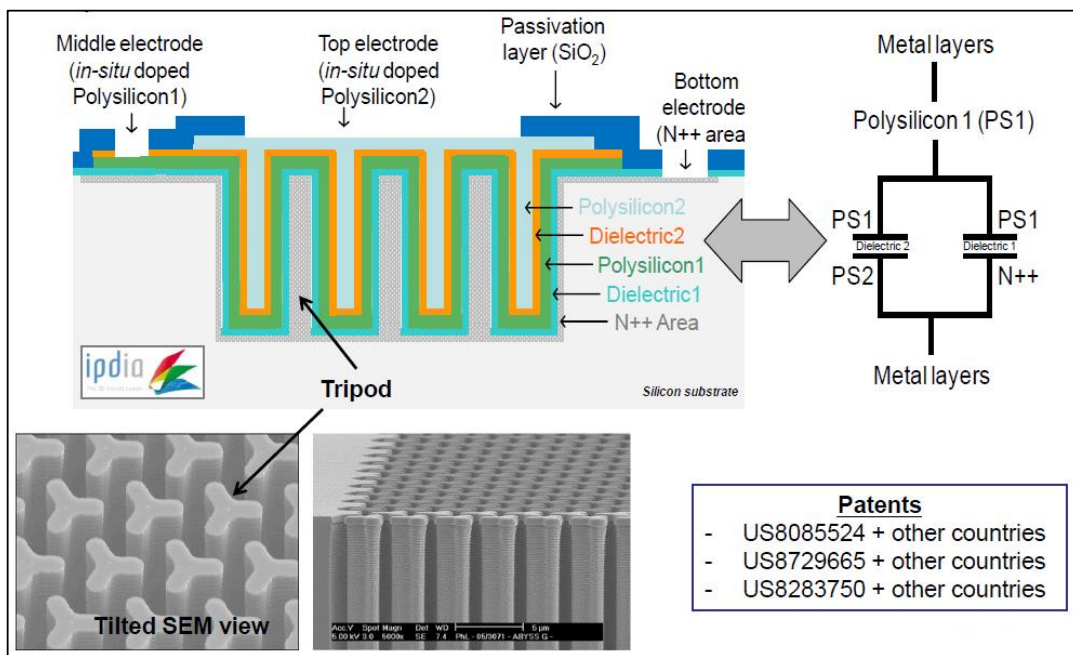


IPD在5G智慧手機的應用

台灣亞太產業分析專業協進會 105 年認證產業分析師 林松耀

一、IPD 具備優良元件特性，滿足 5G 智慧手機通訊需求

隨著智慧手機通訊技術從 4G 往 5G 的持續進展，需支援的頻段越來愈多(包含 5G 新頻譜以及原本向下相容的 4G 頻段)，使得射頻元件的數量呈倍數的增加(包含 Filter、LNA、Switch、Tuner、PA 等)，而被動元件 MLCC 的顆數亦從約 800 顆提升至 1,000 顆左右，這些元件都必需組裝在限制大小的 PCB 板上，頻段則將提升至 3-6GHz 以及毫米波的 28/39 GHz，此亦將衍生更多高頻傳輸損耗以及更多功耗與散熱等問題挑戰，因此，具備優良特性的 IPD(Integrated Passive Devices)的元件，則成為可因應 5G 智慧手機在高頻通訊應用需求的關鍵零組件之一。



資料來源：ipdia (2020)

圖 1 ipdia 推出 IPD 相關產品

目前 IPD 元件的生產大多是採用半導體元件製程方式來生產，藉由在 Si 基板蝕刻出高深寬比的 Trench 結構，再蒸鍍上不同的金屬層材料與不同層別種類的配置，可製造出不同的被動元件產品，如在不相通的層別間蒸鍍 Cu/Al/Cu 等金屬材料，可生產出電感產品；如在兩個層別間，鍍上 SiO₂/SiN/Si₃N₄ 等介電材料，可產生 3D 結構的電容元件；若在 Si 基板上鍍上

