

Technical Article

小巧卻強大：MCU 的小型封裝與整合功能如何最佳化空間受限的設計



Alex Grudzinski

我的第一部手機是一款熱粉色的翻蓋手機。它只能打電話，但當時仍然是一件令人興奮的科技產品。如今，雖然那份興奮感依然存在，但我對每一款新手機的期待已經大幅提升：更高解析度的螢幕、更長的電池續航、更快的處理速度，尤其是更小巧的外型。

而我也不是唯一這樣想的人。大多數消費者都期望手機、耳機、智慧智能手錶，甚至吹風機等產品在尺寸和功能上不斷進步。如果沒有成本、尺寸或功能的改進，大多數消費者不太可能升級他們已經擁有的產品。

這種朝向更小、功能更強大的電子產品的趨勢，也影響了嵌入式系統設計人員。他們需要在提升系統功能與性能的同時，減少整體系統的尺寸與成本。

為了幫助嵌入式系統設計人員，包括 TI 在內的半導體製造商正在開發功能豐富且尺寸更小的**微控制器 (MCU)** 和**嵌入式處理器**。這些裝置採用最佳化的封裝技術，減少了印刷電路板 (PCB) 上的佔用空間，從而為額外的元件和更大的電池騰出更多空間，延長設備的運作時間。在封裝內部，這些裝置的設計也在不斷演進，整合了眾多類比元件，以擴展功能並減少對獨立元件的需求。

在本文中，我將探討封裝技術與類比元件整合如何在不影響性能的情況下縮小嵌入式處理器的尺寸，以及最佳化封裝對製造流程的影響。

封裝

封裝創新是半導體領域中少數肉眼可見的進步之一。為了幫助縮小封裝尺寸，半導體製造商從傳統的有引腳封裝轉向先進的封裝選項，從而移除不必要的塑料外殼和引腳。這些封裝選項的尺寸直接與晶片的大小相關，並能減少實現所需功能的面積。

TI 在其嵌入式處理產品系列：

- **四方扁平無引線 (QFN)** 封裝中提供了多種微型封裝選項。QFN 封裝不使用傳統的引腳，而是在塑料外殼邊緣設置扁平接觸點，並在底部配備裸露的散熱墊，以提升散熱性能。圖 1 展示了 MSPM0C1104 的封裝圖，這是一款 20 引腳的微控制器，封裝面積僅為 9mm²。

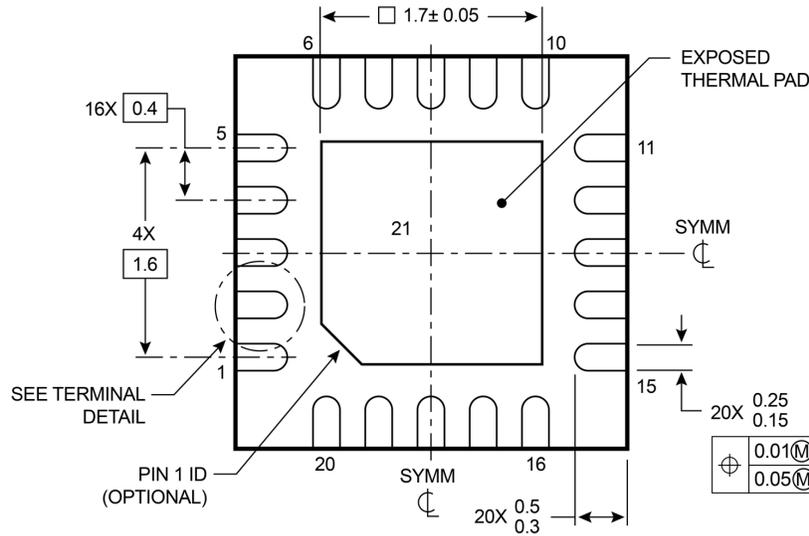


圖 1. MSPM0C1104 的 20 引腳 0.8mm QFN 封裝圖

- **晶圓晶片級封裝 (WCSP)**。與其他封裝類型相比，這些封裝的外型尺寸最小。這種封裝通過一組焊球直接連接到矽晶片，使得封裝尺寸與矽晶片相同（請參閱圖 2）。在 1.38mm² 的面積內容納八個焊球，使得每平方公釐能夠整合更多功能。MSPM0C1104 也提供 WCSP 封裝，其尺寸比競爭產品小 38%，成為全球最小的微控制器。

