

SOC 跟你什麼關係？

吳誠文

清華大學電機資訊學院院長

5/25/2005

一、序曲

許多人聽過 SOC，不過可能並不真正瞭解它是什麼東西。其實它並不會比 ROC 還要令人難以理解。

有人把 SOC 翻譯成單晶片系統 (System-on-a-Chip)，意指一個電子系統被整合到單一晶片上。後來發現用單一晶片實現一個完整電子系統對大多數應用而言仍然是困難的，有時也不切實際，因此把範圍再放寬，把 SOC 解釋成晶片系統 (System-on-Chip)，意指使用高整合度晶片所實現的電子系統。如果要吹毛求疵的話，這跟傳統的系統晶片 (System Chip) 意思不太一樣，因為晶片系統是一個系統，而系統晶片是一個晶片。

對大多數人來講，這樣粗淺的解釋也許不夠，尤其是如果你不知道什麼是晶片，什麼是系統。這樣的話，我先引述李家同教授的教誨：「我們的積體電路裡面會越來越複雜，比方說，我們可能要有一個簡單的 CPU、記憶體、和一個訊號處理器。我們自然可以自行設計所有的單元，但這不太可能，以經濟眼光來看，這也是不划算的。所以我們一定會利用別人已經設計好的單元，而將他們整合起來，但是所謂整合，也不是將別人已做好的晶片放在一起，外面加以封裝，而成為一個新的晶片，而是利用別人的設計，重新佈局，重新拉線，做成一個新的晶片。SOC 因此絕不是一個簡單的封裝問題而已，SOC 是利用別人已有的智慧財產，加上自己的整合技術而造成的。」對此微言大義，我後文會加以解釋。

不過，我也要利用這個機會提醒各位，在 2000 年之前股票分析師一窩蜂地看好的 SOC 概念股如今似乎多已風光不再，而你對它們仍然念念不忘還是已經心灰意冷了呢？也許當年你偶爾走進新竹市光復路旁的水源市場，聽過吵雜人群中這樣的對話：