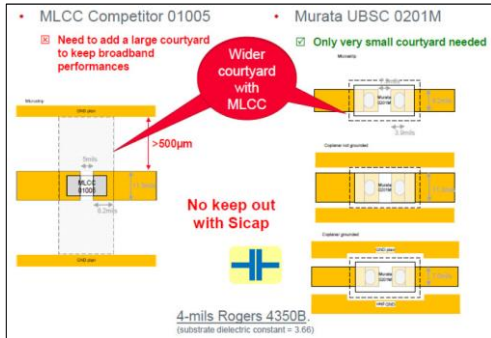
Poly-Silicon/ TaN/ ZnO 等絕緣性材料，可生產出電阻元件。

自 2016 年起 tsmc 即開始陸續供應 Apple 公司 iPhone 7 的 A10 處理器所需之 IPD 元件，其在 Si 基板上，蝕刻出深度達 30um 的 trench 結構，每個 trench 結構的週期寬度約 2um 左右，藉以形成此高深寬比的溝槽結構，以利於後續製作成高密度的薄膜式 3D 集成被動元件結構，而後再利用不同金屬層結構(如 Poly Silicon、Cu)與不同介電層結構(如 SiO₂、Si₃N₄ 等 Dielectric material)的組合，先在 Trench 結構鍍上 Poly 層材料，再接著鍍上 Dielectric 材料，藉由如此反覆依序交叉排列的結構設計，以形成 3D 排列結構的高密度電容元件，隨著 5G 智慧手機滲透率的日漸提高，具備小型化、高集成、優良特性的 IPD 將扮演日益重要的角色。

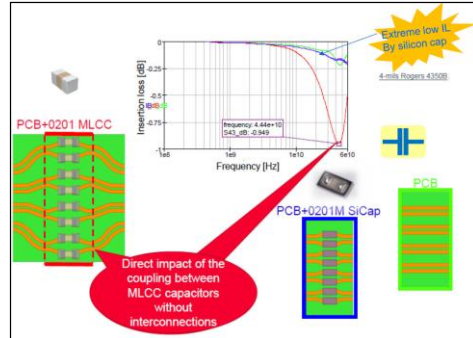
與傳統應用於 5G 頻段匹配電路的低溫共燒陶 LTCC(Low-Temperature-Cofired-Ceramics)和表面貼焊零件 SMD(Surface Mount Device)元件相比，IPD 具有元件尺寸小、薄型化、高頻介電損耗小、導熱係數高(149 W/m·K)、熱膨脹係數低(CTE: 4.2 ppm/K)、低 ESR/ESL、可靠性高、易於封裝與組裝...等等優良特性。

尤其在 5G 智慧型手機的設計中，要在有限空間的 PCB 板上，放置高達上千顆的各式被動元件產品，不僅要面臨元件尺寸日益小型化的生產難度挑戰，更要面對 PCB 板子上 SMT 更高精密度鍵結製程的良率與風險控管，因此，具備尺寸小、薄型化特性的 IPD，對於繁雜的 PCB 設計更可迎合其設計之考量。例如，相對於 MLCC 元件，IPD 薄型化的元件厚度，可獲得更佳的阻抗連續性之表現，對於 PCB 板的走線性能亦能有更好的表現。由於 IPD 採用 Si 基板的元件結構，具有平坦性較佳的電極表面，在打線過程中能獲得更強的鍵結能力表現。

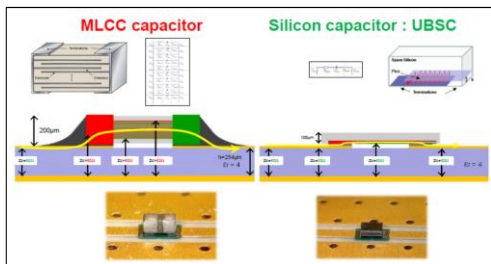
• 優化PCB設計



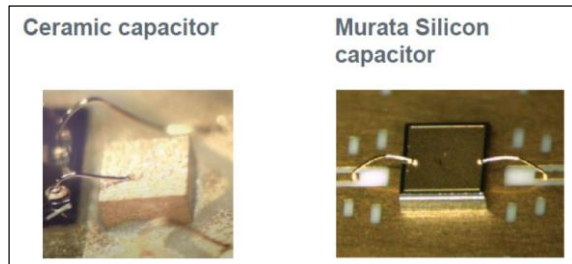
• 走線性能佳



• 更優阻抗連續性



• 電極表面平坦性佳，更易打線鍵結



資料來源：Murata (2020)

