

磷化銦(InP)在5G超高速傳輸技術之應用潛力

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、InP 具備優良材料特性，滿足未來高速通訊與傳輸需求

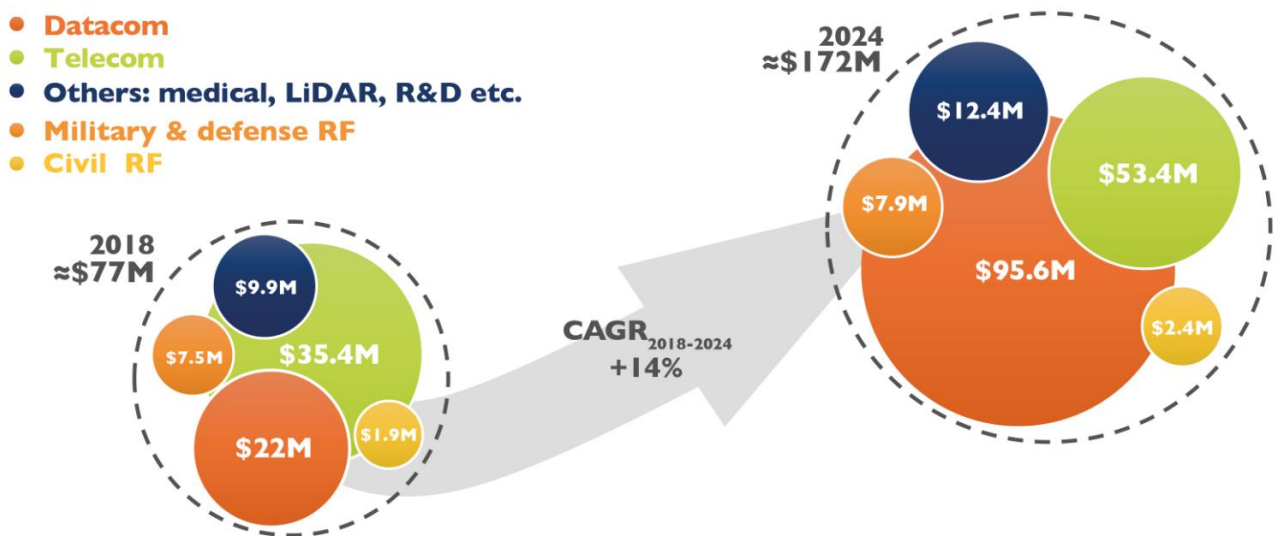
隨著 5G 高速通訊時代的到臨，擁有優異高頻響應特性的化合物半導體，亦隨著 5G 應用的持續發展而日益受到重視，目前最主流也最成熟的為砷化鎵(GaAs)材料，主要應用在行動裝置、基地台等無線射頻、功率放大器(Power Amplifier, PA)等元件，如現行 4G 手機中的 PA 材料，亦大量採用砷化鎵(GaAs)材料，而像磷化銦(InP)、氮化鎵(GaN)等也陸續被提及有機會導入於 5G 智慧型手機的功率放大器之中，尤其在無線通訊領域，未來 5G 世代中長期是往毫米波頻段方向發展，如 28GHz、38GHz、60GHz 等，在 B5G 世代中次太赫茲 100~500GHz 等各類更高頻段，InP 材料擁有高達 5,400 (cm²/vs)的超高電子遷移率(如表 1)，僅次於 GaAs 且領先大部分材料，但卻擁有比 GaAs 更高的功率密度，使 InP 成為未來 5G 毫米波頻段或 B5G 次太赫茲頻段，功率放大器的熱門技術選項之一。

表 1 InP 與其它半導體材料的各項特性比較

材料	SiC	GaN	GaAs	InP	Si
能隙(eV)	3.2	3.39	1.42	1.3	1.12
電子遷移率 (cm ² /V·s)	900	1,000	8,500	5,400	1,350
飽和電子飄移速率 (10 ⁷ cm/s)	2.0	2.5	2	1	1
臨界擊穿電場 (10 ⁶ V/cm)	3.0	3.3	0.4	0.5	0.25
功率密度 (W/mm)	10	30	0.5	1.8	0.2
導熱係數 (W/cm·K)	4.5	2.3	0.5	0.67	1.5
工作溫度(°C)	> 500	> 500	350	300	250
介電常數	9.7	9.8	13.1	12.5	11.9