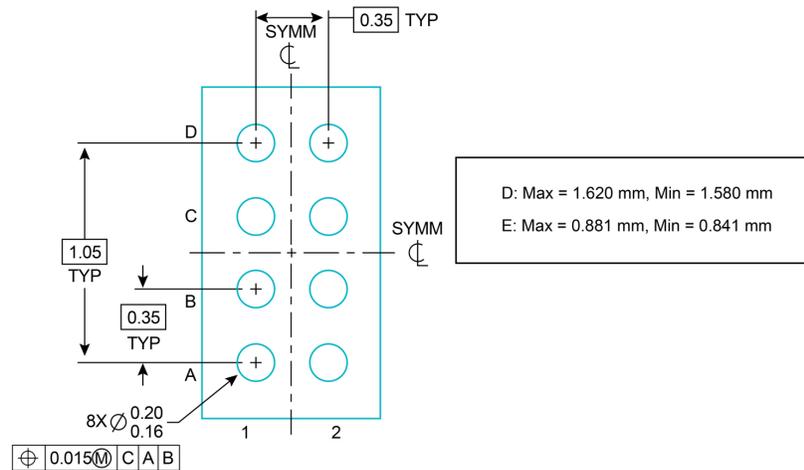


圖 2. MSPM0C1104 八焊球 WCSP 封裝圖 (尺寸為 1.50 x 0.86mm ，厚度為 0.35mm)

整合

另一種解決電路板空間限制的方法是最佳化裝置內部的功能整合每個獨立元件都有自己的塑料封裝、引腳和所需的佈局空間，這可能會佔用比單一整合晶片更多的電路板空間。

在追求微型化的過程中，整合了類比與數位周邊設備的 MCU 和處理器顯得尤為重要。以脈搏血氧儀為例。與離散設計方法相比（如 圖 3 所示），將類比數位轉換器 (ADC)、比較器和電壓參考整合到 MCU 中，可以減少所需元件的數量，從而縮小 PCB 尺寸（如 圖 4 所示）。

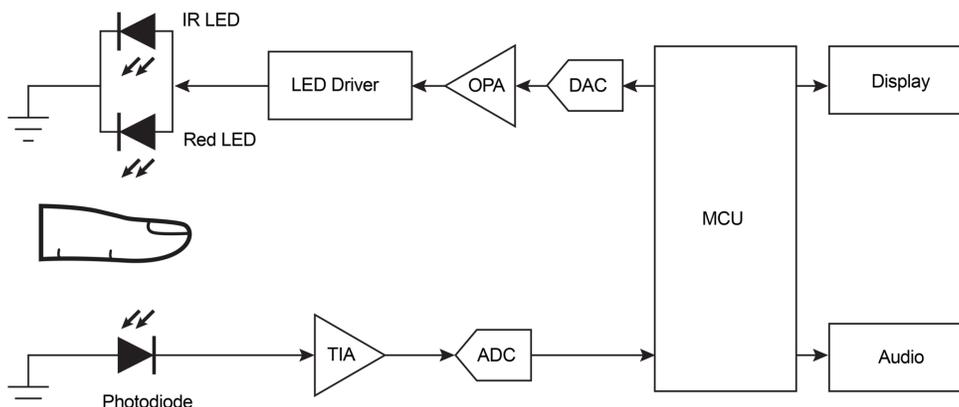


圖 3. 使用獨立類比元件的脈搏血氧儀設計

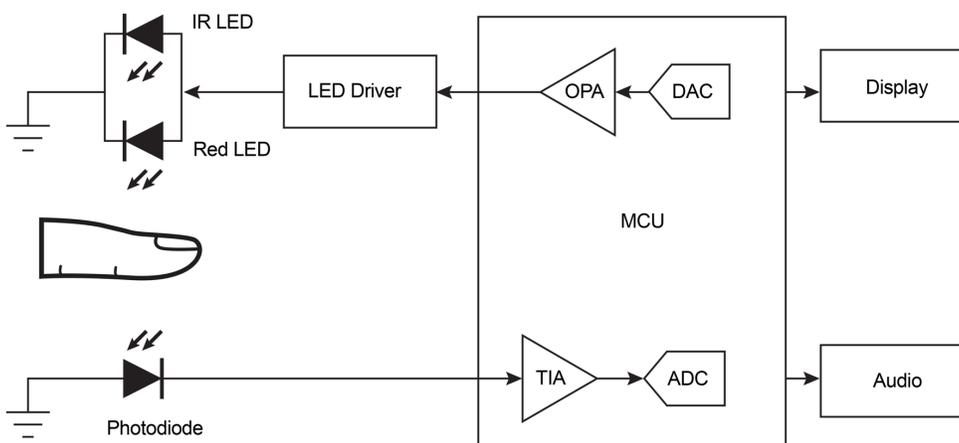


圖 4. 使用整合元件的脈搏血氧儀設計

選擇在 MCU 中集成哪些功能需要進行一些取捨。功能整合可以減少設計中的元件數量，但如果整合了不必要的功能，可能會適得其反，增加單晶片解決方案的尺寸。

因此，功能最佳化至關重要。額外的周邊設備直接影響晶片尺寸和裝置成本。未使用的功能不僅浪費空間和金錢，還會降低空間受限設計的效率。了解市場的真正需求，才能開發出具有成本與尺寸競爭力的嵌入式解決方案。例如，MSPM0C1104 的 8 焊球 WCSP 不僅尺寸小巧，還整合了多種功能與元件。它在 1.38 mm² 封裝中提供 16KB 快閃記憶體、一個 12 位元 ADC（具有三個通道）和三個計時器。工程師可以透過使用 MSPM0C1104 等裝置，最佳化每平方公釐的功能密度，從而為設計騰出更多空間。