圖 2 IPD 具備更優良的 PCB 設計能力表現

更重要的是在 5G 通訊時代，高頻的介電損耗將扮演非常重要的關鍵因素，而 IPD 在 1GHz 的 Dk 為 0.005，在 10GHz 的 Dk 為 0.015，Dk 的性能表現相當優異。另外，IPD 在高頻時的等效串聯阻抗(ESR, Equivalent Series Resistance)以及等效串聯電感(ESL, Equivalent Series Inductance)的性能，亦都相對於 MLCC 元件的表現更為優異，以上特性對於在高頻的設計考量，都是非常重要且關鍵的要素。另外，由於 5G 通訊的損耗相對大，因此對於所產生的熱問題亦變得更加棘手，而 IPD 具有較高的溫度耐受性與穩定性，相對於 MLCC 元件產品，皆能有更佳優異的表現，以上種種皆顯示 IPD 對於 5G 智慧型手機的整體性能以及可靠度特性，皆能有相較於 MLCC 具有更加的表现能力。

正如一般業界所熟知，X5R/ X7R 為被動元件 MLCC 產品種類中，對於溫度穩定特性表現較佳者(可控制在 15%左右)，僅次於 NPO，但容量卻可做的比 NPO 的材料要高，電容容量的精度亦較一般 Y5V、Z5S 等系列更為精準，因此一般常見於工業與汽車等較高規格要求的應用領域。由表一所示，IPD 元件相對於 X5R 與 X7S 種類的 MLCC 元件，不僅元件尺寸大小的精準度大幅縮小(從 +/-100um 與 +/-25um 縮小至 +/-30um 與 +/-15um)，連厚度亦可從約 300um 降至 100um，最小極限還可降至 50um，可大幅降低被動元件的厚度，非常適合應用於對厚度要求

相當嚴謹的智慧型手機應用市場。另外，在電容值的有效誤差值範圍，亦從 $\pm 20\%$ 降至 $\pm 15\%$ ，大幅提升整體系統模組設計的精準度，對於精密計算與精準量測的應用亦扮演非常關鍵的角色。在溫度穩度度方面，IPD 的適用溫度範圍，從 $-55\sim 85^{\circ}\text{C}$ 擴大至 $-55\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，對溫度的電容值變化亦從 $\pm 15\%$ 降至 $\pm 0.7\%$ ，而在經過 1,000 小時之後的電容值變化，亦從 -7% 大幅降低至 -0.001% ，整體而言對溫度的耐受性表現可謂相當穩定。特別的是，當施加 DC 直流電流之後，電容值變化量，從 -35% 大幅縮小至 $<1\%$ ，此對於電路設計的精準度與便利性，貢獻相當大。在高頻的介電損耗方面，從 2.5% 大幅降低至 0.05% ，此部分對於高頻電路的設計，可發揮減少高頻訊號損耗的助益，相當適合應用於 5G 智慧型手機的射頻模組設計之應用市場。

表 1 IPD 的各種特性比較

Manufacturer	Material	ΔC tol.	Z (μm)	Z tol. (μm)	L tol. (μm)	W tol. (μm)	ΔC_T	$\Delta C_{V_{\text{dc}}}$	Aging after 1000hours	Dielectric absorption
Wire bondable X5R MLCC competitor	Ceramic (X5R)	$\pm 20\%$	300	± 100	± 100	± 100	$\pm 15\%$ (-55 to 85°C)	-35% (1kHz, 1Vrms, 25°C)	-7%	2.5%
Wire bondable SLC competitor	Ceramic (X7S)	$\pm 20\%$	150	± 25	± 100	± 100	$\pm 22\%$ (-55 to 125°C)	-35% (1kHz, 1Vrms, 25°C)	-7%	2.5%
Murata wire bondable low profile SiCap	Silicon	$\pm 15\%$	100	± 15	± 30	± 30	$\pm 0.7\%$ (-55 to 150°C)	$< -1\%$ (1kHz, 1Vrms, 25°C)	-0.001%	0.05%
Murata wire bondable low profile SiCap	Silicon	$\pm 15\%$	250	± 15	± 30	± 30	$\pm 0.7\%$ (-55 to 150°C)	$< -1\%$ (1kHz, 1Vrms, 25°C)	-0.001%	0.05%