資料來源：工研院產科國際所(2020/07)

InP 具有電子遷移率高、耐輻射性能好、能隙帶寬度較 Si 大等優點，在兩大應用領域擁有關鍵優勢：(1) 光通訊傳輸領域：波長為 1,000 nm 以上的發射和探測能力；(2) 射頻領域：高頻 RF 應用中的高速和低噪聲性能。雖然砷化鎵(GaAs)和矽化鍺(SiGe)等產品的出貨量遠較 InP 大，但是 InP 仍然是軍事通信、雷達和輻射測量等性能驅動型利基市場以及超高頻射頻自動測試設備的首選。



資料來源：Yole (2019/01)

圖 1 InP 磊晶片在各應用市場的發展機會

二、InP 在光通訊高速傳輸的應用發展潛力

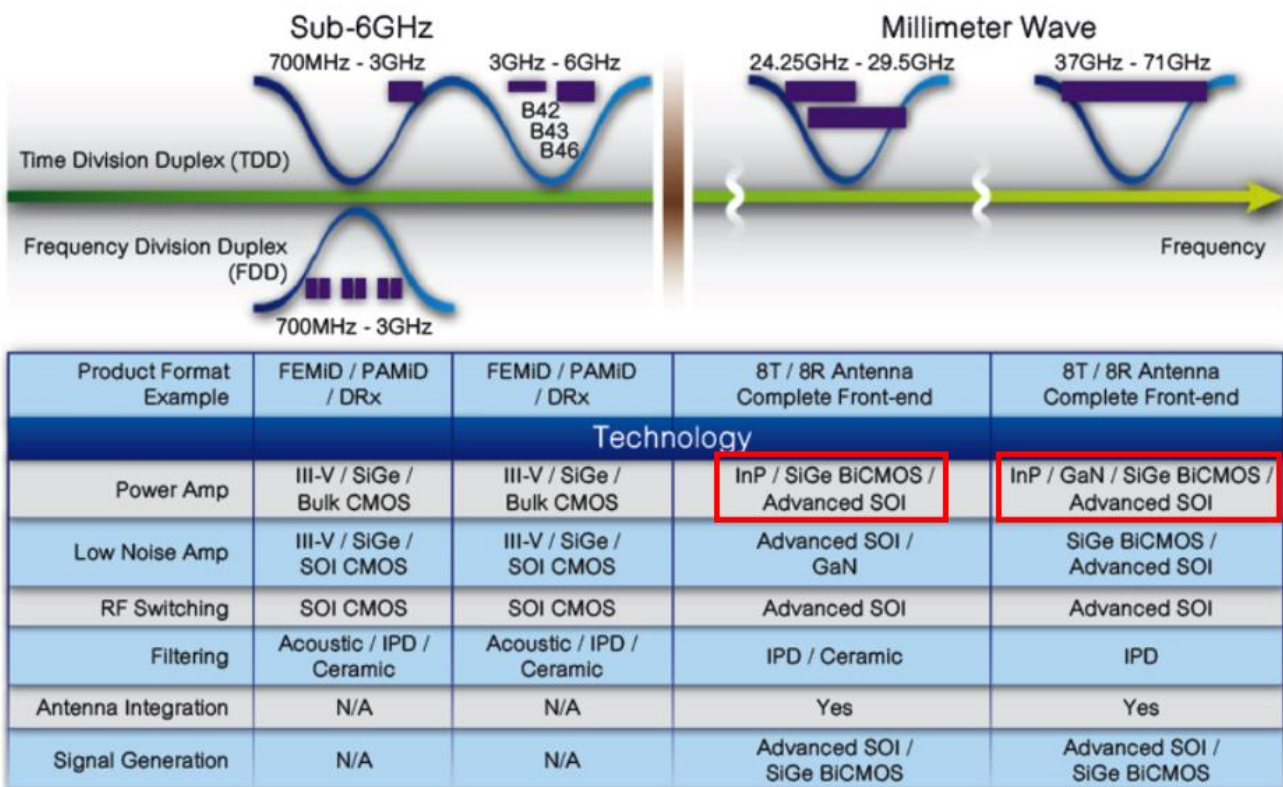
目前 InP 市場的真正應用主力在於光通訊傳輸應用，InP 在許多功能中提供高性能，包括發射、探測、調製和混合等，但由於其高成本，InP 經常受到其它半導體技術的挑戰。然而，InP 是電信和數據通信應用中的收發器雷射二極體不可或缺的模組。預計未來 5G 網絡將會產生大規模投資計畫，到 2024 年電信領域的 InP 晶圓市場預計將達到 5,300 萬美元左右(如圖 1)。隨著對更高速度的數據傳輸需求，收發器技術正在往更高速率(100G bps 和 400G bps)的趨勢推進，這將有利 InP 材料與元件技術的發展，預計數據通信領域的 InP 晶圓市場在 2017~2024 年期間的複合年增長率高達 28%。