賣菜的歐巴桑：「王太太，你先生不是在科學園區那個 X 公司當司機嗎？聽說他們公司是做 SOC 的喔？」

買菜的歐巴桑：「是啊！他們公司股票剛上櫃，這幾天都一直漲，夭壽喔！」

賣菜的歐巴桑：「真的啊！那現在還可不可以買啊？」

買菜的歐巴桑：「安啦！我先生說他們總經理常常告訴他，我們 ROC

以後就是要靠這個 SOC。」

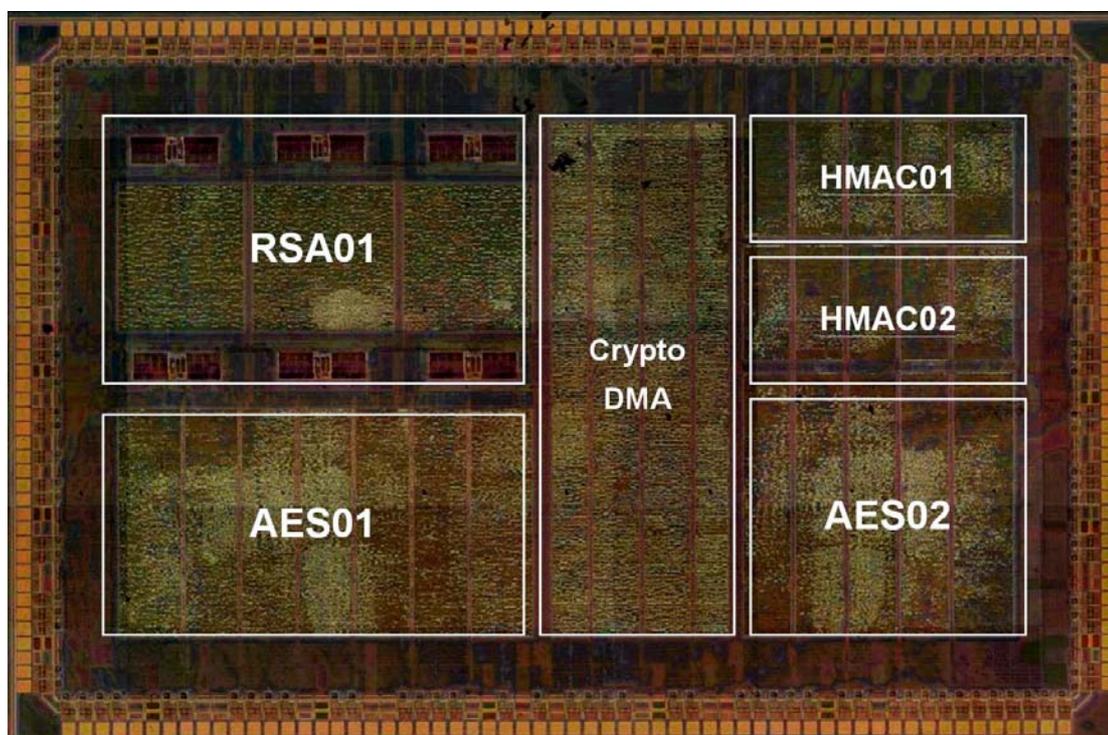
賣菜的歐巴桑：「那這個 SOC 到底是什麼東西啊？」

買菜的歐巴桑：「最新的高科技啦！反正講妳也不懂，你要買的話，動作要快，今天又漲了！」

現在你大概聽不到這樣的對話了！（什麼？水源市場已被拆了？），但你還是不死心嗎？……是嗎？……唉！那我就只好犧牲睡眠把這篇文章寫完吧！

二、晶片與晶圓

晶片的英文是 Chip。猜猜看這世界上名氣最大的 Chip 是哪一種 Chip？CPU Chip？Memory Chip？不是不是，是 Potato Chip（洋芋片）！當然今天我們不談食品工業，我們只談矽晶片（Silicon Chip）。其實晶片的正式名稱是積體電路，也就是 IC（Integrated Circuit）。它是由半導體材料（主要是矽、鍺及某些 III-V 族化合物半導體）製成的，所以 IC 產業亦屬於半導體產業。



圖一

圖一是我們在清華大學最近設計製作完成的一個密碼處理器（CP）晶片的照片[1]。這個晶片的面積大約是 3mm × 4mm，含有超

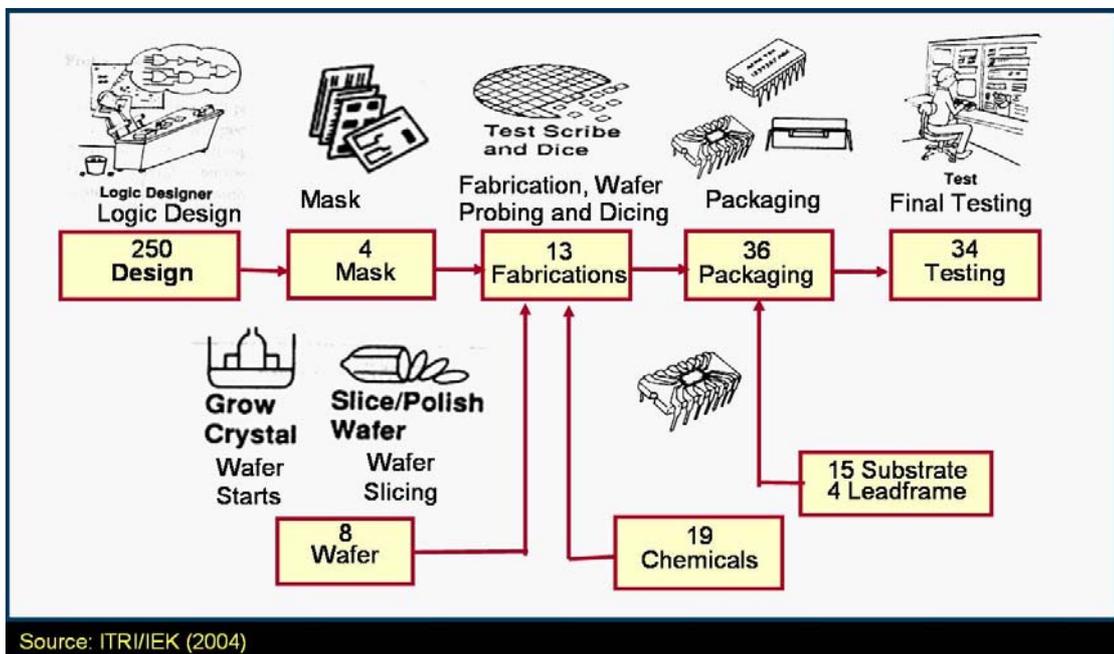
過 200 萬個電晶體。晶片是由晶圓 (Wafer) 切割下來的。如果用 8 吋晶圓來製作這樣的晶片，則一片晶圓可以生產超過 2000 個晶片。如果一個 8 吋晶圓廠月產三萬片晶圓，全部用來生產這個 CP 晶片，則一年可生產 36 萬片晶圓，超過 7 億 2 仟萬顆晶片。如果清大委託晶圓代工廠生產這顆晶片，代價是一片晶圓伍萬元，則這個晶圓廠的年產值大約為 180 億元。可是如果清大把這些晶片都賣掉，每顆賣 300 元，則我們光是這個產品所造成的產值就超過 2,160 億元。封裝與測試成本略低於晶圓成本，所以如果這些晶片都能賣掉，且價錢維持 300 元壹顆，則清大不但錢多得花不完 (這是李家同教授對我們的印象)，還可以接濟其他學校 (這是李家同教授對我們的期待)。當然如果 CP 晶片價錢只能賣一顆 30 元，那清大的股票就變成水餃股了。如果我們改用 12 吋晶圓來生產 CP 晶片，則每片晶圓可以生產超過 4500 個 CP 晶片，即晶片的產能變為 2.25 倍。如果 12 吋晶圓的價錢如預期可以降到低於 8 吋晶圓的 2 倍，則晶片成本可以大幅降低，又可以利用產能優勢影響市場，這是為什麼許多半導體大廠紛紛投資蓋 12 吋晶圓廠的主要原因。

當然，蓋晶圓廠是一個極龐大的投資，是否要蓋，考量沒有這麼簡單。這裡要強調的是，如果晶片的價錢高 (其價值來自於市場的高需求且具有難被取代的特性)，則每單位投資 IC 設計的獲利遠大於 IC 製造。關鍵是，如何設計出市場所需而難被取代的產品呢？

三、IC 設計產業背後的辛酸

過去二十幾年來台灣的經濟成長主要仰賴高科技產業，而其兩大支柱是 PC 產業及半導體產業。早期的半導體公司都是屬於整合設計與製造的公司，稱為 IDM (Integrated Design and Manufacturing) 公司。世界上著名的 IDM 公司非常多，如 Intel, AMD, TI, Philips, IBM, Toshiba, Hitachi, NEC, Samsung, 華邦, 旺宏等等，不勝枚舉。他們設計 IC，同時自己生產，大多不假手他人。自從台積電 (TSMC) 在台灣以晶圓代工之經營模式成立後，IC 產業的垂直分工變成了一項台灣奇蹟，並逐漸改變了全球的 IC 產業營運模式。圖二顯示出台灣 IC 產業垂直分工的概況 (2004 年工研院經資中心資料)。繼台積電之後，聯電 (原來是 IDM 公司) 也把設計部門獨立出去，成立多家專業 IC 設計公司，而本身則轉型為晶圓代工廠。如今台積電與聯電已是全球最大的兩家晶圓代工廠，而包括美日歐在內的世界級公司為了維持競爭力，也陸續調整公司架構與經營模式，紛紛把 IC 設計部門獨立出去，並逐漸減少或停止晶圓廠的投資。由於晶圓代工業的成功，使得全球晶圓代工廠急速增加，連藍色巨人 IBM 都加入

這個產業，成立晶圓代工部門。也由於晶圓代工的成功，促成無晶圓廠（Fabless）IC 設計公司如雨後春筍般在全球各地紛紛成立。



圖二

由圖二可以看出，光是在台灣，IC 設計公司已有二三百家（拜託不要問我 IC 設計公司是做什麼的，我已經寫得頭昏眼花了，如果真的不知道，可以回家問媽媽）。由於不必投資晶圓廠，成立 IC 設計公司門檻大為降低，因此也間接促成從矽谷到台灣的 IC 設計公司創業熱潮。如今全球無晶圓廠 IC 設計產業北美佔了約六成的產值，而台灣則近三成，僅次於美國。

但是，那個賣菜的歐巴桑五年前買的股票不久便因網路泡沫破滅，價錢像溜滑梯一樣一路跌到剩下原來的三分之一，到現在也只緩慢回升到約二分之一的價錢，起起伏伏，前途堪虞。連那些股票分析師與王太太都已見風轉舵，琵琶別抱，對 SOC 失去信心，那我還在這裡寫什麼？（唉！是李家同教授逼我寫的！）我得告訴你們實話，這不是最好的時代，也不是最壞的時代。情況有點複雜，不過看完我在半昏睡狀態提出的下列幾點「精闢」的見解後，你一定會比我還清楚 IC（設計）產業到底是何去何從。

（一）看價值不要看產值！

經濟部最喜歡談產值，因為那可以用來嚇人。可是今天的半導體及平面顯示器產業（經濟部引以為傲的兩兆產業）的高產值代表的是高投資與高社會成本，但不代表高獲利。我們若

以台灣生產的IC與世界知名公司（如Intel）的IC價值相比，便會恍然大悟。每單位面積（ mm^2 ）的晶片價值，台灣生產的IC平均不到美金一角，而Intel的CPU可以賣到美金三塊半或更高。如果以清大的CP為例，面積是 12mm^2 ，那在台灣一般的期望價值只有美金一塊二，大約是台幣 40 塊錢，而不是原先我所期望的 300 塊錢。同樣面積的Intel晶片價錢是美金 42 塊錢，大約是台幣 1,400 元。這是怎麼回事？大量社會成本被隱藏（或忽略）了，研發成本被大幅刪除（或灌水）了，獲利被壓縮了；咬著牙拼命的結果，產值看起來一路扶搖直上（因為低價搶了別人的市場，當全世界有錢國家的工廠），外匯存底十年來也成長了兩倍以上，但是令人心痛的事實是平均國民所得卻原地踏步；而這還只是表面的數字。

台灣全島都變成工業區的背後，我們欠大地的債並沒有仔細去計算，而子孫當然還不知道他們得還。等他們會算了，恐怕將發現『實質』國民所得竟是快速的負成長。婆娑之洋，美麗之島，安在哉？

（二）垂直分工，水平也要分工！

台灣出名的是台灣牛，刻苦耐勞，無怨無悔，至死不渝（恐怕到頭來亦不知是怎麼死的）。傳統文化是大家一窩蜂做相同的產品（且是別人早就定出規格的產品），惡性競爭，槍口一致對內，在外面卻卑躬曲膝。不管是IC設計或其他相關產業，同質性均高，彼此殺得你死我活。這一點我不再詳細講，請參考我的另一篇文章「[高科技盲流](#)」[2]。

（三）寧要孩子，不要房子！

政府附和許多高科技業大老闆們的論調，宣稱人力缺口不斷加大，危及經濟成長。台灣人口密度已相當高，但是高耗資源的製造業不斷擴充蓋廠的結果，表面是產值與就業機會的提昇，背後是低獲利的心酸與長遠無情的負面影響。政府除了短期的政策（如矽導計畫增加 IC 設計師資員額、加強培訓、引進外勞、國防役、碩士專班等），最近也加緊宣傳，鼓勵生育。殊不知盲目提昇產值致使環境與生活品質惡化及相對（實質）國民所得降低方是造成國民不願（或無法負擔）生育的最大原因。寧願好好為子孫著想，不一定要一直蓋廠（房子）。