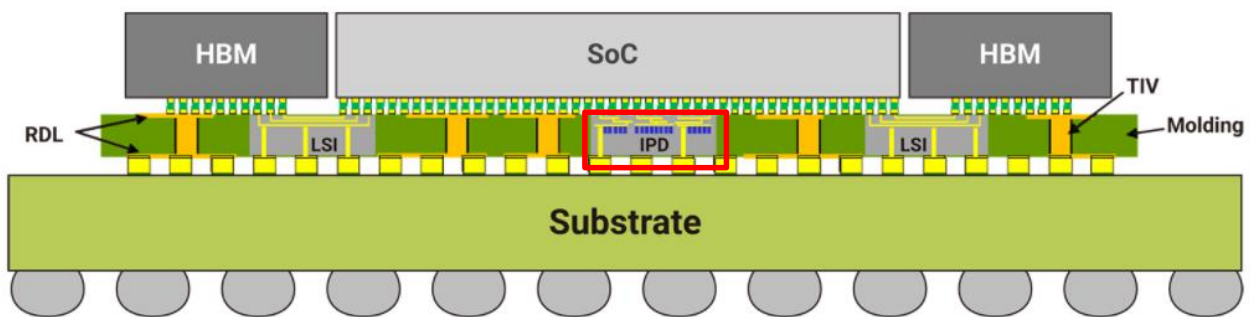
資料來源：Murata (2020)

二、IPD 的主要應用領域與製造廠商

目前 IPD 元件已廣泛應用於電子產業各個應用領域，包含光通訊模組產業、汽車電子產業、通訊基礎建設產業、智慧手機產業、醫療器材產業等領域，尤其 5G 智慧手機通訊應用市場中所使用到射頻模組中的(RF) IPD，因需與 MMIC、濾波器等射頻元件作阻抗匹配與去耦合等高頻電路設計，成為目前 IPD 市場成長性最高的應用領域，預估此市場在 2019-2025 年的年複合成長率(CAGR)為 8.2% ，到 2025 年該市場規模將超過 3.6 億美元。另外，(RF) IPD 因其具有獨特且優異的高頻訊號優勢，也有助於 IPD 在 5G NR 和 WiFi 6 中扮演非常重要的角色。另一個受關注的領域是用於電磁干擾屏蔽的(EMI) IPD 應用市場，此市場規模在 2025 年將達到 1.95 億美元，2019-2025 年的年複合成長率(CAGR)為 3.15% 。

另外，如下圖 3 所示，在 tsmc 的 CoWoS® -L 技術平台，亦可看到 IPD 元件已整合應用於

此 CoWoS 技術平台之中。CoWoS®-L 的主要特點包括：運用通過多層 Sub-微米銅線實現高佈線密度晶片到晶片互連的 LSI 芯片。LSI 晶片可以在每個產品中具有多種連接架構(例如 SoC 到 SoC、SoC 到 chiplet、SoC 到 HBM 等)，也可以在多個產品中重複使用。在具有寬間距的 RDL 層與基於 molding 方式的 interposer 結構，透過 front-side 和 back-side 的 TIV(Through Interposer Via)方式以達到信號和功率傳輸的連結，可在高速傳輸中達到較低的高頻信號損耗的表現。特別的是，在 SoC 晶片下方整合了 IPD (Integrated Passive Device)元件，以達到更好的 PI/SI 通信信號的高性能表現。隨著 5G 智慧手機滲透率的不斷提高，具備薄型化、高穩定性、較低的高頻損耗等特性的 IPD 元件，將扮演愈來愈關鍵的角色。

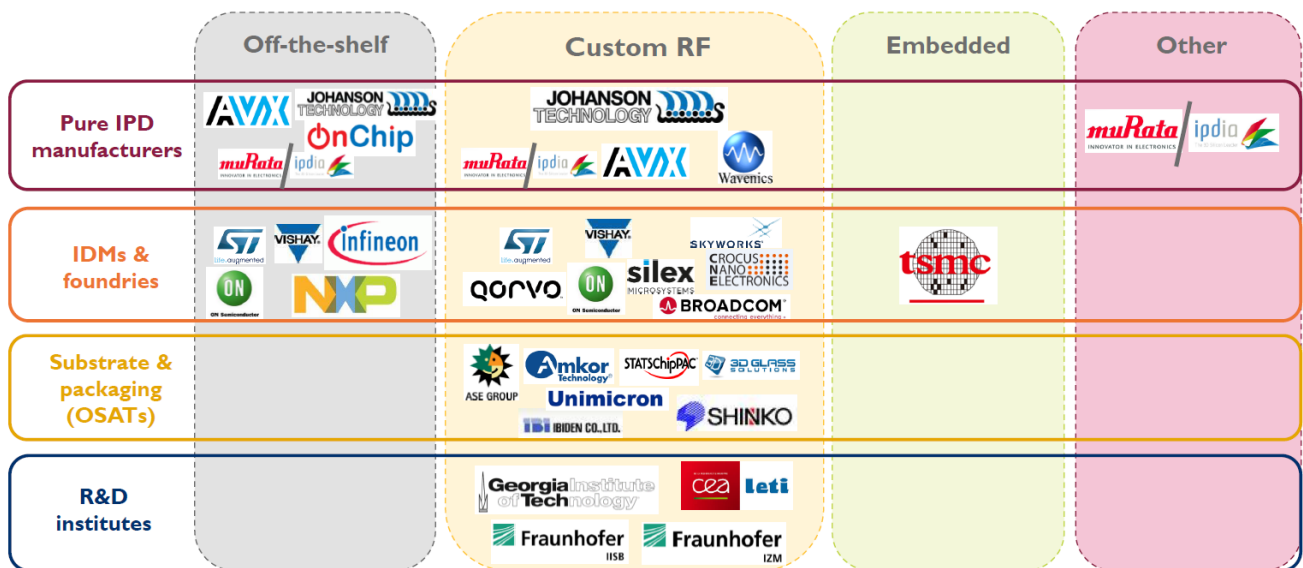


資料來源：tsmc (2021)

圖 3 tsmc 的 CoWoS 產品採用 IPD 元件設計

三、結論

全球 IPD 元件製造的供應鏈方面較為多元分散，包括純 IPD 製造廠商、IDM & Foundry 廠商、基板與封裝廠商(含 OSAT)以及研發機構。其中，主要的 IPD 生產廠商，包含 AVX、Johanson Technology、Vishay、STMicroelectronics、Qorvo、Skyworks、Infineon、NXP、On Semiconductor、ipdia/Murata 等公司，其中 Murata 於 2016 年 10 月併購了法國 IPD 專業廠商 ipdia，ipdia 公司是一家設計、開發、生產、銷售 Si 被動元件的廠商，並為醫療設備、產業設備、通信設備等要求高可靠性電容器應用領域提供 3D 結構 Si 電容器的領導企業。此次收購，使得 Murata 可以在既有的產品陣容中加入 ipdia 公司的 Si 電容器產品業務範圍，Si 電容器具有可靠性高、耐熱、體積小、厚度薄、高集成等優良特性，使得 Murata 的電容器事業部門不僅在其強項的通信應用市場，更可望在汽車產業、醫療設備等等的應用市場上也能得到強化和擴大。



資料來源：Yole (2020)

圖 4 IPD 的全球產業供應鏈

另一方面，在 IDM & Foundry 廠商方面，包括 Vishay、STMicroelectronics、Qorvo、Skyworks、Infineon、NXP、On Semiconductor 等 IDM 大廠，或是 tsmc 等晶圓代工廠商，皆有生產符合對應客戶的 IPD 元件，以應用在汽車電子、醫療設備、通訊設備、智慧手機等應用領域，如 tsmc 即生產供應 Apple iPhone 手機包括 AP 處理器等應用領域的 IPD 元件。另外，在基板與封裝 (OSAT) 廠商方面，包含日月光控股、Amkor、新科金朋 (STATS ChipPAC) 等封裝 OSAT 廠商，以及 Shinko Electric (新光電氣)、Ibiden、欣興電子等基板廠商亦都有生產 IPD 相關產品。

面對未來 5G 或 B5G 下一代通訊技術的發展趨勢，在 IPD 具有優良特性的前提之下，卻面臨著 IPD 生產成本相對較高、市場規模侷限性等問題，而台灣具有極佳的 4G/5G/B5G 射頻元件生產供應鏈，以及完整的半導體產業發展基礎，可把握 5G 通訊產業的發展契機，持續 IPD 技術精進並擴大產業應用範疇，才能在未來快速變動的 5G/B5G 通訊世代掌握先機，並提升相關產業附加價值。

(本文作者為工研院產科國際所執行產業技術基磐研究與知識服務計畫產業分析師)

原文出處：ITIS 智網 <http://www.itis.org.tw/>