光子整合電路(Photonic IC, PIC)自 1969 年首次被提出，之後人們開始研究開發多種不同的光子整合電路平台，如 InP、矽光子和聚合物等。基於 InP 的光子整合電路被廣泛研究，用於製造「發射」和「探測」光纖通信光譜中兩種最佳波長(即 1310nm 和 1550nm)的元件。採用 InP 製造的雷射器、光電二極體和波導管能夠以玻璃光纖的最佳傳輸媒介來運作，以實現高效率的光纖通信。光通信元件主要採用基於 InP 的材料，波長單色性很好的 InP 雷射器、調製器、探測器及其模組皆已廣泛應用於光通信領域中，從而推動數據傳輸的快速發展。基於 InP 的半導體雷射主要是邊發射型雷射器，有分布式反饋雷射(DFB)、電吸收調製雷射器(EML)兩種類型，DFB 傳輸速率可達 25G，傳輸距離可達 10 公里，適用於數據中心、城域網及接入網等應用；EML 傳輸速率可達 50G，傳輸距離可達 80 公里，主要適用於骨幹網、城域網及 DCI 互聯等領域。此外，基於 InP 的光子整合電路除了在光纖通訊應用中的光接收放大器，扮演重要的角色之外，亦適用於醫療、高端雷射雷達(LiDAR)等各種不同的市場領域。

三、InP 在高頻通訊領域的應用發展潛力

InP 非常適合運用在毫米波(30~300 GHz)與次太赫茲波(100~500 GHz) 的高頻元件領域，如高電子遷移率電晶體(HEMT)和異質結雙極電晶體(HBT)等。InP 材料擁有高達 5,400 (cm²/v·s) 的超高電子遷移率，僅次於 GaAs 且領先大部分材料，但卻擁有比 GaAs 更高的功率密度(如表一)，而與 InP 晶格匹配的 InGaA 磊晶層的載流子濃度和電子遷移率亦超過與 GaAs 晶格匹配的 AlGaAs 材料，且 InP HBT 具備比 GaAs HBT 更低的能隙，其元件的工作電壓可以是 GaAs HBT 的一半，因此 InP HBT 製程的功率放大器耗電量將會比目前的 GaAs HBT 大為降低，且其功率附加效率(PAE)亦可更為提高，應用於手機上將使手機的使用時間大為提升，因此被視為在新一代智慧型手機應用領域深具潛力。另外，InP 材料亦可應用於衛星通訊之微波射頻積體電路等領域，而在毫米波/ B5G 通訊、圖像傳感等新興應用領域也都具有很高的市場發展潛力。

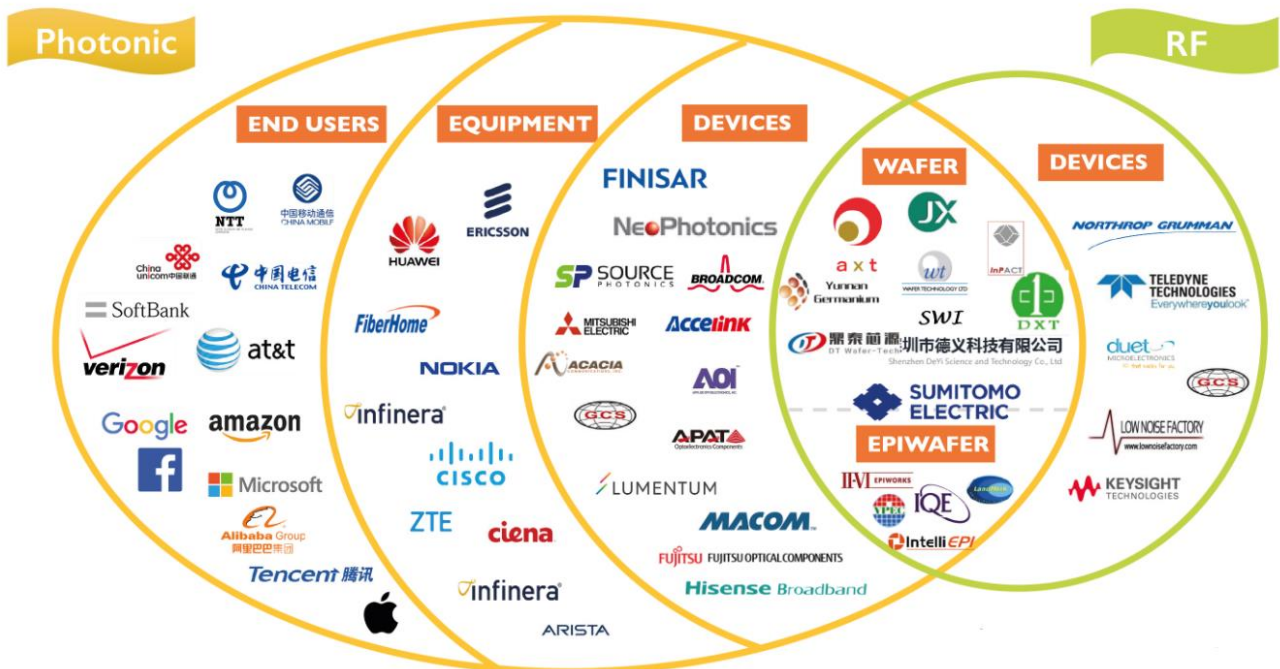
雖然目前 IDM 大廠對未來應用於手機 PA 元件，多採取各類方案並行的發展方式，而有些業者認為 GaAs pHEMT 不太適用於手機 PA，反而是 InP 製程 HBT 晶片有機會在 5G mmWave 手機 PA 勝出，因為 InP 可支援頻段可到 500~900 GHz，同時 InP 具有低功率消耗、更佳電氣特性，能夠使手機待機電壓更低、更高的功率放大倍率、更高的導熱率和更低的噪聲性能，使得 InP 被國際射頻 IDM 大廠(如 Skyworks)列為未來 5G 毫米波頻段中，功率放大器的熱門技術選項之一，相對地，III-V/ SiGe/ CMOS 等材料，則以應用於 Sub-6G 等較低的頻段為主(如圖 2)。



資料來源：Skyworks(2019)

圖 2 InP 在 5G 毫米波頻段之應用

四、結論



資料來源：Yole (2019/01)

圖 3 InP 的全球產業供應鏈

在全球 InP 元件製造的供應鏈方面較為多元分散，目前大部分 InP 晶圓製造廠商都專注於光子整合電路晶片的應用領域，如美國 Finisar、Lumentum、II-VI Incorporated、Macom、NeoPhotonics，歐洲 AMS 和亞洲 Broadcom、Mitsubishi Electric、Fijitsu...等廠商(如圖 3)。而在 InP 磊晶片製造廠商方面則非常集中，Landmark 是市場上的領導者，專注於光子應用，而 IQE 則在光子和射頻應用產品方面具有關鍵地位，而台灣相關廠商則包含英特磊、聯亞光電、全新光電...等廠商，皆有相關 InP 產品的生產布局。至於 InP 的晶圓原料，有超過 80% 的市場份額由兩家公司占有，分別是 Sumitomo Electric Industrie (SEI) 和 AXT，排名第三位為 JX Nippon Group，其它廠商則處於試產中或研發階段。面對未來 B5G 等下一代通訊技術的發展，台灣產業具有極佳的 4G/ 5G/ B5G 射頻與光通訊產業發展基礎，應持續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/>