（四）要用功唸書、作研究，不要努力上網打電動！

啊！對不起，這是我的職業病，每篇文章都會忍不住要教訓學生。不過天下興亡，匹夫有責。要興要亡，還是得你們自

已決定。讀一讀我的「[高科技盲流](#)」[2]吧！

雖然我還有其他高見，不過也許這已經可以解釋股票市場的表現了吧？原來五年來投資大眾是充滿理性的，看得如此的深遠。難道全世界（包括 ROC）所寄予厚望的 SOC 不是經濟成長的轉機嗎？其實它跟全球化（Globalization）一樣是一把兩面刃，揮刀的人要非常小心（尤其不能看葵花寶典）。

四、要命的 SOC！

前面說過，SOC 是晶片系統。在台灣，做 IC 的公司都宣稱他們在做 SOC，而有趣的是許多做系統的公司也宣稱他們在做（或要做）SOC，因為如此才能避免被譏為趕不上時代，使投資人怯步。真的都在做 SOC 嗎？要判斷一個晶片產品是不是 SOC，我們可以看看它不符合下面已經很鬆的三個條件：

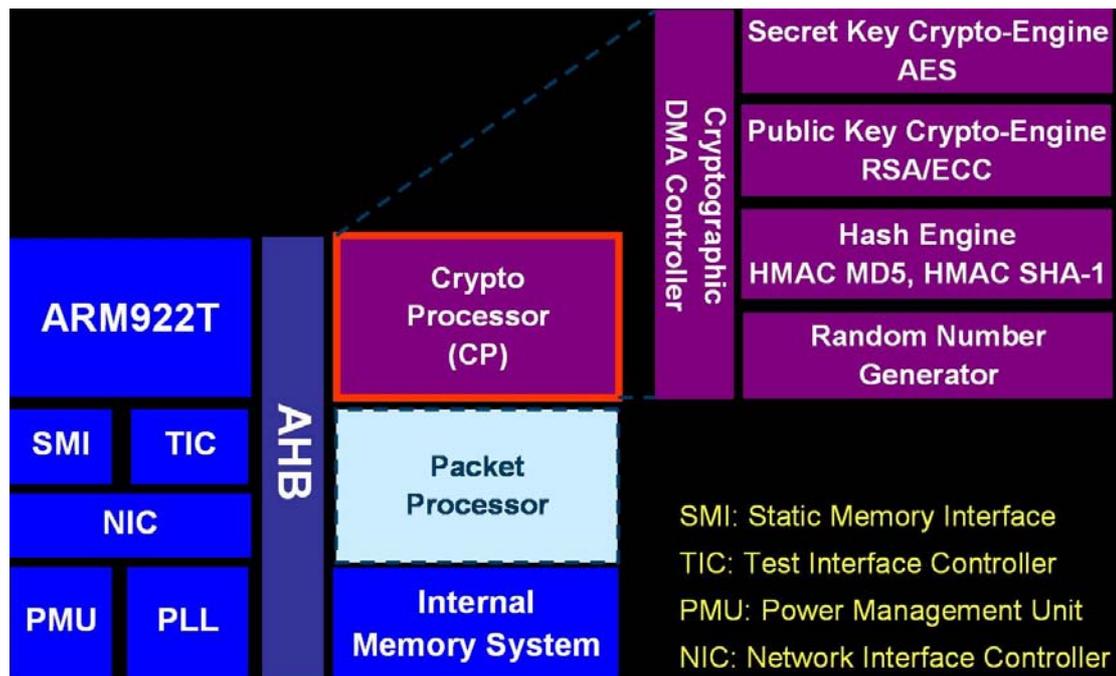
1. 是否大量使用智財（IP）核心？
2. 是否使用平台式（Platform-Based）設計方式？
3. 是否使用軟硬體共同設計方式？