图 5 展示 MSPM0C1104 WCSP 與無線耳塞的尺寸對比。



图 5. MSPM0C1104 與無線耳塞的尺寸對比

隨著實體積體電路的尺寸縮小，設計與生產方法也在不斷演進。雖然使用更小的電子元件有助於縮小 PCB 尺寸，但在佈局、操作和生產流程方面也需要進行考量。

在設計晶片級封裝時，有兩種 PCB 焊盤模式非常有用：阻焊定義 (SMD) 和非阻焊定義 (NSMD)，如 图 6 所示。SMD 類型包含一個較大的銅焊盤，並與基板重疊；NSMD 類型包含一個尺寸更小的銅焊盤，尺寸更精確。NSMD 類型的焊盤提供了更均勻的覆蓋、更好的佈線能力，並減少了晶片級封裝中的應力。

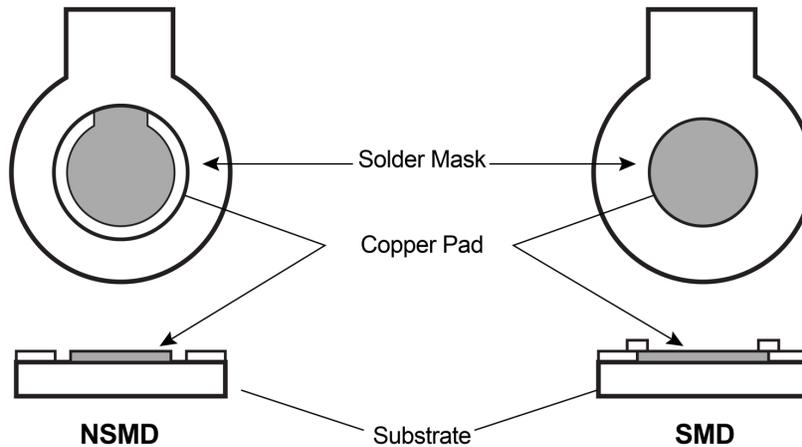


图 6. NSMD 和 SMD PCB 焊盤模式

元件放置與操作也可能變得更加困難。對於半導體和產品製造商來說，製造過程中使用的貼片機和真空筆可以最大限度地降低損壞 WCSP 和 BGA 封裝裸露晶片的風險。為了提高放置精度，貼片機的視覺系統可以定位封裝輪廓或單個焊球。焊球的幾何形狀使其能夠在 PCB 焊盤上自動對中並進行校正。隨著電子元件尺寸的縮小，製造設備也在不斷演進以應對這些挑戰。

結論

創新是一個循環的過程。消費者總是期待更輕巧、功能更豐富的產品。工程師則在設計中努力平衡各種相互衝突的需求。與此同時，半導體產業也在不斷演進，最佳化封裝與功能選項。當新一代產品上市時，團隊已經開始集思廣益，籌劃下一個突破性創新，這樣的循環不斷重複。

TI 在半導體微型化方面的努力，包括選擇性功能整合、封裝最佳化以及製造技術的進步，為工程師提供了更多選擇與可能性，讓設計師在這個日益追求小型化的世界中，能夠創造出更智能、更高效的產品。

其他資源

- 進一步了解 TI 的 [Arm Cortex-M0+ MSPM0 MCU 產品系列](#)。
- 閱讀應用簡介「[TI 最小的 M0+ MCU 封裝為您的設計帶來充裕空間，實現更多功能](#)」。

註冊商標

所有商標皆屬於其各自所有者之財產。

重要聲明與免責聲明

TI 均以「原樣」提供技術性及可靠性數據（包括數據表）、設計資源（包括參考設計）、應用或其他設計建議、網絡工具、安全訊息和其他資源，不保證其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的擔保，包括但不限於對適銷性、適合某特定用途或不侵犯任何第三方知識產權的暗示擔保。

所述資源可供專業開發人員應用 TI 產品進行設計使用。您將對以下行為獨自承擔全部責任：(1) 針對您的應用選擇合適的 TI 產品；(2) 設計、驗證並測試您的應用；(3) 確保您的應用滿足相應標準以及任何其他安全、安保或其他要求。

所述資源如有變更，恕不另行通知。TI 對您使用所述資源的授權僅限於開發資源所涉及 TI 產品的相關應用。除此之外不得複製或展示所述資源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知識產權授權許可。如因使用所述資源而產生任何索賠、賠償、成本、損失及債務等，TI 對此概不負責，並且您須賠償由此對 TI 及其代表造成的損害。

TI 的產品均受 [TI 的銷售條款](#) 或 [ti.com](#) 上其他適用條款，或連同這類 TI 產品提供之適用條款所約束。TI 提供所述資源並不擴展或以其他方式更改 TI 針對 TI 產品所發布的可適用的擔保範圍或擔保免責聲明。

TI 不接受您可能提出的任何附加或不同條款。

郵寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated