing", Planet Analog supplement to EE Times, December 28,2006, pages 4-6

註 2：參考資料為—Application Note AN2394, "CapSense Best Practices", Cypress Semiconductor

Cypress Semiconductor
198 Champion Court
San Jose, CA 95134-1709
Phone: 408-943-2600
Fax: 408-943-4730
<http://www.cypress.com>

© Cypress Semiconductor Corporation, 2007. The information contained herein is subject to change without notice. Cypress Semiconductor Corporation assumes no responsibility for the use of any circuitry other than circuitry embodied in a Cypress product. Nor does it convey or imply any license under patent or other rights. Cypress products are not warranted nor intended to be used for medical, life support, life saving, critical control or safety applications, unless pursuant to an express written agreement with Cypress. Furthermore, Cypress does not authorize its products for use as critical components in life-support systems where a malfunction or failure may reasonably be expected to result in significant injury to the user. The inclusion of Cypress products in life-support systems application implies that the manufacturer assumes all risk of such use and in doing so indemnifies Cypress against all charges.

PSoC Designer™, Programmable System-on-Chip™, and PSoC Express™ are trademarks and PSoC® is a registered trademark of Cypress Semiconductor Corp. All other trademarks or registered trademarks referenced herein are property of the respective corporations.

This Source Code (software and/or firmware) is owned by Cypress Semiconductor Corporation (Cypress) and is protected by and subject to worldwide patent protection (United States and foreign), United States copyright laws and international treaty provisions. Cypress hereby grants to licensee a personal, non-exclusive, non-transferable license to copy, use, modify, create derivative works of, and compile the Cypress Source Code and derivative works for the sole purpose of creating custom software and or firmware in support of licensee product to be used only in conjunction with a Cypress integrated circuit as specified in the applicable agreement. Any reproduction, modification, translation, compilation, or representation of this Source Code except as specified above is prohibited without the express written permission of Cypress.

Disclaimer: CYPRESS MAKES NO WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, WITH REGARD TO THIS MATERIAL, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Cypress reserves the right to make changes without further notice to the materials described herein. Cypress does not assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit described herein. Cypress does not authorize its products for use as critical components in life-support systems where a malfunction or failure may reasonably be expected to result in significant injury to the user. The inclusion of Cypress' product in a life-support systems application implies that the manufacturer assumes all risk of such use and in doing so indemnifies Cypress against all charges.

Use may be limited by and subject to the applicable Cypress software license agreement.