嚴格一點的話，還要再加上下面兩個條件：

4. 有完整的類比介面
5. 整個系統整合到單一晶片

由於我眼睛已充滿血絲，我只能勉強草草用前三點說明以敷衍你們。IP（Intellectual Property）是一個有趣的東西。它雖然泛指智慧財產，不過在 SOC 領域裡它有明確的特殊的意涵。它指的是 IC 設計，注意，是設計，不是晶片本身。由於 SOC 須整合許多不同性質的電路，因此開發困難度比傳統 IC 要高許多。例如幾乎所有的 SOC 都會含有 CPU 及各式各樣的記憶體，而任何一個人要同時是 CPU 的專家也是記憶體的專家是非常不容易的（我從來沒遇過）。因此，如果我們要設計一個 SOC，需要使用 CPU 及記憶體，那我們可以分別去買設計優良、價錢合理的 CPU 設計與記憶體設計，可是我們不能買 CPU 晶片及記憶體晶片，因為我們不能把幾個小晶片塞進我們自己的晶片就讓它變成一個 SOC，而是在設計的過程當中「整合」不同的這些「IP」成為我們要的 SOC，再去生產。因為如此，市場上遂出現不賣 IC 的 IC 設計公司，它們只賣 IP。例如圖三是我們在清大設計的另一個晶片的 IP 內涵圖，它大約為 CP 晶片的兩倍大。它整合了 CP 設計，ARM 公司的 CPU 與 Bus（匯流排）IP，Artisan 公司的記憶體 IP，以

及我們自己設計的其他的小 IP (如介面電路、自我測試電路等) 而成為一個單一的晶片。這是一個網路安全處理器晶片，發展過程長達三年，參與的研究生前後超過百人。我倒不敢稱它為 SOC，因為它雖然符合前兩個條件，卻不符合第三個條件。雖然我們軟硬體都有 (有 CPU 一定會有軟體)，可是並沒有使用軟硬體共同設計的方法，因為環境尚未建立 (其實軟硬體共同設計到目前為止許多工具都不成熟，工業界亦徒呼奈何)。



圖三

我因為早已頭昏眼花，CPU 過熱，螢幕閃爍，已經快關機了，不得已只好虎頭蛇尾。如果你一定要知道什麼是平台式設計，什麼是軟硬體共同設計，請就近請教貴校電機系或資訊系相關領域的老師吧 (這麼大了不要凡事找媽媽)，記得要自行束脩以上。至於 IP 之重複使用，其實生活中實例比比皆是。圖四是我三年前在巴黎奧塞博物館參觀時，對十九世紀藝術家 J.A.D. Ingres 的三張油畫作品驚訝不已 (倒不是出於我天生的藝術氣質，而是對於他 IP 重複使用的先進觀念的佩服)，於是遵守館方不使用閃光燈只使用純熟精湛技巧的規定把他們拍下來。當然今天的 SOC 強調使用最好最適切的 IP，而不是使用自己的 IP，不然的話你做的晶片就會像這三張畫一樣，怎麼功能都差不多呢？



圖四

不過我希望你看到這裡終於可以徹底一頭霧水(本來還以為自己很懂 SOC，是不是?)我是說，終於可以理解到 SOC 製造的問題不會比它解決的問題少，因此草率地對它寄予厚望是很危險的。要命的 SOC!

五、難結之論

你豁然開朗也好，你若有所悟也好，你不為所動也好，你滿頭霧水也好，你不以為然也好，反正我也撐不下去了，已經設定十分鐘後關機，並且無法給你冠冕堂皇的結論。

李家同教授可能大嘆所託非人(其實他早找個年輕人不就好了)，本來只叫我寫一下什麼是 SOC，沒想到我神智清楚的時間都被安排去開會了，一旦開完會神智就不清，結論你們自己下吧!

也許明天台灣真的有人可以設計出 SOC!

也許明天開始 SOC 真的可以賺錢!

也許明天的台灣實質國民所得會提高!

明天見!

參考文獻

1. C.-P. Su, C.-H. Wang, K.-L. Cheng, C.-T. Huang, and C.-W. Wu, "Design and test of a scalable security processor", in Proc. Asia and South Pacific Design Automation Conf. (ASP-DAC), Shanghai, Jan. 2005.
2. 吳誠文，高科技盲流，IC 設計月刊，2003/12，76-82 頁。